

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

**SERVICIO DE MONITOREO AMBIENTAL, AGUAS, RILES Y
RESIDUOS SÓLIDOS, DIVISIÓN SALVADOR**

4600024727-097

**MEDICIONES DE NIVELES FREÁTICOS Y
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (SEMESTRAL)
SALAR DE PEDERNALES
DICIEMBRE 2024**

0	20-03-25	REVISION CODELCO	PE	MB	CBG	KAG
B	19-03-25	REVISION CODELCO	PE	MB	CBG	KAG
REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
			AGQ CHILE S.A.			CODELCO
						Pág. 1 de 64
		4600024727-097				Rev.0

Servicio de monitoreo ambiental, aguas, RILES y residuos sólidos

División Salvador

Medición de niveles freáticos y
conductividad eléctrica
Salar de Pedernales

Segundo semestre 2024

Marzo 2025

1205_AGQ_Nivel-CE_SegundoSemestre2024_SPED_v0



Índice

Resumen Ejecutivo	7
1 Introducción.....	8
1.1 Objetivos	8
2 Antecedentes.....	9
2.1 Compromisos ambientales	9
3 Materiales y métodos.....	17
3.1 Descripción del área de estudio.....	17
3.2 Puntos y programa de monitoreo.....	18
3.3 Metodologías.....	23
3.3.1 Medición de niveles de agua.....	23
3.3.2 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	24
3.3.3 Instalación de sensores de medición continua	24
4 Resultados	27
4.1 Niveles de agua	27
5 Discusión de resultados.....	30
5.1 Evolución temporal en los puntos de seguimiento	30
5.2 Evolución temporal en los puntos de control	43
5.3 Evolución temporal del nivel y conductividad eléctrica en puntos de monitoreo continuo	48
5.4 Evolución temporal del nivel en puntos de monitoreo continuo establecidos en el avenimiento	59
6 Conclusiones.....	61
7 Referencias	62
Anexo A. Compromisos Ambientales	64
Anexo B. Certificaciones ETFA.....	64
Anexo C. Niveles, formato SMA.....	64
Anexo D. Certificados Mediciones	64
Anexo E. Esquemas de habilitación de pozos.....	64

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”.....	10
Tabla 3-1: Puntos de seguimiento correspondientes a 47 pozos/piezómetros.	18
Tabla 3-2: Puntos de seguimiento correspondientes a 18 punteras.....	20
Tabla 3-3: Puntos asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.	21
Tabla 3-4: Valores Umbrales en puntos de control del PSAV.	23
Tabla 3-5: Características de los sensores de medición continua instalados en la Cuenca del Salar de Pedernales.....	24
Tabla 4-1: Medición de nivel de agua en los puntos de monitoreo, segundo semestre de 2024.....	27

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.	17
Figura 3-2: Ubicación puntos de monitoreo cuenca Salar de Pedernales.	22
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.	31
Figura 5-3: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-7, P-5a, P-7a y PB-1.	32
Figura 5-4: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PB-15, PE-3, PO-1 y PO-2.	33
Figura 5-5: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PO-3, PO-4, POLLP y PU-1.	34
Figura 5-6: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-2, PU-3, PU-4 y PU-5.	35
Figura 5-7: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-6, PU-10, PU-43 y PU-44.	36
Figura 5-8: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-46, PU-47, S-3 y S-6.	37
Figura 5-9: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-01A, CP-03A; CP-04A y CP-06.	38
Figura 5-10: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-08, CP-09; CP-10 y CP-13.	39
Figura 5-11: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SON-2, SON-5; SON-6 y SPX-1.	40
Figura 5-12: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SPX-2, SPX-3; SPX-4 y SPX-5.	41
Figura 5-13: Profundidad de nivel de agua en el punto de monitoreo por Avenimiento PE-2.	41
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.	42
Figura 5-15: Profundidad de nivel en el punto de control CP-11, P-19a y P-4a.	44
Figura 5-16: Profundidad de nivel en los puntos de control PB-9, PB-10, PB-11 y PB-12.	45
Figura 5-17: Profundidad de nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49.	46

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. 47

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. 47

Figura 5-20: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de control CP-11, PB-11 y PB-12. 49

Figura 5-21: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos CP-11, PB-11 y PB-12..... 50

Figura 5-22: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PB-9 y PB-10. . 51

Figura 5-23: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PB-9 y PB-10. 51

Figura 5-24: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49. 52

Figura 5-25: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49. 53

Figura 5-26: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-43 y PU-44. 54

Figura 5-27: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PU-43 y PU-44..... 54

Figura 5-28: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos de control/avenimiento P-4a y P-19a. 55

Figura 5-29: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos P-4a y P-19a. 55

Figura 5-30: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos asociados al nuevo campo de pozos PBT-14, POD-1, POD-2 y POD-3. 56

Figura 5-31: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PBT-14, POD-1, POD-2 y POD-3. 57

Figura 5-32: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos asociados al nuevo campo de pozos B-2 y B-4. 58

Figura 5-33: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos B-2 y B-4. 58

Figura 5-34: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos CP-06, CP-09, CP-10 y CP-13. 60

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 2024. 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.

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.

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.

Respecto a las conductividades eléctricas muestreadas in situ y en laboratorio, los valores registrados en la mayoría de los puntos monitoreados oscilan en torno a los 4.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con la excepción del punto POD-1, cuyos valores se desvían de este rango. Esta desviación podría deberse a la variabilidad en la profundidad de instalación del sensor.

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 2024, 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>

Tabla 13.1. Plan de Seguimiento Ambiental Voluntario en la Cuenca de Pedernales	
	<p>La frecuencia de medición será:</p> <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.

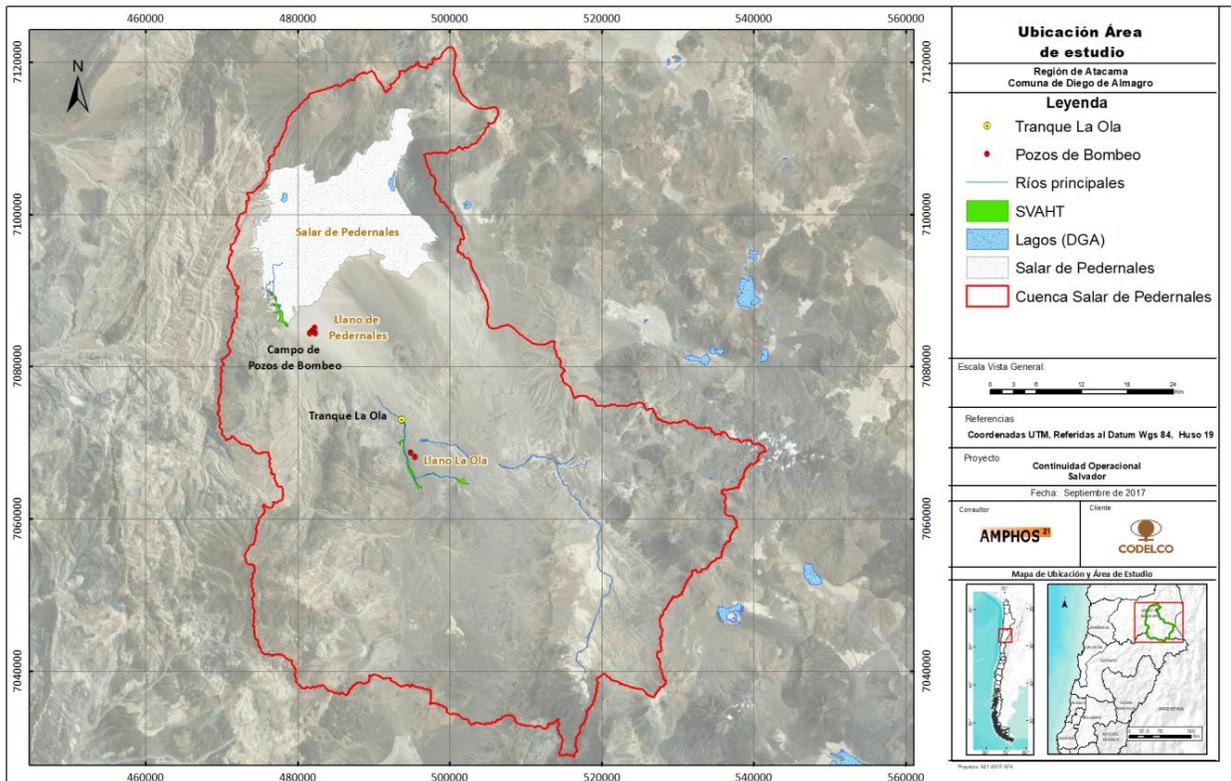


Figura 3-1: Mapa ubicación de la cuenca Salar de Pedernales. Fuente: Programa de Monitoreo cuenca de Salar de Pedernales, Amphos 21.

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 al menos dos veces al día el nivel de agua en 13 puntos de monitoreo ubicados en el entorno del SVAHT (6 punteras) y del campo de pozos de bombeo (7 pozos o piezómetros¹). Asimismo, también se considera la instalación de sensores en los puntos de seguimiento establecidos en el avenimiento (4 instalados en la actualidad).

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
CP-01A	494.111	7.058.035	3.662	Avenimiento	Mensual
CP-03A	504.990	7.068.033	3.812	Avenimiento	Mensual
CP-04a	493.781	7.051.547	3.723	Avenimiento	Mensual

¹ Los siete puntos mencionados incorporan los dos puntos de seguimiento originales que pasaron a ser puntos de control según nuevo campo de bombeo (puntos B-2 y B-4).

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
CP-06	493.449	7.043.350	3.807	Avenimiento	Mensual y Continua
CP-08	503.724	7.038.660	4.037	Avenimiento	Mensual
CP-09	504.870	7.058.107	3.944	Avenimiento	Mensual y Continua
CP-10	519.261	7.047.649	4.224	Avenimiento	Mensual y Continua
CP-11	478.477	7.087.322	3.360	Control	Mensual y Continua
CP-13	492.131	7.038.887	3.875	Avenimiento	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	7.085.060	3.375	Control (*)	Mensual y Continua
P-2	482.731	7.089.164	3.365	Avenimiento	Mensual
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
PB-1	494.921	7.068.711	3.617	Seguimiento	Mensual
PB-10	480.322	7.085.024	3.377	Control	Mensual y Continua
PB-11	479.585	7.084.355	3.382	Control	Mensual y Continua
PB-12	480.889	7.085.683	3.376	Control	Mensual y Continua
PB-15	494.580	7.073.062	3.572	Seguimiento	Mensual
PB-9	480.291	7.084.333	3.382	Control	Mensual y Continua
PE-1	490.135	7.095.609	3.355	Seguimiento	Mensual
PE-2	491.723	7.089.578	3.427	Avenimiento	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

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
S-3	480.927	7.103.716	3.351	Seguimiento	Mensual
S-6	477.663	7.101.110	3.350	Seguimiento	Mensual
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

(*): 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	3.354	Seguimiento	Mensual
PU-31	477.255	7.088.087	3.357	Control	Mensual y Continua
PU-41	478.239	7.085.423	3.364	Seguimiento	Mensual
PU-42	477.487	7.086.009	3.361	Seguimiento	Mensual
PU-43 (*)	476.634	7.087.031	3.358	Seguimiento	Mensual y Continua
PU-44 (*)	476.511	7.088.181	3.357	Seguimiento	Mensual y Continua
PU-45	476.775	7.089.102	3.356	Control	Mensual y Continua
PU-46	475.894	7.089.612	3.355	Seguimiento	Mensual

Nombre punto	Este WGS84 (m)	Norte WGS84 (m)	Cota (m s.n.m.)	Tipo de monitoreo	Frecuencia de medición
PU-47	476.857	7.089.917	3.354	Seguimiento	Mensual
PU-48	477.596	7.088.149	3.357	Control	Mensual y Continua
PU-49	478.041	7.087.092	3.359	Control	Mensual y Continua
PU-50	478.613	7.085.772	3.363	Seguimiento	Mensual

(*) El presente reporte también incluye los datos de medición continua en las punteras PU-43 y PU-44.

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	7.079.100	3.509	Pozo Bombeo	Mensual
POD-1	488.115	7.079.481	3.494	Control (*)	Mensual y Continua
POD-2	489.148	7.080.229	3.493	Control (*)	Mensual y Continua
POD-3	490.380	7.078.244	3.517	Control (*)	Mensual y Continua
P-114	491.498	7.078.991	3.520	Pozo Bombeo	Mensual
PBT-14	488.921	7.078.150	3.514	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.

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
P-19a	20,4 (*)
P-4a	19,2 (*)
PB-9	24,8
PB-10	20,2
PB-11	26,7
PB-12	18,6
PU-31	0,8
PU-45	0,8
PU-48	0,6
PU-49	1,8

(*): 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 2024, 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)	34,69
PB-10	Control	DI272 (50 m)	29,83
PB-11	Control	DI272 (50 m)	41,85
PB-12	Control	DI272 (50 m)	26,46
PU-31	Control	S/I	0,82
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)	20,36
P-4a	Control (*)	DI271 (10 m)	20,34
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)	84,46
B-2	Control (**)	DI273 (100 m)	74,19
B-4	Control (**)	DI273 (100 m)	59,47

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.

Es importante mencionar que, durante mayo 2023, fueron instalados los sensores de medición continua en los puntos POD-1, POD-2, PBT-14, B-2 y B-4, considerados como pozos de monitoreo y control para los 3 nuevos pozos de bombeo del proyecto, y que por lo tanto deben tener monitoreo continuado según RCA19/2020.

4 Resultados

4.1 Niveles de agua

En el segundo semestre del 2024 se realizaron 71 potenciales 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 2024.

Nombre punto	Tipo de punto de monitoreo	Umbral (m b.n.t.)	Medición nivel de agua (m b.n.t.)					
			Jul.24	Ago.24	Sep.24	Oct.24	Nov.24	Dic.24
B-1	Seguimiento	N/A	33,146	32,766	32,746	32,746	32,746	32,726
B-2	Control (*)	N/A	46,133	46,133	46,123	46,103	46,103	46,093
B-3	Seguimiento	N/A	88,504	88,484	88,464	88,474	88,464	88,434
B-4	Control (*)	N/A	69,120	69,070	68,930	68,780	68,710	68,580
CP-01A	Avenimiento	N/A	11,830	11,820	11,830	11,830	11,840	11,830
CP-03A	Avenimiento	N/A	25,560	25,360	23,230	23,370	23,480	23,900
CP-04A	Avenimiento	N/A	58,220	58,150	58,220	58,200	58,150	58,180
CP-06	Avenimiento	N/A	41,430	41,390	41,420	41,400	41,390	41,380
CP-08	Avenimiento	N/A	216,960	216,950	217,050	216,240	216,960	216,990
CP-09	Avenimiento	N/A	133,010	133,000	133,020	133,010	133,010	133,010
CP-10	Avenimiento	N/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A
CP-11	Control	2,4	1,107	1,147	1,077	1,097	1,097	1,087
CP-13	Avenimiento	N/A	111,490	111,450	111,490	111,480	111,440	111,450
J-2	Seguimiento	N/A	15,779	15,779	15,779	15,779	15,779	15,779
J-3	Seguimiento	N/A	16,625	16,825	15,825	16,205	16,185	16,045
J-5	Seguimiento	N/A	5,490	5,490	5,520	5,500	5,490	5,450
J-6	Seguimiento	N/A	15,260	15,270	15,260	15,250	15,240	15,240
J-7	Seguimiento	N/A	3,086	3,086	3,076	3,116	3,086	3,086
P-114	Bombeo	N/A	49,110	49,030	48,680	48,440	48,330	48,020
P-19a	Avenimiento/ Control	20,4	17,095	17,095	17,095	17,075	17,065	17,065
P-2	Avenimiento	N/A	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido

Nombre punto	Tipo de punto de monitoreo	Umbral (m b.n.t.)	Medición nivel de agua (m b.n.t.)					
			Jul.24	Ago.24	Sep.24	Oct.24	Nov.24	Dic.24
P-4a	Avenimiento/Control	19,2	16,182	16,172	16,162	16,152	16,142	16,142
P-5a	Seguimiento	N/A	23,226	23,216	23,196	23,196	23,186	23,186
P-7a	Seguimiento	N/A	33,703	33,693	33,663	33,663	33,643	33,643
PB-1	Seguimiento	N/A	15,416	15,396	15,396	15,386	15,386	15,396
PB-10	Control	20,2	17,060	17,070	17,060	17,040	17,030	17,030
PB-11	Control	26,7	21,526	21,546	21,536	21,576	21,506	21,516
PB-12	Control	18,6	15,242	15,252	15,232	15,222	15,212	15,212
PB-15	Seguimiento	N/A	11,831	11,831	11,851	11,851	11,851	11,861
PB-9	Control	24,8	21,581	21,591	21,581	21,561	21,551	21,551
PBD-2	Bombeo	N/A	39,430	39,330	38,950	38,740	38,640	38,380
PBT-14	Control (*)	N/A	46,520	46,090	44,970	44,040	43,720	43,130
PE-1	Seguimiento	N/A	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido	Obstruido
PE-2	Avenimiento	N/A	64,120	64,220	64,170	64,150	64,160	64,200
PE-3	Seguimiento	N/A	96,437	96,497	96,087	96,457	96,077	96,037
PO-1	Seguimiento	N/A	15,388	15,378	15,378	15,378	15,368	15,368
PO-2	Seguimiento	N/A	22,170	22,160	22,160	22,170	22,160	22,180
PO-3	Seguimiento	N/A	29,451	29,451	29,471	29,491	29,501	29,531
PO-4	Seguimiento	N/A	10,461	10,471	10,241	10,321	10,411	10,531
POD-1	Control (*)	N/A	49,850	49,840	49,850	49,850	49,860	49,860
POD-2	Control (*)	N/A	58,440	58,180	57,320	56,360	56,080	56,110
POD-3	Control (*)	N/A	31,170	31,140	31,100	30,980	30,910	30,810
POLLP	Seguimiento	N/A	29,958	29,968	29,938	29,938	29,928	29,958
PU-1	Seguimiento	N/A	0,605	0,615	0,655	0,615	0,635	0,685
PU-10	Seguimiento	N/A	0,650	0,700	0,720	0,730	0,730	0,750
PU-2	Seguimiento	N/A	0,890	0,900	0,910	0,900	0,920	0,930
PU-3	Seguimiento	N/A	0,370	0,390	0,380	0,380	0,400	0,480
PU-31	Control	0,8	Congelado	Congelado	Congelado	0,107	0,107	0,147
PU-4	Seguimiento	N/A	1,090	1,090	1,060	0,990	1,010	1,140
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	0,660	0,660	0,640	0,630	0,640	0,640

Nombre punto	Tipo de punto de monitoreo	Umbral (m b.n.t.)	Medición nivel de agua (m b.n.t.)					
			Jul.24	Ago.24	Sep.24	Oct.24	Nov.24	Dic.24
PU-44	Seguimiento	N/A	0,070	0,050	0,070	0,100	0,100	0,100
PU-45	Control	0,8	0,450	0,470	0,490	0,500	0,510	0,520
PU-46	Seguimiento	N/A	0,170	0,170	0,190	0,190	0,200	0,200
PU-47	Seguimiento	N/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A
PU-48	Control	0,6	Congelado	0,130	0,160	0,190	0,190	0,200
PU-49	Control	1,8	0,960	0,920	0,800	0,710	0,820	0,840
PU-5	Seguimiento	N/A	0,740	0,720	0,700	0,700	0,700	0,740
PU-50	Seguimiento	N/A	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
PU-6	Seguimiento	N/A	0,770	0,740	0,710	0,750	0,770	0,860
S-3	Seguimiento	N/A	1,573	1,593	1,593	1,593	1,573	1,563
S-6	Seguimiento	N/A	1,085	1,105	1,115	1,105	1,085	1,085
SON-2	Avenimiento	N/A	7,160	7,180	7,190	7,190	7,170	7,160
SON-5	Avenimiento	N/A	3,330	3,350	3,360	3,360	3,330	3,340
SON-6	Avenimiento	N/A	1,590	1,620	1,620	1,620	1,590	1,600
SPX-1	Avenimiento	N/A	61,670	61,700	61,680	61,680	61,680	61,690
SPX-2	Avenimiento	N/A	56,310	56,340	56,320	56,330	56,320	56,340
SPX-3	Avenimiento	N/A	22,760	22,770	22,770	22,780	22,780	22,790
SPX-4	Avenimiento	N/A	18,350	18,360	18,350	18,360	18,350	18,370
SPX-5	Avenimiento	N/A	74,000	74,050	74,080	74,140	74,150	74,180

(*): 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 2024 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. Cabe destacar que, en marzo 2023, se registró una disminución de nivel en el punto PU-43 de 0,22 m y, durante noviembre 2022, se identificó una disminución de nivel en el punto PU-6 de 0,7 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. Adicionalmente, en la medición continua del punto PU-43, no se registró el descenso mencionado, lo que corrobora el error en la medición manual.

Por otro lado, existe una leve tendencia al alza en los niveles medidos de los puntos B-1 (con un descenso puntual en julio 2024), B-3, J-6, P-5a, P-7a y POLLP entre diciembre de 2020 y diciembre de 2024. 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 abril 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.

Adicionalmente, el punto PB-1 registró una disminución de nivel en agosto 2023 de aproximadamente 2 m, respecto a lo medido en julio 2023, y a partir de septiembre 2023 recupera la tendencia de los niveles históricos (levemente ascendente), vinculando este descenso con un posible error en la medición.

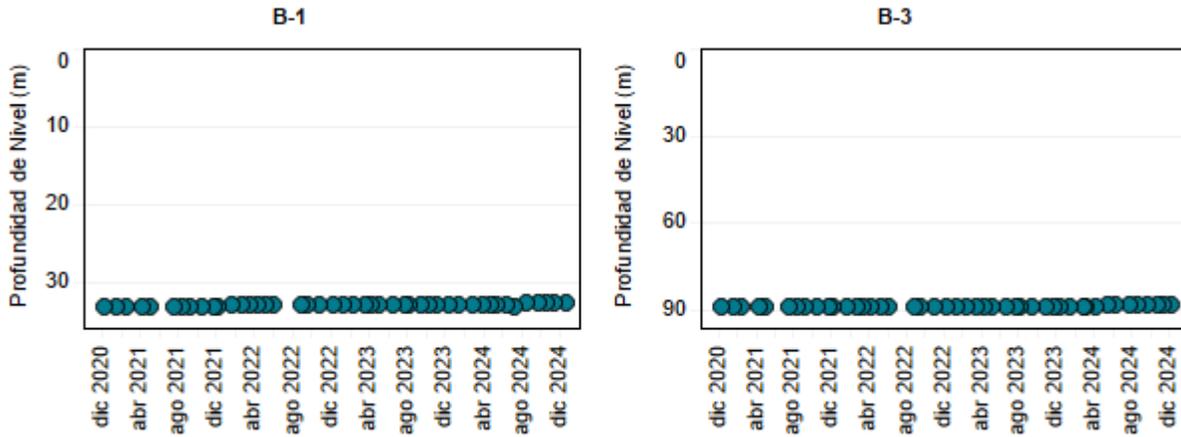


Figura 5-1: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento B-1 y B-3.

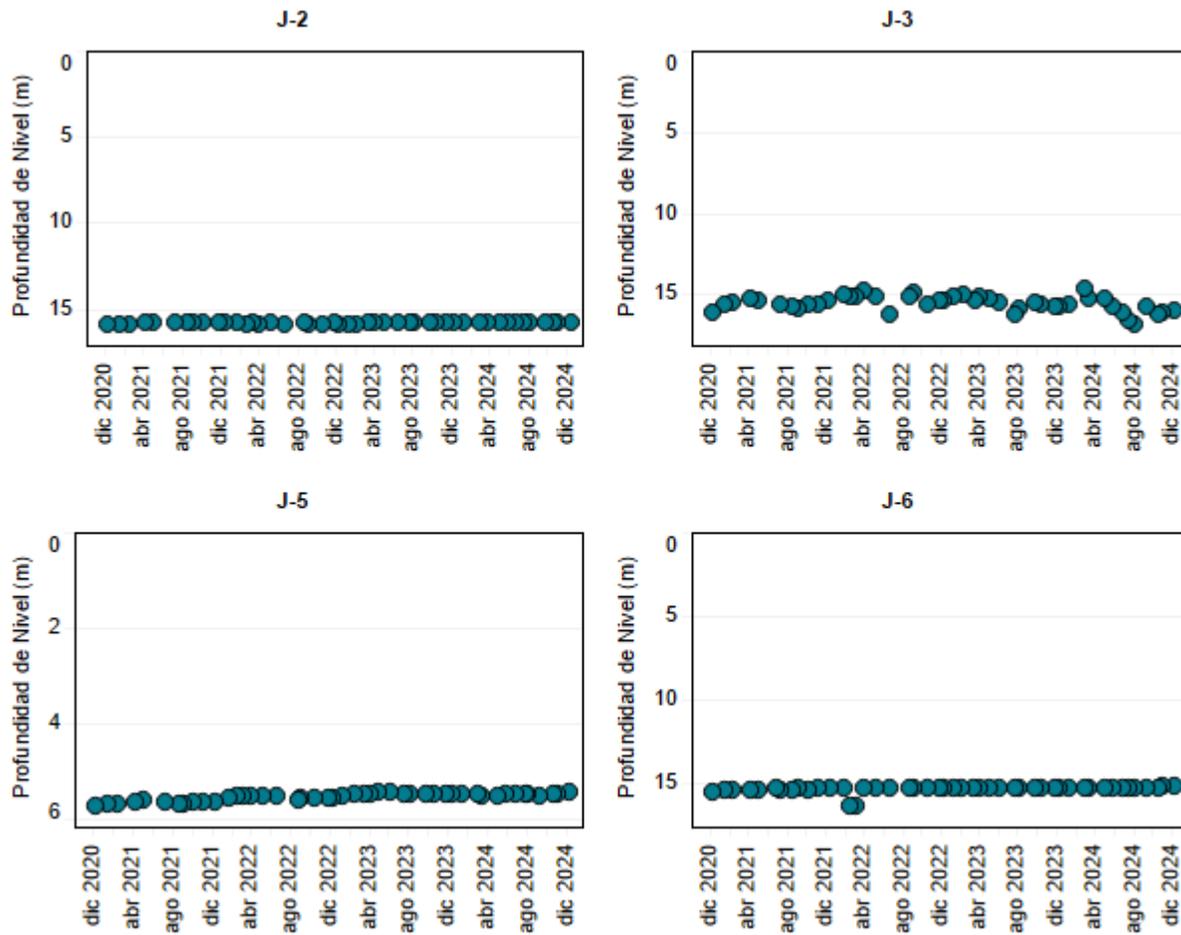


Figura 5-2: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-2, J-3, J-5 y J-6.

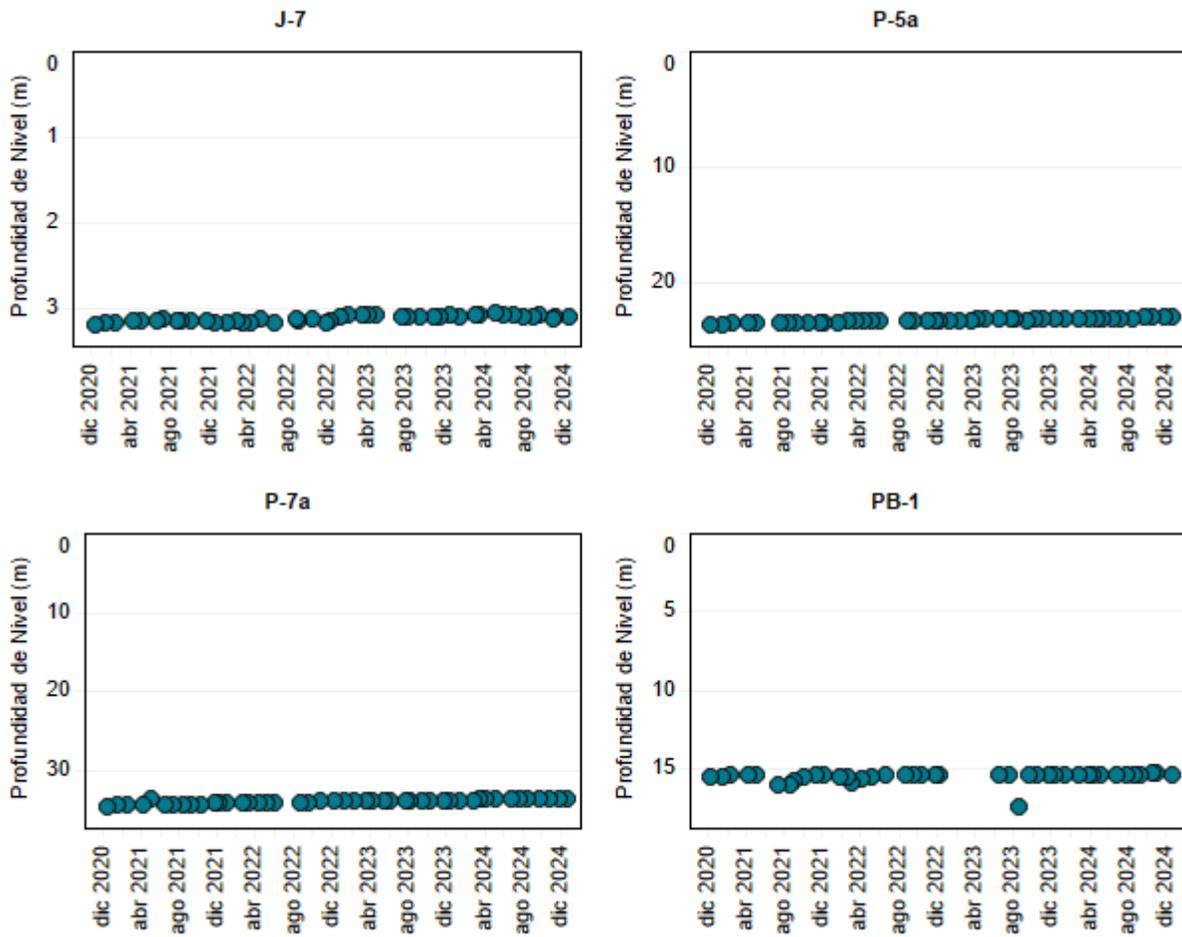


Figura 5-3: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento J-7, P-5a, P-7a y PB-1.

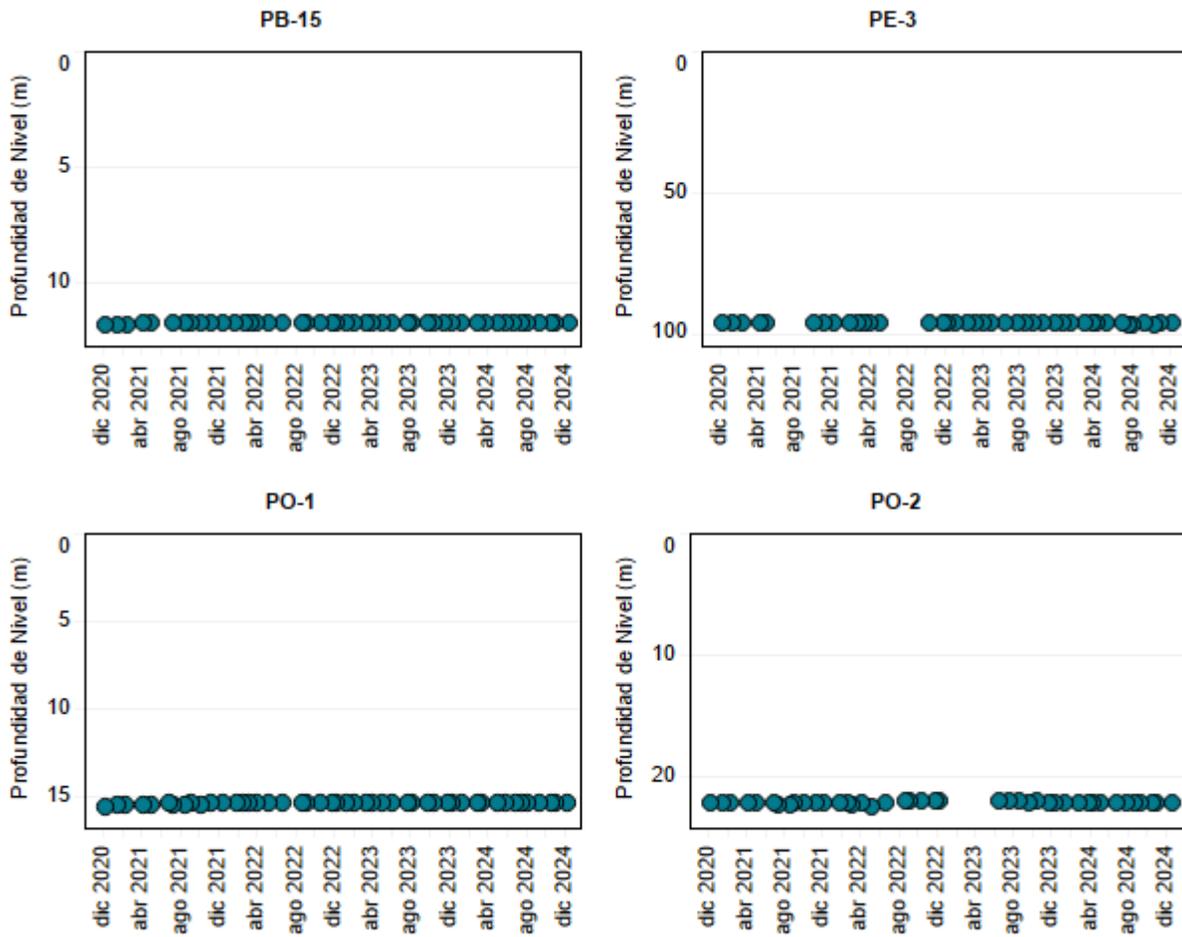


Figura 5-4: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PB-15, PE-3, PO-1 y PO-2.

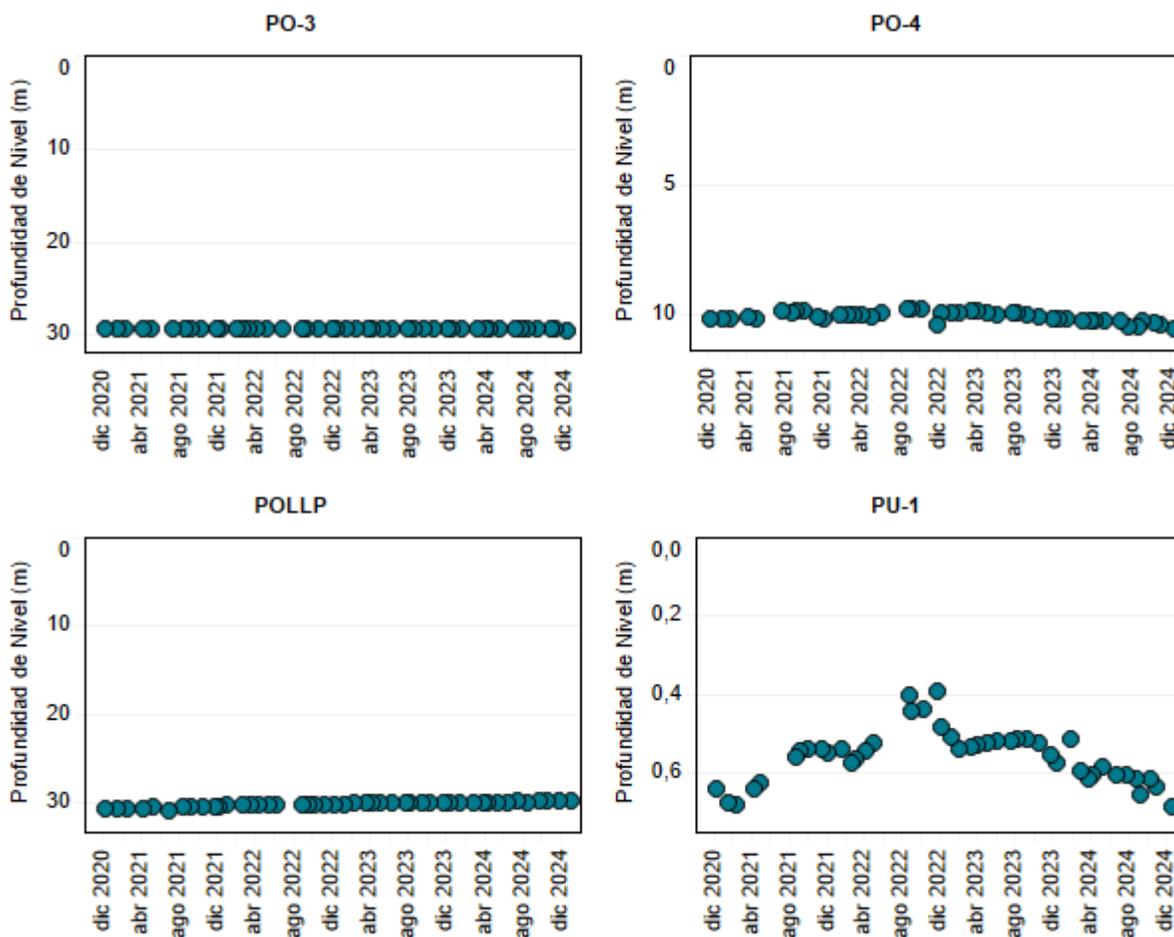


Figura 5-5: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PO-3, PO-4, POLLP y PU-1.

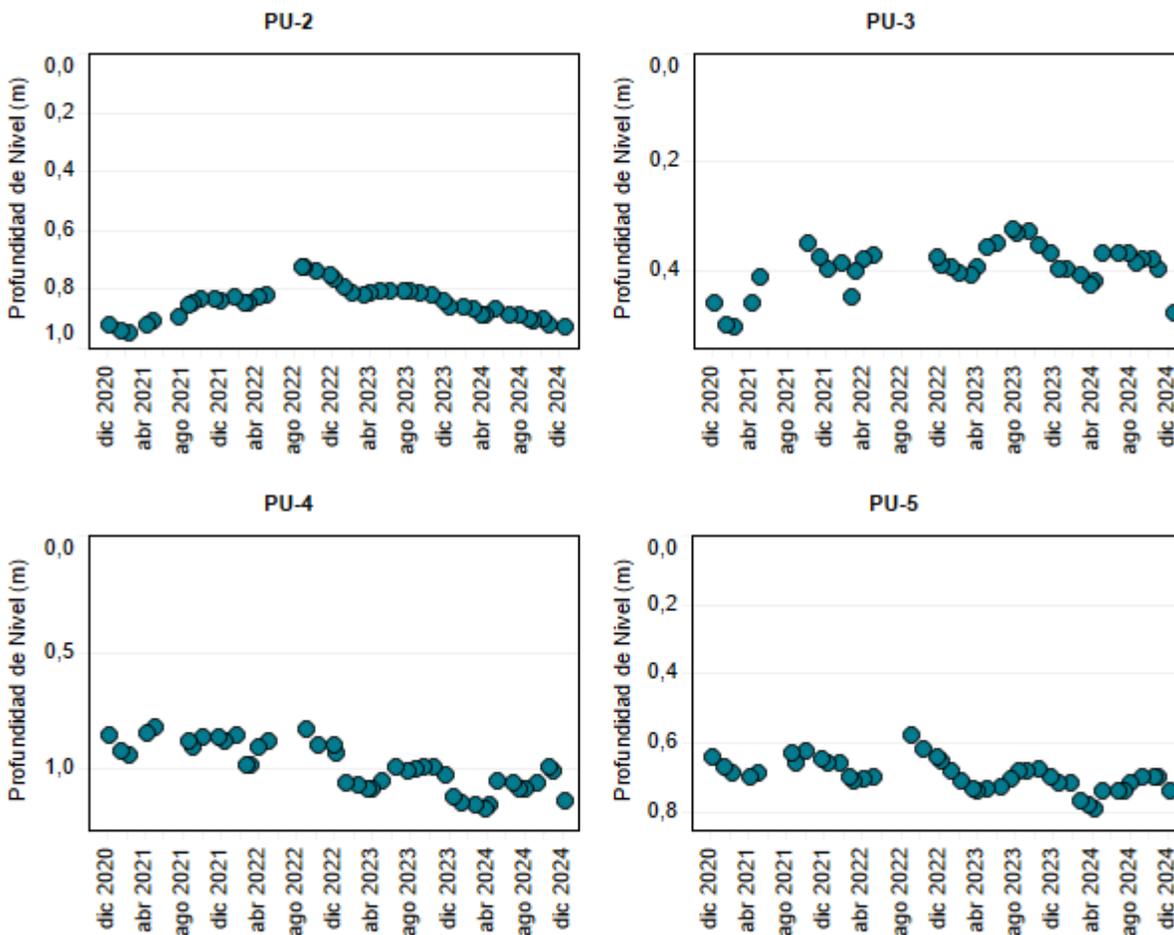


Figura 5-6: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-2, PU-3, PU-4 y PU-5.

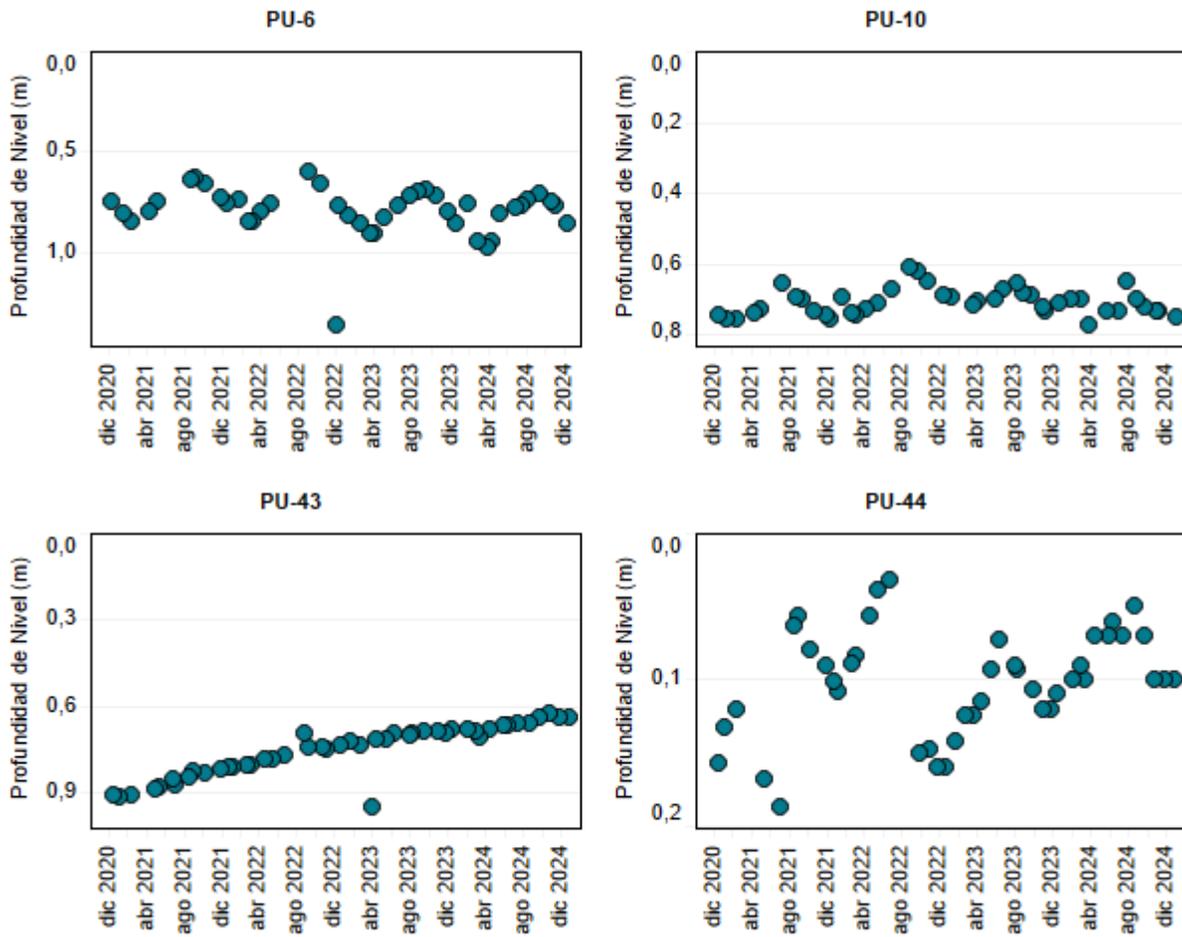


Figura 5-7: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-6, PU-10, PU-43 y PU-44.

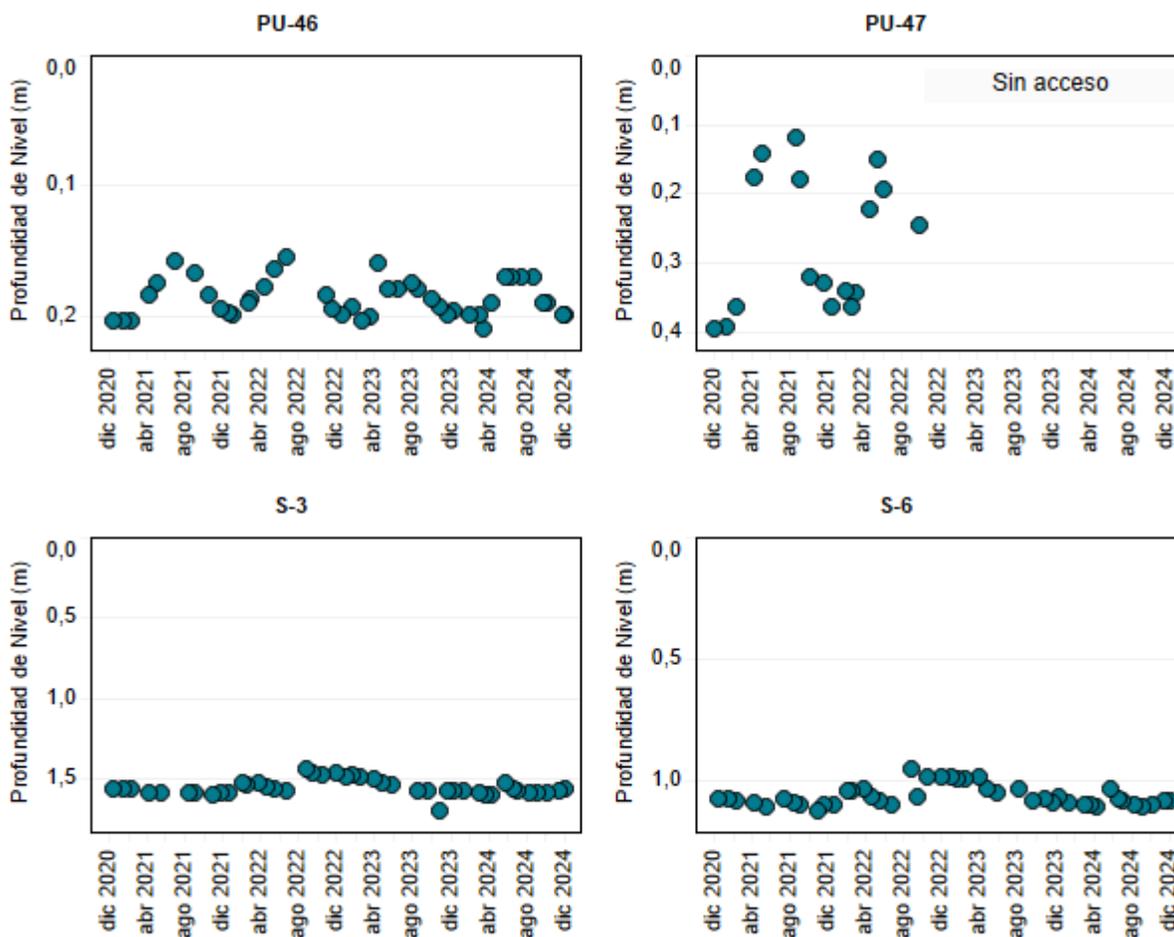


Figura 5-8: Profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-46, PU-47, S-3 y S-6.

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).

Además, 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 mantienen una tendencia descendente, con una leve estabilización desde agosto 2023 hasta diciembre 2024, registrando un leve aumento en mayo 2024. Por su parte, el punto CP-03A exhibe un ascenso de 2,13 m en el nivel de agua en septiembre 2024, seguido de un leve descenso hasta la medición actual (diciembre 2024) (Figura 5-11).

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.

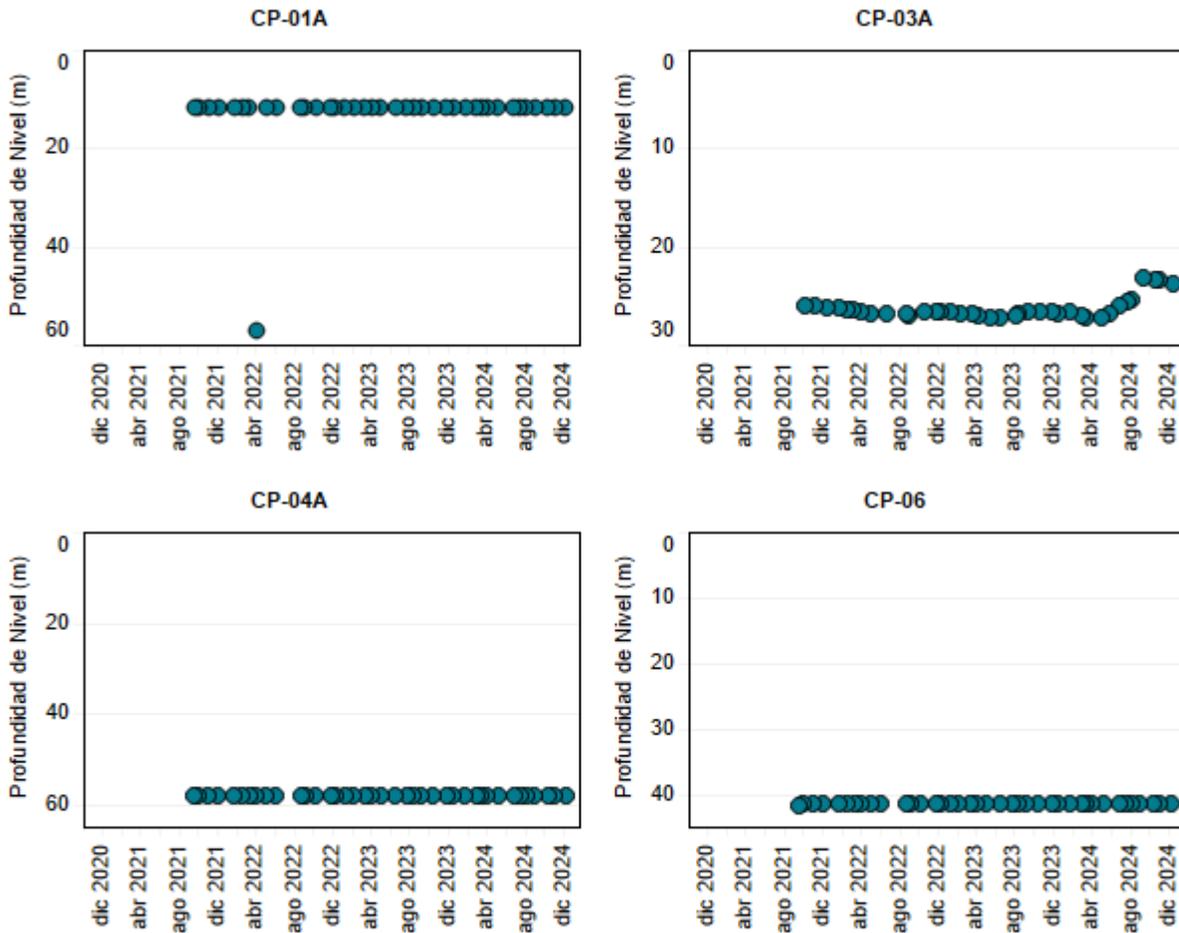


Figura 5-9: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-01A, CP-03A; CP-04A y CP-06.

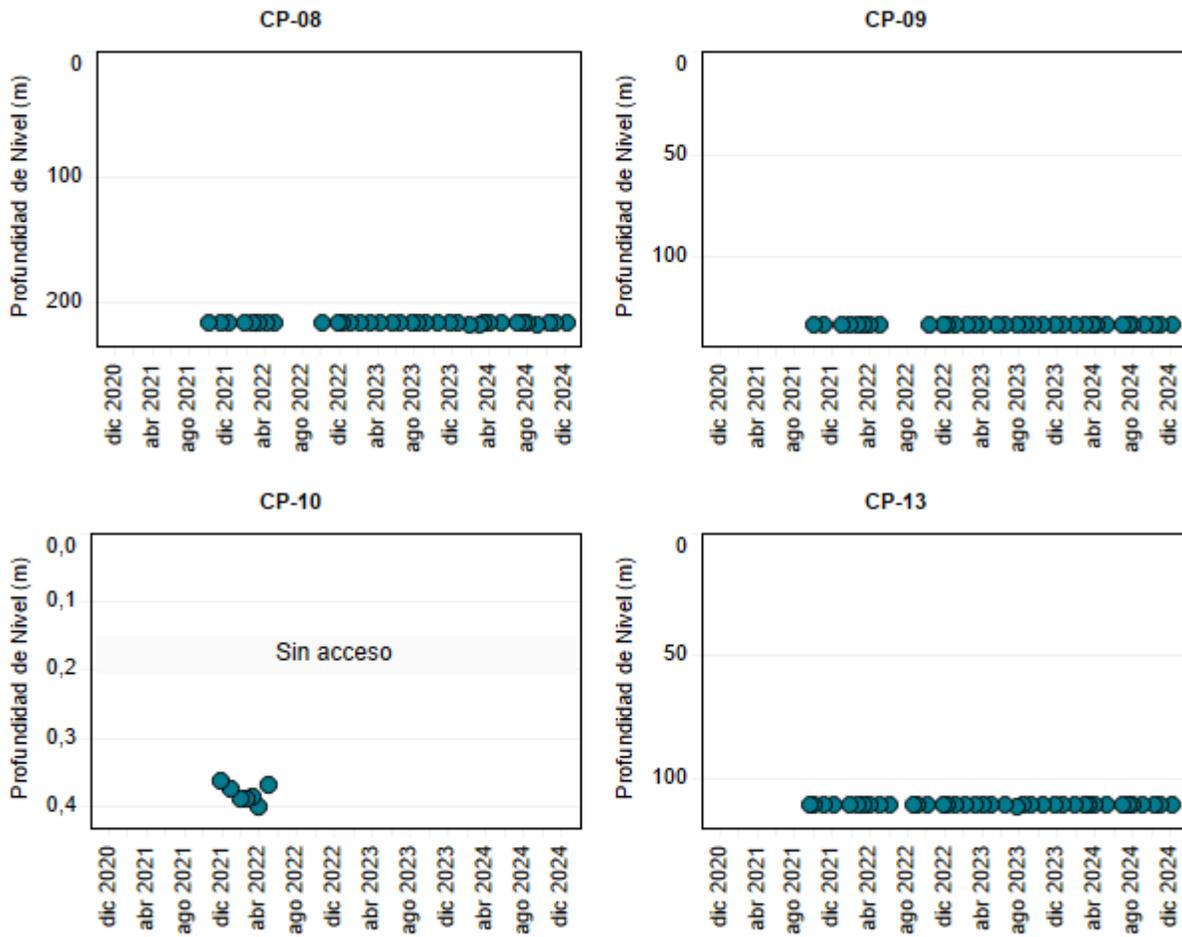


Figura 5-10: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento CP-08, CP-09; CP-10 y CP-13.

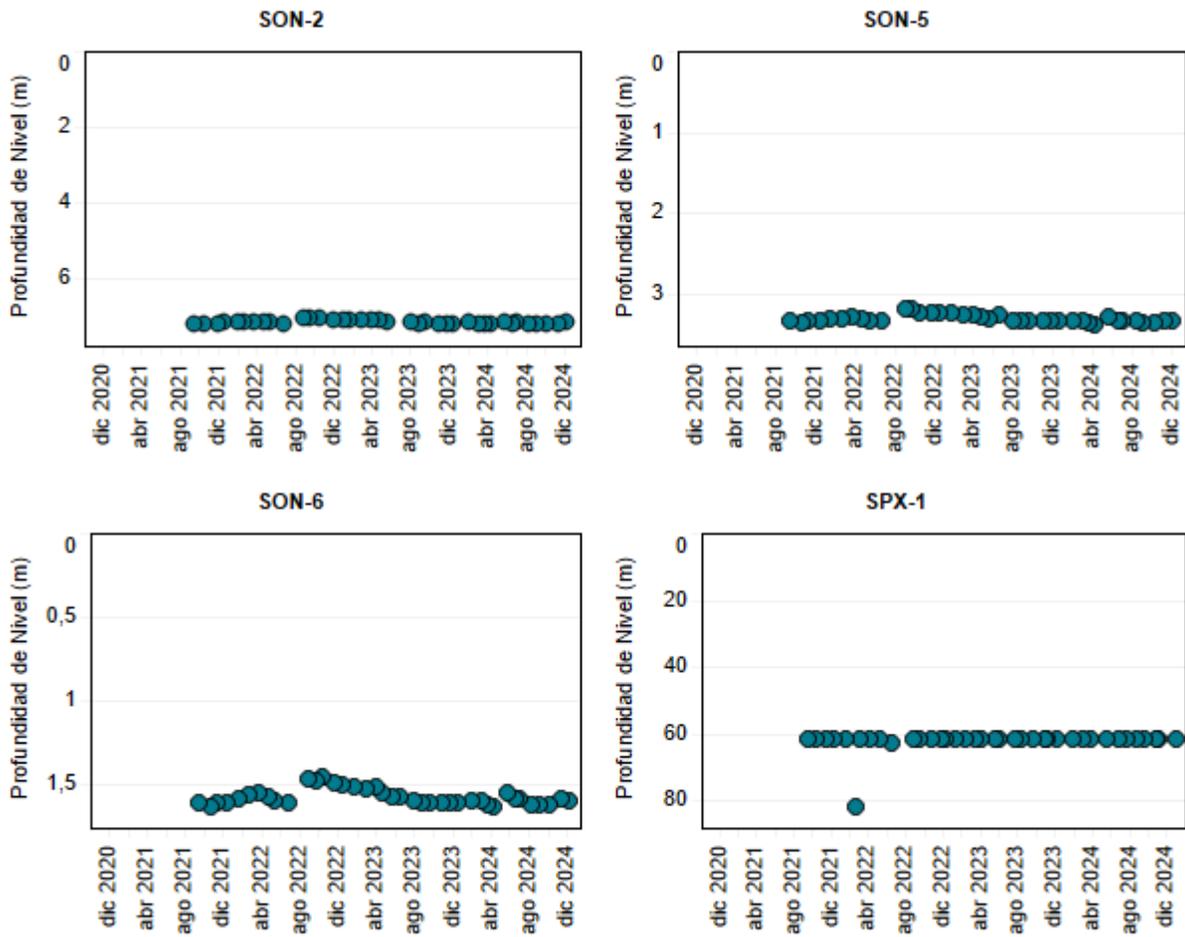


Figura 5-11: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SON-2, SON-5; SON-6 y SPX-1.

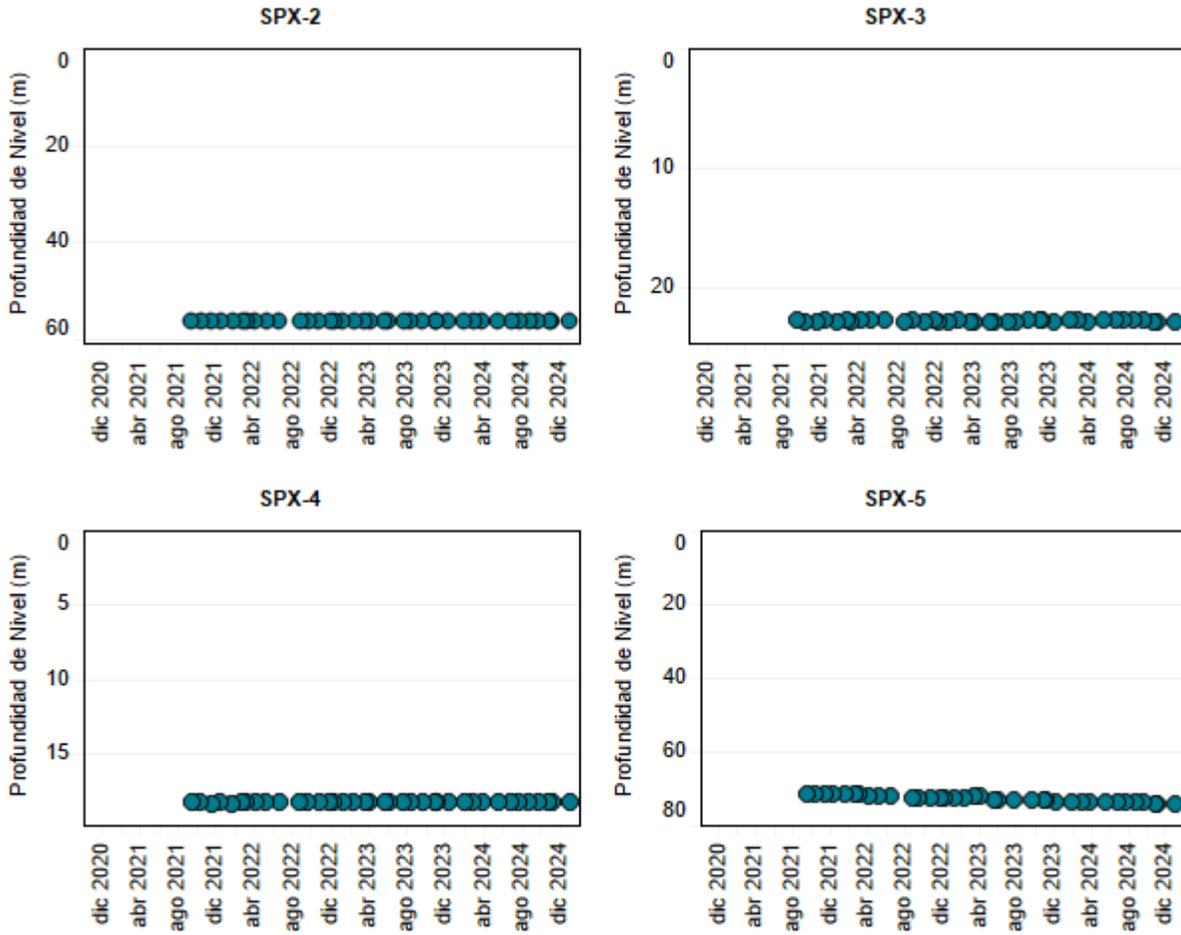


Figura 5-12: Profundidad de nivel de agua en los puntos de monitoreo por Avenimiento SPX-2, SPX-3; SPX-4 y SPX-5.

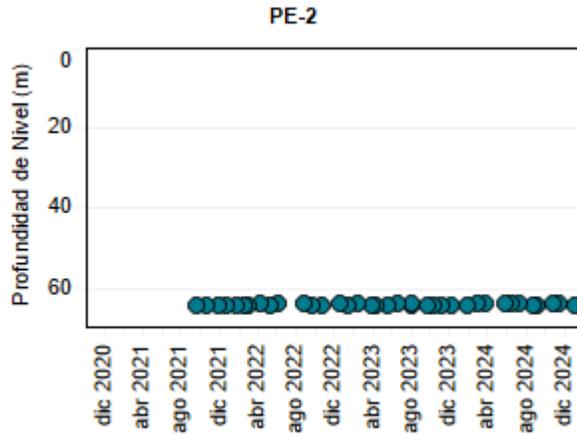


Figura 5-13: Profundidad de nivel de agua en el punto de monitoreo por Avenimiento PE-2.

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.

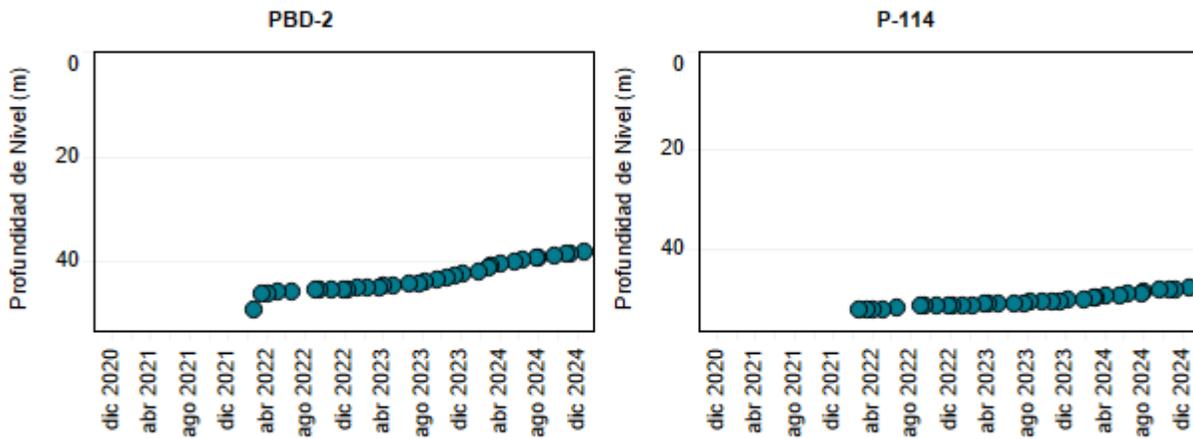


Figura 5-14: Profundidad de nivel de agua en los pozos de bombeo PBD-2 y P-114 asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

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 2024 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, y una leve disminución puntual del punto P-19a en los meses de noviembre y diciembre de 2023.

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 no registra mediciones del nivel de agua desde julio hasta septiembre de 2024 debido a que el punto se encontró congelado.

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.

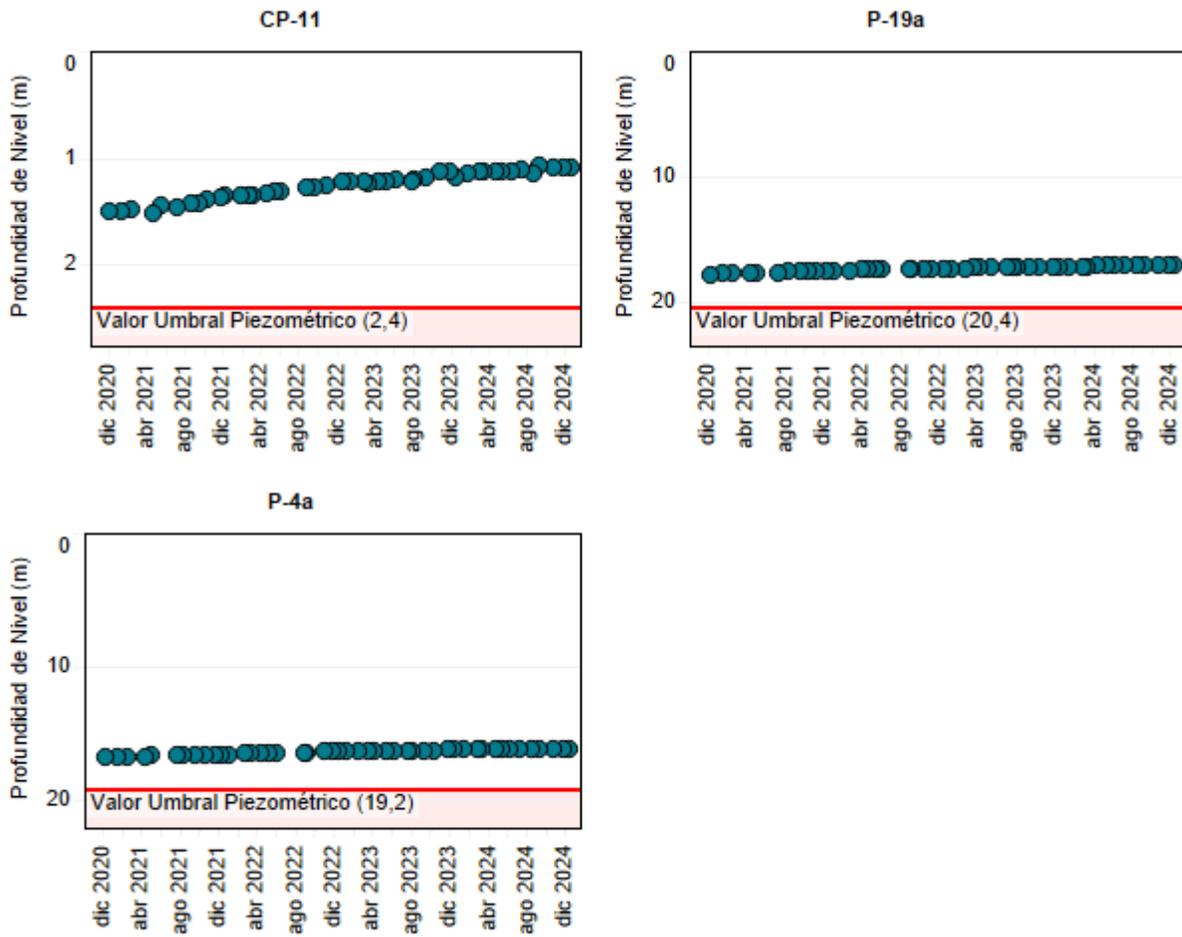


Figura 5-15: Profundidad de nivel en el punto de control CP-11, P-19a y P-4a.

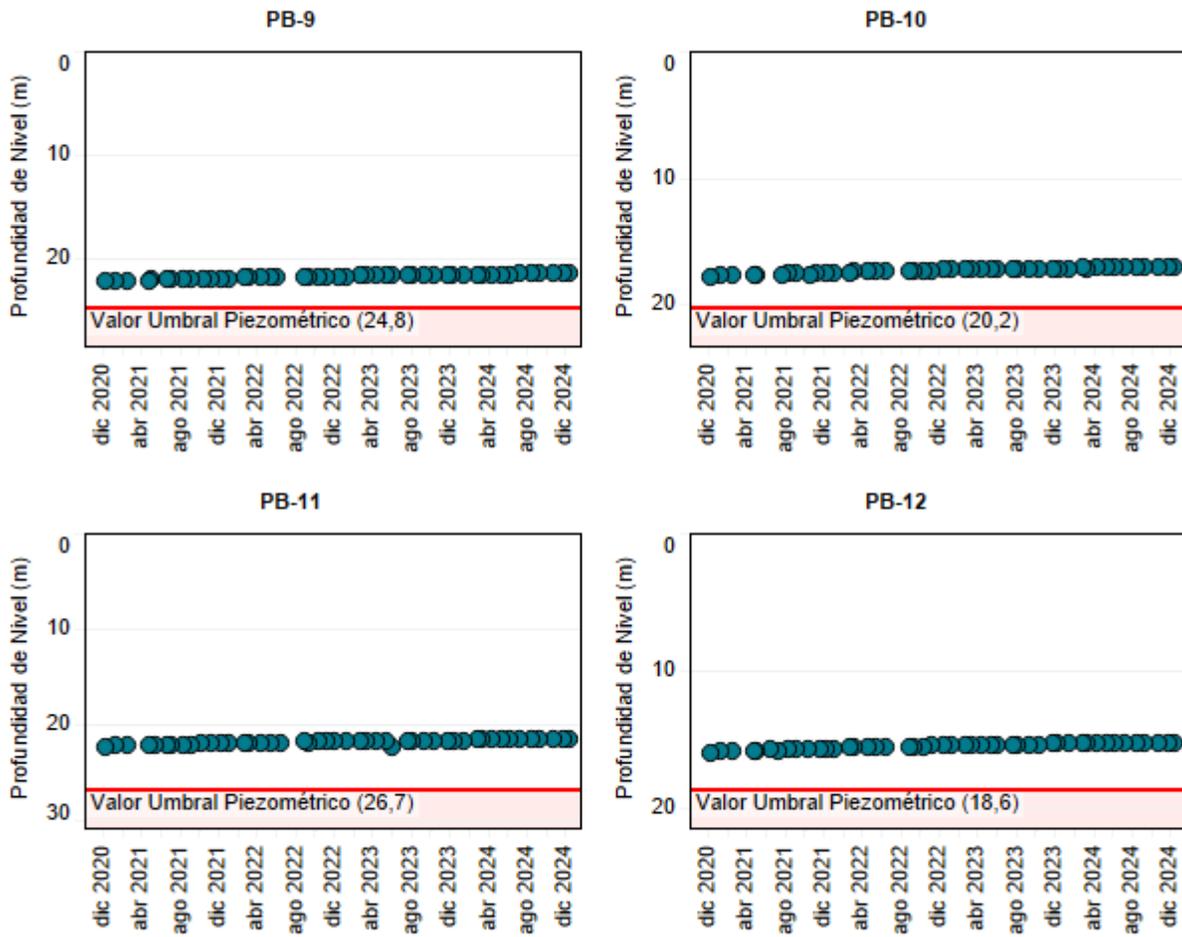


Figura 5-16: Profundidad de nivel en los puntos de control PB-9, PB-10, PB-11 y PB-12.

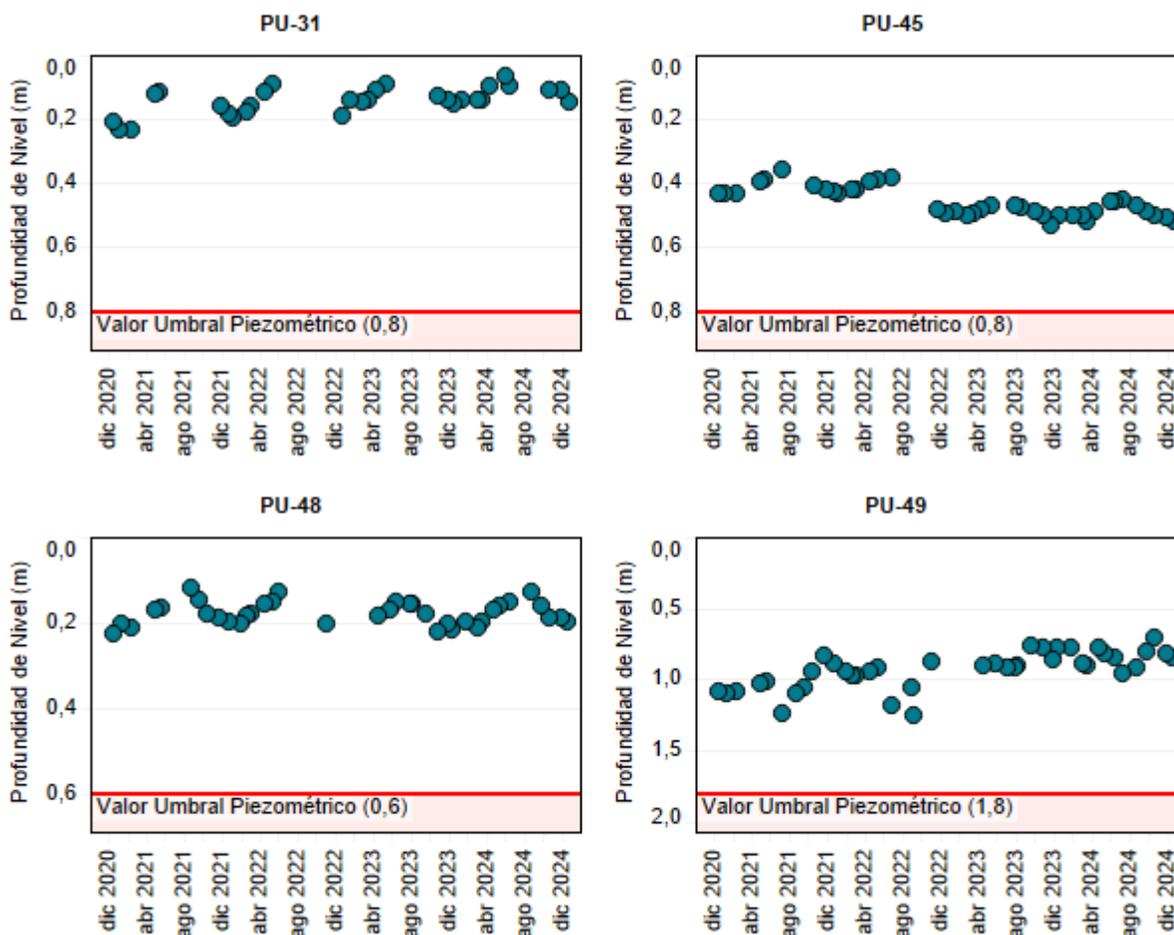


Figura 5-17: Profundidad de nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49.

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 ligera 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.

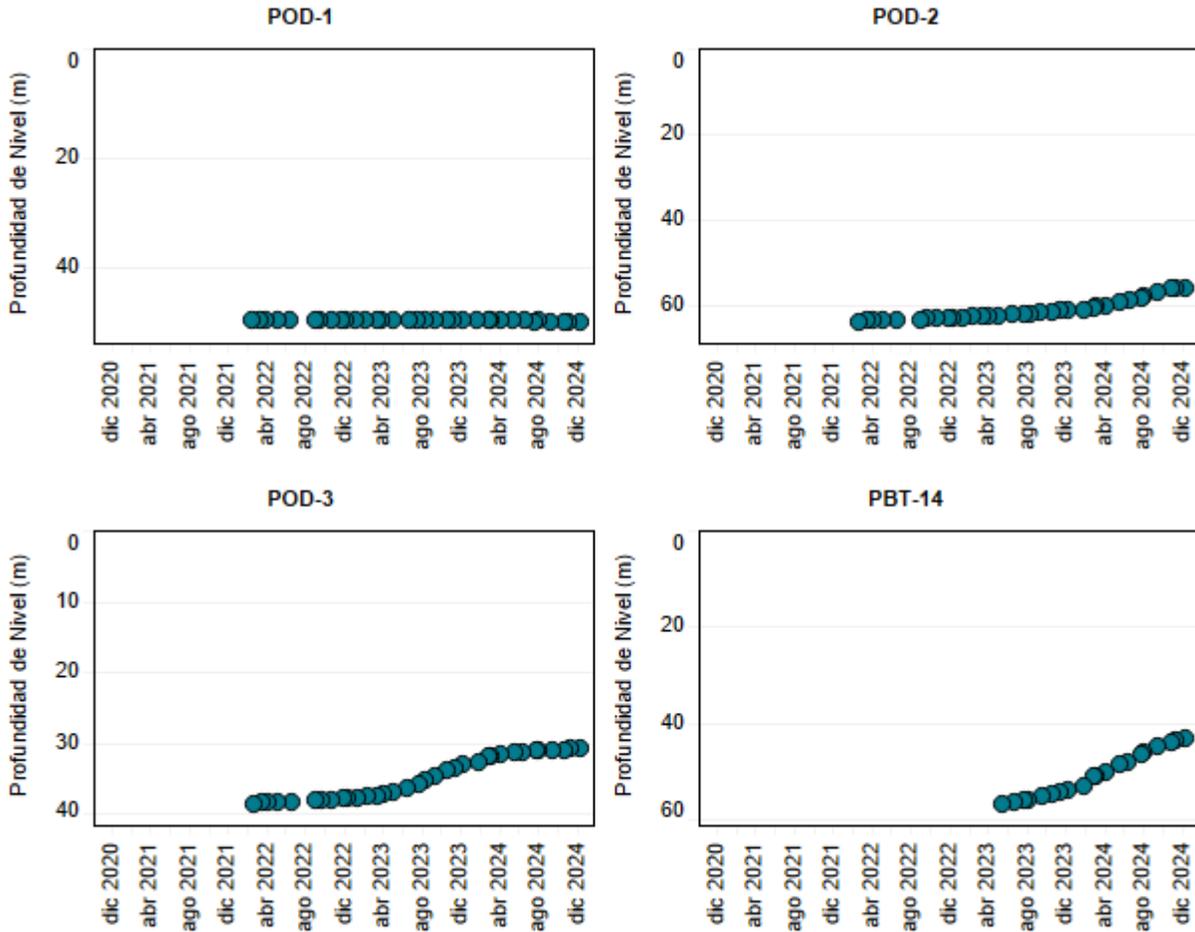


Figura 5-18: Profundidad de nivel de agua en los puntos de control POD-1, POD-2, POD-3 y PBT-14, asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

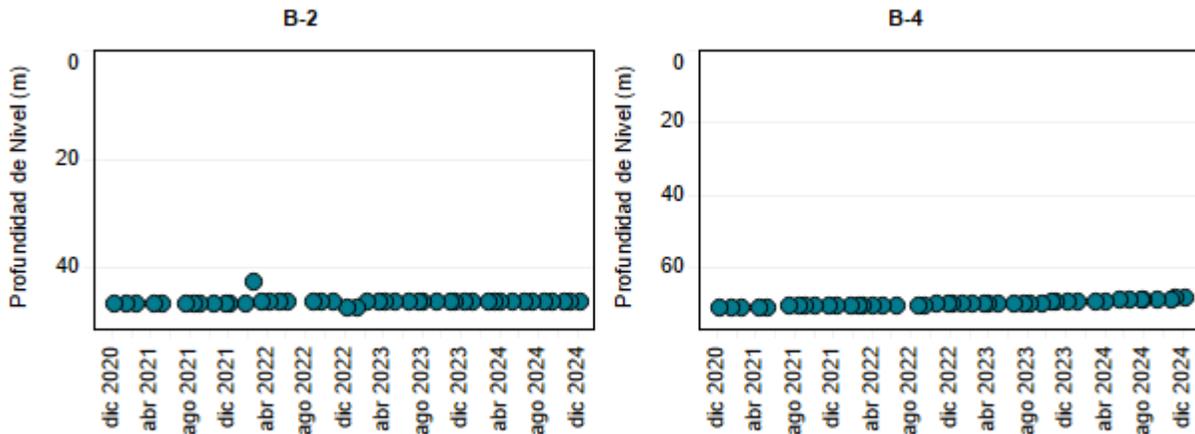


Figura 5-19: Profundidad de nivel de agua en los puntos de control B-2 y B-4, asociados al nuevo campo de pozos de bombeo.

5.3 Evolución temporal del nivel y conductividad eléctrica en puntos de monitoreo continuo

Las mediciones descargadas desde los equipos instalados en el sector Salar de Pedernales (13 puntos de monitoreo piezométrico y 12 puntos de muestreo de la conductividad eléctrica), desde diciembre 2020 hasta diciembre 2024, son presentadas en las siguientes figuras. Además, se incluyen las mediciones de niveles de agua y de la conductividad eléctrica descargadas desde 6 equipos asociados a los puntos del nuevo campo de bombeo. También, se incorporan las mediciones mensuales de niveles y trimestrales de la conductividad eléctrica realizadas por GP Consultores y AGQ (en naranja para las mediciones in situ y verde para las mediciones en laboratorio, según corresponda).

En cuanto a la Figura 5-20, los puntos de control CP-11, PB-11 y PB-12, muestran una tendencia ligeramente ascendente en las mediciones continuas y puntuales del nivel durante todo el periodo de monitoreo, salvo el punto PB-11, que registra una disminución en la medición manual de 0,53 m en junio 2023.

Respecto a la comparación entre las mediciones continuas y manuales (tanto in situ como en laboratorio) de la conductividad eléctrica, no se observan diferencias significativas en el campo de pozos, salvo las mediciones del punto PB-11. En este punto, los registros continuos exceden las mediciones realizadas manualmente, suscitado posiblemente por la variación en la profundidad de instalación del sensor entre campañas, considerando que los resultados varían en función de la estratificación que presentaría el agua en los puntos estudiados.

Además, las mediciones manuales (medidas in situ y en laboratorio) de la conductividad eléctrica en los puntos de control de la Figura 5-21, a modo general, se encuentran en torno a los 4.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en todo el periodo de análisis.

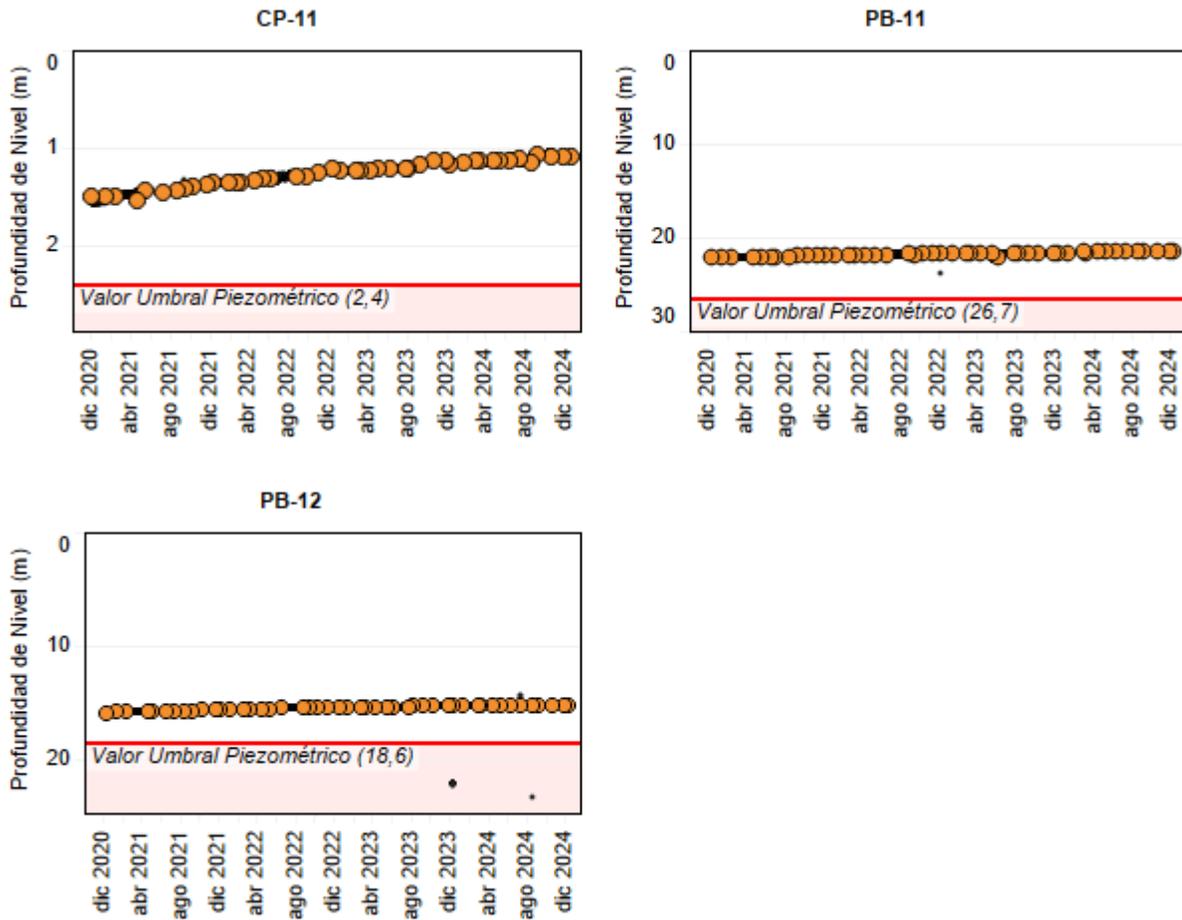


Figura 5-20: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de control CP-11, PB-11 y PB-12.

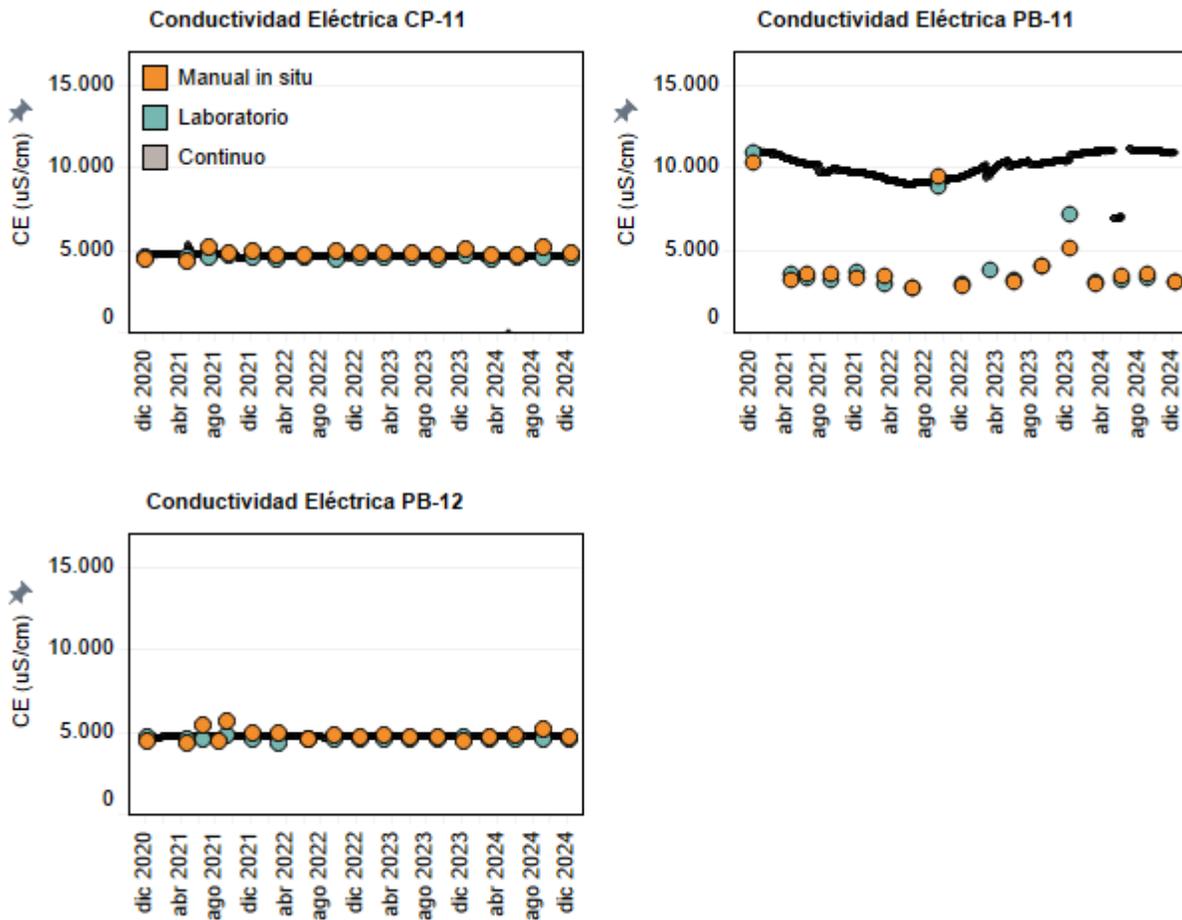


Figura 5-21: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos CP-11, PB-11 y PB-12.

Con respecto a los puntos de seguimiento PB-9 y PB-10, las mediciones continuas del nivel son consistentes con los registros manuales, mostrando una tendencia levemente ascendente desde el inicio de los registros.

Por otro lado, las mediciones continuas de la conductividad eléctrica en el punto PB-9 superan levemente los registros manuales, posiblemente debido a la variación en la profundidad de instalación del sensor entre campañas, al igual que lo observado en el punto PB-11. En cuanto a la conductividad eléctrica del punto PB-10, los registros continuos y puntuales (tanto in situ como en laboratorio) son consistentes a lo largo de todo el periodo de monitoreo.

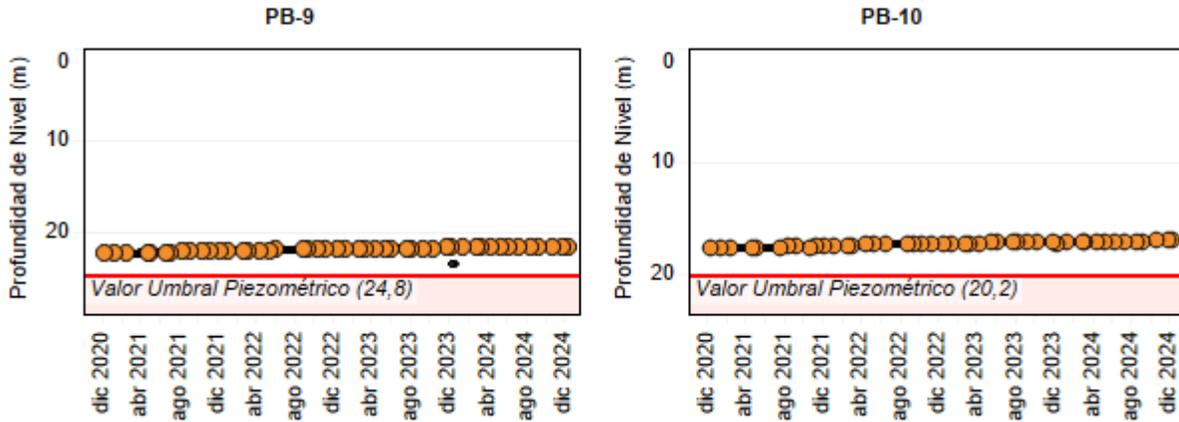


Figura 5-22: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PB-9 y PB-10.

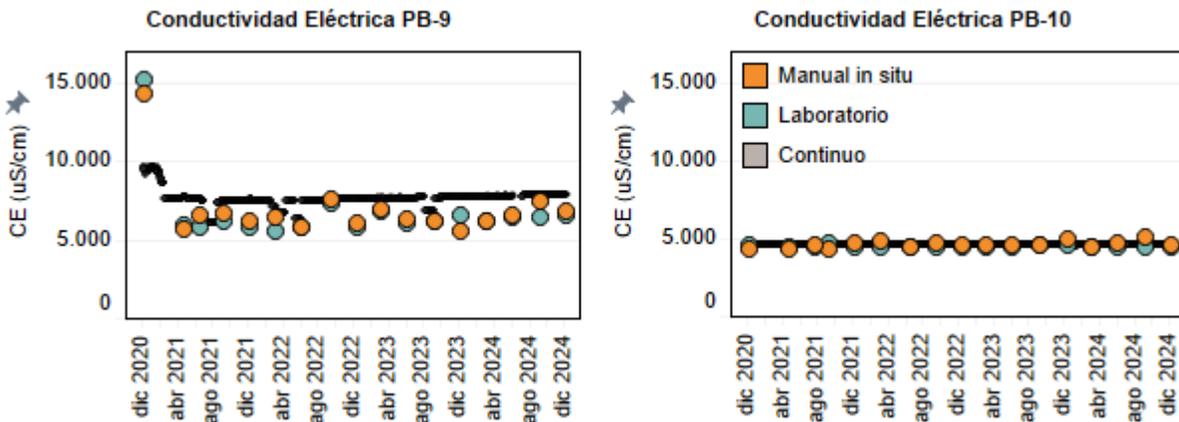


Figura 5-23: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PB-9 y PB-10.

En relación con lo presentado en la Figura 5-24, las mediciones continuas y manuales del nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49 presentan fluctuaciones de carácter estacional en todo el periodo evaluado. Además, se identifican variaciones en los registros continuos entre junio y diciembre 2022, en todos los puntos señalados previamente, las cuales podrían deberse a errores de medición en el sensor, posiblemente por efectos de congelamiento.

Por otra parte, las mediciones continuas y puntuales de la conductividad eléctrica en la puntera PU-48 son congruentes entre sí. Por su parte, las mediciones continuas de la puntera PU-49 ascienden en julio 2022, y entre octubre y diciembre 2022, probablemente por efectos de congelamiento. Además, las mediciones continuas de la puntera PU-45 muestran una leve tendencia descendente escalonada, con valores entre 7.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que se condicen con el rango de valores de las mediciones manuales (tanto in situ como en laboratorio).

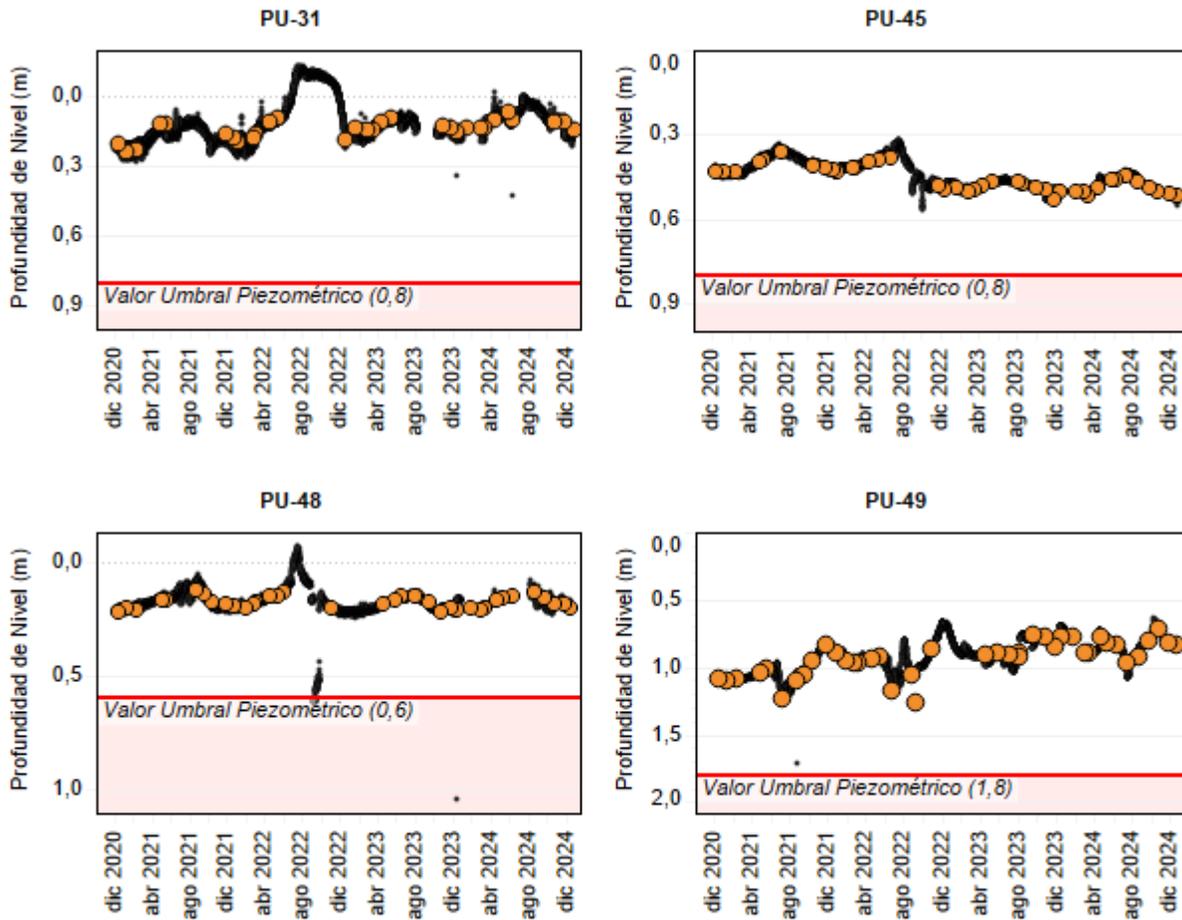


Figura 5-24: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de control PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49.

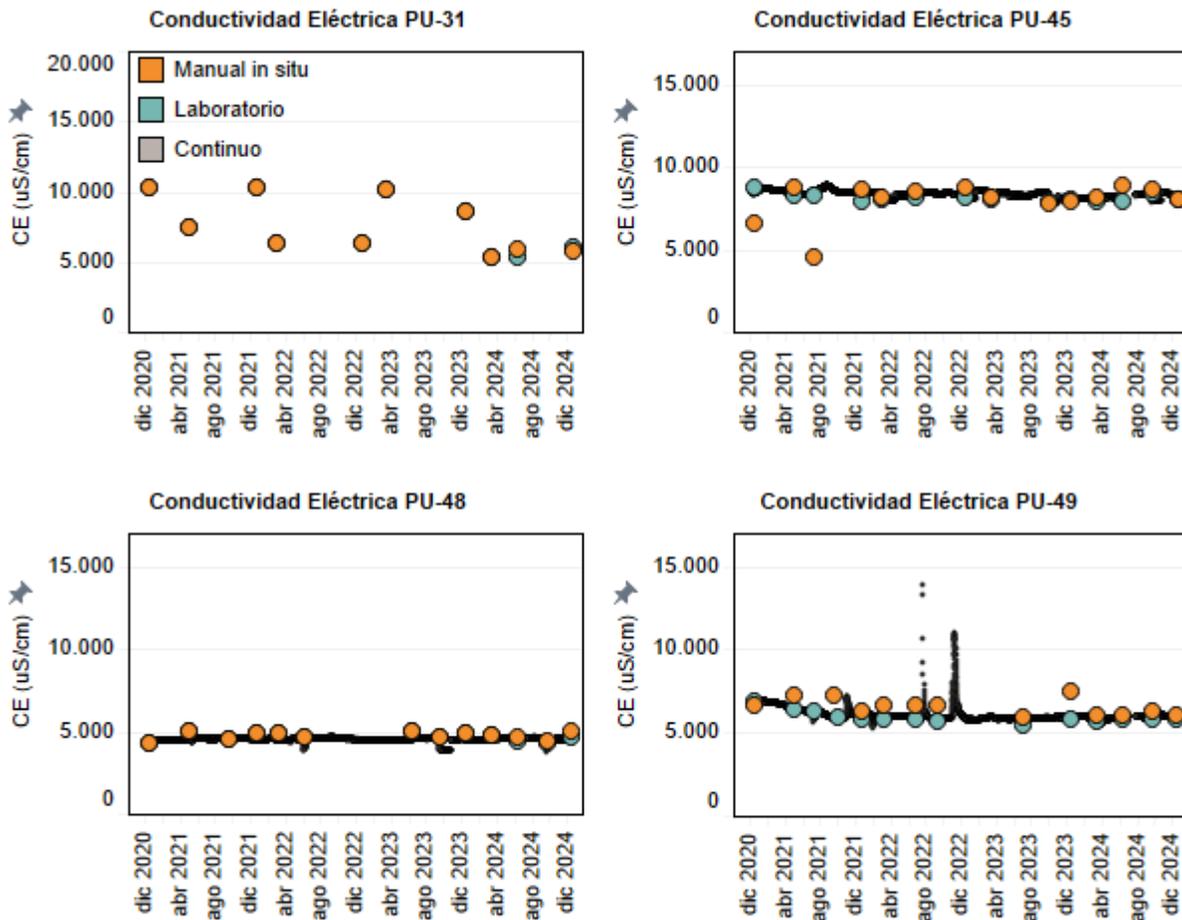


Figura 5-25: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49.

Con respecto a los puntos de seguimiento PU-43 y PU-44, en la Figura 5-26, se observa, en general, una tendencia ascendente en el caso de la puntera PU-43, y las mediciones manuales del punto PU-44 indican fluctuaciones entre 0,1 y 0,2 m. Además, las variaciones identificadas en la medición continua de este último punto podrían estar asociadas a fenómenos externos a la medición de la presión en el pozo.

Adicionalmente, 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. Sumado a lo anterior, se identifican fluctuaciones en las mediciones continuas entre junio y

septiembre de 2022, las cuales podrían deberse a errores de medición en el sensor, posiblemente por efectos de congelamiento.

Además, las mediciones manuales de la conductividad eléctrica en septiembre 2022 y junio 2023, en el caso del punto PU-43, y en septiembre 2023, en el caso del punto PU-44, se consideran posibles registros anómalos, puesto que tanto las mediciones continuas como puntuales posteriores, son consistentes con los registros previos a las mediciones anómalas.

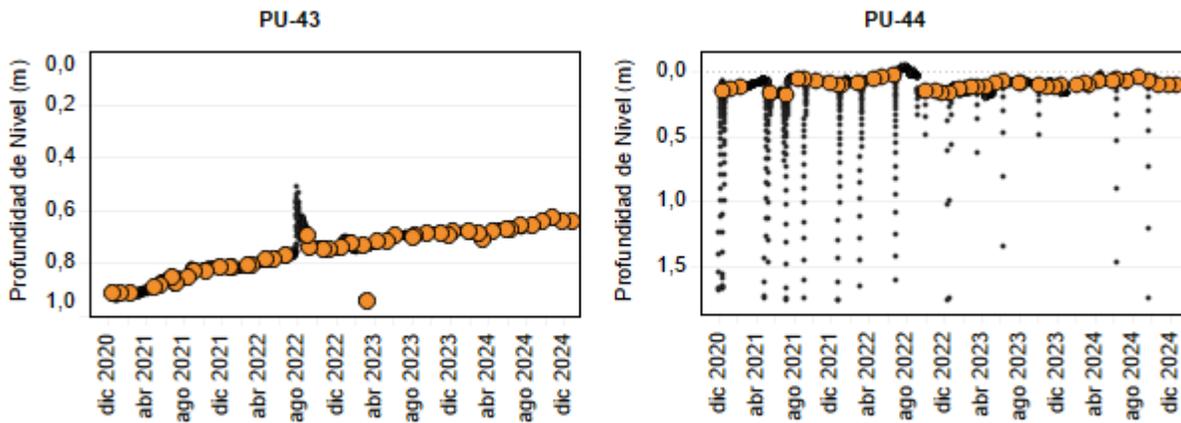


Figura 5-26: Registro continuo de la profundidad de nivel en los puntos de seguimiento PU-43 y PU-44.

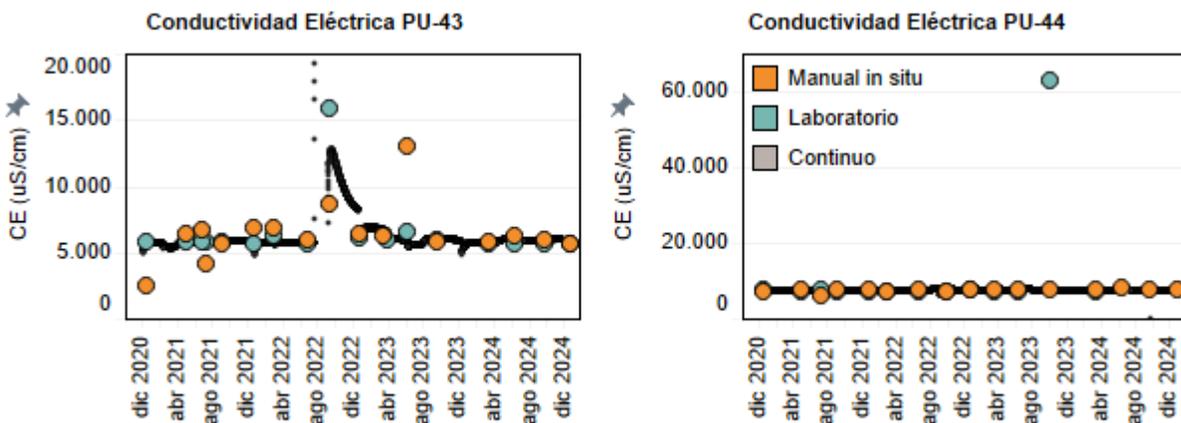


Figura 5-27: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PU-43 y PU-44.

En cuanto a los puntos P-4a y P-19a, las mediciones continuas y manuales del nivel presentan una ligera tendencia al alza en todo el periodo evaluado. Además, los registros de la conductividad eléctrica se mantienen estables en el periodo evaluado, con valores en torno a 4.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P-19a) y 4.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P-4a).

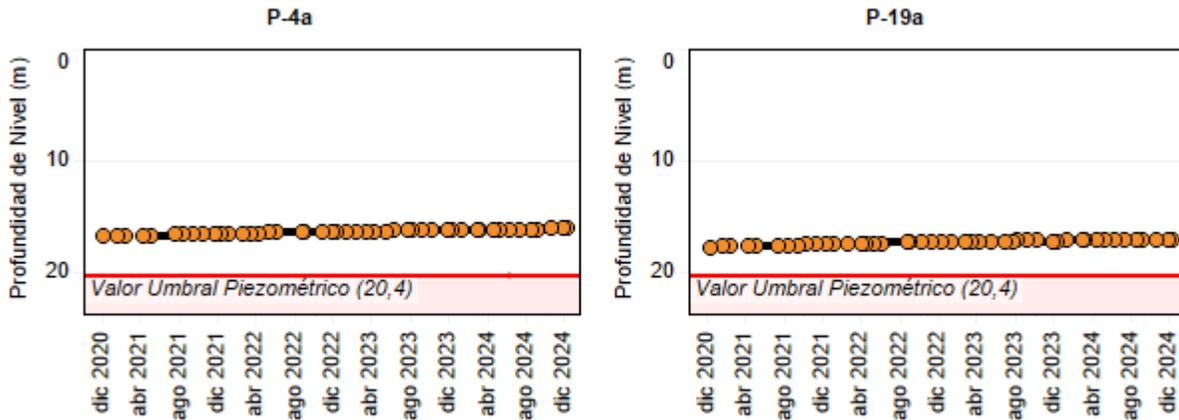


Figura 5-28: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos de control/avenimiento P-4a y P-19a.

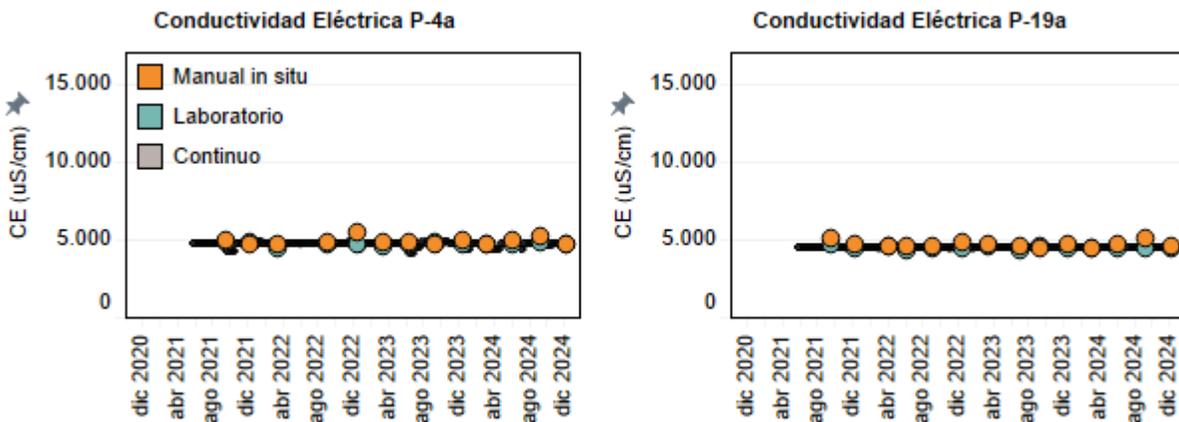


Figura 5-29: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos P-4a y P-19a.

La Figura 5-30 muestra los puntos de control asociados al nuevo campo de pozos de bombeo, donde se evidencia un ascenso sostenido en la medición del nivel del agua, desde el inicio de los registros, en contraposición con el punto POD-1, que decrece levemente en el mismo periodo.

Respecto a la comparación entre las mediciones continuas y manuales (tanto in situ como en laboratorio) de la conductividad eléctrica, se observa una leve diferencia entre ambas mediciones, relacionado posiblemente con la estratificación que presenta el agua, de manera similar a lo comentado para los puntos PB-9 y PB-11.

Cabe destacar que los valores de conductividad eléctrica en todo el periodo analizado, tanto las mediciones en terreno como en laboratorio, fluctúan en torno a los 4.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin considerar los registros del punto POD-1, con una conductividad eléctrica media (diciembre 2023 – diciembre 2024) de 17.121 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cabe mencionar que los sensores de medición continua fueron ubicados a distintas profundidades (POD-1 (59,5 m b.n.t.), POD-2 (74,5 m b.n.t.) y PBT-14 (84,46 m b.n.t.)).

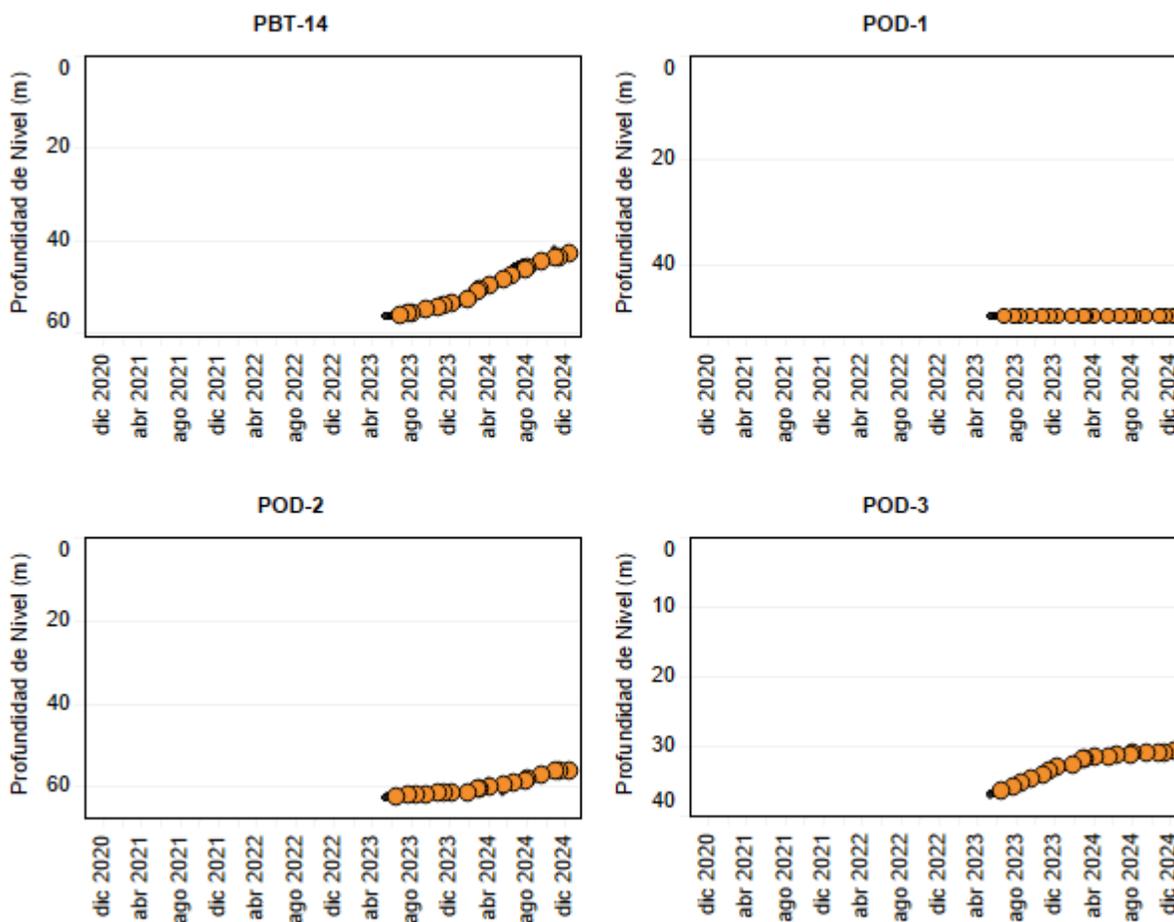


Figura 5-30: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos asociados al nuevo campo de pozos PBT-14, POD-1, POD-2 y POD-3.

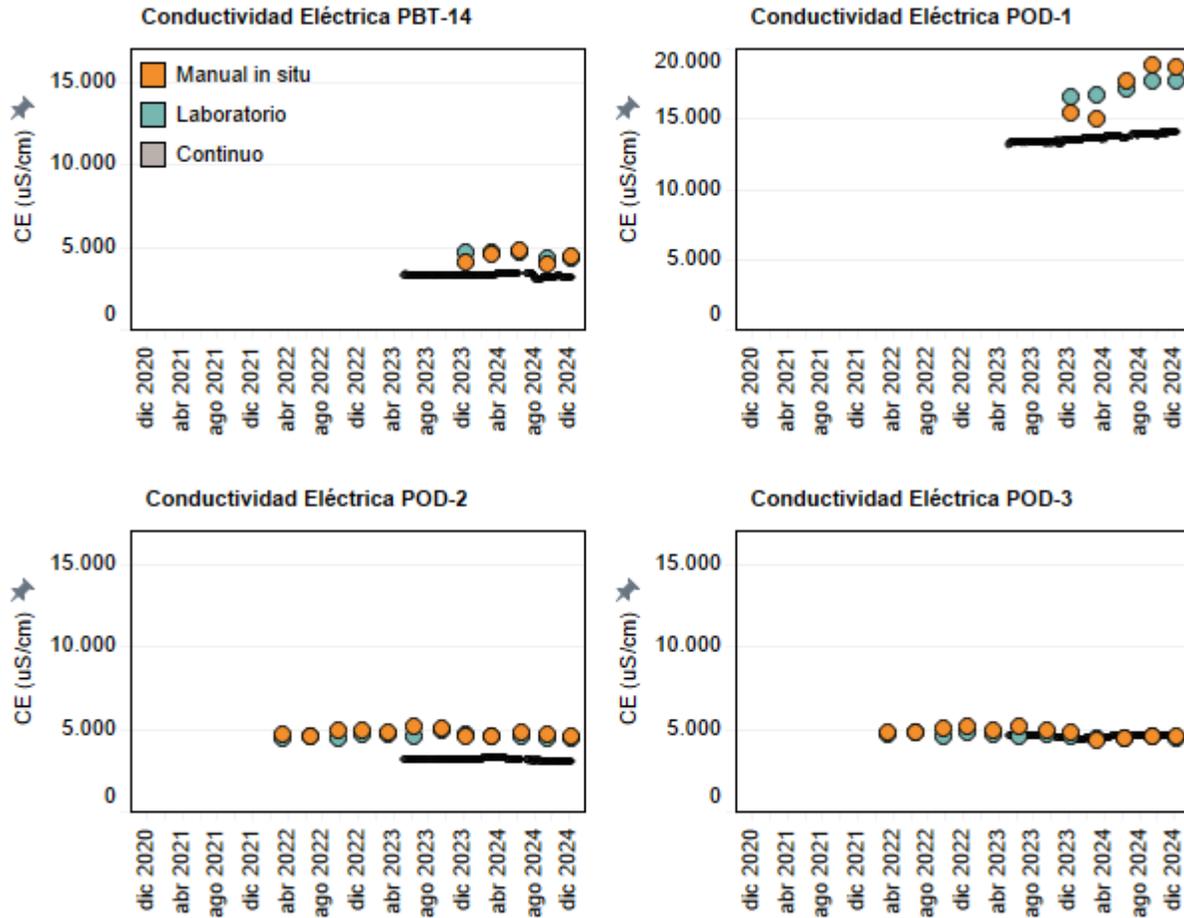


Figura 5-31: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos PBT-14, POD-1, POD-2 y POD-3.

Finalmente, respecto a la Figura 5-32, se observa que los puntos B-2 y B-4 registran niveles fluctuantes, en general, con una ligera tendencia al alza.

Respecto a la comparación entre las mediciones continuas y manuales (tanto in situ como en laboratorio) de la conductividad eléctrica, se observa una leve diferencia entre ambas mediciones, relacionado posiblemente con la estratificación que presenta el agua, de manera similar a lo comentado para los puntos PB-9, PB-11, PBT-14, POD-1 y POD-2. Cabe destacar que las mediciones continuas del punto B-4 durante septiembre de 2024 muestran un ligero descenso; sin embargo, los registros posteriores retoman la tendencia original.

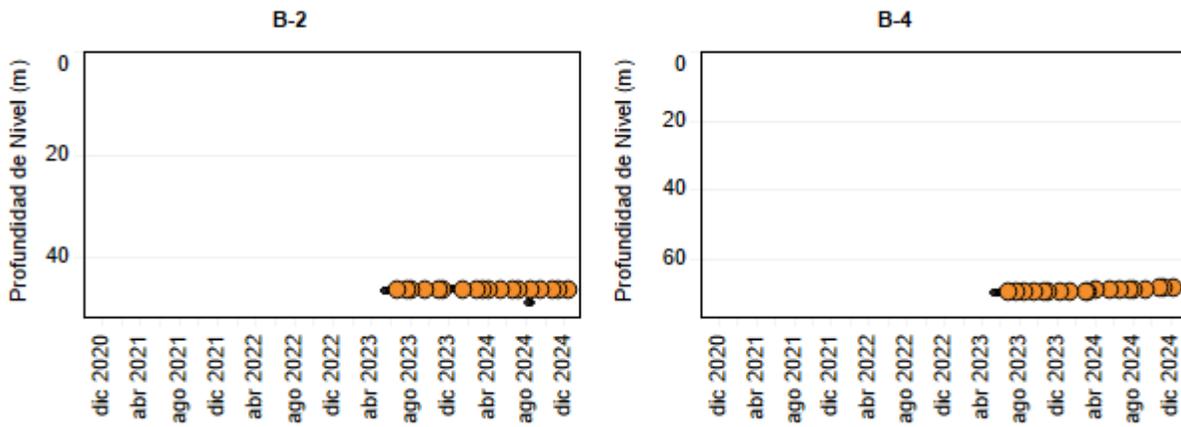


Figura 5-32: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos asociados al nuevo campo de pozos B-2 y B-4.

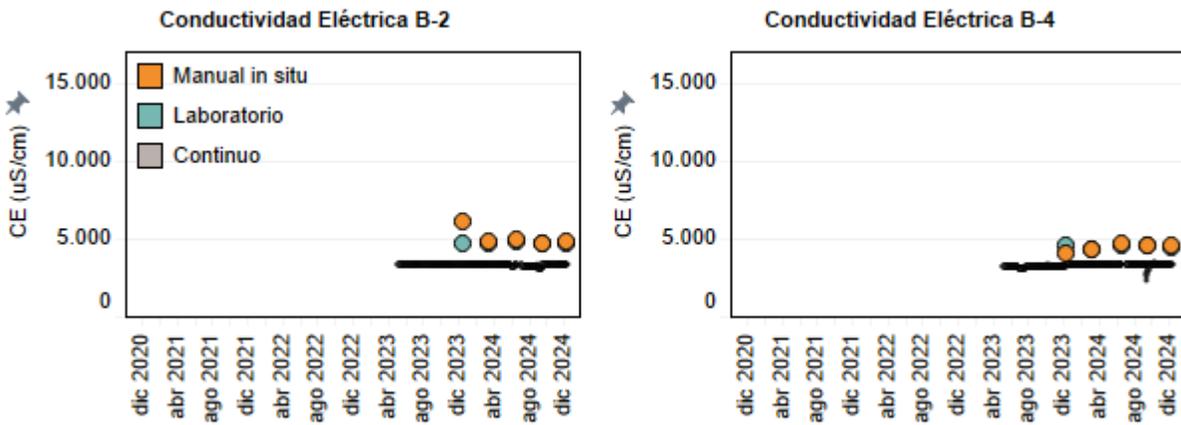


Figura 5-33: Registro continuo de la conductividad eléctrica en los puntos B-2 y B-4.

5.4 Evolución temporal del nivel 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 2024, son presentadas en la Figura 5-34 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. De igual manera, no se tiene registro de los datos de medición continua del punto CP-09 posterior a diciembre 2023, debido a que se cortó el cable del diver, cayendo dentro del pozo. 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 (diciembre 2024).

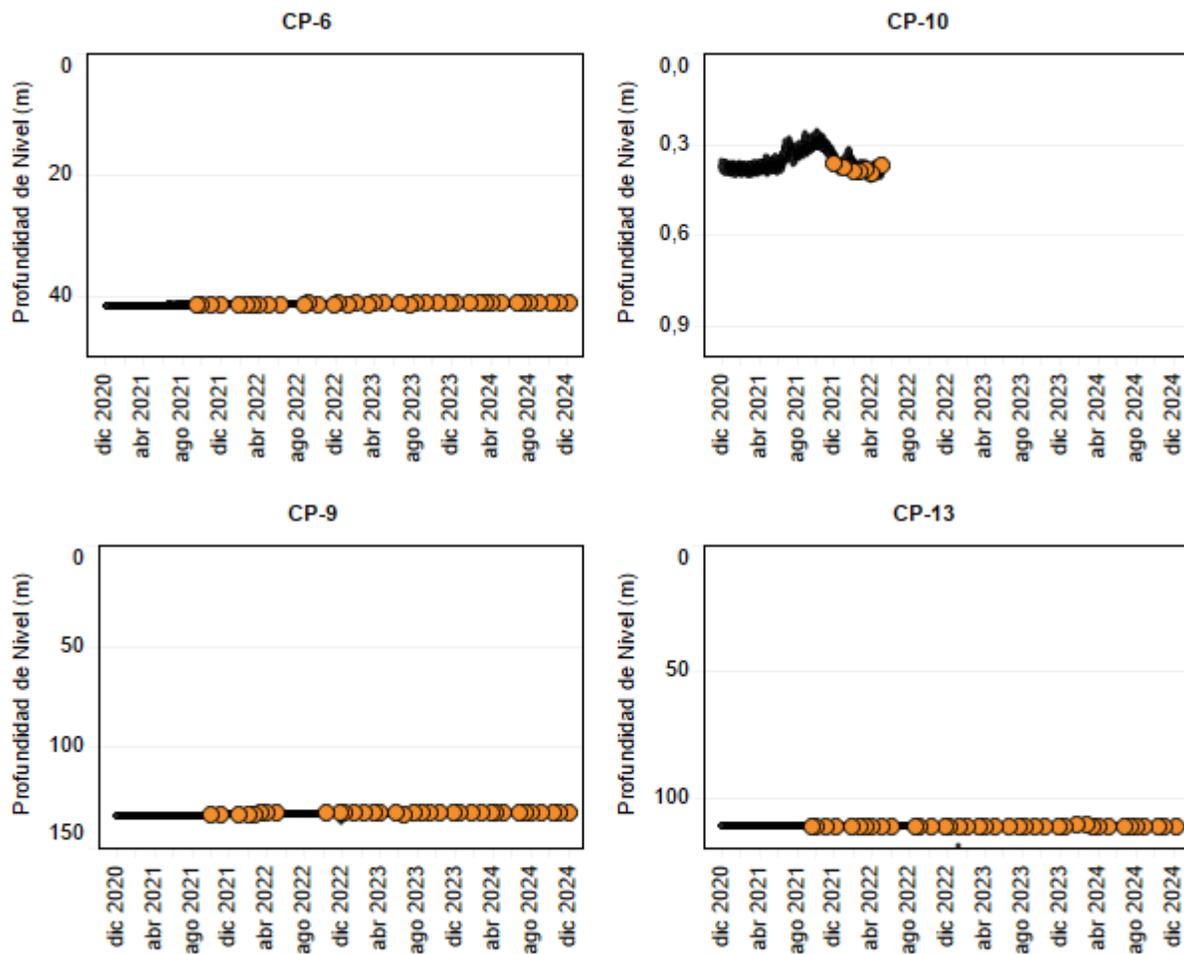


Figura 5-34: Registro continuo de la profundidad de nivel de agua en los puntos CP-06, CP-09, CP-10 y CP-13.

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 2024. 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, obstruidos 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.

Respecto a la conductividad eléctrica muestreada in situ y en laboratorio en el segundo semestre de 2024, en términos generales, se observan fluctuaciones en torno a los 4.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin considerar las mediciones registradas en el punto POD-1, que se desvían de este rango, suscitado posiblemente por la variabilidad en la profundidad de instalación del sensor.

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.

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