

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS

**CS-064 SERVICIO DE MONITOREO HÍDRICO Y
METEOROLÓGICO, PERIODO 2021-2023
PROYECTO RAJO INCA**

4600019896-06310-INFSU-00078

MEDICIONES DE NIVELES FREÁTICOS

**PIEZOMETRÍA (SEMESTRAL)
SALAR DE PEDERNALES
DICIEMBRE 2023**

0	09-05-24	REVISION CODELCO	 PE	 DM	 CBG	PZ
B	25-03-24	REVISION CODELCO	PE	DM	CBG	PZ
REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
			AGQ CHILE S.A.			CODELCO
						Pág. 1 de 59
		4600019896-06310-INFSU-00078				Rev.0

Este Documento es propiedad de CODELCO CHILE.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE.

Copyrights © 2019 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Monitoreo hídrico y meteorológico 2021-2023

Medición de niveles freáticos
Salar de Pedernales

Segundo semestre 2023



Mayo 2024

1001_AGQ_Piez_SegundoSemestre2023_SPED_v0

Índice

Resumen Ejecutivo	8
1 Introducción	9
1.1 Objetivos	9
2 Antecedentes	10
2.1 Compromisos ambientales	10
3 Materiales y métodos	18
3.1 Descripción del área de estudio	18
3.2 Puntos y programa de monitoreo	19
3.3 Metodologías	24
3.3.1 Medición de niveles de agua	24
3.3.2 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	25
3.3.3 Instalación de sensores de medición continua	25
4 Resultados.....	28
4.1 Niveles de agua.....	28
5 Discusión de resultados.....	31
5.1 Evolución temporal en los puntos de seguimiento	31
5.2 Evolución temporal en los puntos de control.....	44
5.3 Evolución temporal en puntos de monitoreo continuo	49
5.4 Evolución temporal en puntos de monitoreo continuo establecidos en el avenimiento	54
6 Conclusiones	56
7 Referencias.....	57
Anexo A. Compromisos Ambientales	59
Anexo B. Certificaciones ETFA.....	59

Anexo C. Niveles, formato SMA.....	59
Anexo D. Certificados Mediciones	59
Anexo E. Esquemas de habilitación de pozos	59

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Transcripción del considerando 13.1 de la RCA. “Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) en la Cuenca de Pedernales”.....	11
Tabla 3-1: Puntos de seguimiento correspondientes a 47 pozos/piezómetros.	19
Tabla 3-2: Puntos de seguimiento correspondientes a 18 punteras.....	21
Tabla 3-3: Puntos asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.	22
Tabla 3-4: Valores Umbrales en puntos de control del PSAV.	24
Tabla 3-5: Características de los sensores de medición continua instalados en la Cuenca del Salar de Pedernales.....	25
Tabla 4-1: Medición de nivel de agua en los puntos de monitoreo, segundo semestre de 2023.....	28

Índice de Figuras

Figura 3-1: Mapa ubicación de la cuenca Salar de Pedernales. Fuente: Programa de Monitoreo cuenca de Salar de Pedernales, Amphos 21.....	18
Figura 3-2: Ubicación puntos de monitoreo cuenca Salar de Pedernales.....	23
Figura 5-1: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento B-1 y B-3.....	31
Figura 5-2: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-2, J-3, J-5 y J-6.....	32
Figura 5-3: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-7, P-5a, P-7a y PB-1.....	33
Figura 5-4: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PB-15, PE-3, PO-1 y PO-2.....	34
Figura 5-5: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PO-3, PO-4, POLLP y PU-1.....	35
Figura 5-6: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-2, PU-3, PU-4 y PU-5.....	36
Figura 5-7: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-6, PU-10, PU-43 y PU-44.....	37
Figura 5-8: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-46, PU-47, S-3 y S-6.....	38
Figura 5-9: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-01A, CP-03A; CP-04A y CP-06.....	39
Figura 5-10: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-08, CP-09; CP-10 y CP-13.....	40
Figura 5-11: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SON-2, SON-5; SON-6 y SPX-1.....	41
Figura 5-12: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SPX-2, SPX-3; SPX-4 y SPX-5.....	42
Figura 5-13: Profundidad de nivel de agua en el punto de monitoreo por Avenimiento PE-2.....	42
Figura 5-14: Profundidad de nivel de agua en los pozos de bombeo PBD-2 y P-114 asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.....	43
Figura 5-15: Profundidad de nivel en el punto de control CP-11, P-19a y P-4a.....	45
Figura 5-16: Profundidad de nivel en los puntos de control PB-9, PB-10, PB-11 y PB-12.....	46
Figura 5-17: Profundidad de nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49.....	47

Figura 5-18: Profundidad de nivel de agua en los puntos de control POD-1, POD-2, POD-3 y PBT-14, asociados al nuevo campo de pozos de bombeo. 48

Figura 5-19: Profundidad de nivel de agua en los puntos de control B-2 y B-4, asociados al nuevo campo de pozos de bombeo. 48

Figura 5-20: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos CP-11, PB-9, PB-10 y PB-11.... 50

Figura 5-21: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos PB-12, PU-31, PU-45 y PU-48. 51

Figura 5-22: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos PU-49, PU-43 y PU-44. 52

Figura 5-23: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos P-4a y P-19a..... 53

Figura 5-24: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos CP-06, CP-09, CP-10 y CP-13..... 55

Resumen Ejecutivo

El presente informe incluye los resultados del monitoreo efectuado en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) en la cuenca Salar de Pedernales durante el segundo semestre de 2023. El principal objetivo del informe es cumplir con el Plan de Seguimiento y Alerta Temprana en el control de las aguas subterráneas del sector Salar de Pedernales (Proyecto Rajo Inca) en lo que respecta al monitoreo piezométrico de los puntos considerados en dicho plan.

El análisis del comportamiento de los niveles de agua indica que todos los puntos de control presentan mediciones de la profundidad del nivel por sobre los Valores Umbrales definidos en la RCA N°19/2020, cumpliendo con los compromisos adoptados.

Además, el presente reporte también tiene en cuenta el monitoreo de los puntos de seguimiento establecidos en el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado (CDE), la descarga de la información en los sensores de medición continua de niveles, así como la incorporación de los resultados de medición de los puntos de monitoreo que servirán como puntos de control en el nuevo campo de pozos de bombeo.

1 Introducción

La División Salvador (DSAL) de Codelco Chile se encuentra ubicada en la Región de Atacama, comuna de Diego de Almagro, a 5,2 kilómetros de la ciudad El Salvador. DSAL se ha comprometido, mediante un Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario, al monitoreo de 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 asociados al Proyecto Rajo Inca (PRI), aprobado mediante la Resolución Exenta N°19 del 28 de febrero de 2020 (todos estos documentos son incluidos en el Anexo A).

Con lo anterior, DSAL solicitó a AGQ la medición mensual de niveles de agua subterránea para el control ambiental comprometido en el Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) antes mencionado (Apéndice 1 del Anexo 1-2 de la Adenda Complementaria Excepcional). Anteriormente, estas actividades eran desarrolladas por GP Consultores hasta febrero de 2021.

El presente documento consolida las mediciones mensuales realizadas desde diciembre del 2020 hasta diciembre de 2023, con el objetivo de incorporar en cada reporte semestral la data histórica y poder observar las tendencias y comportamientos de los niveles en el tiempo. La frecuencia de monitoreo comprometida es mensual y la entrega a la información a la autoridad es semestral.

Además, cabe mencionar que AGQ se trata de una “Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental” (ETFA), debidamente inscrita en el registro de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), y que cuenta con las resoluciones exentas pertinentes, adjuntas en el Anexo B, para la correcta ejecución de los trabajos.

1.1 Objetivos

El presente informe tiene como objetivo cumplir con el PSAV en el control de las aguas subterráneas del sector Salar de Pedernales (Proyecto Rajo Inca) en lo que respecta al control piezométrico de los puntos de monitoreo y control.

2 Antecedentes

El Proyecto Rajo Inca (PRI) extiende la vida útil de la División Salvador, mediante el desarrollo de un rajo abierto en el cuerpo mineralizado que históricamente se ha explotado en forma subterránea. Se estima que se podrían extraer y beneficiar aproximadamente 561 millones de toneladas (Mton) de mineral sulfurado y aproximadamente 297 Mton de mineral oxidado. El PRI considera explotar y procesar dichos minerales en las instalaciones existentes e incorporar modificaciones en ellas para optimizar e incrementar la tasa de procesamiento y la producción de cobre fino.

El proyecto considera procesar una tasa máxima de 37 ktpd de mineral sulfurado y 30 ktpd de mineral oxidado, lo que permitiría aumentar la producción de concentrado de cobre a un promedio de 245 kton/año (máximo 370 kton/año) y la producción de cátodos de cobre a un promedio de 25 ktCuf/año con una vida útil de 43 años en operación. Esta continuidad comprende las líneas productivas de sulfuros y óxidos en las áreas de El Salvador, Pampa Austral y la extracción de agua de la cuenca Salar de Pedernales.

El presente informe analiza las variables en los Programas de Monitoreo, el cual compromete el control del nivel piezométrico en 47 pozos y 18 punteras.

2.1 Compromisos ambientales

El Proyecto Rajo Inca (PRI) se ingresó al SEIA a través de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), que fue calificada ambientalmente favorable por medio de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°19/2020, en Copiapó el 28 de febrero de 2020. En ella, se establece una serie de compromisos ambientales en relación con la componente hídrica. La RCA se adjunta en el Anexo A del presente informe.

Durante la etapa de construcción y operación del proyecto (RCA considerando 13.1) se establece un Programa de Monitoreo para el sector del Salar de Pedernales, con el fin de monitorear los niveles y calidad de las aguas subterráneas para el control de la extracción del recurso hídrico. En la Tabla 2-1 se presenta el cuadro resumen del compromiso según la RCA N°19/2020.

Posteriormente a la aprobación del Proyecto Rajo Inca, y con motivo del Avenimiento entre el Consejo de Defensa del Estado (CDE) y Codelco, se estableció en la Medida H-03 de dicho acuerdo una complementación del PSAV del PRI a partir de la incorporación de 19 nuevos puntos de seguimiento y de 2 puntos de control adicionales.

Tabla 2-1: Transcripción del considerando 13.1 de la RCA. “Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) en la Cuenca de Pedernales”.

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales	
Impacto asociado	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución del volumen de agua en el acuífero de la cuenca Salar de Pedernales. - Disminución del nivel de agua en la zona de vegetación del SVAHT del salar de Pedernales asociado al cono de descenso del Campo de Pozos de Bombeo.
Fase del Proyecto a la que aplica	Construcción y Operación
Objetivo, descripción y justificación	<p><u>Objetivo:</u> garantizar la protección de los SVAHT activos al suroeste del salar de Pedernales, así como controlar la extensión del cono de depresión de los pozos de bombeo.</p> <p><u>Descripción:</u></p> <p>En el Plan de Seguimiento se definen los puntos de monitoreo según los antecedentes del “Modelo Hidrogeológico Conceptual de la cuenca Salar de Pedernales”, y corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 29 pozos o piezómetros (ver Tabla 2-1 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional). • 18 punteras (ver Tabla 2-2 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional). • 3 estaciones meteorológicas (Tabla 2-3 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional). <p>Además, producto de la acción definida por el Titular sobre el traslado del 50% de los pozos de extracción (extracción de 85 l/s) desde el inicio de la fase de operación del proyecto (al menos 5 km aguas arriba del campo de pozos de bombeo del Llano Pajaritos), se deben establecer 2 puntos de monitoreo para cada uno de los nuevos pozos. La ubicación de cada uno de esos nuevos puntos de monitoreo deberá ser aprobada por la DGA de la Región de Atacama.</p> <p>Se monitorearán los siguientes parámetros en el Plan de Seguimiento:</p> <p>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. El monitoreo será de forma mensual, en los pozos/piezómetros y punteras (ver Tabla 2-1 y Tabla 2-2 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional), a excepción de los puntos de monitoreo continuo de niveles (ver Tabla 2-5 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional). 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 superiores a los observados previo a la entrada de operación del Proyecto Rajo Inca.</p> <p>Se entregarán a la SMA: Se entregará un único informe anual que incluya la base de datos (en Excel), información piezométrica registrada en cada mes (tanto mediciones puntuales como continuas) y el análisis evolución de los datos. En el caso de existir diferencias entre lo predicho en este proceso de evaluación y lo finalmente observado, el informe deberá referirse en detalle a ellas.</p> <p>La medición de los niveles será realizada por un organismo de inspección de Muestreo Ambiental-ETFA (Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental).</p>

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales

	<p>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 a la SMA, acompañando la justificación que lo respalde. Sin embargo, el Titular debe establecer un número máximo fallas en la medición.</p> <p>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 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional).</p> <p>En ellas se medirán, cada 60 minutos, los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión. • Altura de nieve. • Radiación solar. • Velocidad y dirección del viento. • Temperatura. • Humedad relativa. • Precipitación. • Evaporación desde el suelo en la estación meteorológica Centro Salar. <p>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.</p> <p>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.</p> <p>3) calidad química de las aguas en el entorno del SVAHT emplazado al oeste del salar.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 del Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional). Los puntos se ubican en el SVAHT, en su entorno y en los sectores de recarga ubicados al sur y oeste del SVAHT.</p>
--	--

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales

	<p>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.</p> <p>Además, el Plan de Seguimiento debe incluir la instalación de sensores de medición continua en 10 pozos (Tabla 2-5 Apéndice 1 del Anexo 1 de la Adenda Complementaria Excepcional).</p> <p>El Titular debe 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.</p> <p>En dicha actualización el Titular deberá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilizar la condición de borde en consideración a la situación sin proyecto que correspondería al cese de la extracción de agua superficial desde el tranque La Ola que impacta en el flujo superficial y subterráneo que ingresa desde el Sur. • Deben ser subsanadas las diferencias de cotas topográficas que presenta el modelo con lo reportado en la caracterización de los pozos (cotas informadas en Anexo 8-4 de la Adenda versus cotas modeladas en el Modelo Numérico de la Adenda Complementaria Excepcional). <p>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.</p> <p>Además del Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) debe considerar el seguimiento de la variación de los niveles piezométricos y la variación de cobertura de los SVATH activos, que cuente con los siguientes elementos:</p> <p>1) Puntos de Control:</p> <p>El PSAV se sustenta en 9 puntos de control en total. Estos 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 activo, asociados a los descensos que podría generar la extracción desde el campo de pozos de bombeo.</p> <p>Además, una vez definidas las coordenadas exactas de la ubicación de los nuevos pozos de bombeo, 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 2 puntos de monitoreo para cada uno de los nuevos pozos.</p> <p>El Titular deberá presentar a la DGA de la Región de Atacama la nueva ubicación de los pozos de extracción junto a nuevos pozos de control y umbrales de activación del PSAV asociados al nuevo campo de bombeo.</p> <p>2) Variables de Control:</p> <p>La variable de control es el nivel piezométrico en los puntos de control del PSAV, 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.).</p> <p>3) Valores Umbrales, que activan los niveles de acción.</p> <p>La activación del PSAV estará sujeta a la ocurrencia de cualquiera de estas condiciones o ambas en conjunto:</p>
--	---

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales

a. **Nivel freático inferior al Valor Umbral Mínimo (VUM) en cualquiera de los puntos de control**, en al menos el 50% de las mediciones en los últimos tres meses de medición continua. El VUM, se define como el máximo descenso observado medido desde el nivel de terreno (m.b.n.t.) y se muestran en la tabla a continuación.

b. **Reducción en un 5% de la cobertura vegetal del SVATH activo**, respecto a lo observado en línea de base.

Tabla: Valores umbrales de activación del PSAV

Pozo	VUM (mbnt)	Reducción	Cobertura
CP-11	2,4		
PB-10	20,2		
PB-11	26,7		
PB-12	18,6		
PB-9	24,8		
PU-49	1,8		
PU-45	0,8	>5%	
PU-48	0,6		
PU-31	0,8		

4) **Acciones que se deben tomar**, en caso de que dichos niveles se activen.

El PSAV debe estar formado por 2 fases, cuyas características se presentan a continuación:

Fase 1:

- La fase 1 se debe activar cuando el nivel freático sea inferior al Valor Umbral Mínimo (VUM) en cualquiera de los puntos de control, en al menos el 50% de las mediciones en los últimos tres meses de medición continua y/o se produzca una reducción en un 5% de la cobertura vegetal del SVATH activo, respecto a lo observado en la línea de base.

- En caso de activarse la fase 1, el titular deberá elaborar un estudio con la siguiente información como contenidos mínimos:

a. Si la activación se produjo por la superación del VUM: o Determinar la interacción de los niveles de aguas superficiales y subterráneas que alimentan la zona de vegetación del SVAHT.

o Determinar si los descensos son originados por los pozos de bombeo del salar de Pedernales, o se deben a causas externas.

o Analizar el estado de los organismos de la variable hidrobiológica.

b. Si la activación se produjo por una disminución superior al 5% de la cobertura vegetal: o Determinar si la disminución de la cobertura vegetal se debe al funcionamiento del proyecto, o a causas externas.

- El estudio será entregado a la DGA de la Región de Atacama y SAG de la Región de Atacama quienes deberán resolver, en base a los antecedentes presentados por el titular, si la activación del PSAV se debe a los efectos del bombeo o no en un plazo no superior a los 3 meses desde la activación del nivel de acción.

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales

	<ul style="list-style-type: none"> • Si la autoridad (DGA y SAG) resuelve que el descenso es provocado por los efectos del bombeo, se activará la Fase 2 del PSAV, en caso contrario, se desactivará la Fase 1 de PSAV. <p>Fase 2:</p> <p>a. Si la activación de la fase 2, se debe exclusivamente a la activación del VUM, el Titular deberá:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Trasladar el 50% del caudal total de bombeo. Recordar que el otro 50% del caudal debe ser trasladado desde el inicio de la fase de operación del proyecto sin depender de la activación del PSAV. El traslado del punto de extracción debe ser al menos, a 5 km aguas arriba del campo de pozos del Llano Pajaritos, alejados del SVAHT activo. o Presentar a la DGA de la Región de Atacama en un plazo no superior a 3 meses desde la activación de la Fase 2, dos puntos de monitoreo para cada uno de los nuevos pozos y sus correspondientes umbrales de activación. La ubicación de estos pozos y umbrales de activación deberá ser validada por la DGA de la Región de Atacama. <p>b. Si la activación de la Fase 2, se debe exclusivamente a la disminución en un 5% de la cobertura vegetal determinada en la línea de base, el titular deberá:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Trasladar el 50% del caudal total de bombeo. Recordar que el otro 50% del caudal debe ser trasladado desde el inicio de la fase de operación del proyecto sin depender de la activación del PSAV. El traslado del punto de extracción debe ser al menos, a 5 km aguas arriba del campo de pozos del Llano Pajaritos, alejados del SVAHT. o Presentar a la DGA de la Región de Atacama en un plazo no superior a 3 meses desde la activación de la Fase 2, dos puntos de monitoreo para cada uno de los nuevos pozos y sus correspondientes umbrales de activación. La ubicación de estos pozos y umbrales de activación deberá ser validada por la DGA de la Región de Atacama. o Reducir hasta 40 lt/s el caudal de extracción. Estos 40 lt/s son adicionales a los 40 lt/s ya reducidos como compromiso voluntario que debe materializarse desde el inicio de la fase de operación del proyecto sin depender de la activación del PSAV. <ul style="list-style-type: none"> • Los 40 lt/s a reducir, se realizarán en 2 etapas de 20 lt/s cada una que se describen a continuación: <ul style="list-style-type: none"> i. Activada la Fase 2 de PSAV, se reducirá automáticamente 20 lt/s. ii. Si los 20 lt/s reducidos anteriormente, no genera una recuperación de la cobertura vegetal del SVATH tal que ésta sea inferior al 5% en los 3 meses siguientes desde la activación de la medida, se deberá reducir otros 20 lt/s. <p>c. Si la fase 2 se activa por ambas condiciones, es decir, niveles freáticos bajo el UVM y pérdida de cobertura vegetal sobre el 5% de lo presentado como línea de base, el titular deberá:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Presentar toda la información contenida en los puntos a) y b). <p>d. Si la activación de la Fase 2 se debió exclusivamente por la activación del VUM, no podrá desactivarse en un plazo inferior a 6 meses desde su activación. La desactivación ocurrirá cuando el nivel piezométrico en todos los puntos de control sea superior al VUM en el 50% de las mediciones en los últimos tres meses de medición continua.</p> <p>e. Si la activación de la Fase 2 se debió exclusivamente por la pérdida de cobertura vegetal, no podrá desactivarse en un plazo inferior a 1 año desde su activación. La desactivación ocurrirá</p>
--	---

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales	
	<p>cuando la pérdida de cobertura de los últimos 12 meses sea inferior al 5% definido como umbral máximo permitido.</p> <p>f. En caso de que ambos umbrales de activación estén activos, VUM y cobertura vegetal, la desactivación del PSAV deberá cumplir conjuntamente las condiciones del punto d) y e).</p> <p>g. El Titular deberá enviar un reporte de desactivación del PSAV a la DGA y SAG quienes autorizarán la desactivación en un plazo no superior a 3 meses.</p> <p>El Titular deberá esquematizar el funcionamiento del PSAV en un diagrama de flujo, que indique claramente las variables de control, decisiones, acciones y todos los eventos que se requieran para su entendimiento y seguimiento.</p> <p><u>Justificación:</u> considerando los niveles de extracción de agua subterránea en el Salar de Pedernales podría generar disminuciones en los niveles freáticos que afecten a los SVATH presentes en el Salar.</p>
Lugar, forma y oportunidad de implementación	<p>Lugar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 29 pozos o piezómetros • 18 punteras • Estaciones meteorológicas <p>El detalle de la ubicación de estos puntos se presenta en el Apéndice 1 del Anexo 1-2 de la Adenda Excepcional.</p> <p>Forma:</p> <p>En los pozos o piezómetros y punteras se medirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profundidad del nivel freático. <p>En las estaciones meteorológicas se medirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión • Altura de nieve • Radiación solar • Velocidad y dirección del viento • Temperatura • Humedad relativa • Precipitación <p>Evaporación desde el suelo (estación Centro Salar).</p> <p>Calidad de las aguas, se medirá calidad de las aguas en 9 puntos, cuyo detalle se describe en el punto 2.2.3 (Tabla 2-4) del Apéndice 1 del Anexo 1-2 de la Adenda Excepcional. Este monitoreo incluirá el análisis de Conductividad Eléctrica (CE), pH e iones mayoritarios.</p> <p>Instalación de sensores de medición continua de nivel piezométrico, se registrará 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. El detalle de los puntos de monitoreo se describe en el punto 2.2.4 (Tabla 2-5) del Apéndice 1 del Anexo 1-2 de la Adenda Excepcional.</p> <p>Actualización del modelo. Cada 5 años.</p> <p>Oportunidad: Desde el inicio de la fase de construcción del Proyecto hasta el final de la fase de operación. Se continuará con el seguimiento una vez acabada la operación, hasta que los niveles piezométricos sean superiores a los observados previo a la entrada de operación del Proyecto Rajo Inca.</p> <p>La frecuencia de medición será:</p>

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Profundidad nivel freático: mediciones mensuales. 2. Variables climáticas: mediciones horarias con descarga de los datos trimestral 3. Calidad de las aguas: mediciones trimestrales. 4. Sensores de medición continua: 2 mediciones por día con descarga de los datos trimestral. 5. Actualización del modelo. No aplica
Indicador que acredite su cumplimiento	Registros de Profundidad nivel freático, Variables climáticas, Calidad de las aguas, Sensores de medición continua y Actualización del modelo.
Forma de control y seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Profundidad nivel freático: informe anual a SMA que incluya la base de datos (en Excel) y el análisis. 2. Variables climáticas: reporte semestral a SMA. 3. Calidad de las aguas: reporte semestral a SMA. 4. Sensores de medición continua: informe anual a SMA que incluya la base de datos (en Excel) y el análisis. 5. Actualización del modelo: cada 5 años a SMA.

3 Materiales y métodos

3.1 Descripción del área de estudio

La cuenca Salar de Pedernales es la cuenca cerrada de mayor extensión de la región de Atacama. Se caracteriza por presentar unidades sedimentarias, principalmente evaporitas y formaciones volcánicas e intrusivas. En su límite septentrional se encuentra el salar de Pedernales, el cual posee una superficie de 335 km².

El salar de Pedernales es considerado como sitio prioritario para la conservación, este se ubica a una distancia de aproximadamente 27 km en línea recta del sector Salvador. En los sectores conocidos como Llano de Pedernales y Llano La Ola se bombean aguas salobres de las napas, las cuales son utilizadas como aguas de uso industrial. En la Figura 3-1 se ilustra la ubicación de las áreas de la cuenca Salar de Pedernales.

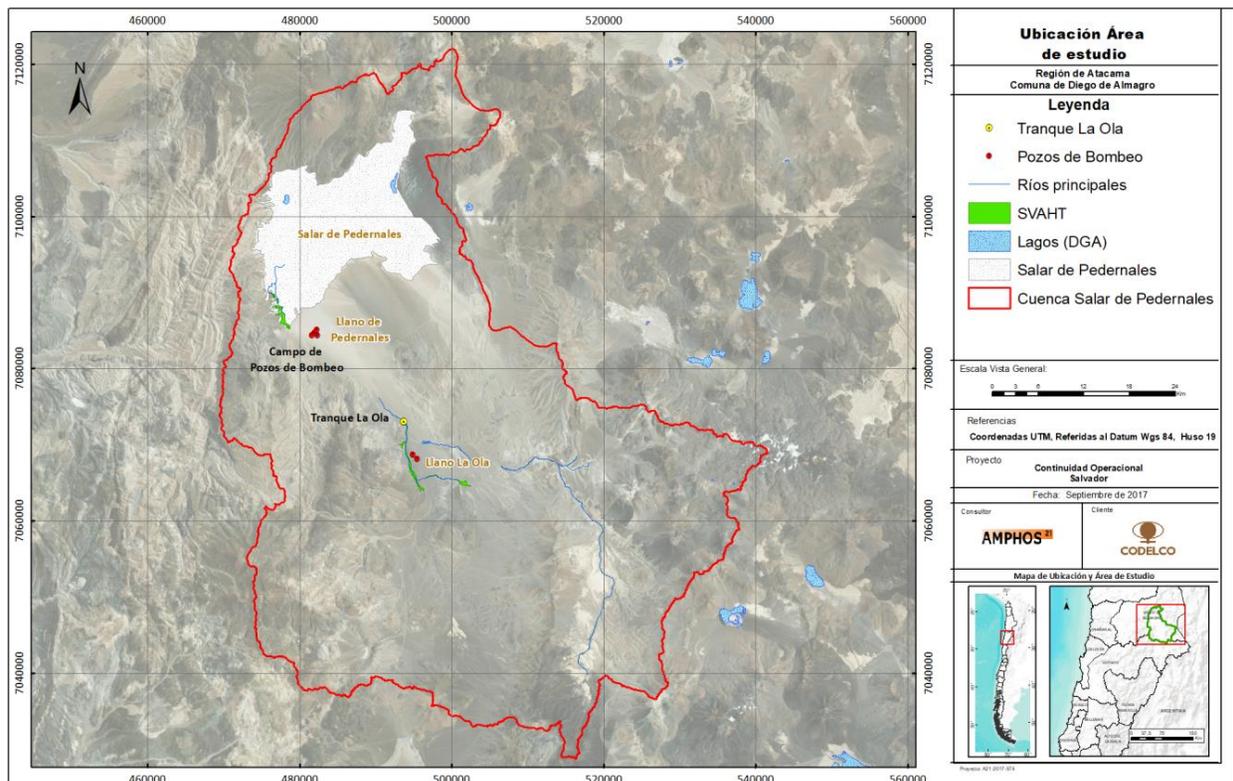


Figura 3-1: Mapa ubicación de la cuenca Salar de Pedernales. Fuente: Programa de Monitoreo cuenca de Salar de Pedernales, Amphos 21.

3.2 Puntos y programa de monitoreo

Como parte de los compromisos establecidos, se incluye la realización de un monitoreo de los niveles de agua de forma mensual en los siguientes puntos de seguimiento:

- 47 pozos o piezómetros (Tabla 3-1).
- 18 punteras (Tabla 3-2).

De los 47 pozos o piezómetros, 18 corresponden a los puntos de seguimiento establecidos en el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado.

En el Anexo E se presentan los esquemas de habilitación de los pozos y punteras.

Además, el PSAV incluye la instalación de sensores de medición continua, los cuales registrarán dos veces al día el nivel de agua en 17 puntos de monitoreo ubicados en el entorno del SVAHT (6 punteras) y del campo de pozos de bombeo (11 pozos o piezómetros).

El seguimiento en todos los puntos mencionados se realizará durante las fases de construcción y operación del PRI, y se continuará con el seguimiento una vez acabada la operación, hasta que los niveles sean similares a los observados previo a la entrada de operación del PRI.

Tabla 3-1: Puntos de seguimiento correspondientes a 47 pozos/piezómetros.

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.) (*)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
B-1	485.412	7.088.439	3.394	Seguimiento	Mensual
B-2	484.841	7.085.753	3.407	Control (***)	Mensual y Continua
B-3	488.113	7.084.034	3.452	Seguimiento	Mensual
B-4	489.516	7.081.315	3.483	Control (***)	Mensual y Continua
J-2	493.936	7.074.429	3.559	Seguimiento	Mensual
J-3	498.114	7.069.987	3.663	Seguimiento	Mensual
J-5	499.523	7.069.832	3.685	Seguimiento	Mensual
J-6	495.187	7.070.370	3.603	Seguimiento	Mensual
J-7	493.070	7.073.532	3.549	Seguimiento	Mensual
P-19a	480.343	7.08.5060	3.375	Control (**)	Mensual y Continua
P-4a	481.828	7.086.312	3.375	Control (**)	Mensual y Continua
P-5a	483.762	7.087.466	3.383	Seguimiento	Mensual
P-7a	481.358	7.083.490	3.393	Seguimiento	Mensual

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.) (*)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
PB-1	494.921	7.068.711	3.617	Seguimiento	Mensual
PB-9	480.291	7.084.333	3.380	Control	Mensual y Continua
PB-10	480.322	7.085.024	3.379	Control	Mensual y Continua
PB-11	479.585	7.084.355	3.380	Control	Mensual y Continua
PB-12	480.889	7.085.683	3.373	Control	Mensual y Continua
PB-15	494.580	7.073.062	3.572	Seguimiento	Mensual
PE-1	490.135	7.095.609	3.355	Seguimiento	Mensual
PE-3	499.090	7.053.167	3.764	Seguimiento	Mensual
PO-1	495.192	7.070.379	3.603	Seguimiento	Mensual
PO-2	495.445	7.068.119	3.628	Seguimiento	Mensual
PO-3	497.811	7.068.716	3.664	Seguimiento	Mensual
PO-4	495.467	7.065.441	3.631	Seguimiento	Mensual
POLLP	482.210	7.084.742	3.389	Seguimiento	Mensual
S-3	480.927	7.103.716	3.352	Seguimiento	Mensual
S-6	477.663	7.101.110	3.351	Seguimiento	Mensual
CP-11	478.477	7.087.322	3.228	Control	Mensual y Continua
SON-2	485.289	7.097.426	3.357	Avenimiento	Mensual
SON-5	487.638	7.100.959	3.358	Avenimiento	Mensual
SON-6	483.695	7.101.915	3.352	Avenimiento	Mensual
SPX-1	504.367	7.078.540	3.799	Avenimiento	Mensual
SPX-2	503.621	7.080.589	3.746	Avenimiento	Mensual
SPX-3	503.078	7.082.724	3.678	Avenimiento	Mensual
SPX-4	502.055	7.085.337	3.610	Avenimiento	Mensual
SPX-5	500.331	7.087.643	3.541	Avenimiento	Mensual
CP-04a	493.781	7.051.547	3.723	Avenimiento	Mensual
CP-06	493.449	7.043.350	3.807	Avenimiento	Mensual y Continua
CP-13	492.131	7.038.887	3.875	Avenimiento	Mensual y Continua
CP-01A	494.111	7.058.035	3.670	Avenimiento	Mensual
CP-09	504.870	7.058.107	3.944	Avenimiento	Mensual y Continua
CP-08	503.724	7.038.660	4.037	Avenimiento	Mensual

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.) (*)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
P-2	482.731	7.089.164	3.365	Avenimiento	Mensual
PE-2	491.723	7.089.578	3.427	Avenimiento	Mensual
CP-03A	504.990	7.068.033	3.812	Avenimiento	Mensual
CP-10	519.261	7.047.649	4.224	Avenimiento	Mensual y Continua

(*): Datos obtenidos desde documento “Esquema de los Pozos y Punteras en Salar de Pedernales” de GAC (año 2019).

(**): En el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado (CDE), los pozos P-19a y P-4a han sido considerados como pozos de control a partir del primer semestre de 2022.

(***): Pozos de control asociados al nuevo campo de pozos de bombeo. Sus umbrales serán definidos posterior al inicio de la operación del nuevo campo de pozos.

Tabla 3-2: Puntos de seguimiento correspondientes a 18 punteras.

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.) (*)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
PU-1	496.042	7.064.207	3.635	Seguimiento	Mensual
PU-2	495.877	7.064.067	3.637	Seguimiento	Mensual
PU-3	495.396	7.065.021	3.611	Seguimiento	Mensual
PU-4	500.876	7.065.305	3.721	Seguimiento	Mensual
PU-5	502.477	7.064.577	3.740	Seguimiento	Mensual
PU-6	501.949	7.064.866	3.744	Seguimiento	Mensual
PU-10	492.336	7.103.349	-	Seguimiento	Mensual
PU-31	477.255	7.088.087	3.357	Control	Mensual y Continua
PU-41	478.239	7.085.423	3.369	Seguimiento	Mensual
PU-42	477.487	7.086.009	3.367	Seguimiento	Mensual
PU-43	476.634	7.087.031	3.361	Seguimiento	Mensual y Continua
PU-44	476.511	7.088.181	3.360	Seguimiento	Mensual y Continua
PU-45	476.775	7.089.102	3.361	Control	Mensual y Continua
PU-46	475.894	7.089.612	3.360	Seguimiento	Mensual
PU-47	476.857	7.089.917	3.359	Seguimiento	Mensual
PU-48	477.596	7.088.149	3.358	Control	Mensual y Continua
PU-49	478.041	7.087.092	3.369	Control	Mensual y Continua
PU-50	478.613	7.085.772	3.365	Seguimiento	Mensual

(*): Datos obtenidos desde documento “Esquema de los Pozos y Punteras en Salar de Pedernales” de GAC (año 2019).

Además de los puntos de monitoreo anteriormente descritos, se realizó la construcción de los pozos que servirán para el traslado del bombeo comprometido en el PRI y los puntos de observación asociados. Los puntos que se presentan en la Tabla 3-3 han sido incluidos en la campaña de medición de niveles del reporte actual.

La determinación de los valores umbrales en los puntos de control 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 del Medio Ambiente (SMA).

Tabla 3-3: Puntos asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

Nombre	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
PBD-2	490.148,3	7.079.099,8	3.509,2	Pozo Bombeo	Mensual
POD-1	488.114,7	7.079.481,0	3.493,7	Control (*)	Mensual y Continua
POD-2	489.147,6	7.080.229,3	3.492,9	Control (*)	Mensual y Continua
POD-3	490.379,9	7.078.243,5	3.517,2	Control (*)	Mensual y Continua
P-114	491.498,0	7.978.991,0	3.520,0	Pozo Bombeo	Mensual
PBT-14	488.921,0	7.078.150,0	3.514,0	Control (*)	Mensual y Continua

(*): Pozos de control asociados al nuevo campo de pozos de bombeo. Sus umbrales serán definidos posterior al inicio de la operación del nuevo campo de pozos.

La ubicación de los puntos de monitoreo se presenta en la Figura 3-2.

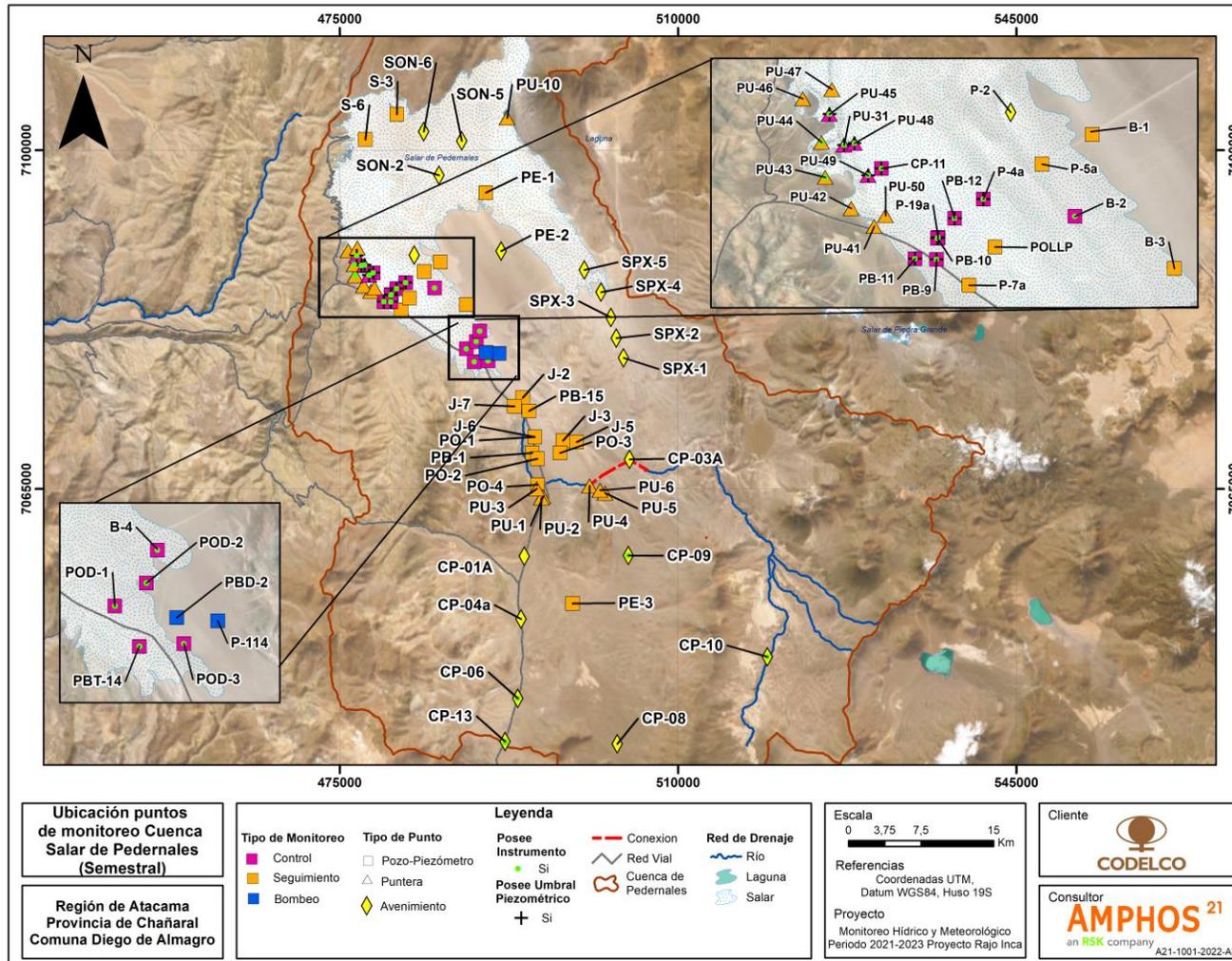


Figura 3-2: Ubicación puntos de monitoreo cuenca Salar de Pedernales.

Dentro de la red de monitoreo del PSAV existen 11 puntos de control que corresponden a 7 pozos/piezómetros (PB-9, PB-10, PB-11, PB-12, CP-11, P-19a y P-4a) y 4 punteras (PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49). En estos puntos se controlarán los posibles efectos sobre el SVAHT activo, asociados a los descensos que podría generar la extracción desde el campo de pozos de bombeo. Los niveles piezométricos en estos puntos se compararán con los Valores Umbrales de activación que se indican en la RCA N°19/2020 y en el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado (CDE) (Tabla 3-4).

Tabla 3-4: Valores Umbrales en puntos de control del PSAV.

Nombre	VUM (m b.n.t.)
CP-11	2,4
PB-10	20,2
PB-11	26,7
PB-12	18,6
PB-9	24,8
PU-49	1,8
PU-45	0,8
PU-48	0,6
PU-31	0,8
P-19a	20,4 (*)
P-4a	19,2 (*)

(*): En el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado (CDE), los pozos P-19a y P-4a han sido establecidos como pozos de control con los valores umbrales que se indican.

3.3 Metodologías

3.3.1 Medición de niveles de agua

Los trabajos de terreno de medición de niveles han sido realizados por las empresas ETFA GP consultores, desde diciembre 2020 hasta el mes de febrero 2021, y AGQ desde abril 2021, previo al inicio de la fase de construcción, hasta la actualidad. Las acreditaciones ETFA correspondientes se encuentran adjuntas en el Anexo B.

El nivel freático en las aguas subterráneas se mide con pozómetro contrastado. La medición en “metros bajo el punto de medición” (m b.p.m.) es milimétrica y se verifica, al menos, dos veces antes de anotar el valor en el registro. El nivel freático puede ser estático o dinámico, siendo necesario consignar esto en el registro.

Los puntos de monitoreo donde no se logra detectar a qué nivel se encuentra el espejo de agua al interior de los piezómetros, se informan en Constancias de Terreno, donde se presenta la justificación por la visita realizada al punto de monitoreo sin obtener la medida requerida, ya sea porque el punto se encuentra dañado, seco, obstruido o congelado. En general, estas son las principales causas derivadas del reconocimiento y control de puntos.

3.3.2 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro

La frecuencia de medición para los niveles de agua del sector Salar de Pedernales es mensual y la entrega de la información a la autoridad es semestral.

El presente reporte consolida las mediciones mensuales realizadas desde diciembre del 2020 hasta diciembre del 2023, con el objetivo de incorporar en cada reporte semestral la data histórica y poder observar las tendencias y comportamientos de los niveles en el tiempo y, además, cumpliendo con el compromiso de iniciar el monitoreo con la activación de la fase de construcción del PRI, iniciada en abril del 2021.

3.3.3 Instalación de sensores de medición continua

Para el control continuo de los niveles se instalaron sensores tipo CTD-Diver de presión. Los pozos donde se encuentran instalados dichos sensores se presentan en la Tabla 3-5, donde se indica el tipo de sensor instalado y la profundidad de instalación. La frecuencia de medición de estos instrumentos es de entre 3 y 12 horas, considerando como mínimo dos medidas diarias.

Tabla 3-5: Características de los sensores de medición continua instalados en la Cuenca del Salar de Pedernales.

Nombre	Tipo de punto de monitoreo	Modelo CDT-Diver	Profundidad de instalación (m b.n.t.)
CP-11	Control	DI271 (10 m)	9,55
PB-9	Control	DI272 (50 m)	29,83
PB-10	Control	DI272 (50 m)	41,85
PB-11	Control	DI272 (50 m)	26,46
PB-12	Control	DI272 (50 m)	34,69
PU-31	Control	S/I	S/I
PU-45	Control	DI271 (10 m)	1,64
PU-48	Control	DI271 (10 m)	1,07

Nombre	Tipo de punto de monitoreo	Modelo CDT-Diver	Profundidad de instalación (m b.n.t.)
PU-49	Control	DI271 (10 m)	1,70
PU-43	Seguimiento	DI271 (10 m)	1,74
PU-44	Seguimiento	DI271 (10 m)	1,80
P-19a	Control (*)	DI271 (10 m)	21,00
P-4a	Control (*)	DI271 (10 m)	21,12
CP-06	Avenimiento	DI701	49,34
CP-09	Avenimiento	DI801	138,52
CP-10	Avenimiento	DI801	10,07
CP-13	Avenimiento	DI801	116,44
POD-1	Control (**)	DI273 (100 m)	59,50
POD-2	Control (**)	DI273 (100 m)	74,50
POD-3	Control (**)	DI272 (50 m)	44,30
PBT-14	Control (**)	DI273 (100 m)	74,19
B-2	Control (**)	DI273 (100 m)	59,47
B-4	Control (**)	DI273 (100 m)	84,46

S/I: Sin información.

(*): En el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado (CDE), los pozos P-19a y P-4a han sido establecidos como pozos de control.

(**): Pozos de control asociados al nuevo campo de pozos de bombeo. Sus umbrales serán definidos posterior al inicio de la operación del nuevo campo de pozos.

Los datos de presión informados en metros de columna de agua son corregidos con los datos medidos de la presión atmosférica. Estos son registrados por instrumentos Baro-Divers (modelo DI 800) y que se encuentran instalados en los piezómetros PB-10, PU-48, CP-10, CP-11, CP-13, POD-1 y P-4a. Estos datos son representativos en un radio de 15 km, distancia que varía si la topografía del sector se mantiene homogénea.

Los datos corregidos son transformados a profundidad de nivel de agua considerando las diferencias entre las mediciones continuas del sensor, las cuales son aplicadas directamente a la profundidad de instalación del instrumento. Si se observan saltos en el registro continuo, debido a cambios de la profundidad de instalación entre campañas, la diferencia es aplicada en todo el mes en que se observa esa diferencia.

Además, para el caso de las punteras o piezómetros donde el nivel se encuentra somero al nivel de terreno, los datos son calibrados utilizando el nivel medido en el mes de muestreo. Esto se debe a que, al utilizar la profundidad de instalación del sensor, se observa una diferencia significativa, considerando los niveles más superficiales que se registran en estos puntos y la diferencia de densidades.

4 Resultados

4.1 Niveles de agua

En el segundo semestre del 2023 se realizaron 71 mediciones del nivel de manera manual en el sector del Salar de Pedernales durante cada mes. Los resultados son presentados en la Tabla 4-1, donde se indica el mes de la medición, el tipo de punto de monitoreo y las mediciones del nivel de agua. Los datos se presentan adjuntos en el Anexo C en el formato que la SMA exige.

Tabla 4-1: Medición de nivel de agua en los puntos de monitoreo, segundo semestre de 2023.

Nombre punto	Tipo de punto de monitoreo	Umbral (m b.n.t.)	Medición nivel de agua (m b.n.t.)					
			Jul.23	Ago.23	Sep.23	Oct.23	Nov.23	Dic.23
B-1	Seguimiento	N/A	32,873	32,856	32,876	32,846	32,836	32,829
B-2	Control (*)	N/A	46,261	46,243	46,248	46,222	46,213	46,198
B-3	Seguimiento	N/A	88,612	88,584	88,594	88,586	88,564	88,559
B-4	Control (*)	N/A	69,930	69,895	69,865	69,770	69,740	69,683
CP-11	Control	2,4	1,217	1,207	1,177	1,137	1,137	1,177
J-2	Seguimiento	N/A	15,809	15,812	15,814	15,804	15,809	15,797
J-3	Seguimiento	N/A	16,230	15,940	15,545	15,663	15,705	15,707
J-5	Seguimiento	N/A	5,470	5,470	5,480	5,480	5,475	5,480
J-6	Seguimiento	N/A	15,315	15,315	15,315	15,300	15,310	15,300
J-7	Seguimiento	N/A	3,086	3,083	3,096	3,096	3,086	3,081
P-114	Bombeo	N/A	51,147	51,085	50,942	50,810	50,717	50,587
P-19a	Avenimiento/Control	20,4	17,227	17,215	17,225	17,200	17,270	17,278
P-4a	Avenimiento/Control	19,2	16,302	16,292	16,292	16,282	16,257	16,262
P-5a	Seguimiento	N/A	23,349	23,326	23,431	23,321	23,306	23,296
P-7a	Seguimiento	N/A	33,858	33,833	33,798	33,813	33,803	33,791
PB-1	Seguimiento	N/A	15,461	17,446	15,466	15,441	15,446	15,442
PB-10	Control	20,2	17,193	17,178	17,200	17,170	17,145	17,240
PB-11	Control	26,7	21,666	21,656	21,666	21,636	21,615	21,631
PB-12	Control	18,6	15,380	15,362	15,362	15,352	15,322	15,312
PB-15	Seguimiento	N/A	11,823	11,824	11,826	11,828	11,841	11,836
PB-9	Control	24,8	21,726	21,708	21,741	21,701	21,671	21,664
PBD-2	Bombeo	N/A	44,160	43,950	43,552	43,135	42,845	42,452

Nombre punto	Tipo de punto de monitoreo	Umbral (m b.n.t.)	Medición nivel de agua (m b.n.t.)					
			Jul.23	Ago.23	Sep.23	Oct.23	Nov.23	Dic.23
PBT-14	Control (*)	N/A	56,040	55,890	55,253	54,725	54,297	53,677
PE-1	Seguimiento	N/A	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido
PE-3	Seguimiento	N/A	96,090	96,027	96,027	96,102	96,017	96,027
PO-1	Seguimiento	N/A	15,433	15,429	15,428	15,422	15,428	15,413
PO-2	Seguimiento	N/A	22,155	22,150	22,170	22,150	22,195	22,160
PO-3	Seguimiento	N/A	29,373	29,361	29,381	29,383	29,390	29,396
PO-4	Seguimiento	N/A	9,963	9,978	9,996	10,124	10,169	10,141
POD-1	Control (*)	N/A	49,810	49,815	49,821	49,820	49,823	49,830
POD-2	Control (*)	N/A	62,210	62,095	61,950	61,720	61,507	61,412
POD-3	Control (*)	N/A	35,795	35,380	34,810	34,005	33,576	33,069
POLLP	Seguimiento	N/A	30,108	30,098	30,108	30,073	30,055	30,051
PU-1	Seguimiento	N/A	0,517	0,514	0,515	0,524	0,555	0,575
PU-10	Seguimiento	N/A	0,655	0,680	0,688	0,720	0,730	0,710
PU-2	Seguimiento	N/A	0,662	0,660	0,667	0,674	0,695	0,712
PU-3	Seguimiento	N/A	0,249	0,259	0,254	0,279	0,294	0,324
PU-31	Control	0,8	Congelado	Congelado	Congelado	0,127	0,137	0,152
PU-4	Seguimiento	N/A	0,899	0,889	0,884	0,879	0,920	1,014
PU-41	Seguimiento	N/A	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
PU-42	Seguimiento	N/A	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
PU-43	Seguimiento	N/A	0,693	0,690	0,683	0,681	0,686	0,673
PU-44	Seguimiento	N/A	0,145	0,149	0,162	0,175	0,175	0,165
PU-45	Control	0,8	0,470	0,477	0,488	0,498	0,530	0,500
PU-46	Seguimiento	N/A	0,216	0,221	0,229	0,235	0,241	0,238
PU-47	Seguimiento	N/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A
PU-48	Control	0,6	0,117	0,117	0,142	0,182	0,165	0,177
PU-49	Control	1,8	0,867	0,846	0,708	0,727	0,802	0,717
PU-5	Seguimiento	N/A	0,673	0,650	0,645	0,640	0,665	0,685
PU-50	Seguimiento	N/A	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
PU-6	Seguimiento	N/A	0,677	0,657	0,647	0,677	0,752	0,817
S-3	Seguimiento	N/A	1,568	1,573	1,575	1,698	1,584	1,573
S-6	Seguimiento	N/A	1,035	1,088	1,090	1,080	1,096	1,070
CP-01A	Avenimiento	N/A	11,820	11,815	11,815	11,828	11,828	11,830

Nombre punto	Tipo de punto de monitoreo	Umbral (m b.n.t.)	Medición nivel de agua (m b.n.t.)					
			Jul.23	Ago.23	Sep.23	Oct.23	Nov.23	Dic.23
CP-03A	Avenimiento	N/A	26,988	26,865	26,740	26,695	26,672	26,830
CP-04A	Avenimiento	N/A	58,189	58,160	58,155	58,191	58,190	58,180
CP-06	Avenimiento	N/A	41,450	41,420	41,420	41,429	41,440	41,420
CP-08	Avenimiento	N/A	216,969	216,959	216,962	216,960	216,973	216,960
CP-09	Avenimiento	N/A	133,010	133,030	133,015	133,040	133,047	133,040
CP-10	Avenimiento	N/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A
CP-13	Avenimiento	N/A	111,935	111,460	111,455	111,467	111,471	111,460
P-2	Avenimiento	N/A	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido
PE-2	Avenimiento	N/A	64,150	64,170	64,165	64,170	64,170	64,215
SON-2	Avenimiento	N/A	7,153	7,165	7,158	7,164	7,163	7,167
SON-5	Avenimiento	N/A	3,332	3,340	3,345	3,338	3,345	3,342
SON-6	Avenimiento	N/A	1,593	1,605	1,610	1,605	1,608	1,606
SPX-1	Avenimiento	N/A	61,696	61,690	61,698	61,660	61,665	61,700
SPX-2	Avenimiento	N/A	56,332	56,325	56,326	56,300	56,300	56,335
SPX-3	Avenimiento	N/A	22,773	22,775	22,769	22,753	22,750	22,783
SPX-4	Avenimiento	N/A	18,365	18,365	18,355	18,345	18,345	18,373
SPX-5	Avenimiento	N/A	73,360	Seco	73,467	73,522	73,550	73,595

(*): Pozos de control asociados al nuevo campo de pozos de bombeo. Sus umbrales serán definidos posterior al inicio de la operación del nuevo campo de pozos.

S/A: Sin acceso.

N/A: No aplica.

5 Discusión de resultados

5.1 Evolución temporal en los puntos de seguimiento

Las mediciones efectuadas de niveles freáticos de agua subterránea, desde la campaña de diciembre 2020 hasta la campaña de diciembre 2023 en los puntos considerados para el plan de monitoreo del Salar de Pedernales, son presentadas en las siguientes figuras.

En las punteras (PU-1, PU-2, PU-3, PU-4, PU-5, PU-6, PU-10, PU-44, PU-46 y PU-47) se registran variaciones, en general, de carácter estacional, por lo que, durante el segundo semestre 2023, se registra una disminución en la mayoría de las punteras, salvo en el punto PU-43, cuya tendencia es ascendente desde el inicio de sus registros (a excepción de una disminución puntual de 0,21 m respecto a la tendencia en marzo de 2023 que podría deberse a un error de medición).

Por otro lado, existe una leve tendencia al alza en los niveles medidos de los puntos B-1, B-3, J-6, P-5a, P-7a y POLLP entre diciembre de 2020 y diciembre de 2023. El resto de los puntos presenta variaciones poco significativas, de carácter estacional o ligeros descensos y recuperaciones que podrían deberse a ensayos o periodos de tomas de muestras para control de calidad hidroquímica.

Por su parte, el punto J-6 registró un descenso del nivel de agua de un metro durante febrero y marzo de 2022, alcanzando un nivel de 16,321 m b.n.t. y, a partir de mayo 2022, volvió a registrar valores en torno a su tendencia original (levemente ascendente), por lo que los niveles en los dos meses indicados podrían deberse a un error de medición.

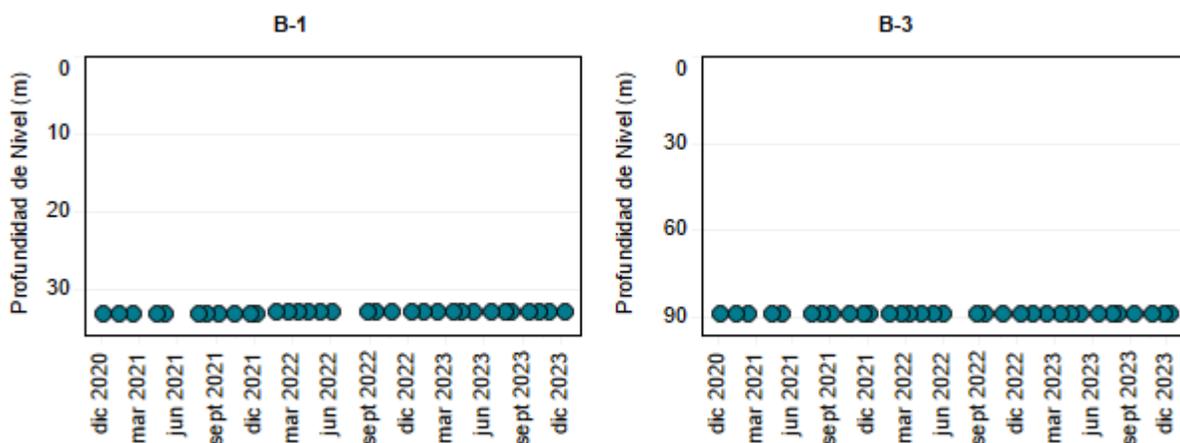


Figura 5-1: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento B-1 y B-3.

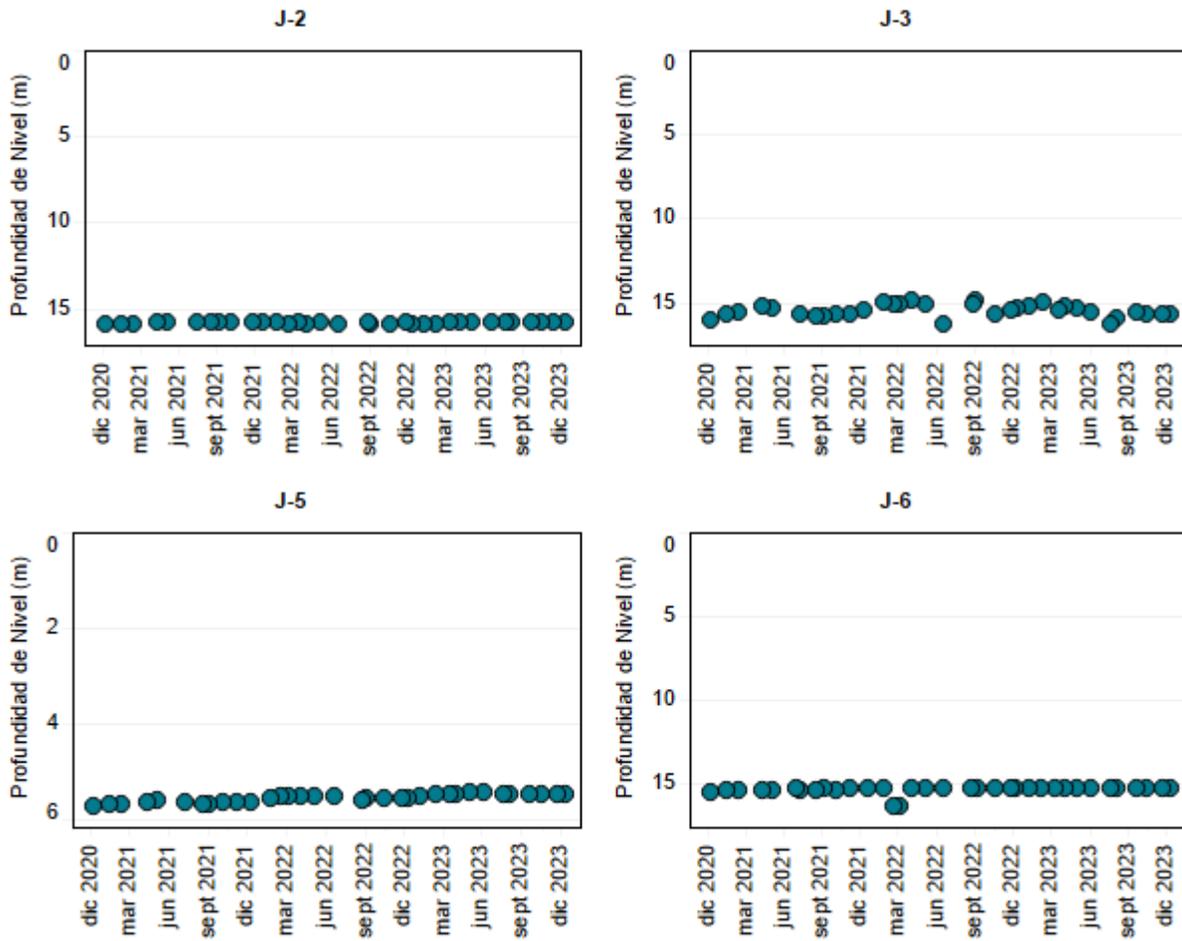


Figura 5-2: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-2, J-3, J-5 y J-6.

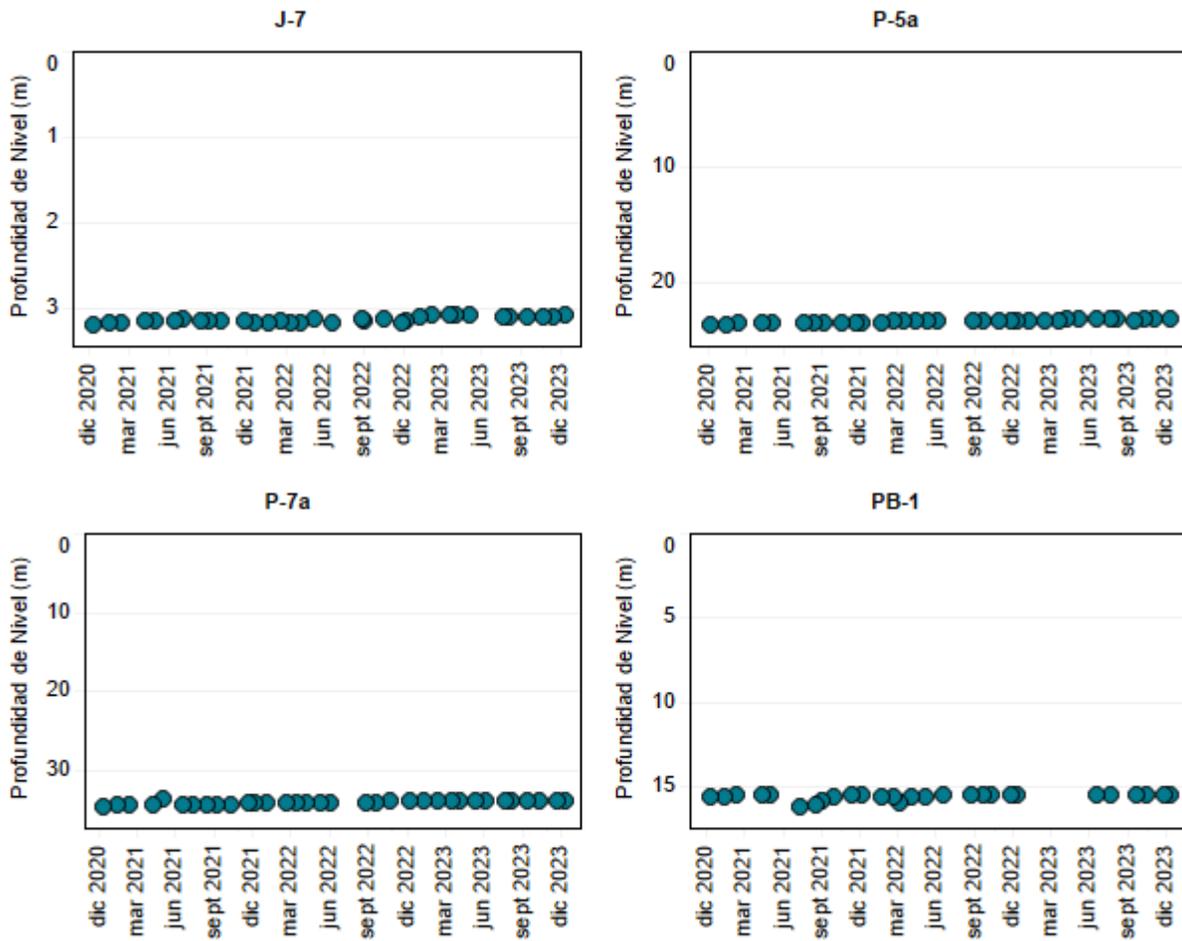


Figura 5-3: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-7, P-5a, P-7a y PB-1.

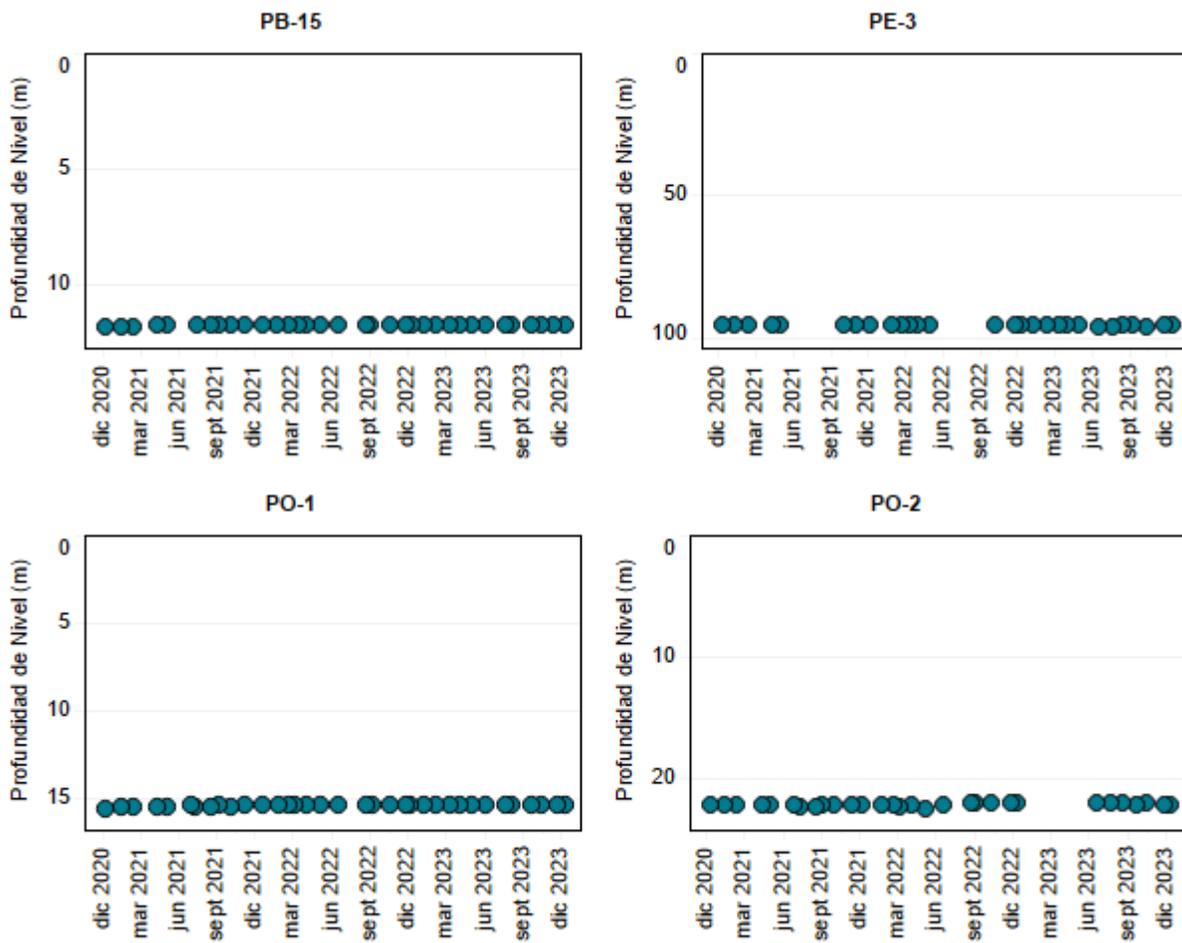


Figura 5-4: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PB-15, PE-3, PO-1 y PO-2.

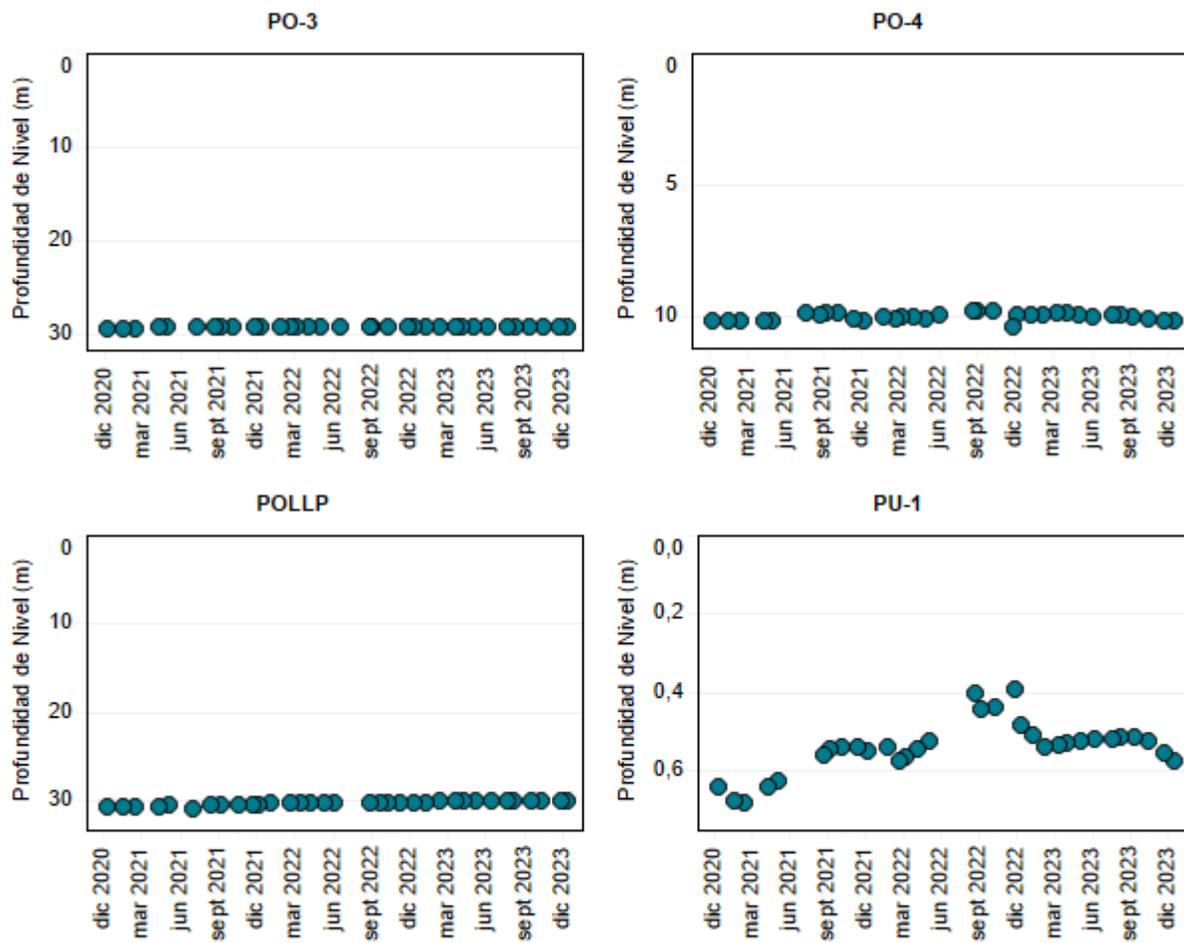


Figura 5-5: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PO-3, PO-4, POLLP y PU-1.

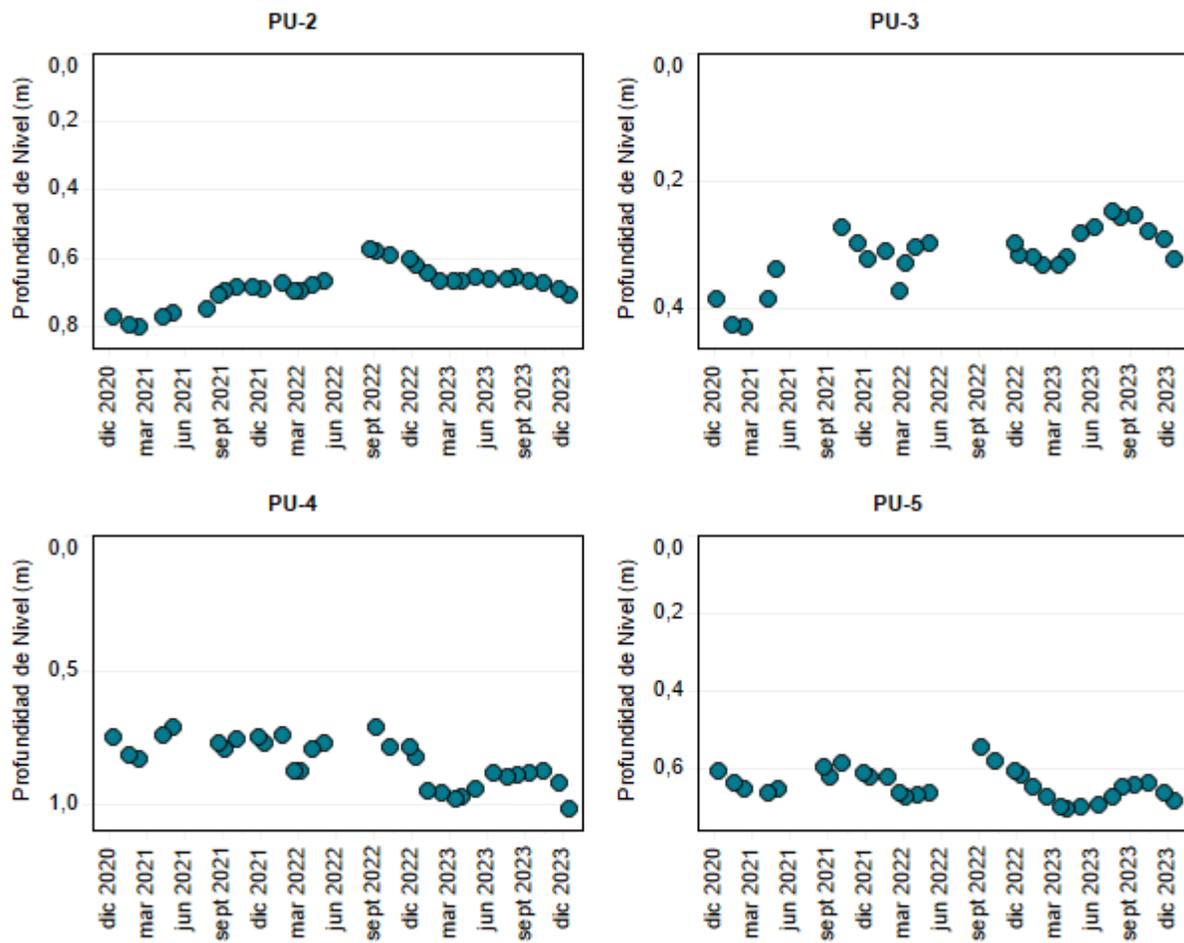


Figura 5-6: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-2, PU-3, PU-4 y PU-5.

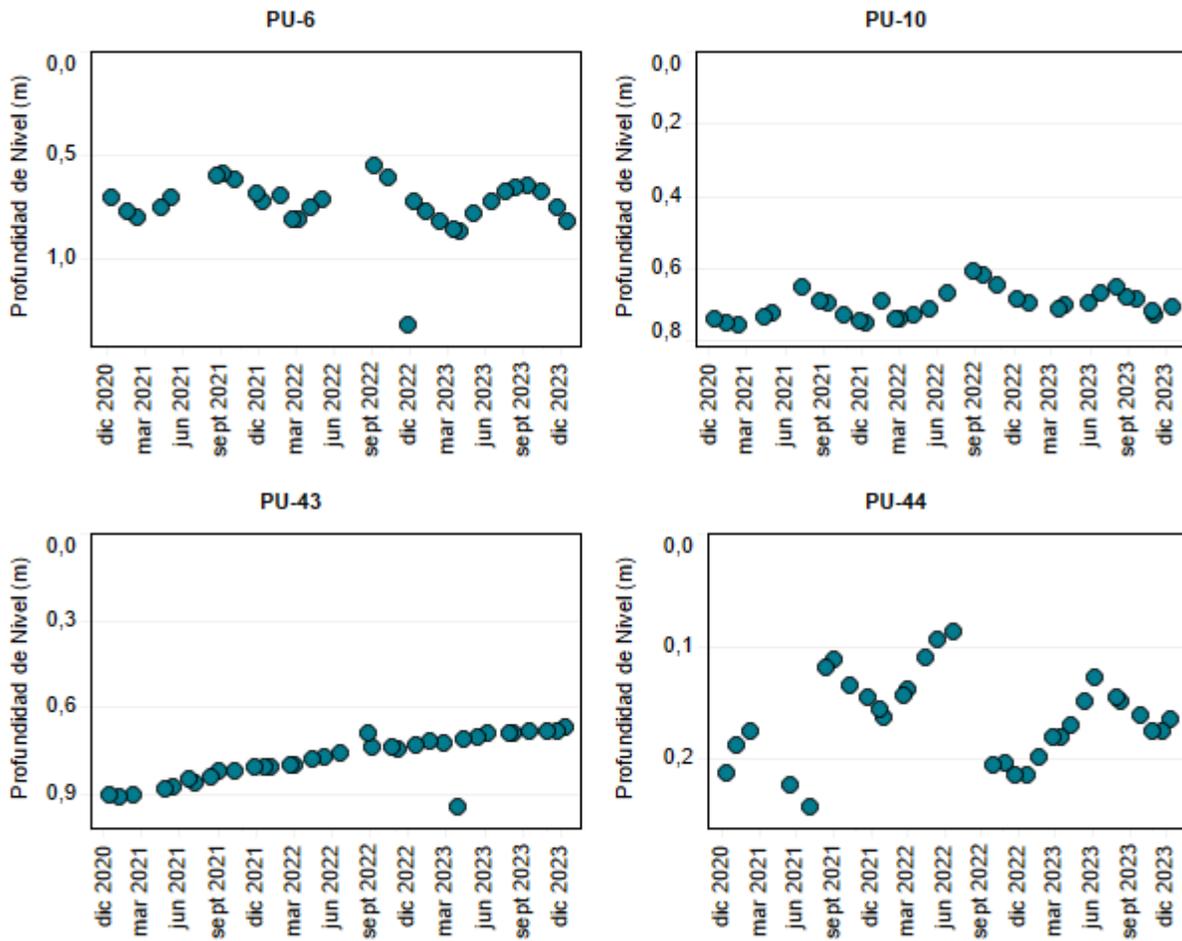


Figura 5-7: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-6, PU-10, PU-43 y PU-44.

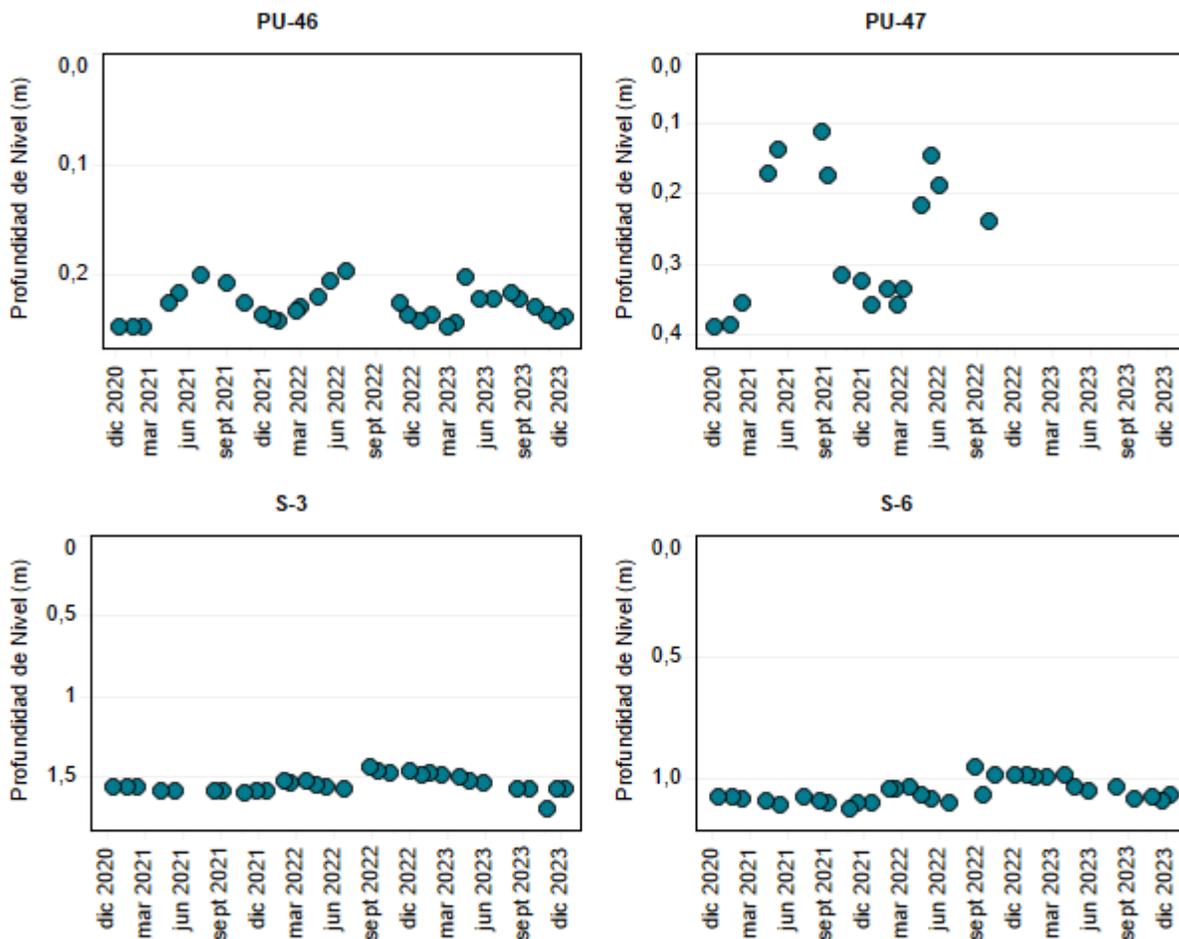


Figura 5-8: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-46, PU-47, S-3 y S-6.

Adicionalmente a los puntos anteriores, a continuación, entre la Figura 5-9 y la Figura 5-13, se presenta la variación de los niveles de agua en los puntos de monitoreo establecidos en el Avenimiento con el Consejo de Defensa del Estado (CDE). Cabe señalar que desde mayo 2022 no es posible el acceso al punto de monitoreo CP-10.

Respecto a estos puntos, los niveles de agua en los pozos CP-01A, CP-04A, CP-06, CP-08, CP-09, CP-13, PE-2, SPX-1, SPX-2, SPX-3 y SPX-4 se mantienen sin variaciones significativas durante el período reportado. Por su parte, se observa una ligera tendencia al descenso en el nivel de agua del pozo SPX-5 desde el inicio de los registros y, posteriormente, se evidencia un aumento puntual en marzo y abril de 2023, retornando a su tendencia original el mes siguiente (mayo 2023).

Cabe destacar que en febrero de 2022 se identificó una disminución de nivel en el punto SPX-1 de aproximadamente 20 metros y durante abril de 2022 se detectó una disminución de nivel en el punto CP-01A de aproximadamente 46 m. En ambos casos se ha considerado un error de medición debido a que durante los meses posteriores se midieron niveles consistentes con los registros anteriores a las mediciones anómalas.

Por otro lado, los pozos SON-2, SON-5 y SON-6 presentaron un aumento en el nivel de agua en agosto de 2022, a partir de lo cual presentan una tendencia a la estabilización (Figura 5-11).

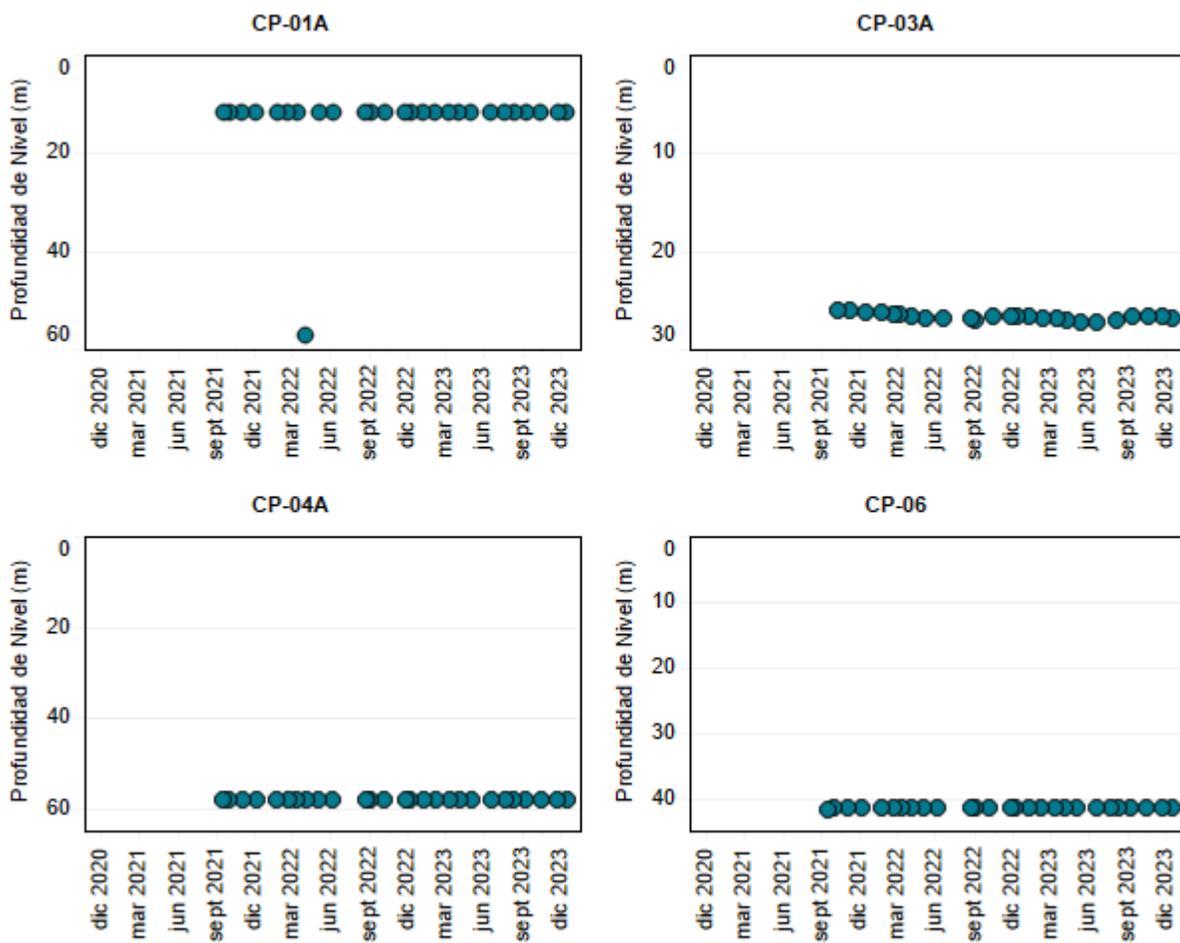


Figura 5-9: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-01A, CP-03A; CP-04A y CP-06.

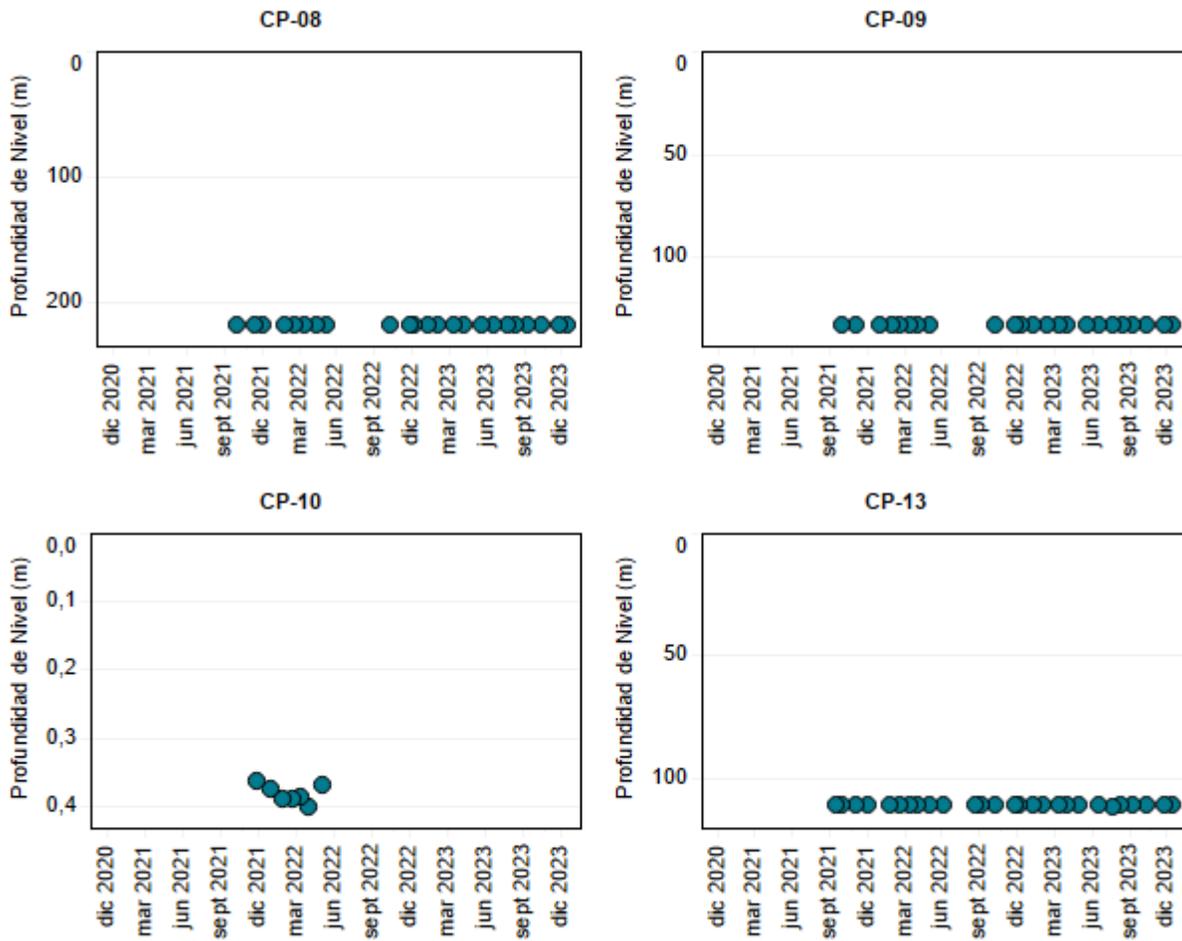


Figura 5-10: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-08, CP-09; CP-10 y CP-13.

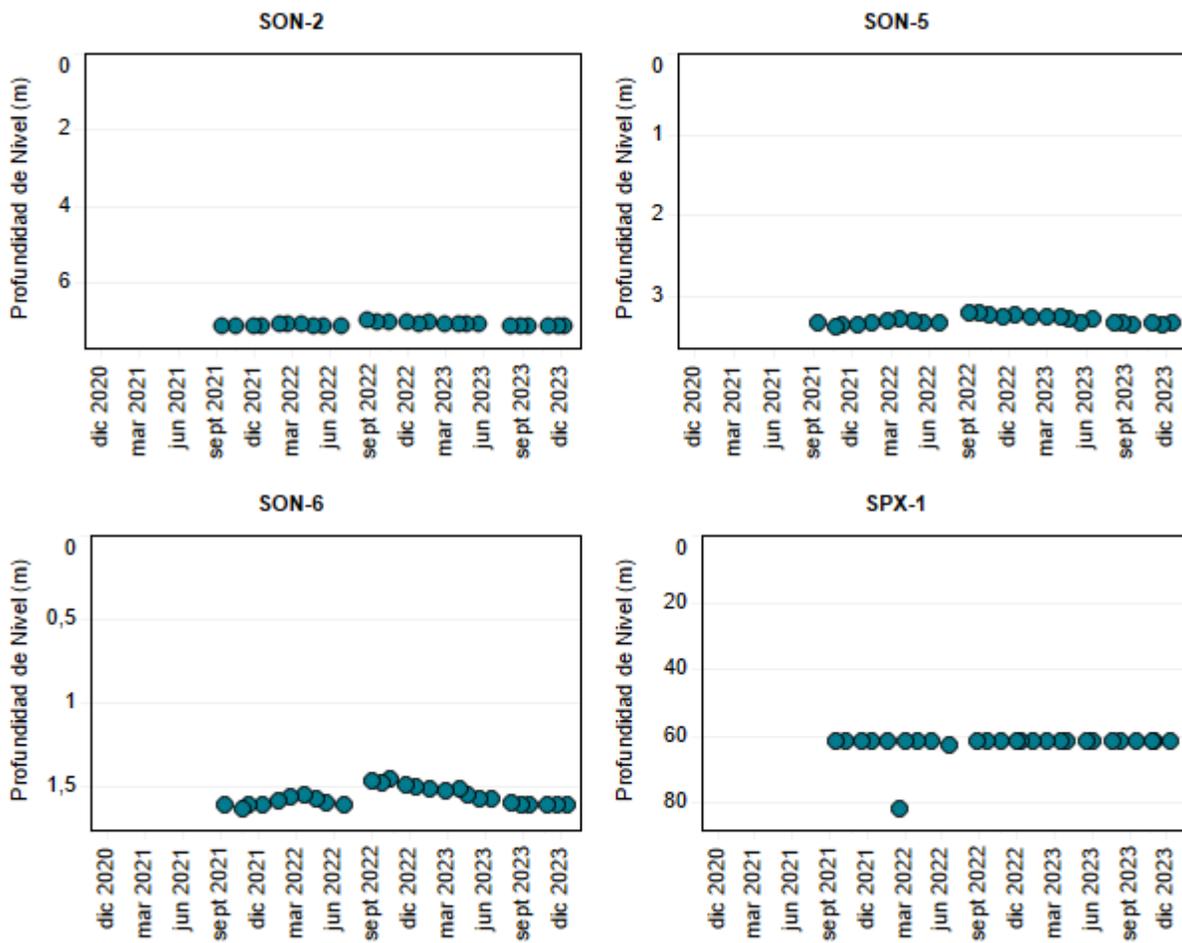


Figura 5-11: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SON-2, SON-5; SON-6 y SPX-1.

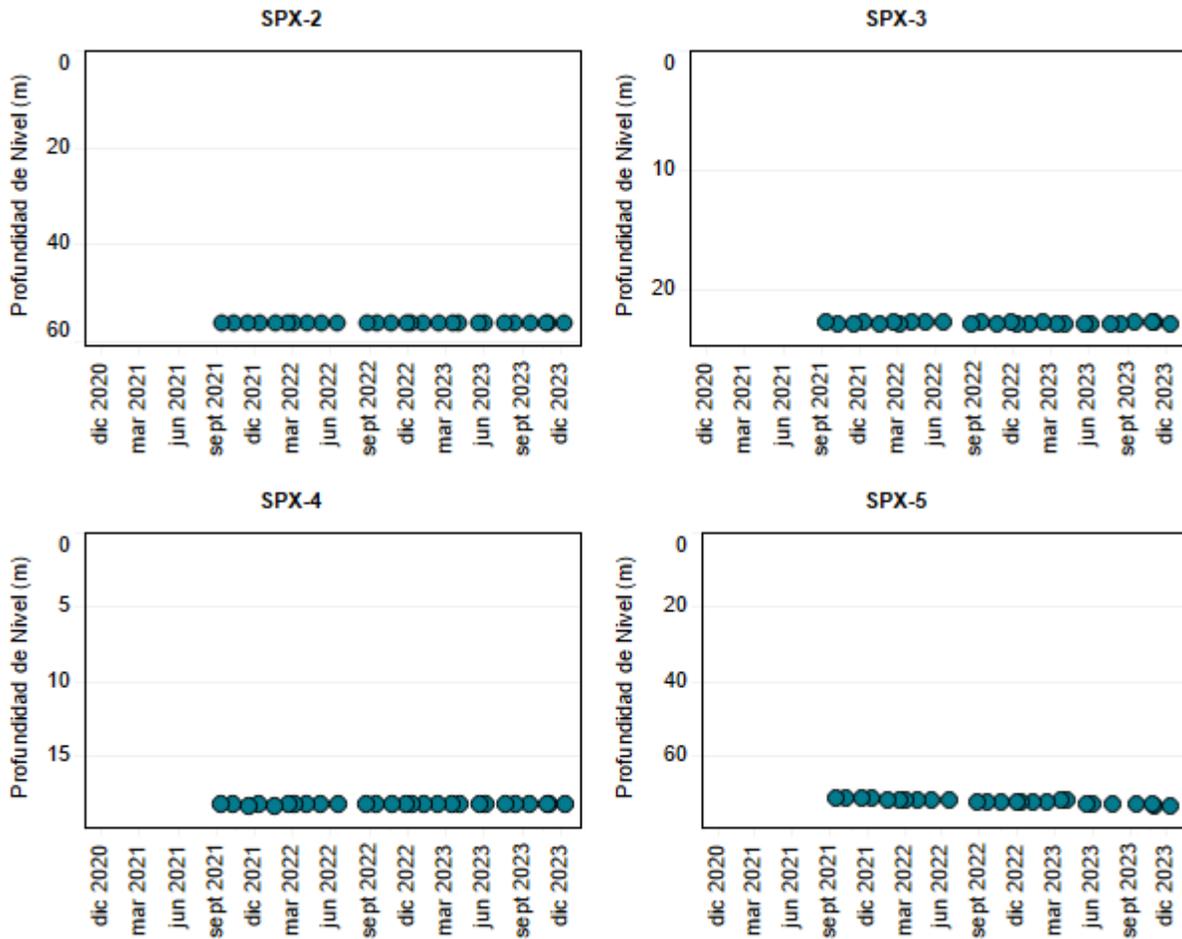


Figura 5-12: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SPX-2, SPX-3; SPX-4 y SPX-5.

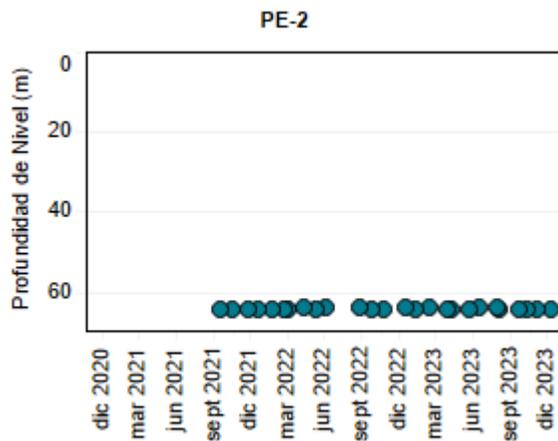


Figura 5-13: Profundidad de nivel de agua en el punto de monitoreo por Avenimiento PE-2.

Finalmente, en la Figura 5-14 se ilustran los pozos de bombeo PBD-2 y P-114 asociados al nuevo campo de pozos de bombeo y cuya tendencia tiende al alza en los niveles de agua desde el inicio de los registros.

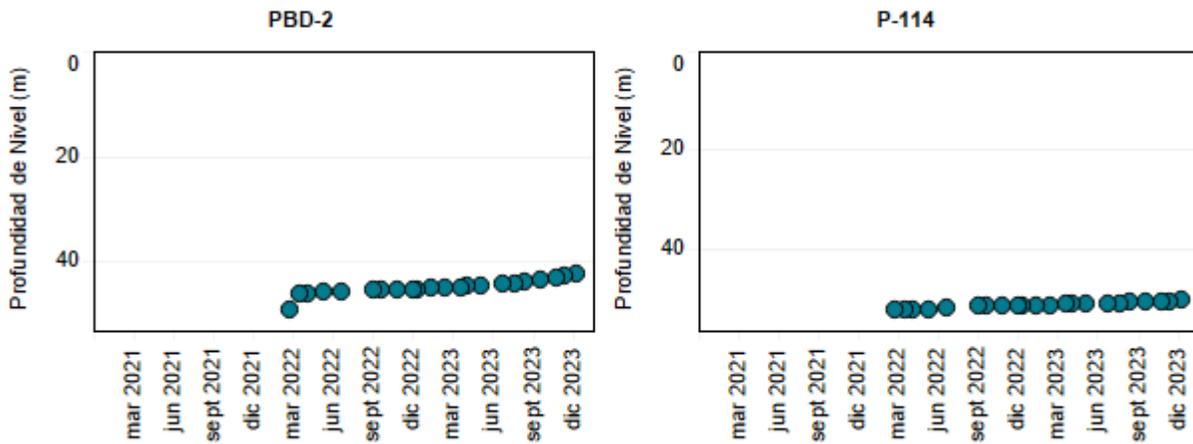


Figura 5-14: Profundidad de nivel de agua en los pozos de bombeo PBD-2 y P-114 asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

5.2 Evolución temporal en los puntos de control

Las mediciones efectuadas de niveles freáticos de agua subterránea, desde la campaña de diciembre 2020 hasta la campaña de diciembre 2023 en los 11 puntos de control del Salar de Pedernales descritos en la RCA 19/2020 son presentadas en la Figura 5-15, Figura 5-16 y Figura 5-17.

En general, a la fecha se observa una ligera tendencia al alza de los niveles en los puntos de control CP-11, P-19a, P-4a, PB-9, PB-10, PB-11 y PB-12, salvo por la medición en junio 2023 del punto PB-11, que podría estar atribuido al descenso debido a la toma de muestra para control de calidad hidroquímica.

En cuanto a las punteras (PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49), por su parte, presentan variaciones marcadas de carácter estacional. Cabe señalar que la puntera PU-31 se mantuvo congelada desde junio hasta septiembre 2023.

Además, la profundidad de los niveles en todos los pozos de control se ha mantenido sobre los valores umbrales establecidos en la RCA N°19/2020 y en el marco del acuerdo de avenimiento y transacción con el Consejo de Defensa del Estado (CDE), en el caso de los puntos P-4a y P-19a.

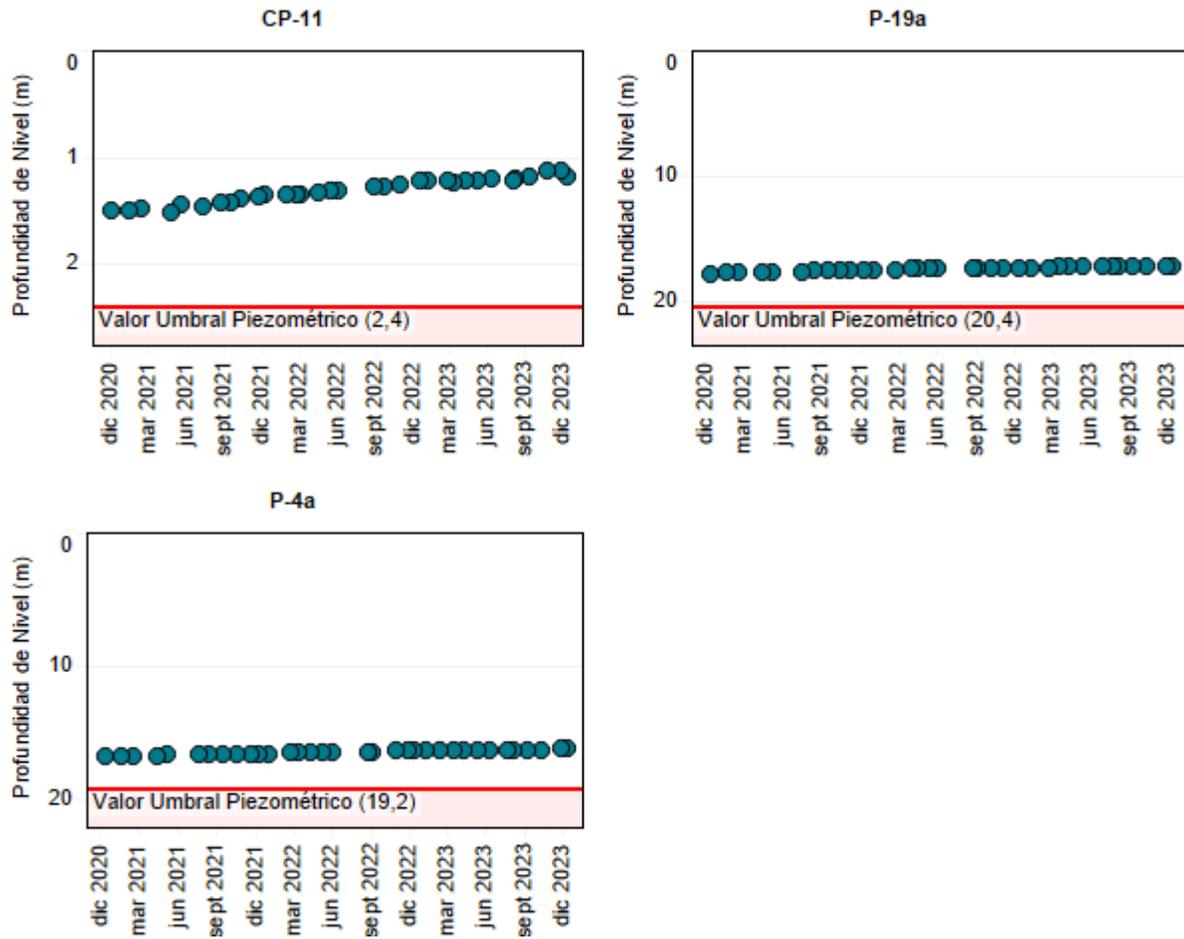


Figura 5-15: Profundidad de nivel en el punto de control CP-11, P-19a y P-4a.

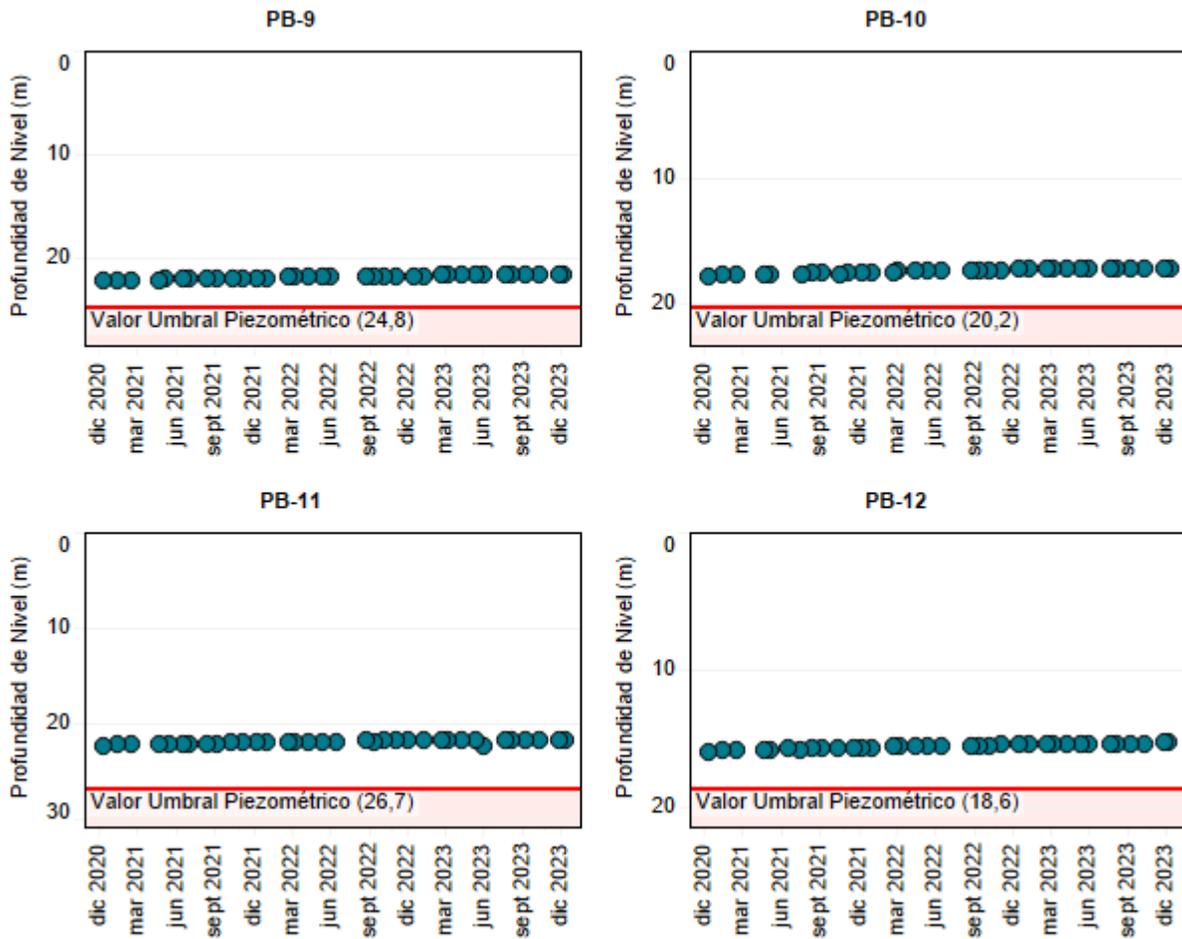


Figura 5-16: Profundidad de nivel en los puntos de control PB-9, PB-10, PB-11 y PB-12.

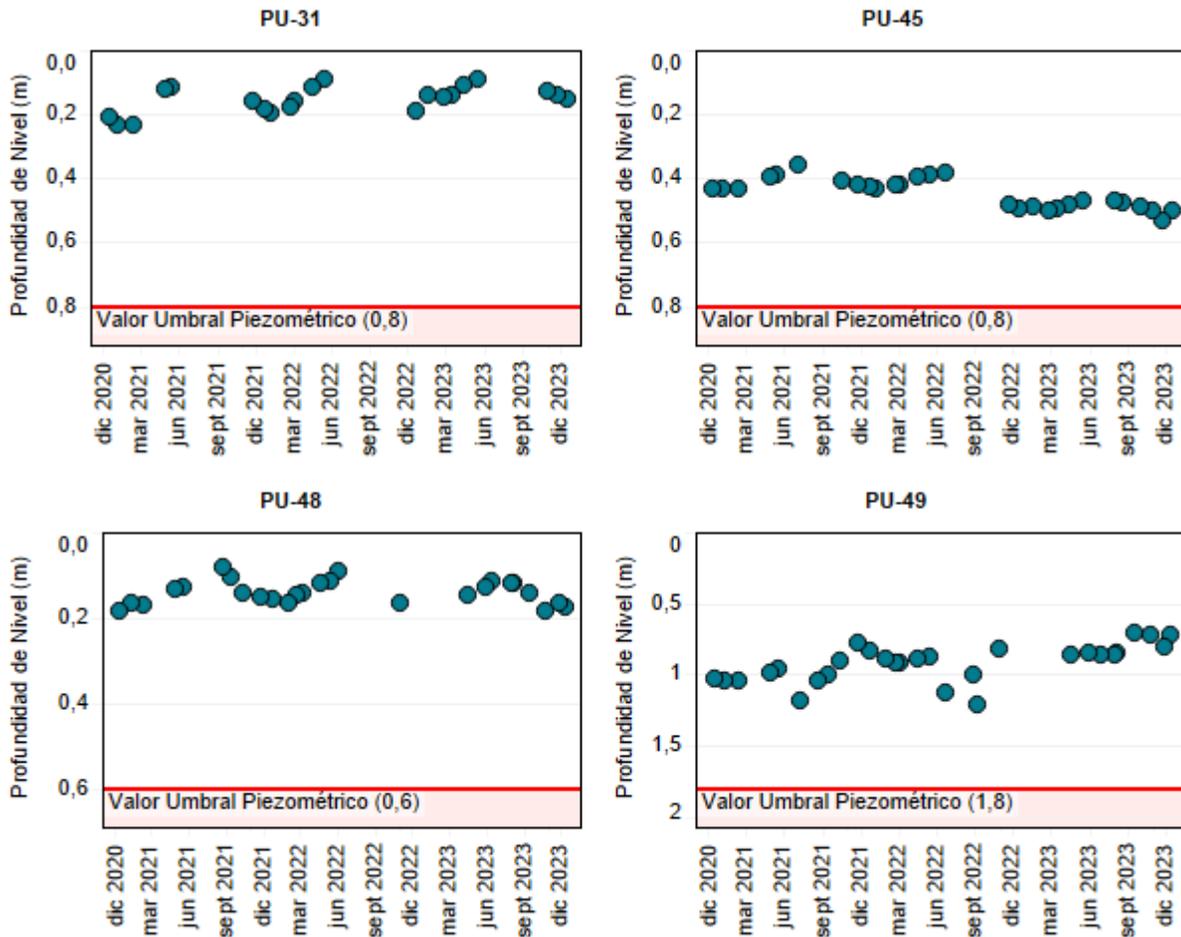


Figura 5-17: Profundidad de nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49.

Adicionalmente, en la Figura 5-18 y Figura 5-19, se presenta la variación de los niveles de agua mensuales en los puntos que servirán como puntos de control en el nuevo campo de bombeo comprometido en el PRI, y cuyo valor umbral será definido una vez comience la operación del nuevo campo de pozos.

Al respecto, los pozos POD-2, POD-3 y PBT-14 presentan un ligero ascenso del nivel de agua durante el período monitoreado. Por su parte, el pozo POD-1, muestra una tendencia descendente desde el inicio de su registro hasta la actualidad. En cuanto a los puntos B-2 y B-4, sus niveles tienden al alza, sin embargo, el punto B-2 registra una disminución de aproximadamente un metro durante diciembre 2022 y enero 2023, luego, retorna a su tendencia original en febrero de 2023.

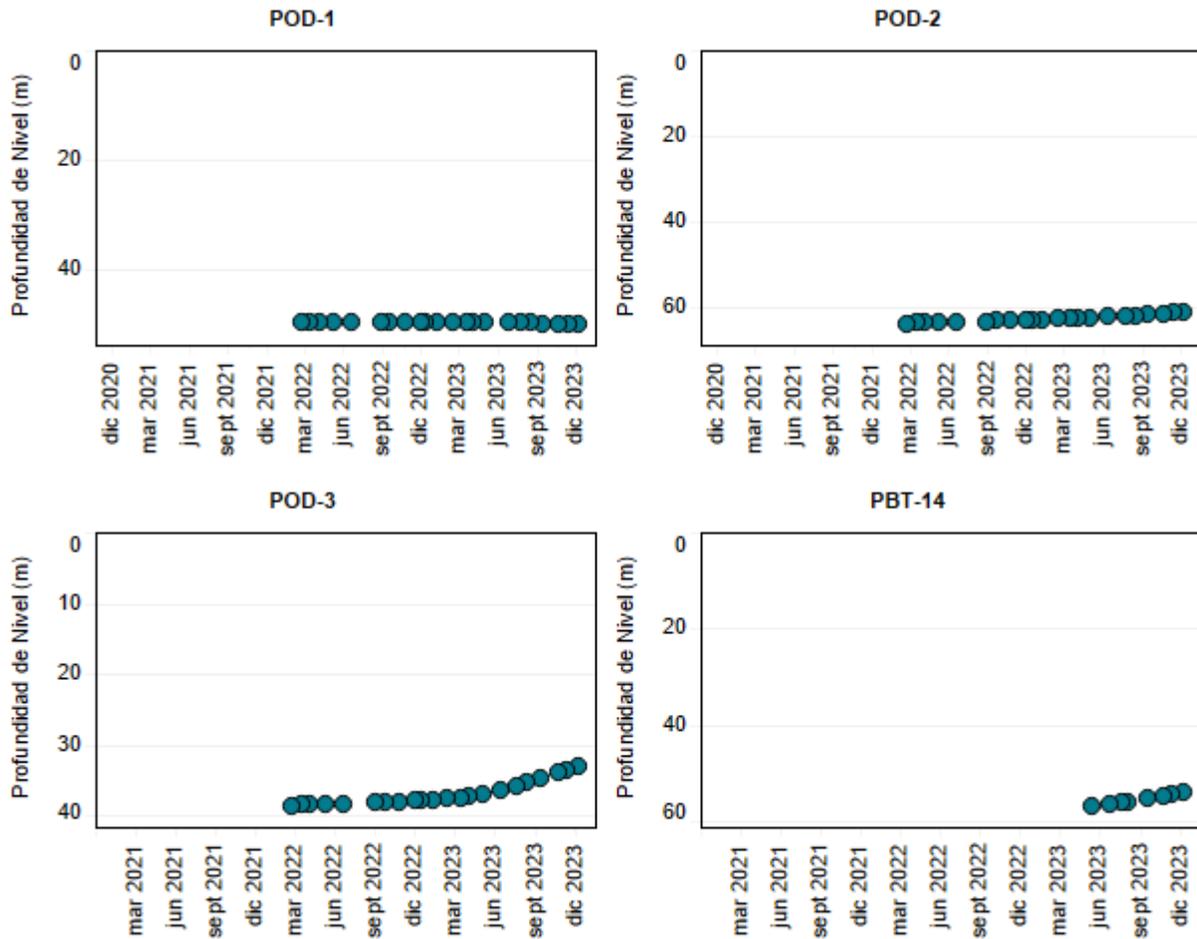


Figura 5-18: Profundidad de nivel de agua en los puntos de control POD-1, POD-2, POD-3 y PBT-14, asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

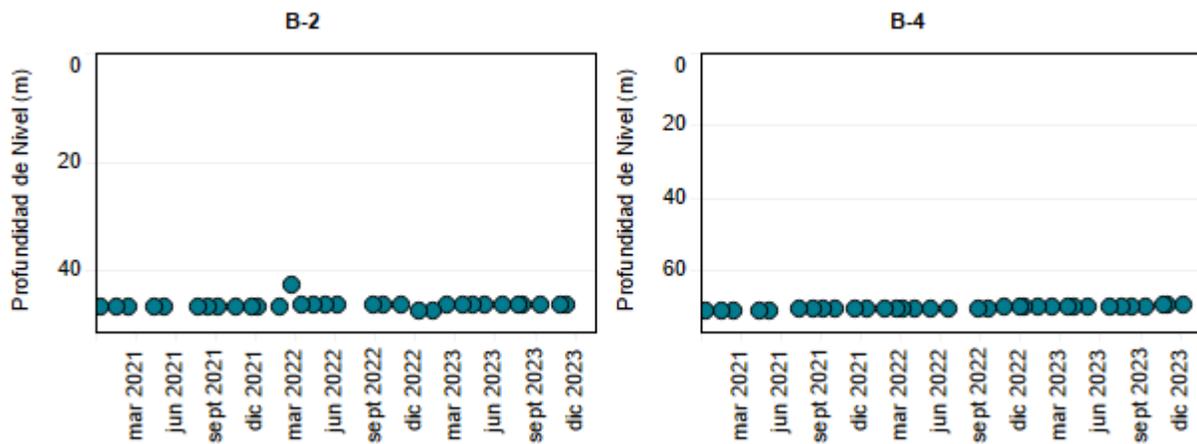


Figura 5-19: Profundidad de nivel de agua en los puntos de control B-2 y B-4, asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

5.3 Evolución temporal en puntos de monitoreo continuo

Las mediciones descargadas desde los equipos instalados en los 13 piezómetros del Salar de Pedernales (11 puntos de control y 2 puntos de seguimiento), correspondientes a los niveles de agua subterránea, desde diciembre 2020 hasta diciembre 2023, son presentadas en las siguientes figuras. Se incorporan, además, las mediciones mensuales realizadas por GP Consultores y AGQ (en naranja).

En varios de los puntos monitoreados continuamente se identifica una ligera tendencia al ascenso desde el inicio de los registros (CP-11, PB-9, PB-10, PB-11, PB-12, PU-43, P-4a y P-19a), salvo en los puntos CP-11 y PB-10 que, durante diciembre 2023, registran una disminución en la medición continua. Por otra parte, se identifican variaciones de carácter estacional en las punteras PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49. En la puntera PU-44 se observa una variación que puede asociarse a fenómenos externos a la medición de la presión en el pozo.

Durante marzo 2023 la puntera PU-43 evidenció una disminución puntual en torno a 0,22 m en la medición manual respecto a la tendencia, que no sería consistente con los registros del sensor, y por tanto podría indicar un error en la medición manual de dicho punto. En el caso de los puntos PU-31, PU-43, PU-45, PU-48 y PU-49 se identifican fluctuaciones entre junio y septiembre de 2022 y en mayo de 2023, las cuales podrían deberse a errores de medición en el sensor, posiblemente por efectos de congelamiento. Cabe señalar que la puntera PU-31 no presenta medición continua entre los meses de junio y septiembre 2023, ya que se encontraba congelada.

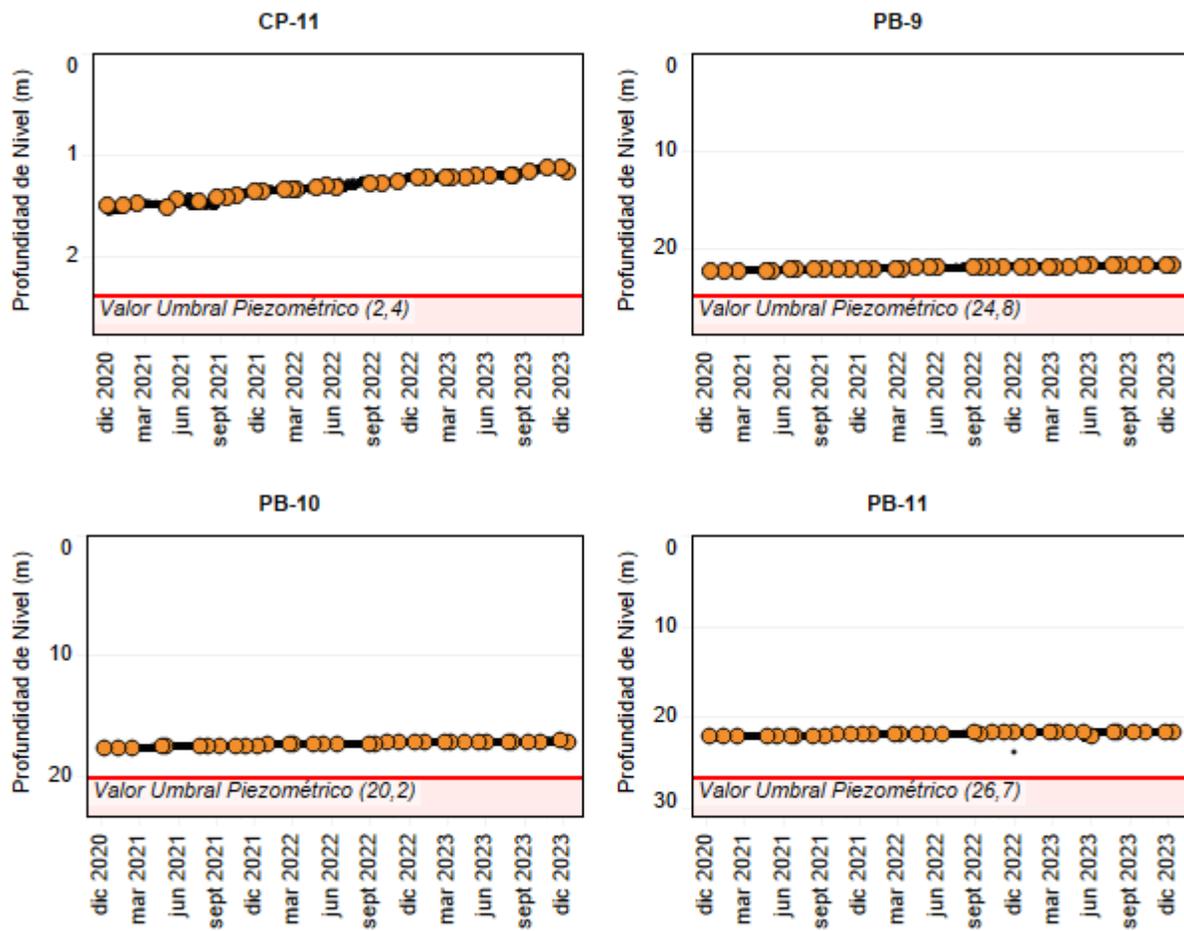


Figura 5-20: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos CP-11, PB-9, PB-10 y PB-11.

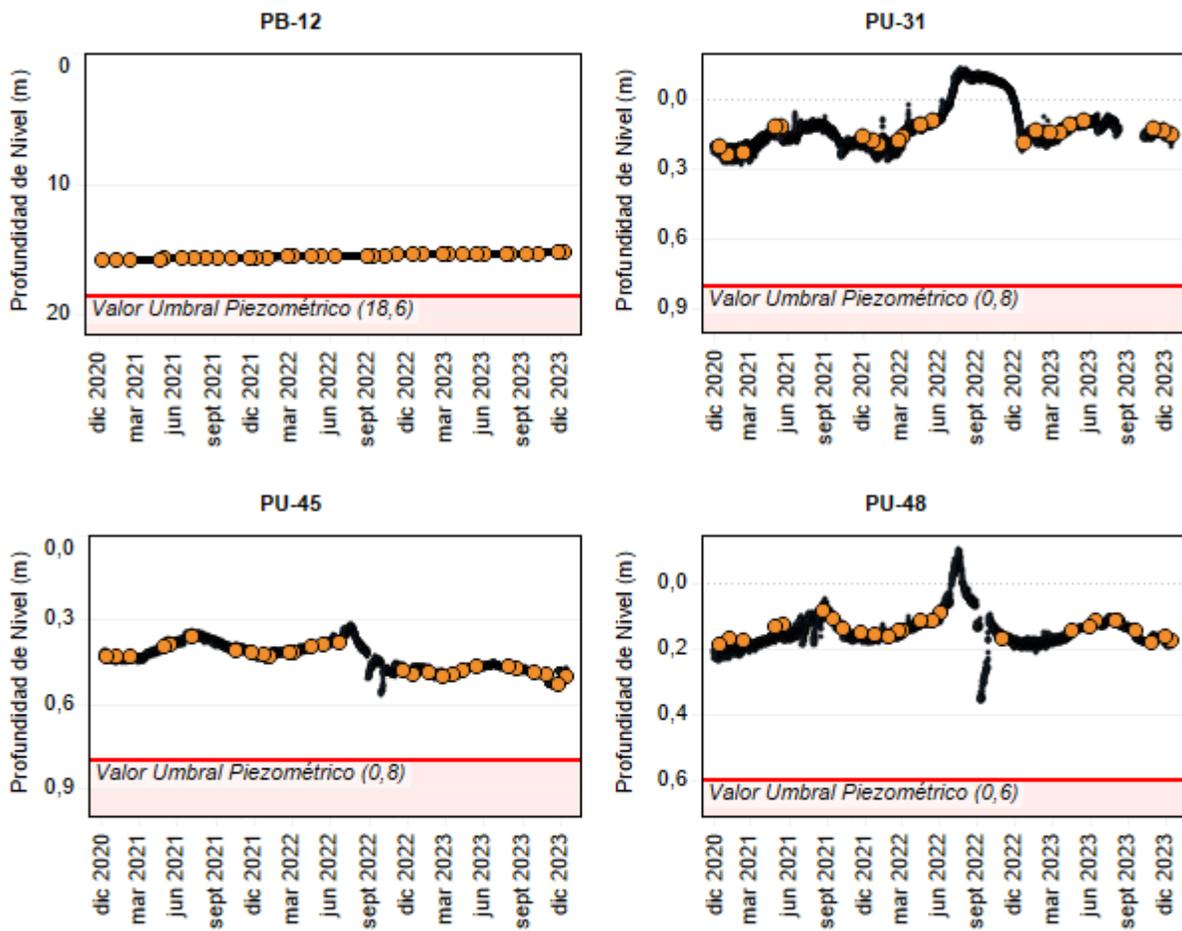


Figura 5-21: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos PB-12, PU-31, PU-45 y PU-48.

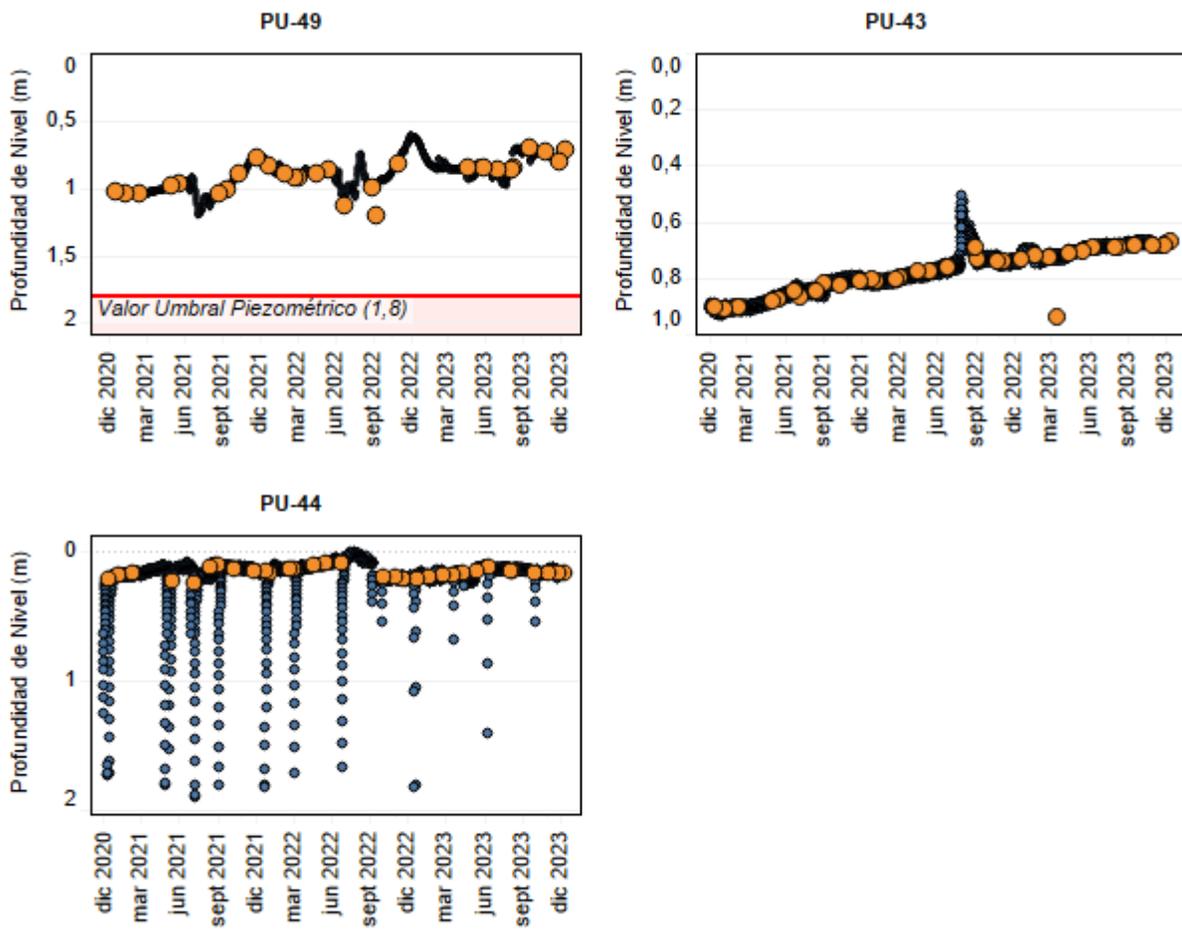


Figura 5-22: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos PU-49, PU-43 y PU-44.

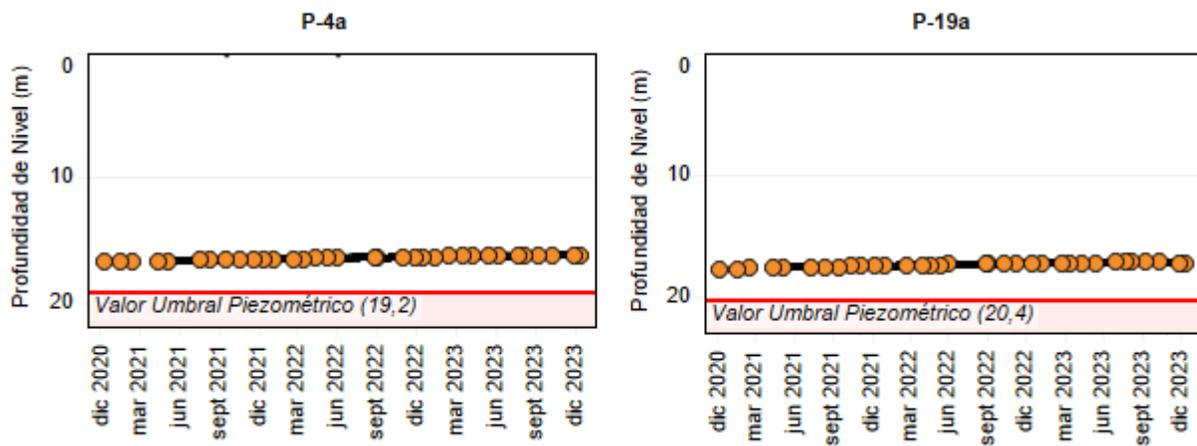


Figura 5-23: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos P-4a y P-19a.

5.4 Evolución temporal en puntos de monitoreo continuo establecidos en el avenimiento

Las mediciones descargadas desde los equipos instalados en los puntos establecidos en el avenimiento, correspondientes a los niveles de agua subterránea desde diciembre 2020 hasta diciembre 2023, son presentadas en la Figura 5-24 y corresponden a los puntos CP-06, CP-09, CP-10 y CP-13. Cabe destacar que desde mayo de 2022 no ha sido posible descargar los datos del punto CP-10, dado que no es posible el acceso al sector donde se encuentra localizado. Además, se incorporan las mediciones mensuales realizadas por AGQ (en naranja).

En los puntos de avenimiento monitoreados continuamente se evidencian ligeros descensos de nivel en el pozo CP-10 desde septiembre de 2021 hasta abril de 2022, y aumentos de nivel en el punto CP-06 desde inicios del registro hasta marzo de 2022, a partir de lo cual se tienden a estabilizar los valores. En los demás pozos no se observan variaciones significativas de los niveles, manteniéndose estables desde el mes de referencia de diciembre de 2020 hasta la fecha.

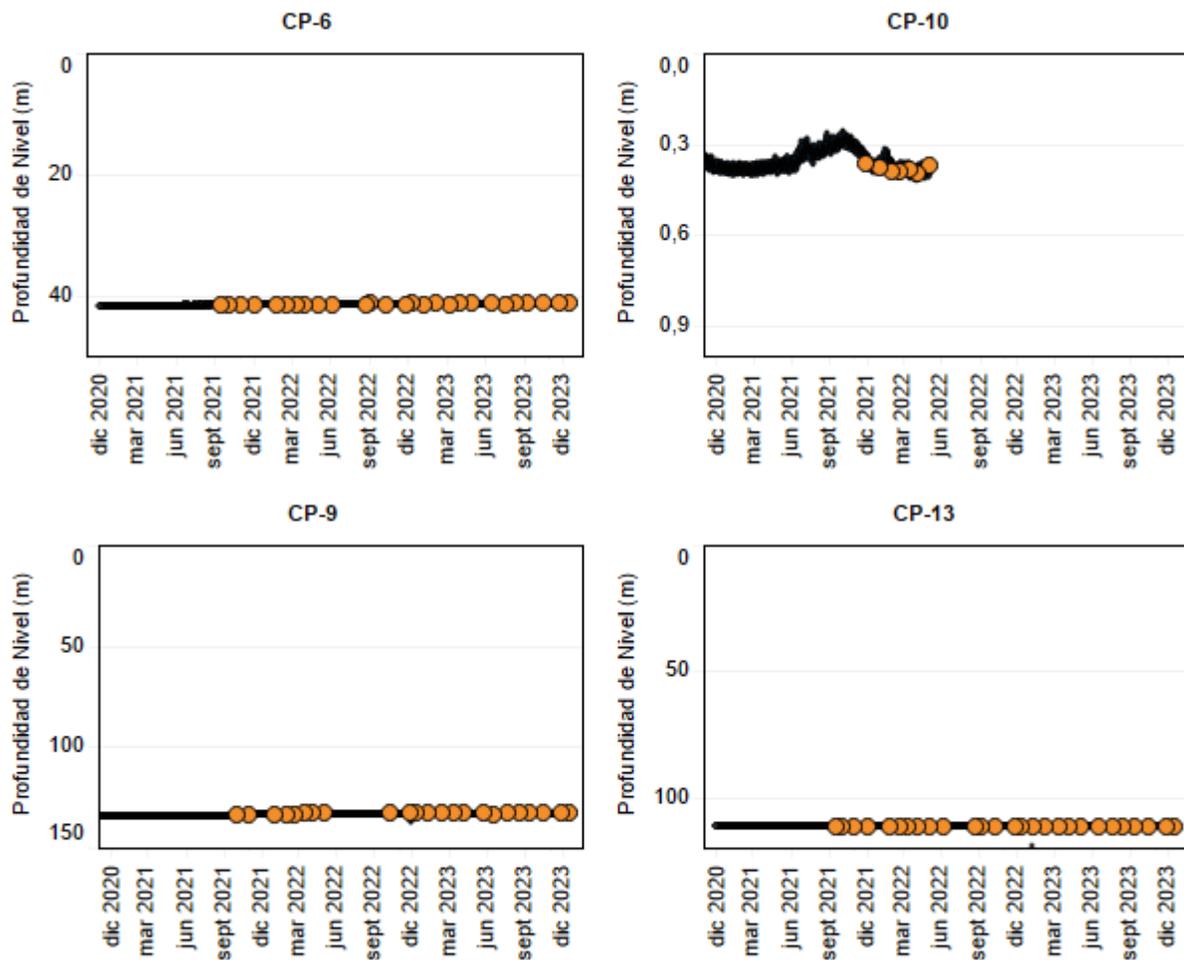


Figura 5-24: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos CP-06, CP-09, CP-10 y CP-13.

6 Conclusiones

Las campañas de medición que se incluyen en el presente informe semestral fueron realizadas en terreno entre los meses de diciembre de 2020 y diciembre de 2023. Las mediciones fueron llevadas a cabo por las ETFA GP Consultores (hasta febrero de 2021) y AGQ (desde abril 2021), autorizadas para los alcances de medición en aguas subterráneas.

Durante las actividades mensuales, se considera un programa de mediciones con 65 puntos (47 pozos o piezómetros y 18 punteras), que corresponden al Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) en la Cuenca de Pedernales. Dentro de los puntos medidos, se incluyen 18 puntos incorporados por Codelco debido al avenimiento con CDE. De forma adicional, y desde febrero de 2022, se registran mediciones de niveles en 5 puntos ubicados en el que será el nuevo campo de pozos de bombeo (PBD-2, POD-1, POD-2, POD-3 y P-114), mientras que desde mayo 2023 se inicia la medición en el punto PBT-14 (también considerado como punto de control para el nuevo campo de bombeo).

Las mediciones del nivel freático se realizan de manera exitosa, dejando constancia en los puntos donde se encuentran secos, sin acceso o congelados al momento de su monitoreo.

Se realiza la descarga de los equipos instalados en 16 de los 17 puntos de monitoreo continuo que han sido reportados hasta la fecha, dado que el punto CP-10 se encontró sin acceso. Estos datos son calibrados utilizando el valor de nivel medido en las campañas mensuales.

Por último, y de acuerdo con el Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario (PSAV) en la Cuenca de Pedernales, todos los puntos de control presentan mediciones de la profundidad del nivel por sobre los valores umbrales definidos, cumpliendo con los compromisos establecidos en la RCA N°19/2020 del Proyecto Rajo Inca.

7 Referencias

- Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N.º 19/2020. Proyecto Rajo Inca.
- Apéndice 1 del Anexo 1-2 Adenda Excepcional EIA Proyecto Rajo Inca. Plan de Seguimiento y Plan de Alerta Temprana Pedernales.
- GP Consultores Ltda. (2021) Medición de Niveles Freáticos Piezometría (Mensual) Salar de Pedernales enero 2021. Código Informe 4400253014-06310-INFSU-00014.
- Gestión Ambiental Consultores (2019) Anexo 8-4 Adenda 1 EIA Proyecto Rajo Inca. Esquema de los Pozos y Punteras en Salar de Pedernales.

Anexos

Anexo A. Compromisos Ambientales

Anexo B. Certificaciones ETFA

Anexo C. Niveles, formato SMA

Anexo D. Certificados Mediciones

Anexo E. Esquemas de habilitación de pozos