



SQM SALAR SPA.

**INFORME N°35 DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL
HIDROGEOLÓGICO PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS
DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA**

**INFORME DE MONITOREO SEMESTRAL
ACTUALIZADO A JUNIO 2024**



ÍNDICE

1	RESUMEN	17
2	INTRODUCCIÓN	20
3	OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (PSAH)	24
4	MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
4.2	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS OBJETO DEL PSAH	25
4.3	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS O ÁREAS DE MONITOREO	30
4.4	PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES	53
4.5	MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍAS DE MONITOREO	56
4.6	FECHA DE MEDICIÓN, MUESTREO Y/O ANÁLISIS	57
4.7	INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS	57
5	RESULTADOS DEL PRIMER SEMESTRE 2024	62
5.1	MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO	64
5.2	MONITOREO Y ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS	155
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	174
6.1	ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL	174
6.2	ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS	345
7	CONCLUSIONES	369
8	REFERENCIAS	380
9	GLOSARIO Y ABREVIACIONES	382
9.1	GLOSARIO	382
9.2	ABREVIACIONES	383



LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1: Ubicación esquemática de los sistemas y sectores ambientales del PSAH	28
Figura 4-2: Zonificación Salar de Atacama basado en delimitación de las unidades hidrogeológicas	29
Figura 4-3: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH	31
Figura 4-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Soncor.....	33
Figura 4-5: Representación gráfica de las reglillas cercanas al Puente San Luis.....	35
Figura 4-6: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana.....	37
Figura 4-7: Registro Fotográfico de Reglilla L5-G3	38
Figura 4-8: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este	40
Figura 4-9: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Peine.....	42
Figura 4-10: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo	44
Figura 4-11: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama.....	46
Figura 4-12: Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina	48
Figura 4-13: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este	51
Figura 4-14: Ubicación Indicadores de Estado Sistema Peine.....	52
Figura 5-1: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del Sistema Soncor.....	76
Figura 5-2: Nivel dinámico observado (m s.n.m.) en zona aluvial de Sistema Soncor – Pozos de extracción de agua industrial	76
Figura 5-3: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar	78
Figura 5-4: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros.....	79
Figura 5-5: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector oeste y sur de la laguna Chaxa	80
Figura 5-6: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros.....	81
Figura 5-7: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros	82
Figura 5-8: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial Sistema Soncor.....	83
Figura 5-9: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Soncor	85



Figura 5-10: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – sector Puente San Luis.....	86
Figura 5-11: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – niveles en las lagunas	87
Figura 5-12: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de Chaxa	90
Figura 5-13: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor	91
Figura 5-14: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Soncor	97
Figura 5-15: Caudales medidos en puntos de aforo Barros Negros y Puente San Luis Sistema Soncor	99
Figura 5-16: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar	101
Figura 5-17: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa	102
Figura 5-18: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros.....	103
Figura 5-19: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Aguas de Quelana	105
Figura 5-20: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2	106
Figura 5-21: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5.....	107
Figura 5-22: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua.....	108
Figura 5-23: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B al oeste de las lagunas difusas	109
Figura 5-24: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Aguas de Quelana.....	110
Figura 5-25: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana	111
Figura 5-26: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana en enero 2024 (izquierda) y abril 2024 (derecha) a misma escala gráfica	113
Figura 5-27: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana	114
Figura 5-28: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Aguas de Quelana	119
Figura 5-29: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este.....	121
Figura 5-30: Nivel observado (m s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este	122



Figura 5-31: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este	123
Figura 5-32: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Vegetación Borde Este	127
Figura 5-33: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine	128
Figura 5-34: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine.....	129
Figura 5-35: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine	130
Figura 5-36: Error de balance iónico para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras de sistema Peine.....	136
Figura 5-37: Caudales medidos en los puntos de aforo Salada y Saladita del Sistema Peine.....	137
Figura 5-38: Mapa delimitación lacustre de laguna Salada, sector Peine (abril 2024)	139
Figura 5-39: Mapa delimitación lacustre de laguna Saladita, sector Peine (abril 2024).....	140
Figura 5-40: Mapa delimitación lacustre de laguna Interna, sector Peine (abril 2024).....	141
Figura 5-41: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo.....	142
Figura 5-42: Nivel observado (m s.n.m.) de la reglilla del sector Vegas de Tilopozo	143
Figura 5-43: Nivel observado (m s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo	145
Figura 5-44: Nivel observado (m s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo.....	146
Figura 5-45: Nivel observado (m s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo	147
Figura 5-46: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de KCL	149
Figura 5-47: Nivel observado (m s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina	152
Figura 5-48: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3.....	153
Figura 5-49: Registro de CE para los pozos L4-3, Cuña 4 y Cuña 5.....	154
Figura 5-50: Registro de CE para los pozos L10-1 y Cuña 6.....	154
Figura 5-51: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente	158
Figura 5-52: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente	158
Figura 5-53: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente	159



Figura 5-54: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores estado L1-G4 Reglilla del PC Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente	159
Figura 5-55: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes	161
Figura 5-56: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa	163
Figura 5-57: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex.....	165
Figura 5-58: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente	166
Figura 5-59: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente	167
Figura 5-60: Descensos observados (m) en el indicador de estado L7-13 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente	167
Figura 5-61: Descensos observados (m) en los indicadores de estado L3-11 y L9-1 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente.....	168
Figura 5-62: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine	170
Figura 5-63: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine	170
Figura 5-64: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado 1028 del Sistema Peine	171
Figura 5-65: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex.....	172
Figura 5-66: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana.....	173
Figura 5-67: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana.....	173
Figura 6-1: Infraestructura presente en el sistema Soncor – Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles.....	178
Figura 6-2: Niveles medidos en los puntos del Sector Tambillo	180
Figura 6-3: Descensos calculados de los puntos del Sector de Tambillo	180



Figura 6-4: Niveles dinámicos medidos en los pozos de agua industrial del Sistema Soncor.....	182
Figura 6-5: Descensos calculados de los puntos del Sistema Soncor que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial	184
Figura 6-6: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la Laguna Puilar	185
Figura 6-7: Niveles medidos en las reglillas Puilar SQM y CONAF.....	186
Figura 6-8: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la Laguna Puilar	186
Figura 6-9: Niveles medidos en reglillas ubicadas en el entorno de medición del aforo Puente San Luis	187
Figura 6-10: Niveles medidos en las reglillas en la salida de la Laguna de Chaxa	188
Figura 6-11: Niveles medidos en las reglillas del cuerpo principal de la Laguna Barros Negros.....	189
Figura 6-12: Niveles medidos en reglillas que se encuentran entre la Laguna de Chaxa y Barros Negros	190
Figura 6-13: Descensos calculados en los pozos ubicados en la Zona Marginal más cercanos al acuífero aluvial	192
Figura 6-14: Descensos calculados en los pozos asociados al comportamiento marginal	194
Figura 6-15: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-15, L1-16, L7-10 y L7-11)	196
Figura 6-16: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10).....	197
Figura 6-17: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-4, L1-7 y L2-5)	198
Figura 6-18: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga directa del desborde de Cola de Pez	199
Figura 6-19: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga de forma indirecta del desborde de Cola de Pez	200
Figura 6-20: Niveles medidos pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (grupo 1).	202
Figura 6-21: Niveles medidos pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (grupo 2).	203
Figura 6-22: Niveles medidos pozos ubicados al oeste del sistema de lagunas de Soncor	204
Figura 6-23: Niveles medidos en el núcleo del Sistema Soncor	205
Figura 6-24: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar.....	207
Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor.....	208



Figura 6-26: Series de tiempo históricas de superficie lacustre zonas de desbordes de Laguna Barros Negros – Soncor.....	209
Figura 6-27: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR.....	210
Figura 6-28: Superficie histórica de superficie lacustre en laguna Puilar – SONCOR.....	211
Figura 6-29: Series históricas de variables meteorológicas en la estación Chaxa	213
Figura 6-30: Caudal histórico de los pozos de Agua Industrial del Sistema Soncor (Zona Aluvial)	214
Figura 6-31: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L1-4, L1-5, L1-6 y L2-5.....	218
Figura 6-32: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L2-4, L2-3 y L7-3.....	220
Figura 6-33: Evolución histórica calidad del agua en pozos L1-G4, L7-G1, SOPM-14 y SOPM-7 (L2-6)	222
Figura 6-34: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1	226
Figura 6-35: Diagrama de Piper para los puntos Mullay-1 y Allana	229
Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto.....	232
Figura 6-37: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor.....	236
Figura 6-38: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, laguna Chaxa y laguna Barros Negros.	237
Figura 6-39: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís	238
Figura 6-40: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros.....	239
Figura 6-41: Infraestructura presente en el sistema Aguas de Quelana y clasificada según comportamiento de los niveles	241
Figura 6-42: Niveles en los pozos de agua industrial del Sistema Aguas de Quelana.....	243
Figura 6-43: Descensos calculados a partir de 2008 de los puntos del Sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial	244
Figura 6-44: Descensos calculados de los puntos del Sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento de transición entre la zona marginal y el acuífero aluvial	246
Figura 6-45: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del Sistema Aguas de Quelana	247
Figura 6-46: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13)	249
Figura 6-47: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L3).....	250



Figura 6-48: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (L14).....	251
Figura 6-49: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (L4).....	252
Figura 6-50: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L5).....	253
Figura 6-51: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L13).....	255
Figura 6-52: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L3).....	255
Figura 6-53: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L14).....	256
Figura 6-54: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L4).....	256
Figura 6-55: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L5).....	257
Figura 6-56: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al Núcleo en el Sistema Aguas de Quelana.....	258
Figura 6-57: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial.....	259
Figura 6-58: Comportamiento anual típico de extensión lagunar entre el 2006 y 2024 empleando imágenes satelitales de alta resolución espacial.....	261
Figura 6-59: Caudal bombeado del sistema Aguas de Quelana (Zona Aluvial).....	262
Figura 6-60: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8.....	265
Figura 6-61: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L4-12, L4-10, L5-3 y L4-9.....	267
Figura 6-62: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10.....	269
Figura 6-63: Diagrama Piper para las muestras con balance de cargas <10% en L4-10.....	271
Figura 6-64: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socarire-5B.....	274
Figura 6-65: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B.....	275



Figura 6-66: Infraestructura presente en el sistema Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles.....	276
Figura 6-67: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al Sistema de Vegetación Borde Este	278
Figura 6-68: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al Sistema de Vegetación Borde Este	278
Figura 6-69: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del Sistema Vegetación Borde Este	279
Figura 6-70: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial).....	280
Figura 6-71: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción P2 y CA-2015 (a partir de abril de 2017 corresponden al pozo CA-2015).....	283
Figura 6-72: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para CA-2015 y P2.....	286
Figura 6-73: Infraestructura presente en el sistema Peine y clasificada según comportamiento de los niveles.....	287
Figura 6-74: Niveles medidos en la Zona Aluvial del Sistema Peine	289
Figura 6-75: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el Núcleo	290
Figura 6-76: Niveles en las reglillas de agua superficial del Sistema Peine.....	292
Figura 6-77: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el Núcleo, para el Sistema Peine.....	293
Figura 6-78: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada.	294
Figura 6-79: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita.	295
Figura 6-80: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna.	295
Figura 6-81: Comparación satelital de Salada (Cuerpo principal) entre 2007 y 2024 (meses de abril). ...	296
Figura 6-82: Comparación satelital de Saladita y Desborde Laguna Interna entre 2007 y 2024 (meses de abril).	297
Figura 6-83: Comparación satelital de cambios observados en sector de Saladita entre año 2007 y 2024 (meses de abril).....	298
Figura 6-84: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1.....	303
Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna	307



Figura 6-86: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine con un BI>10%.....	311
Figura 6-87: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna.....	312
Figura 6-88: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine	313
Figura 6-89: Infraestructura presente en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles.....	314
Figura 6-90: Descensos calculados en los puntos de la Zona Marginal y el núcleo del Sector Vegas de Tilopozo	315
Figura 6-91: Niveles medidos en la reglilla del Sector Vegas de Tilopozo	316
Figura 6-92: Infraestructura presente en el sector Núcleo	317
Figura 6-93: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del Núcleo del Salar	319
Figura 6-94: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle	320
Figura 6-95: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle. Detalle para los puntos 2040, E-101 y M1-C	321
Figura 6-96: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde Oeste del Núcleo del Salar	322
Figura 6-97: Niveles medidos en el sector Norte del Núcleo del Salar	323
Figura 6-98: Descensos calculados para los puntos ubicados en el sector Norte del Núcleo del Salar	323
Figura 6-99: Series históricas de variables meteorológicas en la estación KCL	6-325
Figura 6-100: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001.....	328
Figura 6-101: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 1).....	331
Figura 6-102: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 2).....	332
Figura 6-103: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)	334
Figura 6-104: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este)...	338
Figura 6-105: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste)	342
Figura 6-106: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia ...	346
Figura 6-107: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia	347
Figura 6-108: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia	348
Figura 6-109: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia	349



Figura 6-110: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de los pozos de agua industrial junto con los umbrales del Plan de Contingencia	351
Figura 6-111: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del PC.....	352
Figura 6-112: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del PC .	354
Figura 6-113: Descensos de los indicadores de Vegetación Brea-Atriplex con comportamiento asociado al acuífero aluvial, junto con sus umbrales del PC.....	356
Figura 6-114: Descensos de los indicadores L2-28, L3-3, L9-1 y L4-7, junto con sus umbrales del PC	358
Figura 6-115: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC.....	360
Figura 6-116: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC....	361
Figura 6-117: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC....	361
Figura 6-118: Descenso indicadores L3-11 y L9-1 junto al umbral subsistema Alerta Temprana del PC .	362
Figura 6-119: Niveles medidos en 1028 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine ...	364
Figura 6-120: Niveles medidos en L10-11 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine	364
Figura 6-121: Niveles medidos en L10-4 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine ..	365
Figura 6-122: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC.....	366
Figura 6-123: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC .	367
Figura 6-124: Descenso del indicador L3-15, junto con sus umbrales del PC.....	368



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1: Resumen puntos de monitoreo del PSAH	18
Tabla 1-2: Activaciones y desactivaciones de Fase en indicadores durante el periodo actual	19
Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe.....	22
Tabla 2-2: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia	23
Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección	27
Tabla 4-2: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua	34
Tabla 4-3: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua	45
Tabla 4-4: Indicadores de Estado del Plan de Contingencia	50
Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH	55
Tabla 4-6: Metodologías de monitoreo y consideraciones utilizadas para el muestreo	56
Tabla 5-1: Detalle de la frecuencia y el responsable de las mediciones según éstas sean comprometidas o tomadas de forma voluntaria.....	63
Tabla 5-2: Resumen información complementaria para cada componente en anexos	65
Tabla 5-3: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de ingreso a RNLF	68
Tabla 5-4: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Soncor.....	69
Tabla 5-5: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Aguas de Quelana	70
Tabla 5-6: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de las comunidades	72
Tabla 5-7: Resumen de puntos no visitados.....	73
Tabla 5-8: Estadígrafos de series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura de la estación meteorológica de Chaxa	89
Tabla 5-9: Resultados calidad del agua Sistema Soncor	93
Tabla 5-10: Resultados calidad del agua en pozos de extracción	94
Tabla 5-11 Resultados calidad del agua en agua superficial	95
Tabla 5-12: Resultados de la validación en el sistema Soncor	96



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Tabla 5-13: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor.....	97
Tabla 5-14: Resultados de aforos manuales en los puntos Barros Negros y Puente San Luis	98
Tabla 5-15. Superficies lacustres primer semestre 2024 en Sistema Soncor.....	100
Tabla 5-16: Superficie lacustre para el primer semestre el año 2024 en Sistema Aguas de Quelana.....	112
Tabla 5-17: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana	116
Tabla 5-18: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo Camar-2, L4-10 y SOCAIRE-5B	117
Tabla 5-19: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana	118
Tabla 5-20: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana.....	119
Tabla 5-21: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015.....	125
Tabla 5-22: Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este.....	126
Tabla 5-23: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine.....	132
Tabla 5-24: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine.....	134
Tabla 5-25: Resultados de la validación en el sistema Peine	135
Tabla 5-26: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine.....	135
Tabla 5-27: Resultados de aforos manuales en los puntos Salada y Saladita	137
Tabla 5-28: Superficies Lacustres primer semestre 2024 en Sistema Peine	138
Tabla 5-29: Estadígrafos de series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura en la estación meteorológica de KCL	148
Tabla 5-30: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama.....	150
Tabla 5-31: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno	155
Tabla 5-32: Estado del Plan de Contingencias.....	156
Tabla 5-33: Indicadores de estado adicionales al Plan de Contingencias	171



LISTADO DE ANEXOS

Nombre Anexo		Tipo documento
Anexo 1	Responsables y participantes	pdf
Anexo 2	Catastro infraestructuras	pdf
Anexo 3	Metodologías	pdf
Anexo 3.1	Instructivos y procedimientos	pdf
Anexo 3.2	Certificaciones y calibraciones de equipos utilizados (no LT)	pdf
Anexo 3.2	Certificados calibración Level troll (LT)	pdf
Anexo 3.4	CV Curriculumums monitores SQM	pdf
Anexo 3.5	Detalle de los procedimientos de medición, materiales y equipos utilizados en monitoreos	pdf
Anexo 4	Comunicaciones, ordinarios y resoluciones	pdf
Anexo 4.1	Ingreso a Reserva Nacional Los Flamencos	pdf
Anexo 4.2	Gestión ingreso a Sistema Peine	pdf
Anexo 4.3	Gestión de ingreso a Tambillo	pdf
Anexo 4.4	Cartas de activación de fases	pdf
Anexo 4.5	Comunicaciones varias	pdf
Anexo 4.6	Cartas restricción de acceso	pdf
Anexo 4.7	Resoluciones ETFA-ALS	pdf
Anexo 4.8	Programación Monitoreos	.xls
Anexo 5	Nivel agua subterránea y superficial	
Anexo 5.1	Informes ETFAS	pdf
Anexo 5.2	Niveles formato RES.894	.xls
Anexo 5.3	Caudales medios mensuales bombeados PSAH	pdf
Anexo 5.4	Niveles del PSAH y recuento mediciones por empresa	pdf
Anexo 5.5	Mínimos y máximos de niveles del PSAH y umbrales	pdf



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Nombre Anexo		Tipo documento
Anexo 6	Calidad química	
Anexo 6.1	Informes ETFA	pdf
Anexo 6.2	Calidad de Agua resultante formato RES. 894	.xls
Anexo 6.3	Series históricas de calidad química	pdf
Anexo 7	Caudal agua industrial (<i>formato RES. 894</i>)	.xls
Anexo 8	Caudal agua superficial (<i>formato RES. 894</i>)	.xls
Anexo 9	Variables meteorológicas	pdf
Anexo 10	Extensión lagunar	
Anexo 10.1	Cálculo de superficies lacustres	pdf
Anexo 10.2	Estacas perimetrales y puntos de control	pdf
Anexo 10.3	Compilado de resultados de extensión lagunar	pdf
Anexo 10.4	Shapefiles superficies lacustres	.zip
Anexo 11	Estratigrafía y habilitación de piezómetros y pozos	pdf
Anexo 12	Indicadores, umbrales y medidas aplicables al sistema peine	pdf
Anexo 12.1	Definición de umbrales para sistema Peine PdC	pdf
Anexo 12.2	Definición de medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II Sistema Peine	pdf
Anexo 12.3	Definición medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II Sistema Peine, septiembre 20	pdf
Anexo 12.4	Protocolo de aplicación de umbrales definidos para el Sistema Peine	pdf
Anexo 13	Workspace proyecto GIS	.gis



1 RESUMEN

Este informe presenta los resultados del PSAH en el Salar de Atacama para el período de enero a junio de 2024, según los compromisos del proyecto “Cambios y Mejoras de la operación Minera en el Salar de Atacama”, aprobado por la RCA N°226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta (RCA N°226/2006). Los compromisos fueron actualizados en el Programa de Cumplimiento (PdC) dentro del procedimiento sancionatorio Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), aprobado por Resolución Exenta N°38/Rol F-041-2016 de fecha 29 de agosto de 2022; Resolución Exenta N°39/Rol F-041-2016 de fecha 31 de enero de 2024 y Resolución Exenta N° 40/Rol F-041-2016 de fecha 08 de abril de 2024, todas de la Superintendencia del Medio Ambiente.

En este informe se incluyen los registros del PSAH del semestre mencionado y un análisis de las tendencias históricas para cada sistema ambiental monitoreado. Se presentan datos de los parámetros hidrogeológicos observados, como el nivel de la napa de salmuera y de agua dulce, superficies lacustres, parámetros meteorológicos (precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura), y características fisicoquímicas de las aguas. Además, se incluyen los registros y análisis de caudales de agua dulce bombeada y de recarga superficial a sistemas lacustres, establecidos en el considerando 10.2 de la RCA N°226/2006. Los resultados del caudal bombeado de salmuera se entregan anualmente a la autoridad ambiental según el considerando 10.2.7 de la RCA N°226/2006.

Las mediciones y acciones consideradas en el PSAH se orientan al seguimiento y resguardo de los sistemas protegidos de la cuenca de Salar de Atacama, a proveer información para operar el Plan de Contingencia (PC) y a caracterizar el comportamiento de las variables hidrogeológicas que permitirá evaluar el estado ambiental y el funcionamiento hidrogeológico y biótico de los sistemas. La información recopilada nutre las actualizaciones bienales del Modelo Numérico Hidrogeológico del proyecto.

Los sistemas y sectores monitoreados por el PSAH incluyen:

- Sistema Soncor
- Sistema Aguas de Quelana
- Sistema Vegetación Borde Este
- Sistema Peine
- Sector Vegas de Tilopozo
- Núcleo del Salar de Atacama
- Cuña Salina (como parte de los compromisos de la RCA).



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

El PSAH consta de 225 puntos de monitoreo en los diferentes seguimientos (Tabla 1-1).

Tabla 1-1: Resumen puntos de monitoreo del PSAH

Tipo de Punto de Monitoreo	Seguimiento	Cantidad
Pozos	Aguas subterráneas	196
Pozos	Agua industrial ¹	5
Reglillas	Agua superficial	18
Estaciones de aforo	Agua superficial	4
Estaciones meteorológicas	Antecedente forzantes meteorológicas	2

Nota: (1) El pozo de bombeo de agua industrial Camar-2 fue deshabilitado en junio de 2021 según lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar. Sin embargo, se sigue utilizando como punto de medición de nivel y calidad para el Sistema Aguas de Quelana, conforme a la RCA N.º 226/2006.

La dinámica hidrogeológica del Salar de Atacama depende del balance hídrico y la actividad antrópica en las unidades acuíferas del sector donde se ubica el proyecto. Fenómenos locales también pueden influir en esta dinámica. Las estructuras hidrogeológicas asociadas incluyen el acuífero aluvial del Borde Este del Salar y el reservorio de salmuera del Núcleo. Los flujos subterráneos de las zonas altas de la cuenca convergen en la zona marginal del Salar, produciendo niveles freáticos someros y sistemas lagunares y/o humedales debido al contraste de densidades entre la salmuera y el agua dulce/salobre, potenciando la descarga por evaporación.

La mayoría de los puntos de medición del PSAH se ubican en la zona marginal, donde se encuentran los sistemas ambientales que son objeto de protección. Los caudales de bombeo de salmuera se diseñaron para no afectar a los sistemas objeto de protección.

Uno de los objetivos del PSAH es proveer información para operar el PC, el cual provee una respuesta pronta y oportuna a desviaciones no previstas y se basa en más de 17 años de monitoreo de variables hidrogeológicas y bióticas, que indican que los sistemas a proteger toleran adecuadamente variaciones hidrológicas estacionales e interanuales ya sean naturales o antrópicas, situación que se ha corroborado desde el inicio del monitoreo del PSAH (mayo del año 2007) a la fecha.

El PC establece un área de control alrededor de los sistemas de lagunas y vegetación en el Borde Este, por medio del monitoreo de piezómetros o reglillas como indicadores de estado. Estos indicadores activan el PC en dos fases:

- **Fase I:** Alerta Temprana → Aumento de frecuencia de medición.
- **Fase II:** Medidas de Contingencia → Reducción de extracción de agua/salmuera.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Las secciones 5.2 y 6.2 evalúan los resultados y describen las acciones implementadas en cumplimiento del PC para cada sistema protegido. Al respecto:

- Desde diciembre de 2018, la frecuencia de medición de los indicadores del PC pasó de mensual a diaria, excepto en la Reserva Nacional Los Flamencos, donde se ajusta según el Protocolo de ingreso aprobado por la Resolución N°56/2019 de CONAF.
- Desde octubre de 2018, el PC provisorio del Sistema Peine incluye los indicadores de estado PN-05B y PN-08A del Plan de Alerta Temprana del Proyecto “Modificación y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama” (RCA N°21/2016), junto con los indicadores de estado de SQM (1028, L10-11 y L10-4). La consideración de estos indicadores depende del aviso de activación por parte de la SMA a SQM, y han sido incluidos en el PSAH para efectos de discusión de resultados, no así para seguimiento.
- Desde el segundo semestre de 2022, ha habido restricciones de ingreso a ciertos sectores de la cuenca por parte de las comunidades locales. SQM mantiene comunicación con estas comunidades para obtener permisos necesarios para el monitoreo. Esta dinámica ha limitado las acciones de SQM para cumplir por completo con los compromisos ambientales.

Durante el período reportado de enero a junio de 2024, se registraron las activaciones y desactivaciones de Fase en indicadores como se detalla en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Activaciones y desactivaciones de Fase en indicadores durante el periodo actual

Sector	Indicador de estado	Fase de Activación	Fecha activación	Estado activación
Sistema Borde Este	L1-17	Fase I	20/02/24	Desactivado
	L1-17	Fase II	06/03/24	Desactivado
	L2-27	Fase I	29/02/24	Desactivado
	L2-27	Fase II	12/03/24	Desactivado
	L7-3	Fase I	25/02/24	Desactivado
	L2-7	Fase I	29/01/24	Activado
Sistema Aguas de Quelana	L4-12	Fase II	21/01/24	Desactivado
Sistema Peine	L10-11	Fase II	23/06/24	Activado
	PN-05B	Fase I	14/06/24	Activado
	PN-08A	Fase II	14/06/24	Activado



2 INTRODUCCIÓN

El presente Informe N°35 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) analiza y reporta la información recolectada entre enero a junio 2024, conforme a los compromisos ambientales de la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” de SQM Salar S.A. (SQM). El compromiso deriva específicamente de los considerandos 10.2 y 11.1 de la RCA N°226/2006.

El PSAH mide variables ambientales relacionadas con el agua y meteorología, incluyendo niveles de agua subterránea y salmuera, calidad química de acuíferos y cuerpos superficiales, caudales superficiales (aforos), superficies lacustres, caudales de bombeo de agua industrial, y parámetros meteorológicos como precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura.

La RCA N°226/2006 establece un Plan de Contingencia (PC) con indicadores de estado y umbrales para los sistemas Soncor, Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este, en los que se han definido umbrales en forma de nivel o descenso máximos. Este sistema de alarma busca prevenir efectos adversos de la actividad extractiva. En el presente reporte, se exponen los resultados y análisis de la red completa del PSAH y en otro apartado se hace especial atención a los puntos del PC con relación a los umbrales.

A las exigencias de la RCA indicada anteriormente, se suman las acciones comprometidas en el Programa de Cumplimiento (en adelante PdC), relacionados con el PSAH, que corresponden a:

- i. Definir y aplicar indicadores de estado, umbrales de activación y medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II para el Sistema Peine.
- ii. Aumentar la frecuencia de monitoreo de mensual a diaria en los indicadores de estado de los PdC de los sistemas Soncor, Aguas de Quelana, Vegetación Borde Este y Peine.

El Decreto Supremo N°38/2013 del Ministerio del Medio Ambiente exige que las actividades de muestreo, medición y/o análisis sean realizadas por una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) con autorización vigente, salvo las mediciones diarias, que pueden ser realizadas por el titular.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Para dar cumplimiento al decreto mencionado, y de acuerdo con la Resolución Exenta N°574 de 2022¹, para el período objeto del presente reporte (primer semestre de 2024), las mediciones de nivel y caudal efectuadas con frecuencias menores a diarias han sido realizadas por la ETFA SEGEA y las mediciones diarias de nivel han sido realizadas por personal de SQM. Por su parte, los muestreos y medición in-situ es realizada por la ETFA SEGEA, mientras que el análisis de calidad del agua en laboratorio fue realizado por la ETFA ALS Life Sciences Chile S.A.

El informe detalla los cambios en la normativa establecidos en la Resolución Exenta N°573/2022, especificando en el Capítulo 4.4 los responsables de las mediciones (entre el titular y la ETFA), según la variable y la frecuencia comprometida.

Desde diciembre de 2018, SQM asumió las mediciones de calidad del agua en las lagunas Barros Negros, Chaxa, Puilar y Canal de Burro Muerto, previamente gestionadas en convenio con CONAF-SQM (finalizado en diciembre 2018), contratando a SEGEA para el primer semestre de 2024.

Una restricción significativa en la ejecución del PSAH es el acceso limitado a la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF). Mediante Resolución N°56/2019, CONAF² aprobó el Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos, que entró en vigor a contar del 14 de junio de 2019, el que define el procedimiento, requisitos y limitaciones para autorizar actividades de monitoreo al interior de la Reserva. En los meses que se contó con autorización de acceso para los monitoreos (sección 5.1.1), la frecuencia de las visitas ha sido inferior a la necesaria para cumplir con los compromisos del PSAH, debido a que los días de trabajo máximo asignados en las autorizaciones otorgadas por las entidades co-administradoras de la RNLF (CONAF y la Comunidad de Toconao) limitan los sectores y el tiempo efectivamente disponible de trabajo. También durante el mes de enero, y debido a la Contingencia por bloqueos de caminos realizada por los Pueblos Atacameños en algunos accesos al

¹ Se deja sin efecto la Resolución Exenta N°127/2019 por revocación, desde la entrada en vigor del acto administrativo Resolución Exenta N°574/2022. La derogación de esta norma toma efecto desde el 25 de abril de 2022.

² Actual entidad administradora de esta área silvestre protegida, en conjunto con la Comunidad Atacameña de Toconao, en lo que respecta al Sistema Hidrológico Soncor, en conformidad a Contrato de Asociatividad suscrito entre ambas partes en 2002.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Salar de Atacama, fue imposible realizar el monitoreo de los 34 puntos diarios comprometidos, correspondientes al Plan de Contingencia (Carta ETFA SEGEA del 23/01/2024).

La Tabla 2-1 presenta los responsables de las actividades ejecutadas durante el primer semestre de 2024, y el Anexo 1 lista las personas involucradas en cada actividad.

Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe

Responsable y participantes	Actividad realizada
SQM Salar SpA.	Mediciones continuas de nivel freático y superficial, caudales continuos de pozos de agua industrial y perfiles de conductividad eléctrica. Mediciones en campo de parámetros fisicoquímicos ³ Mantenimiento y descarga de datos de estaciones meteorológicas
SEGEA	Mediciones de nivel freático y nivel de agua superficial (incluidos los puntos del ex convenio CONAF-SQM). Caudales superficiales. Muestreo de aguas, medición de parámetros de campo. Imposibilitados de monitorear puntos PC en enero debido a la Contingencia por Bloqueos de caminos realizada por los Pueblos Atacameños (10 al 14 de enero del 2024, más el día 23-01-2024)
ALS Life Sciences Chile S.A.	Análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio
SRGIS	Procesamiento de imágenes satelitales y cálculo de extensión lagunar derivado
ATYCEO	Levantamiento de puntos de control para procesamiento de imágenes satelitales. Actividades en terreno para obtención RTK y cálculo extensión lagunar derivado. Actividades en terreno para levantamiento de estacas perimetrales y cálculo extensión lagunar derivado, en el marco de ex convenio CONAF-SQM.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo requerido por la SMA mediante el Ordinario MZN N°418/2016, en la Tabla 2-2 se indican las fechas aproximadas de entrega de los siguientes informes del PSAH indicándose, además, el número del informe en que correspondía realizar la revisión del PC, según lo establecido por la RCA N°226/2006. Sin embargo, este no se presenta ya que, en enero de 2022 se presentó al Sistema de Evaluación de

³ Mediciones complementarias a las efectuadas por las ETFAS.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Impacto Ambiental el Estudio de Impacto Ambiental comprometido en el proceso sancionatorio Rol F-041-2016, que incorpora una actualización del Plan de Contingencias (Acción 50 del PdC). Por tal razón, los Informes PSAH N°33, N°34 y actual informe (N°35) no contienen una revisión del Plan de Contingencias. Esta acción se efectuará en profundidad en el marco de la evaluación del EIA del proyecto “Plan de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama”, que se encuentra actualmente en curso.

Tabla 2-2: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia

Número de Informe	Actualizado al mes	Fecha de entrega	Observaciones
Informe PSAH N°33	Jun-23	Oct-23	Revisión del PC, según considerando 11.1 de RCA N°226/2006. Sin embargo, se efectuará en el marco EIA 2022.
Informe PSAH N°34	Dic-23	Abr-24	Informe anterior.
Informe PSAH N°35	Jun-24	Oct-24	Actual informe
Informe PSAH N°36	Dic-24	Abr-25	Puede sufrir modificaciones en fecha de entrega propuesta

Fuente: Elaboración propia.



3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (PSAH)

El objetivo del PSAH es efectuar un seguimiento sistemático de las variables hidrogeológicas para verificar que éstas evolucionan según lo proyectado en la evaluación ambiental, manteniendo las condiciones de funcionamiento natural del sistema, lo que permite identificar eventuales anomalías ambientales y decidir de forma temprana la pertinencia de implementar medidas de contingencia.

El PSAH posee las siguientes características:

- Incluye todas aquellas variables que son requeridas para que el PC permita identificar anomalías ambientales y, sobre esta base, decidir la pertinencia de implementar medidas de contingencia.
- Entrega información de apoyo para la cuantificación de las variables que rigen el balance hídrico de los sistemas lacustres, lo que permite estimar la magnitud de las recargas y descargas de estos sistemas y así poder identificar posibles modificaciones de su comportamiento natural.
- Provee la información necesaria para la actualización del modelo numérico. Dicha actualización consiste en incorporar en el modelo numérico la nueva información recopilada mediante el PSAH, esto es, las series actualizadas del nivel de los acuíferos, de las variables meteorológicas (precipitación y evaporación), de las recargas y de los bombeos de salmuera y de agua. Mediante el modelo actualizado con la información más reciente levantada en el PSAH, se pueden comparar los valores de los niveles de agua/salmuera esperados (simulados) con los observados, y verificar de esta manera que dicho modelo sigue siendo una herramienta válida para la gestión ambiental.

En particular, el presente informe tiene como objetivo presentar y analizar los resultados del PSAH durante el periodo 01 de enero a 30 de junio de 2024.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se presenta la descripción de la zona de estudio, la ubicación de las infraestructuras de monitoreo y de los puntos de muestreo, los parámetros que se miden para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales, las metodologías y materiales utilizados en las labores de muestreo, las fechas en que se realizaron estos muestreos, mediciones y/o análisis y finalmente, la identificación de las principales incertidumbres asociadas a los métodos utilizados.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Salar de Atacama, objeto del presente informe de seguimiento se localiza en la Región de Antofagasta, provincia El Loa, a 55 km al sur de la Comuna de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta (capital regional). Se encuentra a una altura aproximada de 2.300 m.s.n.m., tiene unos 70 km de largo y 65 km de ancho aproximadamente, abarcando un área aproximada de 4.500 km². El núcleo del Salar, donde se ubican las faenas extractivas de salmuera, posee una superficie aproximada de 1.500 km², y está rodeado por una zona marginal de unos 2.000 km² de extensión aproximadamente. Finalmente, al este de la zona marginal se dispone un relleno de tipo aluvial que alberga un acuífero desde donde el titular realiza la extracción del agua industrial para el proyecto.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS OBJETO DEL PSAH

El PSAH contempla mediciones en siete sistemas y/o sectores del Salar de Atacama; en la Figura 4-1 se presenta su ubicación. A continuación, se describen con más detalle sus principales características:

- **El Sistema Soncor** se ubica al noreste del Núcleo del Salar y está compuesto por tres lagunas principales, dos de las cuales, Chaxa y Barros Negros, se encuentran conectadas superficialmente a través del Canal Burro Muerto y la tercera, laguna Puilar, es de menor tamaño y se ubica al noreste de las dos anteriores, sin conexión superficial entre ellas. El Canal Burro Muerto recibe aportes de agua superficial y subterránea a lo largo de su trayecto de norte a sur, y es fundamental para el abastecimiento y mantención de las lagunas Chaxa y Barros Negros. La laguna Barros Negros es la laguna terminal del sistema, y los excedentes que recibe son vertidos en zonas de desbordes colindantes a la laguna a través de 2 puntos principales: uno ubicado al oeste de la laguna (conocido como Cola de Pez) y el otro en su extremo sur (conocido como Desborde sur).



- **El Sistema Aguas de Quelana** se sitúa al este del Núcleo del Salar de Atacama y está compuesto por afloramientos de agua alineados en una disposición aproximada N-S. Estos cuerpos de agua presentan un comportamiento errático, denotando una gran variabilidad temporal y espacial en su superficie. Los cuerpos más estables se reconocen exclusivamente sobre la zona marginal, mientras que, durante períodos con eventos de precipitación intensa, éstos pueden temporalmente canalizarse y escurrir superficialmente al oeste, alcanzando incluso el límite con el núcleo del Salar.
- **El Sistema Vegetación Borde Este** se extiende por gran parte de la zona marginal este del Salar de Atacama, donde se concentra el contenido vegetacional del sector, destacándose los sectores caracterizados por la presencia de Vegetación Hidromorfa y de Brea-Atriplex (definidos como objeto de protección en la RCA N°226/2006). La zona de Vegetación Hidromorfa se ubica en el límite occidental del sistema y está compuesta por especies que viven de la humedad que se genera por encontrarse el nivel somero del agua subterránea, mientras que la vegetación Brea-Atriplex se encuentra en los sectores donde sus raíces potencialmente pueden estar conectadas con el acuífero del Borde Este.
- **El Sistema Peine** se sitúa al sureste del núcleo del Salar de Atacama, y en él se encuentran las lagunas Salada y Saladita y el desborde terminal de Interna, alineadas en una dirección aproximada SE-NW. El desborde Interna corresponde a la unidad terminal del sistema de lagunas Salada-Saladita-Interna, y su extensión depende de los desbordes o derrames que puedan ocurrir desde la laguna Saladita en épocas de abundancia hídrica. Por esta misma razón, su forma y dimensión es errática, lo que impide un registro y seguimiento adecuado y continuo de niveles y superficie.
- **El Sector Vegas de Tilopozo** se encuentra al sur del núcleo del Salar de Atacama, en este sector el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie, lo que favorece la presencia de un ecosistema tipo vegas, donde destaca la Vega de Tilopozo. En este sector se encuentran las lagunas La Punta y La Brava.
- **El Núcleo del Salar de Atacama** corresponde al punto más bajo de la cuenca del Salar de Atacama, compuesto principalmente por materiales evaporíticos donde se ha desarrollado un acuífero salino del cual SQM y otros titulares extraen salmuera.
- **Cuña salina** se define a partir de una zona de mezcla entre fluidos que presentan contraste de densidad, esta se debe a la interacción que ocurre entre el agua que fluye hacia el Núcleo del Salar

desde la Zona Aluvial con la Salmuera que se encuentra almacenada en las unidades hidrogeológicas del núcleo, el contacto entre estos tipos de fluido ocurre en la unidad hidrogeológica zona marginal. Asimismo, la red de monitoreo de la Cuña Salina consta de 9 puntos de monitoreo, distribuidos en tres perfiles, distribuidos formando una línea en el sentido del gradiente de concentraciones y a aprox. 1.500 m de distancia entre uno y otro, con objeto de observar las posibles variaciones de la profundidad, pendiente y forma de la cuña salina.

Como resumen, en la Tabla 4-1 se indican los sistemas objeto de protección ambiental del PSAH asociados a la RCA N°226/2006 y se indican además los objetos de protección definidos para cada uno de ellos.

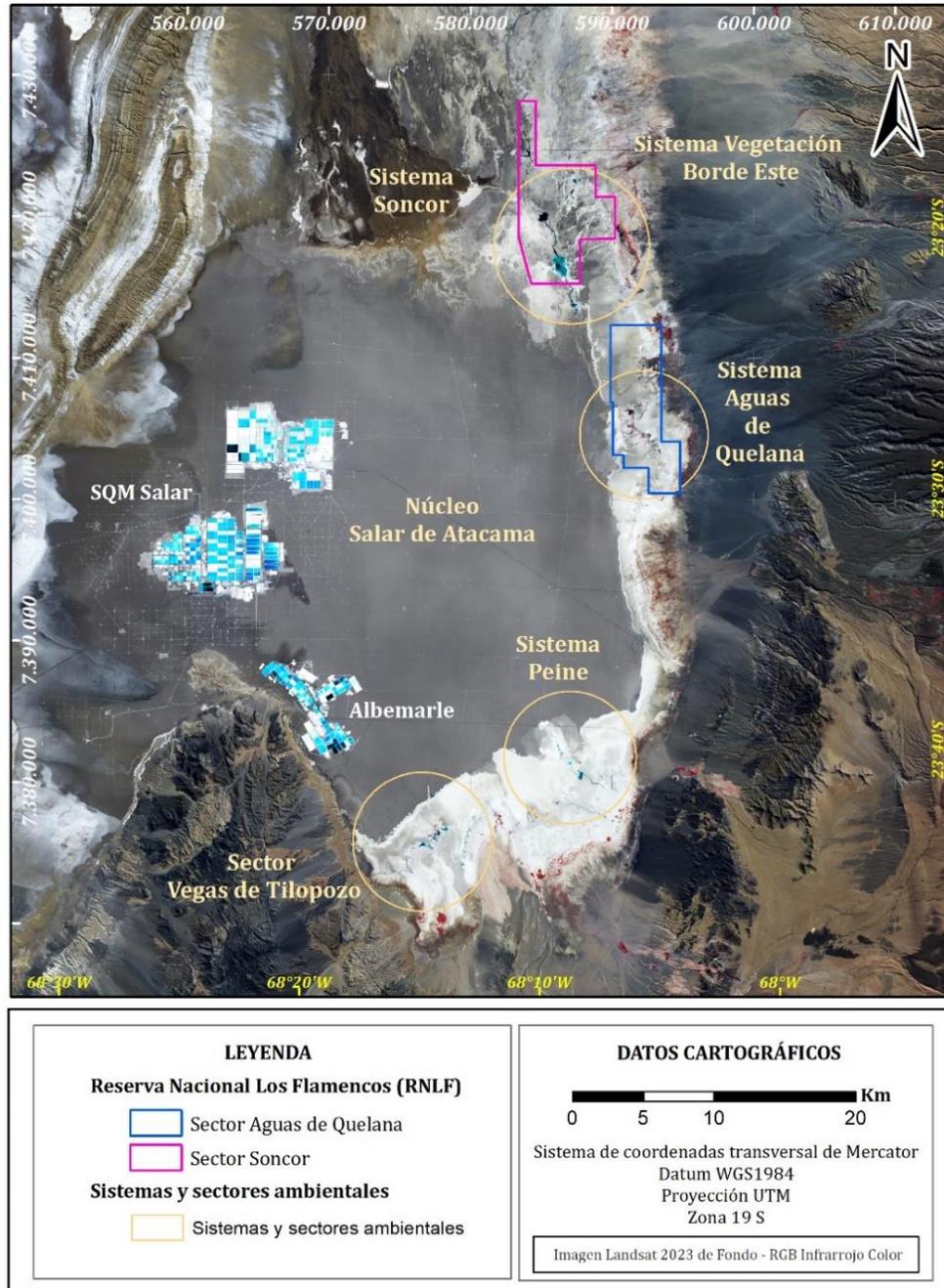
Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección

Sistema	Objetos de protección
Soncor	Lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros
Aguas de Quelana	Cuerpos lacustres dispersos y de dimensiones variables
Vegetación Borde Este	Zona de Vegetación Hidromorfa Zona de vegetación Brea-Atriplex conectada con el acuífero
Peine	Lagunas Salada, Saladita e Interna
Vegas de Tilopozo	Vegas de Tilopozo
Núcleo	Acuífero de salmuera
Cuña Salina	Posición Cuña salina

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-1 se muestran los polígonos que delimitan en la zona marginal la RNLF, sectores Soncor y Aguas de Quelana. Para una mejor comprensión del seguimiento ambiental, y sobre la base a los distintos comportamientos esperados, los resultados del monitoreo en cada sistema han sido sectorizados de acuerdo con las zonas acuíferas definidas en la Figura 4-2, esto es; zona aluvial, zona marginal y zona núcleo. Esta delimitación tiene como base referencial la identificación de las Unidades Hidrogeológicas (UH) en el acuífero libre superior de la cuenca, lo que permite clasificar los distintos comportamientos hidrológicos e hidrogeológicos esperables en cada sector o sistema.

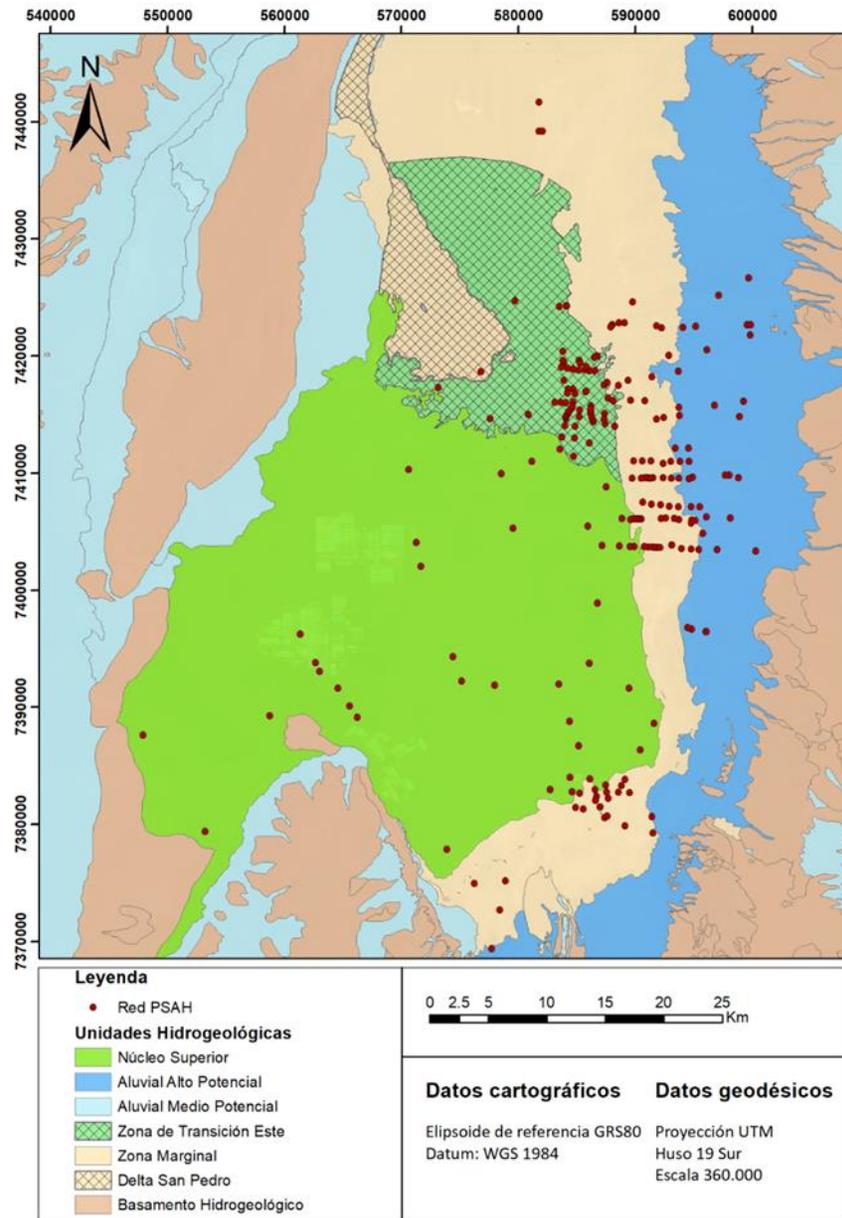
Figura 4-1: Ubicación esquemática de los sistemas y sectores ambientales del PSAH



Nota: Cuña salina no corresponde a un sector perimetralmente limitado, si no que se extiende en todo el contacto entre la salmuera y el agua dulce. Por este motivo es que no se muestra detallado en la figura.

Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de enero de 2022

Figura 4-2: Zonificación Salar de Atacama basado en delimitación de las unidades hidrogeológicas



Fuente: Elaboración propia



4.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS O ÁREAS DE MONITOREO

El PSAH contempla un total de 225 puntos de monitoreo, de los cuales 73 corresponden a puntos de monitoreo existentes y con registros previos a la RCA N°226/2006 y 153 corresponden a puntos de monitoreo construidos como parte del proyecto, los cuales se encontraban todos habilitados el 31 de octubre de 2007. Todos los puntos de monitoreo corresponden a puntos fijos en el tiempo, a excepción de la medición de superficies lacustres, donde los puntos de control⁴ de los límites de las lagunas son variable en el tiempo a escala de años y, en algunos casos, estos puntos forman parte de más de uno de los sistemas objeto de protección.

Los puntos de monitoreo del PSAH del proyecto se pueden clasificar en función de la variable ambiental objeto de monitoreo, de la siguiente manera:

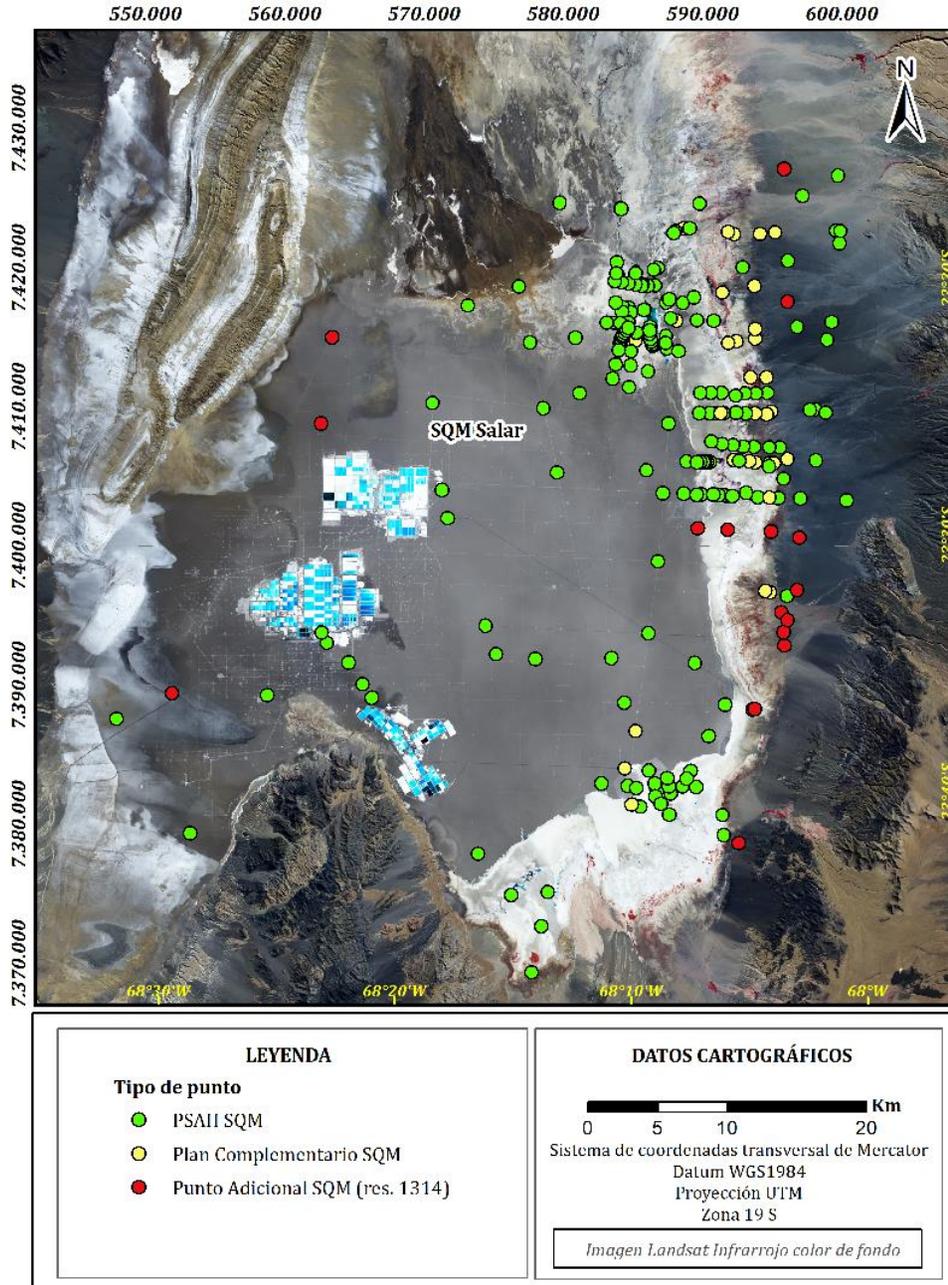
- 196 pozos de monitoreo de nivel de agua/salmuera subterránea
- 5 pozos de bombeo de agua industrial⁵
- 18 reglillas para la medición del nivel de agua superficial
- 4 estaciones de aforo de flujos de agua superficiales
- 2 estaciones meteorológicas

La ubicación de los puntos de monitoreo que conforman el PSAH se muestran en el mapa de la Figura 4-3, donde se diferencia por color los sistemas objeto del PSAH del proyecto. Las coordenadas presentadas corresponden a las obtenidas en la campaña de levantamiento topográfico de detalle realizada el año 2007, de acuerdo con el considerando 10.2.1 de RCA N°226/2006. Dichas coordenadas se levantaron en proyección UTM Huso 19S, considerando datum WGS 1984 y elipsoide de referencia GRS80.

⁴ Punto de control variable de acuerdo con lo indicado en Res N°224/2010, dado que los límites de los objetos de protección presentan variabilidad en el tiempo de su área y extensión.

⁵ Considerar que Camar-2 ha sido desmantelado para extracción de agua industrial durante 2021, el seguimiento continuo con mediciones de nivel freático continuo y calidad química.

Figura 4-3: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de enero de 2023.



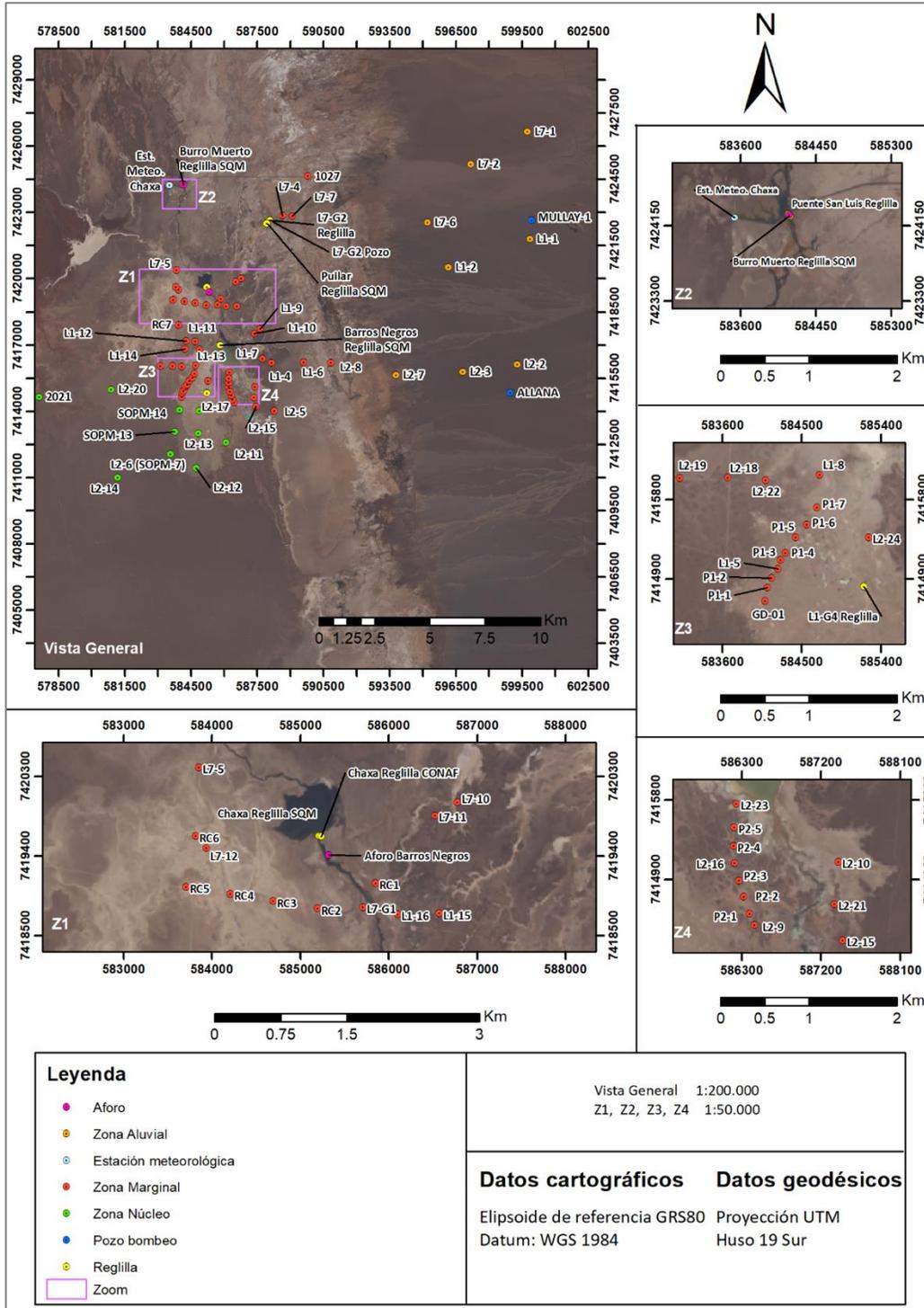
4.3.1 SISTEMA SONCOR

Los puntos de monitoreo del PSAH del Sistema Soncor se ubican entre las coordenadas UTM 7.442.000 a 7.410.000 norte y 577.000 a 600.000 este aproximadamente. La red de monitoreo de este sistema contempla los puntos de monitoreo de nivel de agua y salmuera del sector, la medición de la extensión lagunar de Puilar, Chaxa y Barros Negros, la estación Meteorológica de Chaxa, las secciones de aforo del Puente San Luis y Barros Negros (ubicado a la salida de laguna Chaxa) y los pozos de extracción de Agua Industrial denominados Mullay-1 y Allana. De entre éstos, una parte de los pozos y todos los cuerpos de agua superficial (incluyendo el Canal de Burro Muerto) son muestreados para calidad.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo del sistema Soncor se muestra en la Figura 4-4, donde se ha diferenciado con un código de colores las infraestructuras en función de la zonificación presentada en la Figura 4-2. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

Cabe mencionar, que todos los puntos de medición de nivel que cuentan con sistema para la obtención de datos continuos son además medidos manualmente con una frecuencia determinada según sea un pozo del PC (medición diaria) o del resto de la red del PSAH (mensual), así de esta forma se puede verificar el funcionamiento de los sensores y calibrarlos cuando sea necesario.

Figura 4-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.



Como se observa en el Anexo 2 respecto al monitoreo de calidad del agua es posible diferenciar 4 grupos de puntos de control, de acuerdo con los parámetros que se incluyen y que se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua

Nombre grupo parámetros	Parámetros incluidos
Calidad 1	Densidad, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos, Sólidos Disueltos, pH y Conductividad.
Calidad 2	Salinidad, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos, Sólidos Disueltos, Sodio total, Potasio total, Calcio total, Magnesio total, Dureza Total, Carbonato, Bicarbonato, Sulfato, Cloruro, Arsénico total, Nitratos, Fosfato, pH, Temperatura, Alcalinidad, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Hidrocarburos Totales, Detergentes Aniónicos, Coliformes Fecales y Nitrógeno Amoniacal.
Calidad 3	Salinidad, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos, Sólidos Disueltos, Sodio total, Potasio total, Calcio total, Magnesio total, Dureza Total, Carbonato, Bicarbonato, Sulfato, Cloruro, Arsénico total, Nitratos, Fosfato, pH, Temperatura, Alcalinidad y Oxígeno Disuelto.
Calidad 4	Alcalinidad Total, Carbonato, Bicarbonato, pH, Sólidos Disueltos Totales, Cloruro, Nitratos, Sulfato, Arsénico total, Calcio total, Hierro total, Magnesio total, Manganeso total, Potasio total, Sodio total y Zinc total

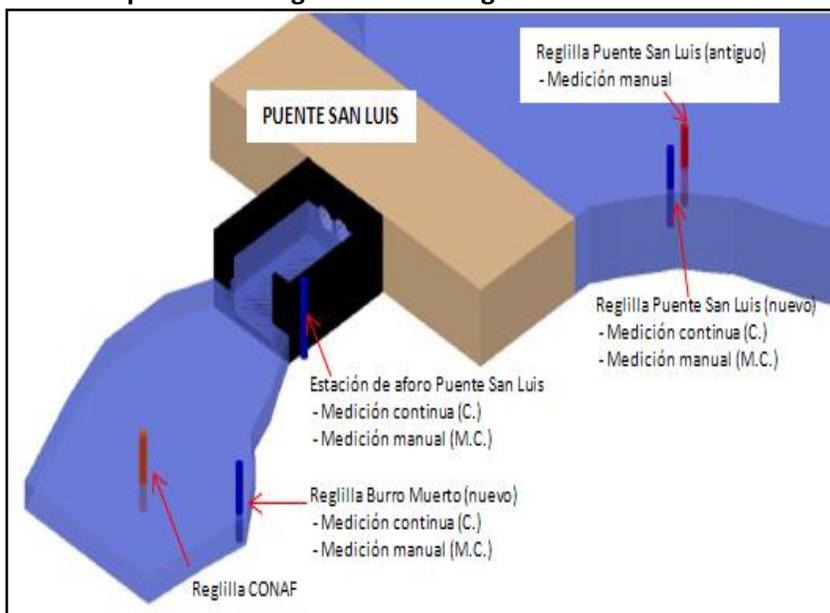
Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la Estación Meteorológica de Chaxa, se considera la medición de los parámetros Precipitación (mm), Evaporación (mm), Velocidad del Viento (m/s) y Temperatura (°C).

A modo explicativo, en la Figura 4-5 se presentan las reglillas y aforos instalados en el entorno del Puente San Luis, y su detalle corresponde a:

- i. **Reglilla Puente San Luis:** Aguas arriba del puente San Luis existen dos reglillas que han sido monitoreadas históricamente por SQM (reglilla Puente San Luis nueva y antigua); la reglilla nueva es usada para soportar el transductor de presión que registra niveles de manera continua (además de mediciones manuales), desde septiembre de 2007 hasta la actualidad.
- ii. **Aforo Puente San Luis:** corresponde a la medición que se realiza en la estación de aforo (Puente San Luis) y que presenta mediciones manuales y continuas desde 2007.
- iii. **Reglilla Burro Muerto:** aguas abajo del puente San Luis existen dos grupos de reglillas, unas medidas e instaladas por SQM (monitoreada desde septiembre de 2007), y otras que corresponden a reglillas instaladas por CONAF.

Figura 4-5: Representación gráfica de las reglillas cercanas al Puente San Luis



Fuente: Elaboración propia.

SQM ha encargado a Flow Hydro Consulting Group el análisis de la evolución y estado actual del punto de monitoreo Reglilla L1-G4 en el Salar de Atacama (Flow, 2024). Este informe, detallado en el Anexo 4.5, destaca los cambios naturales en la descarga de la Laguna Barros Negros y su influencia en las mediciones en la reglilla L1-G4. Inicialmente, la instalación de la reglilla tenía como objetivo registrar la profundidad de un encharcamiento aislado, pero ha dejado de ser un indicador eficaz debido a las variaciones en la descarga de la laguna. El informe explica cómo han evolucionado las mediciones en el punto Reglilla L1-G4 desde marzo de 2000 hasta la fecha, identificando cinco períodos caracterizados por fluctuaciones en los niveles de agua. Las reducciones en la amplitud de estas fluctuaciones señalan posibles cambios en el equilibrio hídrico del sistema Soncor, influenciados por factores naturales y no necesariamente vinculados con las extracciones de salmuera de SQM.

Es importante mencionar que la Reglilla L1-G4, originalmente establecida como indicador del estado del sistema Soncor según RCA N°226/2006 para medir el agua superficial en la zona de desborde de Barros Negros, enfrenta un nuevo desafío debido al descenso de los niveles de salmuera en el área circundante. Ante la disminución del nivel de agua superficial, se ha decidido excavar el punto para permitir que la reglilla registre el nivel freático, ofreciendo así una alternativa para mantener el monitoreo de los niveles



de agua. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que, a pesar de la excavación, el punto sigue estando seco en la superficie, lo que indica que la reglilla está midiendo agua subterránea, al igual que el pozo que lleva el mismo nombre. Este ajuste garantiza la continuidad en la medición de los niveles como indicador del estado del sistema, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno.

En respuesta a estos cambios, SQM ha modificado su estrategia de monitoreo, reemplazando la reglilla por un piezómetro que mide la profundidad del nivel de salmuera subterránea. Este cambio subraya el compromiso de SQM con un monitoreo preciso y la preservación del ecosistema del Salar de Atacama, ajustándose a los cambios ambientales para cumplir con sus compromisos medioambientales. En resumen, el memorándum (Flow,2024), revela cómo los cambios naturales en la descarga de la laguna han motivado ajustes en las prácticas de monitoreo de SQM.

4.3.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

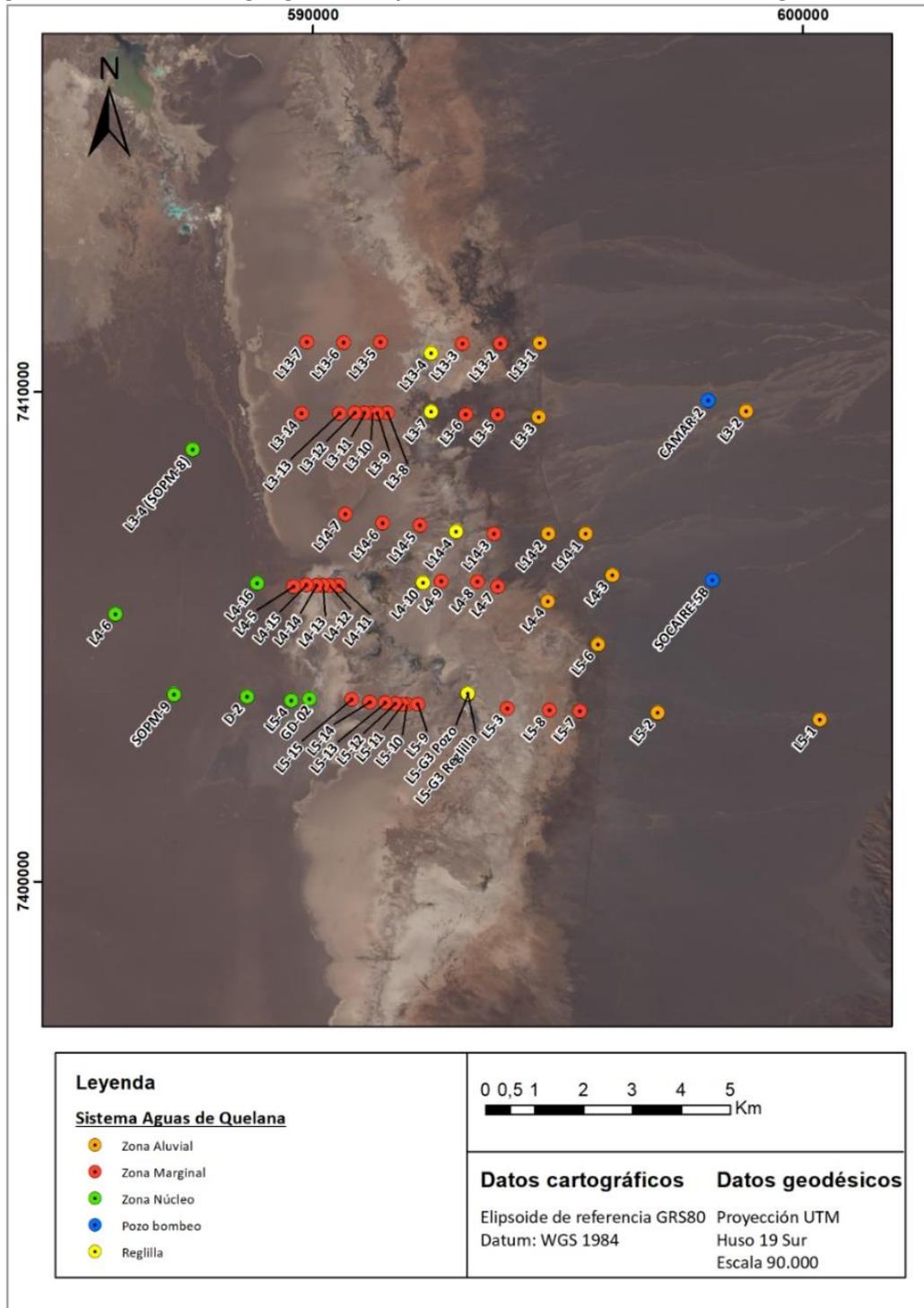
Los puntos que conforman la red de monitoreo del PSAH del Sistema Aguas de Quelana se ubica entre las coordenadas UTM 7.415.000 a 7.400.000 norte y 585.000 a 602.000 este aproximadamente.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-6. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva. Cabe mencionar que todos los puntos de medición de nivel que cuentan con sistema para la obtención de datos continuos son además medidos manualmente con una frecuencia determinada según sea un pozo del PC (medición diaria) o del resto de la red del PSAH (mensual).

Aunque la infraestructura de extracción de agua industrial del pozo Camar-2 fue desmantelada (junio de 2021), tal como se describe en el informe N°30, N°31 y N°32 del PSAH, este se mantiene como un punto de seguimiento ambiental del sistema Aguas de Quelana, por lo que la medición manual de su nivel en este punto se ha mantenido y se incluye en el presente reporte de forma complementaria, al igual que las mediciones de calidad.

Como se muestra en el Anexo 2 respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, es posible diferenciar los grupos de puntos de control denominados Calidad 1, Calidad 3 y Calidad 4 (en la Tabla 4-2, del apartado del Sistema Soncor, se detallan los analitos medidos en cada grupo).

Figura 4-6: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

La infraestructura L5-G3, reglilla en el entorno al sistema lagunar Aguas de Quelana se encontró rota por parte del personal de SEGEA y SQM en la visita del día 07 de agosto de 2023 (ver Figura 4-7). Este punto había sido medido por última vez el día 03 de julio de 2023, con una medida de nivel igual a 0,414 (m) y con una cota de referencia igual a 2301,135 m.s.n.m. Así, entonces, el quiebre de la Reglilla debió producirse en el intervalo entre el 03 de julio y el 07 de agosto de 2023.

Figura 4-7: Registro Fotográfico de Reglilla L5-G3



Registro fotográfico de la visita a la reglilla en que se realizó la última medición (Fuente: SEGEA)



Registro fotográfico del estado en que se encontró la reglilla caída (Fuente: SEGEA)

Durante el mismo día del 07 de agosto de 2023 esta infraestructura fue restituida tal como se muestra en la Figura 4-7, logrando obtener una medida de nivel de 0,415 m. Sin embargo, la actualización en la elevación del punto de referencia no se concretó sino hasta el 14 de septiembre de 2023. Este retraso se atribuye a las restricciones de acceso a Aguas de Quelana, ubicada en la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF), bajo la supervisión de CONAF. La nueva elevación registrada para el punto de referencia es de 2.301,137 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), y los detalles de la metodología utilizada se encuentran adjuntos en el Anexo 4.



4.3.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

Los puntos de monitoreo del Sistema Vegetación Borde Este se encuentran entre las coordenadas UTM 7.425.000 a 7.395.000 norte y 590.000 a 600.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a puntos de monitoreo de nivel, reglilla y pozo de extracción de agua industrial.

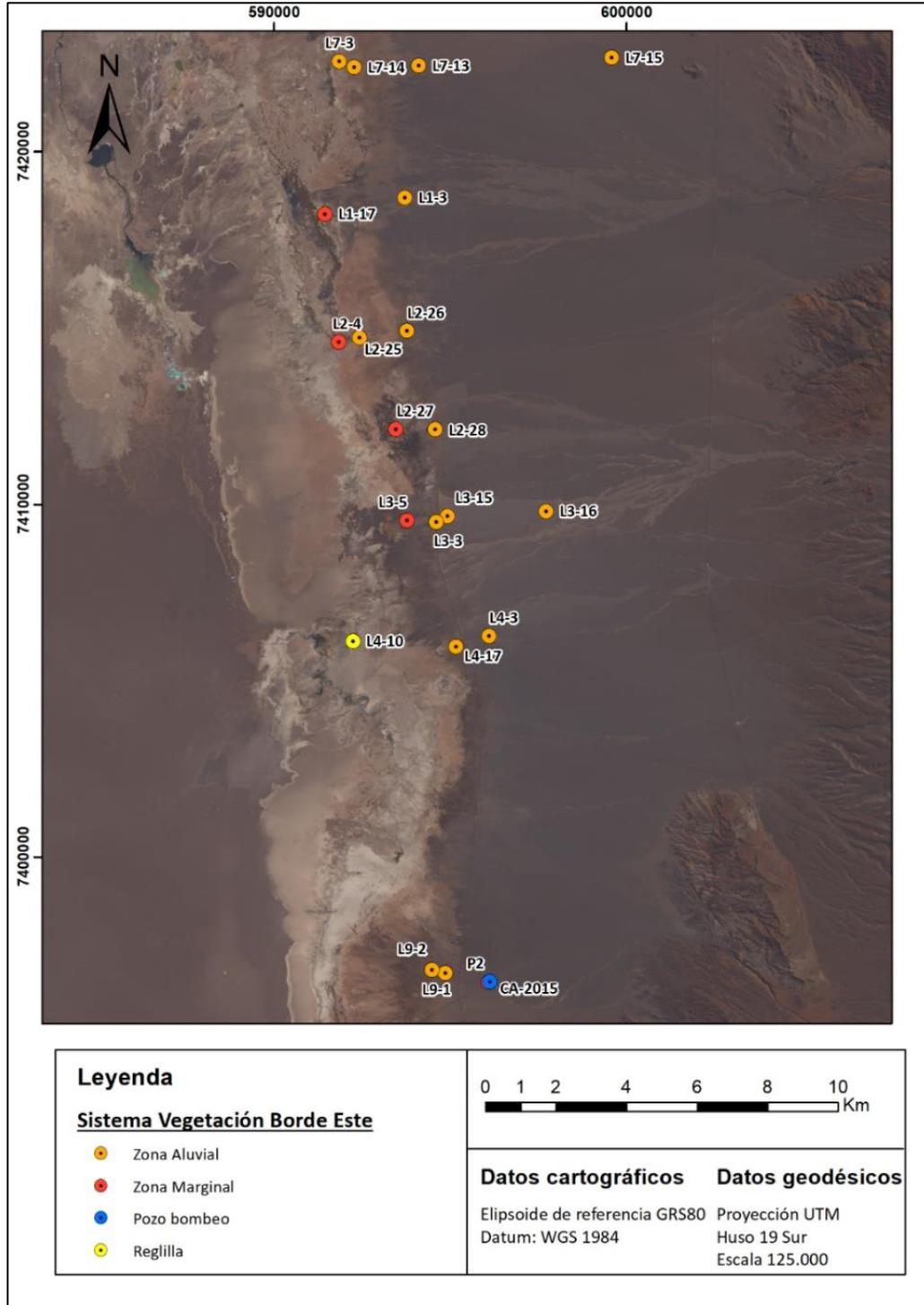
En la siguiente Figura 4-8 se muestra la distribución geográfica de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema. A continuación, en el Anexo 2 se detallan las coordenadas de ubicación de dichos puntos y su simbología de acuerdo al tipo de infraestructura; los puntos asociados a la zona hidrogeológica implican ser pozos de monitoreo en aquellas unidades. Del mismo modo en el Anexo 2 se indica las variables y parámetros que se miden en cada uno de ellos y su frecuencia de medición.

Cabe mencionar, que todos los puntos de medición de nivel que cuentan con sistema para la obtención de datos continuos son además medidos manualmente con una frecuencia determinada según sea un pozo del PC (medición diaria) o del resto de la red del PSAH (mensual).

Como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, es posible diferenciar los grupos de puntos de control denominados Calidad 1, Calidad 3 y Calidad 4 (en la Tabla 4-2, del apartado del Sistema Soncor, se detallan los analitos medidos en cada grupo).

Aunque el pozo de extracción de agua industrial P2 fue reemplazado por el CA-2015 (a partir del año 2017), la medición mensual de nivel en este punto se ha mantenido y se incluye en el presente reporte de forma complementaria.

Figura 4-8: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.



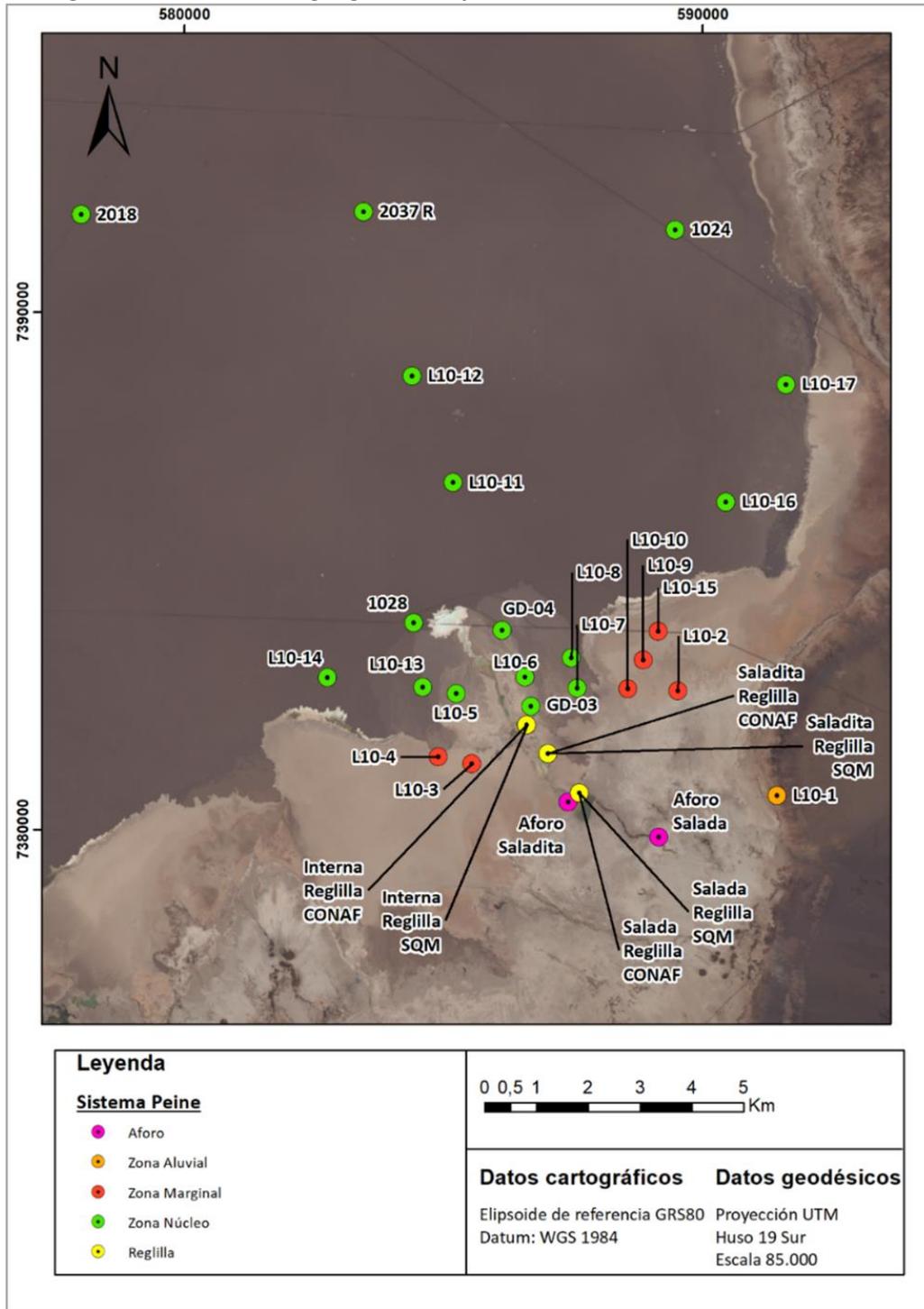
4.3.4 SISTEMA PEINE

Los puntos de monitoreo del Sistema Peine se encuentran ubicados entre las coordenadas UTM (WGS1984) 7.393.000 a 7.379.000 norte y 577.000 a 592.000 este aproximadamente. La red de monitoreo de este sistema contempla los puntos de monitoreo de nivel de agua y salmuera del sector y las lagunas Salada, Saladita e Interna, donde se incluyen las secciones de aforo de las lagunas Salada y Saladita, además de la medición de la extensión lagunar en los tres cuerpos de agua y también el muestreo de calidad para todos ellos. Entre este grupo de pozos, tres también son muestreados para calidad. En el Sistema Peine no se contemplan pozos de agua industrial ni tampoco estaciones meteorológicas.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-9. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

Cabe señalar que el pozo 2037, que inicialmente se construyó bajo la campaña dirigida por CORFO-MINSAL (año 1986) con el propósito de realizar exploraciones geológicas en la zona del Núcleo - Bloque Este, fue designado como punto de monitoreo en el Sistema Peine, según lo estipulado en RCA N°226/2006. Sin embargo, al intentar iniciar el monitoreo en 2007, se descubrió que el pozo estaba naturalmente sellado por precipitación de sal. Ante esta situación, se optó por llevar a cabo las mediciones de nivel en el pozo contiguo, construido como remplazo del pozo original y designado como 2037R, esto para cumplir con los requisitos de monitoreo ambiental establecidos. Es relevante señalar que las coordenadas y cota proporcionadas en cada PSAH con respecto al pozo 2037 siempre han sido referentes al pozo 2037R, lo que implica que, en la práctica, el pozo 2037 ha sido considerado como el 2037R en términos de registro de terreno y seguimiento ambiental. Por tanto, se establece que, de ahora en adelante, lo correcto es referirse a este pozo como 2037R, dada su función histórica como punto de medición.

Figura 4-9: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.



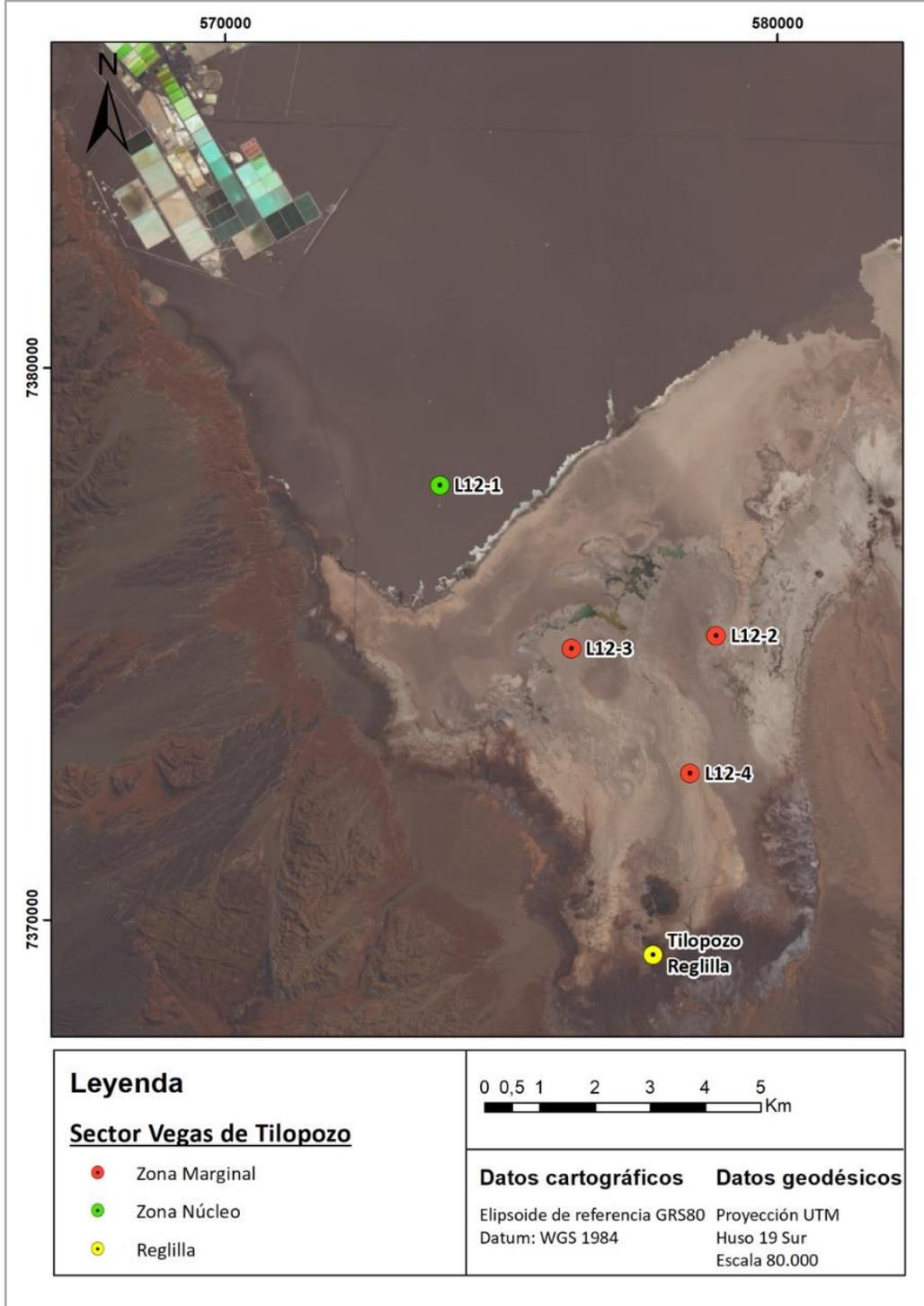
Como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, es posible diferenciar los grupos de puntos de control denominados Calidad 1 y Calidad 3 (en la Tabla 4-2, del apartado del Sistema Soncor, se detallan los analitos medidos en cada grupo).

4.3.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

Los puntos de monitoreo del Sector Vegas de Tilopozo se ubican entre las coordenadas UTM 7.378.000 a 7.370.000 norte y 573.000 a 580.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de nivel y reglillas.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-10, donde se ha diferenciado con un código de colores las infraestructuras en función de la zonificación presentada en la Figura 4-2. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectivas.

Figura 4-10: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.



4.3.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

Los puntos de monitoreo del Núcleo del Salar de Atacama se encuentran entre las coordenadas UTM 7.425.000 a 7.379.000 norte y 57.000 a 588.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de nivel y una estación meteorológica, la Estación Meteorológica KCL. Además, dos de los pozos son también muestreados para calidad. La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-11. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

Como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, todos ellos corresponden al grupo denominado Calidad 5 (Tabla 4-3).

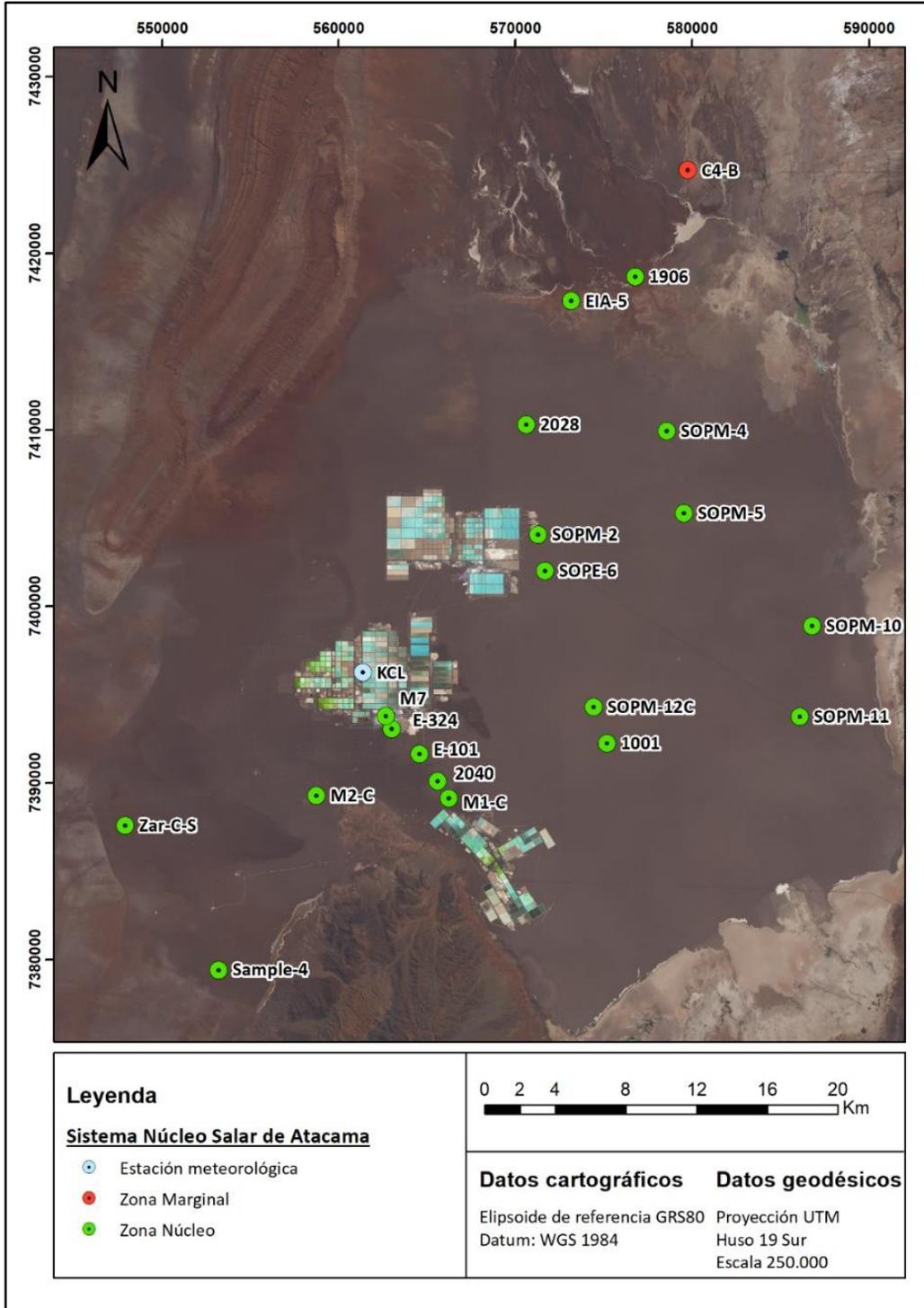
Tabla 4-3: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua

Nombre grupo parámetros	Parámetros incluidos
Calidad 5	Densidad y Sólidos Disueltos Totales

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la Estación Meteorológica KCL, se considera la medición de los parámetros Precipitación (mm/d), Evaporación (mm), Velocidad del Viento (m/s) y Temperatura (°C).

Figura 4-11: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.



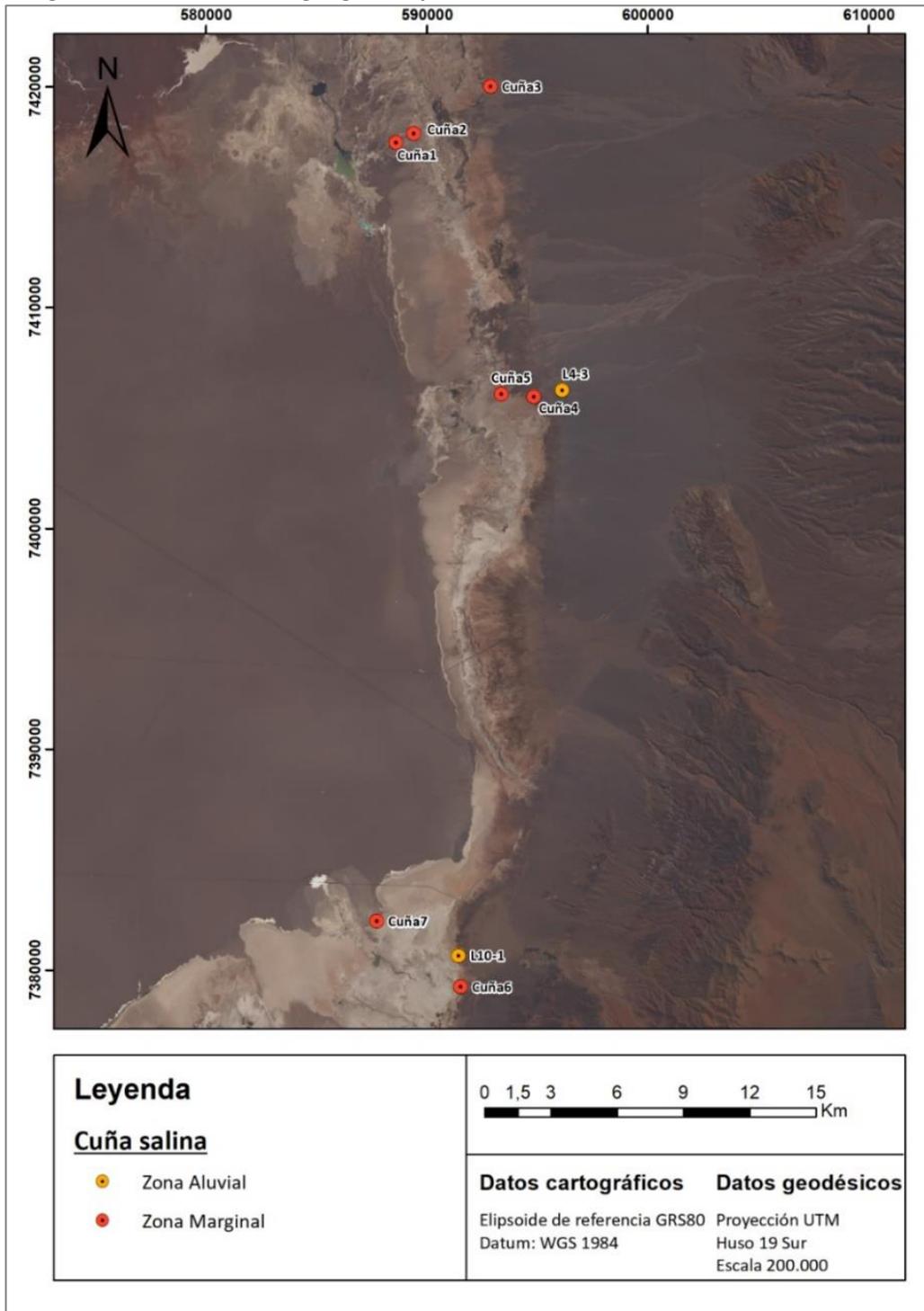
4.3.7 CUÑA SALINA

Los 9 puntos de monitoreo de la Cuña Salina, agrupados en tres perfiles, se encuentran entre las coordenadas 7.420.000 a 7.381.000 norte y 587.000 a 597.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de conductividad eléctrica, nivel y calidad, ubicados en el sector marginal.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de la Cuña Salina se muestra en la Figura 4-12. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

Tal como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, todos ellos corresponden al grupo denominado Calidad 5 (ver Tabla 4-3).

Figura 4-12: Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.



4.3.8 PLAN DE CONTINGENCIAS (PC)

Uno de los objetivos principales del PSAH es proveer información para operar el Plan de Contingencias (PC), el cual está orientado a dar respuesta oportuna frente a impactos no previstos.

Según se indica en la RCA N°226/2006 en su considerando 11.1, se contempla que cada dos años el PC sea revisado con el fin de incorporar la nueva información que se obtiene del PSAH, sin embargo, este no se presenta. Como se mencionó en el capítulo 1, en enero de 2022 se presentó al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el Estudio de Impacto Ambiental comprometido en el proceso sancionatorio rol F-041-2016, que incorpora una actualización del Plan de Contingencias (Acción 50 del PdC). Por tal razón, los Informes PSAH N°33, N°34 y actual (N°35) no contienen una revisión del Plan de Contingencias, ya que esta acción se efectuará en profundidad en el marco de la evaluación del EIA del proyecto “Plan de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama”, actualmente en curso.

Para efectos del presente informe, se ha tenido a la vista lo indicado en la Resolución Exenta N°38/Rol F-041-2016 de 29 de agosto de 2022 que aprueba el Programa de Cumplimiento (PdC). Conforme a lo anterior, el Plan de Contingencias (PC) se ajusta a lo indicado en los considerandos 11.2.1, 11.3.1 y 11.4.1 de la RCA N°226/2006.

En el caso del Sistema Lagunar de Peine, provisoriamente, se han definido tres indicadores de estado (Piezómetros 1028, L10-11 y L10-4) y sus correspondientes umbrales de activación y acciones en caso de activación (Fases I y II)⁶.

SQM ha asumido como compromiso voluntario considerar 6 indicadores de estado adicionales a los definidos en la RCA N°226/2006, que se identifican como Pozos Adicionales y que se distribuyen en el Sistema de Vegetación Borde Este; cuatro en el sistema Brea-Atriplex (L2-25, L7-14, L4-17 y L9-2) y dos en el sistema Alerta Temprana (L2-26 y L3-15). Para todos se definieron los umbrales respectivos bajo los mismos criterios que en la RCA N°226/2006 vigente.

⁶ Estos indicadores fueron propuestos para el Sistema Peine en el Programa de Cumplimiento presentado en el procedimiento F-041-2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

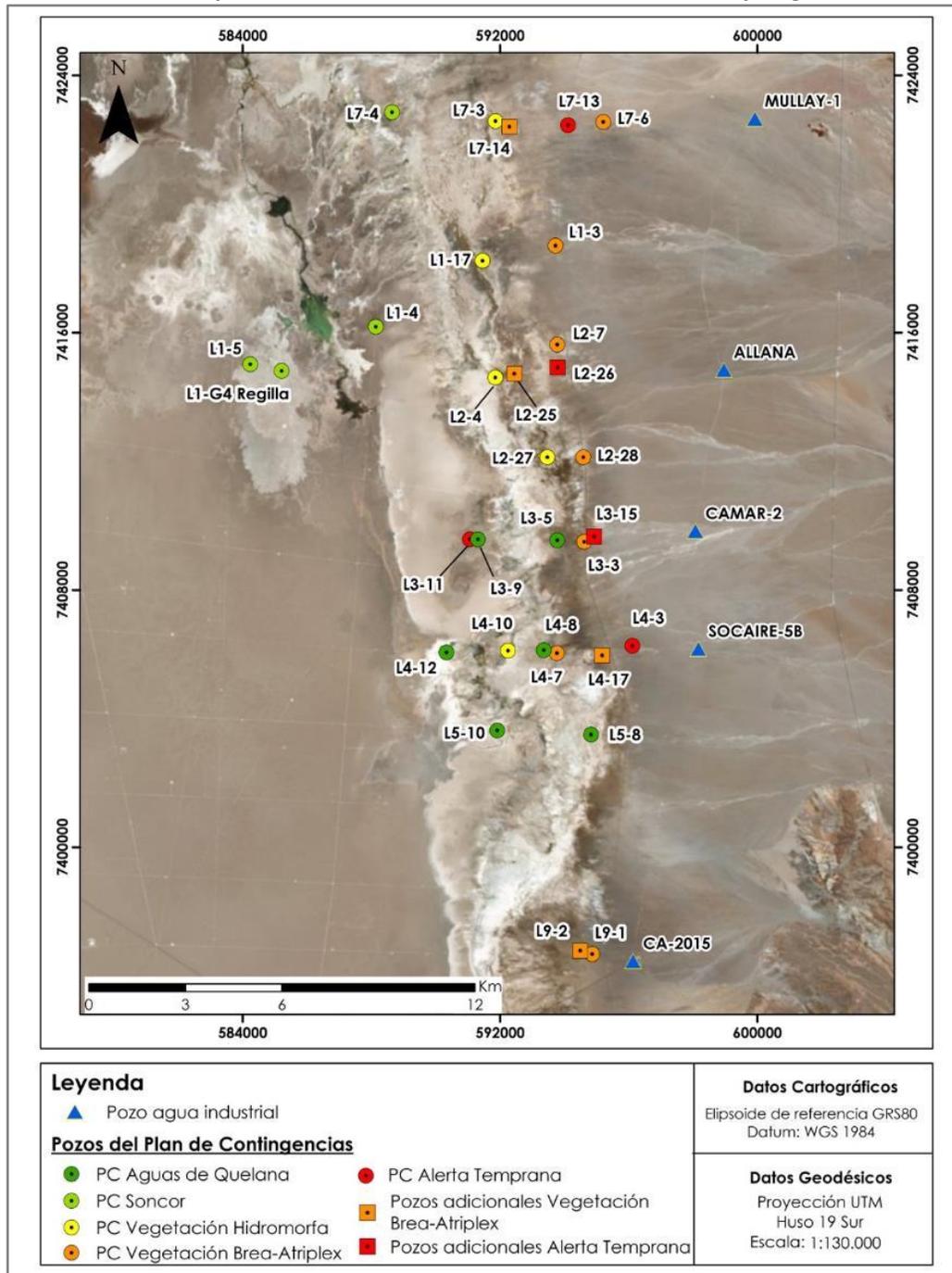
De acuerdo con lo anterior, los Indicadores de Estado del Plan de Contingencias, que además forman parte de los puntos de control del PSAH señalados en las secciones anteriores, se identifican en la Tabla 4-4, y su ubicación espacial se presentan en el mapa de la Figura 4-13 y Figura 4-14.

Tabla 4-4: Indicadores de Estado del Plan de Contingencia

Sistema	Subsistema	Indicador de Estado	Origen
Soncor	-	L1-5 L1-4 L7-4 L1-G4 Reglilla	RCA N°226/2006
Aguas de Quelana	-	L5-8 L4-8 L3-5 L3-9 L5-10 L4-12	
Vegetación Borde Este	Vegetación Hidromorfa	L7-3 L2-4 L3-5 L4-10 L1-17 L2-27	
	Vegetación Brea-Atriplex	L7-6 L2-7 L3-3 L4-7 L9-1 L1-3 L2-28	
	Alerta Temprana	L7-13 L2-25 L3-11 L4-3 L9-1	
Peine	-	1028 L10-11 L10-4 PN-05B PN-08A	
Pozos adicionales	Vegetación Brea-Atriplex	L2-25 L7-14 L4-17 L9-2	Pozos adicionales SQM
	Alerta Temprana	L2-26 L3-15	

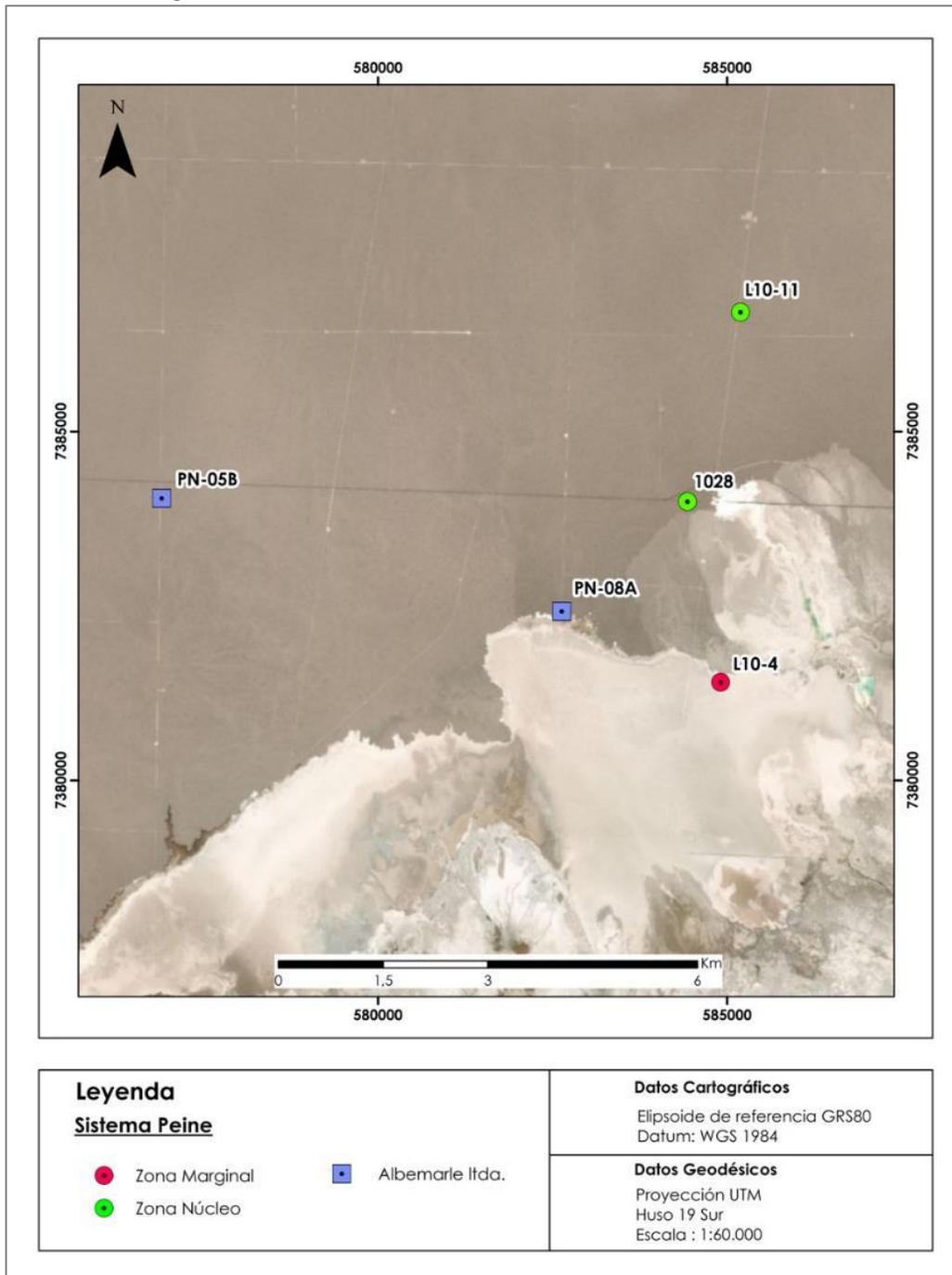
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-13: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Ubicación Indicadores de Estado Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.



4.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES

El informe PSAH se basa en la normativa establecida por la RCA N°226/2006 y la Resolución Externa N°223, las cuales definen las directrices para la elaboración del plan de seguimiento de variables ambientales. La inclusión de estos parámetros en los anexos sigue las instrucciones estipuladas en la Resolución Externa N°894/2019, la cual se enfoca en los informes de seguimiento del componente ambiental del agua. Sin embargo, en el año 2020, la SMA procedió a actualizar los formatos, extendiendo dichas actualizaciones a subcomponentes como el agua superficial y subterránea.

En lo que respecta a los monitoreos meteorológicos clasificados como parte del componente aire y su interacción con la hidrología, la Resolución Externa N°894/2019 no proporciona una metodología detallada para reportar esta variable en los anexos. En consecuencia, se han ajustado las planillas de otras variables para incorporar esta información. Del mismo modo, se ha adoptado un enfoque similar para el parámetro de superficie lacustre dentro de la variable de cantidad de agua superficial, para la cual se ha diseñado una hoja de cálculo específica.

Asimismo, desde septiembre del año 2020, la comunidad tiene acceso a información actualizada sobre el seguimiento hidrogeológico a través del sitio web público <https://www.sgmsenlinea.com/>. Este recurso brinda datos esenciales, como el monitoreo continuo del nivel (msnm) de los pozos PSAH, que se emplean como indicadores de alerta en los Planes de Contingencia (PC), además de ofrecer detalles sobre la extracción de salmuera, agua industrial y condiciones meteorológicas. Con la aprobación del Plan de Contingencia, se amplían los resultados del seguimiento hidrogeológico conforme a la frecuencia y el responsable de la medición, según se detalla en la Tabla 4-5.

En la Tabla 4-5 se presenta las variables, parámetros y resoluciones asociadas que se reportan en este informe, cumpliendo así con el compromiso establecido en la RCA N°226/2006 y a posteriores resoluciones ambientales que modifican el responsable de la medición. Así, en abril de 2022, se emitieron nuevas resoluciones (Resoluciones Exentas N°573, N°574 y N°575/2022) que actualizan los requisitos y operatividad para Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA), Inspectores/as Ambientales (IA) y titulares. La principal modificación, según la Resolución N°573/2022, es que SQM ya no necesita que las actividades de muestreo y/o medición de agua sean realizadas por una ETFA, bajo ciertas condiciones específicas. Estas condiciones incluyen que, para los parámetros de Nivel freático y Nivel de agua, cuando



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

no hay un valor límite o umbral de cumplimiento establecido en un instrumento de carácter ambiental de competencia de la Superintendencia, SQM puede llevar a cabo las mediciones, demostrando la competencia técnica de su personal y manteniendo registros adecuados. Además, las mediciones mensuales de niveles ahora son responsabilidad de SQM, mientras que las mediciones diarias son realizadas por la ETFA. En cuanto a otros parámetros medidos con frecuencia horaria o diaria, SQM también puede llevar a cabo las mediciones si demuestra la competencia técnica de su personal. Sin embargo, estas excepciones no se aplican al PSAH de SQM, ya que los parámetros son medidos con frecuencias menores. Los cambios requerían un período de adaptación tanto para la ETFA como para SQM, implementados por completo durante el semestre reportado.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Formato de reportabilidad de la data	Método Frecuencia Responsable de medición <i>Según normativa previa a la RES. EX. N°573/2022</i>	Método Frecuencia Responsable de medición <i>Cambios derivados de la aplicación de la RES. EX. N°573/2022</i>
Agua	Agua subterránea	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. N°894/2020	Red PSAH: Manual Mensual ETFA Continua 1 min SQM	Red PSAH: Manual Mensual SQM Continua 1 min SQM
					Red PC: Manual Diaria SQM Continua 1 min SQM ⁷	Red PC: Manual Diaria ETFA Continua 1 min SQM
					Mediciones manuales voluntarias: Red PSAH Mensual SQM Red PC Quincenal ETFA	-
		Caudal bombeo	Res. Ex. N°894/2020	Continua Mensual SQM	No aplica	
	Calidad de agua	Físico y químicos	Res. Ex. N°894/2020	Manual Semestral ETFA	No aplica	
	Agua superficial	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. N°894/2020 ⁸	Manual Mensual ETFA Continua 1 min SQM	Manual Mensual SQM Continua 1 min SQM
			Superficie Lacustre ⁹	Propio	RTK 5 años SQM Estacas Trimestral SQM Imágenes satelitales Anual SQM	No aplica
			Caudal	Res. Ex. N°894/2020	Manual Mensual ETFA Continua 1 min SQM	No aplica
Calidad de agua		Físico y químicos	Res. Ex. N°894/2020	Manual Trimestral ETFA	No aplica	
Aire	Aire	Meteorología	Precipitación Evaporación Velocidad del viento Temperatura	Propio	Continua 5 min SQM	No aplica

Fuente: Elaboración propia.

⁷ La distinción entre los puntos que son medidos de forma manual y los que además están equipados para la medición continua, se encuentra detallado en el apartado 4.3 Ubicación de los puntos o áreas de Monitoreo.

⁸ Se entregan los datos en el formato establecido por la Resolución Exenta N.º 894/2020 de forma voluntaria ya que, según la misma, no se establece formato definido para esta variable de agua superficial.

⁹ La medición de superficies lagunares se realiza con varias metodologías, con frecuencias distintas y que, a su vez, hacen un uso combinado de técnicas manuales y automáticas. Se extiende el detalle en el apartado 4.5 Materiales, Equipos y Metodologías de monitoreo.

4.5 MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍAS DE MONITOREO

A continuación, se expone un listado general de las metodologías de monitoreo y consideraciones utilizadas para el muestreo medición y análisis que se llevan a cabo para la caracterización de las distintas variables ambientales incluidas en el PSAH (Tabla 4-6). En el Anexo 3.5 se entrega detalle sobre los procedimientos de medición, materiales y equipos utilizados por SQM, y en el Anexo 5 de las ETFA.

Tabla 4-6: Metodologías de monitoreo y consideraciones utilizadas para el muestreo

Monitoreo	Empresa monitoreo	Metodología
Monitoreo de nivel de agua y salmuera subterránea en piezómetros y pozos	SQM y ETFA SEGEA	SQM es responsable de efectuar las mediciones manuales mensual. ETFA realiza las mediciones con frecuencia diaria a los pozos del Plan de Contingencia
Monitoreo de nivel de agua superficial	SQM y ETFA SEGEA	SQM es responsable de efectuar las mediciones manuales mensual. ETFA realiza las mediciones con frecuencia diaria a los pozos del Plan de Contingencia
Monitoreo de nivel de agua subterránea	SQM	Medición en continuo de nivel mediante sensor de presión.
Medición de superficie lacustre ¹⁰	SQM	Estacas perimetrales (trimestral), y medición vía imágenes satelitales de alta resolución(trimestral), y Medición mediante recorrido a pie RTK (cada 5 años) corresponde al Informe 37 próximo registro (Primer semestre 2025)
Monitoreo caudal pozos de bombeo agua industrial	SQM	Medición en continuo mediante Flujómetro (Totalizadores).
Monitoreo de caudal superficial (aforos)	ETFA SEGEA	Medición manual del caudal de agua superficial, o aforos
Monitoreo de caudal superficial (aforos)	SQM	Medición continua de presión mediante sensor de presión, y análisis mediante utilización de curva de descarga preestablecida
Monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas	ETFA SEGEA y ETFA ALS Life Sciences Chile.	Las muestras mensuales recolectadas por ETFA SEGEA, luego enviadas a laboratorio ETFA ALS Life Sciences Chile
Perfilaje de conductividad eléctrica en pozos	SQM	Medición mediante proceso de perfilaje en profundidad mediante Sonda Conductividad
Medición meteorología	SQM	A partir de las estaciones que SQM dispone en el Salar (KCL y Chaxa) equipadas con sensores Evaporímetro, Pluviómetro, Temperatura del aire y Velocidad viento.

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Para el seguimiento de esta variable se cuenta con varias técnicas y frecuencias en que se lleva a cabo, cada una fue ajustada mediante la Resolución Exenta N° 244/2010 de la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA) de la Región de Antofagasta.



4.6 FECHA DE MEDICIÓN, MUESTREO Y/O ANÁLISIS

Las fechas de muestreo, medición y/o análisis que se reportan en este informe corresponden al primer semestre de 2024, que comprende el período de entre el 01 de enero al 30 de junio de 2024.

Estas actividades se han ejecutado con la frecuencia indicada en la RCA N°226/2006, así como en el PdC F-041-2016, tratándose de los indicadores de estado del Plan de Contingencias. No obstante, el régimen de acceso a los sectores donde se ubican parte importante de los puntos de seguimiento está condicionado por autorizaciones de comunidades, así como por restricciones temporales o puntuales, asociados a períodos de reproducción de avifauna u otras circunstancias.

En el capítulo 5 se exponen los resultados de las mediciones y/o muestreos que se han recogido en el periodo de reporte actual del primer semestre de 2024 (01 de enero al 30 de junio de 2024).

4.7 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS

En la ejecución de cualquier medición existe siempre asociado un grado de error o incertidumbre que depende, entre otros, de los siguientes factores:

- Habilidad y el conocimiento de la persona que realiza el muestreo y/o la medición.
- Precisión de los equipos.
- Calibración de equipos.
- Representatividad de las muestras.
- Holding time de las muestras.
- Condiciones ambientales.

Con el objetivo de minimizar y controlar las incertidumbres existentes en la realización de mediciones de las diferentes variables es que las actividades requeridas en las metodologías específicas se definen en Procedimientos de medición (ver Anexo 3.1). En ellos se debe identificar las fuentes de incertidumbres, para, al realizar los monitoreos y mediciones, minimizarlas y aportar a la calidad de la información recogida. A continuación, se indican para cada método las principales incertidumbres identificadas.



- **Cota piezométrica.** Las incertidumbres en la obtención de la cota piezométrica se concentran en la precisión de los equipos de medición, como el Pozómetro ($\pm 5 \text{ mm}^{11}$), la observación realizada por el monitor ($\pm 1 \text{ mm}$) y la exactitud con la que se ha medido la cota del punto de referencia ($\pm 1 \text{ cm}$). Esta última depende del equipo topográfico utilizado, las condiciones climáticas, el tiempo transcurrido durante los registros (minutos) y la distancia a la estación base, siendo generalmente del orden de centímetros.
- **Nivel freático por medición continua.** En los puntos de medición continua, el nivel se obtiene mediante transductores de presión que registran la presión cada minuto, conforme a lo establecido por la Res Ex. N°1314/2020 de la SMA. Utilizando un valor de densidad de referencia ingresado por el usuario, el transductor calcula y reporta el nivel de salmuera en profundidad desde el punto de referencia. Como los valores de densidad de referencia se obtienen mediante mediciones de terreno realizadas mensualmente, los valores de nivel reportados cada minuto por los transductores presentan una incertidumbre debido a la falta de mediciones de densidad con la misma frecuencia.

En general, en los puntos de control de nivel freático, ya sea de agua o salmuera, las densidades presentan pequeñas oscilaciones, y la mayoría de los puntos de medición continua son de este tipo. Sin embargo, en puntos ubicados en zonas de aguas aflorantes (reglillas) o cercanas, donde la salinidad y, por lo tanto, la densidad puede variar significativamente durante largos períodos de evaporación o disminuir durante eventos de precipitación, estas variaciones son más pronunciadas. Estos puntos representan la minoría de las mediciones continuas.

Es crucial realizar visitas de mantenimiento, ya que la falta de ellas (especialmente si no se cuenta con autorización para realizarlas) puede afectar negativamente la precisión de las mediciones continuas. Un sensor descalibrado tiende a registrar datos fuera de tendencia, lo que resultaría en mediciones no validables.

¹¹ De acuerdo a especificaciones técnicas del equipo, adjuntas en Anexo 3.1.



El comportamiento de los niveles continuos puede alertar sobre una posible activación o desactivación falsa de algún indicador del plan de contingencia. Sin embargo, antes de emitir cualquier alerta, es necesario esperar una medición manual que confirme la situación. Si no es posible acceder al punto de medición (por ejemplo, debido a restricciones de acceso), es importante evaluar la veracidad de la alerta analizando el comportamiento del nivel continuo en ese punto y/o en uno cercano.

Las perturbaciones en los niveles continuos pueden deberse a dos circunstancias: eventos de precipitación o de calibración de los sensores. Para confirmar si la causa es la precipitación, se debe revisar el registro de precipitaciones de las estaciones meteorológicas cercanas y los registros de niveles continuos de pozos aledaños. Si se descarta la precipitación como causa, es probable que el sensor esté descalibrado, en cuyo caso se debe solicitar un permiso especial para que el Equipo de Instrumentación realice el mantenimiento necesario.

Para garantizar la fiabilidad y precisión del sistema de medición continua y reducir la incertidumbre, es esencial realizar mantenimiento preventivo y reemplazar los sensores de manera regular. Los planes de reemplazo de sensores se llevan a cabo cada 18 meses.

- **Parámetros Físicoquímicos.** En la medición de parámetros físicoquímicos en terreno y en laboratorios externos, la incertidumbre recae en la representatividad de la muestra, el estado de calibración y la adecuación del rango de trabajo de los equipos de medición, además del rango de precisión de los mismos. Si es necesario realizar procesos de preparación de la muestra, como diluciones u otras manipulaciones, las incertidumbres se incrementan. Seguir los procedimientos establecidos para la medición de parámetros 'in situ', el muestreo, y el cumplimiento de los estándares de calidad por parte de los laboratorios, así como tomar muestras duplicadas, contribuye a minimizar y controlar las incertidumbres de los parámetros.
- **Caudales en cauces naturales.** En la medición de caudales en cauces naturales, la incertidumbre recae en la medición del área de las secciones ($\pm 0,1 \text{ m}^2$), la precisión de medición del molinete ($\pm 0,1 \text{ m/s}$) y el régimen del flujo de agua (laminar-turbulento).
- **Medición de variables meteorológicas.** En las mediciones de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento, la incertidumbre está asociada a la precisión de los equipos

utilizados en las estaciones meteorológicas, los cuales deben mantenerse limpios y calibrados. Además, pueden ocurrir fallas en los sensores durante la transmisión de datos, lo que genera brechas de información o datos anómalos. Estos datos pasan posteriormente por un proceso de validación y relleno, según se indica en el Anexo 9.

- **Superficie lagunar mediante imágenes satelitales.** En la obtención de la superficie de las lagunas mediante el procesamiento de imágenes satelitales, la incertidumbre está asociada a la resolución de las imágenes, medida en función del tamaño del píxel, y a las decisiones posteriores requeridas para el procesamiento y cálculo de los índices, que pueden reducirse mediante puntos de control en terreno. A mayor resolución espacial (menor tamaño del píxel), se minimiza el efecto de mezcla espectral, que ocurre cuando un píxel contiene información superpuesta de suelo y agua. Este fenómeno puede conducir a clasificaciones incorrectas o determinaciones inexactas de superficies, por lo que se prefiere el uso de imágenes satelitales de alta resolución.

Otro factor que puede alterar la reflectancia superficial es la presencia de bruma, neblina o nubes dispersas, que son difíciles de identificar en la imagen satelital (la corrección atmosférica no elimina estos cuerpos). Además, el método presenta limitaciones para estimar cuerpos de agua de dimensiones pequeñas (centimétricas o decimétricas) y detectar cuerpos de agua someros (de pocos centímetros), ya que las características espectrales del agua pueden ser obstruidas por las del suelo subyacente.

Cada cinco años, se mide topográficamente la superficie de las lagunas utilizando RTK, lo que proporciona una medición directa de la superficie. La medición de abril se compara con los resultados obtenidos a partir de imágenes satelitales para validarlas. La incertidumbre de este método depende de la cantidad de puntos tomados en el perímetro de la laguna, del número de satélites disponibles durante la medición y de la presencia de barras o islas en el interior del cuerpo de la laguna. El GPS (dependiendo del modelo) tiene una incerteza aproximada de:

- Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm (x longitud de línea de base)
- Vertical: 5 mm + 0,5 ppm (x longitud de línea de base)
- Horizontal: 10 mm + 1,0ppm
- Vertical: 15 mm + 1,0ppm



- **Superficie lagunar mediante estacas perimetrales.** La superficie de las lagunas se mide mediante estacas perimetrales, en los meses de enero, abril, julio y octubre. Este método es aproximado ya que utiliza la presencia de agua en ciertos puntos prefijados (estacas) para generar polígonos y así estimar la superficie cubierta con agua, por lo que es menos exacto que el método de las imágenes satelitales y que la medición mediante topografía. No obstante, de esta metodología se pueden extraer puntos de borde lagunar, los que en conjunto con puntos de control contribuyen a minimizar errores en la delimitación lacustre satelital.
- **Caudales de agua industrial.** la incertidumbre está asociada a la precisión de los equipos utilizados, lo cual se realiza mediante flujómetro Endress+Hauser Flowtec y Yokogawa tienen un error de $\pm 0,5$ % del flujo medido, de acuerdo con las especificaciones técnicas de los equipos.

Finalmente, y siendo un factor que afecta al monitoreo en general ya que condiciona el resultado del monitoreo, es la restricción de acceso a las zonas que forman parte de la RNLF, que fue establecida mediante Resolución N°56/2019 de CONAF, la que aprobó el Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos. Dicha resolución entró en vigor a contar del 14 de junio de 2019, definiendo un procedimiento, requisitos y limitaciones para autorizar actividades de monitoreo al interior de la RNLF. En los meses que se contó con autorización de acceso para los monitoreos (sección 5.1.1), la frecuencia de las visitas ha sido inferior a la necesaria para cumplir con los compromisos del PSAH, debido a que los días de trabajo asignados y máximos permitidos en las autorizaciones otorgadas por las entidades co-administradoras de la RNLF (CONAF y la Comunidad de Toconao), han limitado los sectores y el tiempo efectivamente disponible de trabajo. También durante el mes de enero, y debido a la Contingencia por bloqueos de caminos realizada por los Pueblos Atacameños en algunos accesos al Salar de Atacama, fue imposible realizar el monitoreo de los 34 puntos diarios comprometidos, correspondientes al Plan de Contingencia (Carta ETFA SEGEA del 23/01/2024).



5 RESULTADOS DEL PRIMER SEMESTRE 2024

En esta sección se presentan los resultados del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico y del Plan de Contingencias (PC), en este orden, obtenidos durante el primer semestre del 2024.

Los resultados son presentados de acuerdo con los criterios en materia de seguimiento ambiental definidos por la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Resolución Exenta N°223/2015, y teniendo a la vista los cargos formulados por la autoridad ambiental en relación con el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) en el marco del procedimiento sancionatorio de la SMA Rol F-041-2016.

Adicionalmente, se han incorporado los resultados de la implementación de las acciones consideradas en el Programa de Cumplimiento (PdC) que se encuentran relacionadas con el PSAH y el PC, cuyo inicio de ejecución se comprometió durante el segundo semestre de 2018 y que actualmente se encuentra aprobado a partir de las observaciones formuladas por la Superintendencia mediante Resolución Exenta. N°29/Rol F-041-2016. Dichas acciones son:

- Aumento de frecuencia de monitoreo de indicadores de estado de los Planes de Contingencia y del Sector Peine de mensual a diaria, a partir del 1 de diciembre de 2018, salvo para el caso de los indicadores que están dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (sectores Aguas de Quelana y Sistema Hidrológico de Soncor), donde la frecuencia de monitoreo se ajustará a lo indicado en el Protocolo de ingreso aprobado por Resolución N° 56/2019 de CONAF.
- Aplicación de los umbrales de activación de fase I y/o II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto calificado mediante RCA N°226/2006, como en los pozos PN-05B y PN-08A del sector Alerta Núcleo del Plan de Alerta Temprana del considerando 10.18 de la RCA N°21/2016, y las correspondientes medidas de control, cuando corresponda. La consideración de estos indicadores depende del aviso de activación por parte de la SMA a SQM, y han sido incluidos en el PSAH para efectos de discusión de resultados, no así para seguimiento.

Como resultado de la implementación de estas dos acciones, a partir del segundo semestre de 2018 se reportan niveles observados con frecuencia diaria en los indicadores de estado de los Planes de Contingencia, y se analiza el estado del PC provisional del Sistema Peine en los indicadores de estado y según los umbrales definidos en el PdC.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

De manera que, de acuerdo con las instrucciones impartidas por la SMA (Decreto Supremo N°38/2013 y Resolución Exenta N°127 de 2019), las mediciones de los indicadores de estado son efectuadas por SQM, ya que tienen una frecuencia diaria.

Dicho todo lo anterior y junto con lo establecido en la RCA N°226/2006, en la Tabla 5-1 se muestra la relación de cada parámetro junto con la frecuencia de medición comprometida y el detalle del responsable asociado, según deba ser una ETFA o SQM, quien realice las mediciones. Tal y como puede verse en la misma tabla, existen mediciones adicionales y voluntarias en el caso de los niveles y los aforos; en el caso de los niveles de los indicadores de estado, desde el segundo semestre de 2022, SQM solicitó a la ETFA que realizara mediciones mensuales adicionales con el objetivo de validar sus mediciones.

De esta forma, los resultados que se muestran en las tablas de este capítulo 5, corresponden solo a las mediciones comprometidas, donde a partir del 06 de septiembre de 2022 el responsable de las mediciones mensuales lo adquiere SQM a partir de las Resoluciones Exentas N° 573, N° 574 y N° 575/2022 y ajustes de contrato con la ETFA (ver “Medición comprometida en la Tabla 5-1”), así mismo, en los gráficos se muestran ambas mediciones (comprometida y voluntaria) para todo el semestre, ya sea por parte de SQM y/o la ETFA. No obstante, el resultado completo de las mediciones de este semestre (comprometidas y voluntarias) se entregan de forma tabulada en los respectivos anexos.

Tabla 5-1: Detalle de la frecuencia y el responsable de las mediciones según éstas sean comprometidas o tomadas de forma voluntaria

Tipo de punto	Parámetro de medición	Medición comprometida		Medición voluntaria	
		Frecuencia de medición	Responsable de medición desde 06/09/2022	Frecuencia de medición	Responsable de medición desde 06/09/2022
Punto del PSAH	Nivel	Mensual	SQM	Mensual	ETFA
	Caudal de agua (aforos)	Mensual	SQM	Mensual	ETFA
	Calidad	Trimestral	SQM	-	-
	Meteorología	5 minutos	SQM	-	-
	Superficie lacustre	5 años/ anual/ trimestral	SQM (mediante empresa especializada)	-	-
	Caudal bombeado	1 minuto	SQM	-	-
Indicador de estado	Nivel	Diaria	SQM	Mensual	ETFA

Fuente: Elaboración propia



5.1 MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO

En el presente capítulo se exponen los registros de los monitoreos, mediciones y/o análisis efectuados en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico desde enero a junio de 2024, agrupados según los siguientes sistemas y áreas de control (ver apartado 4.3):

- Sistema Soncor
- Sistema Aguas de Quelana
- Sistema Vegetación Borde Este
- Sistema Peine
- Sector Vegas de Tilopozo
- Núcleo del Salar de Atacama
- Cuña Salina

Las variables monitoreadas en cada uno de estos sistemas, según corresponda, han sido agrupadas de la siguiente forma (ver apartado 4.4):

- Nivel del agua (subterránea y superficial)
- Meteorología
- Caudal bombeado
- Calidad química
- Aforos de caudal
- Superficie lacustre

En los siguientes apartados, se hace una descripción sobre el contexto en que se han llevado a cabo las mediciones y/o análisis y en ocasiones también una breve descripción de los valores resultantes, aunque el análisis más detallado respecto la tendencia histórica se desarrolla en el capítulo 6.

Para una mejor comprensión del seguimiento ambiental objeto del presente reporte, y sobre la base a los distintos comportamientos esperados, los resultados del monitoreo en cada sistema han sido sectorizados de acuerdo con las zonas acuíferas definidas en la en la Figura 4-2 esto es, esto es: zona aluvial, zona marginal y zona núcleo. El detalle de puntos oficiales y adicionales corresponde a:

- **Puntos Oficiales:** 2021, Camar-2, L13-1, L13-2, L13-3, L13-4, L14-4, L1-G4 Pozo, L2-16, L2-23, L2-9, L3-10, L3-13, L3-5, L3-6, L3-7, L3-9, L4-12, L4-13, L4-7, L4-8, L4-9, L5-10, L5-14, L5-3, L5-6, L5-7, L5-8, L5-G3 Pozo, L7-4, L7-G2 Pozo, P1-1, P1-2, P1-3, P1-4, P1-5, P1-6, P1-7, P2-1, P2-2, P2-3, P2-4, P2-5, Puente San Luis Aforo, Puente San Luis Pozo, Reglilla Barros Negros SQM, Reglilla Burro Muerto SQM, Reglilla Chaxas SQM, Reglilla Puilar SQM
- **Puntos Adicionales:** L1-17, L1-13, L1-5, L2-25, L2-26, L2-27, L2-28, L2-4, L2-7, L3-11, L3-15, L3-16, L4-10, L4-17, L4-3, L5-9, L5-11, L7-13, L7-14, L7-3, L7-6, L9-1, L9-2



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

A modo de facilitar la visualización e interpretación conjunta del seguimiento ambiental y así el cumplimiento de la Resolución Externa N°223/2015, se presenta mediante gráficos todos los resultados obtenidos en el período, ya sean éstos puntuales, continuos o efectuados por alguna entidad externa (si fuere el caso), junto con las tablas que detallan la fecha y la medición puntual correspondiente. En el caso de los pozos pertenecientes al PC, que disponen de una medida diaria, en las tablas se exponen los máximos y mínimos mensuales a modo de referencia. No obstante, los datos diarios tabulados resultantes, se entregan en el anexo correspondiente a los niveles.

En relación con la información entregada en los anexos, la Tabla 5-2 detalla la información relevante complementaria presentada para cada componente.

Tabla 5-2: Resumen información complementaria para cada componente en anexos

Anexo	Componente	Contenido
Anexo 4	General	Comunicaciones y resoluciones que afectan al periodo reportado.
		Anexo 4.1: Gestión de ingreso a RNLF (cartas SQM y resoluciones sobre ingreso/cierre de la reserva).
		Anexo 4.2: Gestión ingreso al sector del Sistema Peine (cartas SQM y comunicaciones de la Comunidad de Peine).
		Anexo 4.3: Cartas remitidas a la Comunidad Coyo para solicitud de ingreso al sector de Tambillo.
		Anexo 4.4: Cartas remitidas a CONAF solicitando ingreso a Reservas Nacionales de Soncor y Aguas de Quelana, con respuestas oficiales del primer y segundo trimestre de 2024.
		Anexo 4.5: Otras comunicaciones relacionadas con incidencias o aspectos del monitoreo semestral.
		Anexo 4.6: Cartas con restricción de acceso a los distintos puntos de monitoreo
		Anexo 4.7: Resoluciones ETFA-ALS
		Anexo 4.8: Carta Gantt con la programación de los monitoreos por semestre realizado
Anexo 5	Información de niveles y caudales	Considera toda la información respecto a niveles de aguas subterráneas y superficiales
		Anexo 5.1: Informes de la ETFA sobre niveles y caudal de agua subterránea, incluyendo justificaciones para puntos no visitados (RES N°127/2019).
		Anexo 5.2: Información tabulada de monitoreos de agua subterránea y superficial, con mediciones en msnm, mbpr, mbnt, (RES N°894/2020).
		Anexo 5.3: Información tabulada de caudales bombeados medidos mensualmente según sector.
		Anexo 5.4: Registro de niveles y recuento mediciones mensuales por empresa
		Anexo 5.5: Mínimos y máximos de niveles junto a umbrales correspondientes para cada sector.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Tabla 5-2: Resumen información complementaria para cada componente en anexos (continuación)

Anexo	Componente	Contenido
Anexo 6	Calidad química de Agua Subterránea y Superficiales	Considera toda la información respecto a la calidad química de las aguas subterráneas y superficiales
		Anexo 6.1: Informes de las ETFAs, indicando puntos no muestreados.
		Anexo 6.2: Resultados de calidad para el primer semestre de 2024.
		Anexo 6.3: Series históricas de calidad química por sector.
Anexo 7	Caudal Extracciones	Caudal medio mensual de extracciones de pozos de agua industrial (RES N°894/2020)
Anexo 8	Resultados de Aforos	Resultados de aforos (caudal de agua superficial) según formato establecido. (RES N°894/2020)
Anexo 9	Datos Meteorológicos	Anexo 9.1: Resultados de variables meteorológicas tabuladas para el semestre actual
		Anexo 9.2: Validación y relleno de variables meteorológicas de estaciones Chaxa y KLC
Anexo 10	Extensión Lagunar	Información respecto a la extensión lagunar.
		Anexo 10.1: Cálculo de superficies lacustres
		Anexo 10.2: Estacas perimetrales y puntos de control
		Anexo 10.3: Compilado de resultados de extensión lagunar
	Anexo 10.4: Shapefiles de superficies lacustres	
Anexo 11	Estratigrafía y Habilitación de Piezómetros y Pozos	Detalle tabulado de la estratigrafía y habilitación de piezómetros y pozos pertenecientes a la red del PSAH en el reporte.
Anexo 12	Indicadores, umbrales y medidas aplicables al sistema Peine	Definición de umbrales y medidas de control, y su adecuada aplicación.
		Anexo 12.1: Definición de umbrales para sistema Peine PdC.
		Anexo 12.2: Definición de medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II Sistema Peine.
		Anexo 12.3: Definición de medidas de control frente a la activación y desactivación de Fase I y Fase II Sistema Peine.
	Anexo 12.4: Protocolo de aplicación de umbrales definidos para el Sistema Peine.	
Anexo 13	Workspace proyecto GIS	Archivo GIS en el cual se visualizan todos los datos medidos y muestreados correspondientes al periodo semestral.

Fuente: Elaboración propia.



5.1.1 PUNTOS NO VISITADOS

En la cuenca del Salar de Atacama existen varios sectores en donde no se dispone de acceso libre para el seguimiento ambiental comprometido en el PSAH. A continuación, se describe cada situación, junto con el resultado correspondiente al primer semestre de 2024.

5.1.1.1 Áreas restringidas por la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF)

Actualmente el PSAH se caracteriza por contar con puntos de medición/muestreo en áreas con acceso restringido. En primer lugar, el “Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos” que limita el acceso a las zonas de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF) y que entró en vigor el 14 de junio de 2019, según Resolución N°56/2019 de la Región de Antofagasta. Las reservas se ubican en el sistema Soncor y Aguas de Quelana y el detalle de los puntos que se encuentran dentro de estas áreas se detalla a continuación:

- En el área del **Sistema Soncor** se restringe el acceso al entorno de las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar, como también a la estación meteorológica de Chaxa. De entre la infraestructura habilitada en esta área, se incluyen los 2 puntos de aforo (Puente San Luis y Aforo Barros Negros) y 42 puntos de medición de nivel lo que equivale al 46% de la infraestructura del Sistema Soncor. Respecto de los muestreos de calidad trimestrales comprometidos en el PSAH, se encuentran 1 pozo (L7-G1) y las 4 lagunas (las que su muestreo correspondía al efectuado por CONAF anteriormente). De entre los indicadores de estado, el L7-4 (Subsector Puilar) se encuentra dentro de la Reserva. Cabe mencionar que existen dos pozos adicionales que no se encuentran dentro de la Reserva, pero sus accesos sí (1027 y L7-7), por lo que, si no existe permiso de ingreso en el subsector del centro turístico Chaxa, éstos tampoco pueden ser visitados.
- En el área del **Sistema Aguas de Quelana** la restricción limita el acceso a 33 puntos de medición de niveles y un punto para el seguimiento de la interfaz salina (53% de las infraestructuras del Sistema Aguas de Quelana quedan dentro de la Reserva), de los cuales 17 cuentan con medición continua y 4 con muestreo de calidad. De éstos, 6 son indicadores de estado. Se hace notar que el indicador de estado L2-27 se ubica dentro de RNLF, pero no se ha contabilizado en la anterior descripción, pues se encuentra a escasos metros del límite y debido a sus anteriores activaciones de fase, en este punto se ha mantenido su visita diaria.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

En segundo lugar, el protocolo establecido mediante Resolución N° 56/2019 de CONAF define que, para acceder a las distintas zonas de la RNLF se requiere que SQM formalice primero una propuesta de monitoreo y posteriormente CONAF emita las autorizaciones pertinentes donde se fijan las áreas, las actividades y el número de días en que se autoriza el ingreso al área protegida. En la Tabla 5-3 se muestra el detalle de las cartas que SQM ha emitido trimestralmente para el actual periodo de reporte, en donde se realizan las propuestas de monitoreo en RNLF sectores Soncor y Aguas de Quelana, junto con la relación de cartas emitidas por CONAF conforme el detalle de los días y actividades autorizadas trimestralmente. Como se ha descrito anteriormente, las autorizaciones emitidas por CONAF fijan las áreas, el número de días y también el tipo de actividades a realizar en cada caso. En muchas ocasiones esta limitación supone que no se disponga del tiempo suficiente para todas las actividades de medición, muestreo o mantención necesarias en cada área, por lo que, pese a contar con las autorizaciones para cada mes, en muchas ocasiones no se han podido ejecutar todas las actividades comprometidas en el PSAH; en los siguientes apartados, puede encontrarse el detalle de los puntos que no han sido visitados para cada sistema.

Respecto de los puntos del PC dentro de la reserva (6 en el sistema Aguas de Quelana y 1 en Soncor), los que deben tener una medición diaria conforme a lo considerado en el PdC, aunque en estos casos no es posible mantener dicha frecuencia por no contar con el permiso de ingreso necesario. De manera que, de la misma forma que el resto de los puntos del PSAH, solo podría lograrse una medición mensual.

Tabla 5-3: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de ingreso a RNLF

Entidad / Sistema	Mes	Envío Solicitud SQM		Respuesta Autorización	
		Nº Carta	Fecha	Nº Resolución	Fecha
CONAF (Sistema Soncor)	ene	GMAL 512/2023	13/12/2023	CARTA OFICIAL N° 31/2023	29/12/2023
	feb	GMAL 512/2023	13/12/2023	CARTA OFICIAL N° 31/2023	29/12/2023
	mar	GMAL 512/2023	13/12/2023	CARTA OFICIAL N° 31/2023	29/12/2023
	abr	GMAL 73/2024	26/02/2024	CARTA OFICIAL N° 7/2024	14/03/2024
	may	GMAL 73/2024	26/02/2024	CARTA OFICIAL N° 7/2024	14/03/2024
	jun	GMAL 73/2024	26/02/2024	CARTA OFICIAL N° 7/2024	14/03/2024
CONAF (Sistema Aguas de Quelana)	ene	GMAL 511/2023	13/12/2023	CARTA OFICIAL N° 33/2023	29/12/2024
	feb	GMAL 511/2023	13/12/2023	CARTA OFICIAL N° 33/2023	29/12/2024
	mar	GMAL 511/2023	13/12/2023	CARTA OFICIAL N° 33/2023	29/12/2024
	abr	GMPL 72/2024	26/02/2024	CARTA OFICIAL N° 8/2024	15/03/2024
	may	GMPL 72/2024	26/02/2024	CARTA OFICIAL N° 8/2024	15/03/2024
	jun	GMPL 72/2024	26/02/2024	CARTA OFICIAL N° 8/2024	15/03/2024

Fuente: Elaboración propia.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

En el primer semestre de 2024, para el sistema Soncor, CONAF autoriza el ingreso a monitoreo a los sectores de interés con las restricciones que se detallan en la Tabla 5-4 y Tabla 5-5.

Tabla 5-4: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNL Sector Soncor

Mes	Acceso Restringido	Variables Afectadas
Enero	L1-16 L2-23 M1, M2, M3 P2-5, P2-4 L7-G1, L7-G2 RC1, RC2 Reglilla Puilar, Reglilla Barros Negro, Reglilla Chaxa Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	No se realizaron actividades de batimetría, verificación de estacas perimetrales, lecturas de medidores, mediciones de caudal, ni muestreo fisicoquímico del agua.
Febrero	L2-23 L7-G2 P2-4, P2-5 Reglilla Puilar, Reglilla Barros Negro Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	Limitado el muestreo fisicoquímico del agua y mediciones de caudal.
Marzo	L2-23 P2-4, P2-5 L7-G2 Reglilla Puilar, Reglilla Barros Negro Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	Restricciones similares a febrero, afectando el monitoreo de variables hidrológicas y ambientales.
Abril	Sin restricciones específicas.	Sin variables afectadas.
Mayo	Sin restricciones específicas.	Sin variables afectadas.
Junio	Sin restricciones específicas.	Sin variables afectadas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-5: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Aguas de Quelana

Mes	Acceso Restringido	Variables Afectadas
Enero	L1-16, L2-23 M1, M2, M3 P2-5, P2-4 L7-G1, L7-G2, RC1, RC2	Estacas perimetrales, batimetría, reglillas, aforo.
Febrero	L2-23, L7-G2, P2-4, P2-5 Reglilla Puilar, Reglilla Barros Negros Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negros	Aforo, telemetría, reglillas.
Marzo	L7-G1, RC1, RC2, Aforo Barros Negros, Reglilla Chaxa, Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	Medición de nivel, aforo, telemetría, loggeo transductor, descarga de datos
Abril	L7-G1, RC1, RC2, Aforo Barros Negros, Reglilla Chaxa, Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	Monitoreo de niveles, aforo, telemetría, loggeo, monitoreo biota acuática, fauna, vegetación, suelo
Mayo	L7-G1, RC1, RC2, Aforo Barros Negros, Reglilla Chaxa, Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	Medición de niveles, instalación telemetría y/o loggeo transductor, medición nivel piezómetro y mantención estación meteorológica
Junio	L7-G1, RC1, RC2, Aforo Barros Negros, Reglilla Chaxa, Lagunas Puilar, Chaxa, Barros Negro	Medición de niveles, instalación telemetría y/o loggeo transductor, medición nivel piezómetro y mantención estación meteorológica

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Áreas restringidas por las comunidades

Además de las restricciones de acceso a RNLF, existen también dos áreas con acceso controlado por comunidades; el área con acceso controlada por la Comunidad de Peine en la zona marginal al sur, y el área norte de la cuenca con acceso controlado por la Comunidad de Coyo. En ambos casos es necesario contar con su consentimiento para poder realizar todas las actividades necesarias (medición, muestreo y mantención). A continuación, se detalla la relación de puntos implicados:



- Esta área dentro del **Sistema Peine** contiene 16 puntos de nivel mensual (no hay ningún punto del PC¹²), los 2 puntos de aforo y 3 pozos para el seguimiento de la interfaz salina, lo que supone que un 70% de la infraestructura. A lo anterior se debe añadir el acceso a las lagunas Salada, Saladita e Interna.
- La Comunidad de Peine controla el acceso sobre el **Sector de Tilopozo**, lo que implica la restricción de acceso a 4 pozos y 1 reglilla para su medición mensual de nivel.
- La Comunidad de Coyo controla el acceso en el área denominada **Sector de Tambillo**, situada al norte del Sistema Soncor, lo que implica la restricción de acceso a 2 pozos y 1 reglilla para su medición mensual de nivel.
- Para solicitar la autorización de ingreso a estas áreas, durante el segundo semestre 2023 SQM ha enviado una serie de cartas dirigidas a cada comunidad, detallando la propuesta de actividades a realizar cada vez (ver relación de cartas en la Tabla 5-6).
- Cabe mencionar que la Comunidad decretó el cierre completo del sector de lagunas y puntos aledaños desde el día 03 de noviembre (2023) mediante la carta N°18/2023 del día 02 de noviembre de 2023, donde se indica que se evaluará apertura para el mes de abril de 2024. Los motivos que llevaron al cierre fueron para preservar las tasas de reproducción de flamencos en el territorio. La restricción de acceso fue extendida mediante carta N°63/2024 del día 08 de abril de 2024, para evaluar si es que la apertura sería posible de realizar en el mes de mayo de 2024. La apertura del sistema lagunar Peine fue otorgado el 10 de mayo de 2024 mediante carta N°70/2024, donde se permite el acceso a monitoreo a partir del lunes 13 de mayo de 2024 con la nueva restricción de reducción de número de personas que acceden al sector.

¹² Los indicadores correspondientes al PAT provisorio de Peine no se encuentran en esta subárea controlada por la Comunidad de Peine

Tabla 5-6: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de las comunidades

Entidad/Sistema	Mes	Envío Solicitud SQM		Respuesta autorización	
		Nº Carta	Fecha	Nº Resolución	Fecha
Comunidad de Peine (Sistema Peine)	ene	GMAL 529/2023	27/12/2023	Nº18/2023 (cierre)	2/11/2023
	feb	GMAL 25/2024	25/01/2024	Nº18/2023 (cierre)	2/11/2023
	mar	GMAL 82/2024	28/02/2024	Nº18/2023 (cierre)	2/11/2023
	abr	GMAL 159/2024	2/4/2024	Nº63/2024 (cierre)	8/4/2024
	may	GMAL 207/2024	30/04/2024	Nº70/2024 (apertura)	10/5/2024
	jun	GMAL 291/2024	31/05/2024	Nº70/2024 (apertura)	10/5/2024
Comunidad de Coyo (Sector Tambillo)	ene	GMAL 531/2023	27/11/2023	S/R	-
	feb	GMAL 24/2024	25/01/2024	S/R	-
	mar	GMAL 81/2024	28/02/2024	S/R	-
	abr	GMAL 158/2024	2/4/2024	S/R	-
	may	GMAL 206/2024	30/04/2024	S/R	-
	jun	GMAL 290/2024	31/05/2024	S/R	-

Fuente: Elaboración propia. S/R: Sin Respuesta.

5.1.1.3 Otras razones

Durante el mes de enero de 2024, se presentaron circunstancias que impidieron el acceso a las zonas de monitoreo programadas para la medición de niveles en las fechas estipuladas (10, 11, 12, 13, 14 y 23 de enero). El motivo principal del impedimento fue el bloqueo de caminos efectuado por comunidades del sector borde sur y el Consejo de Pueblos Atacameños.

El bloqueo de caminos fue documentado y reportado formalmente. La evidencia de estos bloqueos se encuentra registrada en la plataforma del Sistema de Seguimiento Ambiental (SSA) de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). En particular, la Carta GMAL N°4/2024, fechada el 11 de enero de 2024, y la Carta GMAL N°6/2024, fechada el 18 de enero de 2024, confirman los avisos de contingencia y las restricciones de acceso. Dado que las operaciones de monitoreo ambiental requieren un acceso continuo y sin restricciones a las zonas designadas, la imposibilidad de transitar por los caminos bloqueados impidió la realización de las mediciones planificadas.

SQM ante este tipo de contingencias toma todas las medidas necesarias para reprogramar las actividades de monitoreo una vez que se restablezcan los accesos a las áreas afectadas.

5.1.1.4 Resumen de puntos no visitados durante primer semestre de 2024

Los puntos a los que no se pudo acceder en los sectores Soncor, Aguas de Quelana, Peine y Cuña Salina se detallan en la Tabla 5-7.

Los motivos por los cuales no se pudo acceder se agrupan como sigue:

- Restricción de acceso por época de reproducción de flamencos
- Restricción de acceso por falta de respuesta por parte de la comunidad Coyo
- Pozo fuera de servicio
- Corte de caminos por parte de comunidades atacameñas
- Corte de camino por Operación mina

Tabla 5-7: Resumen de puntos no visitados

Sistema	Nombre Infraestructura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Soncor	Allana	●					
	Socaire 5B	●					
	L1-16	●	●	●			
	RC-1	●	●	●			
	RC-2	●	●	●			
	L2-23	●	●	●			
	L7-G1	●	●	●			
	L7-G2 pozo	●	●	●			
	L7-G2 Reglilla	●	●	●			
	L11-1	●	●	●	●	●	●
	L11-2	●	●	●	●	●	●
	L11-G1	●	●	●	●	●	●
	RC-1	●	●	●			
	RC-2	●	●	●			
	Reglilla Barros Negros CONAF	●	●	●			
	Reglilla Barros Negros SQM	●	●	●			
	Reglilla Chaxa CONAF	●	●	●			
	Reglilla Chaxa SQM	●	●	●			
	Reglilla Puilar CONAF	●	●	●			
	Reglilla Puilar SQM	●	●	●			
Aguas de Quelana	Socaire-5B	●					

Fuente: Elaboración propia.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Tabla 5-7: Resumen de puntos no visitados (continuación)

Sistema	Nombre Infraestructura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Peine	L10-2	●	●	●	●		
	L10-9	●	●	●	●		
	L10-10	●	●	●	●		
	L10-15	●	●	●	●		
	GD-03	●	●	●	●		
	GD-04	●	●	●	●		
	L10-6	●	●	●	●		
	L10-7	●	●	●	●		
	L10-8	●	●	●	●		
	Reglilla Interna	●	●	●	●	●	
	Reglilla Salada CONAF	●	●	●	●	●	●
	Reglilla Saladita CONAF	●	●	●	●	●	●
	Núcleo Salar	M1-C		●			
Cuña salina	Cuña-2	●					
	Cuña-3	●					
	Cuña-7	●	●	●	●	●	

Fuente: Elaboración propia.



5.1.2 SISTEMA SONCOR

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Soncor considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua superficial y subterránea (86 puntos), meteorología (1 estación), caudal bombeado (2 puntos), calidad química (17 puntos), aforos de caudal (2 puntos) y superficie lacustre (3 lagunas). Los resultados para el primer semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.2.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presentan los niveles de todos los puntos de control que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sistema Soncor, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-4 y en el Anexo 2, en consideración de la Tabla 5-7 que resumen las infraestructuras no visitadas para este periodo. Asimismo, los pozos L1-3, L2-4 y L7-3 forman parte tanto del monitoreo de niveles del Sistema Soncor como del Sistema Vegetación Borde Este; sin embargo, para un mejor entendimiento, serán presentados solo en esta sección.

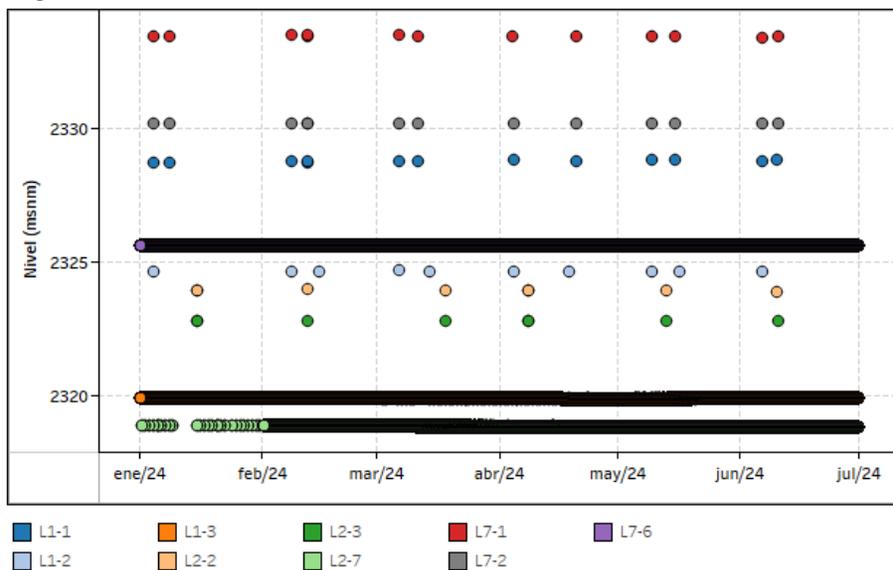
5.1.2.1.1 Pozos en zona aluvial

Esta zona consta de 11 puntos de control, de los cuales los puntos L1-3, L2-7 y L7-6 son indicadores de estado. Todos ellos disponen de mediciones continuas.

En la Figura 5-1 y Figura 5-2 representan gráficamente los resultados obtenidos para el primer semestre de 2024, que incluyen las mediciones comprometidas y las complementarias. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

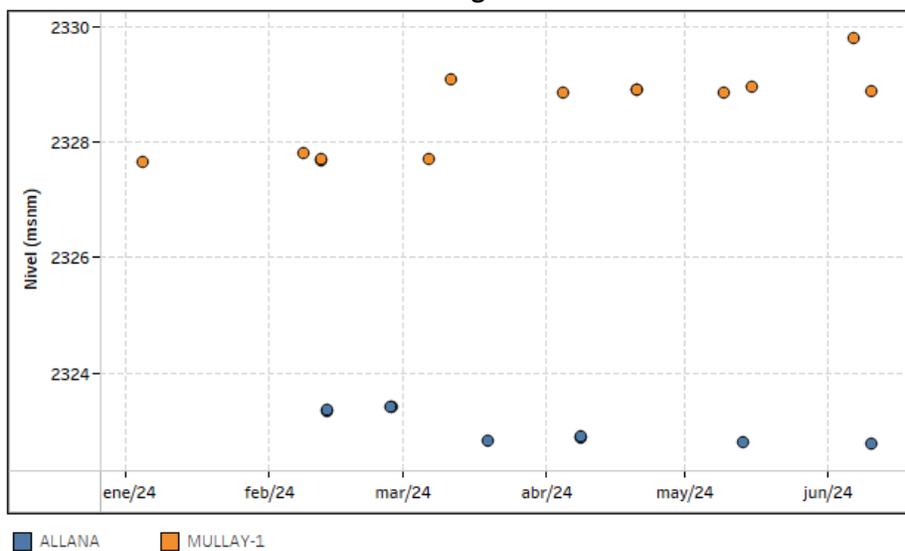
Las infraestructuras asociadas a los indicadores de estado fueron visitadas con la regularidad comprometida y voluntaria (diaria por la ETFA y mensual por SQM).

Figura 5-1: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-2: Nivel dinámico observado (m s.n.m.) en zona aluvial de Sistema Soncor – Pozos de extracción de agua industrial



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.



5.1.2.1.2 Pozos en zona marginal

En la Zona Marginal del Sistema Soncor se encuentran 60 puntos de control de nivel, de los cuales 18 poseen medición continua.

Dado el número de puntos y la extensión del Sistema Soncor, se optó por presentar los resultados en 6 grupos, definidos a partir de su ubicación geográfica: subsector Puilar, subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros, subsector Oeste y Sur de la Laguna Chaxa, subsector Descarga Oeste de Barros Negros (Cola de Pez), subsector Descarga Sur de Barros Negros (Desborde Sur) y subsector Norte del Salar de Atacama. A continuación, se muestran los resultados para cada uno de estos grupos.

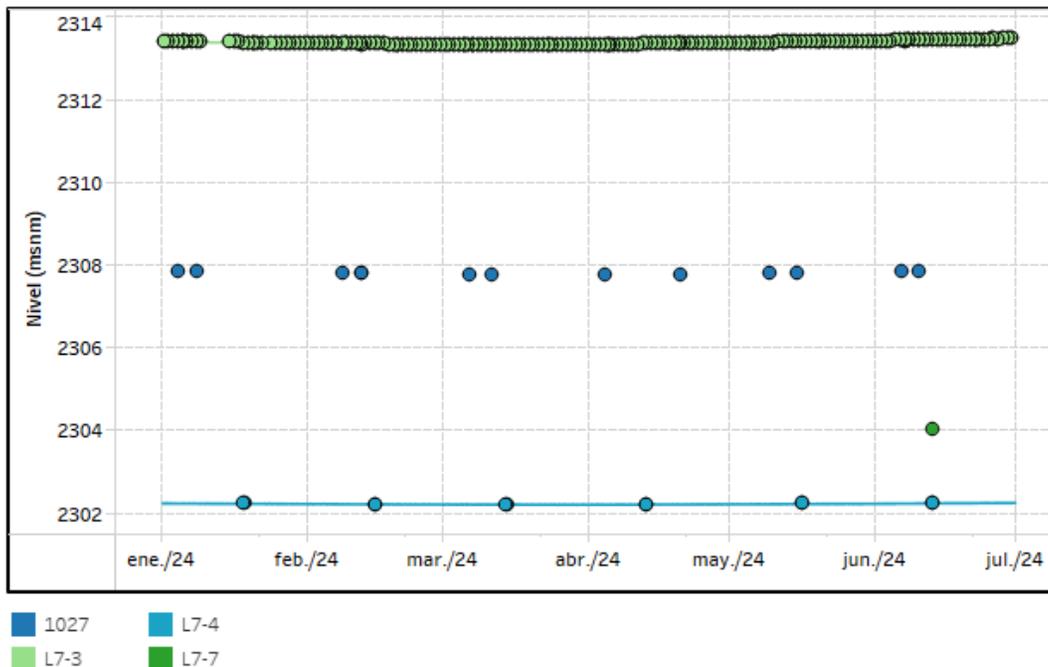
5.1.2.1.2.1 Subsector Puilar

El subsector Puilar dispone de 4 puntos de control, sin considerar las reglillas, de los cuales los pozos L7-3 y L7-4 son indicadores de estado. Solo el pozo L7-3 se ubica al interior de la reserva; sin embargo, el acceso a los puntos L7-7 y 1027 se encuentra supeditado a los permisos de ingreso a la reserva, específicamente a los permisos de traspaso del centro turístico de Chaxa.

El resultado del monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las adicionales, se muestra gráficamente en la Figura 5-3. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Durante el periodo reportado, el indicador de estado L7-3 fue monitoreado con la frecuencia comprometida. El pozo L7-4 fue visitado una vez al mes, tanto por SEGEA como por SQM.

Figura 5-3: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar



*(El Pozo L7-3 contiene 72.060 valores no validados entre 12-02-2024 y 10-06-2024)
*(El Pozo L7-4 contiene 869 valores no validados entre 18-01-2024 y 15-04-2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

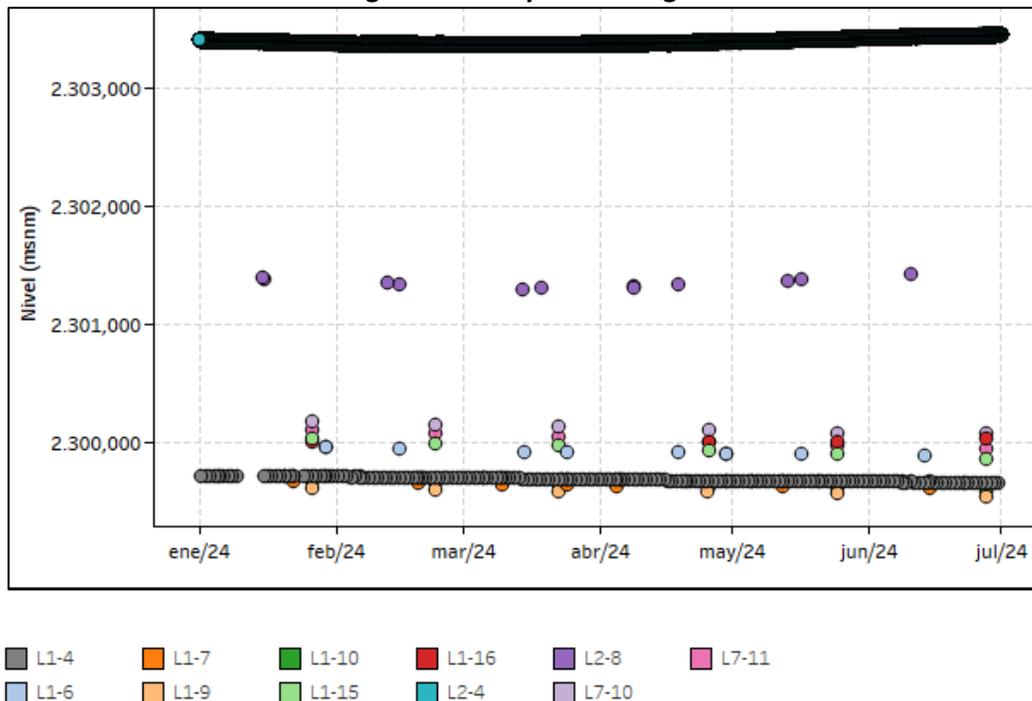
5.1.2.1.2.2 Subsector este de lagunas Chaxa y Barros Negros

El subsector ubicado al este de las lagunas Chaxa y Barros Negros, cuenta con 11 puntos de control; de los cuales los indicadores de estado son el L1-4 y L2-4. Por otro lado, dentro de la reserva se encuentran los pozos L1-10, L1-15, L1-16, L1-9, L7-10 y L7-11.

El resultado del monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestra gráficamente en la Figura 5-4. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Durante el periodo reportado, las mediciones en los indicadores de estado L1-4 y L2-4, mantuvieron la frecuencia diaria comprometida (por SEGEA), con al menos 3 mediciones mensuales adicionales en estos puntos (por SQM).

Figura 5-4: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros



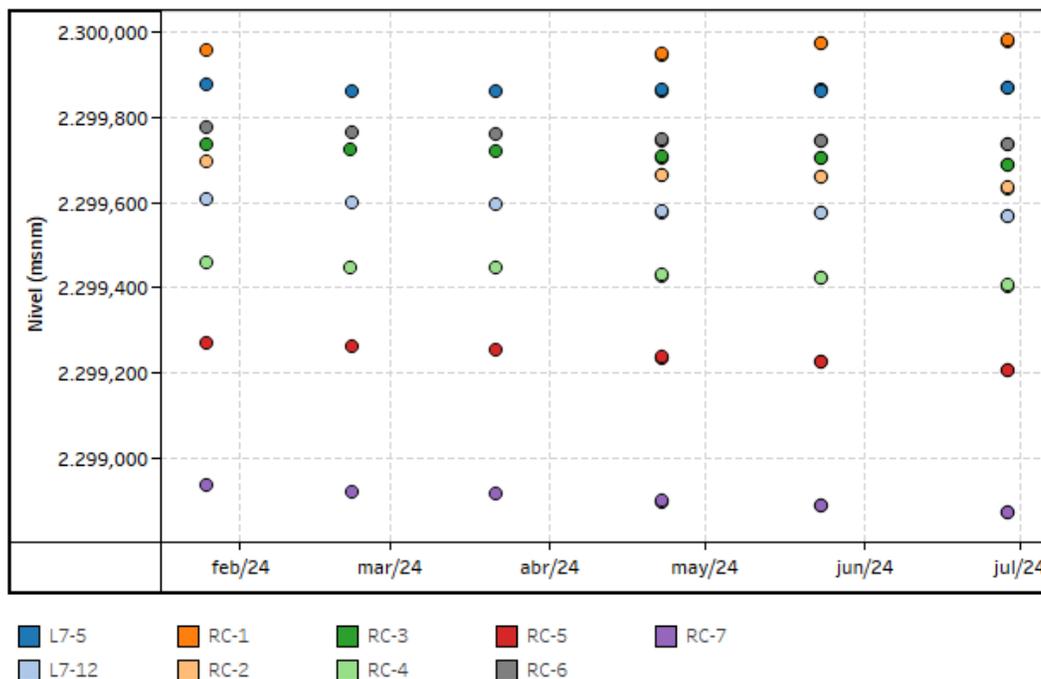
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.3 Subsector al oeste y sur de la laguna Chaxa

El subsector situado al oeste y sur de la Laguna Chaxa dispone de 9 puntos de monitoreo. Es importante señalar que todos se encuentran dentro de la RNLF – Soncor y ninguno de éstos se mide de manera continua ni corresponde a un indicador de estado; por lo tanto, las mediciones en este subsector se limitan a una medición mensual para cada pozo y son realizadas por SQM.

El resultado de los niveles obtenidos durante el monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las adicionales, se muestra gráficamente en la Figura 5-5. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles.

Figura 5-5: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector oeste y sur de la laguna Chaxa



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.4 Subsector descarga oeste de Barros Negros

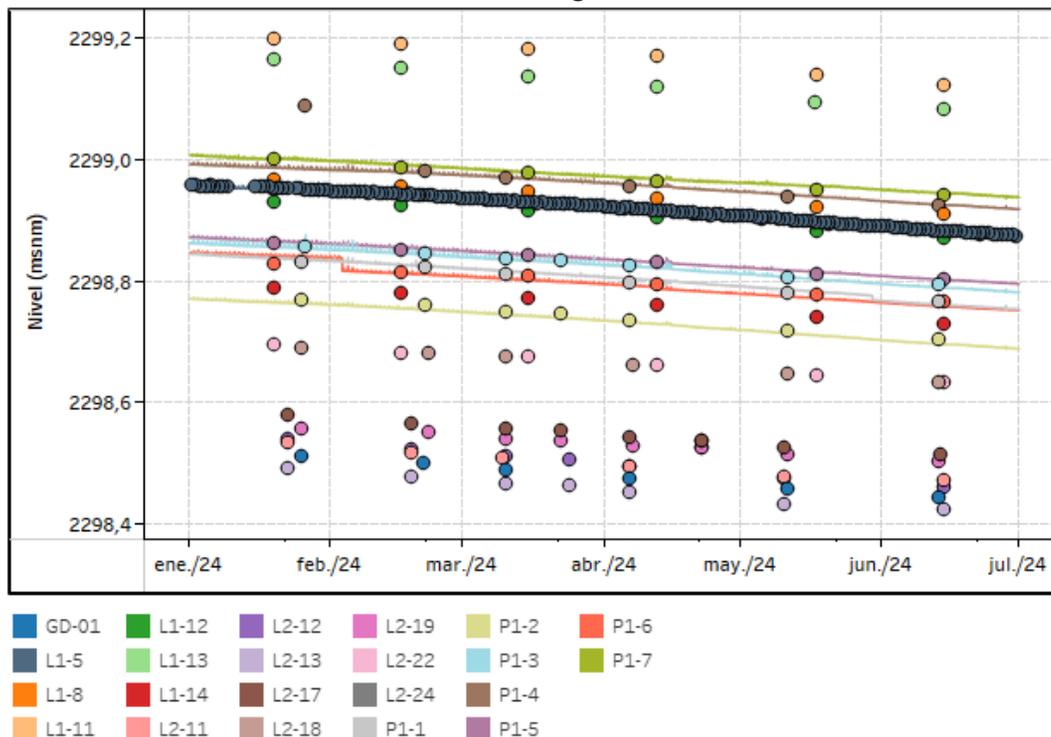
En cuanto al subsector de Descarga Oeste de la Laguna Barros Negros – denominada Cola de Pez – dispone de 22 puntos de control (sin incluir las reglillas). De este grupo, solo el L1-5 corresponde al indicador de estado. Por otro lado, la transecta P1 (P1-1, P1-2, P1-3, P1-4, P1-5, P1-5, P1-6 y P1-7) dispone de mediciones continuas. Dentro de la reserva se encuentran los puntos: L1-11, L1-12, L1-13, L1-14, L1-8, L2-22, L2-24, P1-5, P1-6 y P1-7.

El resultado de los niveles obtenidos durante el monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se visualiza en el gráfico de la

Figura 5-6. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Para el actual semestre reportado, las mediciones en el indicador L1-5, mantuvo la frecuencia diaria comprometida (por SEGEA), con mínimo 2 mediciones mensuales adicionales en estos puntos (por SQM). Asimismo, todos los pozos fuera de la reserva cuentan con la medición mensual comprometida.

Figura 5-6: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros



*(El Pozo P1-2 contiene 1 valores no validados entre 22-03-2024 y 22-03-2024) *(El Pozo P1-4 contiene 3 valores no validados entre 29-03-2024 y 02-05-2024)
*(El Pozo P1-5 contiene 12 valores no validados entre 19-01-2024 y 17-05-2024)
*(El Pozo P1-6 contiene 98 valores no validados entre 03-02-2024 y 17-05-2024) *(El Pozo P1-7 contiene 6 valores no validados entre 20-03-2024 y 17-05-2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.5 Subsector descarga sur de Barros Negros

Respecto a la otra zona de descarga de la laguna Barros Negros – denominada Descarga Sur – cuenta con 12 puntos de monitoreo, de los cuales ninguno corresponde a un indicador de estado. En cuanto a su ubicación, los pozos L2-23, L2-16, L2-9, P2-1, P2-2, P2-3 P2-4 y P2-5 se encuentran dentro de la reserva. Son 8 pozos los que cuentan con medición continua (L2-15, L2-9, L2-10, L2-21, L2-5, L2-23, L2-16). Debido

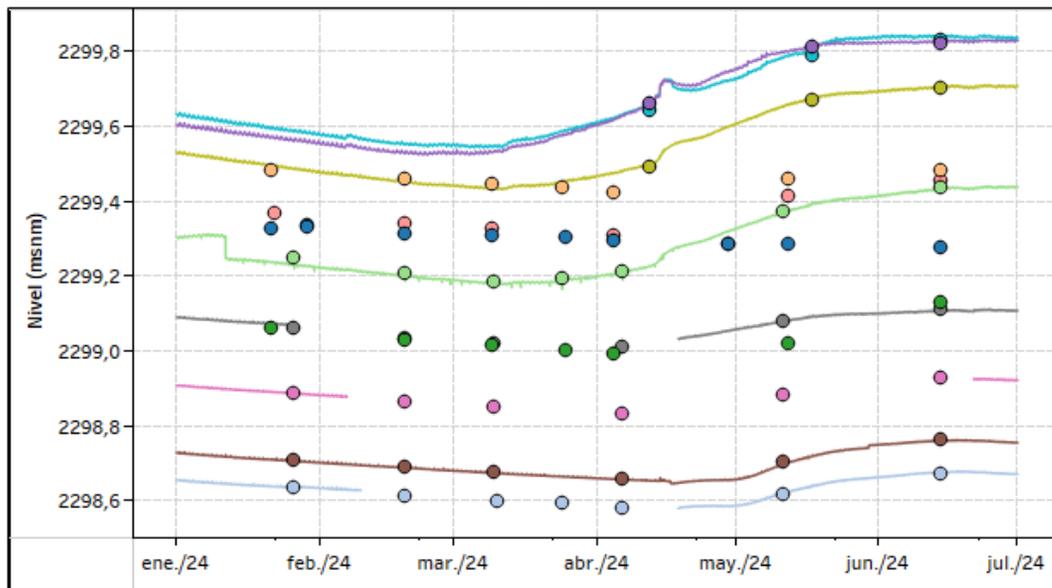


a fallas y/o desconfiguraciones de los sensores en puntos L2-9, P2-2 y P2-3, algunos datos no fueron validados, por lo que no se incluyen en esta gráfica.

El resultado de los niveles obtenidos durante el monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestra en el gráfico de la Figura 5-7. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Durante el periodo reportado, se realizaron mediciones mensuales en todos los pozos situados fuera de la RNLF. Por otro lado, la frecuencia de visita a los pozos dentro de la reserva fue menor debido a restricciones de acceso; con especial énfasis en los pozos L2-23, P2-4 y P2-5, los cuales no fueron visitados en enero, febrero y marzo de 2024.

Figura 5-7: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros



- L2-5
- L2-9
- L2-10
- L2-15
- L2-16
- L2-21
- L2-23
- P2-1
- P2-2
- P2-3
- P2-4
- P2-5

*(El Pozo L2-9 contiene 98.885 valores no validados entre 09-02-2024 y 09-06-2024)
*(El Pozo L2-16 contiene 29 valores no validados entre 18-04-2024 y 15-06-2024)
*(El Pozo L2-23 contiene 2 valores no validados entre 17-05-2024 y 17-05-2024) *(El Pozo P2-1 contiene 6 valores no validados entre 21-01-2024 y 26-01-2024)
*(El Pozo P2-2 contiene 190.804 valores no validados entre 03-02-2024 y 21-06-2024)
*(El Pozo P2-3 contiene 119.746 valores no validados entre 26-01-2024 y 22-06-2024)
*(El Pozo P2-4 contiene 1 valores no validados entre 23-01-2024 y 23-01-2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.6 *Subsector norte del Salar*

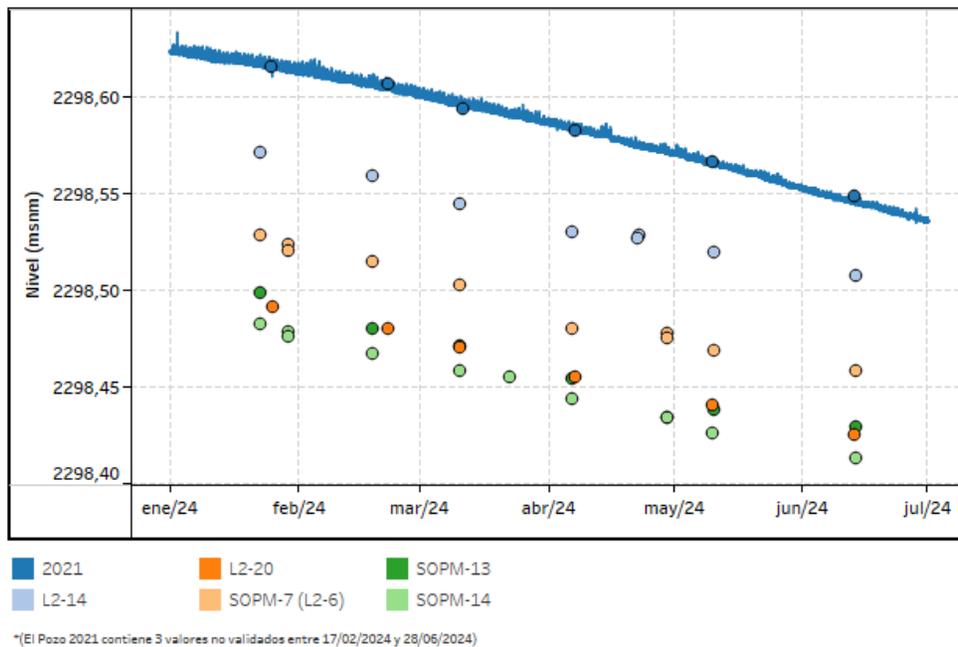
Los pozos L11-1 y L11-2 se sitúan en el subsector Norte del Salar. Ambos pozos se encuentran en un área donde el acceso ha sido imposibilitado desde noviembre de 2019 hasta la actualidad; por lo tanto, no se dispone de información para el primer semestre de 2024.

5.1.2.1.3 Pozos en zona Núcleo

En la zona Núcleo del Sistema Soncor se dispone de 6 pozos, de los cuales ninguno corresponde a un indicador de estado y solo el pozo 2021 registra mediciones continuas de nivel.

El resultado del monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las adicionales, se muestra gráficamente en la Figura 5-8. Es importante notar que, las mediciones continuas son entregadas de forma bruta, por lo que, los outliers se visualizan como líneas fuera de tendencia en la misma figura. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM). En el actual período reportado, los 6 puntos fueron monitoreados mensualmente por SQM, en al menos una ocasión.

Figura 5-8: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.



5.1.2.1.4 Nivel de agua superficial

En este apartado se muestran los niveles de agua superficial medidos en las reglillas L1-G4 (al sur de la Laguna Barros Negros), L7-G1 (al oeste del canal Burro Muerto), L7-G2 (al este de la Laguna Puilar) y L11-G1 (en el sector norte del Salar). De este grupo, el L1-G4 corresponde al indicador de estado y, por otro lado, los puntos L7-G1 y L7-G2 se sitúan al interior de la reserva.

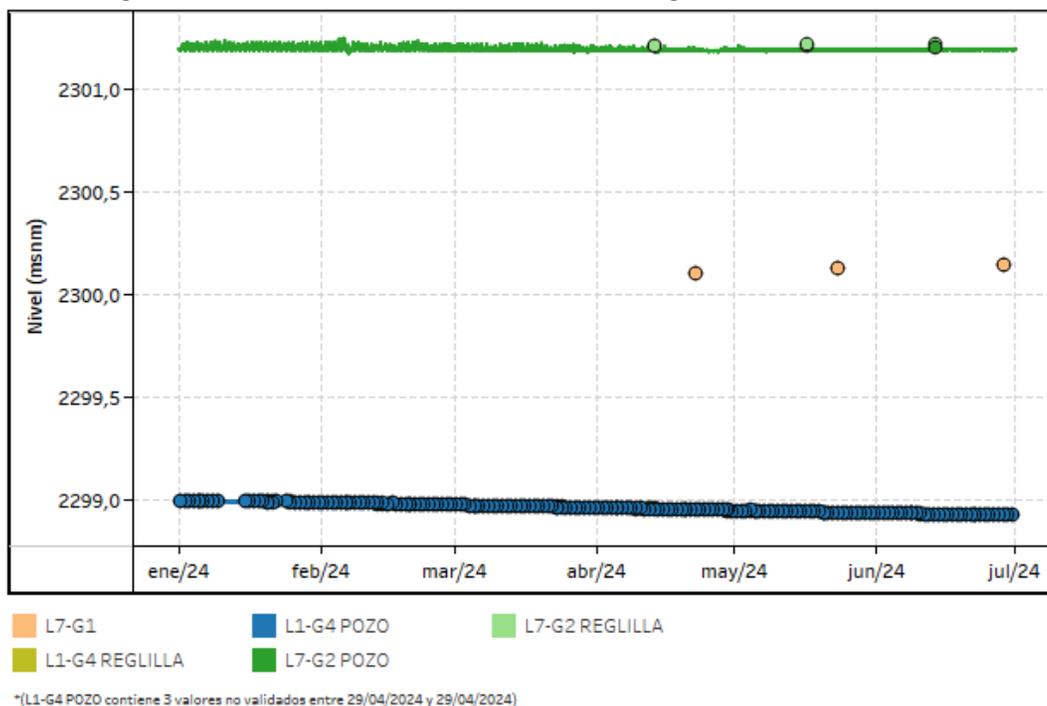
Respecto a las mediciones, solo los pozos L7-G2 y L1-G4, cuentan con dispositivos de medición continua. Cabe mencionar que los transductores de presión se encuentran en las infraestructuras denominadas como Pozo (L7-G2 Pozo y L1-G4 Pozo), puesto que en las propias reglillas su instalación no es factible debido al esquema constructivo del mismo. Además, las mediciones (manuales y continuas) realizadas en cada tipo de infraestructura (asociada al pozo y a la reglilla) representan la misma área hidrogeológica (en el caso del L1-G4) o el mismo elemento hidrológico (en el caso del L7-G2).

Adicionalmente, en la RCA N°226/2006, se compromete la medición mensual en las reglillas L7-G1, L1-G4 y L11-G1, así como también la medición diaria del L1-G4 Reglilla, que corresponde a un indicador de estado. Las mediciones manuales de nivel son adicionales ya que permiten calibrar las continuas.

El resultado de los niveles, tanto manuales como continuos, obtenidos durante el monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestra en la Figura 5-9. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el recuento de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

La frecuencia de las mediciones manuales del L1-G4 Pozo y L1-G4 Reglilla, han sido efectuadas a diario por SEGEA y al menos 2 veces al mes por SQM. Respecto a los puntos L7-G1 y L7-G2 Reglilla fueron visitados únicamente en abril, mayo y junio de 2024, mientras que el L7-G2 Pozo fue monitoreado solo en junio por SQM. En el caso del L11-G1, éste no dispone de información debido a que el acceso al sector norte del Salar permanece inhabilitado desde noviembre de 2019.

Figura 5-9: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.4.1 Nivel sector Puente San Luis

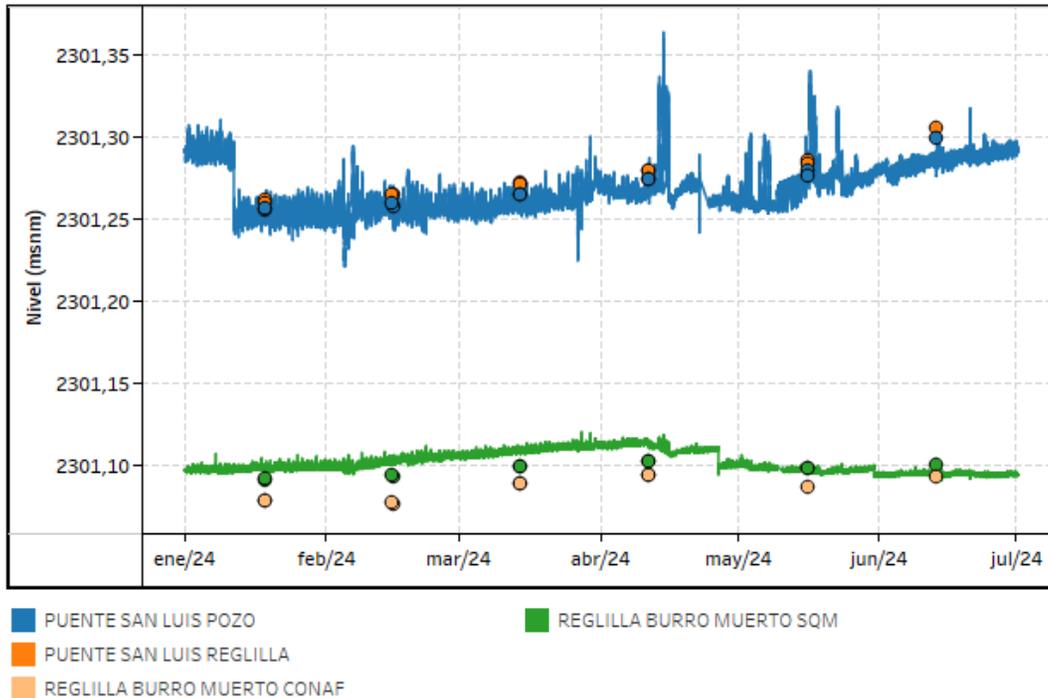
En el sector del Puente San Luis existen 4 puntos de monitoreo de agua superficial – reglillas – ubicados en su totalidad dentro de la reserva. La infraestructura conocida como Puente San Luis cuenta con una reglilla y un pozo. El equipo de medición continua está instalado en la infraestructura conocida como Puente San Luis Pozo. Sin embargo, en ambos puntos se realizan mediciones manuales mensuales. Por el contrario, la Reglilla Burro Muerto cuenta con una infraestructura instalada por SQM y otra por CONAF, denominadas Reglilla Burro Muerto SQM y Reglilla Burro Muerto CONAF. En este caso, el transductor de presión se encuentra instalado en la infraestructura de SQM. No obstante, SQM, como parte de lo comprometido en la RCA N°226/2006, se encarga de la supervisión, mantención y medición adecuada de la infraestructura de CONAF.

El resultado de los niveles, tanto manuales como continuos, obtenidos durante el monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestra en el gráfico de la

Figura 5-10. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el recuento de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Durante el primer semestre de 2024, las 4 infraestructuras fueron visitadas mensualmente.

Figura 5-10: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – sector Puente San Luis



* (PUENTE SAN LUIS POZO contiene 3.957 valores no validados entre 15/02/2024 y 20/06/2024)
 *(REGLILLA BARROS NEGROS SQM contiene 70.255 valores no validados entre 04/02/2024 y 23/05/2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.4.2 Nivel lacustre

La medición del nivel de las lagunas en el Sistema Soncor se efectúa mediante reglillas instaladas en Barros Negro, Puilar y Chaxa. En todos los casos, al igual que en el apartado anterior, se cuenta con infraestructuras – o reglillas – homónimas, unas instaladas por SQM y otras por CONAF. Se destaca que, los transductores de presión se encuentran instalados en las infraestructuras de SQM. No obstante, SQM, como parte de lo comprometido en la RCA N°226/2006, se encarga de la supervisión, mantención y medición adecuada de las infraestructuras de CONAF.



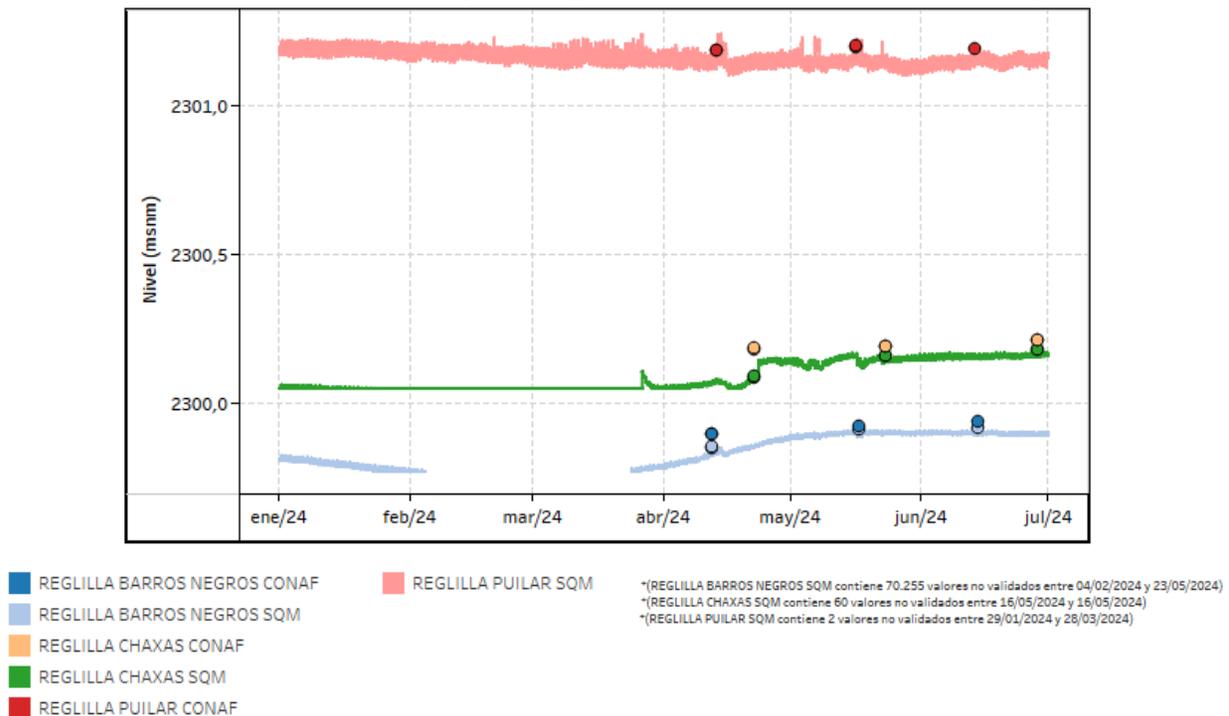
**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

En cuanto a la medición del nivel lacustre con reglillas, es importante señalar que cada una de las tres lagunas del Sistema Soncor posee 3 mediciones de nivel: 1) Mediciones continuas en las reglillas de SQM (requerimiento RCA), y 2) Mediciones manuales en las reglillas de SQM y CONAF (complementario).

El resultado de los niveles obtenidos durante el monitoreo completo, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestra en el gráfico de la Figura 5-11, que también considera las mediciones continuas. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el recuento de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

En el caso de las infraestructuras de SQM, Reglilla Barros Negros y Reglilla Chaxas fueron visitadas en abril, mayo y junio de 2024, mientras que Reglilla Puilar no dispone de información durante el actual semestre reportado. Por el contrario, las reglillas homónimas asociadas a CONAF poseen registros manuales en abril, mayo y junio de 2024. Pese a lo anterior, los cuerpos de agua cuentan con medición continua, lo que permite completar el seguimiento del nivel en los meses no visitados.

Figura 5-11: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – niveles en las lagunas



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.



5.1.2.2 Meteorología

En la Tabla 5-8 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica Chaxa, los cuales corresponden a precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, a nivel diario, para el período comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2024. Las series diarias de estas variables para el primer semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 5-12, y en forma tabulada en el Anexo 9.1.

Para todas las variables se cuenta con más del 95 % de las mediciones, excepto para la evaporación porque se observaron períodos donde la bandeja de evaporación estuvo seca. Este se debe principalmente a que la frecuencia autorizada para el acceso a las estaciones no permite el rellenar el tanque de almacenamiento en forma más continua. No obstante, una vez realizada la visita a las estaciones se retoma la medición de esta variable. Debido a lo anterior, se realizó el relleno de la serie de esta variable en función del registro de otras estaciones. La metodología empleada para este procedimiento y las series obtenidas se presenta con detalle en el Anexo 9.

Se observa que en el primer semestre del 2024 la precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de tres eventos que ocurrieron durante febrero y abril. En cuanto a la velocidad del viento, se observa en promedio una disminución progresiva a lo largo del semestre, lo cual es un comportamiento estacional característico en la zona para esta época del año. Sin embargo, los días 14 y 15 de abril se produce un aumento alcanzando una velocidad máxima de 7,88 m/s. En esa misma fecha se registraron eventos de precipitación en otras estaciones de la red SQM, por lo que el incremento en la velocidad del viento está relacionado con un evento climático a escala de la cuenca.

La evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al descenso en el primer semestre del 2024. La evaporación en enero es del orden de 14 mm/día y en junio del orden de 3 mm/día. La temperatura media diaria en enero fue del orden de 23°C mientras que en junio el promedio diario es del orden de 7°C.



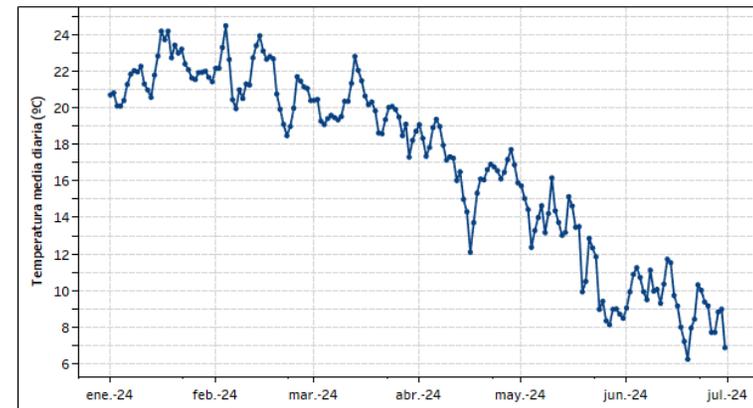
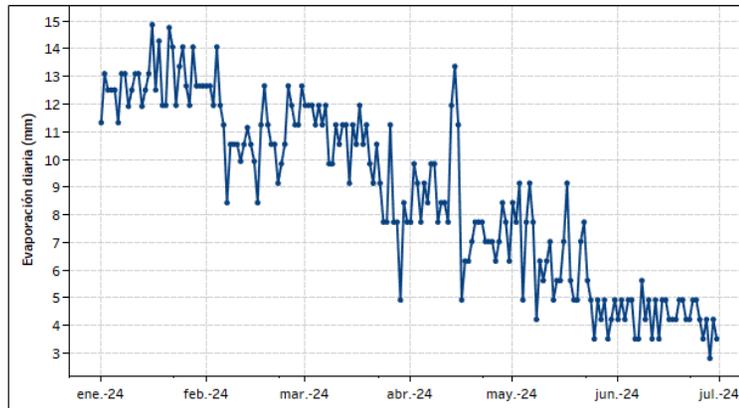
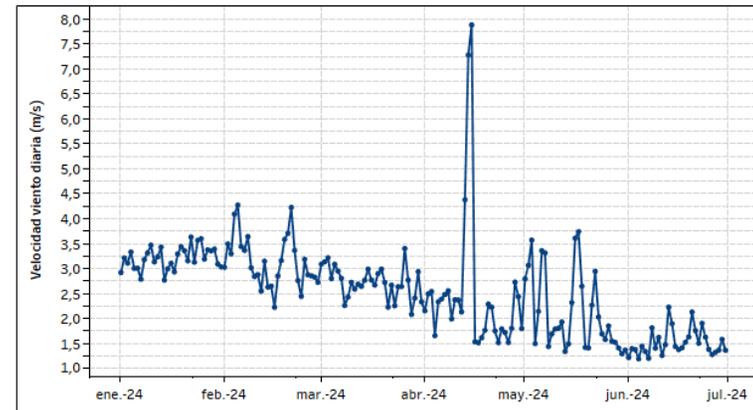
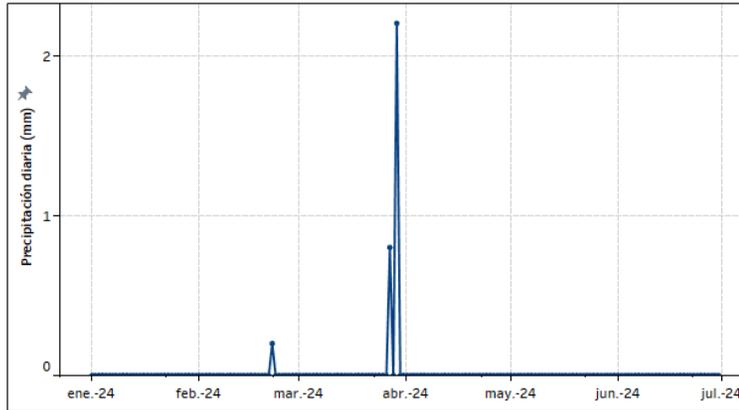
Tabla 5-8: Estadígrafos de series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura de la estación meteorológica de Chaxa

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Precipitación	mm/día	0,00	2,20	0,02	0,17
Evaporación*	mm/día	2,81	14,87	8,76	3,24
Velocidad del viento	m/s	1,19	7,88	2,53	0,94
Temperatura media diaria	°C	6,25	24,46	16,92	4,96

*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de Chaxa



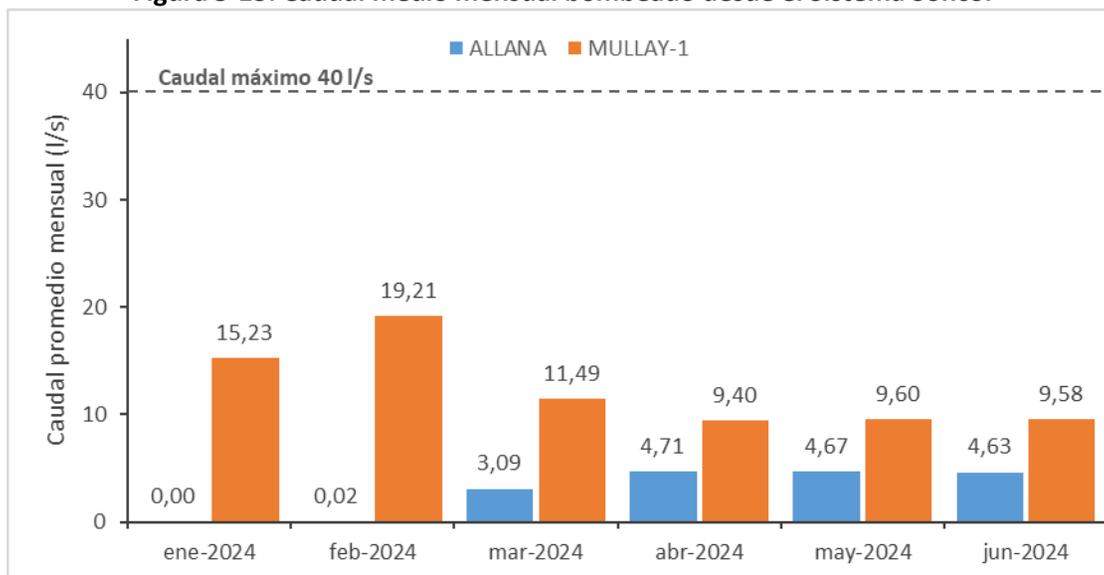
Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3 Caudal bombeado

Los pozos de extracción ubicados en el Sistema Soncor corresponden a los denominados Mullay-1 y Allana-1. El caudal de bombeo autorizado ambientalmente para ambos pozos es de 40 L/s. Es importante destacar que, de forma previa y voluntaria como parte del Plan Estratégico de Sustentabilidad, SQM decide voluntariamente reducir de 80 L/s entre ambos pozos a 40 L/s. Y adicionalmente, como acciones debido a activación de fase, se decide reducir 50% de esos 40 L/s, es decir, un máximo de 20 L/s mientras permanezca activada la contingencia.

Durante el primer semestre de 2024, los flujos de extracción para Mullay-1 y Allana-1 se mantuvieron por debajo del caudal máximo aprobado, como se observa en la Figura 5-13. En efecto, el promedio semestral de los caudales extraídos por los pozos Mullay-1 y Allana-1 fueron de 12,42 y 2,85 L/s, respectivamente. En el Anexo 5.3 se detallan los caudales promedios mensuales de extracción registrados en ambos pozos durante el período de enero a junio de 2024, y la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes.

Figura 5-13: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.



5.1.2.4 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Soncor durante el primer semestre del año 2024. Si bien los pozos L2-4 y L7-3 son parte del monitoreo de calidad del agua tanto para el sistema Soncor como para el Sistema Vegetación Borde Este, para efectos de orden, los resultados se presentan en esta sección.

En la Tabla 5-9 y en el Anexo 2, se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Soncor. En este último se indican las coordenadas y tipo de cada punto de control, las variables ambientales y parámetros de monitoreo comprometidos, además de la frecuencia establecida.

Cabe señalar que no existen límites establecidos para la calidad fisicoquímica de los parámetros monitoreados. Por lo anterior, en esta sección se presentan los resultados numéricos del monitoreo de calidad química del agua sin contrastarse con límites o umbrales de control. Por su parte, el análisis del comportamiento histórico de la calidad se desarrolla en el capítulo 6 del presente informe.

En el primer semestre de 2024 los análisis químicos han sido efectuados por la ETFA ALS Life Sciences S.A (029-01), mientras que los muestreos de terreno fueron realizados por la ETFA SEGEA (040-01).

En el Anexo 6.1 se presentan los informes de los análisis químicos reportados para el último semestre y todos los resultados tabulados para el actual semestre se encuentran en el Anexo 6.2. Además, en el Anexo 6.1 se presentan los certificados de autorización de los laboratorios empleados para este periodo como Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFAs).

5.1.2.4.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM - ALS Life Sciences S.A (ETFAs)

En la Tabla 5-9 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua y salmuera tomadas en terreno (SEGEA) y analizadas por el laboratorio ALS Life Sciences S.A (enero y abril de 2024), a los pozos de monitoreo durante el primer semestre del año 2024. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos. El punto L7-G1 no contó con el permiso de ingreso a la Reserva Nacional los Flamencos durante enero, mientras que en abril no se pudo obtener una muestra. Por otra parte, el monitoreo del punto L7-3 de enero fue reprogramado para febrero. Todos estos detalles se encuentran en el respaldo en el informe realizado por la ETFAs en el Anexo 6.1.

Tabla 5-9: Resultados calidad del agua Sistema Soncor

Parámetro	L1-4		L1-5		L1-6		L2-3		L2-4		L1-G4	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	210.000	232.000	204.000	207.000	183.100	187.800	3.640	3.730	12.590	12.140	223.000	225.000
Conductividad Terreno (uS/cm)	224.000	220.000	199.900	199.200	178.800	180.400	3.670	3.900	12.690	12.160	214.000	213.000
Densidad (g/mL)	1,198	1,200	1,144	1,100	1,119	1,100	0,995	1,000	1,000	1,000	1,176	1,200
Densidad Terreno (g/mL)	1,200	1,195	1,150	1,151	1,120	1,127	1,000	1,000	1,005	1,005	1,175	1,182
pH (pH)	7,84	7,70	7,71	7,80	7,98	7,90	7,62	7,80	7,70	8,00	7,45	7,70
pH Terreno (pH)	7,31	7,38	7,49	7,46	7,65	7,62	7,10	7,11	7,60	7,67	7,12	7,22
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	312.720	294.930	221.745	222.485	179.545	187.735	2.532	2.320	7.570	6.990	269.725	269.690
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	59	94	27	65	19	22	20	26	240	240	112	1.758
Sólidos Totales (mg/L)	313.120	322.485	223.615	231.165	184.555	191.258	2.788	2.455	7.710	7.190	279.505	290.083
Temperatura Terreno (°C)	28,3	23,8	21,8	20,1	25,2	22,8	27,4	28,3	25,6	25,7	23,5	21,1

Parámetro	L2-5		L7-3		SOPM-7 (L2-6)		SOPM-14		L7-G1		
	enero	abril	enero	febrero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	209.000	209.000	-	1.889	1.938	239.000	239.000	240.000	243.000	-	-
Conductividad Terreno (uS/cm)	203.000	198.600	-	1.836	1.946	229.000	227.000	234.000	231.000	-	-
Densidad (g/mL)	1,151	1,100	0,994	1,000	1,218	1,200	1,214	1,200			
Densidad Terreno (g/mL)	1,150	1,153	1,000	1,000	1,220	1,223	1,220	1,219			
pH (pH)	7,83	7,90	8,59	8,40	7,43	7,50	7,55	7,60			
pH Terreno (pH)	7,52	7,54	7,97	8,10	7,12	7,13	7,27	7,26			
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	231.165	234.350	-	1.058	1.209	340.490	331.355	334.660	333.275	-	-
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	22	28	-	25	436	42	15	65	17	-	-
Sólidos Totales (mg/L)	235.690	237.888	-	1.192	1.670	345.565	359.805	338.035	336.453	-	-
Temperatura Terreno (°C)	25,7	21,9	24,9	22,1	26,2	25,2	24,6	23,8			

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-10 se presentan los resultados del monitoreo trimestral de calidad efectuado a los pozos de bombeo Mullay-1 y Allana durante el primer semestre de 2024. Para el caso de Allana, el monitoreo fue reprogramado y realizado en febrero.

Tabla 5-10: Resultados calidad del agua en pozos de extracción

Parámetro	ALLANA			MULLAY-1		
	enero	febrero	abril	enero	febrero	abril
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)		439	185		240	308
Arsénico (mg/L)		2,12	0,06		3,91	3,78
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	-	439	185	-	240	308
Calcio (mg/L)		93	257		88	89
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)		<1	<1		<1	<1
Cloruro (mg/L)		436	412		397	510
Conductividad (uS/cm)	-	2.700	4.190	-	2.420	2.640
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	4.220	4.220	-	2.400	2.350
Densidad (g/mL)		0,997	1,000		0,998	1,000
Densidad Terreno (g/mL)		1,000	1,004		1,002	1,001
Hierro (mg/L)		0,03	0,14		0,02	0,12
Magnesio (mg/L)		46	229		30	40
Manganeso (mg/L)		0,0002	0,0019		0,0009	0,0023
Nitrógeno Nitrato (mg/L)		<0,05	<0,01		<0,05	<0,01
Nitrógeno Nitritos (mg/L)		<0,09	<0,01		<0,09	<0,01
pH (pH)		8,15	7,70		7,93	8,00
pH Terreno (pH)		7,32	7,26		7,41	7,33
Potasio (mg/L)		30	25		30	43
Sodio (mg/L)	-	363	380	-	301	327
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	-	1.688	3.125	-	1.246	1.671
Sulfato (mg/L)	-	456	1.839	-	233	268
Temperatura Terreno (°C)		25,8	26,8		18,4	19,4
Zinc (mg/L)		0,01	0,05		0,02	0,06

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.4.2 Mediciones realizadas en cuerpos lagunares SQM

En esta sección se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del monitoreo realizado en los puntos de control lacustre de Chaxa y Barros Negros (Calidad 2), y Burro Muerto y Puilar (Calidad 3), planificados a ser realizados por ALS Life Sciences S.A (ETFA 029-01), y a su vez, SEGEA (ETFA 040-01) comprometidos con el monitoreo en terreno y la medición de parámetros fisicoquímicos (Tabla 5-11).

El personal de SEGEA solo pudo ingresar en ambos trimestres al punto de Burro Muerto. El resto de las reglillas solo fueron posibles de visitar durante el mes de abril; esto debido a que en las visitas de enero no se contaba con el permiso de acceso la Reserva Nacional Los Flamencos. Para ver los respectivos respaldos de esta situación, visitar las cartas de restricción de acceso, que se encuentran en el Anexo 4.6.

Tabla 5-11 Resultados calidad del agua en agua superficial

	BARROS NEGROS		BURRO MUERTO		CHAXAS		PUILAR	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)		2.503	476	2.169		538		368
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)		1	1	1		1		5
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)		2.503	476	2.169		538		373
Arsénico (mg/L)		10,13	2,51	2,06		1,54		2,00
Calcio (mg/L)		383	956	873		876		158
Cloruro (mg/L)		160.411	42.593	34.010		45.310		9.261
Coliformes Fecales (NMP/100mL)		<1,8				<1,8		
Coliformes Totales (NMP/100mL)		<1,8				<1,8		
Conductividad (uS/cm)		219.000	118.700	98.100		122.000		32.200
Conductividad Terreno (uS/cm)		208.000	110.600	95.100		115.900		30.000
Densidad (g/mL)		1,200				1,100		
Densidad Terreno (g/mL)		1,236	1,040	1,055		1,065		1,015
Detergentes (mg/L)		2,05				0,01		
Dureza Total (mg/L)		22.984	10.056	7.183		11.312		2.334
Fosforo (mg/L)			0,112	0,001				0,168
Hidrocarburos Totales (mg/L)		<2				<2		
Magnesio (mg/L)		14.278	2.351	2.022		2.539		595
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)		0				0		
Nitrógeno Nitrato (mg/L)		0	0	17		0		0
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)		6,01	3,86	5,54		7,95		11,66
pH Terreno ()		7,02	7,81	7,92		7,78		8,19
Potasio (mg/L)		20.459	3.740	3.024		4.176		1.058
Salinidad (‰)		>42	>42	>42		>42		21.80
Sodio (mg/L)		85.667	24.599	21.491		26.463		5.591
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)		568	14	21		13		8
Sulfato (mg/L)		34.533	9.395	7.582		8.880		1.504
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)		197.298	96.980	82.800		95.400		21.240
Sólidos Totales (mg/L)		214.255	100.040	83.000		110.500		22.160
Temperatura Terreno (°C)		24,30	28,20	20,40		31,80		25,40

Fuente: Elaboración propia



5.1.2.4.3 Validación de Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el primer semestre de 2024 en el sistema Aguas de Quelana, de acuerdo con los criterios de validación definidos en Capítulo 4.

La Tabla 5-12 muestra los resultados de la validación para las campañas del primer semestre de 2024 en el sistema Soncor. En las campañas de ambos trimestres se validaron muestras con análisis de sólidos (totales, disueltos y suspendidos) para los balances de masas, incluso en los pozos de agua industrial Mullay-1 y Allana. Estos puntos están caracterizados como Calidad 4 y, por lo tanto, los analitos medidos no permiten el cálculo de balances de masas según lo establecido en la Tabla 4-2 y la RCA N°226/2006. Sin embargo, se incluyeron de manera voluntaria en el análisis para mejorar el control y aseguramiento de calidad del producto de laboratorio ALS Life Sciences S.A.

Los balances iónicos de Allana, Barros Negros, Burro Muerto, Chaxas, Mullay-1 y Puilar aprueban los criterios de validación de balance iónico ($|EBI| \leq 10\%$) y balance de masa ($|BM| \leq 20\%$).

Tabla 5-12: Resultados de la validación en el sistema Soncor

Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)			Balance Iónico (%)		
	enero	febrero	abril	enero	febrero	abril
ALLANA		-4,8	-1,1		9,8	4,7
BARROS NEGROS			-7,6			1,4
BURRO MUERTO	-3,0		-0,2	NA*		2,5
CHAXAS			-13,7			1,2
L1-4	-0,1		-8,5	NA*		NA*
L1-5	-0,8		-3,7	NA*		NA*
L1-6	-2,7		-1,8	NA*		NA*
L1-G4	-3,5		-6,4	NA*		NA*
L2-3	-8,5		-4,4	NA*		NA*
L2-4	1,3		0,6	NA*		NA*
L2-5	-1,9		-1,5	NA*		NA*
L7-3		-9,1	-1,5		NA*	NA*
MULLAY-1		-8,7	-11,7		NA*	5,9
PUILAR			-4,1			4,3
SOPM-7 (L2-6)	-1,5		-7,9	NA*		NA*
SOPM-14	-1,0		-0,9	NA*		NA*

Fuente: Elaboración propia. N/A*: No Aplica; el número de analitos de los parámetros comprometidos por RCA (y analizados) no permiten realizar este cálculo.

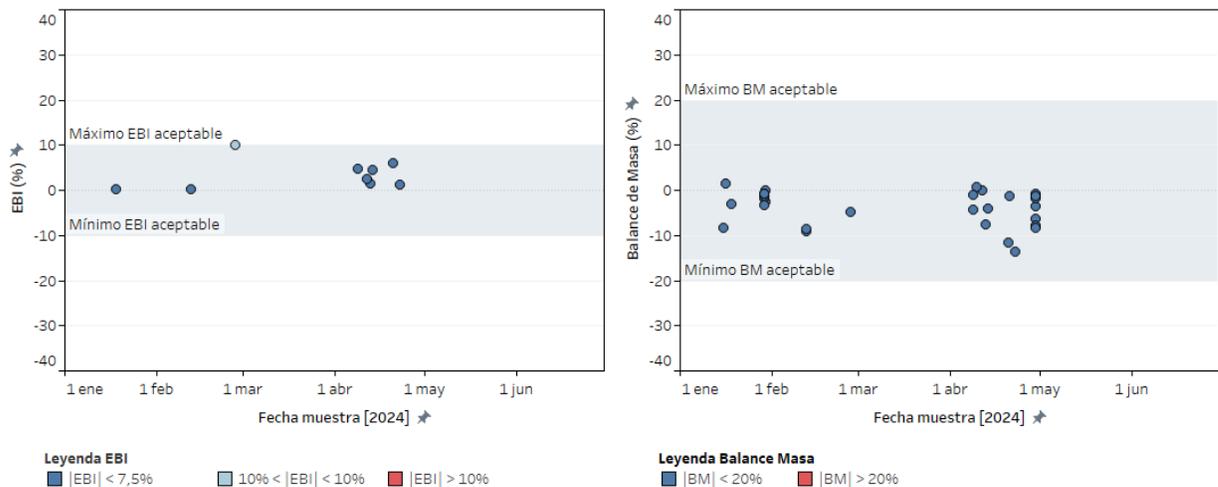
La Tabla 5-13 muestra el número de muestras no validadas en base a su concentración histórica para cada analito verificado. Se observan para el primer semestre de 2024 un total de 12 resultados no validados. Estas desviaciones representan un 3,13% del total de 384 análisis en el sistema Soncor durante el primer semestre 2024. La Figura 5-14 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el primer semestre de 2024 en el sistema Soncor. Durante este periodo los resultados de los análisis cumplieron con los criterios de validación de balance iónico ($|EBI| \leq 10\%$) y balance de masa ($|BM| \leq 20\%$) definidos en la sección 4.

Tabla 5-13: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor

Parámetro	Mes (año 2024)	Muestra
Alcalinidad Bicarbonato	febrero	ALLANA 27-02-2024 ALS
	abril	REGLILLA BARROS NEGROS CONAF 12-04-2024 ALS
		REGLILLA BURRO MUERTO CONAF 11-04-2024 ALS
Alcalinidad Carbonato	abril	REGLILLA PUILAR CONAF 13-04-2024 ALS
Alcalinidad Total	febrero	ALLANA 27-02-2024 ALS
	abril	REGLILLA BARROS NEGROS CONAF 12-04-2024 ALS
		REGLILLA BURRO MUERTO CONAF 11-04-2024 ALS
Arsenico	febrero	ALLANA 27-02-2024 ALS
Magnesio	abril	REGLILLA BARROS NEGROS CONAF 12-04-2024 ALS
pH	enero	L1-4 29-01-2024 ALS
Potasio	abril	MULLAY-1 20-04-2024 ALS
Sulfato	abril	REGLILLA BARROS NEGROS CONAF 12-04-2024 ALS

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.



5.1.2.5 Caudal agua superficial (aforos)

En el sistema Soncor se dispone de dos puntos de aforo de caudal de agua superficial. El primero está ubicado en el Puente San Luis donde se mide en forma continua, y además de forma voluntaria se hacen mediciones manuales mensuales. El segundo punto, denominado Barros Negros, se ubica a la salida de la laguna Chaxa (ver apartado 4.3.1), donde se toman medidas manuales mensuales.

En la Tabla 5-14 se presentan los resultados de las de las mediciones manuales realizadas durante el primer semestre 2024. Se observa que en el punto del Puente San Luis se midieron voluntariamente caudales durante todos los meses del primer semestre de 2024. En cambio, en el punto Barros Negros, solo se realizaron mediciones en los meses de abril, mayo y junio, debido a las restricciones de acceso existentes al punto de medición dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos, las que se ajustan a lo indicado en el Protocolo de ingreso aprobado por la Resolución N.º 56/2019 de CONAF y comunidades de cada sector ambiental.

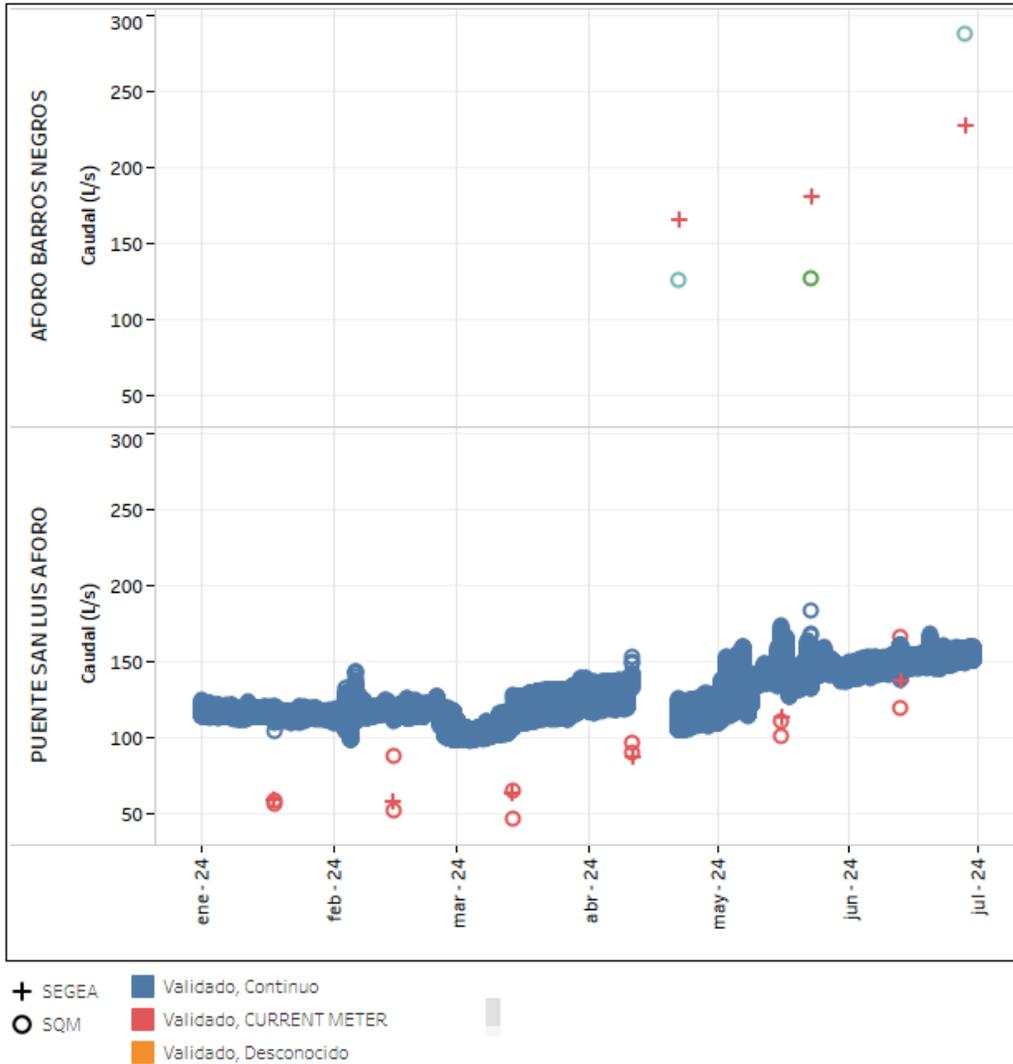
En la Figura 5-15 se muestra gráficamente el resultado de las mediciones continuas y manuales de los 2 puntos aforo. Los caudales continuos medidos en el punto Puente San Luis tienden a mantenerse constantes en los meses de enero y febrero, con un valor aproximado de 115 L/s. Durante los primeros días de marzo, el caudal desciende a 103 L/s, seguido de un aumento que alcanza un promedio de 130 L/s el 11 de abril. Posteriormente, se observa un breve periodo sin registros dentro del mes de abril, luego del cual el caudal disminuye a 118 L/s hacia finales de abril. Finalmente, el caudal se va incrementando hasta alcanzar un valor del orden de 152 L/s en los últimos días de junio. La falta de un conjunto de mediciones continuas en abril de 2024 se debió a las restricciones a acceso existentes para descargar los datos almacenados en el sensor. En el Anexo 8 se presenta de forma tabulada el total de mediciones realizadas, en los 2 puntos de aforo del sistema Soncor para el primer semestre de 2024.

Tabla 5-14: Resultados de aforos manuales en los puntos Barros Negros y Puente San Luis

Fecha	Aforo Barros Negros (L/s)	Puente San Luis Aforo (L/s)
Enero de 2024	S/I	58,10
Febrero de 2024	S/I	57,50
Marzo de 2024	S/I	62,80
Abril de 2024	164,75	86,70
Mayo de 2024	180,56	113,30
Junio de 2024	227,01	137,40

S/I: Sin Información. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-15: Caudales medidos en puntos de aforo Barros Negros y Puente San Luis Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.



5.1.2.6 Superficie lacustre

Para el primer semestre de 2024 se realizó la medición de superficie lacustre vía imagen satelital con frecuencia trimestral, correspondiente al compromiso trimestral definido en el PdC dentro del procedimiento sancionatorio Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Además, según complementa la Resolución N°244/2010, la delimitación de los bordes de cada laguna se apoyará en la información generada en terreno sobre la base de puntos de control, mediante estacas perimetrales y levantamiento topográfico de perímetro lagunar vía RTK (cuando corresponda).

Es necesario mencionar que las mediciones de Puilar efectuadas en base a estacas corresponden a la superficie del canal de aporte y no al cuerpo de la laguna como tal, debido que fue incorporado inicialmente como un seguimiento experimental durante el año 2004 bajo el contexto del Monitoreo Ambiental Hábitat y Poblaciones de Avifauna en el Salar de Atacama (CONAF-SQM). A pesar de que la estimación de superficie realizada con estacas no es directamente comparable con la medición mediante imágenes satelitales, por reportabilidad se presentan los resultados obtenidos a través de ambas técnicas.

En el mes de enero no fue posible el acceso a estos sectores debido a restricciones de ingreso por periodo reproductivo de flamencos, lo cual impidió el desarrollo de trabajos de medición de superficie lacustre. No obstante, en el mes de abril sí se contó con los permisos para ingreso a la zona.

En la Tabla 5-15 se presentan los resultados obtenidos con las distintas metodologías indicadas. En el Anexo 10.1 y Anexo 10.2 se presentan en detalle el cálculo de las superficies lacustres mediante imágenes satelitales y estacas perimetrales, respectivamente. En el Anexo 10.3 se presenta en forma tabulada el compilado de los resultados de la estimación de esta superficie.

Tabla 5-15. Superficies lacustres primer semestre 2024 en Sistema Soncor

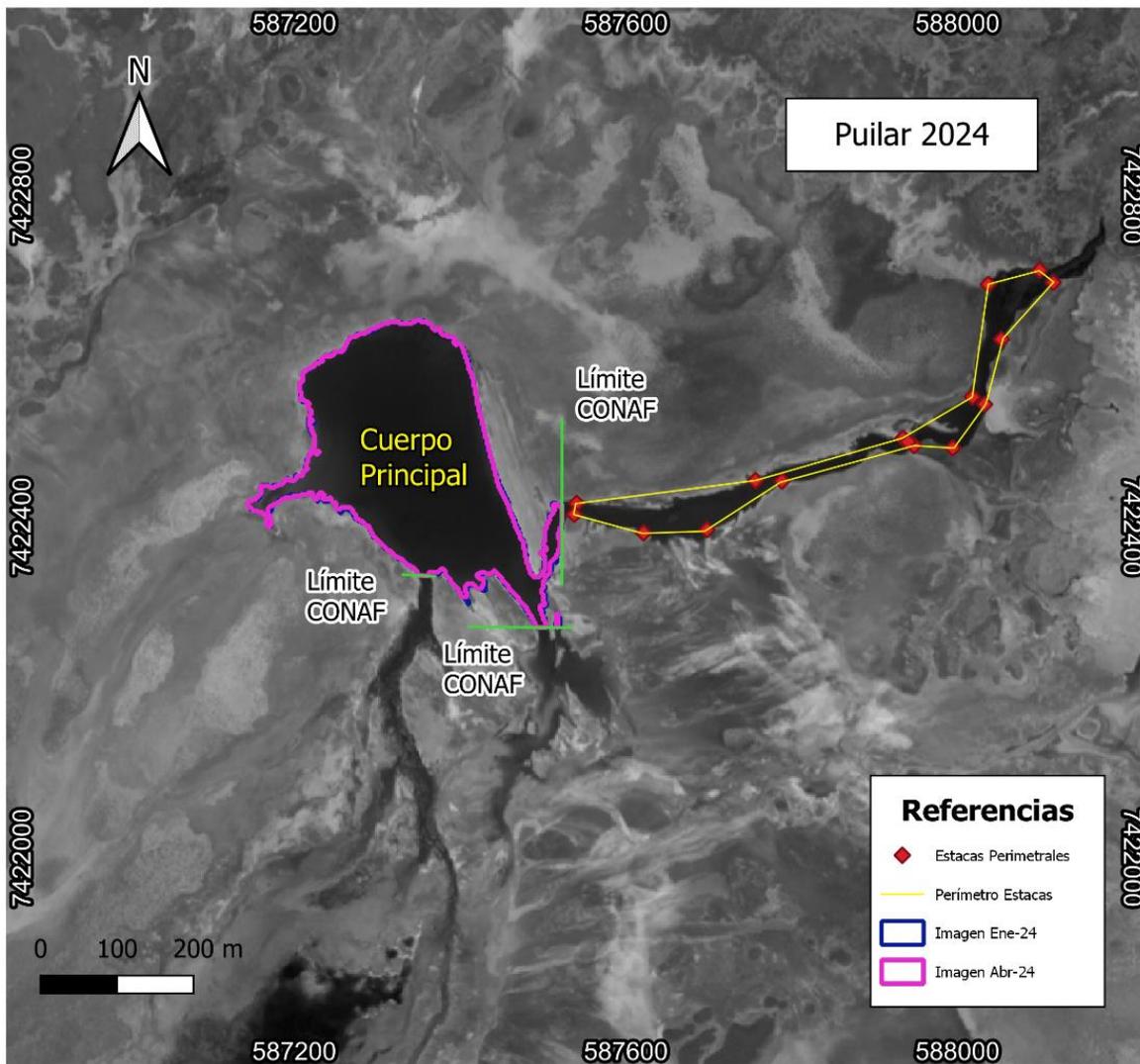
Periodo de medición	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m ²)			
			Laguna Chaxa	Laguna Barros Negros	B. Negros Z. Aledañas + Desborde Sur	Laguna Puilar
Ene 2024	ATyGEO	Estacas Perimetrales	S/I	S/I	N/A	S/I
Ene 2024	SRGIS	Imagen Satelital	280.335	765.764	96.876	62.723
Abr 2024	ATyGEO	Estacas Perimetrales	267.611	1.003.884	N/A	S/I
Abr 2024	SRGIS	Imagen Satelital	275.850	824.777	94.786	61.931

S/I: Sin información (el dato no pudo ser medido). N/A significa: No Aplica (no corresponde esta medición).

Fuente: Elaboración propia.

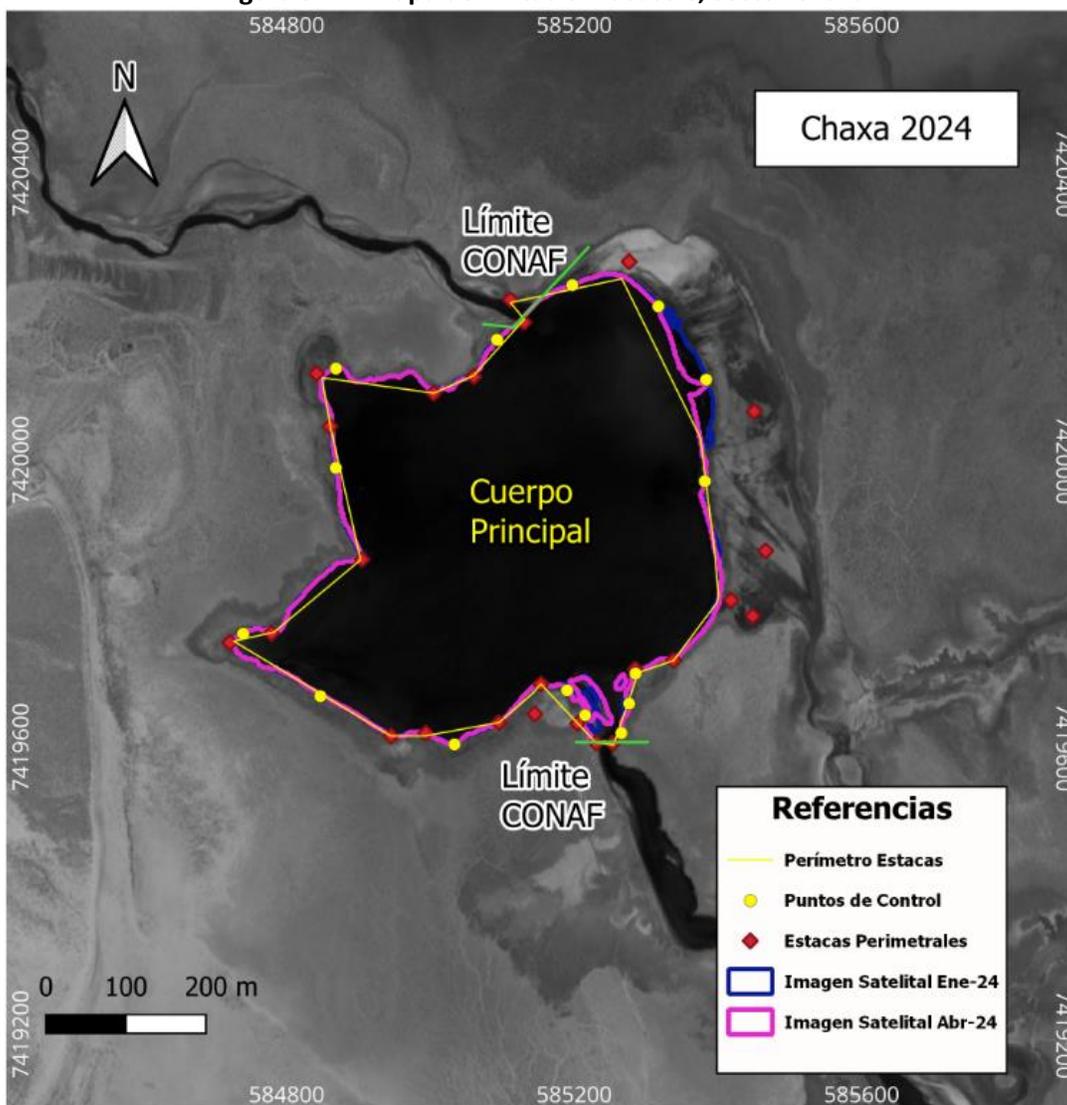
En las Figura 5-16, Figura 5-17, Figura 5-18 se muestran mapas con los resultados de las metodologías previamente señaladas para el primer semestre de 2024.

Figura 5-16: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar



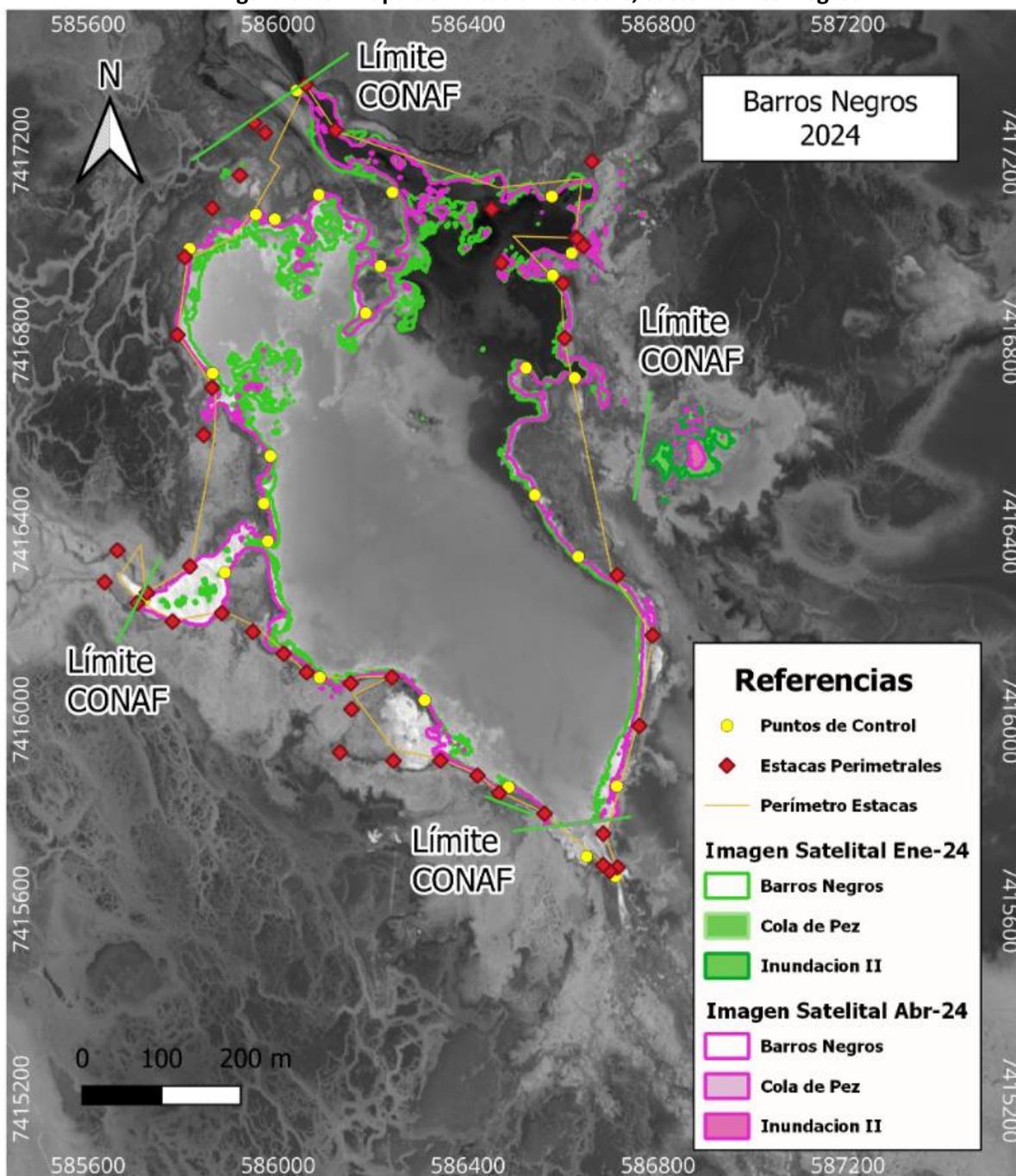
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-17: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-18: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros



Fuente: Elaboración propia



5.1.3 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Aguas Quelana considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (61 puntos), caudal bombeado (2 puntos), calidad química (9 puntos) y superficie lacustre (3 lagunas). Los resultados para el primer semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.3.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presentan los niveles de todos los pozos y reglillas que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sistema Aguas de Quelana, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-6 y en el Anexo 2. Cabe señalar que, los pozos L4-3, L3-3 y L3-5, junto a la reglilla L4-10 forman parte del monitoreo de niveles de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este; sin embargo, para un mejor entendimiento, serán presentados solo en esta sección. Por otra parte, el pozo L3-4 (también denominado SOPM-8) es parte del monitoreo de niveles del Sistema Aguas de Quelana y del Sector Núcleo del Salar de Atacama; por lo cual solo se presentará en esta sección.

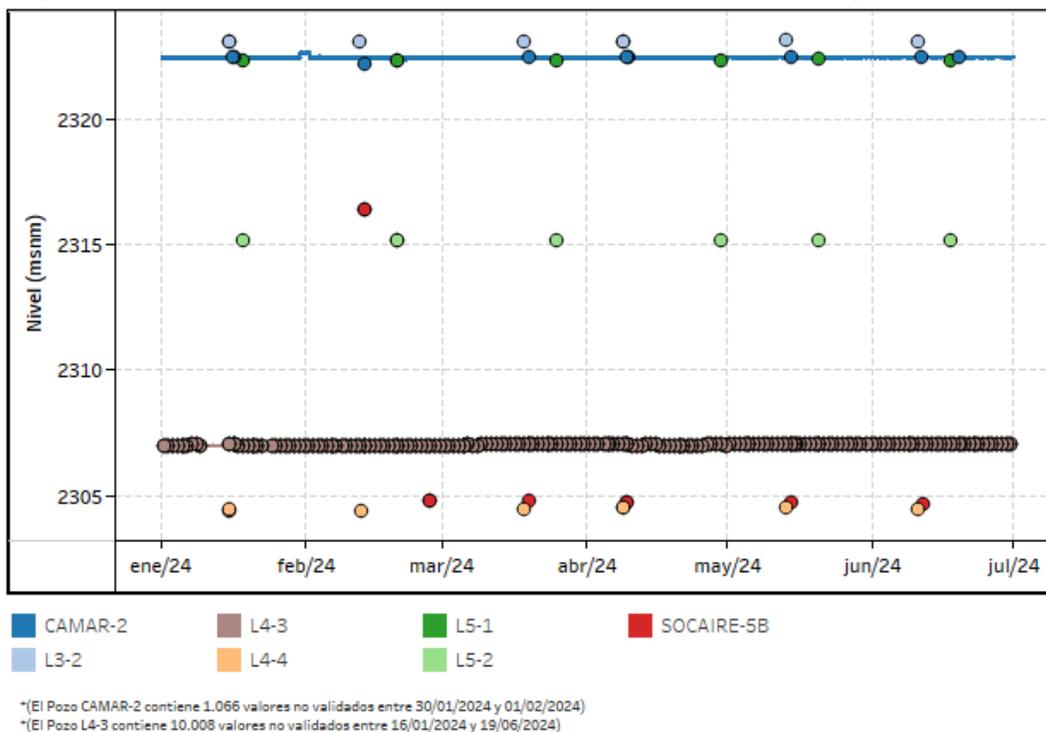
5.1.3.1.1 Pozos en Zona Aluvial

La Zona Aluvial cuenta con 7 puntos de control comprometidos para el Sistema Aguas de Quelana, de los cuales 5 corresponden a pozos de monitoreo y 2 a pozos de extracción. De estos, el L4-3 es indicador de estado. Se destaca que ninguna infraestructura de este grupo se encuentran dentro de la reserva.

Cabe señalar que, desde mayo de 2022 se puso en marcha la medición continua en el pozo Camar-2, las cuales se propusieron de forma voluntaria en el marco del desmantelamiento de sus instalaciones para extracción de agua. El indicador de estado L4-3 fue visitado con la frecuencia comprometida (diaria por SEGEA) y voluntaria con un mínimo de 3 veces (mensual por SQM). El resto de los pozos contó con al menos 1 medición mensual por parte de SQM, a excepción de Socaire-5 que no registra información en enero de 2024.

En la Figura 5-19 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales, manuales y continuas para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-19: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2 Pozos en Zona Marginal

En esta sección se exponen los resultados del monitoreo efectuado en los 43 pozos de control de nivel ubicados en la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana. De estos, 22 poseen medición continua de nivel por lo que, para facilitar el análisis, se han agrupado en 4 subgrupos en función de su ubicación: Área del pozo Camar-2, Área del pozo Socaire-5, Área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua, y Área del pozo Socaire-5 al oeste de los cuerpos de agua. A continuación, se muestran los resultados.

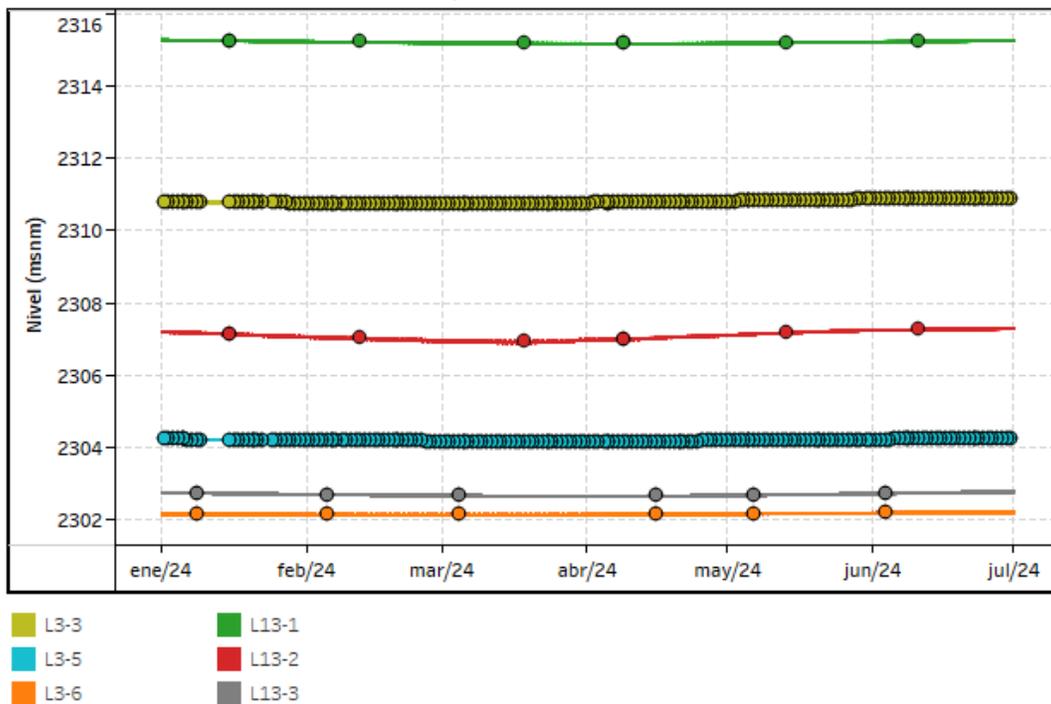
5.1.3.1.2.1 Área del pozo Camar-2

Este subgrupo está conformado por 6 puntos de control y se encuentran aledaños al pozo de extracción Camar-2. De éstos, los pozos L3-3 y L3-5 corresponden a indicadores de estado y solo el L3-3 y L3-5 se encuentran dentro de la reserva. Sólo los pozos L3-3 y L3-5 poseen medición continua. Únicamente los indicadores de estado (L3-3 y L3-5) cuentan con una frecuencia comprometida (diaria por SEGEA) y

voluntaria con al menos 2 mediciones (mensual por SQM). El resto de los pozos dispone de al menos 1 medición mensual por parte de SQM.

La Figura 5-20 muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-20: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2



* (El Pozo L3-3 contiene 12 valores no validados entre 20/04/2024 y 20/04/2024)
 * (El Pozo L3-5 contiene 146 valores no validados entre 15/04/2024 y 23/06/2024)
 * (El Pozo L3-6 contiene 10 valores no validados entre 08/01/2024 y 02/06/2024)
 * (El Pozo L13-1 contiene 13 valores no validados entre 15/01/2024 y 08/04/2024)
 * (El Pozo L13-2 contiene 1 valores no validados entre 18/01/2024 y 18/01/2024)
 * (El Pozo L13-3 contiene 35 valores no validados entre 05/01/2024 y 27/06/2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

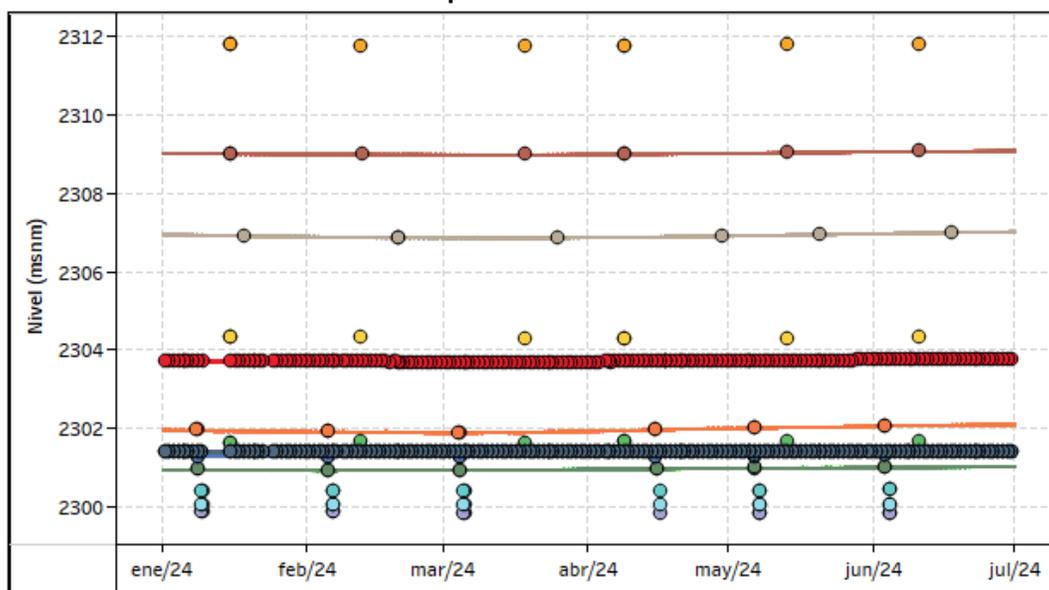
5.1.3.1.2.2 Área del pozo Socaire-5

El subsector aledaño al pozo de extracción Socaire-5 está compuesto por 13 puntos de control. De este grupo, 3 son indicadores de estado (L4-7, L4-8 y L5-8) y 6 se encuentran dentro de la reserva (L14-5, L14-

6, L14-7, L4-8, L4-9 y L5-3). Medición continua y manual en: L4-7, L4-8, L4-9, L5-3, L5-6, L5-7 y L5-8. De los 3 indicadores de estado, solo 2 (L4-7 y L5-8) disponen de una medición diaria comprometida (SEGEA) y poseen al menos 2 mediciones mensuales (SQM). El resto de los pozos registra al menos 1 medición mensual por parte de SQM.

En la Figura 5-21 se presentan de forma gráfica las mediciones obtenidas para el período reportado, que incluye las comprometidas y las adicionales. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-21: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5



- | | | | | |
|--------|--------|---------|---------|---------|
| ■ L4-7 | ■ L5-3 | ■ L5-8 | ■ L14-3 | ■ L14-7 |
| ■ L4-8 | ■ L5-6 | ■ L14-1 | ■ L14-5 | |
| ■ L4-9 | ■ L5-7 | ■ L14-2 | ■ L14-6 | |

- * (El Pozo L4-7 contiene 2 valores no validados entre 20/04/2024 y 20/04/2024)
- * (El Pozo L4-8 contiene 58 valores no validados entre 08/01/2024 y 15/04/2024)
- * (El Pozo L4-9 contiene 12 valores no validados entre 08/01/2024 y 15/04/2024)
- * (El Pozo L5-3 contiene 27 valores no validados entre 08/01/2024 y 03/05/2024)
- * (El Pozo L5-6 contiene 3 valores no validados entre 15/01/2024 y 15/01/2024)
- * (El Pozo L5-7 contiene 4 valores no validados entre 13/01/2024 y 29/04/2024)
- * (El Pozo L5-8 contiene 125 valores no validados entre 17/04/2024 y 25/05/2024)

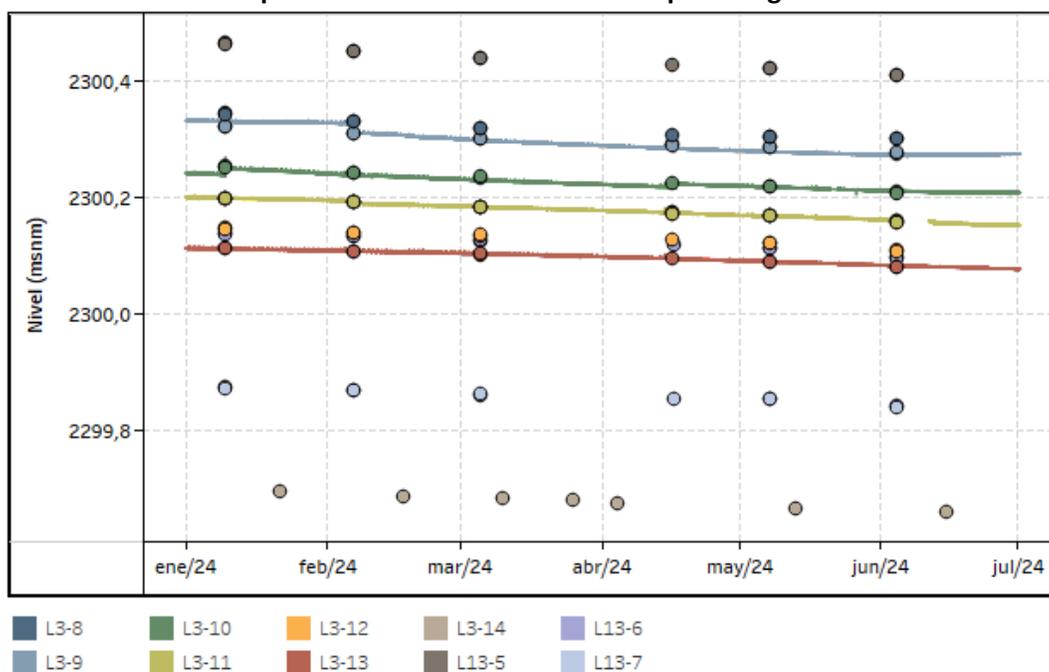
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2.3 Área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua

El subsector oeste de los cuerpos de agua cercanos a Camar-2 está conformado por 10 puntos de control, de los cuales el L3-11 y el L3-9 son indicadores de estado. De este grupo, todos a excepción del L13-7 y L3-4 se encuentran dentro de la reserva. Aquellos que poseen mediciones continuas de nivel son: L3-10, L3-13 y L3-9. Los indicadores de estado L3-11 y el L3-9 cuentan con un mínimo de 1 medición mensual. El resto de los pozos registra al menos 1 medición mensual por parte de SQM.

El resultado para el monitoreo manual comprometido del primer semestre de 2024 presenta gráficamente en la Figura 5-22, que incluye las comprometidas y las adicionales. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-22: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua



*(El Pozo L3-9 contiene 86 valores no validados entre 17/01/2024 y 16/04/2024)
 *(El Pozo L3-10 contiene 2.645 valores no validados entre 09/01/2024 y 22/05/2024)
 *(El Pozo L3-11 contiene 2 valores no validados entre 11/06/2024 y 11/06/2024)
 *(El Pozo L3-13 contiene 3 valores no validados entre 04/01/2024 y 01/06/2024)

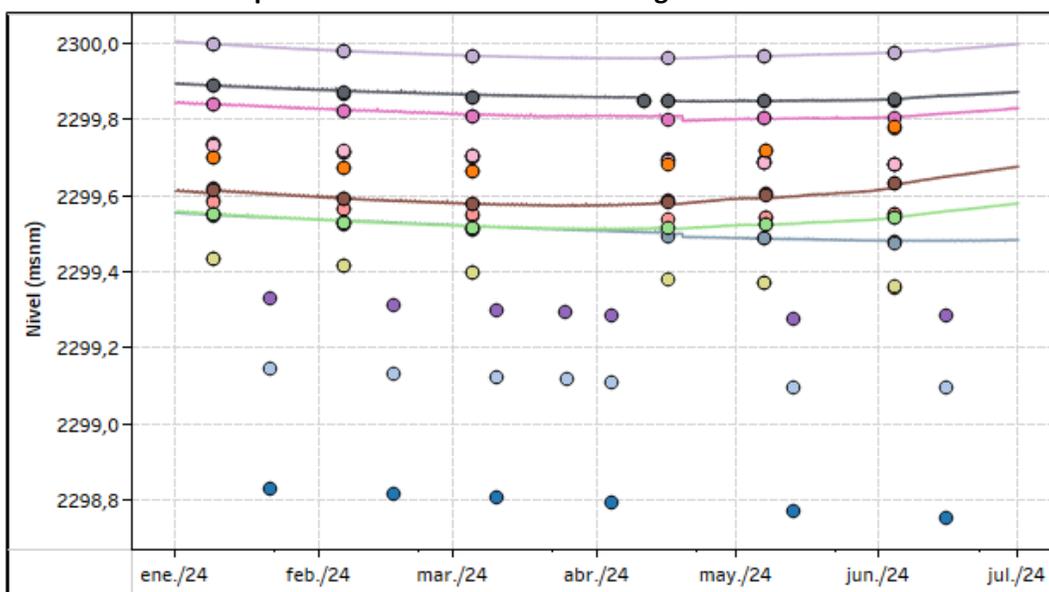
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2.4 Área del pozo Socaire-5 al oeste de los cuerpos de agua

El subsector oeste de los cuerpos de agua aledaños al pozo Socaire-5 está compuesto por 14 puntos de control, de los cuales L5-10 y L4-12 son indicadores de estado. Todos los puntos, a excepción del GD-02, L4-15 y L4-5, se encuentran al interior de la reserva, y solo L4-12, L4-13, L5-10 y L5-14 cuentan con mediciones continuas. Todos los pozos fueron visitados al menos 1 vez al mes por SQM durante el primer semestre 2024.

El resultado para el monitoreo manual comprometido para el actual período reportado se presenta gráficamente en la Figura 5-23, que incluye las comprometidas y las adicionales. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-23: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B al oeste de las lagunas difusas



- GD-02 ■ L4-12 ■ L4-15 ■ L5-11 ■ L5-14
- L4-5 ■ L4-13 ■ L5-9 ■ L5-12 ■ L5-15
- L4-11 ■ L4-14 ■ L5-10 ■ L5-13

*(El Pozo L4-12 contiene 33 valores no validados entre 09-01-2024 y 30-06-2024)
 *(El Pozo L4-13 contiene 12 valores no validados entre 25-01-2024 y 12-05-2024)
 *(El Pozo L5-9 contiene 1.422 valores no validados entre 06-03-2024 y 12-06-2024)
 *(El Pozo L5-10 contiene 7.295 valores no validados entre 09-01-2024 y 30-06-2024)
 *(El Pozo L5-11 contiene 43 valores no validados entre 02-01-2024 y 19-04-2024)
 *(El Pozo L5-14 contiene 63 valores no validados entre 09-01-2024 y 22-06-2024)

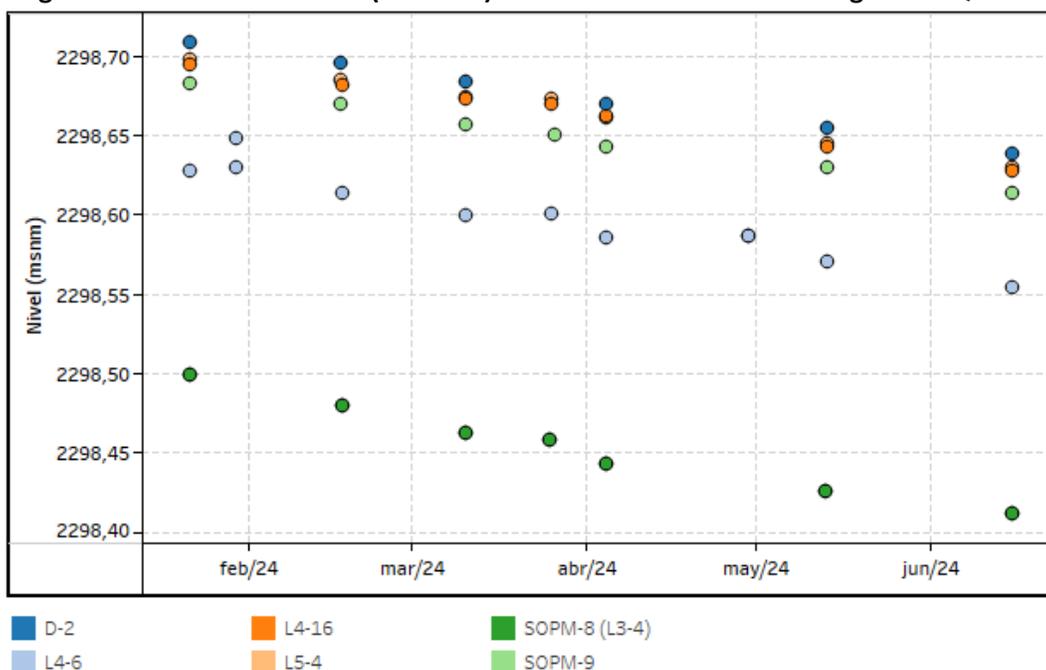
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.3 Pozos en Zona Núcleo

En la Zona del Núcleo, el Sistema Aguas de Quelana dispone de 6 puntos de control. Cabe decir que ninguno es indicador de estado, ni se encuentra dentro de la reserva y que tampoco cuentan con mediciones continuas. Respecto a la frecuencia de monitoreo durante el primer semestre 2024, cada pozo fue visitado al menos 1 vez por mes por parte de SQM.

En la Figura 5-24 se muestra gráficamente el resultado completo del primer semestre de 2024, considerando las mediciones comprometidas y las adicionales. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-24: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Aguas de Quelana



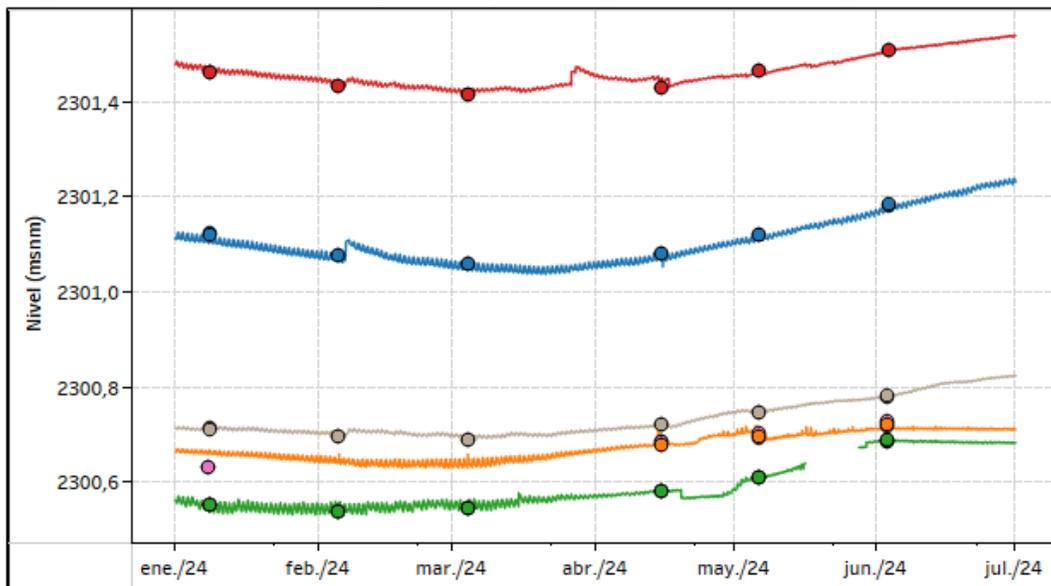
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.4 Nivel de agua superficial

En el sistema de Aguas de Quelana se encuentran un total de 5 puntos de monitoreo que miden distintos cuerpos de agua superficial presente en el sistema. De estas, únicamente la Reglilla L4-10 corresponde a un indicador de estado. Además, cabe señalar que el punto de monitoreo L5-G3 cuenta con dos infraestructuras de medición, L5-G3 Reglilla y L5-G3 Pozo, los cuales se encuentran cercanos y se considera que miden el mismo elemento hidrogeológico. Por último, se debe mencionar, que todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro de la reserva y que cuentan con medición continua de nivel. El indicador de estado L4-10 contó con al menos 2 mediciones mensuales por parte de SQM y SEGEA.

En la Figura 5-25 se muestra gráficamente el resultado completo del primer semestre de 2024, considerando las mediciones comprometidas y las adicionales. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-25: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana



- L3-7
- L4-10
- L5-G3 POZO
- L5-G3 REGLILLA
- L13-4
- L14-4

*[Pozo L3-7 contiene 101 valores no validados entre 08-01-2024 y 29-06-2024]
 *[Pozo L4-10 contiene 33.458 valores no validados entre 15-03-2024 y 28-05-2024]
 *[L5-G3 POZO contiene 109 valores no validados entre 08-01-2024 y 06-05-2024]
 *[Pozo L13-4 contiene 10 valores no validados entre 08-01-2024 y 05-06-2024] *[Pozo L14-4 contiene 281 valores no validados entre 08-01-2024 y 21-05-2024]

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.2 Superficie lacustre

Para el primer semestre de 2024 se calculó la extensión lagunar de Aguas de Quelana en los meses de enero y abril, según corresponde al compromiso trimestral definido en el Programa de Cumplimiento (PdC) dentro del procedimiento sancionatorio Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). En dichos meses se contó con la autorización de acceso para tomar los puntos de control en terreno en la misma semana que la captura satelital. Se debe indicar que, debido a la dispersión, reducido tamaño y alta variación espacial en los cuerpos de agua, no es viable la realización de estacas perimetrales ni levantamiento de perímetro lagunar con el método GNSS diferencial, el cual consiste en realizar el levantamiento caminando alrededor de las lagunas (Según se indica en el capítulo 4.5). Además, estas últimas técnicas no forman parte del compromiso definido en el PdC.

En la Tabla 5-16, se presentan los resultados correspondientes al cálculo de superficie lacustre para los meses de enero y abril de 2024. Por otra parte, en la Figura 5-26 se presentan mapas con las delimitaciones lacustres para los meses indicados.

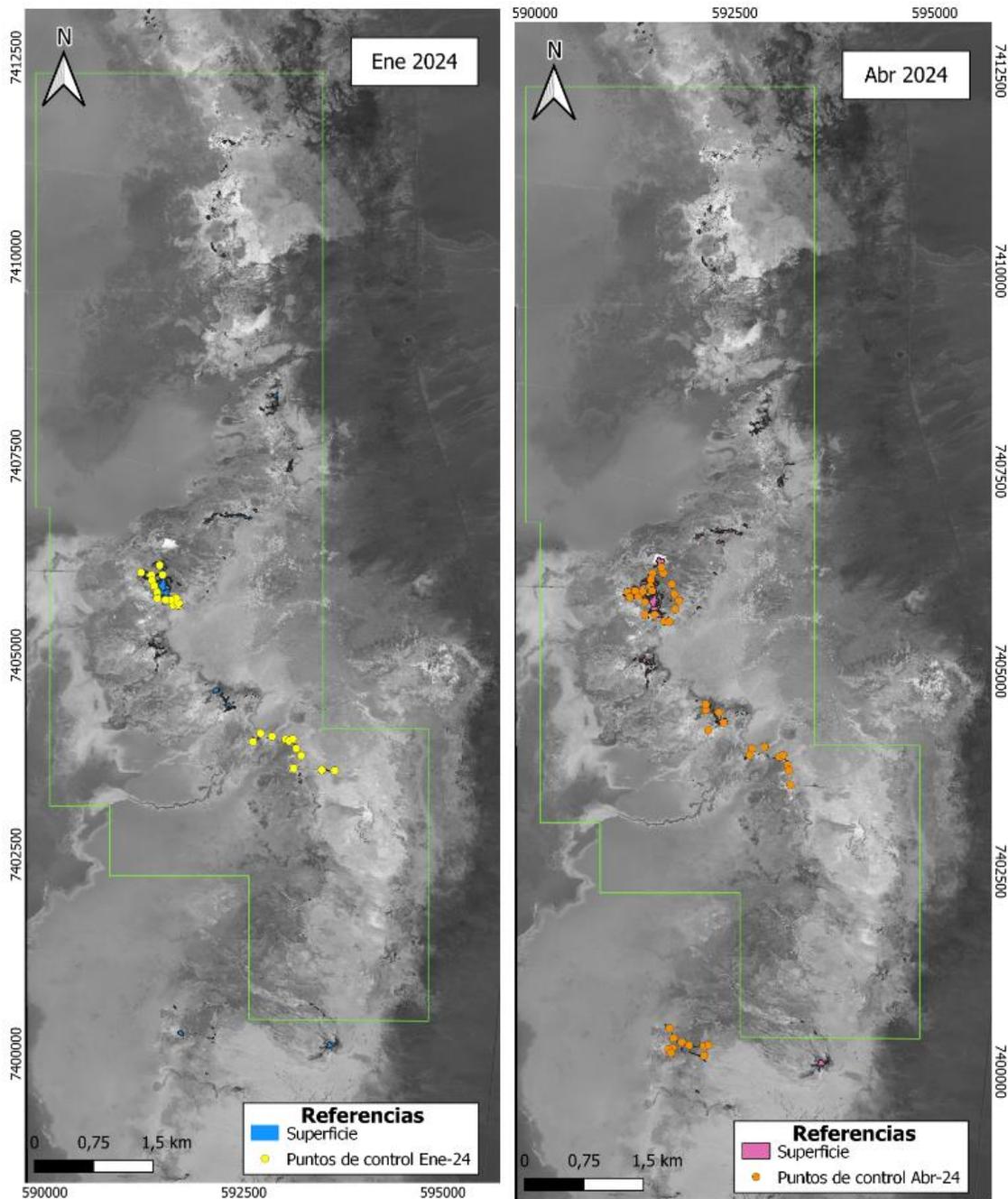
Tabla 5-16: Superficie lacustre para el primer semestre el año 2024 en Sistema Aguas de Quelana

Periodo de medición	Responsable	Metodología	Sistema Lacustre de Aguas de Quelana (m ²)
Ene 2024	SRGIS	Imagen Satelital	109.385
Abr 2024	SRGIS	Imagen Satelital	129.597

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 10.1 y Anexo 10.2 se presenta en detalle el cálculo de las superficies lacustres mediante imágenes satelitales y estacas perimetrales, respectivamente. En el Anexo 10.3 se presenta en forma tabulada el compilado de los resultados de la estimación de esta superficie.

Figura 5-26: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana en enero 2024 (izquierda) y abril 2024 (derecha) a misma escala gráfica

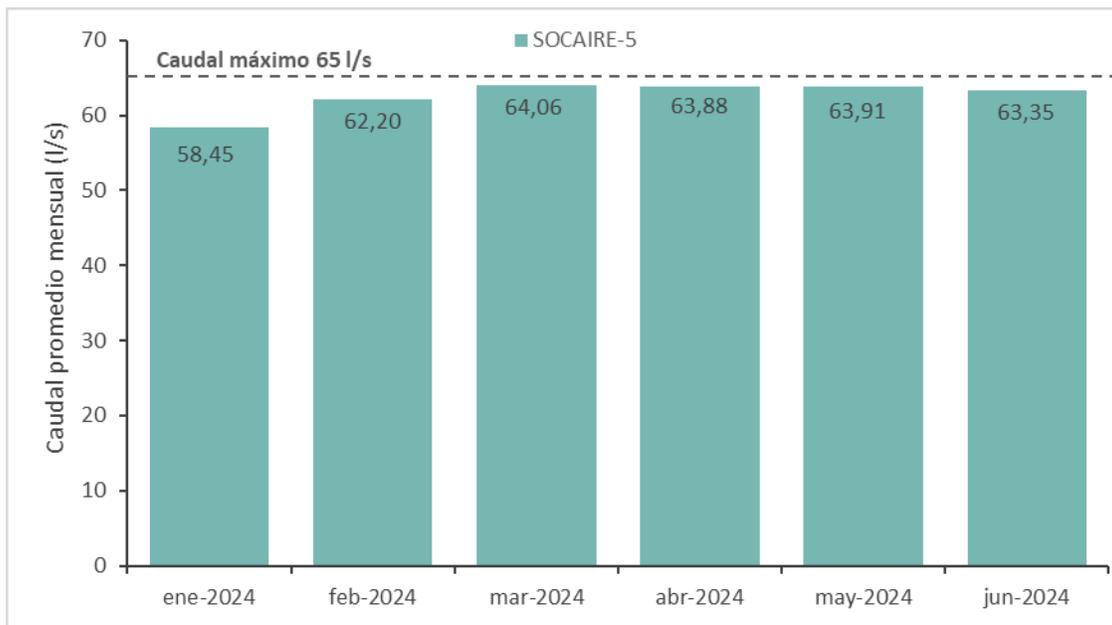


Fuente: Elaboración propia. Detalles de cálculo y puntos de control pueden ser revisados en el Anexo 10

5.1.3.3 Caudal bombeado

En el sector aluvial del Sistema Aguas de Quelana se extrae agua industrial únicamente desde el pozo Socaire-5 debido a que el pozo Camar-2 fue desmantelado. En el primer semestre de 2024, el flujo de extracción ha fluctuado entre 58,45 y 64,06 L/s, situándose por debajo del umbral de 65 L/s establecido, como se observa en la Figura 5-27. En efecto, para el actual período reportado se obtuvo un caudal promedio semestral de 62,64 L/s. En el Anexo 5.3 se detallan los caudales promedios mensuales de extracción registrados durante el período de enero a junio de 2024 y la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes.

Figura 5-27: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.



5.1.3.4 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Aguas de Quelana durante el primer semestre del año 2024. Si bien el pozo L4-3 es parte del monitoreo de calidad del agua tanto del Sistema Aguas de Quelana como del Sistema Vegetación Borde Este, para efectos de orden, los resultados se presentan en esta sección.

En la Figura 4-6 y en el Anexo 2, se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana. En este último, se indican las coordenadas y tipo de cada punto de control, las variables ambientales y parámetros de monitoreo comprometidos, además de la frecuencia establecida

Cabe señalar que no existen límites establecidos para la calidad fisicoquímica de los parámetros monitoreados. Por lo anterior, en esta sección se presentan los resultados numéricos del monitoreo de calidad química del agua, sin contrastarse con límites o umbrales de control. Por su parte, el análisis del comportamiento histórico de la calidad se desarrolla en la sección 6 del presente informe.

En el Anexo 6.1 se presentan los informes de los análisis químicos reportados para el último semestre. Además, se presentan los certificados de autorización de los laboratorios empleados para el primer semestre de 2024.

5.1.3.4.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En la Tabla 5-17 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua tomadas en terreno (SEGEA ETFA 040-01) y analizadas por el laboratorio ALS ETFA 029-01 (enero y abril 2024), realizadas a los pozos de monitoreo en el primer semestre del año.

Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos para todos los puntos.

Tabla 5-17: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana

Parámetro	L4-3		L4-6		L4-8	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	15.990	16.260	246.000	243.000	77.400	78.100
Conductividad Terreno (uS/cm)	15.650	15.830	237.000	236.000	77.500	73.400
Densidad (g/mL)	1,000	1,000	1,211	1,200	1,034	1,000
Densidad Terreno (g/mL)	1,005	1,005	1,215	1,225	1,039	1,039
pH (pH)	6,95	5,50	7,49	7,60	7,21	7,70
pH Terreno (pH)	6,29	6,41	7,15	7,20	7,31	7,24
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	9.090	8.860	334.615	345.150	47.380	30.350
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	21	18	21	74	7	8
Sólidos Totales (mg/L)	9.960	8.902	339.260	378.865	52.220	33.150
Temperatura Terreno (°C)	28,7	26,6	30,1	23,5	22,1	20,9
Parámetro	L4-9		L4-12		L5-3	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	136.000	135.200	122.300	128.700	5.320	5.360
Conductividad Terreno (uS/cm)	128.900	126.600	125.600	118.800	5.090	5.290
Densidad (g/mL)	1,070	1,100	1,069	1,100	0,996	1,000
Densidad Terreno (g/mL)	1,075	1,077	1,075	1,069	1,001	1,004
pH (pH)	7,55	7,80	7,77	7,90	7,94	8,20
pH Terreno (pH)	7,54	7,43	7,81	7,71	7,74	7,81
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	107.500	109.585	101.300	102.520	2.892	3.052
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	7	31	79	15	113	969
Sólidos Totales (mg/L)	108.600	114.980	111.000	105.455	2.972	4.420
Temperatura Terreno (°C)	22,8	20,6	21,9	20,3	22,7	17,2

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 5-18 se presentan los resultados del monitoreo de calidad para el primer semestre 2024 en los pozos de Socaire-5 y Camar-2, que responden al análisis de analitos de Calidad 4 y Calidad 3 en el pozo L4-10, tal como se especifica en Anexo 2 y en la Tabla 4-2. Hay que considerar que las mediciones de oxígeno disuelto en L4-10 son voluntarias y no responden en sí a un compromiso RCA N°226/2006.

Tabla 5-18: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo Camar-2, L4-10 y SOCAIRE-5B

Parámetro	CAMAR-2		L4-10		SOCAIRE-5B		
	enero	abril	enero	abril	enero	febrero	abril
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	555	539	266	657	-	169	452
Arsénico (mg/L)	0,219	0,244	41,560	9,265	-	0,075	2,184
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	555	539	266	657	-	169	452
Calcio (mg/L)	108	107	216	650	-	221	98
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	<1	<1	-	<1	<1
Cloruro (mg/L)	727	735	173.962	131.387	-	369	412
Conductividad (uS/cm)	3.860	3.760	-	-	-	4.170	2.730
Conductividad Terreno (uS/cm)	3.810	3.840	200.000	218.000	-	2.840	2.680
Densidad (g/mL)	0,995	1,000	1,240	1,200	-	0,999	1,000
Densidad Terreno (g/mL)	1,000	1,003	1,240	1,175	-	1,000	1,001
Dureza Total (mg/L)	-	-	52.971	15.263	-	-	-
Fosforo Fosfato (mg/L)	-	-	<0.130	<0.010	-	-	-
Hierro (mg/L)	14,660	14,780	-	-	-	2,086	0,008
Magnesio (mg/L)	108	108	19.654	5.140	-	209	48
Manganeso (mg/L)	0,263	0,243	-	-	-	0,102	0,000
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<0,05	<0,01	<0,05	<0,01	-	<0,05	<0,01
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<0,09	<0,01	-	-	-	<0,09	<0,01
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	-	-	3,91	6,64	-	-	-
pH (pH)	7,83	7,80	7,04	7,70	-	7,87	7,70
pH Terreno (pH)	7,40	7,54	6,93	7,31	-	7,17	7,12
Potasio (mg/L)	24	23	28.973	10.469	-	25	29
Salinidad (%)	-	-	1	42	-	-	-
Sodio (mg/L)	494	500	68.632	73.330	-	365	376
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.148	2.190	347.433	278.235	-	3.080	1.270
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	32	49	225	208	-	7	3
Sólidos Totales (mg/L)	2.364	2.335	349.430	282.783	-	3.368	1.340
Sulfato (mg/L)	338	328	50.112	15.270	-	1.830	365
Temperatura Terreno (°C)	27,9	25,5	35,8	21,2	-	29,2	28,9
Zinc (mg/L)	0,025	0,085	-	-	-	0,024	0,053

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el primer semestre de 2024 en el sistema Aguas de Quelana, de acuerdo con los criterios de validación definidos en Capítulo 4.

La Tabla 5-19 muestra los resultados de la validación para los puntos en el sistema Aguas de Quelana. Los resultados son satisfactorios en el balance de masas para todos los puntos en ambos trimestres. Es importante destacar que los puntos Camar-2 y Socaire-5B son clasificados a partir de Calidad 4 en la Tabla 4-2, por lo que, los parámetros para calcular el balance de masa no son compromiso para estos puntos según RCA N°226/2006, sin embargo, se presentan de forma voluntaria para el respectivo control de calidad.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA
OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Por otra parte, los balances iónicos para los puntos Camar-2, L4-10 y Socaire-5B, se encuentran dentro del 10% recomendable durante ambos trimestres.

Tabla 5-19: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana

Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)			Balance Iónico (%)		
	enero	febrero	abril	enero	febrero	abril
CAMAR-2	-7,8		-4,1	2,4		1,6
L4-3	-8,5		-0,3	NA*		NA*
L4-6	-1,4		-8,9	NA*		NA*
L4-8	-9,3		-8,4	NA*		NA*
L4-9	-1,0		-4,7	NA*		NA*
L4-10	-0,5		-1,5	5,3		1,6
L4-12	-8,7		-2,8	NA*		NA*
L5-3	1,1		-9,0	NA*		NA*
SOCAIRE-5B		-8,3	-5,0		7,3	4,1

Fuente: Elaboración propia. N/A: No Aplica; el número de analitos de los parámetros comprometidos por RCA (y analizados) no permiten realizar este cálculo.

Respecto a la validación por concentraciones (ver capítulo 8), en la Tabla 5-20 se observa que durante el primer trimestre se registraron 14 desviaciones de diferentes analitos con respecto al histórico. Durante el segundo trimestre las desviaciones fueron menores correspondiendo a tan solo 1 desviación. Esto implica que, las 15 desviaciones de los analitos con respecto a desviaciones semestrales representan tan solo un 6,10% del total de 246 análisis en el sistema Aguas de Quelana durante el primer semestre 2024.

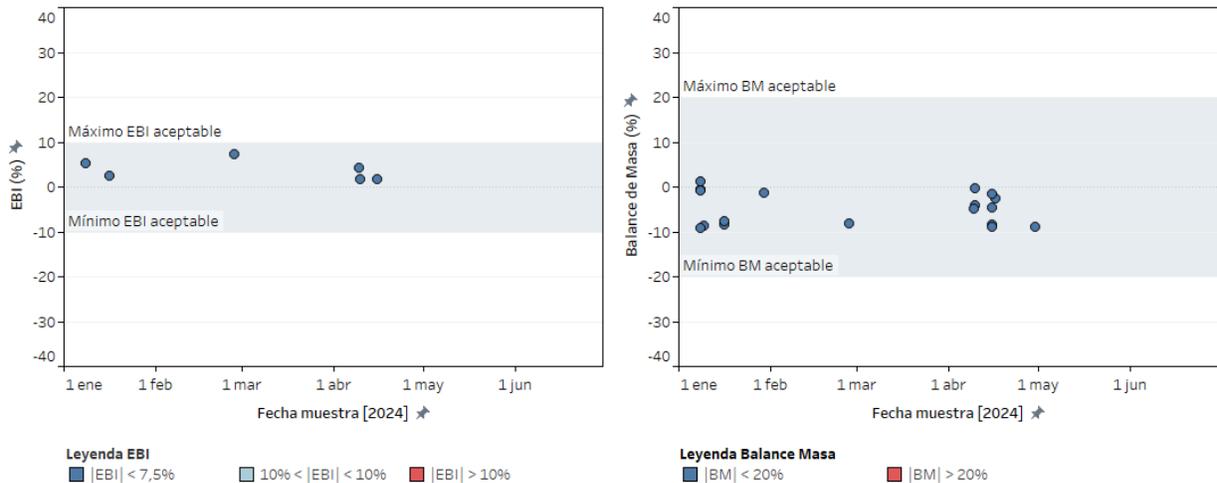
Tabla 5-20: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana

Parámetro	Mes (año 2024)	Muestra
Arsenico	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
Calcio	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Cloruro	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
Conductividad	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Hierro	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Manganeso	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Potasio	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
Solidos Totales	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
Magnesio	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Sulfato	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Solidos Disueltos	enero	L4-10 08-01-2024 ALS v1
	febrero	SOCAIRE-5B 27-02-2024 ALS
Totales	abril	L4-10 15-04-2024 ALS

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-28 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el primer semestre de 2024 en el sistema Aguas de Quelana. Durante este periodo los resultados de los análisis cumplieron con los criterios de validación de balance iónico ($|EBI| \leq 10\%$) y balance de masa ($|BM| \leq 20\%$).

Figura 5-28: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.



5.1.4 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Vegetación Borde Este considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (22 puntos), caudal bombeado (1 punto) y calidad química (4 puntos). Los resultados obtenidos para el primer semestre de 2024 se presentan a continuación. Cabe señalar que los pozos L1-3, L2-4 y L7-3 pertenecen tanto a la red de monitoreo del Sistema Soncor como al sistema Vegetación Borde Este. Por lo anterior y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dichos puntos fueron expuestos en el Sistema Soncor, no se incluyen en el presente apartado.

De la misma manera, los pozos L4-3, L3-3, L3-5 y la reglilla L4-10 son parte del monitoreo de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este. Por lo anterior, y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dichos puntos fueron descritos en el Sistema Aguas de Quelana.

5.1.4.1 Nivel del agua subterránea

En esta sección se presentan los niveles de todos los puntos de control que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sistema Vegetación Borde Este, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-8 y en el Anexo 2.

5.1.4.1.1 Pozos en Zona Aluvial

Como ya se ha mencionado, parte de los puntos de control que pertenecen al Sistema de Vegetación Borde Este ya se presentaron en los sistemas Soncor y Aguas de Quelana debido su proximidad con los otros puntos. En este apartado se exponen los resultados del monitoreo de los 7 puntos que restan. De estos, 6 son piezómetros de monitoreo y 1 es un pozo de extracción. De los piezómetros, 4 son indicadores de estado (L2-26, L7-13, L9-1 y L9-2 todos disponen de medición continua y no se encuentran dentro de la reserva.

El pozo de extracción de agua industrial que actualmente está en funcionamiento es el CA-2015, que reemplazó al P2 desde de febrero de 2017 (según Res. 296/2016 de la DGA). Por lo anterior, se incluye en forma complementaria el monitoreo de niveles en ambos puntos de control. Los indicadores de estado fueron visitados regularmente de acuerdo con lo comprometido (diariamente por SEGEA) y de manera adicional fue monitoreado al menos 2 veces al mes por SQM. El resto de los puntos contaron con al menos

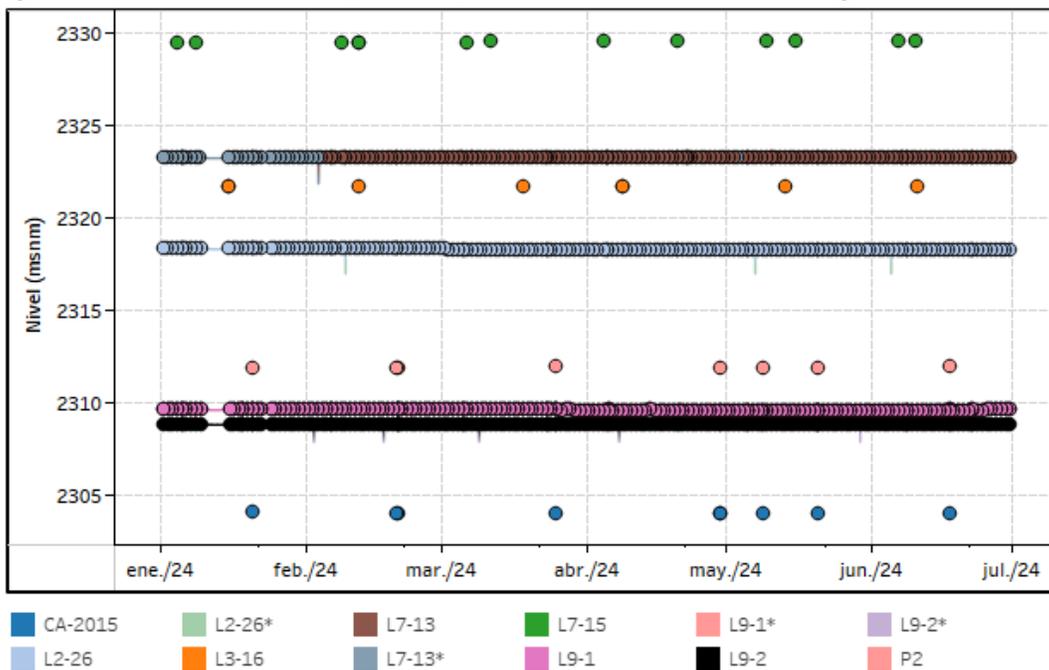


INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006

1 medición mensual por parte de SQM. En las fechas en las que fue permitido ingresar según se detalla en la sección 5.1.1

En el gráfico de la Figura 5-29 se muestran el resultado de los niveles medidos durante el primer semestre de 2024. Estas incluyen las mediciones comprometidas y voluntarias. En el Anexo 5.4 se presenta el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-29: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este



*(El Pozo L2-26 contiene 6 valores no validados entre 09-02-2024 y 04-06-2024)
*(El Pozo L7-13 contiene 48.343 valores no validados entre 01-01-2024 y 03-05-2024)
*(El Pozo L9-1 contiene 12 valores no validados entre 08-01-2024 y 17-06-2024) ...

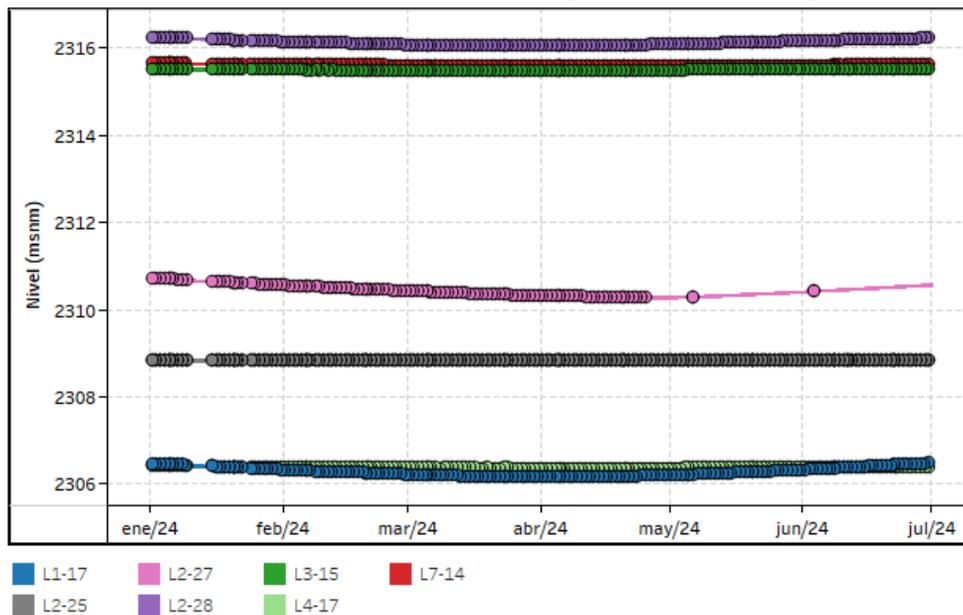
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.1.2 Pozos en Zona Marginal

Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, una parte de los puntos de control que corresponden al grupo de Vegetación Borde Este ya se ha mostrado en los sistemas Soncor y Aguas de Quelana, por motivo de proximidad con los otros puntos. En esta sección se muestran los 7 puntos que restan, todos ellos indicadores de estado, los cuales se encuentran en la Zona Marginal del Salar. Cabe decir, que ninguno de ellos se encuentra dentro de la reserva y que todos disponen de medición continua. Los 7 indicadores de estado registran mediciones diarias por parte de SEGEA. Además, SQM realizó al menos 1 medición mensual adicional para cada indicador. En las fechas en las que fue permitido ingresar según se detalla en la sección 5.1.1

En el gráfico de la Figura 5-30 se muestran el resultado de los niveles medidos durante el primer semestre de 2024. En el Anexo 5.4. se presenta el registro detallado del monitoreo manual efectuado en este primer semestre 2024 y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-30: Nivel observado (m s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este



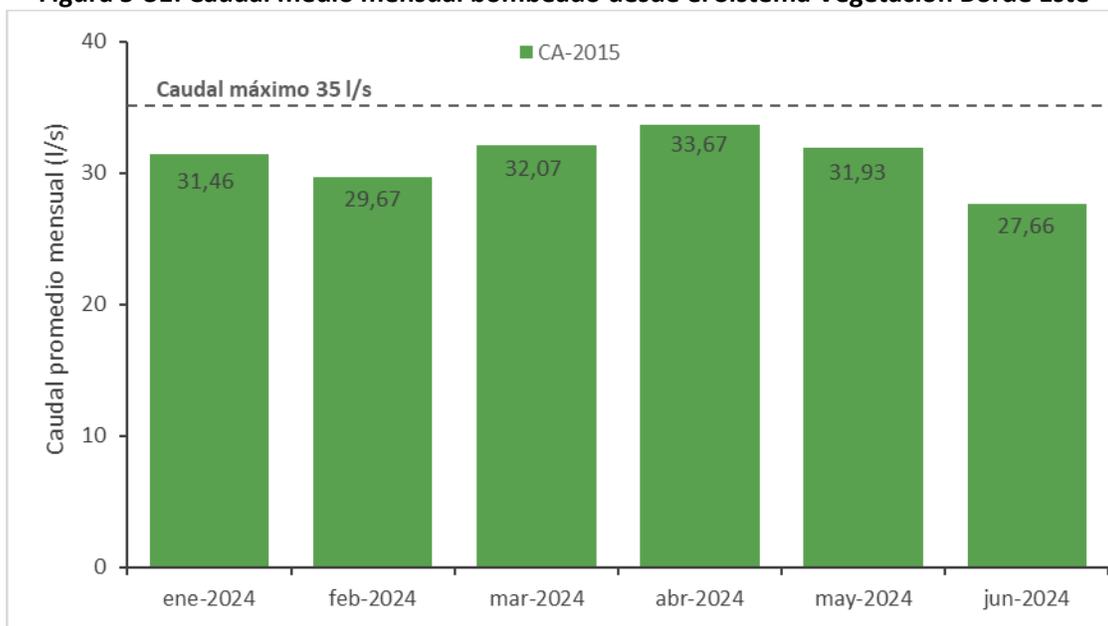
- * (El Pozo L1-17 contiene 6 valores no validados entre 01/01/2024 y 20/04/2024)
- * (El Pozo L2-25 contiene 40 valores no validados entre 12/01/2024 y 11/06/2024)
- * (El Pozo L2-27 contiene 25 valores no validados entre 01/01/2024 y 21/04/2024)
- * (El Pozo L3-15 contiene 13 valores no validados entre 27/03/2024 y 11/06/2024)
- * (El Pozo L4-17 contiene 46 valores no validados entre 12/03/2024 y 15/06/2024)
- * (El Pozo L7-14 contiene 41 valores no validados entre 18/02/2024 y 30/06/2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.2 Caudal bombeado

El único pozo de extracción localizado en el Sistema Vegetación Borde Este corresponde al denominado CA-2015. En el período de enero a junio de 2024, el caudal de extracción ha oscilado entre 27,66 y 33,67 L/s, manteniéndose por debajo del límite máximo permitido (35 L/s), como se observa en la Figura 5-31. En concreto, se obtuvo un bombeo promedio mensual de 31,08 L/s. En el Anexo 5.3 se encuentran los caudales promedios mensuales de extracción registrados durante el período de enero a junio de 2024 y la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes.

Figura 5-31: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.



5.1.4.3 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Vegetación Borde Este durante el primer semestre del año 2024.

5.1.4.3.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Vegetación Borde Este durante el primer semestre de 2024.

Como se señaló previamente, los pozos L2-4 y L7-3 pertenecen tanto a la red de monitoreo del Sistema Soncor como a la del Sistema Vegetación Borde Este. Por lo anterior, y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dichos puntos fueron presentados en la mencionada sección, ellos no se incluyen en el presente acápite.

De la misma forma, y como fue señalado en la sección 5.1.3, el pozo L4-3 es parte del monitoreo de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este. Por lo anterior, y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dicho punto fueron presentados como parte del Sistema Aguas de Quelana, no se incluyen en el presente acápite.

En la Figura 4-8 y en el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Vegetación Borde Este. En esta última se indican las coordenadas y tipo de cada punto de control, las variables ambientales y parámetros de monitoreo comprometidos, además de la frecuencia establecida.

Cabe señalar que no existen límites establecidos para la calidad fisicoquímica de los parámetros monitoreados. Por lo anterior, en esta sección se presentan los resultados numéricos del monitoreo de calidad química del agua sin contrastarse con límites o umbrales de control. Por su parte, el análisis del comportamiento histórico de la calidad se desarrolla en la Sección 6 del presente informe.

En el Anexo 6.1 se presentan los informes de los análisis químicos reportados para el último semestre. Además, se presentan los certificados de autorización de los laboratorios empleados para este periodo como Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFAs).



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA
OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

En la Tabla 5-21 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua tomadas en terreno (SEGEA en ambos trimestres) y analizadas por el laboratorio ALS Life Sciences Chile al pozo de bombeo CA-2015 en el primer semestre del año 2024. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos, siendo el monitoreo de enero, reprogramado para febrero.

Tabla 5-21: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015

Parámetro	CA-2015		
	enero	febrero	abril
Alcalinidad Total (mgCaCO ₃ /L)	-	158	160
Arsénico (mg/L)	-	0,26	0,25
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO ₃ /L)	-	158	160
Bicarbonatos (mg/L)	-	193	196
Calcio (mg/L)	-	247	238
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO ₃ /L)	-	<1	<1
Carbonatos (mg/L)	-	<1	<1
Cloruro (mg/L)	-	5.049	3.955
Conductividad (uS/cm)	-	16.610	17.260
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	15.960	16.110
Densidad (g/mL)	-	1,004	1,000
Densidad Terreno (g/mL)	-	1,005	1,005
Hierro (mg/L)	-	0,18	0,35
Magnesio (mg/L)	-	217	210
Manganeso (mg/L)	-	0,026	0,024
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	-	<0,05	<0,01
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	-	<0,09	<0,01
pH (pH)	-	8,12	8,20
pH Terreno (pH)	-	7,22	7,34
Potasio (mg/L)	-	305	280
Sodio (mg/L)	-	2.507	2.445
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	-	10.550	12.020
Sulfato (mg/L)	-	558	516
Temperatura Terreno (°C)	-	24,7	23,5
Zinc (mg/L)	-	0,028	0,075

Fuente: Elaboración propia.



5.1.4.3.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el primer semestre de 2024 en el sistema Vegetación Borde Este, de acuerdo con los criterios de validación definidos en el Anexo 3.5.

En la Tabla 5-22 se muestran los resultados de la validación para las muestras colectadas en Vegetación Borde Este, específicamente en el pozo CA-2015. Los resultados son satisfactorios en el balance de masas para ambos trimestres; mientras que el balance iónico, ambos trimestres se ajustan a un desbalance inferior al 10% máximo permitido entre las cargas principales de sus iones, por lo que se considera una diferencia aceptable entre macroelementos de la muestra obtenida en este punto.

Tabla 5-22: Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este.

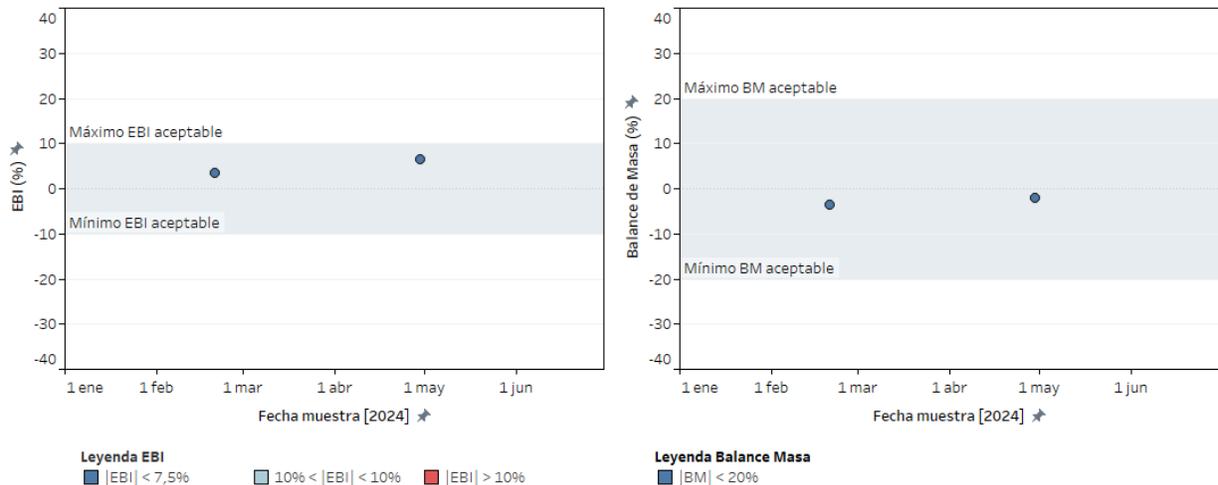
Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)		Balance Iónico (%)	
	febrero	abril	febrero	abril
CA-2015	-3,7	-2,3	3,3	6,4

Fuente: Elaboración propia N/A: No Aplica; el número de analitos de los parámetros comprometidos por RCA (y analizados) no permiten realizar este cálculo. Los colores en rojo indican muestras no validadas.

Con respecto a los resultados de la validación por concentraciones con relación a cada analito y punto, todos los parámetros fueron validados en ambos trimestres, por lo que durante el semestre a reportar no hay errores detectados en el total de análisis realizados en el sistema de Vegetación Borde Este.

La Figura 5-32 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el primer semestre de 2024 en el sistema Vegetación Borde Este. Durante este periodo los resultados de los análisis cumplieron con los criterios de validación de balance iónico ($|EBI| \leq 10\%$) y balance de masa ($|BM| \leq 20\%$) definidos en la sección 4.5.

Figura 5-32: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 SISTEMA PEINE

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Peine considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (26 puntos), calidad química (6 puntos), aforos de caudal (2 puntos) y superficie lacustre (3 áreas).

5.1.5.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presentan los niveles de los puntos de control que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sistema Peine, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-9 y en el Anexo 2. Cabe señalar que el pozo L10-1 es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina, pero sólo será expuesto en esta sección.

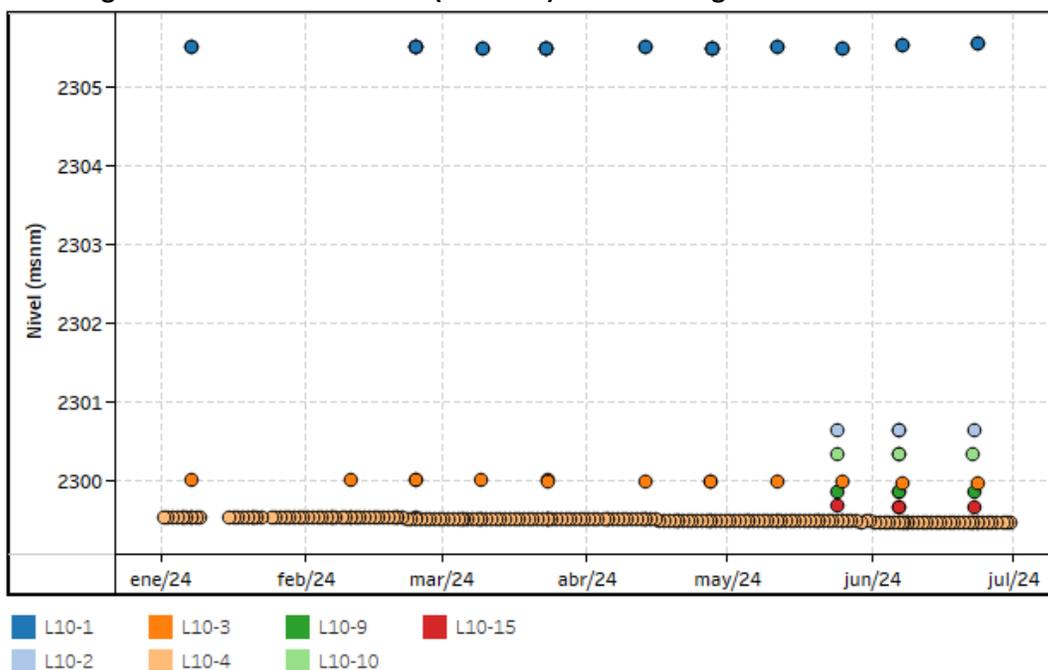
5.1.5.1.1 Pozos en Zona Marginal

La Zona Marginal del Sistema Peine cuenta con 7 puntos de control. De estos, el L10-1, L10-10, L10-2, L10-3 y el L10-9 se encuentran en el área en que la Comunidad de Peine suele ejercer el control de acceso. Por otro lado, solo el pozo L10-4 resulta ser indicador de estado. El indicador de estado L10-4 fue

monitoreado diariamente de acuerdo con lo establecido (por SEGEA) y al menos 3 mediciones mensuales complementarias (SQM).

En la Figura 5-33 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales, manuales y continuas para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-33: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine



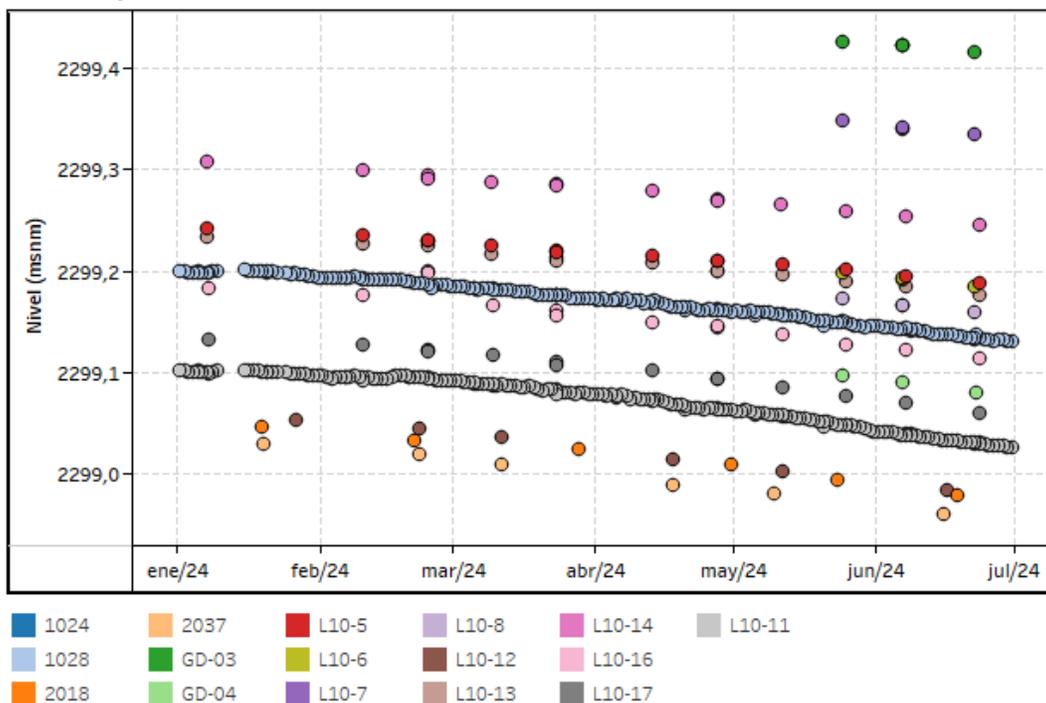
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.1.2 Pozos en Zona Núcleo

El Sistema Peine dispone de 16 puntos de control en el Núcleo del Salar. De estos, el GD-03, GD-04, L10-13, L10-14, L10-5, L10-6, L10-7 y L10-8 se encuentran en el área en que la Comunidad de Peine suele ejercer el control de acceso. Por otro lado, los pozos 1028 y L10-11 resultan ser indicadores de estado. Los indicadores de estado 1028 y L10-11 fueron visitados con regularidad por SEGEA, de acuerdo con lo establecido (diariamente), y con un mínimo de 3 veces al mes de manera adicional (por SQM). Figura 5-34 se muestra gráficamente el resultado del monitoreo para el primer semestre de 2024, que considera las

mediciones comprometidas y adicionales, manuales y continuas. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-34: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

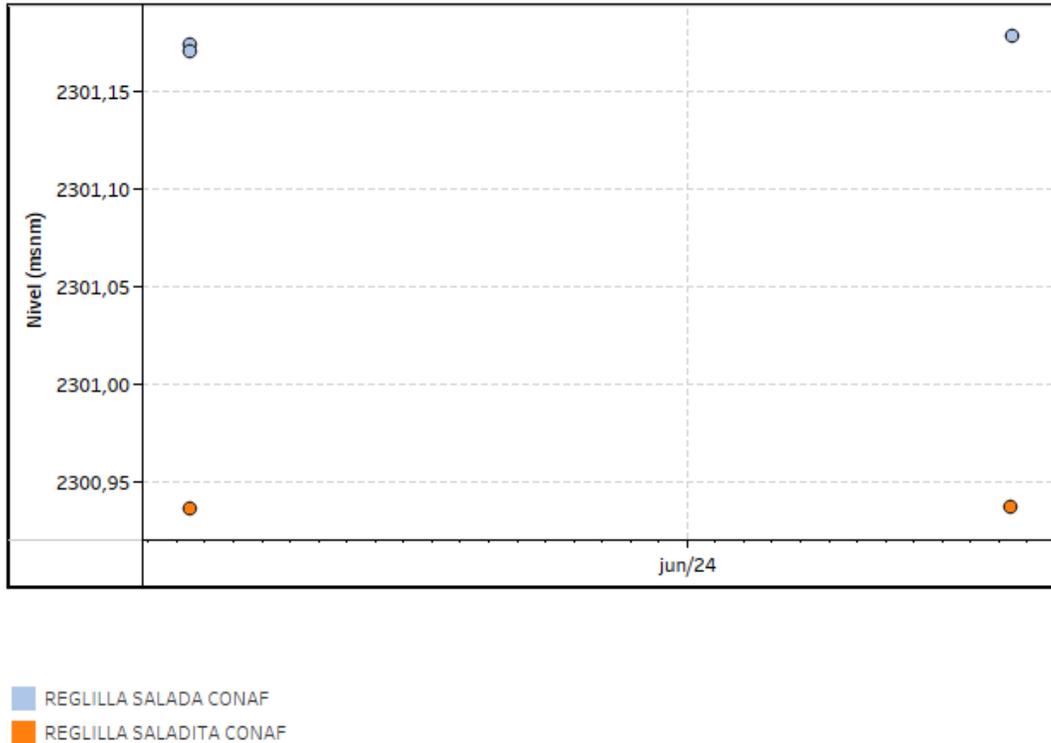
5.1.5.1.3 Nivel lacustre

Las mediciones del nivel lacustre mediante reglillas para el Sistema Peine se mantuvieron hasta diciembre de 2018, a cargo de CONAF en el marco del convenio CONAF-SQM. Debido al término del convenio, la medición de estos puntos son actualmente responsabilidad de SQM mediante la ETFA.

La infraestructura disponible en este sector son reglillas presentes en las lagunas Salada y Saladita. Cabe mencionar que, en el desborde Interna, la ubicación de la reglilla se encuentra en un entorno en donde ya no se produce el desborde del sistema, por lo que, en las sucesivas visitas al punto, la reglilla se encuentra seca. Solo las reglillas Salada CONAF y Saladita CONAF cuentan con una única visita en los meses de mayo y junio de 2024 por parte de SQM y SEGEA.

En la Figura 5-35 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024.

Figura 5-35: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.2 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad del Sistema Peine durante el primer semestre de 2024. Si bien el pozo L10-1 es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina, sólo se presenta en esta sección para efectos de orden.

En la Figura 4-9 y en el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Peine. En este último se indican las coordenadas y tipo de cada punto de control, las variables ambientales y parámetros de monitoreo comprometidos, además de la frecuencia establecida. Como se observa, la RCA N°226/2006 establece que el monitoreo de calidad química en los pozos y lagunas del Sistema Peine debe realizarse



con frecuencia trimestral. Dado el aprobado PdC, se han adoptado las medidas de control de activación de Fase I comprometidas a la Acción 41, la cual dicta aumentar la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual en la calidad de las lagunas del Sistema Peine.

Cabe señalar que no existen límites establecidos para los parámetros monitoreados. Por lo anterior, en esta sección se presentan los resultados numéricos del monitoreo de calidad química del agua sin contrastarse con límites o umbrales de control. Por su parte, el análisis del comportamiento histórico de la calidad se desarrolla en la sección 6 del presente informe.

De la misma forma que en otros subsistemas, las entidades que efectuaron el muestreo en terreno y análisis en laboratorio fueron SEGEA (040-01) y ALS Life Sciences Chile (029-01), respectivamente. En el Anexo 6.1 se presentan los informes de los análisis químicos reportados para el último semestre. Además, se presentan los certificados de autorización como ETFAs de ALS Life Sciences Chile, y SEGEA.

5.1.5.2.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En la Tabla 5-23 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua tomadas en terreno y analizadas el laboratorio ALS a los pozos de monitoreo. Como se observa, durante el periodo se efectuó solo el monitoreo del segundo trimestre (abril), siendo el del primer trimestre (enero) reprogramado en los pozos L10-1, 1028 y L10-4 según RCA N°226/2006 y además de las mediciones mensuales de calidad (frecuencia aplicable a acción 40 del PdC como medida de control a la activación de Fase I, ejecutados durante los meses restantes (febrero, marzo, mayo y junio)) comprometidas. Adicionalmente a ello, los pozos del plan de contingencias que adicionalmente cuentan con medición de calidad química cuentan con toda la información de análisis fisicoquímico a disposición pública en el sitio web <https://www.sqmsenlinea.com/> respondiendo al compromiso de la Acción 7 del PdC.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL
SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Tabla 5-23: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine

Parámetro	1028						L10-1						L10-4					
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Conductividad (uS/cm)	-	246.000	248.000	248.000	-	-	-	8.890	-	8.730	-	-	-	174.200	174.400	174.400	-	-
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	236.000	230.000	239.000	-	-	-	8.830	-	8.750	-	-	-	170.300	169.400	165.700	-	-
Densidad (g/mL)		1,206	1,200	1,200				1,001		1,000				1,100	1,100	1,100		
Densidad Terreno (g/mL)		1,210	1,260	1,210				1,005		1,006				1,105	1,105	1,107		
pH (pH)		7,66	7,00	7,40				8,34		8,10				7,91	7,10	7,60		
pH Terreno (pH)		7,09	7,05	7,05				7,39		7,58				7,44	7,34	7,36		
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	-	332.680	329.805	316.715	-	-	-	6.150	-	5.725	-	-	-	157.025	153.335	153.220	-	-
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	-	40	207	8	-	-	-	3	-	3	-	-	-	48	236	83	-	-
Sólidos Totales (mg/L)	-	347.500	333.805	331.165	-	-	-	6.600	-	6.140	-	-	-	164.925	159.405	163.625	-	-
Temperatura Terreno (°C)		26,7	28,5	26,7				23,0		23,3				20,5	21,1	19,9		

Fuente: Elaboración propia. (-): no se presenta dato ya que no es un compromiso RCA N°226/2006.



5.1.5.2.2 Muestreo realizado en el marco del ex convenio con CONAF

En el primer semestre de 2024 no pudieron realizarse los dos muestreos trimestrales comprometidos por RCA N°226/2006, tanto en Interna, Salada como en Saladita; debido a que no se contaba con permiso para acceder por parte de las comunidades (sección 5.1).

Adicionalmente, el único mes que se pudo ejecutar la medición mensual para dar respuesta a la Acción 40 del PdC como medida de control frente a activación de Fase I en los indicadores de estado (L10-4, L10-11 y 1028) fue durante mayo en Interna, Salada y Saladita. En la Tabla 5-24 se muestran los resultados en las que se logró realizar el muestreo y en el Anexo 6.1 se encuentran los certificados de laboratorio.



**INFORME N.º 35 DEL PSAH PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL
SALAR DE ATACAMA
RCA N.º 226/2006**

Tabla 5-24: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine.

Parámetro	INTERNA						SALADA						SALADITA					
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO ₃ /L)	-	-	-	-	187	-	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	193	-
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO ₃ /L)	-	-	-	-	<1	-	-	-	-	-	<1	-	-	-	-	-	<1	-
Alcalinidad Total (mgCaCO ₃ /L)	-	-	-	-	187	-	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	193	-
Arsénico (mg/L)	-	-	-	-	0,726	-	-	-	-	-	0,331	-	-	-	-	-	0,486	-
Calcio (mg/L)	-	-	-	-	636	-	-	-	-	-	479	-	-	-	-	-	473	-
Cloruro (mg/L)	-	-	-	-	12.097	-	-	-	-	-	10.635	-	-	-	-	-	11.300	-
Conductividad (uS/cm)	-	-	-	-	39.300	-	-	-	-	-	35.100	-	-	-	-	-	38.300	-
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	-	-	-	38.800	-	-	-	-	-	33.600	-	-	-	-	-	37.300	-
Densidad Terreno (g/ml)	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
Dureza Total (mg/L)	-	-	-	-	7.901	-	-	-	-	-	6.823	-	-	-	-	-	7.542	-
Fosforo (mg/L)	-	-	-	-	0,068	-	-	-	-	-	0,136	-	-	-	-	-	0,069	-
Fosforo Fosfato (mg/L)	-	-	-	-	<0,07	-	-	-	-	-	<0,14	-	-	-	-	-	<0,07	-
Magnesio (mg/L)	-	-	-	-	722	-	-	-	-	-	591	-	-	-	-	-	552	-
pH (pH)	-	-	-	-	8,20	-	-	-	-	-	7,90	-	-	-	-	-	8,30	-
pH Terreno (pH)	-	-	-	-	8,22	-	-	-	-	-	7,99	-	-	-	-	-	8,26	-
Potasio (mg/L)	-	-	-	-	1.103	-	-	-	-	-	859	-	-	-	-	-	853	-
Salinidad (%)	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	26	-
Silice (mg/L)	-	-	-	-	52	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	50	-
Sodio (mg/L)	-	-	-	-	7.242	-	-	-	-	-	5.748	-	-	-	-	-	5.586	-
Sodio Disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	-	-	-	-	26.925	-	-	-	-	-	22.620	-	-	-	-	-	24.975	-
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	1.926	-	-	-	-	-	207	-
Sólidos Totales (mg/L)	-	-	-	-	28.533	-	-	-	-	-	24.440	-	-	-	-	-	25.192	-
Sulfato (mg/L)	-	-	-	-	2.099	-	-	-	-	-	1.428	-	-	-	-	-	1.891	-
Temperatura Terreno (°C)	-	-	-	-	11,9	-	-	-	-	-	12,1	-	-	-	-	-	10,4	-

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.2.3 Validación resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el primer semestre de 2024 en el sistema Peine. La Tabla 5-25 muestra los resultados de la validación para las muestras colectadas en el sistema Peine, tanto para las mediciones trimestrales como las mediciones mensuales con las que se contó con acceso por parte de la Comunidad de Peine.

Para todos los puntos de monitoreo de calidad química se obtuvo el cálculo de balances de masas dentro del rango máximo del 20%. Asimismo, los balances iónicos se encontraron dentro del rango máximo de 10% de desviación en los cuerpos de agua Salada y en desborde Interna en los meses que se cuentan con medición de iones que permiten evaluar la relación entre cationes y aniones.

Tabla 5-25: Resultados de la validación en el sistema Peine

Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)				Balance Iónico (%)			
	febrero	marzo	abril	mayo	febrero	marzo	abril	mayo
1028	-4,3	-1,1	-4,4		NA*	NA*	NA*	
INTERNA				-5,6				5,6
L10-1	-6,8		-6,7		NA*		NA*	
L10-4	-4,8	-3,7	-6,3		NA*	NA*	NA*	
SALADA				0,4				1,6
SALADITA				0,0				4,0

Fuente: Elaboración propia. N/A: No Aplica; el número de analitos de los parámetros comprometidos por RCA N°226/2006 (y analizados) no permiten realizar este cálculo.

La Tabla 5-26 muestra los resultados de la validación por concentraciones históricas en relación con cada analito y punto. Todos los análisis se encontraron dentro de lo esperable en base a su evolución histórica, a excepción de 2 mediciones durante el primer trimestre, que representan una desviación de 1,43% del total de 140 análisis durante el primer semestre de 2024 en el sector de Peine.

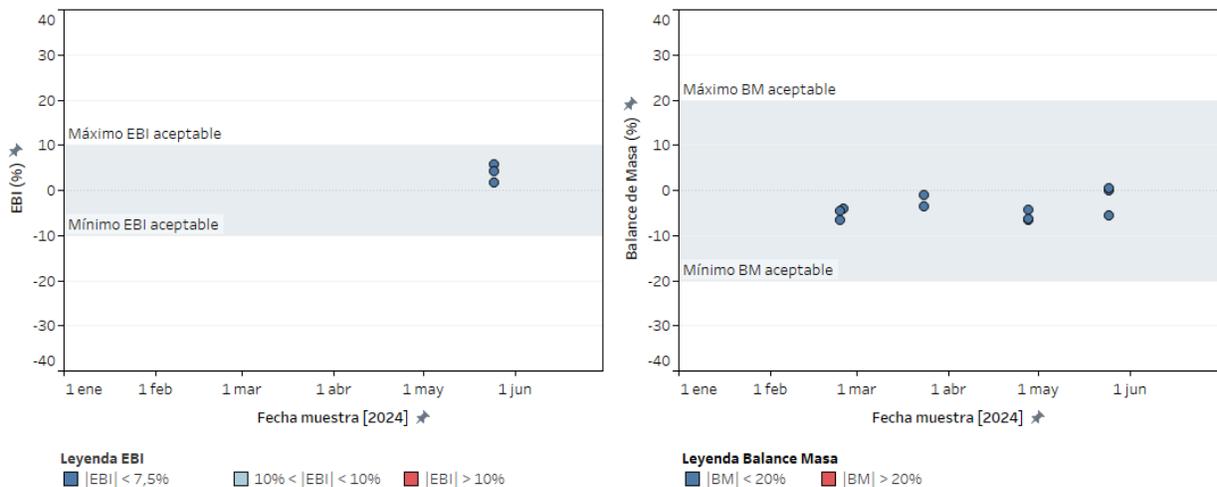
Tabla 5-26: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine

Parámetro	Mes (año 2024)	Muestra
pH	febrero	1028 25-02-2024 ALS
		L10-4 24-02-2024 ALS

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-36 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el primer semestre de 2024 en el sistema Peine. Durante este periodo los resultados de los análisis cumplieron con los criterios de validación de balance iónico ($|EBI| \leq 10\%$) y balance de masa ($|BM| \leq 20\%$).

Figura 5-36: Error de balance iónico para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras de sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.3 Caudal agua superficial (aforos)

En el Sistema Peine se cuenta con 2 puntos de aforo de caudal superficial pasante, y que corresponden a las estaciones denominadas Salada y Saladita. La Tabla 5-27 y Anexo 8 presenta los resultados de las mediciones de caudal realizadas durante el primer semestre de 2024 en las estaciones indicadas. Se observa que se cuenta únicamente con la medición de caudal en el mes de junio en la estación Salada. Esto se debió a que la Comunidad de Peine no concedió permiso al personal de SQM ni a la ETFA para ingresar al área correspondiente.

En la Figura 5-37 se presenta gráficamente el resultado de las mediciones realizadas en los 2 puntos aforo en el primer trimestre de 2024.

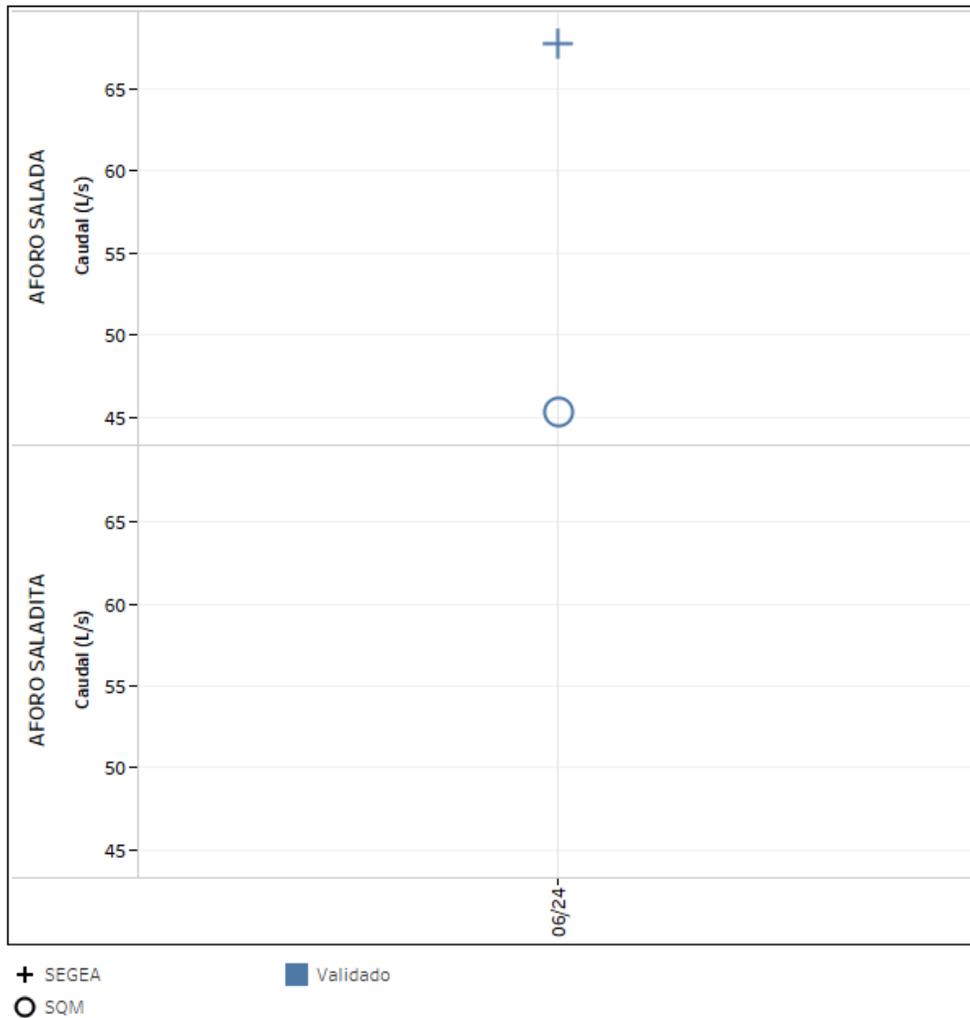
Tabla 5-27: Resultados de aforos manuales en los puntos Salada y Saladita

Fecha	Aforo Salada (L/s)	Aforo Saladita (L/s)
Enero de 2024	S/I	S/I
Febrero de 2024	S/I	S/I
Marzo de 2024	S/I	S/I
Abril de 2024	S/I	S/I
Mayo de 2024	S/I	S/I
Junio de 2024	67,70	S/I

S/I: Sin Información.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-37: Caudales medidos en los puntos de aforo Salada y Saladita del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. S/I: Sin Información.

5.1.5.4 Superficie lacustre

Para el primer semestre de 2024 se realizaron mediciones de la superficie lacustre en Salada, Saladita y Desborde Laguna Interna, según corresponde al compromiso trimestral definido en el Programa de Cumplimiento (PdC) dentro del procedimiento sancionatorio Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Estas mediciones se realizaron mediante imágenes satelitales de alta resolución en los meses de enero y abril, y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5-28.

En este semestre no se pudo contar con los permisos de la Comunidad de Peine para acceder a la zona, por lo que no se pudo realizar mediciones en terreno de los puntos de control y estacas perimetrales.

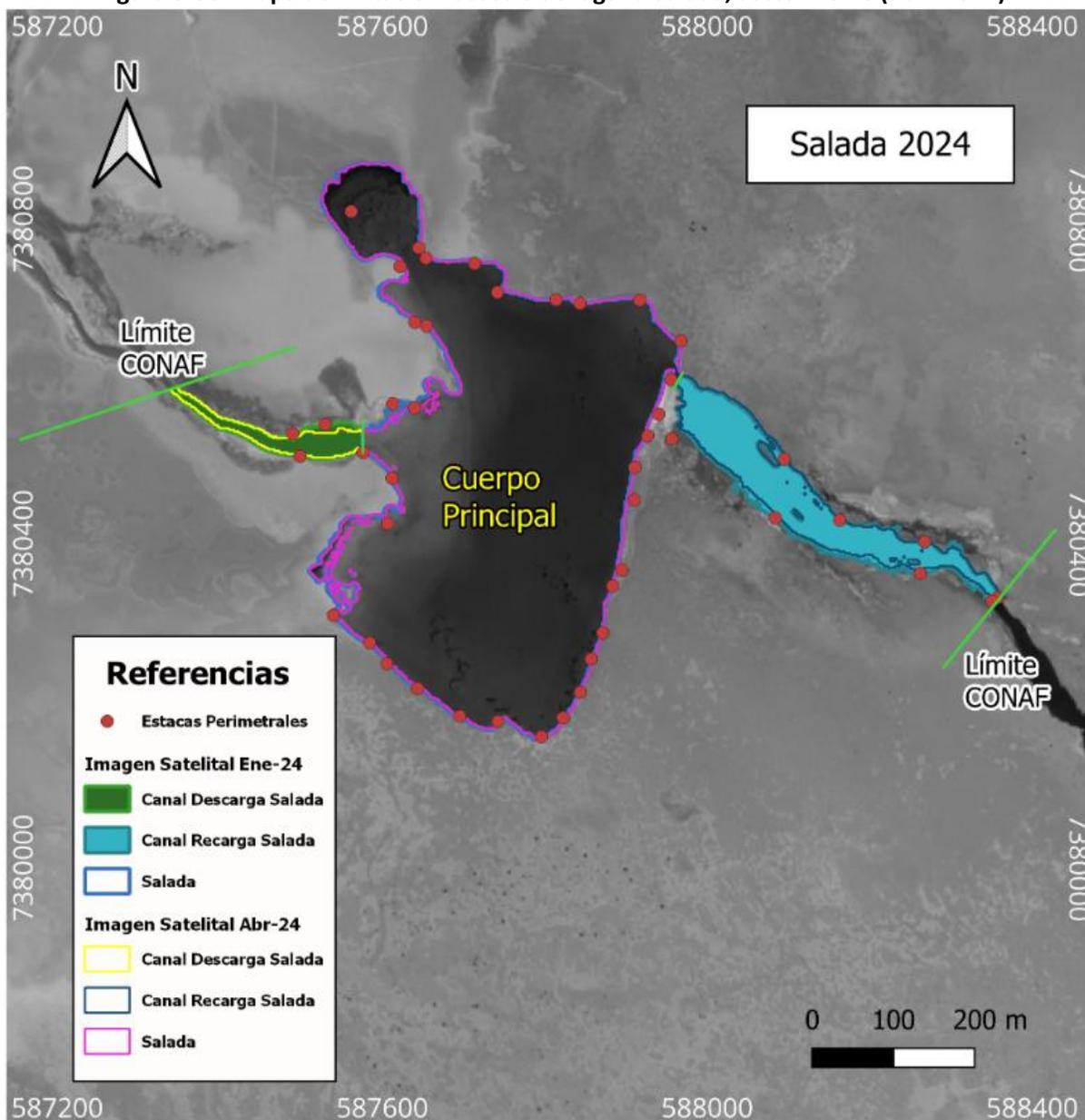
Tabla 5-28: Superficies Lacustres primer semestre 2024 en Sistema Peine

Periodo	Responsable	Tipo de medición realizada	Superficie (m ²)		
			Interna	Salada	Saladita
Ene 2024	SRGIS	Imagen Satelital	35.734	172.931	85.293
Abr 2024	SRGIS	Imagen Satelital	56.938	170.994	81.967

Datos de Salada corresponden a la superficie total (canal de descarga, cuerpo principal y canal de descarga).
Fuente: Elaboración propia.

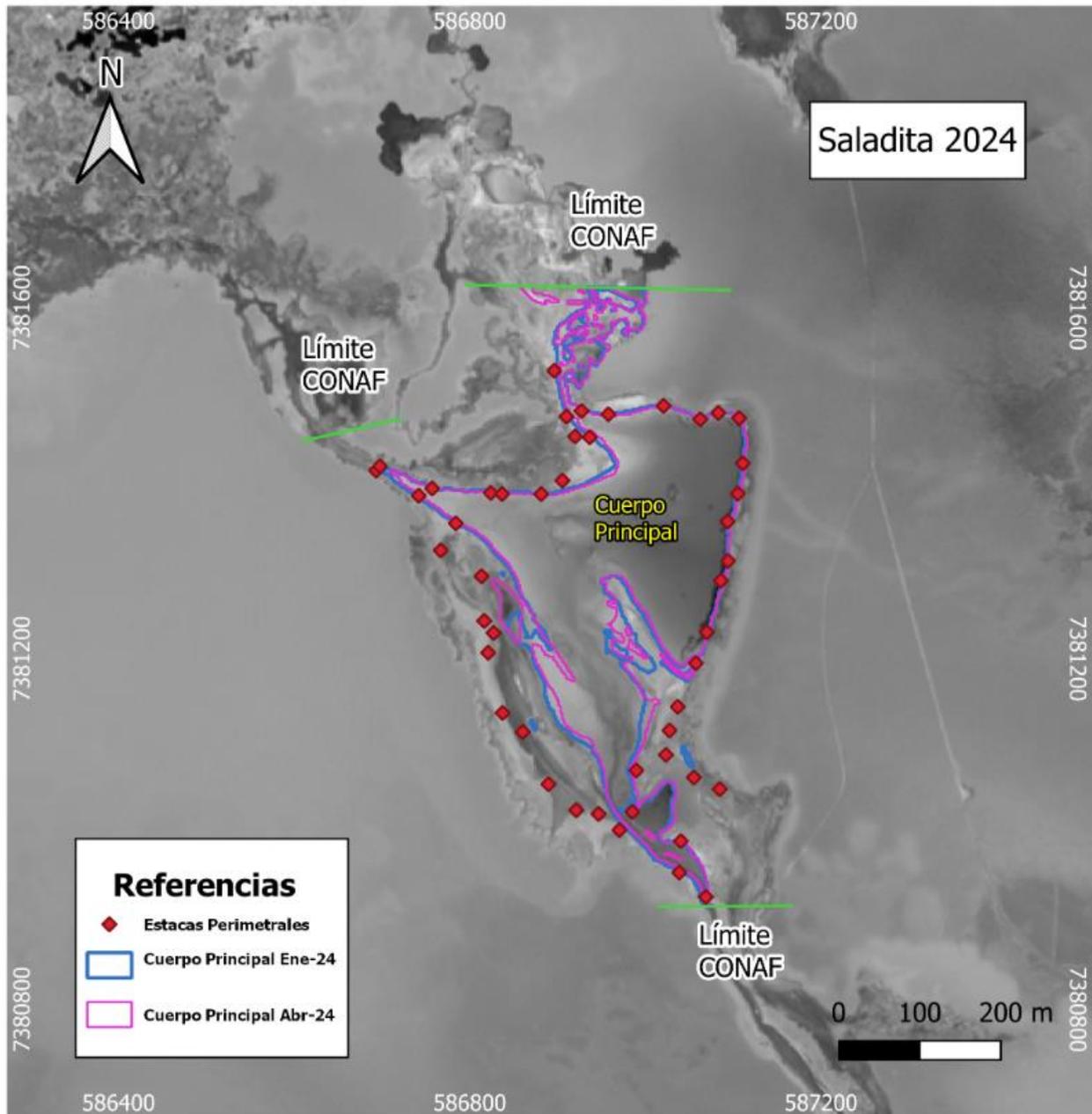
Las Figura 5-38, Figura 5-39 y Figura 5-40 presentan los mapas de los cuerpos principales de las lagunas del sistema Peine para el primer semestre de 2024. El detalle de la estimación de la superficie lacustre del Sistema Peine mediante imágenes satelitales se presenta en el Anexo 10.1. En el Anexo 10.3 se presenta en forma tabulada el compilado de los resultados de la estimación de esta superficie.

Figura 5-38: Mapa delimitación lacustre de laguna Salada, sector Peine (abril 2024)



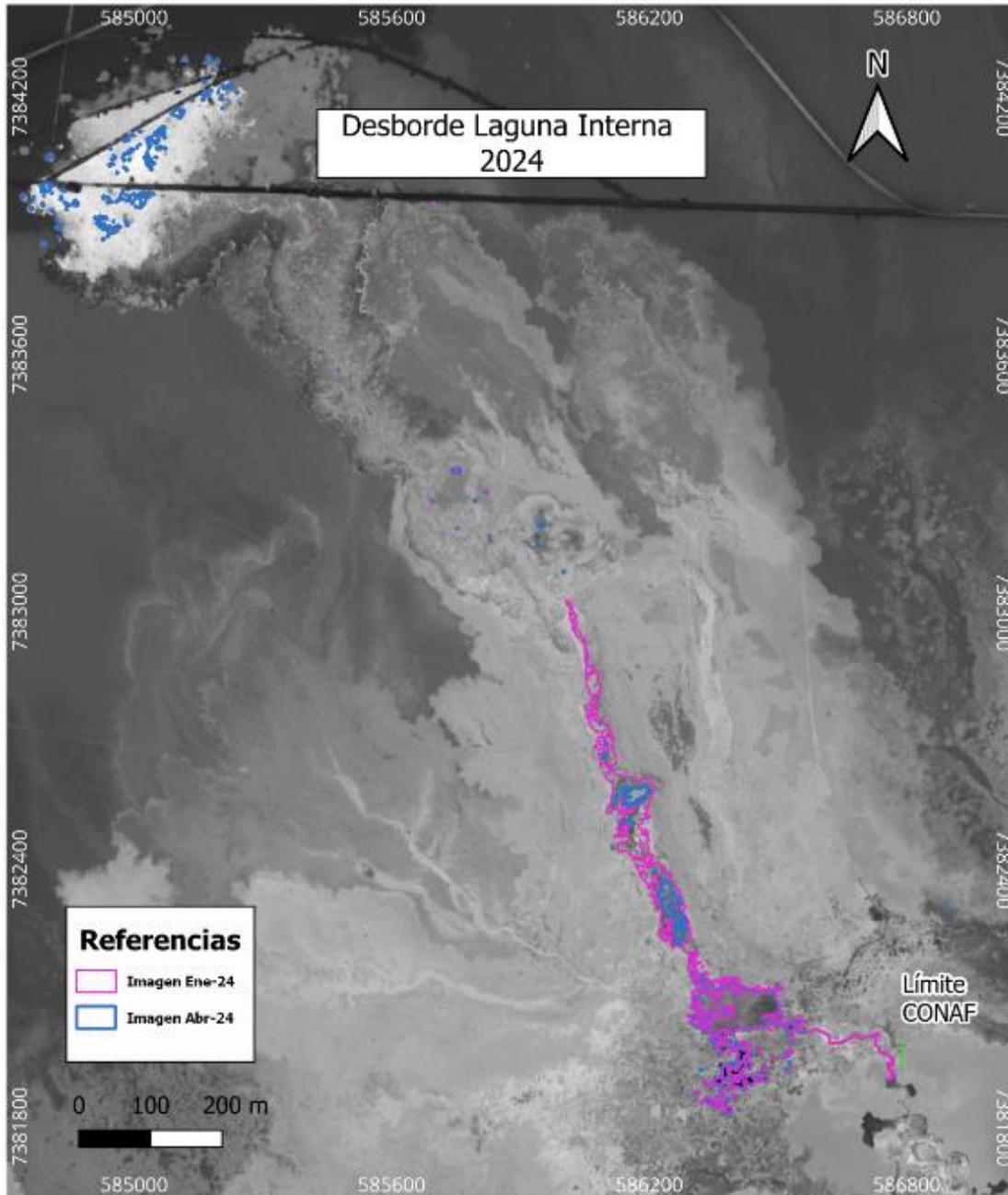
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-39: Mapa delimitación lacustre de laguna Saladita, sector Peine (abril 2024)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-40: Mapa delimitación lacustre de laguna Interna, sector Peine (abril 2024)



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico del sector Vegas de Tilopozo, sólo considera el monitoreo del nivel del agua en 5 puntos: 4 pozos y una reglilla. Los resultados obtenidos para el primer semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.6.1 Nivel del agua subterránea y superficial

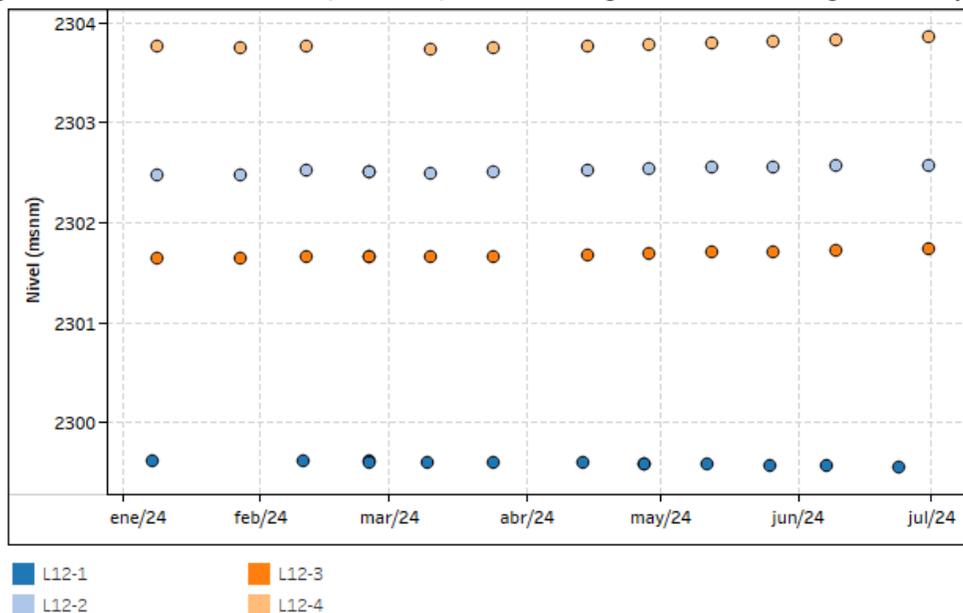
En esta sección se presentan los niveles de todos los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sector Vegas de Tilopozo, de acuerdo con la distribución de la Figura 4-10 y en el Anexo 2.

5.1.6.1.1 Pozos en Zona Marginal

En la Zona Marginal, el Sector de Vegas de Tilopozo cuenta con 4 puntos de control. Ninguno de estos puntos corresponde a un indicador de estado. Para el primer semestre de 2024 se ha realizado al menos 1 visita mensual a cada punto de monitoreo por parte de SQM.

En la Figura 5-41 se muestra gráficamente el resultado completo del monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas (SEGEA y SQM).

Figura 5-41: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo



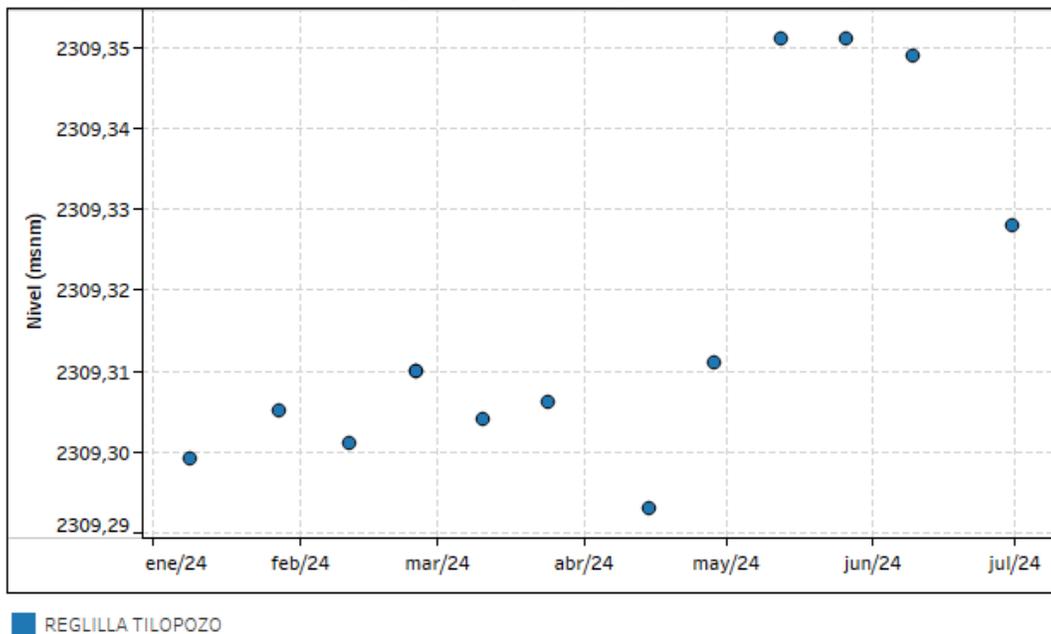
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.6.1.2 Nivel de agua superficial

En esta sección se presentan los niveles de agua superficial para el Sector de Vegas de Tilopozo, que cuenta con un único punto de medición (Reglilla Tilopozo), para el cual se realizaron al menos 2 mediciones mensuales por parte de SQM.

En la Figura 5-42 se presentan gráficamente las medidas tomadas en dicho punto durante el primer semestre 2024, incluyendo las mediciones comprometidas y las adicionales. En el Anexo 5.4 se presenta el registro detallado de niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-42: Nivel observado (m s.n.m.) de la reglilla del sector Vegas de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Núcleo del Salar de Atacama considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (21 puntos), meteorología (1 estación) y calidad química (2 puntos). Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2022 se presentan a continuación.

El pozo SOPM-8 (L3-4) pertenece tanto a la red de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana (identificado en la RCA N°226/2006 como L3-4) como al del Sistema Núcleo del Salar de Atacama (identificado en la RCA N°226/2006 como SOPM-8). Por lo anterior, y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dicho punto fueron expuestos en el Sistema Aguas de Quelana, no se incluye en el presente apartado.

Todos los puntos de este sector han sido visitados con la frecuencia comprometida en este semestre.

5.1.7.1 Nivel de salmuera

En esta sección se exponen los niveles de los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Núcleo del Salar de Atacama para el primer semestre de 2024, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-11 y en el Anexo 2.

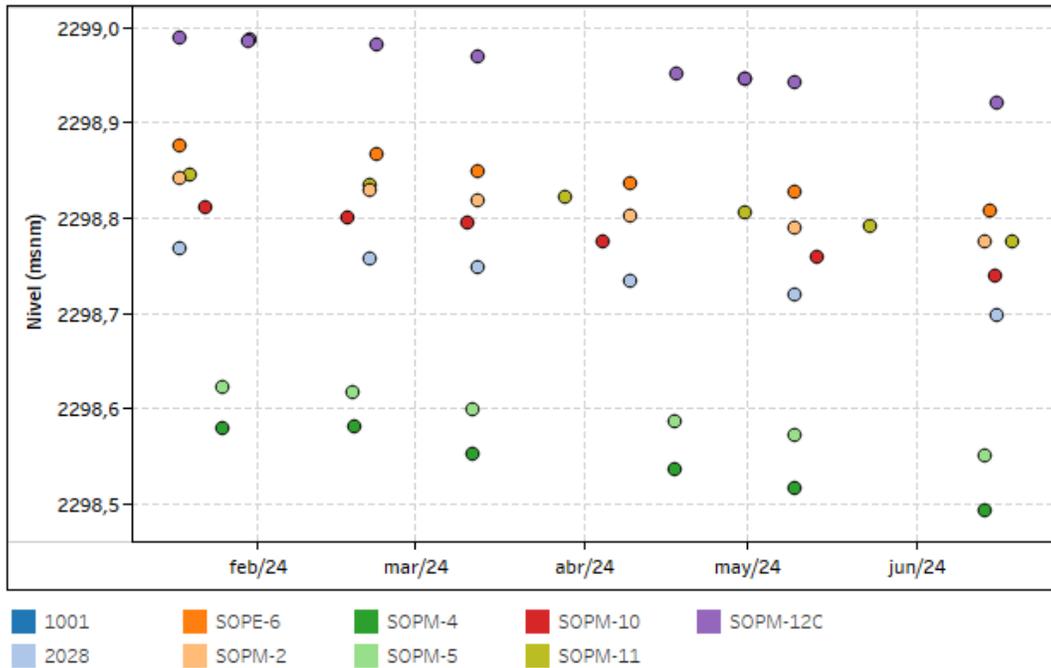
Para facilitar el análisis, los resultados se agrupan en 3 subgrupos de acuerdo con su ubicación: pozos más alejados de la zona de producción de salmuera, pozos ubicados en las proximidades de la zona de producción, y pozos ubicados al norte de zona de producción. A continuación, se muestran los resultados de cada grupo.

5.1.7.1.1 Área alejada de la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 9 pozos. En la Figura 5-43 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGSA y SQM).

Para el actual semestre reportado se dispone de un registro de al menos 1 medición mensual realizada por SQM para todos los pozos, a excepción del 1001.

Figura 5-43: Nivel observado (m s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo



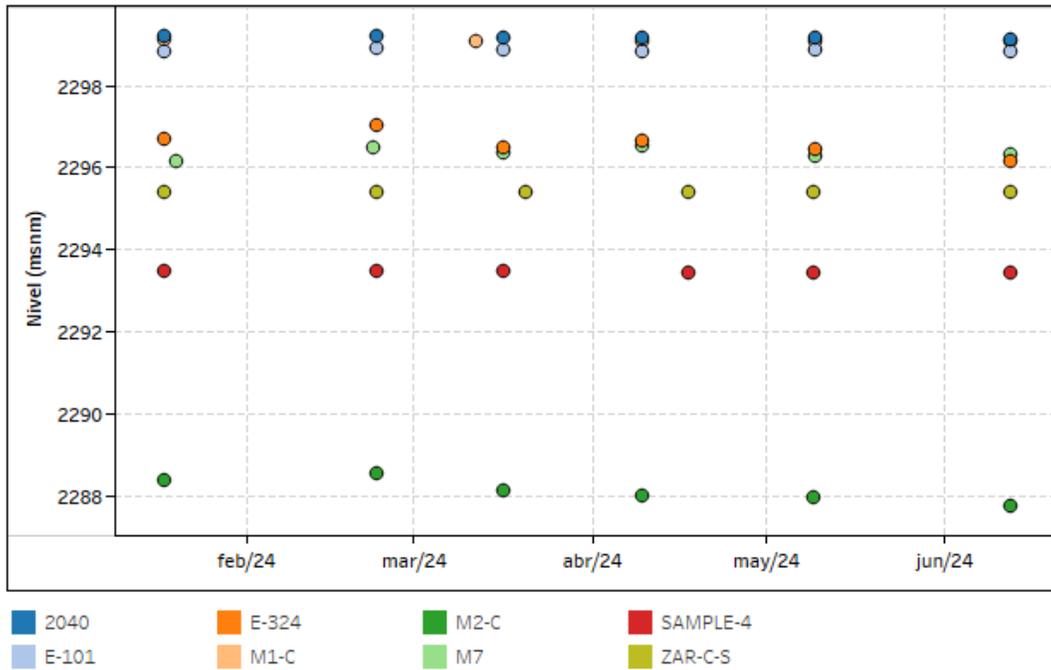
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.1.2 Área próxima a la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 8 pozos. En la Figura 5-44 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por SQM.

Para el actual semestre se cuenta con un registro mínimo de una medición mensual efectuada por SQM, a excepción del punto M1-C, que no fue medido en febrero de 2024 por cierre temporal en las operaciones mineras de SQM.

Figura 5-44: Nivel observado (m s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo



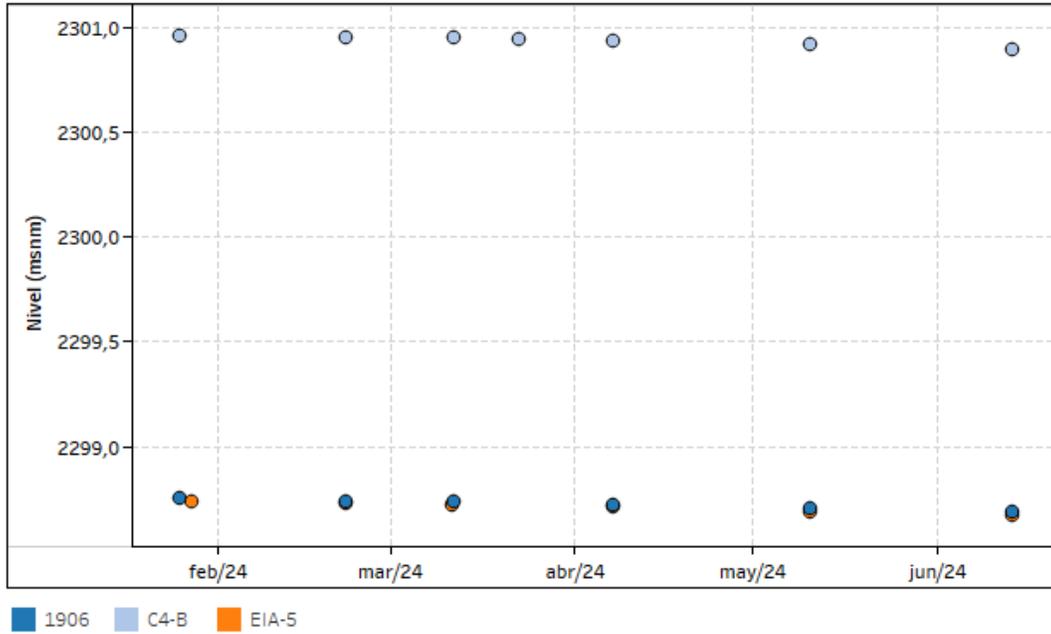
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.1.3 Área al norte de la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 3 pozos, situados al norte de la zona productiva. En la Figura 5-45 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por SQM.

Para el actual semestre se cuenta con un registro mínimo de una medición mensual efectuada por SQM.

Figura 5-45: Nivel observado (m s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.2 Meteorología

En la Tabla 5-29 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica KCL, correspondiente a precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, a nivel diario, para el período comprendido entre enero y junio de 2024. Las series diarias de estas variables para el primer semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 5-46, y en forma tabulada en el Anexo 9.1. La precipitación se presenta como acumulado diario. Por contar con más del 95% de las mediciones de estas variables, no fue necesario realizar un procedimiento de relleno.

Se observa que en el primer semestre del 2024 la precipitación es nula. En cuanto a la velocidad del viento, se observa en promedio una disminución progresiva a lo largo del semestre. Sin embargo, los días 14 y 15 de abril se produce un aumento alcanzando una velocidad máxima de 6,19 m/s. En esa misma fecha se registraron eventos de precipitación en otras estaciones de la red SQM, por lo que el incremento en la velocidad del viento está relacionado con un evento climático a escala de la cuenca.

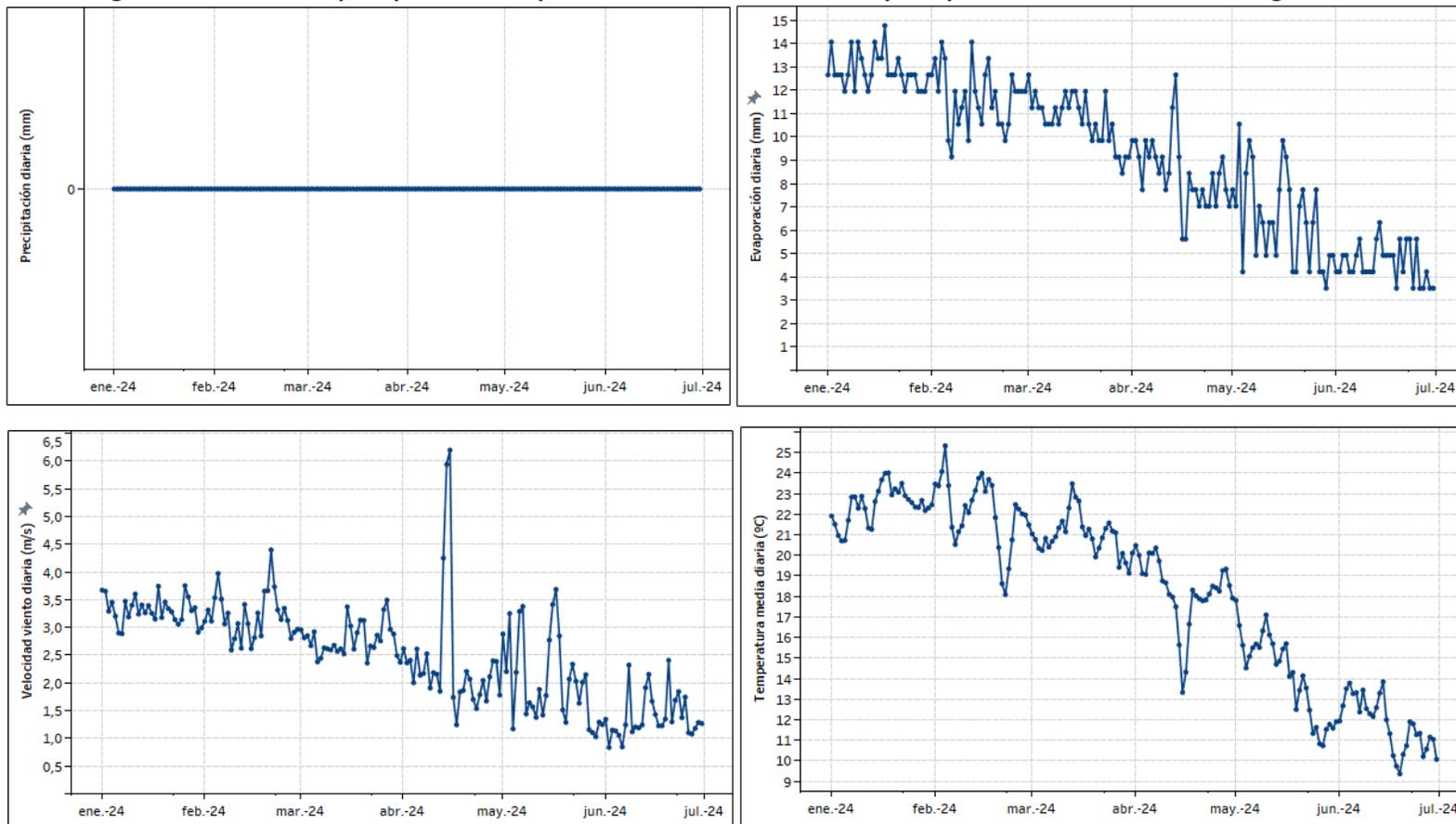
La evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al descenso en el primer semestre del 2024. La evaporación en enero es del orden de 13 mm/día y en junio del orden de 4 mm/día. La temperatura media diaria en enero fue del orden de 23°C mientras que en junio fue del orden de 10°C.

Tabla 5-29: Estadígrafos de series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura en la estación meteorológica de KCL

Parámetros	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Precipitación	mm/día	0,00	0,00	0,00	0,00
Evaporación	mm/día	3,52	14,76	9,13	3,18
Velocidad del viento	m/s	0,83	6,19	2,52	0,91
Temperatura media diaria	°C	9,36	25,32	18,28	4,30

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-46: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de KCL



Fuente: Elaboración propia.

5.1.7.3 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Núcleo del Salar de Atacama del primer semestre del año 2024.

En la Figura 4-11 y en el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Núcleo del Salar de Atacama. En este último se indican las coordenadas y tipo de cada punto de control, las variables ambientales y parámetros de monitoreo comprometidos, además de la frecuencia establecida. Cabe señalar que no existen límites establecidos para la calidad fisicoquímica de los parámetros monitoreados. Por lo anterior, en esta sección se presentan los resultados numéricos del monitoreo de calidad química del agua, sin contrastarse con límites o umbrales de control. Por su parte, el análisis del comportamiento histórico de la calidad se desarrolla en la Sección 6 del presente informe.

En el Anexo 6.1 se presentan los informes de los análisis químicos reportados para el último semestre. Además, se presentan los certificados de autorización de los laboratorios empleados para este periodo como Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFAs).

A continuación, en la Tabla 5-30, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de muestras de salmuera tomadas en terreno por SEGEA y analizadas por ALS Life Sciences Chile, a los pozos de monitoreo en el periodo a reportar. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos para el pozo SOPM-12C; mientras que el pozo 1001 no presentó muestra.

Tabla 5-30: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama

Parámetro	1001		SOPM-12C	
	enero	abril	enero	abril
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	-	232.000	228.000
Densidad (g/mL)			1,221	1,200
Densidad Terreno (g/mL)			1,225	1,226
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)				
pH Terreno (pH)			6,76	6,88
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	-	-	352.270	345.145
Temperatura Terreno (°C)			24,6	24,0

Fuente: Elaboración propia. (-): no se presenta dato ya que no es un compromiso RCA.

5.1.7.3.1 Validación resultados

El sistema del núcleo no cuenta con los parámetros necesarios para la validación por balance de masa de sólidos ni para realizar balance iónico, dado que ambos pozos de monitoreo (1001 y SOPM-12C) están clasificados dentro de Calidad 5, donde solo se mide en laboratorio la densidad y Sólidos Disueltos Totales.

Los parámetros analizados se validan mediante la comparación de la concentración actual con el análisis de sus concentraciones históricas (Anexo 3.5). Con respecto a los resultados de la validación con relación a cada analito y punto, todos los parámetros fueron validados en ambos trimestres, por lo que el error detectado durante el semestre a reportar corresponde a un 0% del total de análisis realizados en el sistema del Núcleo del Salar de Atacama.

5.1.8 CUÑA SALINA

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH de la Cuña Salina considera 9 pozos, agrupados en 3 perfiles, y el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (1 punto), conductividad eléctrica (8 puntos) y calidad (1 punto). Sin embargo, a pesar de que en los 8 puntos de monitoreo de conductividad eléctrica (CE) no se establece la necesidad de cuantificar el nivel freático, SQM realiza el monitoreo mensual a modo de complemento. De esta manera, la Cuña Salina cuenta con 9 puntos de control de nivel de agua subterránea.

De los 9 puntos de monitoreo de nivel, los puntos L4-3 y L10-1 al ser también parte de los sistemas Aguas de Quelana y Peine respectivamente, ya han sido mostrados en los apartados anteriores. A continuación, se presentan las mediciones obtenidas para el primer semestre de 2024 para cada punto de control.

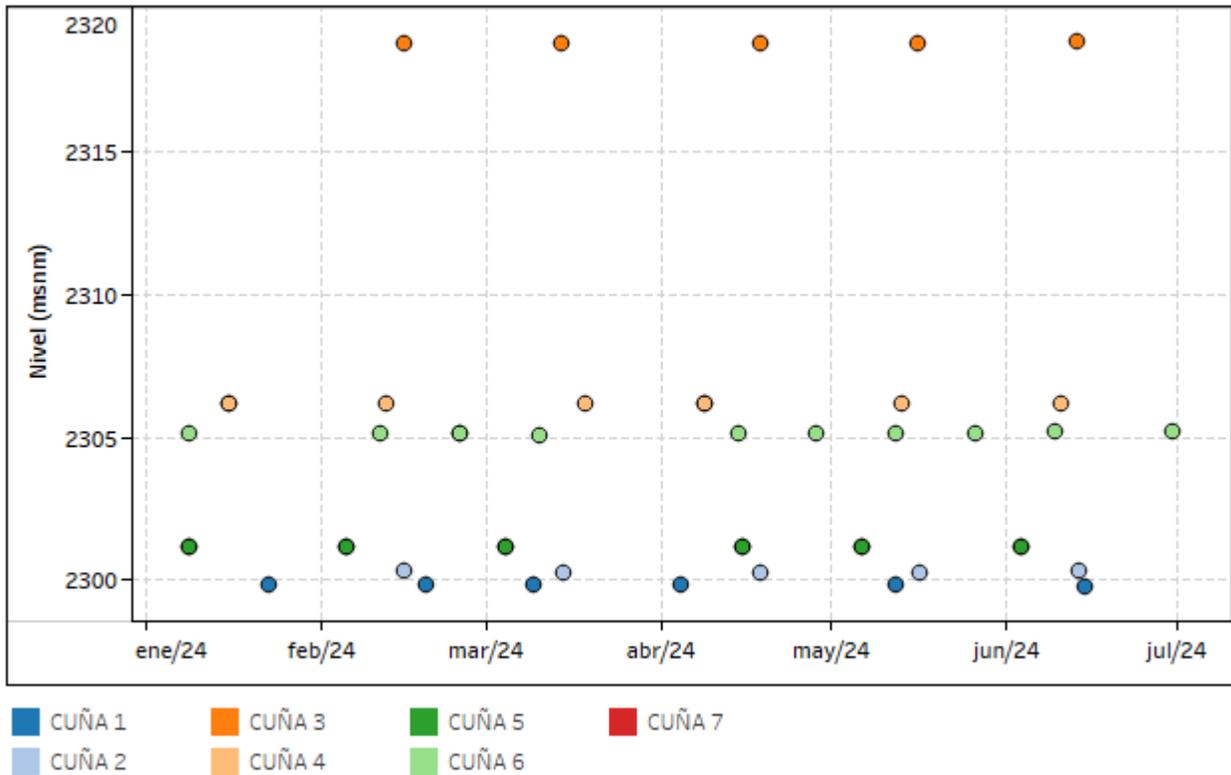
5.1.8.1 Nivel del agua subterránea

En esta sección se presentan los niveles de 7 de los 9 puntos de monitoreo para el Sector Cuña Salina. Los puntos L4-3 y L10-1 ya han sido presentados en los sistemas Aguas de Quelana y Peine, respectivamente.

En la Figura 5-47 se muestra gráficamente el resultado completo del monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del primer semestre de 2024. El Anexo 5.4 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por ambas empresas (SEGSA y SQM).

Para el primer semestre de 2024 se realizó al menos 1 medición en todos los pozos, excepto en Cuña 2 y Cuña 3, que no fueron medidos en enero de 2024 por las protestas que ocurrieran durante esa semana por parte de las comunidades; y la Cuña 7, la cual no fue monitoreada durante todo el período por la restricción de acceso a la zona por época de reproducción de flamencos (carta N°18/2023).

Figura 5-47: Nivel observado (m s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina



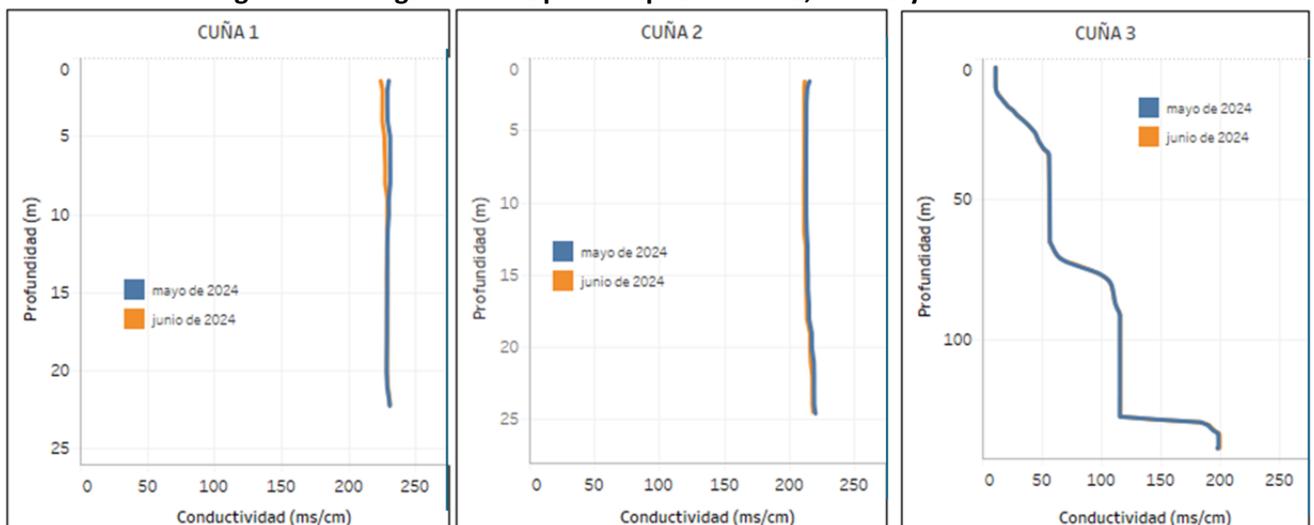
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.8.2 Perfiles de Conductividad

En el primer semestre del 2024 los perfiles de conductividad fueron medidos de acuerdo a la acción 16 del Plan del Programa de Cumplimiento, el cual considera una medición mensual a partir de mayo de 2024. El compromiso se cumplió para todos los puntos excepto para el Cuña 7, al cual no se pudo acceder (ver sección 5.1)

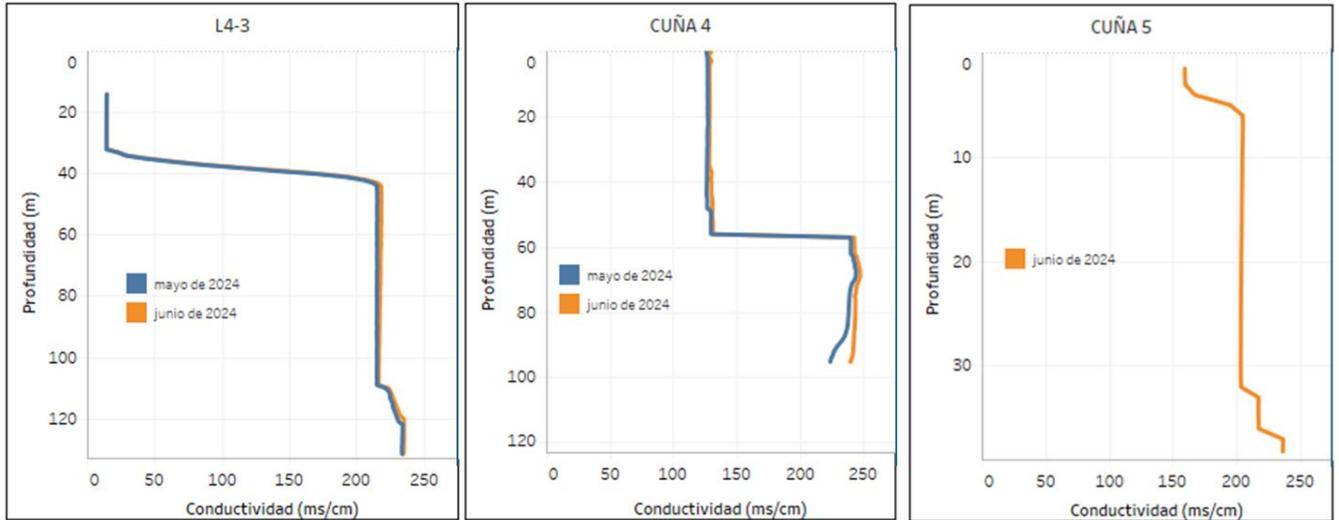
Las mediciones del perfil de CE obtenidas durante el presente período reportado en los pozos monitoreados se presentan en la Figura 5-48, Figura 5-49 y Figura 5-50, ordenados de norte a sur para cada perfil cuña. La Figura 5-48 presenta los perfiles de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3; la Figura 5-49 presenta los perfiles de CE para los pozos L4-3, Cuña 4 y Cuña 5; y finalmente, los perfiles de CE de L10-1 y Cuña 6 se muestran en la Figura 5-50. En el Anexo 6.2 se entregan todos los valores.

Figura 5-48: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3



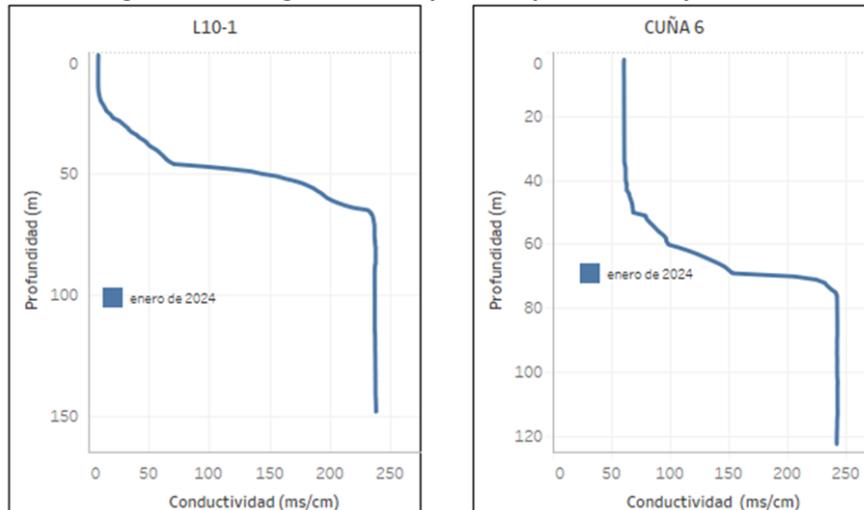
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-49: Registro de CE para los pozos L4-3, Cuña 4 y Cuña 5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-50: Registro de CE para los pozos L10-1 y Cuña 6



Fuente: Elaboración propia.

5.2 MONITOREO Y ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS

A continuación, se presentan los registros de nivel de agua/salmuera subterránea obtenidos en el período reportado en los indicadores de estado que conforman el Plan de Contingencias definido en la sección 4.3.8 del presente informe. Según lo indicado en dicha sección, se abordan los siguientes sistemas objeto del Plan de Contingencias (Tabla 5-31).

Tabla 5-31: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno

Plan de Contingencias comprometido en la RCA N°226/2006	Sistema Soncor
	Sistema Aguas de Quelana
	Sistema Vegetación Borde Este: Vegetación Hidromorfa
	Sistema Vegetación Borde Este: Vegetación Brea-Atriplex
	Sistema Vegetación Borde Este: Alerta Temprana
Plan de Contingencias provisorio comprometido en el PdC	Sistema Peine
Adicionales a la red comprometida	Pozos adicionales al PC

Fuente: Elaboración propia

El propósito de este apartado es comparar los resultados del primer semestre de 2024 con los umbrales respectivos de cada indicador de estado, refiriéndose particularmente a aquellas situaciones de activación de algunas de las fases del PC. El resumen del estado de activación de cada indicador del PC durante el registro del período reportado se muestra en la Tabla 5-32. A continuación, se presenta detalladamente cada uno de los sistemas.

Es importante mencionar que los indicadores de estado son medidos diariamente por la ETFA y adicionalmente SQM también realiza mediciones para contrastar los resultados y asegurar un mejor seguimiento de los indicadores de estado, como se describió en el capítulo 5.1. En el Anexo 5.5 se presentan las tablas con valores mínimos y máximos mensuales, junto con los umbrales de cada indicador.

Tabla 5-32: Estado del Plan de Contingencias

Compromiso	Sistema	Subsistema	Indicador de Estado	2024					
				enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
RCA 226/2006	Soncor	Soncor	L1-4	●	●	●	●	●	●
			L1-5	●	●	●	●	●	●
			L1-G4 REGLILLA	●	●	●	●	●	●
			L7-4	●	●	●	●	●	●
	Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	L3-5	●	●	●	●	●	●
			L3-9	●	●	●	●	●	●
			L4-8	●	●	●	●	●	●
			L4-12	●	●	●	●	●	●
			L5-8	●	●	●	●	●	●
			L5-10	●	●	●	●	●	●
	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L2-25	●	●	●	●	●	●
			L3-11	●	●	●	●	●	●
			L4-3	●	●	●	●	●	●
			L7-13	●	●	●	●	●	●
		Brea-Atriplex	L9-1	●	●	●	●	●	●
			L1-3	●	●	●	●	●	●
			L2-7	●	●	●	●	●	●
			L2-28	●	●	●	●	●	●
			L3-3	●	●	●	●	●	●
			L4-7	●	●	●	●	●	●
	Hidromorfa	L7-6	●	●	●	●	●	●	
		L9-1	●	●	●	●	●	●	
		L1-17	●	●	●	●	●	●	
		L2-4	●	●	●	●	●	●	
		L2-27	●	●	●	●	●	●	
		L3-5	●	●	●	●	●	●	
	PdC presentado en proceso SMA F-041-2016	Peine	Alerta Temprana	L4-10	●	●	●	●	●
				L7-3	●	●	●	●	●
1028				●	●	●	●	●	
L10-4				●	●	●	●	●	
Pozos adicionales	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L10-11	●	●	●	●	●	
			PN-05B_RWL	●	●	●	●	●	
	Brea-Atriplex	PN-08A_RWL	●	●	●	●	●		
		L2-26	●	●	●	●	●		
		L3-15	●	●	●	●	●		
		L2-25	●	●	●	●	●		
				L4-17	●	●	●	●	●
				L7-14	●	●	●	●	●
			L9-2	●	●	●	●	●	

■ Fase I activada
 ■ Fase II activada
 ■ Sin fases activadas

Nota: *Carta de aviso de activación lo emite SMA, y no se cuenta con la de los pozos indicados a la fecha
Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes secciones, se muestran los resultados del monitoreo en cada indicador de estado, organizados por sistemas, junto con los umbrales de activación de medidas de contingencia establecidos para cada uno de ellos (Fase I, Fase II o ambas, según corresponda). A partir de diciembre de 2018 existe el compromiso de monitorear los indicadores diariamente. Para facilitar la visualización y el análisis de la información recopilada durante el período reportado, en esta sección se presenta una tabla de resultados que contiene los valores mínimos y máximos de nivel o descenso, los umbrales de cada indicador y el gráfico con las mediciones efectuadas durante el semestre. Se destaca que, todos los niveles de agua/salmuera se expresan en m s.n.m., mientras que los descensos se expresan en m.

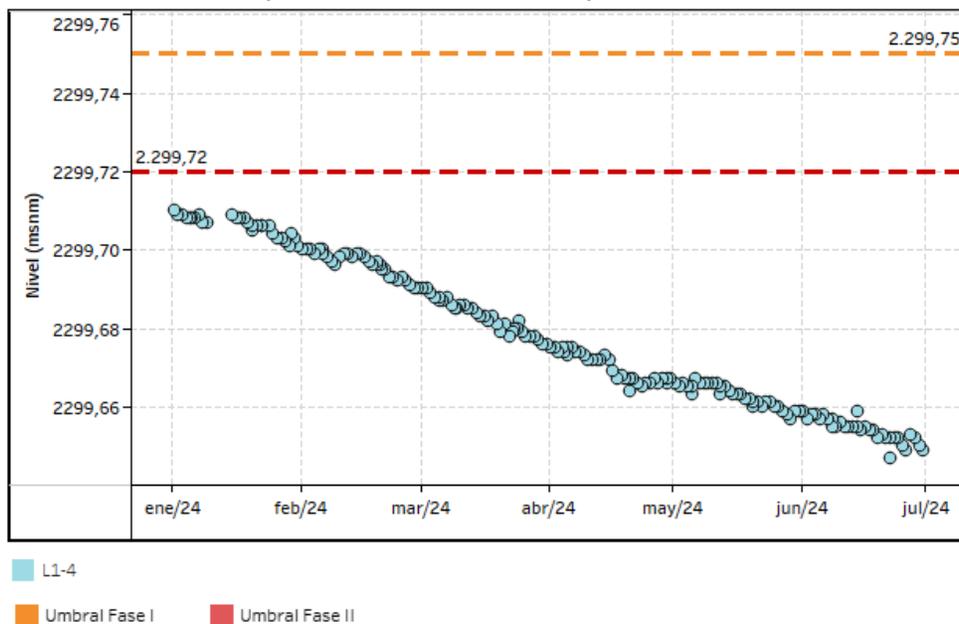
5.2.1 SISTEMA SONCOR

Los indicadores de estado del PC del Sistema Soncor incluyen los piezómetros L1-5, L7-4 y L1-4, así como el L1-G4 Reglilla; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC. Además del monitoreo manual, SQM cuenta con un transductor de presión en cada uno de los puntos para medir continuamente el nivel.

Los resultados del monitoreo de nivel en estos indicadores para el período reportado, con sus respectivos umbrales se muestran gráficamente en la Figura 5-51, Figura 5-52, Figura 5-53 y Figura 5-54. El Anexo 5.4 contiene el registro numérico de los valores de niveles (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador; también se muestran los gráficos de las mediciones realizadas.

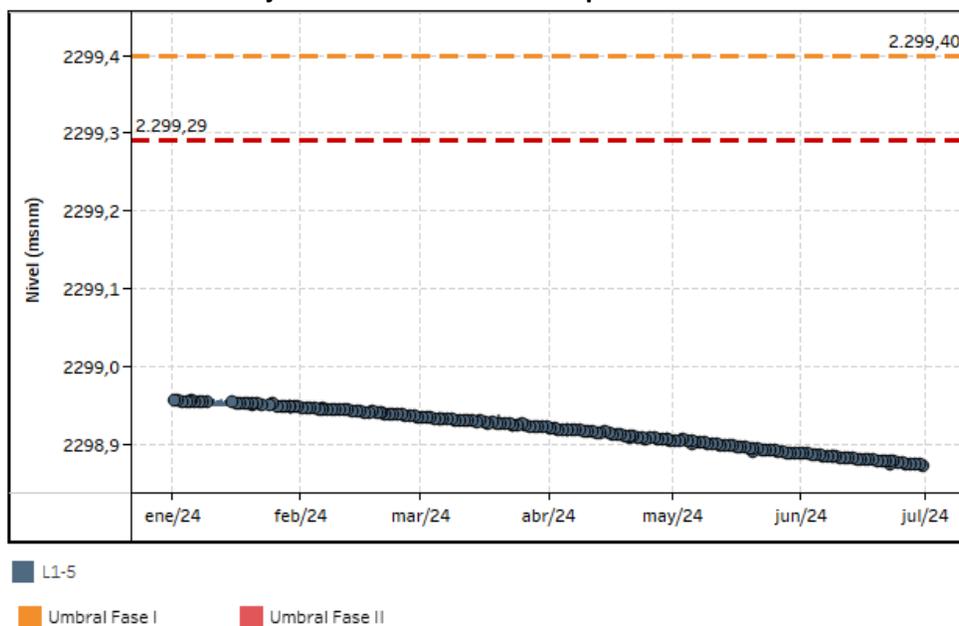
Según la información proporcionada, los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla, han permanecido con la Fase II activada durante el actual semestre, tras su activación en abril de 2021. Respecto al punto L1-4, ha mantenido activada la Fase II desde noviembre de 2023 hasta junio de 2024, con una tendencia de descenso. En diciembre de 2023 se emitió el respectivo informe que detalla las causas de su activación y el efecto de la medida implementada (Informe de Investigación Fase II del Plan de Contingencias SQM Salar de Atacama, punto de monitoreo L1-4). Es importante señalar que el pozo L1-4 está definido en la RCA N°226/2006 como un indicador de estado asociado al acuífero aluvial. Sin embargo, al situarse al otro lado de la interfaz salina, este punto se encuentra desconectado hidráulicamente del acuífero aluvial. En definitiva, este indicador no es idóneo para monitorear el estado del objeto de protección como mecanismo de alerta temprana. Por último, el indicador L7-4 no ha sobrepasado ninguno de los dos umbrales del PC durante el primer semestre y desde abril de 2024, ha mostrado una tendencia de ascenso.

Figura 5-51: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

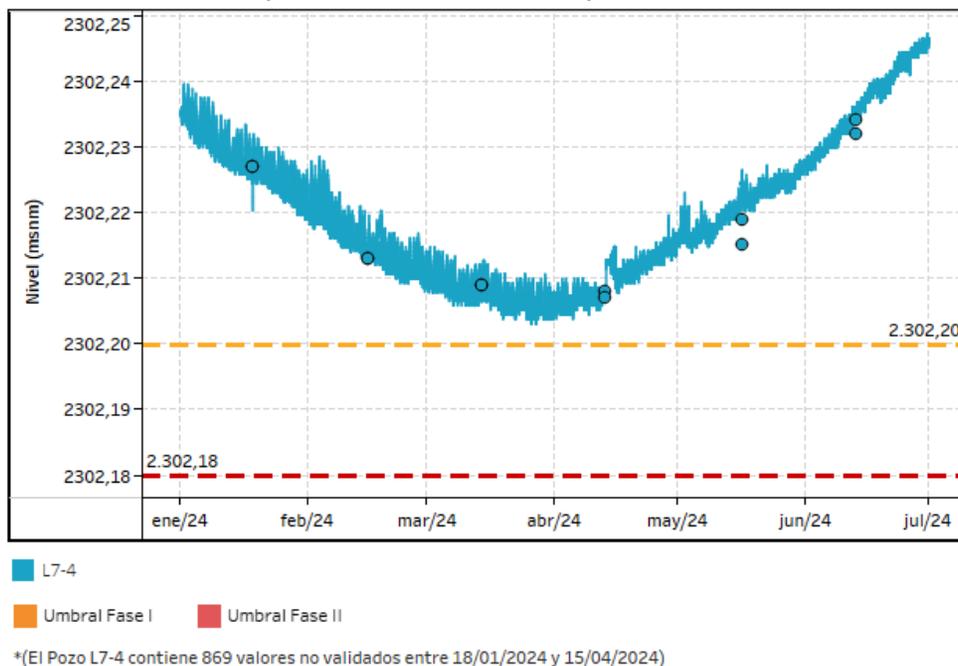
Figura 5-52: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente



*(El Pozo L1-5 contiene 6 valores no validados entre 06/03/2024 y 29/06/2024)

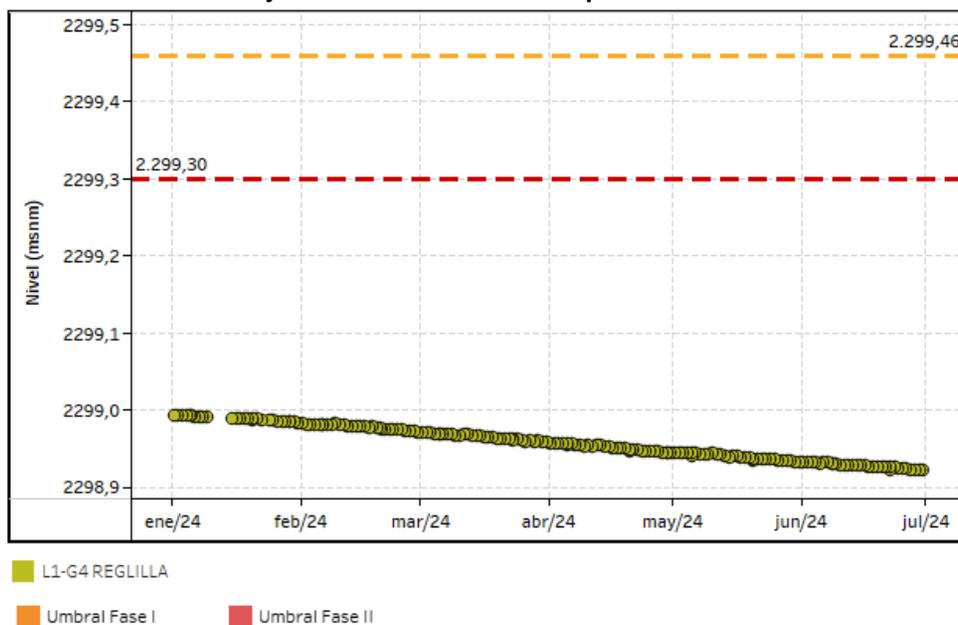
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-53: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-54: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores estado L1-G4 Reglilla del PC Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Aguas de Quelana son los piezómetros L3-5, L3-9, L4-8, L4-12, L5-8 y L5-10; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC. Adicional al monitoreo manual, SQM cuenta con un transductor de presión para medición continua de nivel.

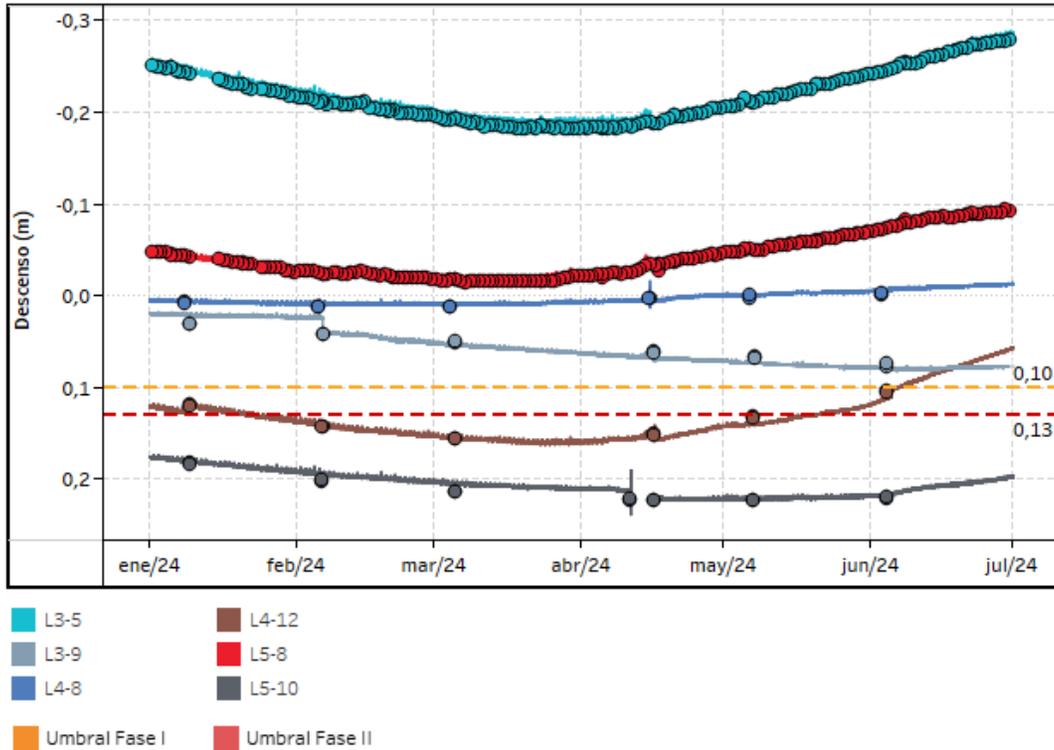
En la Figura 5-55 se muestran los descensos calculados para estos indicadores durante el semestre, que incluyen los valores de monitoreo continuo, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación. El Anexo 5.4 contiene el registro de los valores de descensos (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador; también se muestran los gráficos de las mediciones realizadas.

Los indicadores de estado del PC del Sistema Aguas de Quelana tienen como referencia para la activación de Fase I un descenso máximo de 0,10 m, mientras que para la Fase II, el descenso máximo fijado es de 0,13 m. En ambos casos el descenso se calcula respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control (mayo de 2007).

Durante el primer semestre de 2024, los indicadores L3-5, L3-9, L4-8 y L5-8 no han activado ninguna de las dos fases del PC. Por el contrario, el indicador L4-12 sobrepasó el umbral Fase II en febrero, pero recuperó el nivel en julio saliendo de ambas fases y desactivando la alerta. En indicador L5-10 se mantiene en Fase II desde 2023.

Respecto al pozo L4-12, este indicador activó por primera vez la Fase II en enero de 2024, la cual se mantuvo hasta mayo, y seguidamente, la Fase I se desactivó en junio. El informe de investigación que indica las causas de su activación se entregó a la autoridad el 21 de febrero de 2024 mediante la carta conductora GMAL N°55/2024.

Figura 5-55: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes



*(El Pozo L3-5 contiene 146 valores no validados entre 15/04/2024 y 23/06/2024)
 *(El Pozo L3-9 contiene 86 valores no validados entre 17/01/2024 y 16/04/2024)
 *(El Pozo L4-8 contiene 58 valores no validados entre 08/01/2024 y 15/04/2024)
 *(El Pozo L4-12 contiene 33 valores no validados entre 09/01/2024 y 30/06/2024)
 *(El Pozo L5-8 contiene 125 valores no validados entre 17/04/2024 y 25/05/2024)
 *(El Pozo L5-10 contiene 7.171 valores no validados entre 09/01/2024 y 30/06/2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: VEGETACIÓN HIDROMORFA

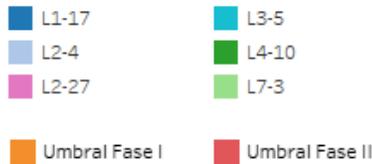
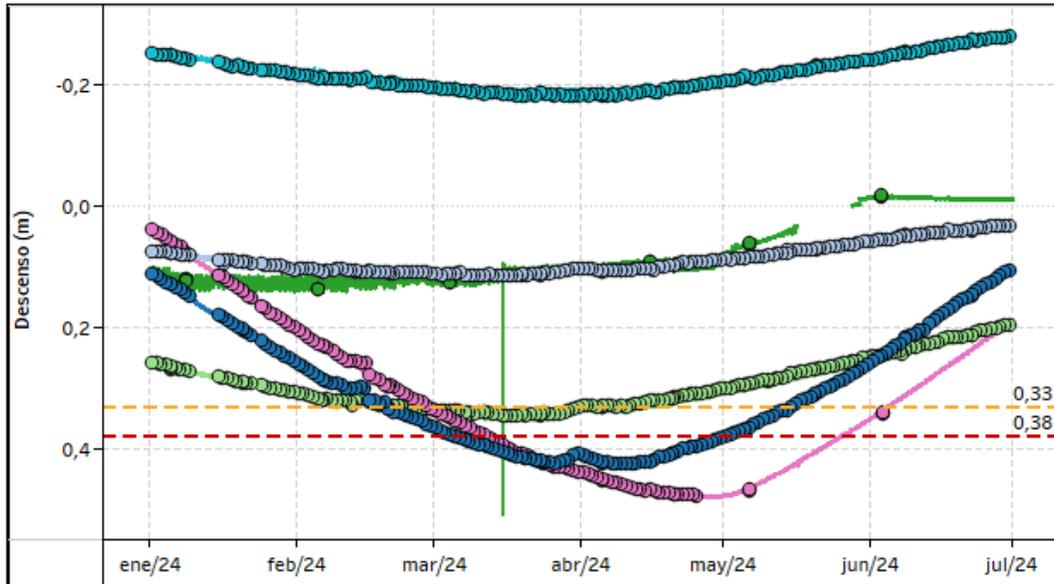
Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Vegetación Hidromorfa son los piezómetros L7-3, L2-4, L3-5, L4-10, L1-17 y L2-27; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo definido en el PdC propuesto a la SMA. Adicionalmente al monitoreo manual, se cuenta con las mediciones continuas en todos los puntos.

En la Figura 5-56 se presentan los descensos calculados para estos indicadores durante el semestre, que incluyen los resultados del monitoreo continuo, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación. En el Anexo 5.5 contiene el registro de los valores de descensos (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador.

Los indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa, tienen como referencia para la activación de Fase I un descenso máximo de 0,33 m, mientras que para la Fase II, el descenso máximo fijado es de 0,38 m. Lo anterior es respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control (mayo de 2007).

Durante el semestre reportado, los indicadores L2-4, L3-5 y L4-10 no registraron activaciones de ninguna de las fases del PC. En contraste, el pozo L7-3 activó la Fase I en febrero de 2024, posteriormente desactivada en abril del mismo año. Asimismo, los indicadores L1-17 y L2-27 activaron la Fase I en febrero y seguidamente, activaron la Fase II en marzo del presente año. Sin embargo, desde mayo de 2024 ambos indicadores han mostrado una tendencia de ascenso del nivel, en donde el L1-17 desactivó la Fase en mayo y el L2-27 en junio de 2024.

Figura 5-56: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa



*(El Pozo L1-17 contiene 6 valores no validados entre 01/01/2024 y 20/04/2024)
 *(El Pozo L2-4 contiene 72 valores no validados entre 16/01/2024 y 20/04/2024)
 *(El Pozo L2-27 contiene 25 valores no validados entre 01/01/2024 y 21/04/2024)
 *(El Pozo L3-5 contiene 146 valores no validados entre 15/04/2024 y 23/06/2024)
 *(El Pozo L4-10 contiene 33.442 valores no validados entre 15/03/2024 y 28/05/2024)
 *(El Pozo L7-3 contiene 72.060 valores no validados entre 12/02/2024 y 10/06/2024)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: VEGETACIÓN BREA-ATRIPLEX

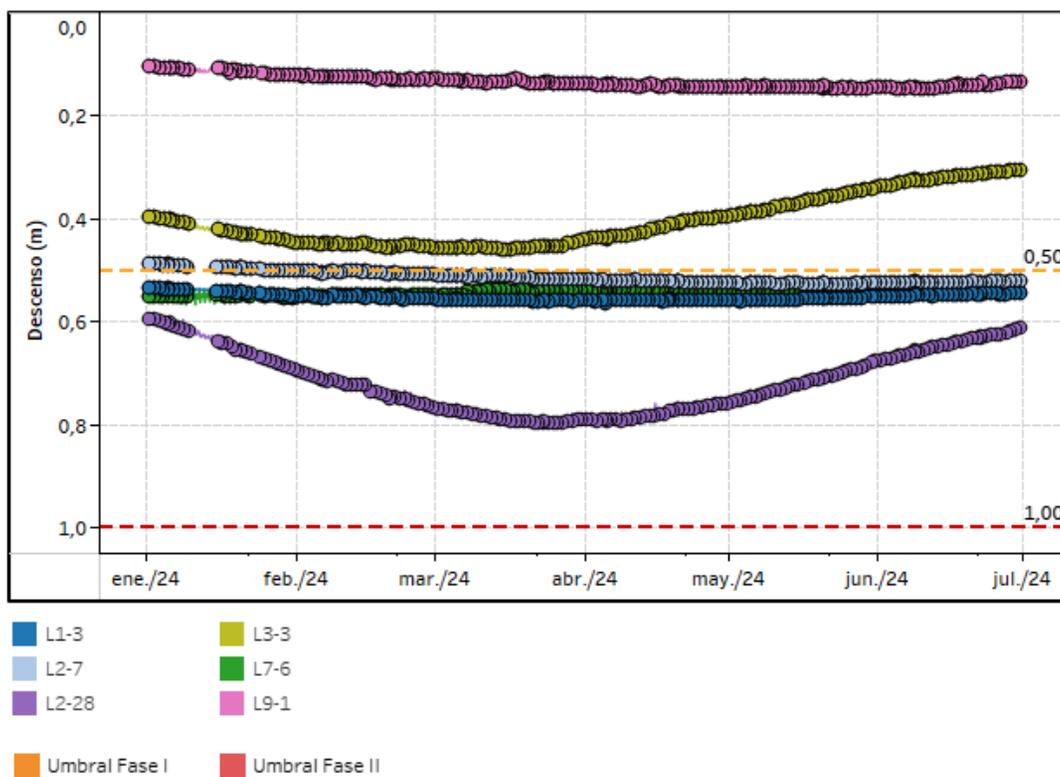
Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Brea-Atriplex son los piezómetros L1-3, L2-7, L2-28, L3-3, L4-7, L7-6 y L9-1; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC. Adicionalmente al monitoreo manual, se disponen de mediciones continuas en todos los puntos, según lo comprometido en la RCA N°226/2006.

En la Figura 5-57 se presentan los descensos calculados para estos indicadores durante el semestre, que incluyen los resultados del monitoreo continuo, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación. El Anexo 5.5 contiene el registro de los valores de descensos (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador.

Los indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea-Atriplex, tienen como referencia para la activación de Fase I un descenso máximo de 0,50 m, mientras que para la Fase II, el descenso máximo fijado es de 1,00 m. Lo anterior es respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control (mayo de 2007).

Durante el período reportado, los indicadores L3-3, L4-7 y L9-1 no registraron activaciones de ninguna de las fases del PC. Por el contrario, los niveles de los pozos L7-6 y L1-3 se han mantenido por debajo del umbral de la Fase I, permaneciendo ésta activada a lo largo del semestre. Dicha situación también ocurre con el punto L2-28, que inicialmente presentaba una tendencia de descenso más prominente y, desde abril de 2024, la tendencia ha mostrado un ascenso continuo. Cabe señalar que, este indicador responde a la propia estacionalidad del sector, lo cual explica las sucesivas activaciones y desactivaciones de la Fase I desde noviembre de 2020.

Figura 5-57: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex



*(El Pozo L1-3 contiene 152 valores no validados entre 18-04-2024 y 30-06-2024)
 *(El Pozo L2-7 contiene 90.778 valores no validados entre 01-01-2024 y 11-06-2024)
 *(El Pozo L3-3 contiene 12 valores no validados entre 20-04-2024 y 20-04-2024)
 *(El Pozo L7-6 contiene 102 valores no validados entre 25-01-2024 y 17-02-2024)
 *(El Pozo L9-1 contiene 12 valores no validados entre 08-01-2024 y 17-06-2024)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: ALERTA TEMPRANA

Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Brea-Atriplex – Alerta temprana son los piezómetros L7-13, L2-25, L3-11, L4-3 y L9-1; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC.

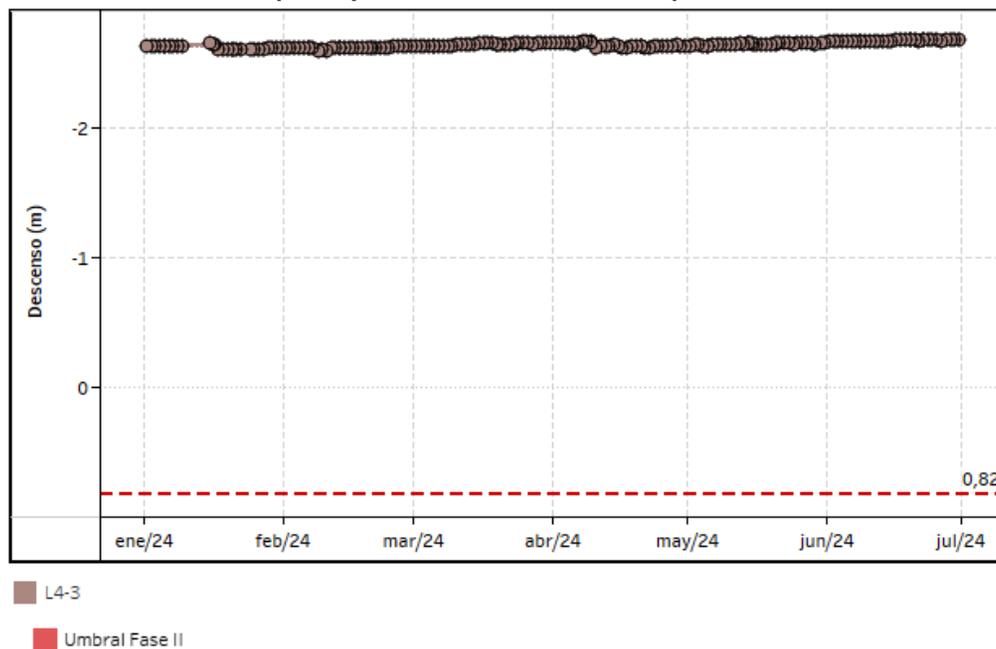
De acuerdo con lo establecido en la evaluación ambiental del Proyecto, los pozos de monitoreo del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Alerta Temprana, poseen únicamente umbrales de activación de Fase II.

Los límites se establecieron con el propósito de asegurar un descenso máximo de 1,00 m en la zona de conexión vegetación-acuífero. En efecto, el umbral de descenso para cada punto de Alerta Temprana oscila entre 0,82 y 1,25 m, ya que depende de la ubicación específica de cada indicador de estado. Este límite es calculado respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo (mayo 2007).

Los resultados del monitoreo en el período reportado de estos indicadores, que incluyen los descensos calculados, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación de cada indicador se muestran en la Figura 5-58, Figura 5-59, Figura 5-60 y Figura 5-61. El Anexo 5.5 contiene el registro de los valores de descensos (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador.

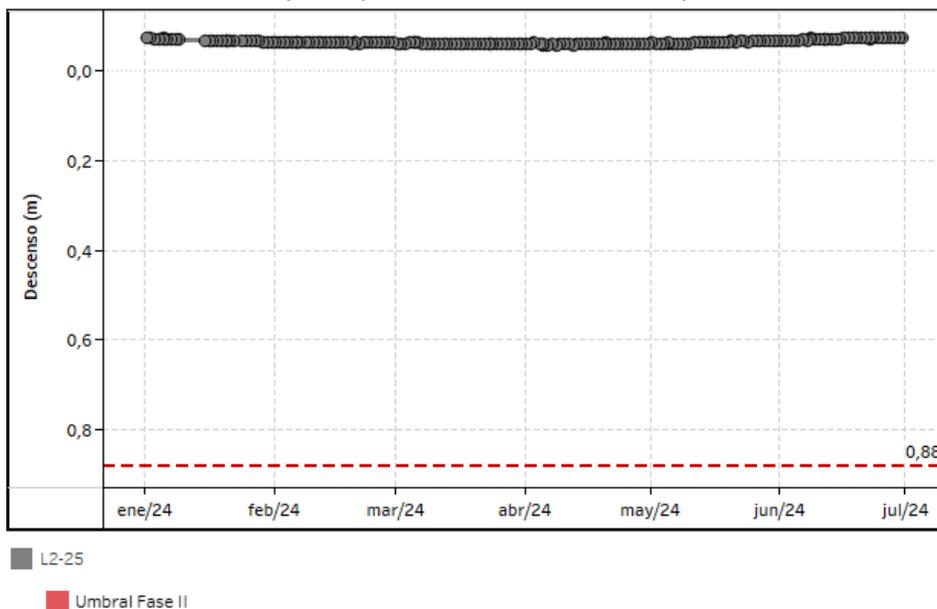
El L3-11 es el único indicador de este grupo que no cuenta con mediciones diarias para este semestre, ya que se encuentra dentro de RNLF. Pese a esto, dispone de al menos 2 mediciones mensuales, realizadas tanto por SEGEA como por SQM. En base a la información presentada, durante el actual período, ninguno de los indicadores superó su respectivo umbral de Fase II.

Figura 5-58: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

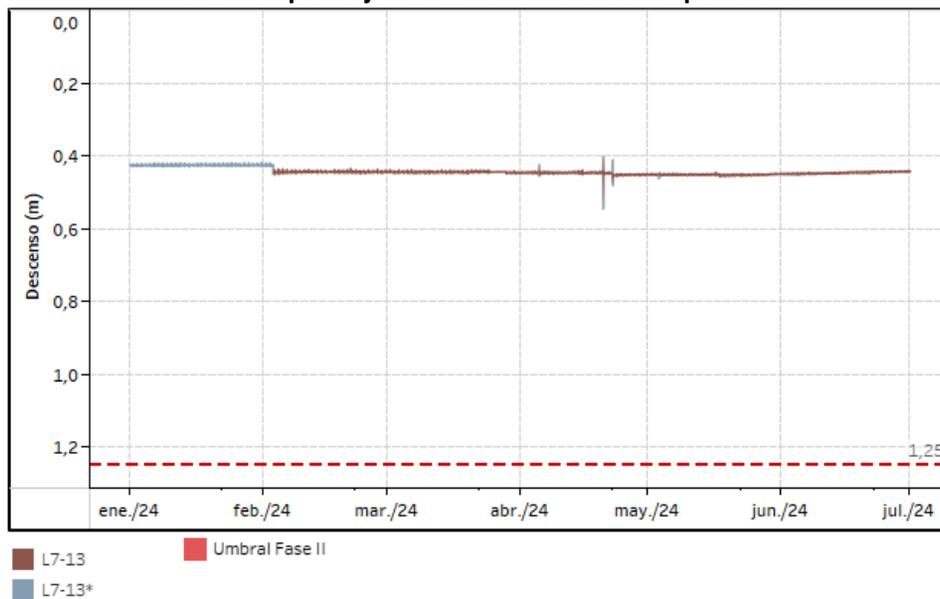
**Figura 5-59: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este
Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente**



*(El Pozo L2-25 contiene 40 valores no validados entre 12/01/2024 y 11/06/2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

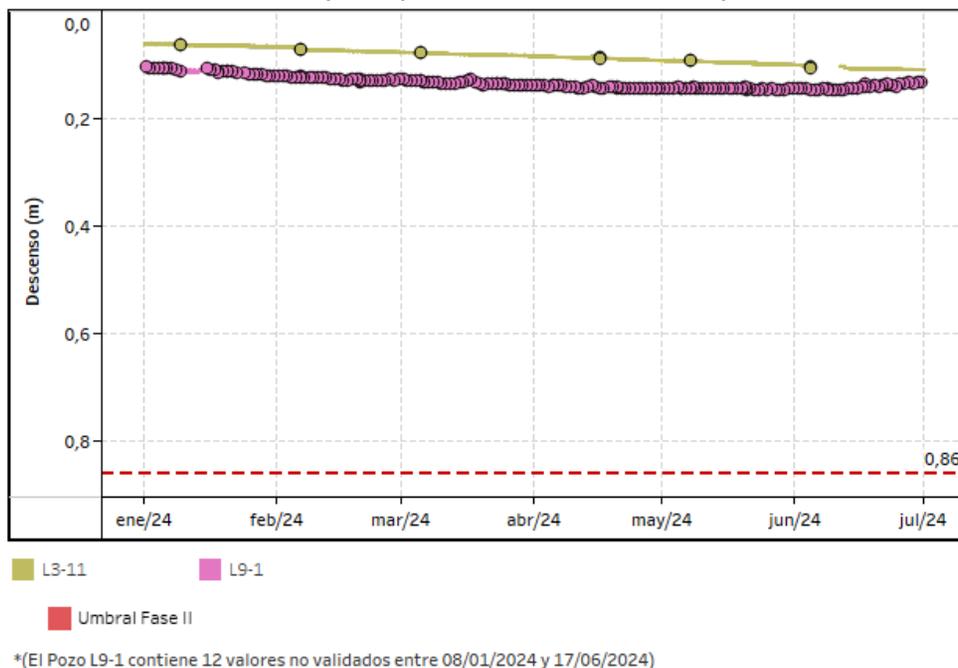
**Figura 5-60: Descensos observados (m) en el indicador de estado L7-13 del PC Sistema Borde Este
Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente**



*(El Pozo L7-13 contiene 48.343 valores no validados entre 01-01-2024 y 03-05-2024)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-61: Descensos observados (m) en los indicadores de estado L3-11 y L9-1 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.6 SISTEMA PEINE

Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema de Peine son los piezómetros L10-4, L10-11 y 1028; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC.

Los indicadores de estado que representan el Sistema de Peine están definidos en el marco del procedimiento administrativo Rol F-041-2016 de la SMA; como ya se ha descrito en el capítulo 4, se contemplan los indicadores de estado y umbrales de activación de Fase I y/o II definidos en el marco del PdC propuesto en el procedimiento F-041-2016, y cuyo cumplimiento fue exigido en el marco de las medidas provisionales dictadas mediante Resolución Exenta N°1367/2020, de 6 de agosto de 2020, y renovadas a través de Resolución Exenta N°2141/2020, de 28 de octubre de 2020, tanto en el seguimiento del proyecto aprobado por la RCA N°226/2006 (piezómetros 1028, L10-11 y L10-4), como a los piezómetros PN-05B y PN-08A establecidos en el considerando 10.18 de la RCA N°21/2016 del proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”, del

titular Albemarle (ex Rockwood)¹³. Las especificaciones y fundamentos técnicos de estos indicadores, umbrales y medidas de control aplicables al sistema Peine se presentan en los anexos 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3 del PdC propuesto a la SMA, los que se adjuntan en el Anexo 13 del presente informe.

Para los piezómetros pertenecientes a SQM, el PC provisorio compromete el contraste entre las mediciones efectuadas con frecuencia diaria respecto a los umbrales establecidos en el PdC¹⁴. Para el caso de los piezómetros PN-05B y PN-08A. Si bien SQM no tiene comprometidas mediciones en estos puntos, ya que son propiedad de Albemarle, en el PdC se establece que la adopción de medidas de control se condiciona al aviso por parte de la SMA a SQM de la activación de Fase II. Para el período reportado, no se ha producido dicha comunicación, por lo que se entiende que no hubo activación de la Fase II en estos indicadores.

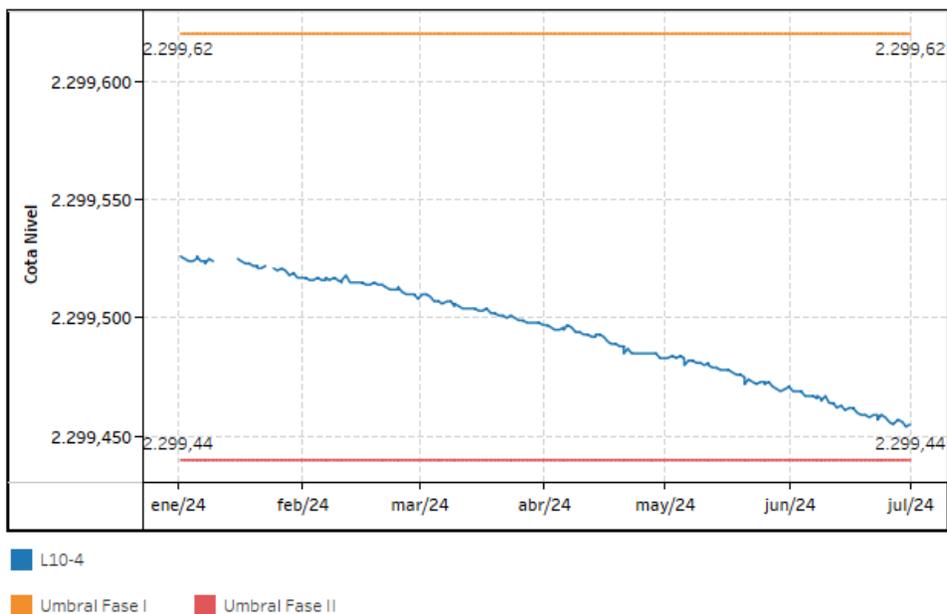
Los resultados del monitoreo de nivel en estos indicadores para el período reportado, que incluyen las mediciones comprometidas (diarias por SEGEA) y las complementarias (mensuales por SQM), con sus respectivos umbrales se muestran gráficamente en la Figura 5-62, Figura 5-63 y Figura 5-64. El Anexo 5.5 contiene el registro numérico de los valores de niveles (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador.

Durante el primer semestre de 2024 se han mantenido las activaciones de Fase I que se describieron para el semestre pasado en el informe PSAH N°34 para L10-4, L10-11 y 1028. Adicionalmente, el indicador L10-11, activó la Fase II en julio de 2024. El informe de investigación que indica las causas de su activación será entregado a la autoridad a su fecha correspondiente.

¹³ Adicionalmente, a la fecha de presentación de este informe, la Superintendencia del Medio Ambiente ha ordenado medidas provisionales a través de Resolución Exenta N°1367/2020, de 6 de agosto de 2020, renovadas mediante Resolución Exenta N°2141/2020, de 28 de octubre de 2020, que disponen la continuidad a estas acciones, en los términos que se explican en la sección 4.7.

¹⁴ Actual acción 42 (Ex acción 33): Aplicar los umbrales de activación de fase I y/o II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto calificado mediante RCA N°226/2006, como en los pozos PN-05B y PN-08A del sector Alerta Núcleo del Plan de Alerta Temprana del considerando 10.18 de la RCA N°21/16, y las correspondientes medidas de control, cuando corresponda.

Figura 5-62: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine



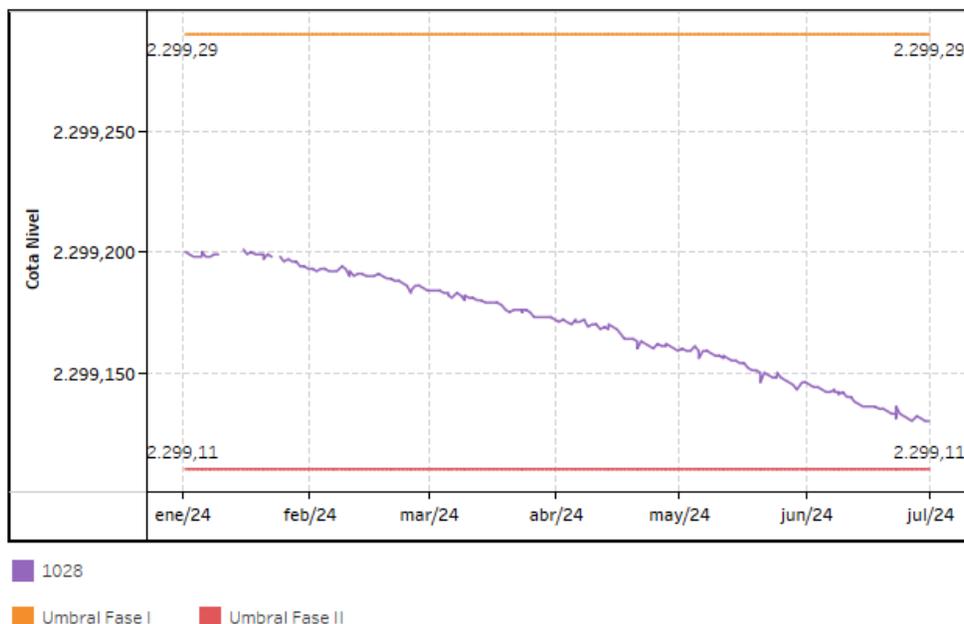
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-63: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-64: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado 1028 del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.7 POZOS ADICIONALES AL PLAN DE CONTINGENCIAS

Dentro del PC del Proyecto, SQM contempla 6 indicadores de estado adicionales correspondientes a piezómetros de control del nivel de agua/salmuera (Tabla 5-33) que complementan la red de monitoreo del Sistema Vegetación Borde Este. De esta manera, se vela por el resguardo de los sistemas de Vegetación del Borde Este del Salar de Atacama que son objeto de protección ambiental.

Tabla 5-33: Indicadores de estado adicionales al Plan de Contingencias

Sistema	Subsistema	Indicadores de estado adicionales
Sistema Vegetación Borde Este	Vegetación Brea-Atriplex	L7-14
		L4-17
		L9-2
		L2-25
	Zona Alerta Temprana	L2-26 L3-15

Fuente: Elaboración propia.

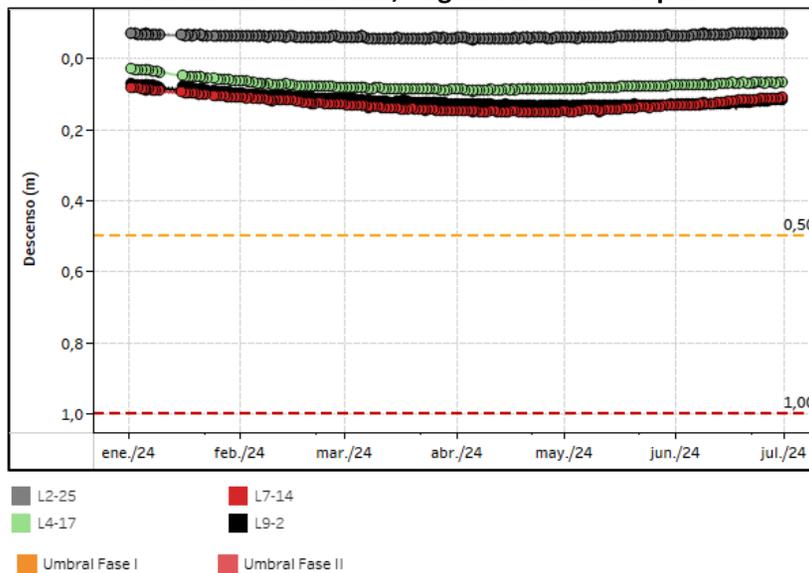
La definición de los umbrales para estos puntos de control se realizó bajo los mismos criterios de la RCA N°226/2006. De esta manera, los indicadores de estado adicionales que forman parte del Subsistema

Vegetación Brea-Atriplex tienen como referencia para la activación de Fase I un descenso máximo de 0,50 m, mientras que para la Fase II, el descenso máximo es de 1,00 m. Los límites anteriores están definidos respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control. Por su parte, los indicadores de estado adicionales para el Subsistema Alerta Temprana solo poseen umbrales de activación de Fase II, límites fijados con el objeto de asegurar que no se generen descensos superiores a 1,0 m en la zona de conexión vegetación-acuífero, estableciéndose umbrales de 0,78 m para el pozo L2-26 y 0,85 m para el pozo L3-15.

Los resultados del monitoreo en el período reportado en estos indicadores, que incluyen los descensos diarios, los umbrales de cada indicador y las mediciones de SQM (en forma de descenso calculado), se presentan de forma gráfica (Figura 5-65, Figura 5-66 y Figura 5-67). En el Anexo 5.5 contiene el registro de los valores de descensos (mínimos y máximos), junto con los umbrales de cada indicador.

De la información presentada se concluye que, durante el período reportado, en ninguno de los indicadores de estado se superaron los umbrales correspondientes. En la sección 6.2 del presente informe se realiza un análisis más detallado del estado del PC.

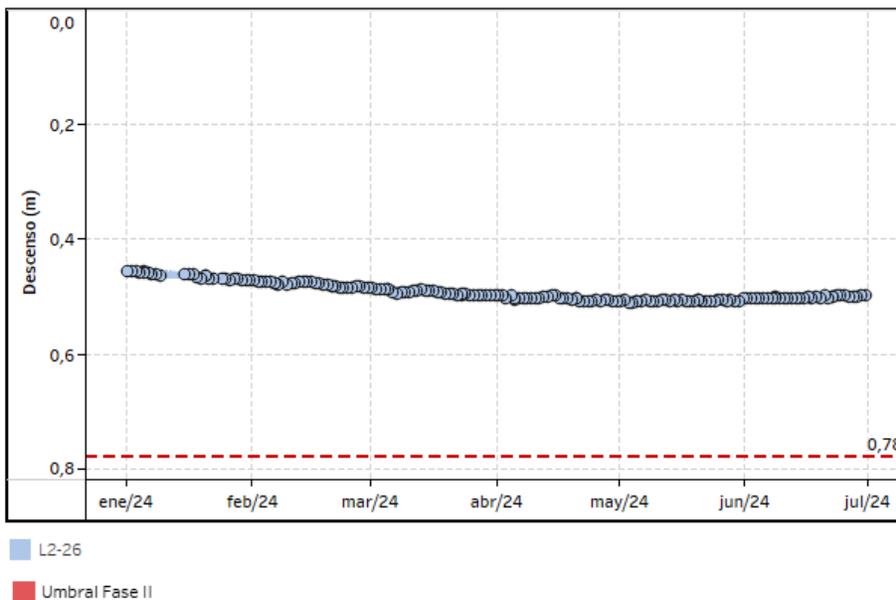
Figura 5-65: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex



*(El Pozo L2-25 contiene 40 valores no validados entre 12-01-2024 y 11-06-2024) ...

Fuente: Elaboración propia.

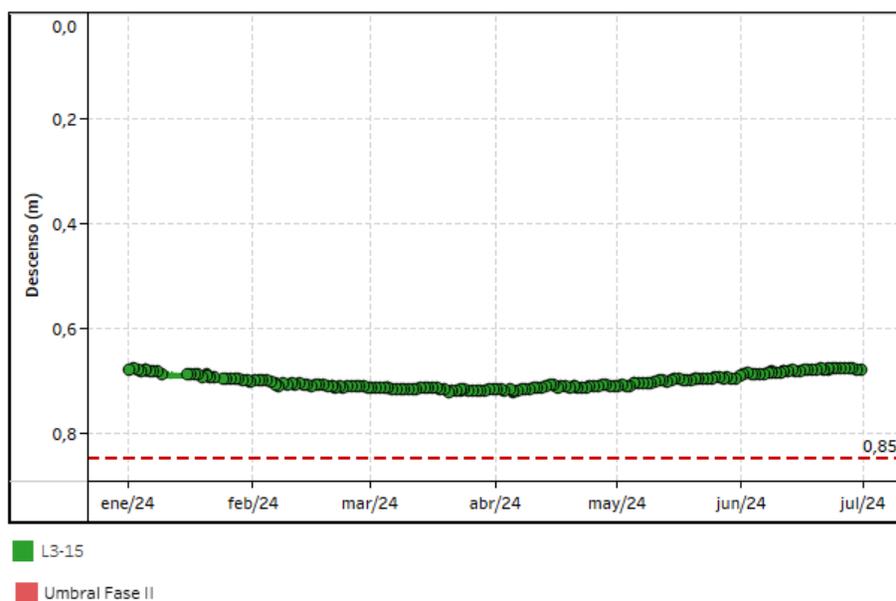
Figura 5-66: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana



*(El Pozo L2-26 contiene 6 valores no validados entre 09/02/2024 y 04/06/2024)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-67: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana



*(El Pozo L3-15 contiene 13 valores no validados entre 27/03/2024 y 11/06/2024)

Fuente: Elaboración propia.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente sección se analizan y discuten las mediciones del PSAH, incluyendo tanto los registros obtenidos en el último semestre, como las tendencias históricas y regionales para cada uno de los sistemas ambientales. En particular, se incluye el análisis de niveles de aguas subterráneas y superficiales, superficies lacustres, caudales de extracción, calidad química, meteorología y aforos de caudal.

Primero, se analizarán todas las variables que componen el PSAH, ya que esto permite conocer la dinámica hidrogeológica general de parte del norte, borde este y sur del Salar y los posibles cambios que se estén efectuando. En un segundo apartado se profundiza el patrón de comportamiento de los indicadores asociados al Plan de Contingencia del Proyecto y de los puntos de control definidos para el Sistema Peine, en relación con el marco hidrogeológico descrito, lo que permite analizar la tendencia de los indicadores en relación con los umbrales establecidos.

6.1 ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL

Se analiza el comportamiento histórico de los puntos de control asociados al PSAH. Esto incluye un análisis de todas las variables reportadas en la red de monitoreo (niveles, superficies lagunares, meteorología, caudal bombeado o extracciones, calidad química y aforos) para todos los sistemas.

El objetivo principal es, primero, conocer las dinámicas hidrológicas e hidrogeológicas que se dan en los sistemas objeto de protección a nivel histórico a partir de la evaluación del comportamiento de los parámetros en el tiempo. A partir de esto, el segundo objetivo es el de poder analizar los nuevos datos medidos del presente semestre y valorar si se muestran desviaciones respecto a estas dinámicas.

Por este motivo, es necesario agrupar los puntos de control con una visión global del sistema hídrico; la división entre sistema Soncor, sistema Aguas de Quelana y sistema Vegetación Borde Este, supone una dificultad al lector a la hora de entender el mecanismo de funcionamiento hidrogeológico, mediante el cual los cuerpos lagunares y canales de Soncor y la zona de lagunas difusas de Quelana reciben sus aportes y ejercen una influencia en su entorno. Por lo anterior, se propone en esta sección abordar el análisis para el sistema Soncor, por un lado, y el sistema Aguas de Quelana, por otro, tomando como dominio para ambos la zona comprendida desde el acuífero aluvial y hasta el núcleo. No obstante, se mantiene la distinción del sistema Vegetación Borde Este para los puntos del entorno del pozo de agua industrial

CA-2015. En el caso del sistema Peine no es necesario reagrupar los puntos dado que la delimitación de este sector abarca las distintas zonas del sistema: aluvial, marginal, núcleo y lagunas.

En la misma línea, para exponer este análisis global, se incluyen los niveles de los puntos que forman parte del Plan de Contingencia, ya que también forman parte de la red PSAH y permiten robustecer las conclusiones sobre las dinámicas que mueven los sistemas de protección. De esta manera, en el siguiente apartado se podrá abordar un análisis más preciso sobre las tendencias de los indicadores de estado del Plan de Contingencia con respecto los umbrales definidos en el mismo.

La metodología adoptada para el análisis de los niveles se basa en la aplicación de varios conceptos en hidrogeología que permite entender las dinámicas que condicionan un acuífero subterráneo y la forma en que se conecta con los cuerpos de agua superficiales. A continuación, se expone uno por uno:

- i. **Estacionalidad en los niveles:** cuando los niveles están influenciados por las componentes naturales del medio (atmosféricas), suelen presentar una fuerte estacionalidad (registro de los máximos durante los meses de invierno y los mínimos en los meses de verano). Es esperable reconocer este tipo de comportamiento en medios donde hay una fuerte influencia de la evaporación o influencia de la dinámica estacional y propia de los cuerpos lagunares. Para este análisis resulta también relevante caracterizar aquellos niveles que se presentan sin evidencia de variabilidad estacional. Significa, entonces, que los niveles reflejan eventos puntuales como, por ejemplo, la respuesta directa a los eventos de precipitación y su posterior recuperación a una tendencia base.
- ii. **Tendencias en los niveles:** se identifica la tendencia de descenso, ascenso o estable (ni ascenso ni descenso) para la serie promedio de los datos. En ocasiones es conveniente fijar la atención a la tendencia de los mínimos y los máximos de forma separada, ya que en estos casos los fenómenos que rigen el comportamiento de los niveles pueden ser distintos entre meses de invierno y verano.
- iii. **Cálculo del descenso:** este recurso se usa en las ocasiones en que es necesario analizar el comportamiento conjunto de niveles en pozos que se encuentran a cotas piezométricas muy distantes. De esta forma, el gráfico resultante permite identificar las variaciones a una escala mucho más adecuada cuando el objetivo es, por ejemplo, comparar las pendientes de descenso entre los puntos graficados, la amplitud de la oscilación o el grado de respuesta a las

precipitaciones. El cálculo del descenso se ha obtenido a partir de aplicar la siguiente expresión: $h'_t = h_{inicial} - h_t$, donde (h'_t) es el descenso en un tiempo (t), (h_t) es el nivel para el mismo tiempo (t) y $(h_{inicial})$ es un nivel inicial de referencia. A modo de unificar, cuando se requiere el cálculo del descenso en el análisis, se toma enero de 2008 como $h_{inicial}$ con el objetivo de asegurar un valor inicial para todos los pozos para la misma fecha inicial, dado que es a partir de esta fecha cuando el total de los puntos cuenta con mediciones de nivel.

- iv. **Diferencias de altura piezométrica:** Se basa en el concepto de las redes de flujo, donde los niveles situados a una misma cota (m s.n.m.) constituyen las líneas equipotenciales, de esta forma, las direcciones de flujo son perpendiculares a éstas y en sentido de mayor a menor cota piezométrica.
- v. **Efecto de la precipitación:** una característica que se puede identificar sobre los niveles es el efecto que les produce un evento de recarga por lluvia; permite diferenciar si el punto se ve influenciado de forma directa por la lluvia (respuesta inmediata) o bien en forma de recarga indirecta o lateral (respuesta más tardía y en ocasiones suavizada). Todos los gráficos de niveles (no dinámicos) se muestran con el registro de la estación meteorológica de Chaxa, que es la estación más representativa de la zona en la que se encuentra la red de monitoreo y los sistemas a proteger, especialmente, del sector norte del Salar.

La metodología de análisis de la calidad química de las aguas se enfoca principalmente en evaluar tendencias generales mediante la evolución temporal para los distintos parámetros con el objetivo evidenciar posibles cambios en el funcionamiento de los sistemas y, en lo posible, tratar de atribuir el origen de éstos. Así mismo, se comprueba que los cambios que se observen muestren correlación entre varios parámetros fisicoquímicos y químicos, ya que resulta muy poco probable que un cambio en la calidad del agua se produzca para un único parámetro. De forma indirecta, el análisis y la información levantada sirve también de mejora en el conocimiento del modelo conceptual del sistema que permite elaborar otros trabajos sobre la cuenca.

Para aquellos puntos con información disponible se realizan diagramas de Piper, que permiten clasificar los distintos tipos de agua en la cuenca y también evaluar si existen cambios en el registro histórico.

Los aforos se han analizado partiendo de algunos conceptos similares al de los niveles, como el efecto de los eventos de precipitación o la estacionalidad. Respecto de las variables meteorológicas, son mediciones que no pueden analizarse más allá de una descripción cualitativa y cuantitativa general ya que, para el

propósito de este trabajo, los datos suponen un input de cara al análisis de los sistemas de agua. Finalmente, el caudal de los pozos de agua industrial es una variable de manejo antrópico, por el que se muestra un análisis solo descriptivo. Estas dos variables son más bien explicativas de posibles cambios que puedan observarse en el sistema y los objetos de protección.

Todos los gráficos temporales que se muestran en este capítulo cuentan con una franja gris que destaca el periodo que se está reportando, que en este caso es el primer semestre de 2024. Así se facilita visualmente el análisis del comportamiento medido en este periodo con respecto las tendencias históricas.

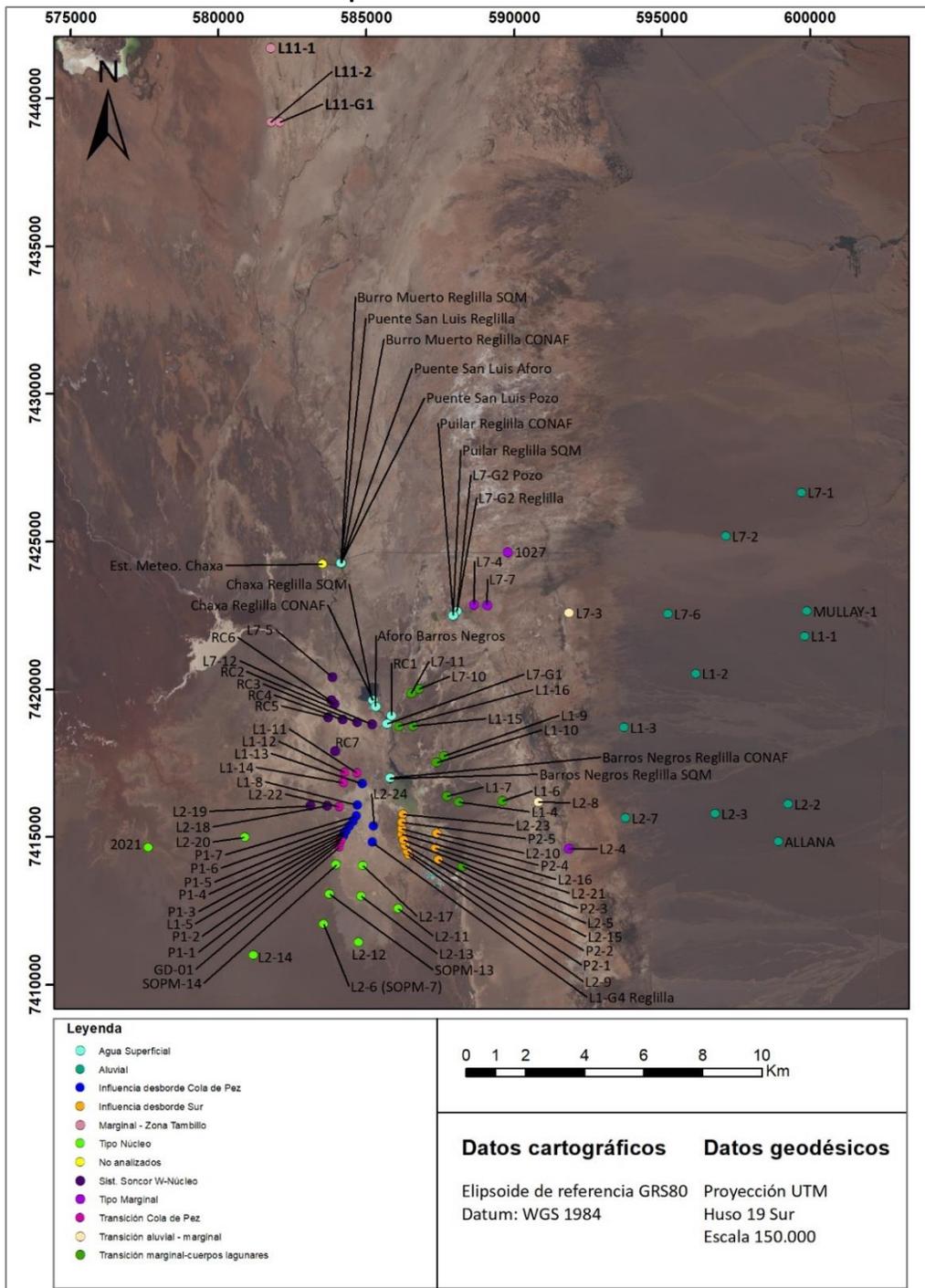
6.1.1 SISTEMA SONCOR – VEGETACIÓN BORDE ESTE

Para esta descripción se cuenta con una delimitación del sistema Soncor aproximada, en que se consideran los puntos desde el acuífero aluvial y hasta el núcleo y que incluye todo el sistema hidrológico de las lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros (Figura 6-1). De esta forma los puntos que se describen en este apartado son los que la RCA N°226/2006 engloba en el Sistema Soncor junto con los siguientes puntos pertenecientes al Sistema Vegetación Borde Este:

- **De la serie L1:** L1-3 y L1-17.
- **De la serie L2:** L2-4, L2-7, L2-12, L2-17, L2-25, L2-26.
- **De la serie L7:** L7-3, L7-6, L7-13, L7-14, L7-15.

Cabe decir para efectos del capítulo 6, desde este punto del reporte y en adelante se tratará a este sector correspondiente al sistema Soncor – Vegetación Borde Este, dado que la delimitación del sistema Vegetación Borde Este corresponde a condicionantes en la vegetación y no a términos hidrogeológicos. Por lo que se cree más conveniente tratarlo como un único sistema para el análisis.

Figura 6-1: Infraestructura presente en el sistema Soncor – Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

6.1.1.1 Niveles de agua subterránea y superficial

En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sistema Soncor – Vegetación Borde Este, con énfasis en la comparación entre el registro histórico respecto a las mediciones obtenidas durante el primer semestre de 2024.

El análisis se presenta según con el tipo de infraestructura: pozos de agua de industrial (nivel dinámico), reglillas de medición de cuerpos de agua superficiales o piezómetros de control. El orden de presentación es el siguiente: acuífero aluvial, zona marginal y puntos con comportamiento Tipo Núcleo.

6.1.1.1.1 Niveles en el Sector Tambillo

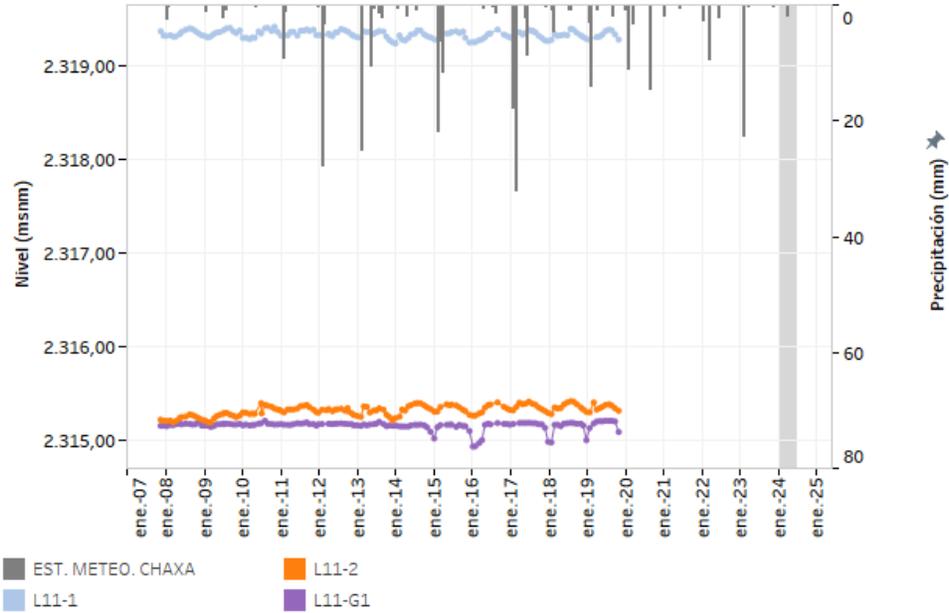
Al norte del Sistema Soncor, en el Sector de Tambillo, se encuentran los puntos de nivel de agua subterránea L11-1 y L11-2 y la reglilla L11-G1. En la Figura 6-2 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos, mientras que en la Figura 6-3 se presentan los descensos calculados. En la Figura 6-2, se observa que la cota piezométrica del nivel del L11-1 queda 4 m por encima de los otros dos puntos, ya que el primer punto se sitúa a unos 2,5 km hacia el norte. En base a lo anterior, en este sector se infiere un flujo de recarga proveniente desde el norte, donde la pendiente de la lámina de agua es del 0,16%.

En la Figura 6-3, se observa el comportamiento histórico del nivel, en donde todos los puntos muestran una oscilación irregular, por lo que, dicho patrón no estaría ligado únicamente a las variaciones estacionales interanuales. Para el período que cuenta con información (hasta octubre 2019), el L11-G1 se mantuvo aparentemente estable, registrando niveles mínimos en los años 2014, 2015, 2018 y 2019 denotando una leve tendencia de ascenso.

Por otro lado, los pozos L11-1 y L11-2 registraron variaciones similares en amplitud y oscilación desde el inicio de las mediciones hasta noviembre 2019. En ambos puntos se ha registrado un comportamiento con tendencia de ascenso, más notoria en los mínimos estacionales, la cual se mantuvo hasta la última fecha registrada (octubre 2019).

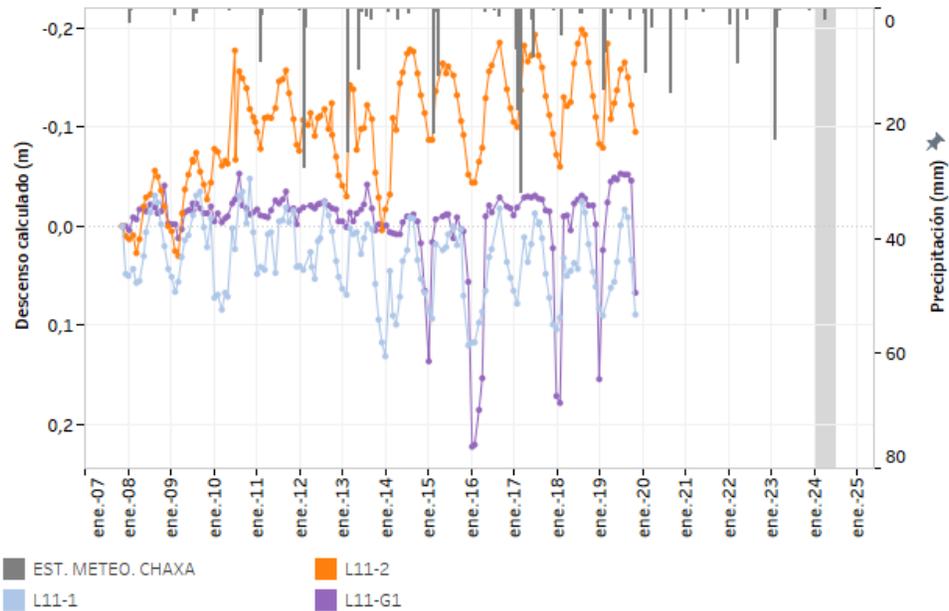
Como se ha mencionado anteriormente, estos 3 puntos no han sido visitados desde octubre 2019, por lo que el análisis de los niveles no se puede actualizar a partir de esta fecha.

Figura 6-2: Niveles medidos en los puntos del Sector Tambillo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-3: Descensos calculados de los puntos del Sector de Tambillo



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.1.2 Niveles en pozos de bombeo de agua industrial

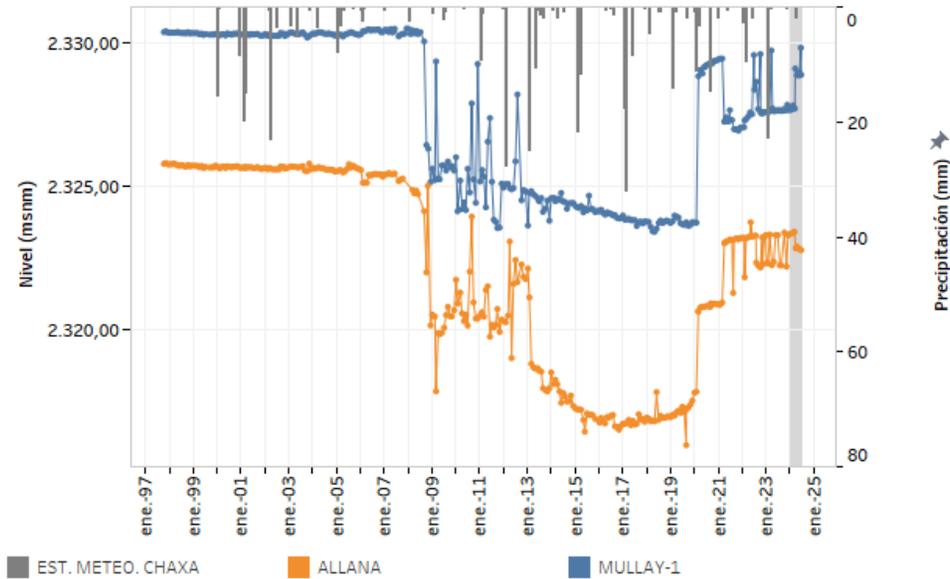
Los pozos de agua industrial presentes en el Sistema Soncor son el Mullay-1 (ubicado más al norte del sistema) y el Allana. En la Figura 6-4 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos. En este caso en particular, los niveles medidos están influenciados por el manejo operacional de los pozos, por lo que el nivel mostrado en la figura se describe como nivel dinámico.

En general, los pozos Mullay-1 y Allana mostraron descensos continuos desde 2008, que tendieron a estabilizarse a un régimen estacionario entre 2013 y 2016.

Respecto al pozo Mullay-1, en febrero de 2020, mostró un ascenso de nivel de 5 m como respuesta a su detención. Desde entonces, mantuvo una leve tendencia de incremento del nivel, alcanzando los 2.329,43 m s.n.m. en febrero de 2021. Tras el reinicio de su operación en marzo de 2021, con un régimen de extracción reducido a la mitad (de 40 a 18 L/s aproximadamente), se denotó un descenso de 2 m durante el mismo mes. En el período 2021 a 2024, el nivel se ha mostrado con un ascenso permanente del orden de 22 cm/año.

En cuanto al pozo Allana, presentó una leve recuperación hasta 2018, sin que su caudal de extracción ni tampoco el de Mullay-1 (ubicado al norte a 8 km de distancia) hayan sido modificados. Este cambio en la tendencia del nivel ha sido vinculado a la detención del pozo Camar-2 desde el año 2018 (ubicado al sur, a 5 km de distancia). En febrero de 2020 el pozo Allana experimentó una reducción del caudal de extracción (de 40 a 18 L/s aproximadamente), lo que resultó en un aumento de 4,5 m del nivel (con respecto a la cota medida en enero de 2020). Posterior a este cambio de régimen, el nivel permaneció estable alrededor de la cota 2.320,85 m s.n.m hasta marzo 2021, fecha en la que cesó el bombeo. A partir de esta detención, se observó un nuevo escalón de recuperación de 2,1 m, ascendiendo el nivel a 2.323,00 m s.n.m. En 2022, el pozo Allana reactivó su operación, con un flujo de extracción reducido (de hasta 6 L/s), por lo que el nivel del pozo se ha mantenido oscilante entre las cotas 2.321,26 m s.n.m. y 2.323,72 m s.n.m hasta la actualidad.

Figura 6-4: Niveles dinámicos medidos en los pozos de agua industrial del Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.1.1.3 Pozos en Zona Aluvial

Los pozos analizados para el Sistema Soncor se encuentran en el acuífero aluvial. Este grupo se caracteriza por presentar una tendencia histórica al descenso, inclusive antes del inicio de la extracción de agua industrial en el sector. No se descartan otros efectos como un aumento de la demanda hídrica del sistema desde quebradas que recargan el acuífero, y otras hipótesis del desbalance histórico observado en estas cuencas endorreicas. Es importante observar las tendencias resultantes de un período más extenso, ya que existen estudios sobre acuíferos de la cordillera de los Andes que han concluido que los tiempos necesarios para reestablecer el equilibrio en el acuífero pueden variar entre 100 a 1.000 años (Boutt, y otros, 2021) o incluso de entre 3.000 a 14.000 años (Urrutia, y otros, 2021), dependiendo de la técnica de análisis y de la región concreta. Por lo tanto, se espera que, en la cuenca del Salar de Atacama, al igual que en cuencas similares altoandinas, ocurra una situación de balances hídricos no cerrados debido a que el acuífero aún no está en equilibrio. De acuerdo con los registros disponibles, al menos desde el 2000, el grupo de pozos del sistema examinado muestra un patrón de niveles descendente, que correspondería a una etapa de transición hacia un nuevo equilibrio.

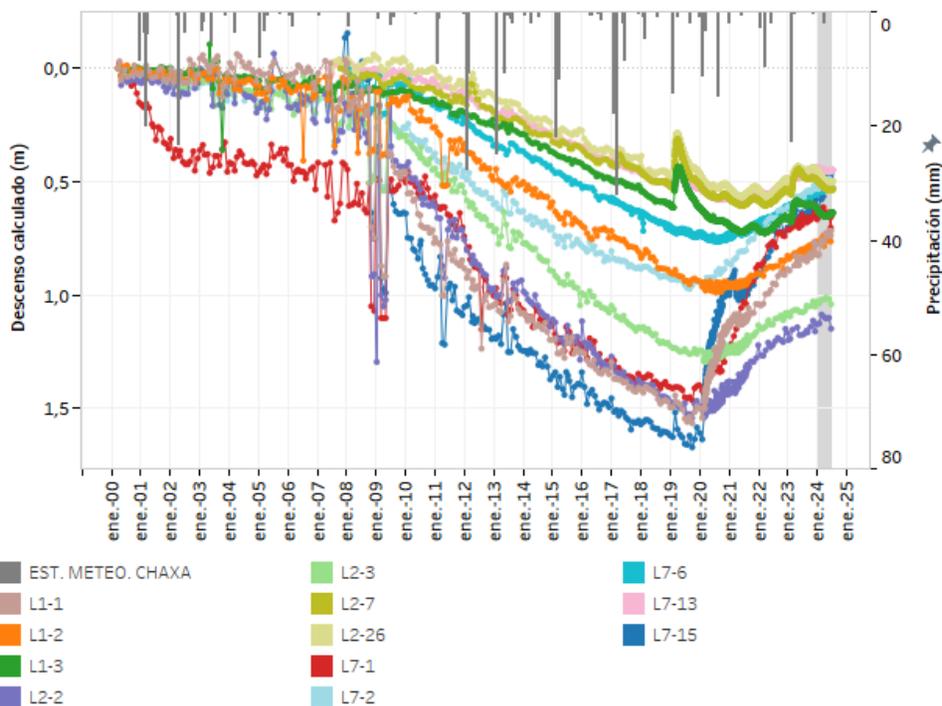
Este grupo de pozos presenta diferencias de cotas significativas en los niveles (de 20 m), con gradientes hidráulicos altos. Por lo tanto, para establecer una comparativa precisa respecto a las variaciones de nivel, éstas se muestran en forma de descenso calculado (Figura 6-5).

En la Zona Aluvial los niveles no responden de manera instantánea al efecto de las precipitaciones, con excepción de los pozos L1-3, L2-7, L2-26 y L7-13, que mostraron un *peak* de ascenso tras lluvias ocurridas en febrero de 2019. Esto se explicaría debido a que estos puntos se encuentran más próximos a la superficie (someros) y a la Zona Marginal. Desde el inicio de su monitoreo, este grupo de pozos (L1-3, L2-7, L2-26 y L7-13) ha mostrado una leve tendencia de descenso, que varía entre 3 y 5 cm/año. Sin embargo, desde el 2021, este comportamiento ha cambiado, reflejando una oscilación estacional más característica de la Zona Marginal; posiblemente relacionado con la reducción de las extracciones en el acuífero aluvial (Mullay-1 y Allana). Esta situación ha continuado hasta junio de 2024, convergiendo a valores que dependen de la distancia a los pozos de bombeo: los puntos de monitoreo más cercanos se situarán en descensos mayores que aquellos más alejados.

En el caso del grupo conformado por los pozos L1-1, L7-1, L7-2 y L7-15, que se encuentran más alejados de la Zona Marginal y, por tanto, más próximos a los pozos de bombeo, se han registrado descensos de entre 6 y 12 cm/año desde el inicio de los registros en el 2007 y hasta el 2020. Sin embargo, en el 2020, el pozo Mullay-1 cesó su bombeo y el Allana disminuyó su extracción a la mitad, lo cual provocó un incremento de los niveles. En particular, en este grupo, la respuesta tras la reducción de las extracciones de agua industrial se observa antes que el grupo anterior debido a su ubicación, puesto que el efecto es distinto según su proximidad al pozo de bombeo (Mullay-1 o Allana). En concreto, los pozos L7-15 y L1-1, ubicados a 300 y 850 m del pozo Mullay-1, muestran tasas de ascenso en torno a los 20 cm/año. Así mismo los puntos L7-1 y L7-2, ubicados en la parte norte del sistema, presentan una tasa de ascenso similar.

El resto de los pozos (L7-6, L2-3, L2-2 y L1-2) han presentado un comportamiento similar al de los grupos anteriores. Desde 2020 hasta la actualidad, estos han mostrado una tendencia al aumento del nivel, con una tasa promedio del orden 8 cm/año.

Figura 6-5: Descensos calculados de los puntos del Sistema Soncor que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

6.1.1.1.4 Niveles de reglillas para agua superficial

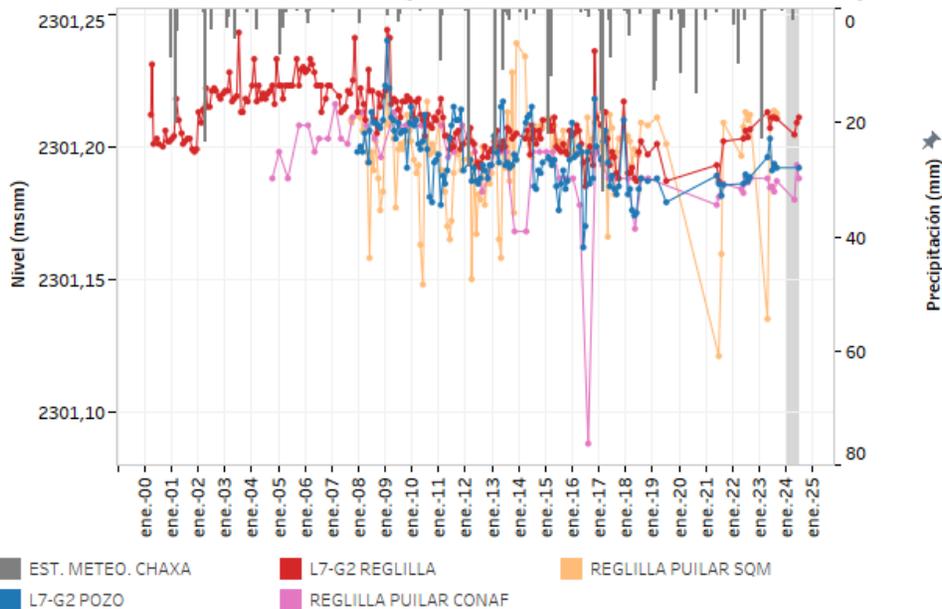
En esta sección se analizan los puntos de monitoreo que miden los niveles de los cuerpos de agua superficial en el siguiente orden: Reglilla Puilar (SQM y CONAF), L7-G2 (Reglilla y Pozo), Puente San Luis (Reglilla y Pozo), Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF), Reglilla Chaxa (SQM y CONAF) y Reglilla Barros Negros (SQM y CONAF). Es importante mencionar que, a pesar de que el propósito constructivo del punto L1-G4 (Reglilla y Pozo) era medir el nivel de los cuerpos aislados de agua superficiales del entorno de desborde de Cola de Pez (área de desborde de la Laguna Barros Negros), se ha observado que los niveles registrados corresponden al acuífero de ese sector (IDAEA-CSIC, 2018). Por este motivo, su análisis se hará junto con el resto de los puntos de agua subterránea de la Zona Marginal (siguiente apartado).

Históricamente, los niveles de los puntos alrededor de la Laguna Puilar – Reglilla Puilar (SQM y CONAF) y L7-G2 (Reglilla y Pozo) – han mostrado oscilaciones estacionales irregulares (Figura 6-6).

En general, la reglilla Puilar (SQM y CONAF; Figura 6-7) ha presentado un comportamiento oscilatorio pero estable. En el caso de la infraestructura de CONAF, entre 2010 y 2019, los niveles experimentaron una leve tendencia de descenso, que podría estar sujeta más bien a la posición de los puntos de medición con respecto a los bordes del canal y la movilidad de los flujos de agua sobre la superficie, ya que estos puntos se encuentran aguas abajo del sector de la surgencia que alimenta este sistema lagunar. De esta forma, se podría establecer que el sector representado por estas reglillas se ha mantenido relativamente estable durante todo el período de registro.

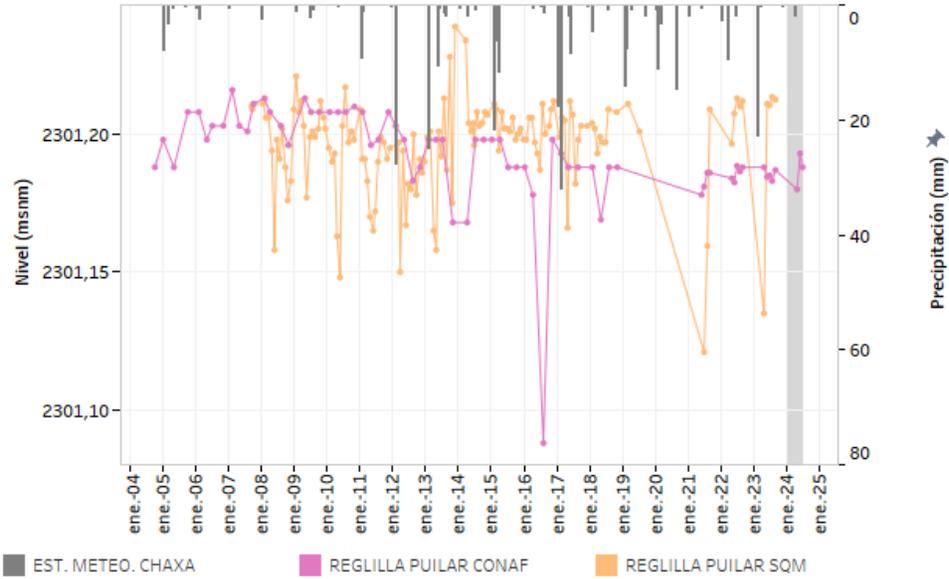
Por su lado, el L7-G2 (Reglilla y Pozo; Figura 6-8), ha mostrado una evolución relativamente sinusoidal, con sucesivos períodos de descensos y ascensos, con una duración de hasta 10 años. Este comportamiento estaría ligado a los períodos húmedos y secos del sistema, dado que estos puntos están más cercanos a la surgencia de agua que alimenta el canal de recarga de la Laguna Puilar. En el último período (2021 a 2024) se registra una tendencia de ascenso del nivel para ambos casos. Cabe señalar que, entre 2019 y 2021, no se dispone de información debido a que no se pudo acceder a esta área.

Figura 6-6: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la Laguna Puilar



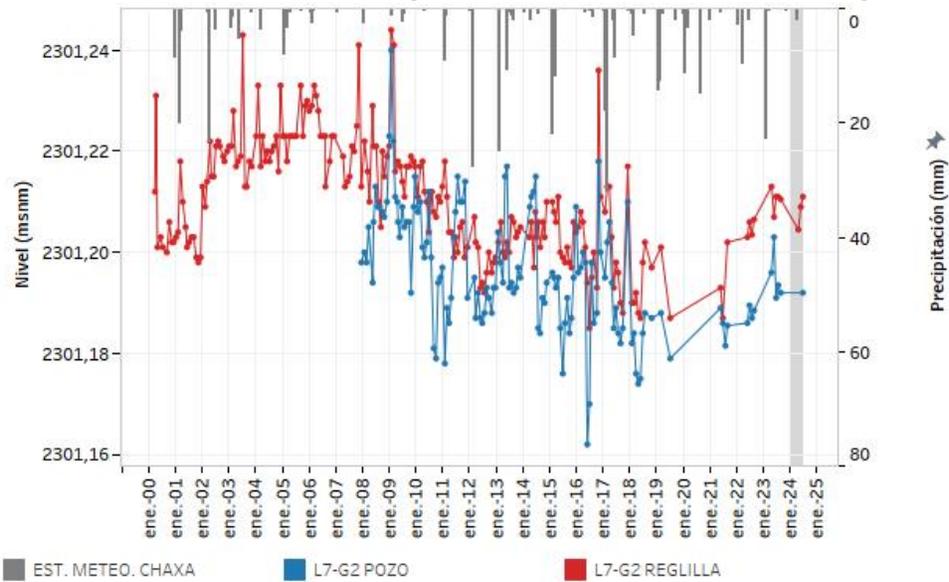
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-7: Niveles medidos en las reglillas Puilar SQM y CONAF



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-8: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la Laguna Puilar

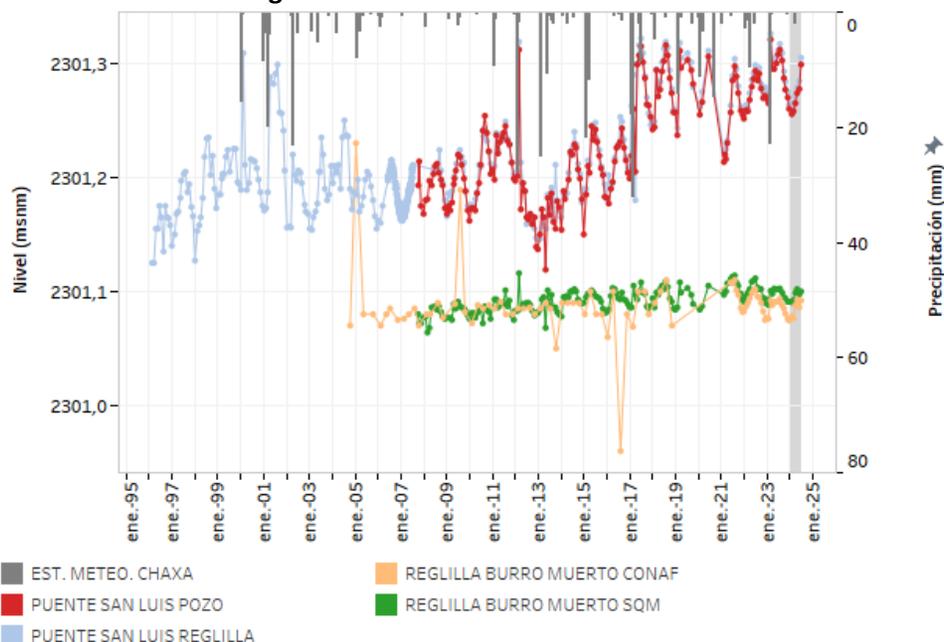


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

A continuación, el análisis se centra en el sistema de canales y lagunas que abastecen a la Laguna de Barros Negros, comenzando con los puntos ubicados más aguas arriba del sistema.

En base a los datos históricos, se observa que las mediciones de Puente San Luis (Reglilla y Pozo) son equivalentes, lo cual también aplica para la Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF), tal como se observa en la Figura 6-9. En cuanto a los puntos Puente San Luis, se reconoce un patrón de oscilación irregular, que sí mantiene la coherencia de máximos en invierno y mínimos en verano. A partir de 2013 y hasta la actualidad, se observa que los niveles han mantenido tendencia de acenso, incluyendo el periodo reportado (hasta junio de 2024) con tasa inferior a 1 cm/año.

Figura 6-9: Niveles medidos en reglillas ubicadas en el entorno de medición del aforo Puente San Luis



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

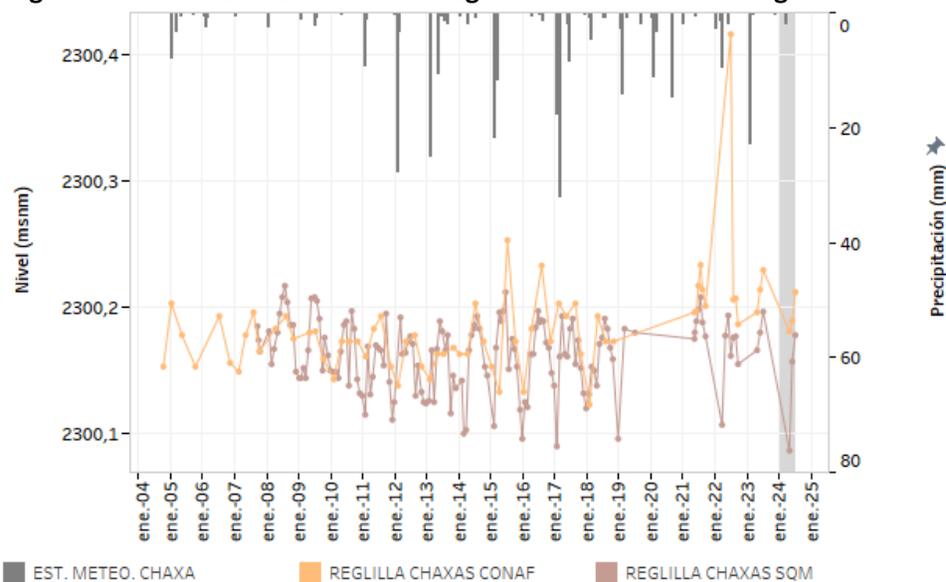
Los siguientes puntos de medición de nivel de agua superficial se encuentran a la salida de la Laguna Chaxa, aguas abajo del sistema: Reglilla Chaxas (SQM y CONAF). Se destaca que, la frecuencia histórica de medición en el punto de SQM es mayor que en el de CONAF, por lo que se consideró el primer punto para efectuar el análisis de la tendencia.

Respecto a la Reglilla Chaxas SQM, previo al 2017, mostró un patrón oscilatorio estacional con una amplitud de unos 6 cm, con una leve tendencia de descenso, visualmente más notoria en los mínimos estacionales (Figura 6-10). Desde 2017 hasta 2024, el nivel se ha mantenido relativamente estable, registrando amplitudes máximas de hasta 10 cm.

Cabe mencionar que, entre junio de 2019 (octubre 2018 en el caso del punto de CONAF) y mayo de 2021, no se realizaron mediciones debido al cierre temporal de la Reserva durante la pandemia de COVID-19.

Adicionalmente, de forma anual se produce el cierre de las reservas durante la época de nidificación, lo que ha conllevado a una falta de registros para los períodos comprendidos entre septiembre de 2022 y abril de 2023, y entre julio y diciembre de 2023. Por esta razón, definir el comportamiento de los niveles del sistema para los últimos años resulta complejo. Sin embargo, en términos generales, ambos puntos presentan valores de mediciones recientes, que se sitúan dentro del rango de variabilidad histórico. En efecto, se podría asumir que el comportamiento en este entorno se mantiene estable.

Figura 6-10: Niveles medidos en las reglillas en la salida de la Laguna de Chaxa



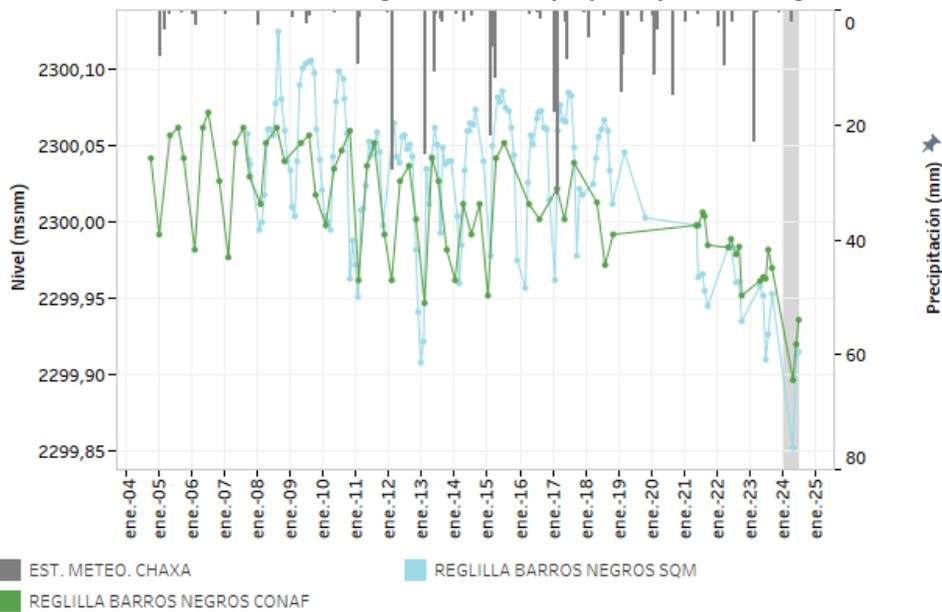
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Por otro lado, dentro de la Laguna de Barros Negros se encuentran los puntos de medición Reglilla Barros Negros SQM y CONAF.

En el período previo a 2011, estos mostraron una cota promedio de 2.300,05 m s.n.m., mientras que y posterior a ese año, la cota descendió unos 3 cm (2.300,02 m s.n.m.).

Tal como ocurrió en el caso anterior, no se realizaron mediciones desde octubre 2019 (octubre 2018 en el caso del punto de CONAF) hasta mayo de 2021, y tampoco se dispone de registros en las épocas de nidificación, por cierre de la reserva. En estas reglillas también puede observarse el característico patrón oscilatorio estacional, con amplitudes que varían de 5 a 8 cm. En términos generales, se ha observado que el nivel tiene una tendencia descendente más notoria desde 2018, resultando una tasa de hasta 2 cm/año. Dicho comportamiento se relacionaría con el aumento de la extensión lacustre hacia el Desborde Sur observada en los últimos años, lo cual sería consistente con la variabilidad y la dinámica de los sistemas lagunares a lo largo del tiempo. El nivel a principios del primer semestre de 2024 muestra mínimos históricos en ambas reglillas, seguidos por un ascenso estacional para el mes de junio.

Figura 6-11: Niveles medidos en las reglillas del cuerpo principal de la Laguna Barros Negros



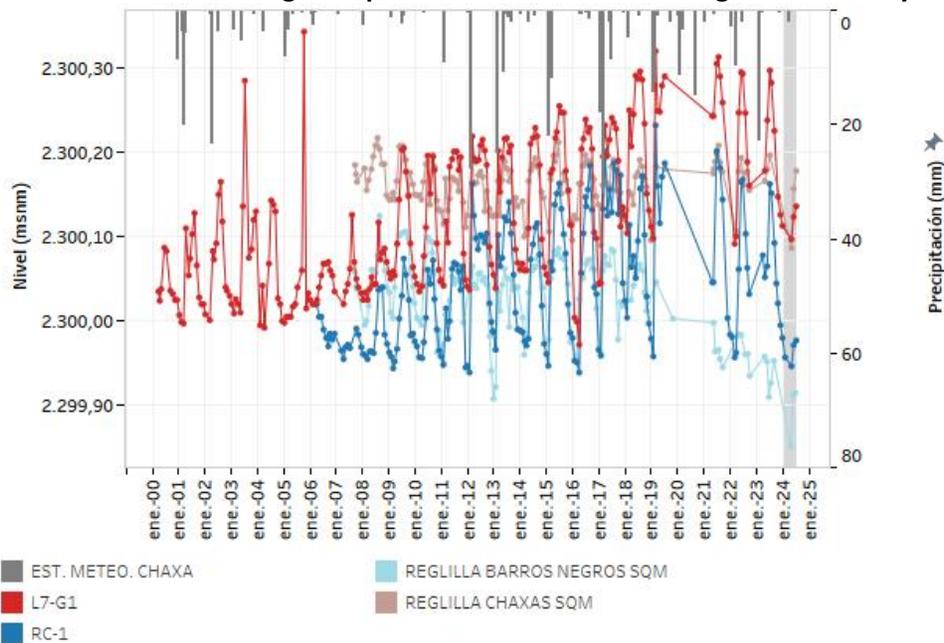
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Finalmente, en este apartado se efectúa el análisis en el canal de Burro Muerto, que fluye desde el norte pasando por el Puente San Luis, y luego conecta las lagunas de Chaxas con Barros Negros. El enfoque se centra en el estudio de los niveles a la salida de ambas lagunas, ya que es esperable que los puntos en el

canal se relacionen con algunas infraestructuras anteriormente descritas (L7-G1 Pozo y Reglilla Chaxas SQM). En este tramo fluvial se encuentra la Reglilla L7-G1, las de Chaxas y Barros Negros (Figura 6-12). También se incluyó el punto RC-1, que pese a ser un punto construido para medir el acuífero en esa zona, muestra niveles correlativos con las reglillas vecinas. Este punto se analiza detalladamente en el siguiente apartado (Pozos en Zona Marginal). En términos generales, se ha extraído lo siguiente:

- Entre las lagunas Chaxas y Barros Negros existe una diferencia de nivel de unos 12 cm, que se ha mantenido durante todo el período de medición y que determina la dirección esperada del flujo. Incluso, como ya se ha mencionado, ambos cuerpos de agua disminuyen la cota del nivel promedio a partir del año 2010-2011, la cual favorece el flujo a través del curso fluvial.
- El punto L7-G1, ubicado entre ambas lagunas, muestra una oscilación propia de la estacionalidad de la recarga directa. Sin embargo, es notorio que los niveles tienen una tendencia al ascenso durante todo el período de registro. A partir de los máximos estacionales registrados desde 2012 hasta 2024 (al cierre del semestre reportado) se muestra una diferencia de cota estable de hasta 10 cm, con respecto a la laguna de Chaxa.

Figura 6-12: Niveles medidos en reglillas que se encuentran entre la Laguna de Chaxa y Barros Negros



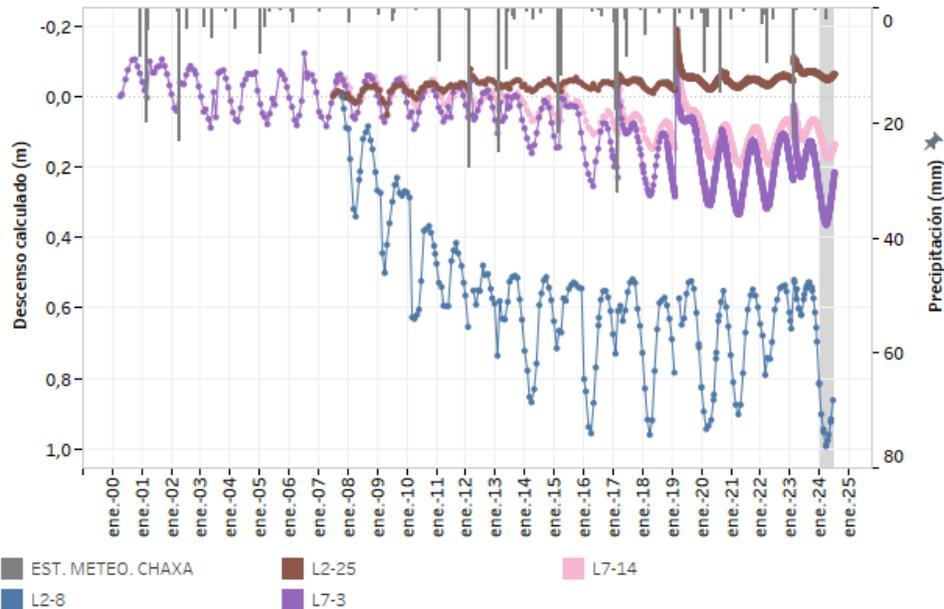
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

6.1.1.1.5 Pozos en Zona Marginal

En esta sección se realiza el análisis para los puntos localizados en la Zona Marginal del Sistema Soncor. Dicha zona se caracteriza por comportamientos diversos, puesto que existen varios factores hidrogeológicos que modifican los niveles de forma local. Al oeste de la Zona Marginal, se ubica el afloramiento de agua producto de la interfaz salina y en la parte central se encuentra el sistema lagunar constituido por la Laguna Chaxa, Canal Burro Muerto, Laguna Barros Negros y sus desbordes (Desborde Sur y Cola de Pez). En términos generales, los pozos muestran oscilación y descenso, además de una marcada influencia de las precipitaciones, que generan subidas momentáneas de nivel. Excepciones puntuales, que dan cuenta de complejos procesos en ciertos sectores, muestran ascensos en la cota piezométrica medida, durante varios años de registro.

Los puntos más cercanos al acuífero aluvial corresponden al L2-8, L2-25, L7-3 y L7-14, en los cuales se reconoce un comportamiento transicional entre el aluvial y la zona marginal. Este grupo muestra tendencias de descenso propias del acuífero aluvial, con una oscilación estacional más propia de la zona marginal, y también pueden verse influenciados por los conos de depresión de los bombeos de agua industrial. Dado que existen diferencias de cota importantes para representarlos empleando estas referencias, que no permiten apreciar el comportamiento a describir, en la Figura 6-13 y Figura 6-14 se presentan los descensos para este grupo, que facilitan la visualización.

Figura 6-13: Descensos calculados en los pozos ubicados en la Zona Marginal más cercanos al acuífero aluvial



Fuente: Elaboración propia.

Para la descripción del comportamiento de los niveles o descensos, es necesario describir previamente la ubicación de los puntos en que se miden respecto a los pozos de agua. Los puntos L7-3 y L7-14 se localizan aguas arriba del subsistema Puilar, al oeste del pozo Mullay-1. Por su parte, el L2-8 se sitúa alrededor de las Vegas de Carvajal. En cuanto al punto L2-25, se ubica alineado con el pozo Allana 1. Como se observa en la Figura 6-13, la respuesta a los efectos de la extracción es muy distinta entre ellos, con la magnitud de descenso observado no guardando relación directa con la distancia a los pozos de agua industrial. Esto da cuenta de la alta variabilidad litológica en este sector de la cuenca, lo que se traduce en alta heterogeneidad en la conductividad hidráulica del acuífero.

Del grupo anterior, el mayor efecto de la extracción se refleja en el L2-8 ya que ha mostrado un descenso continuo desde el inicio de los registros (2008) hasta 2016, con una tasa promedio de 6,5 cm/año. Posteriormente, entre 2016 y 2018, el L2-8 tendió a estabilizarse, y desde 2019 se ha observado un ascenso del nivel en los mínimos estacionales. Estos cambios en el comportamiento podrían estar asociados al manejo operacional del pozo Camar-2, que en 2018 se desmanteló definitivamente, junto con la reducción

de extracciones entre los pozos Mullay-1 y Allana 1. A pesar de esta nueva tendencia, durante el periodo estival del primer semestre de 2024 se registró un nuevo mínimo estacional, después de que el nivel descendiera 44 cm, aproximadamente. Será necesario analizar los datos de los próximos semestres para identificar si esto configura nuevas tendencias.

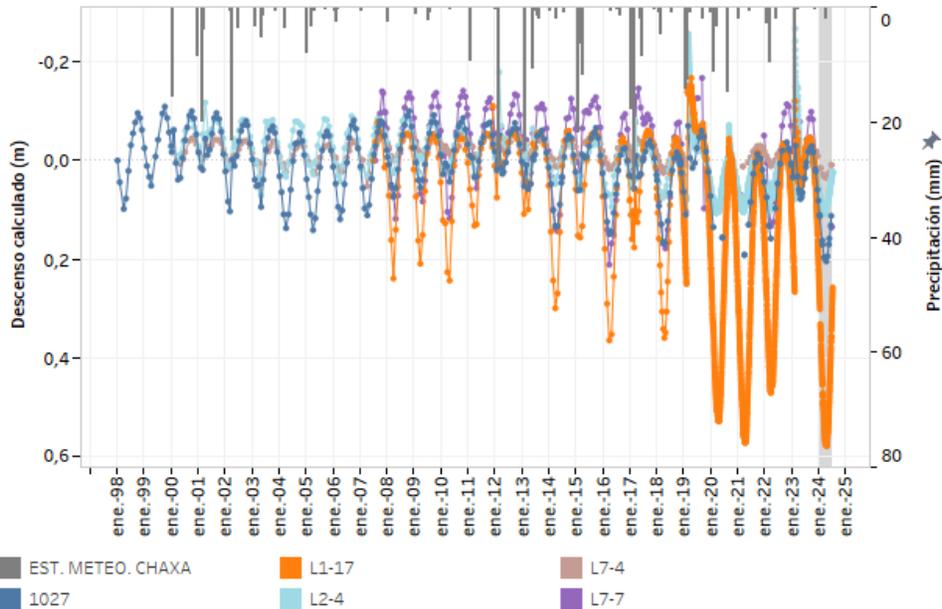
Desde el comienzo de su monitoreo hasta 2021, los puntos L7-3 y L7-14 han permanecido con un patrón estacional oscilatorio, con una tendencia de descenso (tasa aproximada de 3 cm/año). A partir de 2021, y hasta la actualidad, la tasa de descenso ha disminuido (promedio del orden de 1,5 cm/año), ligado probablemente a la reducción de las extracciones en los pozos Allana 1 y Mullay-1.

Finalmente, el punto L2-25 en su registro histórico, ha mostrado un comportamiento de ascenso continuo, con una tasa promedio de 1 cm/año entre 2018 y 2024. Es el único punto que muestra una tendencia al ascenso en la Zona Marginal.

El siguiente grupo de pozos analizados tiene una distribución de norte a sur, en torno a la interfaz salina, y, por tanto, muestran un comportamiento que guarda más relación con el tipo Marginal. Este grupo está conformado por el punto 1027 (al noreste de la laguna Puilar), L7-4 y L7-7 (cerca de la laguna Puilar, al este), el L1-17 (sobre las vegas de Carvajal) y el L2-4 (localizado más al sur, próximo al sistema Aguas de Quelana). Se caracterizan por mostrar una fuerte estacionalidad y una tasa de descenso casi nula. Dado que las diferencias de cotas entre ellos no permiten establecer una comparativa precisa respecto a las variaciones de nivel, en la Figura 6-14 se presentan los descensos calculados desde 2008 para este grupo.

En la Figura 6-14 se observa que el L7-4 es aquel que muestra una baja amplitud de oscilación (de hasta 2,5 cm, entre máximos y mínimos estacionales). Tal como ocurre con los puntos en la RNLF, este punto no fue medido entre septiembre de 2019 y marzo de 2021. Tampoco durante los meses de nidificación debido al cierre de la reserva. No obstante, las mediciones efectuadas, reflejan que hasta el primer semestre de 2024 (periodo reportado), los niveles se encuentran en el rango de sus cotas históricas.

Figura 6-14: Descensos calculados en los pozos asociados al comportamiento marginal



Fuente: Elaboración propia.

El pozo L7-7 se ubica a menos de 500 m del L7-4. Su comportamiento es similar, aunque la amplitud de las oscilaciones en el L7-7 es mayor: en el período comprendido entre 2008 y 2018 su amplitud fue de hasta 34 cm. Durante el primer semestre de 2024, mantuvo su comportamiento de oscilación regular.

El indicador L1-17 es el único de este grupo que muestra una tendencia general al descenso, particularmente en sus mínimos. Esta tendencia es especialmente notoria hasta el año 2021, momento a partir del cual los mínimos estacionales ascienden por tres años consecutivos. Sin embargo, durante el primer semestre de 2024, volvió a registrarse un mínimo histórico, cruzando los umbrales de Fase I y II del PC. Acompañado de este cambio reciente en los mínimos, se identificó un aumento en la amplitud de oscilación, pasando de unos 20 cm en promedio en el periodo 2008-2019 hasta un máximo de 58 cm en los años 2020 y 2024. Por su lado, el punto L2-4, en el extremo sur de las Vegas de Carvajal (aguas abajo del descrito anteriormente L2-25 con tendencia ascendente), ha venido reproduciendo la estacionalidad esperada, con una amplitud de la oscilación estable. No obstante, su tendencia ha variado en el tiempo; entre 2007 y 2010, el nivel se mantuvo estable (sin ascenso ni descenso), mientras que entre 2011 y 2019, mostró un descenso promedio de 1 cm/año. En el último período, desde 2019 hasta 2024 (al cierre del

periodo reportado), los niveles se observan estabilizados. Es importante mencionar que se registraron máximos estacionales históricos a comienzos de 2019 y de 2023, asociados a eventos de precipitación.

Finalmente, el punto 1027 ha mantenido prácticamente una misma amplitud estacional desde el inicio de su seguimiento en 1998, mostrando una leve tendencia de descenso del orden de 0,4 cm/año.

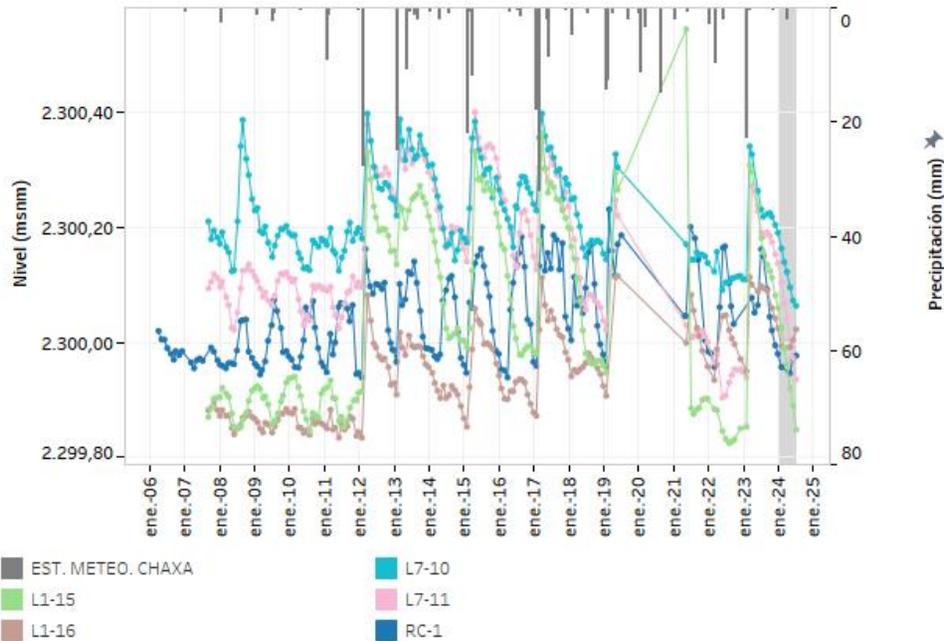
En términos generales se desprende que los valores mínimos estacionales se relacionan con la ausencia de precipitación durante ciertos años. Por ejemplo, en años secos (2008, 2009, 2010, 2014, 2016, 2018) se registraron los niveles a menores cotas, presentando oscilaciones de mayor amplitud. En efecto, los mínimos históricos del L1-17 fueron en los años secos 2016 y 2018.

El siguiente grupo abarca los puntos ubicados al este del sistema Chaxa – Barros Negros y al oeste de la interfaz salina. Su distribución de norte a sur corresponde a: L7-10, L7-11, L1-15 y L1-16 (Figura 6-15), L1-9 y L1-10 (Figura 6-16) y, finalmente, L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5 (Figura 6-17). A pesar de situarse sobre las costras de carbonatos o sulfatos, estos pozos no poseen una regularidad estacional marcada como los del resto de la zona marginal, pudiendo asociarse al comportamiento tipo Núcleo. La información química y fisicoquímica de estos puntos también permite sostener su asociación al núcleo.

Para comenzar, los puntos L1-16 y L1-15 se encuentran a 180 m del canal de Burro Muerto y a 500 m en dirección al borde este, en orden respectivo. Entre 2007 y 2011 (período seco), los niveles de ambos puntos se situaron a cotas similares (Figura 6-15). Sin embargo, las lluvias de 2012 generaron un salto significativo de las cotas, situando los niveles del punto L1-15, en promedio, 20 cm por encima del L1-16 (periodo 2012-2018). Desde la reactivación de las mediciones (mayo de 2021) hasta la fecha reportada (junio de 2024), el punto L1-16 mostró un continuo ascenso, con una tasa de 2,5 cm/año, mientras que el L1-15 ha mostrado descensos. Esto ha provocado que los niveles del punto L1-16 estén por encima de los niveles del L1-15, al menos hasta el año 2023. Actualmente, se encuentran nuevamente en cotas similares.

En base a lo anterior, se infiere que los eventos de precipitación extremos y/o sequías largas pueden afectar el comportamiento de los niveles, produciendo cambios en los patrones que se reconocieron durante los primeros años de monitoreo de este PSAH.

Figura 6-15: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-15, L1-16, L7-10 y L7-11)



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Respecto a los puntos L7-10 y L7-11, a más de 1 km del canal de Burro Muerto, ambos presentan un comportamiento similar al punto L1-15; con una respuesta inmediata ante los eventos de lluvias y descensos con una pendiente estable (Figura 6-15). Durante el primer semestre de 2024, en ambos puntos se registró una tasa de descenso en torno a 0,2 cm/año.

Por otro lado, los puntos L1-9 y L1-10, a ~1 km del cuerpo principal de Barros Negros y sus niveles se presentan junto al punto RC-1 en la Figura 6-16, dado que este último punto de agua superficial permite ilustrar posibles direcciones de flujo. Los pozos aquí descritos muestran una respuesta a los eventos de precipitación en todo el periodo registrado. El punto L1-9 mostraba una tendencia general de ascenso entre 2007 y 2010. Desde el año 2012 ambos puntos muestran tendencias de descenso, interrumpidos por subidas de nivel en años húmedos (2012, 2017 y 2019). La tasa de descenso calculada entre 2017 y 2024 es de 5 cm/año. Desde 2017 ambos niveles se encuentran en cotas similares.

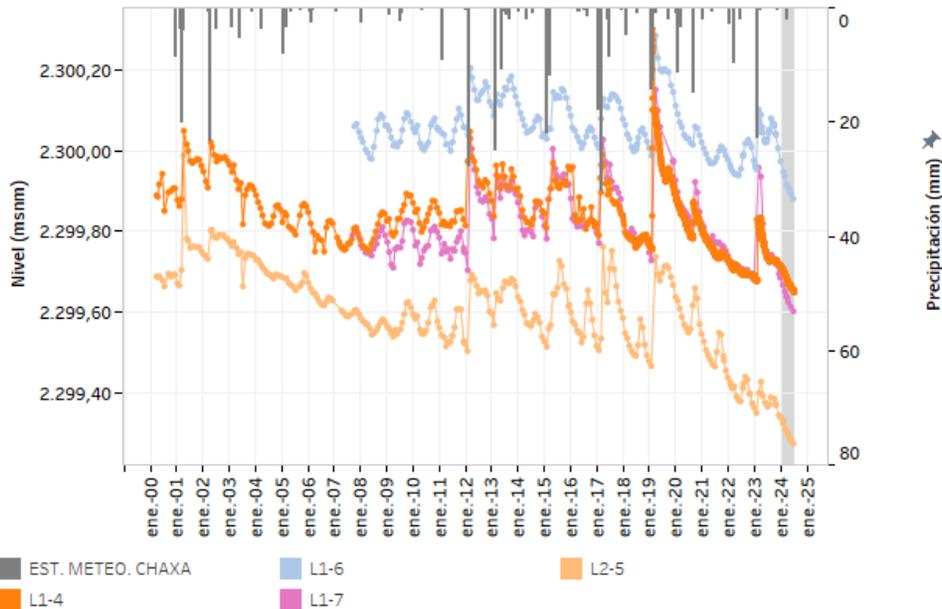
Figura 6-16: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10)



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Al igual que los grupos anteriores, en los puntos L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5, se evidencia un cambio en su comportamiento partir de 2012, con fluctuaciones estacionales de nivel más marcadas (Figura 6-17). Dicho cambio probablemente fue debido a las intensas precipitaciones de 2012, que modificaron localmente la morfología del sitio. Con posterioridad a febrero de 2019, las oscilaciones fueron menores, aunque con respuestas inmediatas a las lluvias en forma de *peak* de ascensos, seguidos de una rápida recuperación hacia un nivel de base, proporcionando una tendencia de descenso más acentuada. El comportamiento descrito se ha mantenido hasta el cierre del semestre reportado ya que, en todos los casos, la tendencia generalizada es de descenso. Esto, de nuevo, está revelando un comportamiento más acorde al Núcleo que a la zona marginal, que es geográficamente donde se emplazan los puntos de medición.

Figura 6-17: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-4, L1-7 y L2-5)

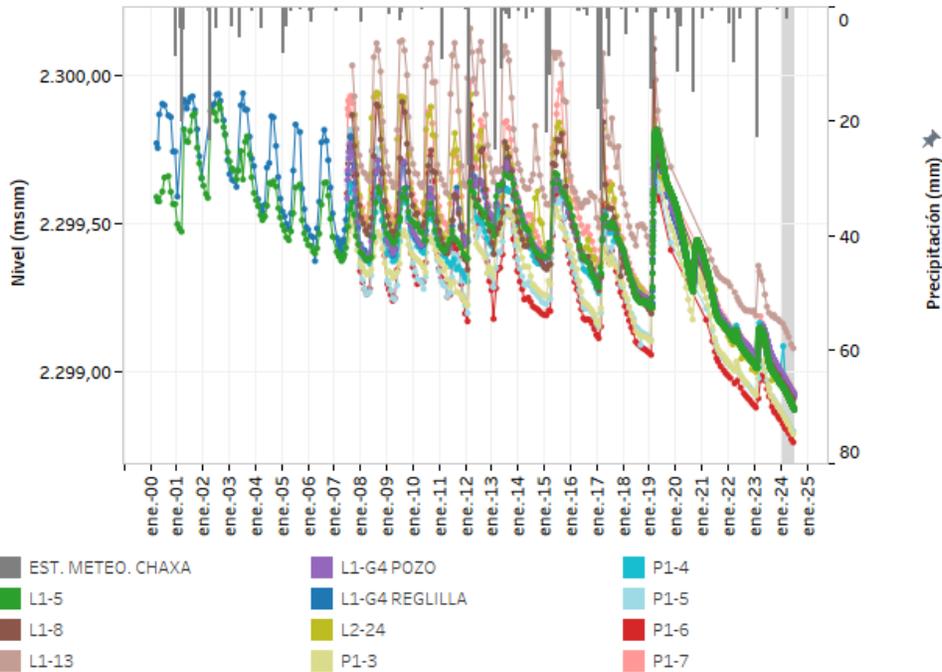


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Al oeste y al sur de la laguna Barros Negros han ocurrido eventos históricos de desborde de la laguna, que condicionan sustancialmente el comportamiento de niveles en esta zona. En el sector de Desborde Cola de Pez, los pozos se han separado en 2 grupos. El primer grupo (Figura 6-18) se caracteriza por haber recibido aportes directos desde el desborde y, en consecuencia, muestra respuestas de aumento marcadas en sus niveles. En el caso del segundo grupo (Figura 6-19), debido a su ubicación aguas abajo, recibió recargas desde los desbordos por infiltración, mostrando *peak* de menor amplitud y más tardíos.

Los puntos que reciben aportes por recarga directa desde los desbordos corresponden al L1-5, L1-8, L1-13, L1-G4 Pozo y Reglilla, L2-24, P1-3, P1-4, P1-5, P1-6 y P1-7 (Figura 6-18). Este grupo presenta una estacionalidad marcada, que disminuye en la medida que el punto se encuentra más alejado del respectivo desborde, es decir, se reduce la amplitud de la oscilación. Por lo tanto, se interpreta como un pulso producido localmente en el desborde, que se propaga en el sentido del flujo (en dirección suroeste), dando lugar a una atenuación progresiva de la respuesta.

Figura 6-18: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga directa del desborde de Cola de Pez



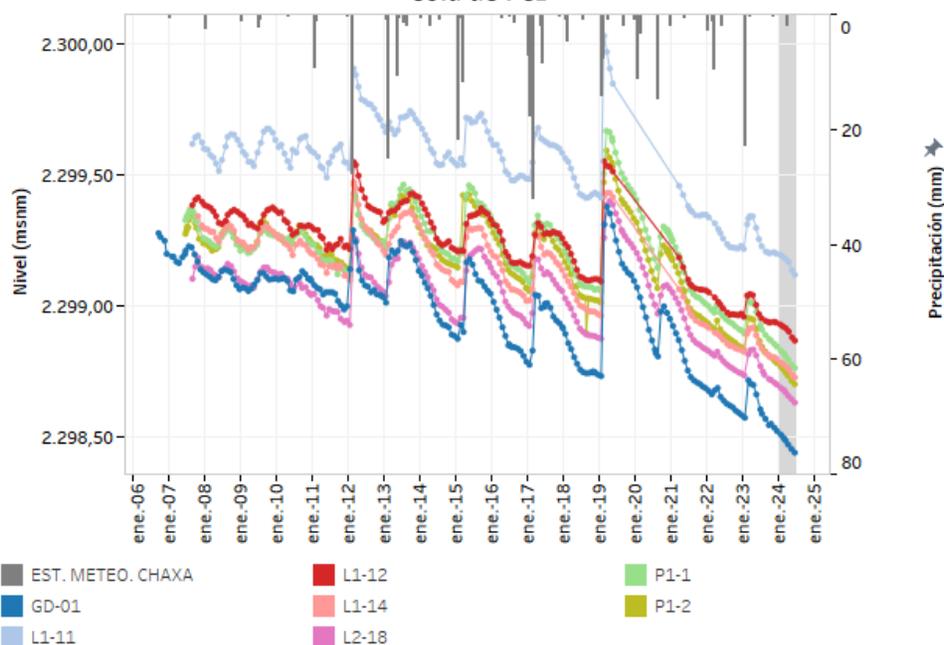
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

A partir de las lluvias de 2012, caracterizada por su intensidad (38,8 mm en dos días, según la estación de Chaxa), cambió la dinámica de desbordes de Barros Negros (IDAEA-CSIC, 2018)³⁸. En términos generales, las respuestas más evidentes de los niveles coinciden con los eventos de lluvia, y, consecuentemente, en los años 2014, 2016 y 2018 (años secos), se midieron pulsos más tenues, produciendo cada vez menos desbordes hacia este sector. Estos puntos hoy en día están midiendo los niveles del acuífero, sin el aporte superficial que se recibía por los episodios de desborde. Los niveles del acuífero en esta zona se caracterizan actualmente por responder de forma directa a las lluvias y presentar una tasa de descenso de unos 4 cm/año.

Los pozos localizados dentro de la RNLf (P1-7, P1-6, P1-5, L1-13, L2-24 y L1-8) no fueron monitoreados durante la pandemia por COVID-19 (desde octubre 2019 y hasta febrero 2021). No obstante, todos los puntos, considerando el primer semestre de 2024, muestran la misma tendencia de descenso basal, de unos 4 cm/año (sin contabilizar los ascensos producto de las lluvias).

Los pozos más alejados del desborde Cola de Pez son el GD-01, L1-11, L1-12, L1-14, L2-18, P1-1, P1-2 (Figura 6-19). A modo general, este grupo se caracteriza por presentar una amplitud de oscilación que disminuye y se suaviza en la medida que el pozo se encuentra más alejado. Además, se distinguen de los puntos más cercanos al desborde porque tener cotas más bajas y que disminuyen a medida que el punto se encuentra más alejado de la zona de desborde. De forma análoga al anterior grupo de pozos (recarga directa), sus niveles muestran un cambio en la dinámica de desborde de Barros Negros. En consecuencia, también presentan una respuesta a la recarga directa por precipitación seguido de una recuperación del nivel (descenso) hacia su tendencia de descenso original. Al cierre de este reporte, estos pozos reflejaban un comportamiento similar al grupo anterior, con una pendiente basal del orden de 3 cm/año (sin contabilizar los aumentos producidos por la lluvia).

Figura 6-19: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga de forma indirecta del desborde de Cola de Pez



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

El siguiente grupo de puntos analizado está conformado por el L2-9, L2-10, L2-15, L2-16, L2-21, L2-23, P2-1, P2-2, P2-3, P2-4 y P2-5, situados e influenciados por el Desborde Sur de la Laguna Barros Negros. De acuerdo con los estudios que se han desarrollado en los últimos años (IDAEA-CSIC, 2018), la dinámica de

desborde de la laguna cambió a partir de las lluvias de febrero de 2012. Desde esta fecha, los desbordes hacia sector Cola de Pez fueron menores en frecuencia y magnitud, habiéndose desplazado la salida descarga hacia el sur de Barros Negros. Esto trajo consigo una serie de cambios en los niveles de los puntos de control de esta zona, los cuales se describen a continuación.

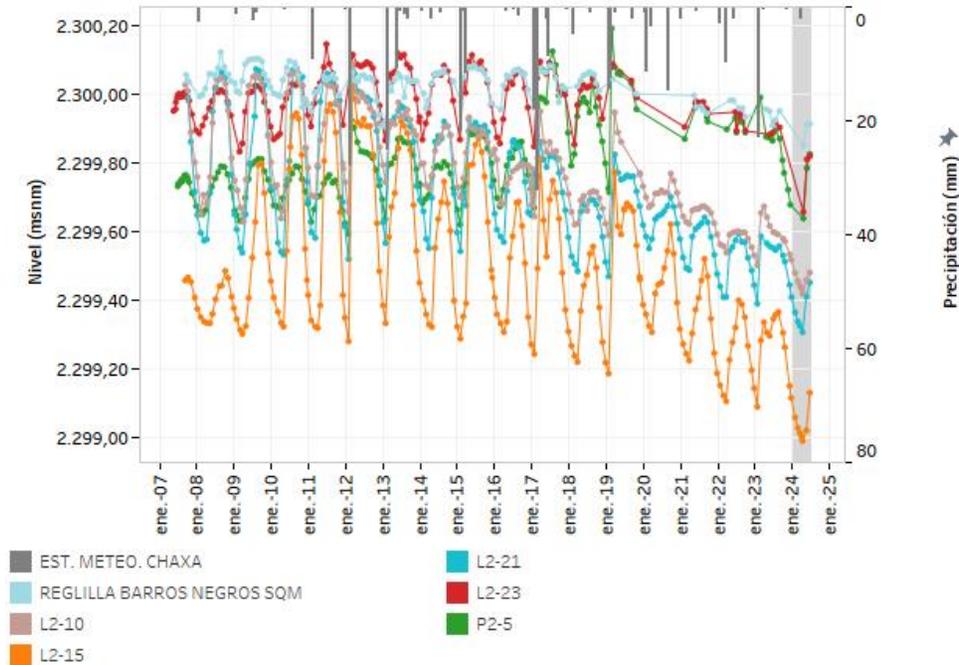
Para describir adecuadamente el comportamiento de los niveles, los pozos se han dividido en 2 grupos. En ambos grupos, los niveles se acompañan de la Reglilla Barros Negros SQM como referencia para el análisis.

El primer grupo (L2-23, P2-5, L2-21, L2-10 y L2-15) se caracteriza por vincularse estrechamente al nivel de la reglilla de Barros Negros (Figura 6-20). Aunque originalmente tenían niveles distintos, a partir de 2010 el punto L2-23 se solapó tanto en cota como en amplitud de oscilación con la reglilla. Esto deja a entrever que hidráulicamente la laguna se extendió hacia este sector. Por su parte, en el punto P2-5 ocurrió una situación similar, puesto que durante 2007 y 2017 su nivel osciló a una cota inferior al de la laguna, sin embargo, desde 2017 sus niveles se han solapado en los máximos estacionales y desde 2018 han fluctuado alrededor de la misma cota. Lo anterior se traduce en que la lámina de agua de la laguna Barros Negros se muestra prácticamente horizontal (misma cota) desde la Reglilla Barros Negros hasta el punto P2-5. En términos de cota, durante el primer semestre de 2024, en el punto P2-5 se registró un mínimo estacional.

Al este del Desborde Sur, se localizan el resto de los puntos del primer grupo: L2-10, L2-21 y L2-15. Durante el período entre 2007 y 2011, sus niveles máximos alcanzaron cotas similares a las de la reglilla Barros Negros. A partir de 2012, los máximos se han posicionado en cotas cada vez más bajas, mientras que los mínimos han permanecido estables. Esto significa que, desde 2012, el Desborde Sur no ha recargado con la misma intensidad durante los meses húmedos. Análogamente, a partir del 2009 el punto L2-15 aumentó progresivamente la cota de los máximos, hasta alcanzar prácticamente la de la reglilla en 2012. Posterior a ese año, se ha notado un descenso continuo de los niveles para los tres puntos, con una tasa promedio de entre 3 y 4 cm/año. Por lo tanto, se infiere que entre 2009 y 2012, aproximadamente, el Desborde Sur cubrió el área de estos puntos, para luego dejar de acumular, desplazándose más al sur.

El análisis derivado de estos tres puntos evidencia que la dinámica del Desborde Sur cambia con los años, tal y como es esperable para un sistema lagunar que sobreyace un relieve topográfico con pocas variaciones. Diversos estudios han concluido lo mismo, como por ejemplo el elaborado por Le Roux en 2018, a partir del estudio de los depósitos sedimentarios en la zona.

Figura 6-20: Niveles medidos pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (grupo 1)

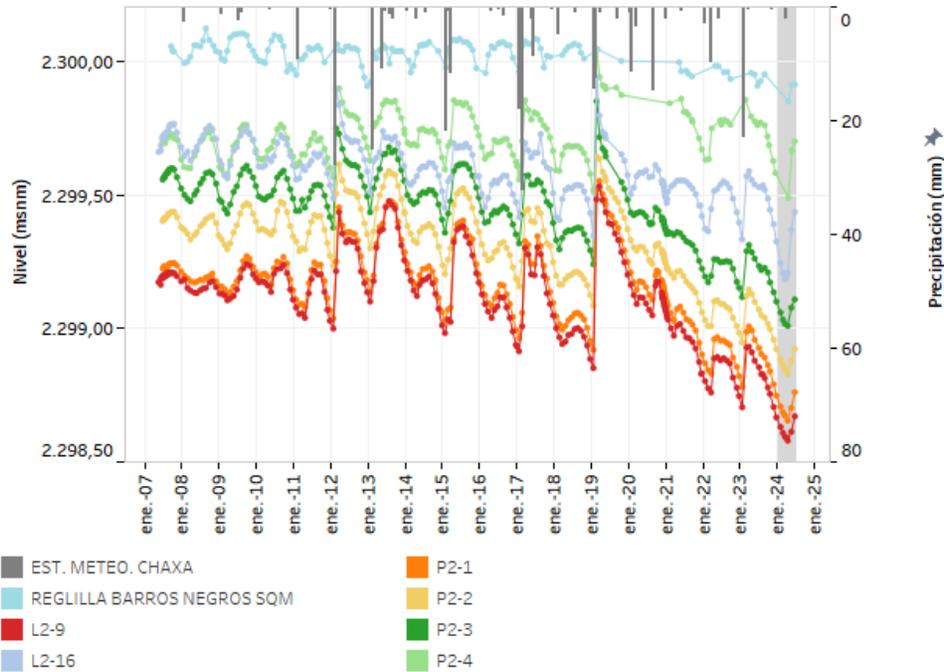


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

El segundo grupo de puntos (L2-9, L2-16, P2-1, P2-2, P2-3 y P2-4), ubicado al oeste y al sur del Desborde Sur, no se comporta como la Reglilla Barros Negros (Figura 6-21). Estos puntos reproducen los ciclos estacionales de la laguna, pero a cotas más bajas y de forma suavizada, a la vez que también responden a las lluvias. Por lo tanto, se interpreta que estos puntos también reciben aportes en forma de pulso, procedentes del desborde a través del acuífero, además de la recarga directa por eventos de lluvia.

Igualmente, se observa que los mínimos reproducen una tendencia al descenso desde el inicio de las mediciones (2007) y hasta junio de 2024, con una tasa promedio de ~1 cm/año.

Figura 6-21: Niveles medidos pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (grupo 2)

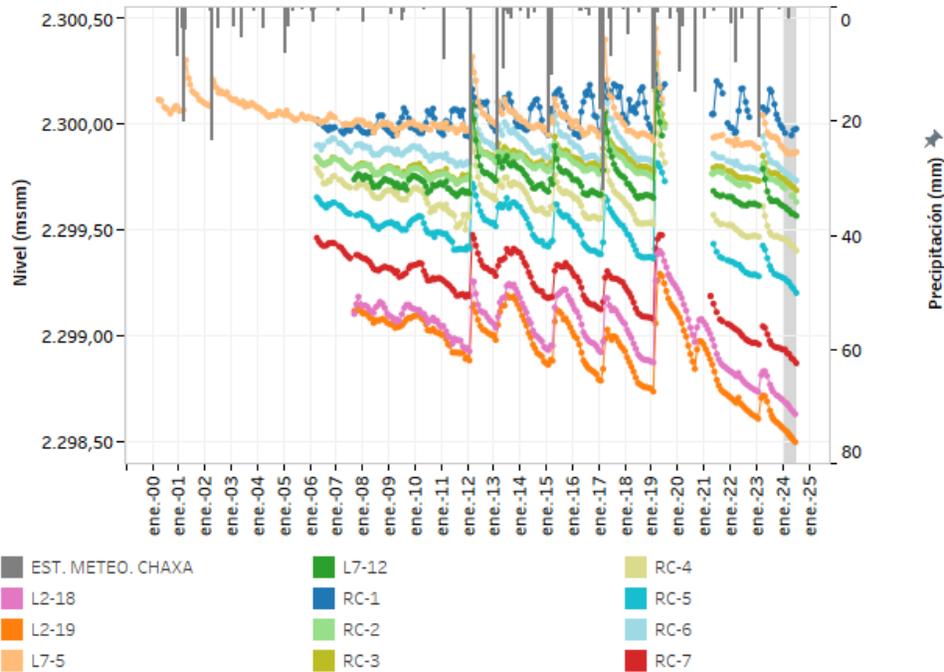


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Al oeste de Chaxa y Barros Negros, se encuentra otro grupo de pozos, compuesto por los puntos L2-18, L2-19, L7-4, L7-12, RC-2, RC-3, RC-4, RC-5, RC-6 y RC-7. Sus niveles se presentan en la Figura 6-22 junto con el pozo RC-1, como referencia para el análisis, ya que su evolución se la del cuerpo de agua superficial.

En este sector, los niveles del acuífero presentan oscilaciones esporádicas e irregulares, y desde el inicio de sus registros han mostrado una tendencia de descenso. Por otro lado, la respuesta a los eventos de precipitación no siempre ha sido proporcional a su intensidad, variando también el tiempo de respuesta. Este grupo de pozos destaca también por presentar una pendiente descendente en sus niveles mínimos (cuando no hay efecto de recuperación de las lluvias), pendiente que aumenta a medida que los puntos se acercan al núcleo. Si se considera el período desde 2012, el punto L7-5 muestra un descenso de 1,2 cm/año, el RC-5 de 2,3 cm/año y el L2-19 de 3,3 cm/año. Estos aspectos permiten concluir que esta zona corresponde a una de transición entre la de recarga del norte y el núcleo.

Figura 6-22: Niveles medidos pozos ubicados al oeste del sistema de lagunas de Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tal y como se ha descrito, los objetos de protección definidos para el Sistema Soncor se encuentran en la Zona Marginal. En este sentido, una vez analizados los niveles históricos junto con la información del primer semestre de 2024, se concluye que este sistema permanece con las variaciones esperadas según el tipo de comportamiento que puede individualizarse según el tipo de recarga y los efectos de estacionalidad que los afectan. Por lo tanto, los objetos de protección también mantienen una fluctuación dentro de comportamiento estacional esperado. En la sección 6.2 se analiza detalladamente el estado de los objetos de protección mediante la revisión de los indicadores de estado.

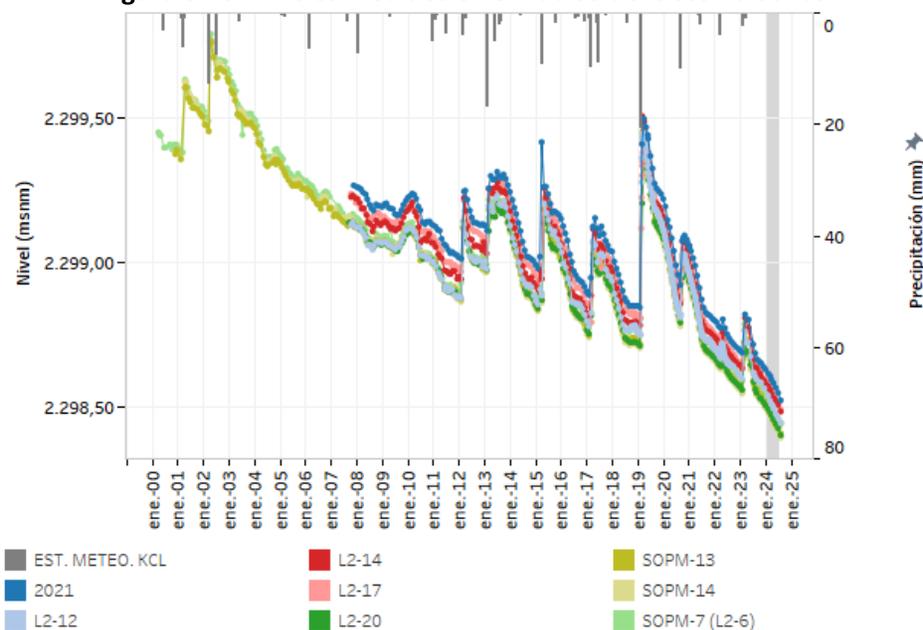
6.1.1.1.6 Pozos en Zona Núcleo

En el Núcleo del Salar se encuentran los puntos de monitoreo SOPM-7 (L2-6), SOPM-13, SOPM-14, L2-14, L2-12, L2-17, L2-20 y 2021. La Figura 6-23 muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos.

La tendencia histórica del Núcleo es de descenso, lo cual se condice con lo esperado para estos pozos, puesto que han presentado ascensos puntuales únicamente como recarga directa (episodios de precipitación). Adicionalmente, a la tendencia de descenso (preoperacional), se sobrepone el efecto de la extracción de salmuera de los dos actores de la cuenca (SQM y Albemarle), lo que implica una tasa de descenso más pronunciada. En efecto, estos niveles responderían a las modificaciones de las tasas de extracción de salmuera, tal como se comprobó en el informe de Efectividad de la Medida, tras la activación de los indicadores de Soncor (IDAEA-CSIC, 2018).

Cabe señalar que este grupo de pozos se caracterizar por presentar un bajo gradiente hidráulico entre ellos (los niveles se encuentran en cotas piezométricas similares), lo que evidencia la planitud de la superficie piezométrica en este sector.

Figura 6-23: Niveles medidos en el núcleo del Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.1.2 Superficie de los sistemas lacustres

El conjunto de superficies lacustres del sistema Soncor está compuesto por las lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros. La superficie de estos cuerpos de agua ha sido medida históricamente a través de imágenes satelitales y estacas perimetrales.

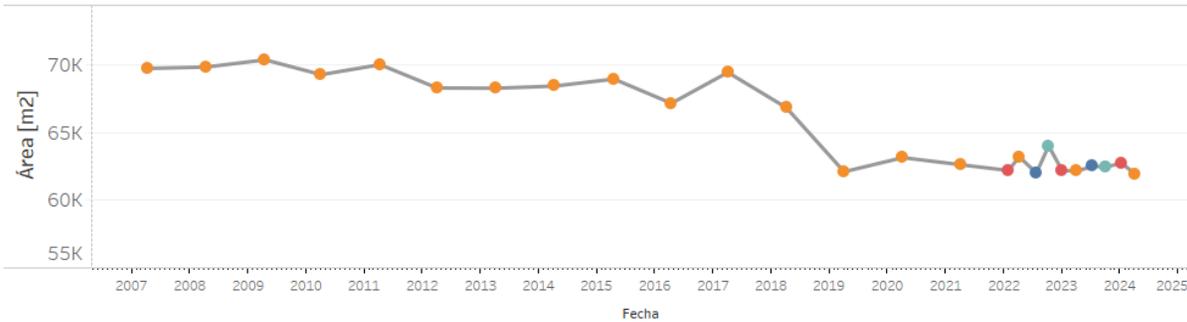
Es importante mencionar que la comparación de áreas entre distintas formas de medición de extensión lagunar no es directa, debido principalmente a diferencias metodológicas. Por ejemplo, el seguimiento vía medición de estacas perimetrales en Puilar comprende sector de su canal de recarga, mientras que la medición mediante imagen satelital de alta resolución se enfoca en el cuerpo principal. Por otro lado, existen cuerpos lagunares con crecimiento o expansión reciente, por ejemplo, el desborde sur de Barros Negros, los que carecen de estacas perimetrales o puntos fijos en su entorno para el seguimiento.

También, se debe tener cautela en la comparación de los resultados obtenidos con el levantamiento de perímetro lagunar, con las extensiones estimadas con imagen satelital. En efecto, el levantamiento del perímetro en terreno puede no incluir zonas de islas o barras formadas al interior del polígono perimetral levantado en terreno. No obstante, es importante mencionar que esta metodología entrega delimitaciones precisas de la posición real del borde lagunar.

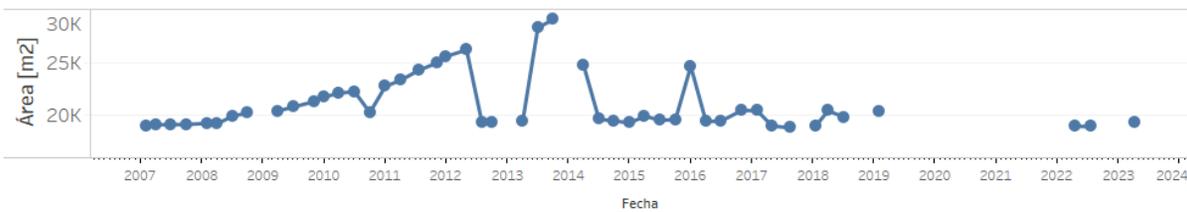
La Figura 6-24 muestra la evolución temporal de la superficie lacustre de Puilar. Los datos satelitales correspondientes al primer semestre de 2024 indican un incremento del 0,4% en comparación con el último registro del semestre pasado. Sin embargo, se observa una disminución del 1,3% en el área del cuerpo principal de Puilar entre enero y abril de 2024. Al comparar la medición de enero de 2023 con la de enero de 2024, se registra un aumento del 0,9% en el área, mientras que la comparación de abril de 2023 con la de abril 2024 revela una disminución del 0,4% en el área del cuerpo principal de Puilar.

En términos generales, se observa que para el período entre los años 2007 y 2017, la superficie lacustre de Puilar, estimada con datos satelitales, se mantuvo alrededor de los 70.000 m². Posteriormente, se observa una disminución hasta alrededor de 62.000 m² en el año 2019, la cual tiende a mantenerse hasta el año 2024. A partir del año 2022 se iniciaron las mediciones con frecuencia trimestral, no obstante, no se logra visualizar en forma marcada la estacionalidad.

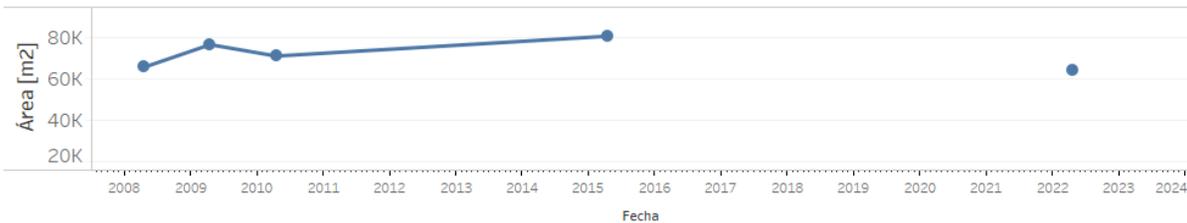
Figura 6-24: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar
Imagen Satelital - Puilar Cuerpo Principal



Estacas perimetrales - Canal de Recarga



Medición Topográfica de Perímetro Lagunar

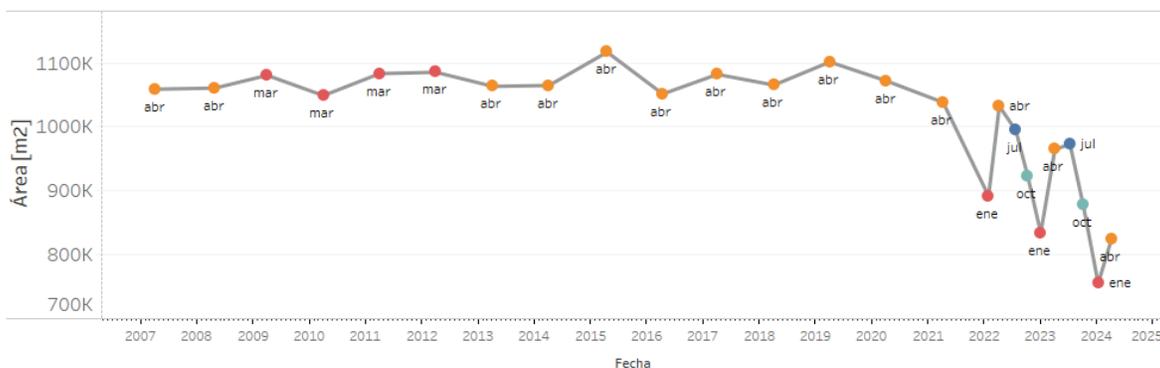


Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-25 presenta la evolución temporal de la superficie lacustre del cuerpo principal de Barros Negros, donde se observa que entre los años 2007 y 2021, esta superficie se mantiene alrededor de 1.050.000 m². Los datos satelitales correspondientes al primer semestre de 2024 indican una disminución del 15,8% en comparación con el último registro del semestre pasado. Sin embargo, se observa un incremento del 9,2% entre enero y abril de 2024 en el cuerpo principal de Barros Negros. Al comparar la medición de enero de 2023 con la de enero 2024, se registra una disminución del 8,5% en el área, mientras que la comparación de abril de 2023 con la de abril 2024 revela una disminución del 14,5% en el área del cuerpo principal de Barros Negros. Si bien el incremento en el área lacustre entre enero y abril se repite desde el año 2021, se aprecia una disminución progresiva en el área en los mismos meses año a año.

Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor.

Imagen Satelital - Barros Negros Cuerpo Principal



Estacas perimetrales - Barros Negros Cuerpo Principal



Medición Topográfica de Perímetro Lagunar - Barros Negros



Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-26 muestra la evolución temporal de las zonas de inundación y desbordes de la laguna Barros Negros. Los datos satelitales correspondientes al primer semestre de 2024 indican una disminución del 71% en comparación con el último registro del semestre pasado en el área del Desborde Sur. Además, se observa una disminución del 2% para el periodo entre enero y abril de 2024. Al comparar la medición de enero de 2023 con la de enero de 2024 en la zona del Desborde Sur, se registra un aumento del 1% en el área, mientras que la comparación de abril de 2023 con la de 2024 revela una disminución del 60% en el área del cuerpo de agua Desborde Sur. Con respecto a las zonas de inundación, la denominada “Cola de

Pez” se mantiene sin variación desde el año 2022, la zona inundación II tiene una disminución progresiva donde el mes de abril muestra una disminución del 95% con respecto al año 2023 y por último la zona inundación III se mantiene sin diferencias importantes desde octubre del 2023. A partir del año 2022 se iniciaron las mediciones con frecuencia trimestral, observándose estacionalidad en las zonas de desbordes, donde las mayores superficies se observan en términos generales en el segundo y tercer trimestre. La única excepción a este comportamiento estacional es la zona “Cola de Pez”.

Figura 6-26: Series de tiempo históricas de superficie lacustre zonas de desbordes de Laguna Barros Negros – Soncor.

Imagen Satelital - Inundaciones de Barros Negros - 'Cola de Pez'

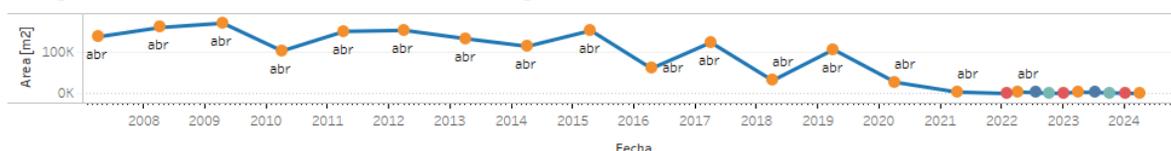


Imagen Satelital - Inundaciones de Barros Negros - Inundación II

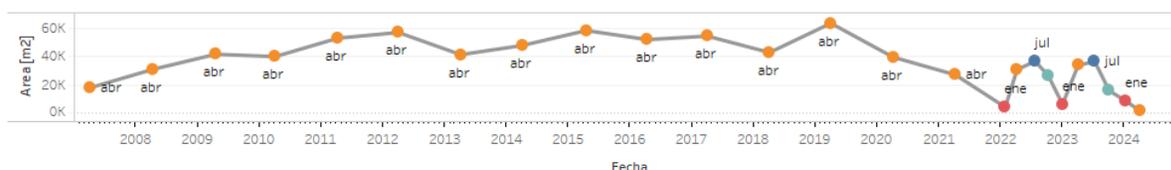


Imagen Satelital - Inundaciones de Barros Negros - Inundación III

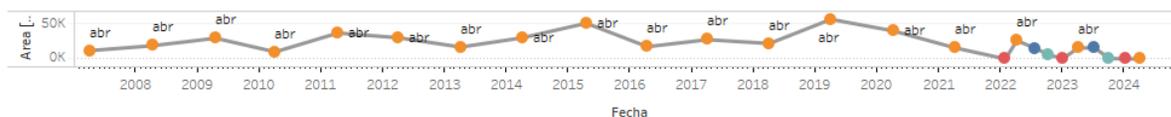
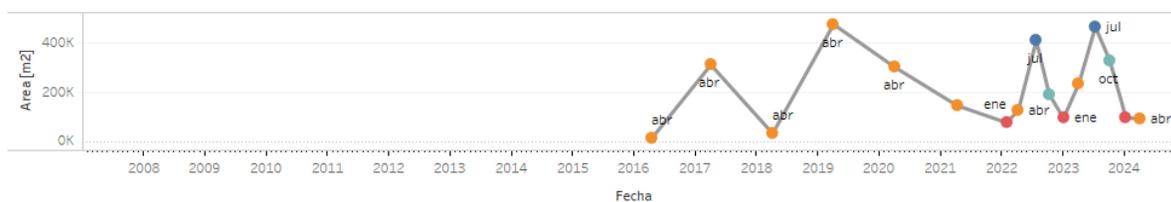


Imagen Satelital - Inundaciones de Barros Negros - Desborde Sur



Trimestre de Fecha
■ T1 ■ T2 ■ T3 ■ T4

Fuente: Elaboración propia

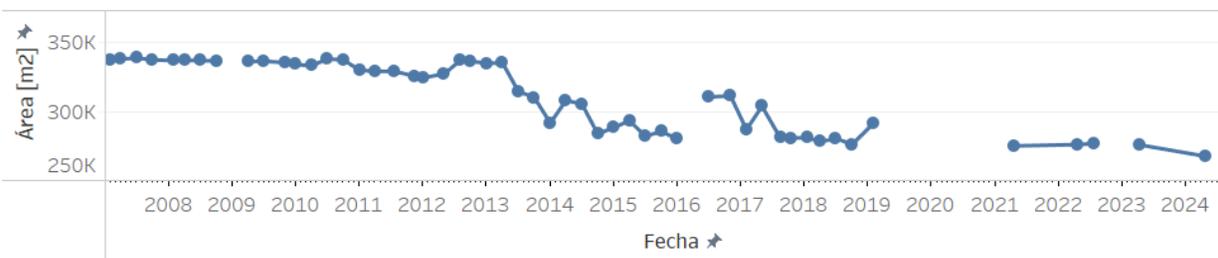
La Figura 6-27 muestra la evolución temporal de la superficie de laguna Chaxa. Los datos satelitales correspondientes al primer semestre de 2024 indican un incremento del 0,6% en comparación con el último registro del semestre pasado. Sin embargo, se observa una disminución del 1,6% en la superficie de la laguna Chaxa entre enero y abril de 2024. Al comparar la medición de enero de 2023 con la de enero de 2024, se registra un aumento del 2,0% en el área, mientras que la comparación de abril 2023 con abril de 2024 revela una disminución del 2,3% en la superficie de la laguna Chaxa. A partir del año 2022, debido al inicio de las mediciones trimestrales, se observa estacionalidad donde la mayor superficie ocurre en el segundo y tercer trimestre.

Figura 6-27: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR.

Imagen Satelital - Chaxa Cuerpo Principal



Estacas perimetrales - Chaxa Cuerpo Principal

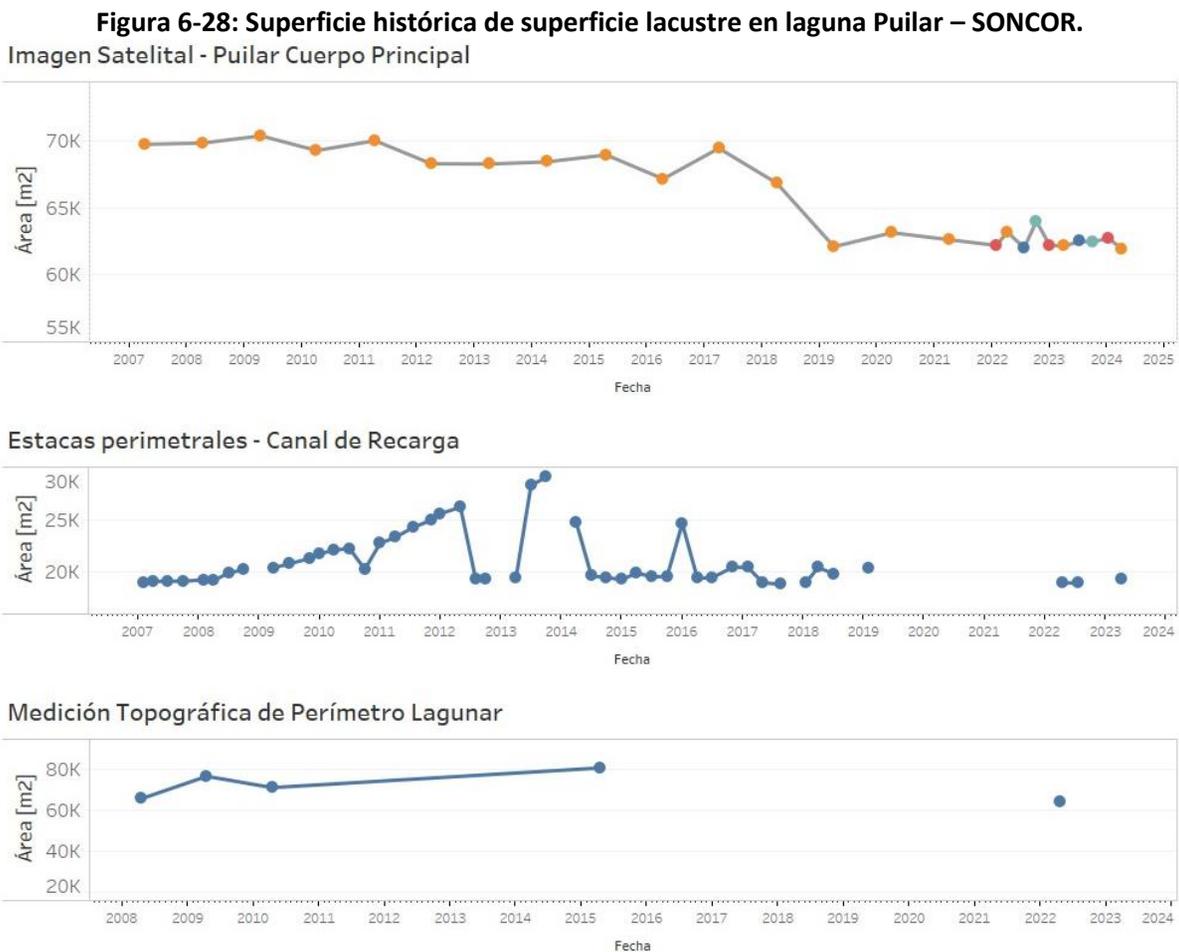


Medición Topográfica de Perímetro Lagunar - Chaxa



Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-28 muestra la superficie histórica de la laguna Puilar obtenida mediante las imágenes satelitales, estacas perimetrales y levantamiento topográfico, junto con la precipitación registrada por la estación Chaxa. La diferencia entre lo obtenido mediante imágenes satelitales y las obtenidas por estacas perimetrales es debido a que las estacas representan únicamente la película de agua del canal de recarga nomas y no a todo el cuerpo principal.



Fuente: Elaboración propia

En síntesis, las superficies lacustres muestran, en promedio, una disminución progresiva desde el año 2021. Si bien se tiene un incremento entre los meses de enero y abril, si se analizan los registros por mes con respecto a los años anteriores, se aprecia esta disminución. El caso del cuerpo principal de Barros Negros, la disminución entre lo registrado en el año 2024 y 2023 es más notoria, llegando a tener un 14,5% de diferencia entre abril 2023 y abril 2024.

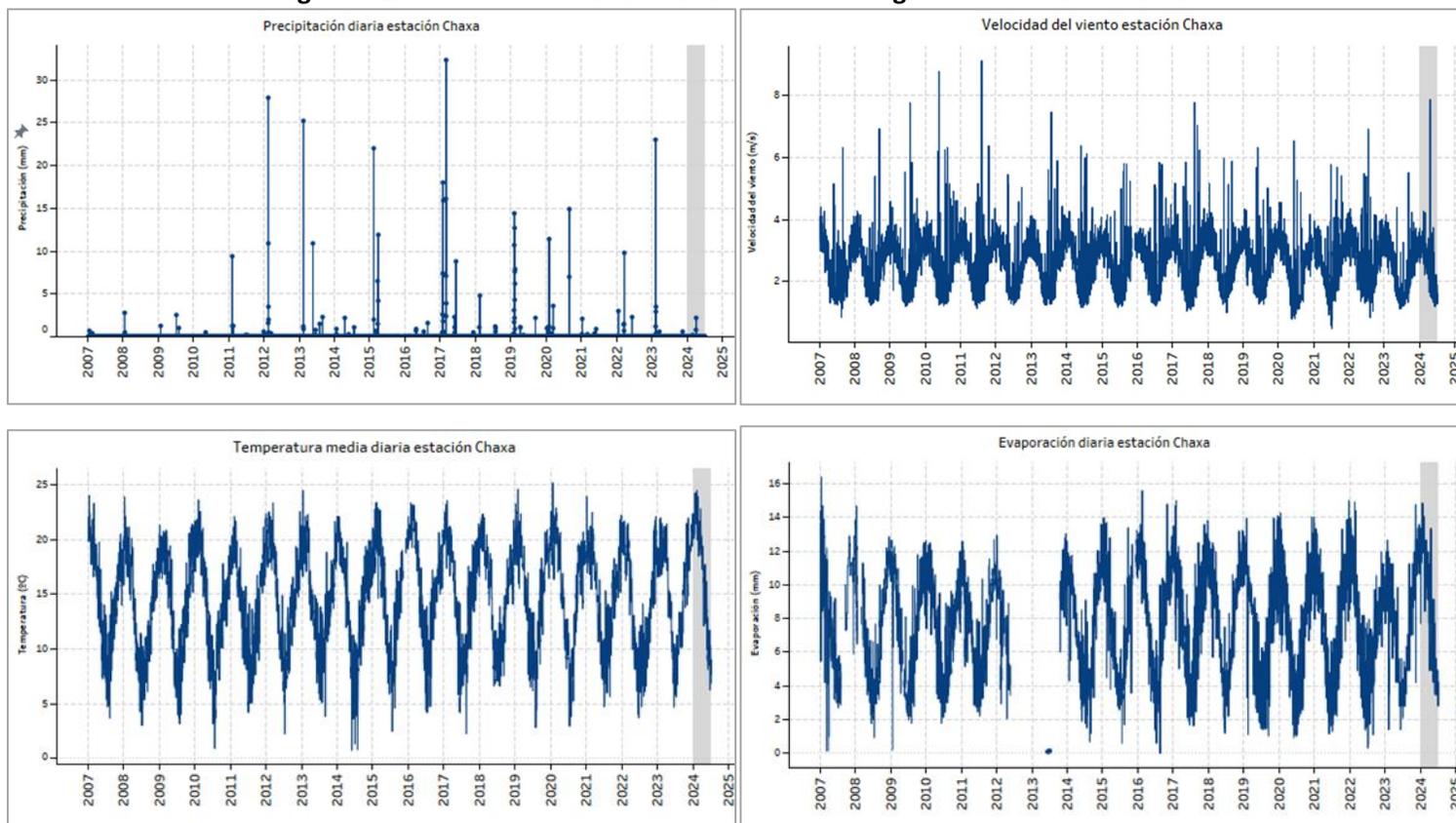
6.1.1.3 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación Chaxa considera la medición de los parámetros de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura desde el inicio del proyecto, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 6-29. Se debe destacar que la precipitación, evaporación y temperatura son parámetros condicionantes del comportamiento de los niveles de varios pozos asociado al sistema.

La precipitación histórica muestra un cambio de tendencias, diferenciándose en dos épocas según los eventos de precipitación. El primer periodo, entre mayo 2007 y diciembre 2011, puede considerarse una época seca. Esto dado que se registraron pocos eventos de precipitación, con un máximo de 9,4 mm en el mes de febrero 2011. Posterior a esta fecha, desde el 2012 en adelante, se observa un incremento de las precipitaciones. Esto ocurre principalmente en el primer trimestre de los años 2012, 2013, 2015, 2017 y 2019, alcanzando un máximo histórico de 32,3 mm/día el día 25 de febrero de 2017. Durante el primer semestre del 2024 se observaron tres eventos de precipitación con un total acumulado de 3,2 mm.

A nivel histórico, la evaporación y la temperatura presentan una oscilación anual, con máximos en verano. Cabe señalar que aquellos pozos que tienen una periodicidad anual en sus niveles se encontrarían influenciado por la evaporación y la temperatura del sector. La temperatura promedio para el primer semestre de 2024 fue de 16,92 °C, que corresponde a 2,45°C sobre al promedio histórico (14,47°C) hasta el 30 de junio de 2024. Por otra parte, la evaporación promedio durante el primer semestre de 2024 fue de 8,76 mm/día en la bandeja de evaporación de Chaxa. Esto equivale a 0,99 mm/día por debajo del promedio histórico (7,77 mm/día). Respecto a la velocidad del viento el promedio durante el primer semestre de 2024 fue 2,53 m/s, que corresponde a 0,16 m/s menos que el promedio histórico de hasta junio de 2024 (2,69 m/s).

Figura 6-29: Series históricas de variables meteorológicas en la estación Chaxa

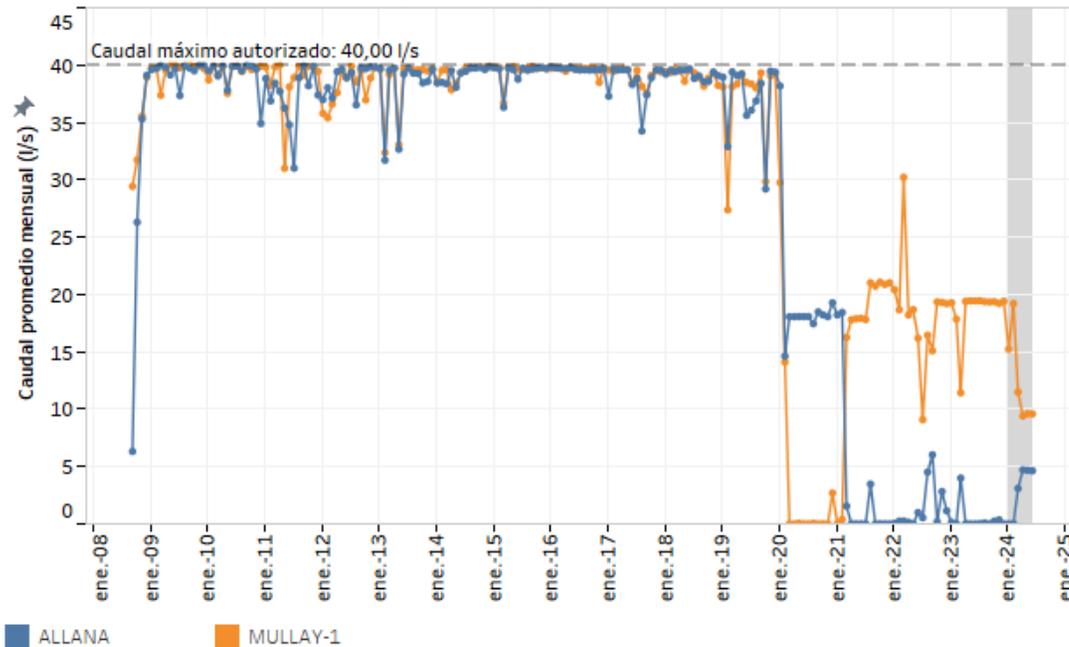


Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4 Caudal bombeado

El registro de los caudales históricos extraídos desde los pozos Mullay-1 y Allana-1 se muestran en la Figura 6-30. Ambos pozos de bombeo de agua industrial, ubicados en el sector aluvial, comenzaron sus operaciones en septiembre de 2008. Desde entonces han extraído caudales menores a los derechos ambientales autorizados (40 L/s para cada uno). A partir de junio de 2018, ambos pozos alcanzaron caudales de 39,7 L/s, y en 2019 los máximos alcanzaron valores similares, con caudales 39,3 L/s para Mullay-1 y 39,5 L/s para Allana-1. En marzo de 2020, tras decisiones operacionales, el pozo Mullay-1 cesó su bombeo, mientras que el Allana-1 redujo su extracción, a un caudal promedio de 17,9 L/s. Durante el 2021, dicho escenario se revierte, reactivando la operación en Mullay-1 y deteniendo el bombeo en Allana-1. En el 2022, Mullay-1 bombeó en promedio 18,2 L/s, con un *peak* puntual de 30,2 L/s. A mediados del mismo año, Allana-1 retomó su extracción, con caudales de hasta 6 L/s. A lo largo de 2023, Mullay-1 mantuvo un bombeo estable, promediado en 18,5 L/s, mientras que Allana-1 continuó con una extracción reducida, alcanzando un caudal máximo de 3,9 L/s. En el primer semestre de 2024, los caudales extraídos por Mullay-1 y Allana-1 han permanecido por debajo del límite máximo aprobado, con flujos promedios semestrales de 12,4 L/s y 2,9 L/s, en orden respectivo.

Figura 6-30: Caudal histórico de los pozos de Agua Industrial del Sistema Soncor (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.5 Calidad Química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad de agua realizado en el primer semestre de 2024 en el Sistema Soncor, tanto en aguas superficiales como subterráneas en comparación con su registro histórico.

El modelo conceptual en el acuífero indica que la dirección de flujo es hacia el oeste. En su trayecto desde el este hacia la zona marginal las aguas se enriquecen por disolución de sales, descargando en la zona marginal y sistemas lagunares, donde la mayor parte de esta agua se evapora. Los puntos se distribuyen desde la zona aluvial (L2-3, Mullay-1 y Allana), marginal (L1-4, L1 5, L1-6, L2-4, L2-5, L7-3, L7-G1, L1-G4 reglilla, Burro Muerto reglilla, Chaxa reglilla, Barros Negros reglilla y Puilar reglilla) y núcleo (SOMP-7 (L2-6) y SOMP-14) del Salar de Atacama.

Esta sección se divide en tres subsecciones que agrupan los puntos de monitoreo de calidad de aguas de acuerdo con sus características. La primera corresponde a pozos y reglillas de monitoreo (subterráneo), la segunda corresponde a la calidad de agua en pozos de agua industrial (subterráneo) y la tercera a los sistemas lacustres (superficial).

Para la lectura de las series históricas de los registros de parámetros analizados se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran con resalte.

6.1.1.5.1 *Calidad del agua en pozos y reglillas de monitoreo*

La calidad química del agua en pozos y reglillas en el Sistema Soncor es monitoreada en los puntos L2-4, L1-4, L1-5, L1-6, L2-3, L7-3, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla y L7-G1^{15,16}, y corresponden a: conductividad eléctrica terreno, densidad terreno, pH terreno, conductividad eléctrica, densidad, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales (Figura 6-31 a Figura 6-33).

En cuanto al análisis histórico, los puntos presentan distintas características, de acuerdo con su ubicación respecto del núcleo del Salar de Atacama dentro del Sistema Soncor. Los resultados del periodo para los distintos analitos y puntos se encuentran, en general, dentro del rango histórico.

Los pozos de monitoreo ubicados en el aluvial (L2-3) y en la zona marginal próxima al aluvial (L7-3 y L2-4), presentan los menores valores de conductividad eléctrica de terreno con registros máximos de 16.050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo L2-4, mientras que los pozos L2-3 y L7-3 presentan valores máximos de 4.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 10.510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. Por otra parte, los sólidos disueltos totales en el pozo L2-4 se encuentran bajo los 10.400 mg/L y los sólidos totales bajo los 30.600 mg/L. Los pozos L2-3 y L7-3 presentan valores de sólidos disueltos totales inferiores a 3.184 mg/L y 2.852 mg/L y de sólidos totales menores a 3.528 mg/L y 11.118 mg/L. Los valores de pH de terreno se encuentran en el rango de 6,80 a 8,70 y una densidad de terreno y laboratorio en torno a 1,00 g/mL. El pozo L2-4 presenta una tendencia a la baja en los registros de pH de terreno a partir del año 2019, estas variaciones se corresponden con pequeños incrementos observados en la conductividad eléctrica de terreno durante el mismo año. Estas variaciones podrían atribuirse a los mayores eventos de precipitación ocurridos

¹⁵ En el informe N°5 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de la CE y SDT de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el Laboratorio ALS Life Sciences S.A hasta julio de 2008. Se adjuntó carta explicativa emitida por ALS Life Sciences S.A, así como un breve análisis.

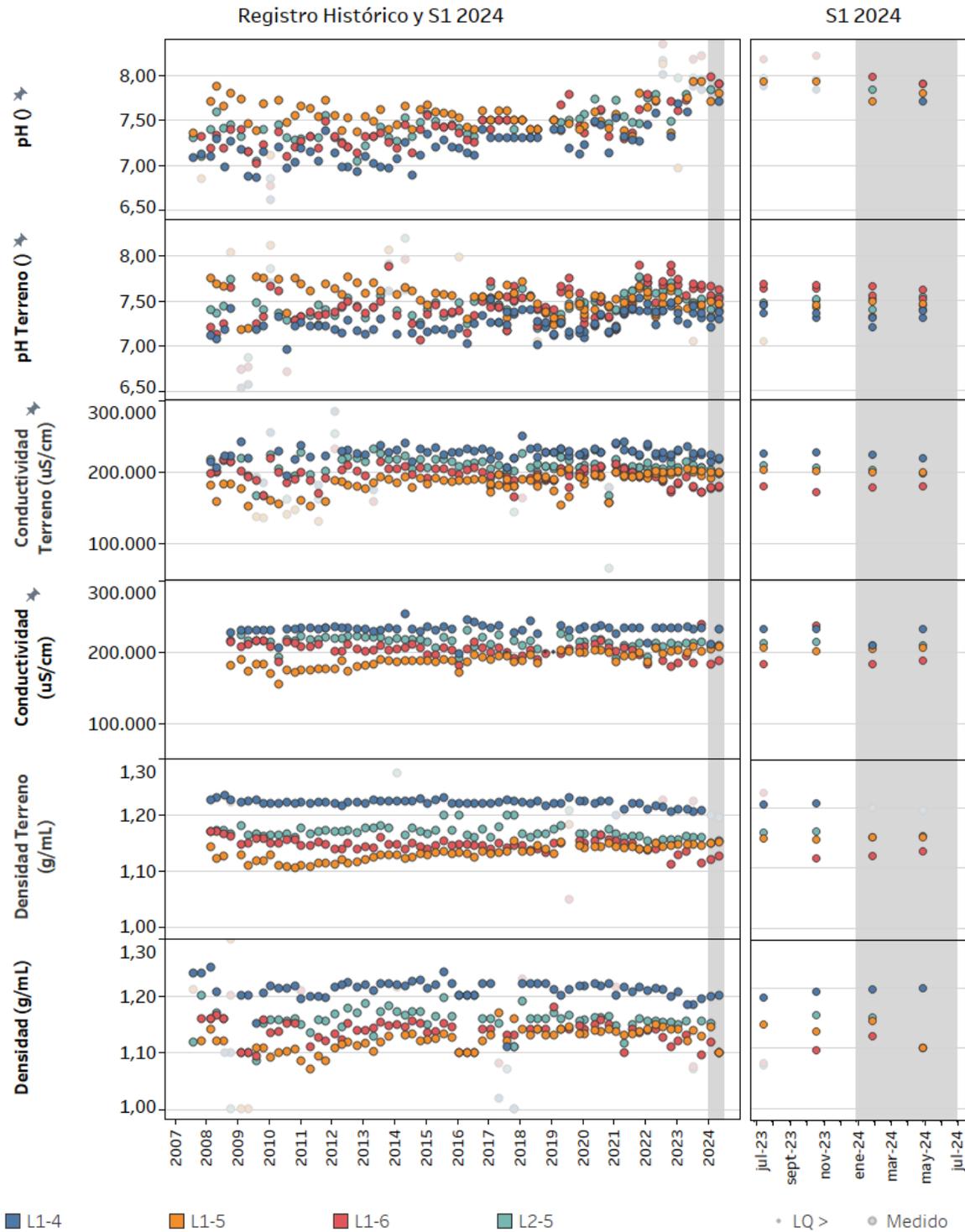
¹⁶ En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Life Sciences S.A hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado informe. Adicionalmente, el mismo problema fue detectado en la campaña de mayo de 2020 y se adjunta la carta de respuesta de ALS, indicando que el error en los resultados de STD y ST se debe a un error en la toma de alícuota y que realizará una capacitación del personal para evitar que vuelva a suceder. (Revisar PSAH N°26).

en el 2019, los cuales favorecen la solubilidad de sales y por ende un aumento de la conductividad eléctrica y una disminución del pH.

La estacionalidad propia de puntos más someros, mostrando valores máximos en verano y mínimos en invierno, se comienza a apreciar en los puntos de monitoreo en la zona marginal hacia el núcleo al oeste (puntos L1-4, L1-5, L1-6, L2-5, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla, L7-G1). Se observa que la conductividad eléctrica de terreno se encuentra en general en torno a los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aumentando por encima de este valor en los puntos más cercanos al núcleo (SOPM 7 (L2-6), SOPM-14, L1G4 Reglilla y L7-G1). El contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales ronda en promedio en valores de 147.311 mg/L y 293.129 mg/L, respectivamente, en los puntos más cercanos al núcleo. El pH de terreno y laboratorio se encuentran en el rango de 6,61 – 8,15, en donde el pH de laboratorio presenta una leve tendencia a la alta a partir de enero 2022 a la fecha, sin embargo, el pH de terreno no refleja este comportamiento. Por otra parte, la densidad en el rango entre 1,00 – 1,25 g/mL. Además, la densidad de terreno muestra una tendencia a la baja para el punto L1-4 desde 2018 a la fecha, sin embargo, la densidad de laboratorio no refleja este comportamiento.

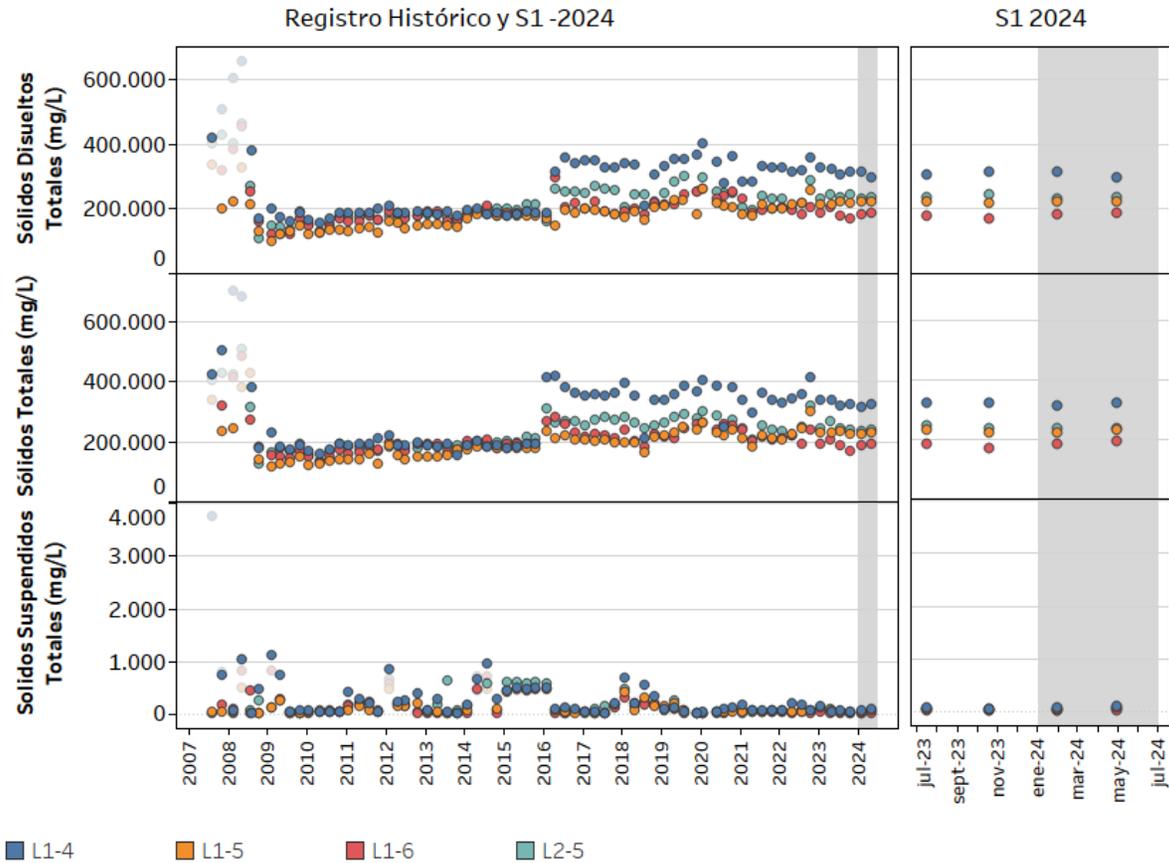
El punto L1-4 presenta características de salmuera (densidad de terreno $>1,20$ g/mL, sólidos disueltos totales laboratorio >200.000 mg/L y conductividad eléctrica terreno > 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y los puntos L2-5 y L1-6 con registros de conductividad eléctrica terreno promedio también del orden de 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y densidad de terreno un poco menor que el L1-4, del orden de 1,10 – 1,20 g/mL por encontrarse en el núcleo o en la parte más distal de la zona marginal, al oeste del afloramiento de la interfaz salina. La reglilla L7-G1 presenta una marcada estacionalidad para la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos y totales, mostrando valores máximos en verano y mínimos en invierno, coincidente con el régimen de evaporación y contrario al régimen de caudales del canal de Burro Muerto.

Figura 6-31: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L1-4, L1-5, L1-6 y L2-5



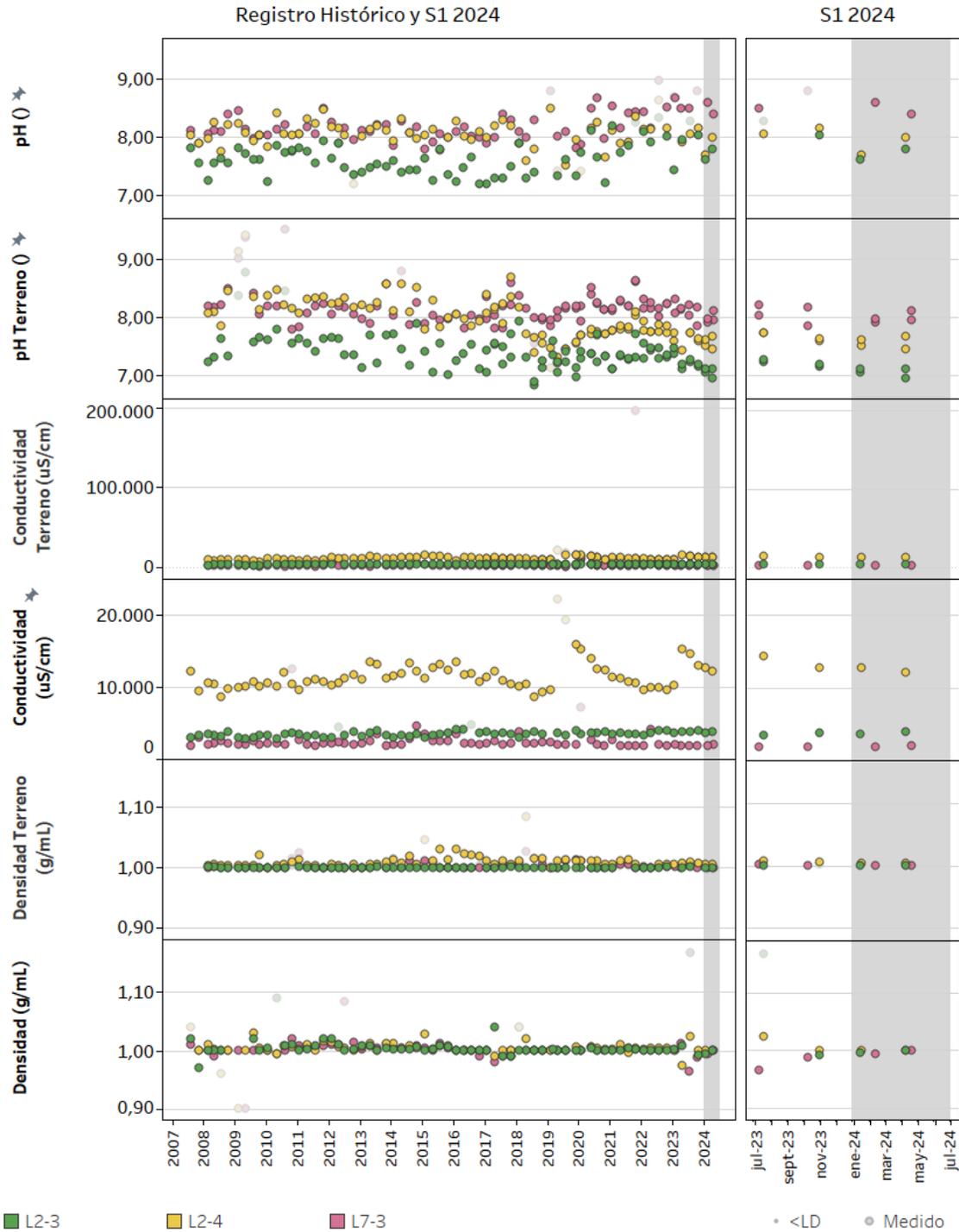
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-31: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L1-4, L1-5, L1-6 y L2-5 (continuación)



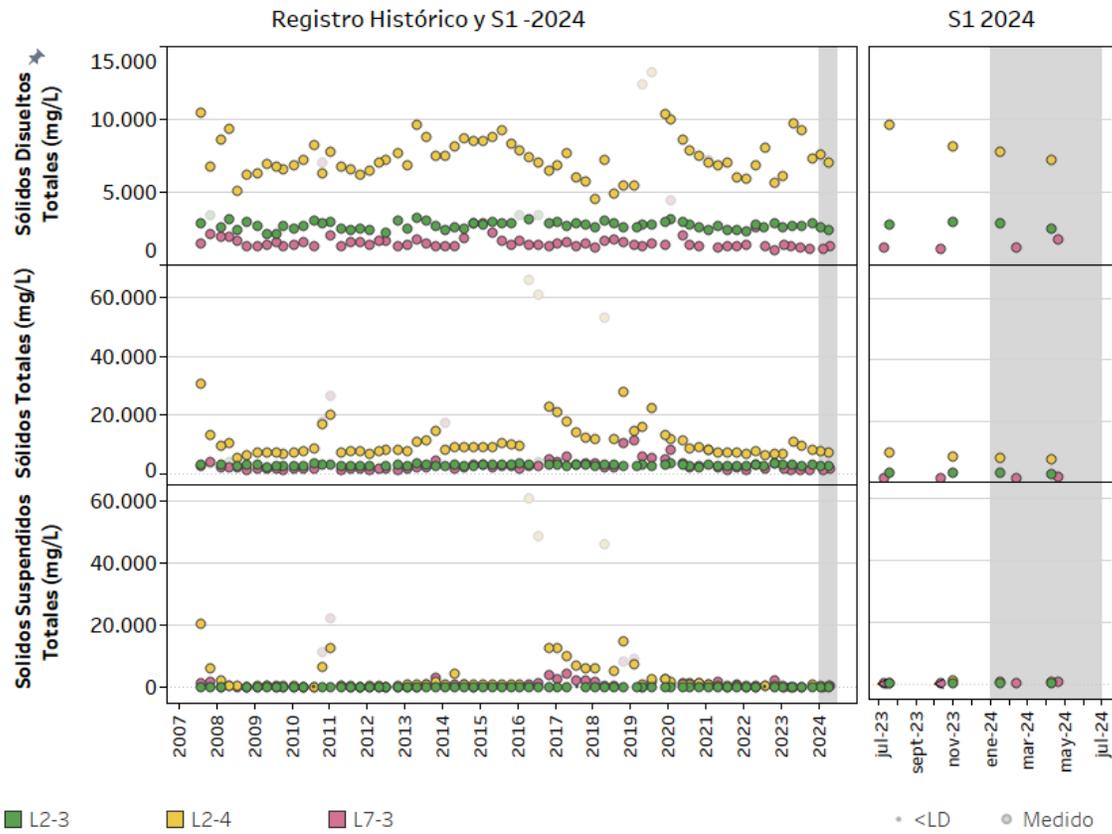
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-32: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L2-4, L2-3 y L7-3



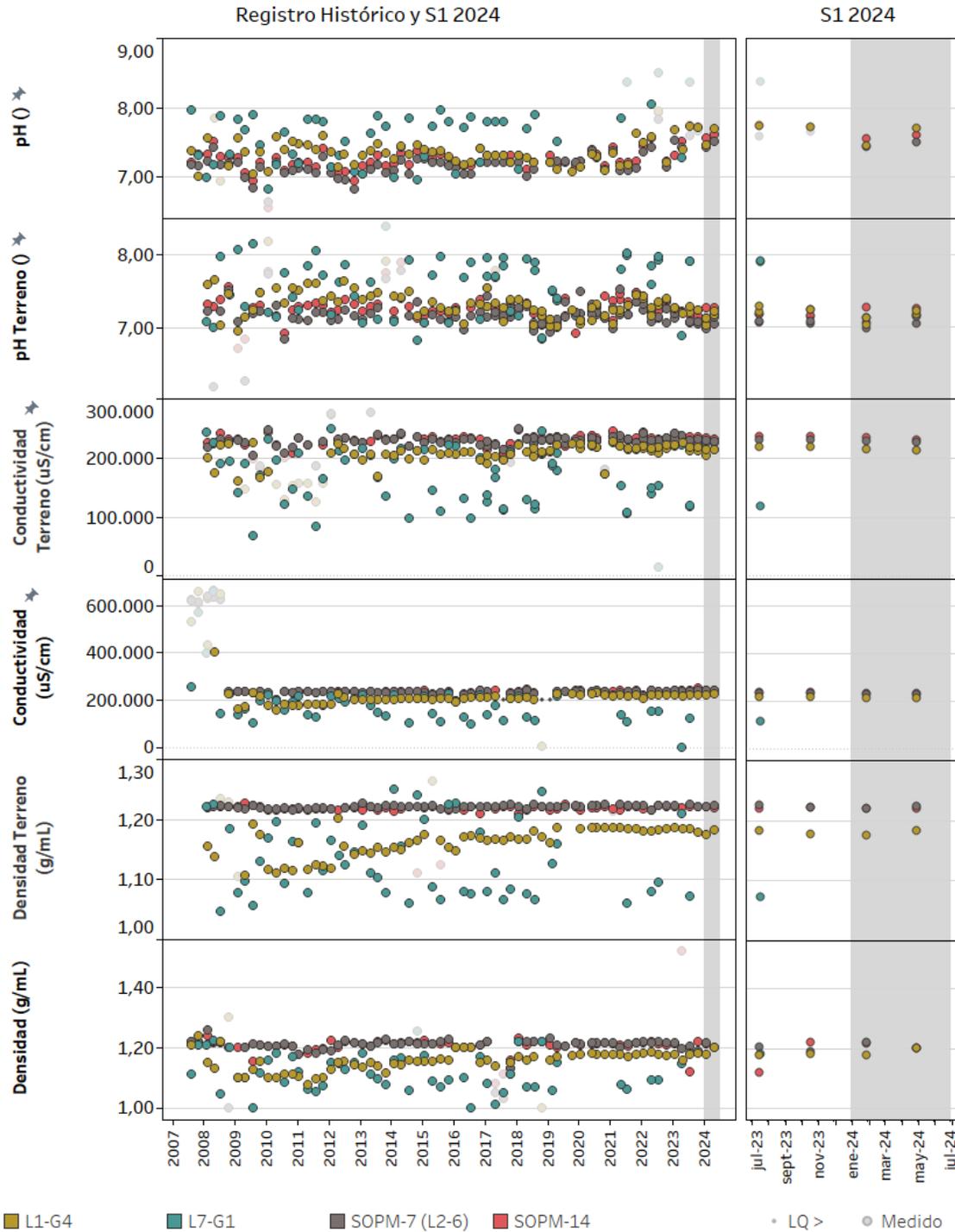
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-32: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L2-4, L2-3 y L7-3 (continuación)



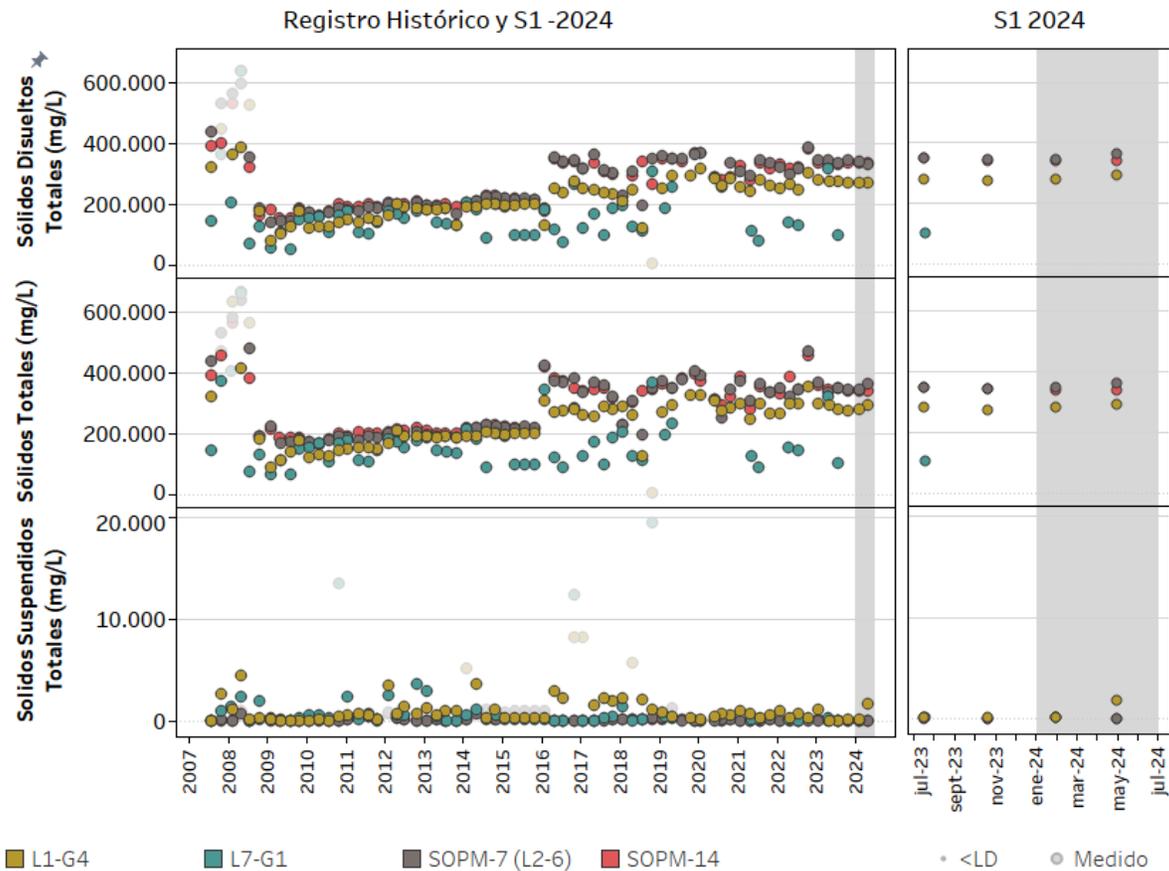
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-33: Evolución histórica calidad del agua en pozos L1-G4, L7-G1, SOPM-14 y SOPM-7 (L2-6)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

**Figura 6-33: Evolución histórica calidad del agua en pozos L1-G4, L7-G1, SOPM-14 y SOPM-7 (L2-6)
(continuación)**



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

En la mayoría de los pozos y reglillas las mediciones realizadas el primer semestre de 2024 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- Valores bajo de densidad de laboratorio en el segundo trimestre del 2024 de los pozos L1-6, L1-5 y L2-5, que no se corresponde con la tendencia histórica ni con las mediciones de terreno. Por lo tanto, puede asociarse a un error de medición (outlier).
- En los dos primeros trimestres del 2024, todos los pozos presentaron valores de pH de laboratorio mayores en relación con los valores de pH de terreno. Esto puede indicar un error sistemático en las mediciones de pH, probablemente asociados al holding time máximo de 24 a 48 horas posterior a la toma de muestra en terreno y la medición realizada en laboratorio.
- Posibles tendencias temporales asociadas a distintos fenómenos (siguiente párrafo).

Respecto a tendencias identificadas:

- En relación con a la evolución temporal de los parámetros, las principales variaciones se observan en la concentración de sólidos disueltos totales, sólidos totales, conductividad eléctrica y densidad. Estos parámetros tienden al aumento en los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla. Ambos puntos se han visto afectados por el cambio en el comportamiento de la dinámica de desborde de la laguna Barros Negros evidenciado a contar del año 2012 originando que, en la actualidad, los aportes al sector de Cola de Pez sean menores, pudiendo explicar también el comportamiento observado en los puntos ubicados en dicho sector (L1-G4 Reglilla y L1-5). Un detalle de la relación entre el cambio en la dinámica de desbordes Barros Negros y su influencia en la química en los pozos ubicados en los sectores Cola de Pez y hacia el sur se expone en el informe presentado a la autoridad en el marco de la activación de Fase II¹⁷.
- Para los puntos de muestreo L1-G4 Reglilla, L1-4, L1-6, L2-5, SOPM-7 (L2-6) y SOPM-14 el aumento en SDT que se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha no se pueden asociar a cambios en el acuífero, sino a un cambio en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de las muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26 del año 2019 público en SNIFA.

6.1.1.5.2 Calidad del agua en pozos de agua industrial

La evolución histórica de los parámetros monitoreados en los pozos de extracción de agua industrial Mullay-1 y Allana se presentan en la Figura 6-34 que corresponden a Calidad 4.

Desde febrero de 2020, en un marco de decisiones de carácter operacional, se reduce a más de la mitad el caudal del pozo Allana (unos 18 L/s) y se deja de bombear el Mullay-1. Durante el 2021, se invierte el escenario dejando de bombear caudal en Allana y a la vez, reactivando la operación en Mullay-1. Este escenario se mantiene hasta el presente periodo a reportar.

¹⁷ Informe “Análisis de la dinámica de la laguna Barros Negros y su implicancia sobre la activación del Plan de Contingencia en el pozo L1-5 y la reglilla L1-G4” realizado por SQM el año 2018.



Los resultados del primer semestre de 2024 para los distintos analitos se encuentran en general dentro del rango histórico registrado. Ambos puntos se encuentran en el acuífero aluvial, caracterizado por presentar una conductividad eléctrica y concentración de sólidos disueltos totales menores de 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5.000 mg/L, respectivamente.

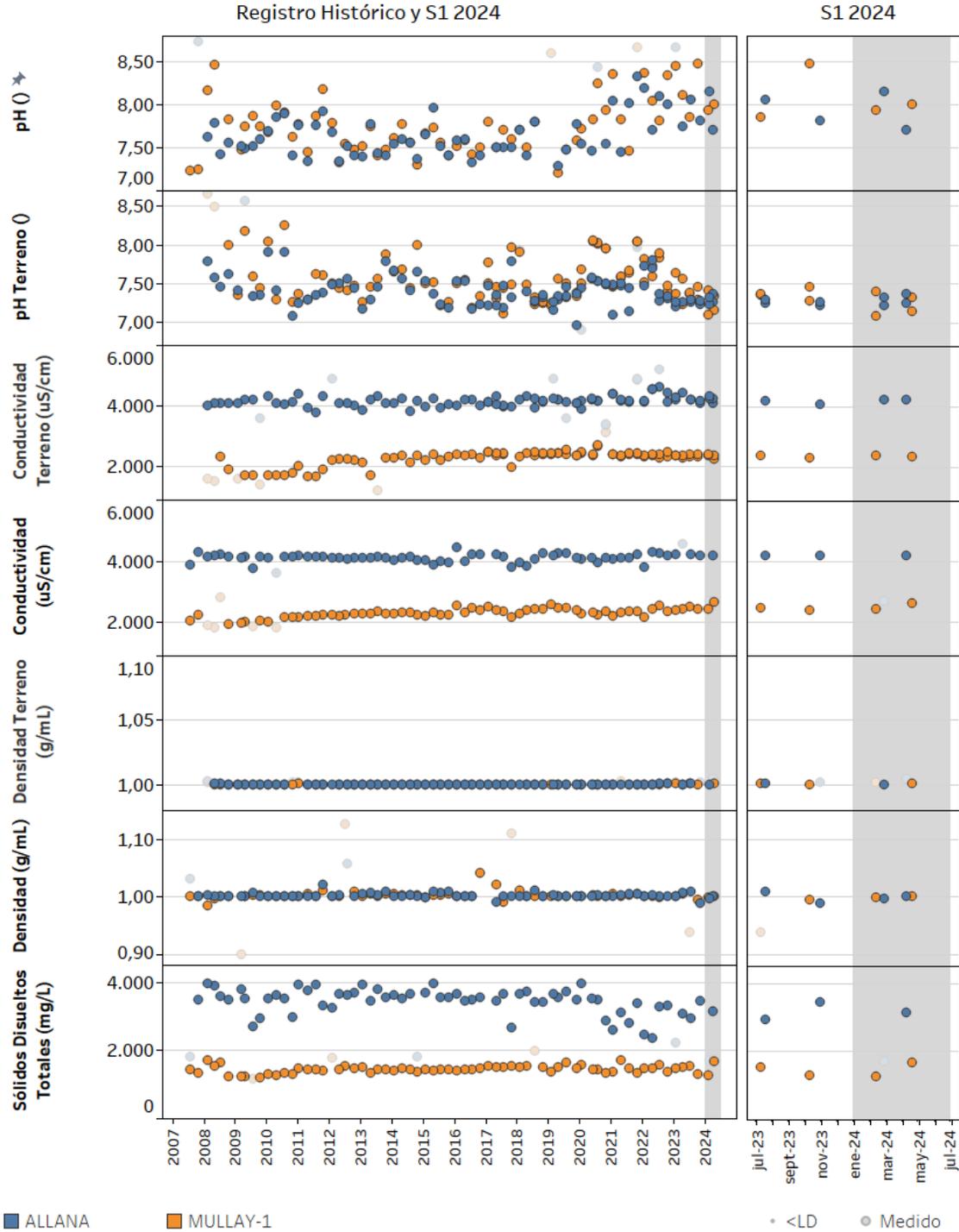
Al analizar el pozo Mullay-1, se observa que los valores medidos se mantienen dentro del rango histórico. De acuerdo con el contenido promedio de sólidos disueltos totales los fluidos de Mullay-1 y Allana clasifican como agua fresca y agua tipo de transición, respectivamente. Al considerar los valores promedio de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y densidad, ambos fluidos clasifican como agua dulce. Esta condición se mantuvo para el primer semestre de 2024. En febrero de 2024 Allana presentó valores de conductividad eléctrica de laboratorio, sólidos totales disueltos, calcio, magnesio, arsénico, sulfato, alcalinidad total y alcalinidad bicarbonato fuera del rango histórico y no consistentes en tendencia de los últimos años.

En abril de 2024 el pozo Mullay-1 mostró un registro de potasio con un aumento puntual fuera de la tendencia previa, por lo que estos registros no representan en si datos validados.

La densidad de terreno y de laboratorio promedio del pozo Mullay-1 para todo el periodo histórico corresponde a 1,00 g/mL, volviendo a registrar este valor el segundo trimestre de 2024. El pozo Allana mantuvo sus valores dentro del rango histórico para el primer y segundo trimestre.

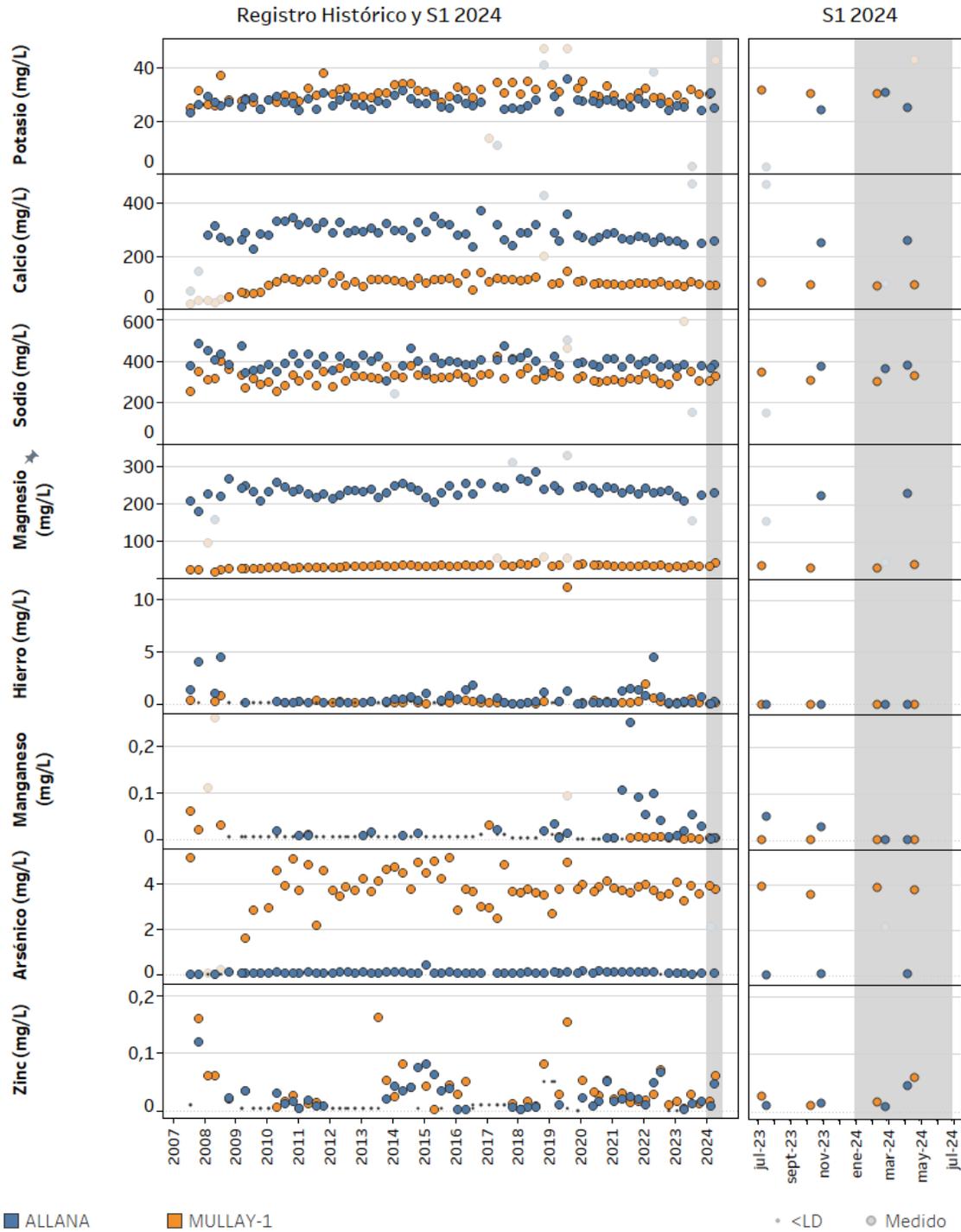
El resto de los parámetros analizados: sodio, hierro, manganeso, alcalinidad carbonato y nitrógeno nitrato, presentan concentraciones en los análisis validados del primer semestre de 2024 relativamente estable con respecto al periodo anterior y dentro del rango histórico.

Figura 6-34: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1



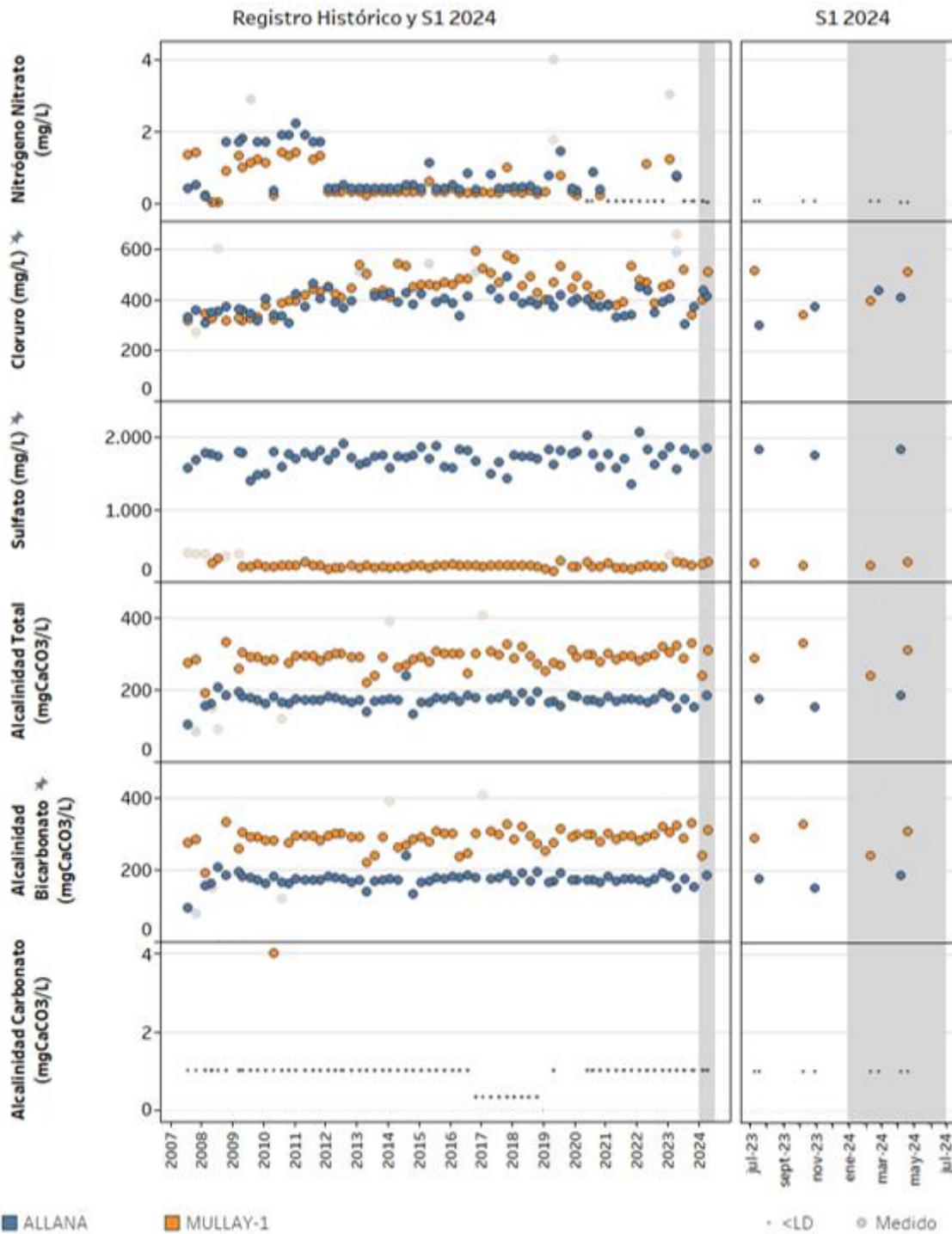
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-34: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1
(continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-34: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

La Figura 6-35 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en estos puntos durante el primer semestre del 2024 y registro histórico, que han sido validadas con un balance iónico (BI) menor de 10%. El pozo Allana presenta una composición marcadamente sulfatada cálcica magnésica, a diferencia de Mullay-1, el cual presenta históricamente una composición clorurada sódica. Las muestras obtenidas durante el primer semestre de 2024 en el pozo Allana y Mullay-1 presentan concentraciones de calcio, sodio, magnesio, cloruro y sulfato dentro del rango histórico. Sin embargo, el punto Allana presenta mayores valores de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sulfatos y magnesio que Mullay-1. Por su parte, el pozo Mullay-1 presenta mayores concentraciones de arsénico. Todo ello es esperable pues, la mayoría de los pozos en el acuífero aluvial se observan clorurados sódicos, igual que las quebradas del este de la cuenca. A excepción de las aguas provenientes desde la quebrada Soncor, las cuales muestran facies sulfatado-magnésicas que se mantienen en la UH Aluvial en el pozo Allana (SQM, 2023).

Figura 6-35: Diagrama de Piper para los puntos Mullay-1 y Allana



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.5.3 Calidad del agua en sistemas lacustres

Durante el primer trimestre solo fue posible acceder a monitorear un punto de control de los sistemas lacustres, correspondiente a Burro Muerto, mientras que el segundo trimestre se logró monitorear los 4 puntos (Chaxa, Barros Negros, Burro Muerto y Puilar). La Figura 6-36 presenta la evolución histórica de los parámetros analizados, los cuales corresponden a Calidad 3 para los puntos Burro Muerto y Puilar, mientras que puntos Barros Negros y Chaxa presentan parámetros correspondientes a Calidad 2, los cuales son parte de compromiso de la RCA N°226/2006 (ver Anexo 2, que define el tipo de calidad por cada punto de monitoreo).

Se han unificado las mediciones realizadas anteriormente por CONAF con las mediciones realizadas por SQM, mostrando las dos mediciones en aquellos casos que se midieron por ambos laboratorios. Esto sucede para pH y temperatura, ambos parámetros de terreno. En cuanto al análisis histórico y por tratarse de agua superficial, el canal Burro Muerto y las lagunas que son alimentadas por él (laguna Chaxa y Barros Negros), presentan una marcada estacionalidad controlada por la evaporación y el régimen de caudales. Esto se traduce en valores máximos en verano y mínimos en invierno para las concentraciones de sólidos disueltos totales, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, y conductividad eléctrica, comportamiento similar a los ciclos de evaporación y contrarios a los caudales.

El punto de muestreo en Puilar, representa una excepción a este comportamiento ya que la muestra se toma en el canal que alimenta la laguna Puilar y su alimentación proviene de la descarga del acuífero aluvial. Esta descarga se produce como consecuencia del efecto combinado del encuentro entre el agua dulce del aluvial y la interfaz salina que aflora en la zona marginal, la disminución de la conductividad hidráulica y la baja pendiente de la zona marginal. Este hecho condiciona que los parámetros fisicoquímicos en la muestra de Puilar presenten una mayor estabilidad promedio, mostrando una estacionalidad menos marcada que en los otros cuerpos lagunares y evidenciada principalmente por los sólidos disueltos totales, sólidos totales y cloruros, y en menor medida por la salinidad, aunque este parámetro cuenta con pocos registros.

Respecto al tipo de agua presente en los cuerpos lagunares, se observa que los puntos de control de Chaxa y Canal Burro Muerto presentan concentraciones de sólidos disueltos totales promedio del orden de 100.000 mg/L, las cuales se enriquecen en sales hacia el sur al llegar a la laguna Barros Negros (laguna terminal del sistema), alcanzando en promedio 200.000 mg/L, lo que corresponde a aguas tipo

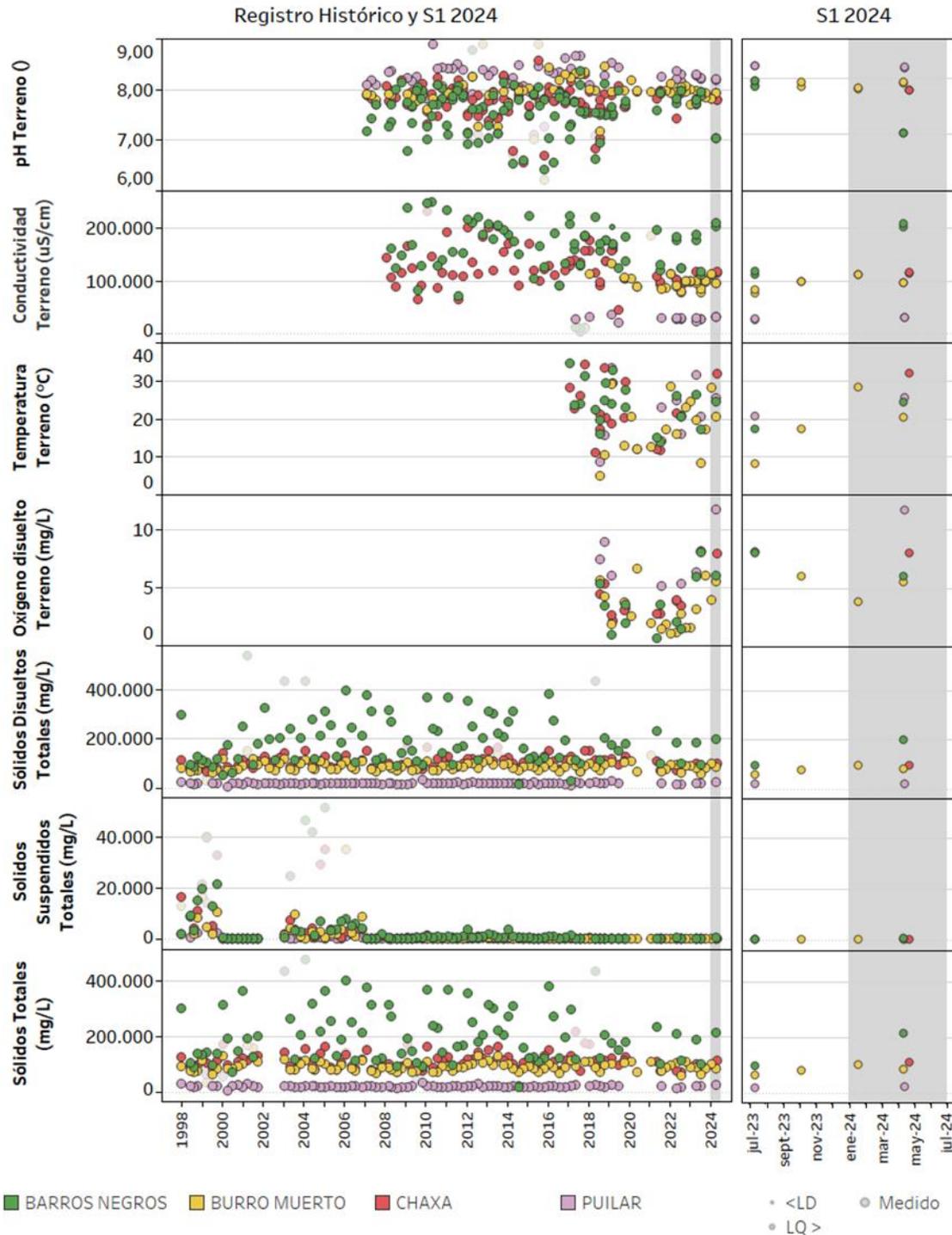


salmuera. La salinidad en los últimos años se muestra estable para los tres puntos de control y en torno al 50%. Puilar por su parte, presenta concentraciones promedio de sólidos disueltos totales de 20.000 mg/L y salinidad menor al 20% en los últimos años.

En abril de 2024, Barros Negros presentó valores de potasio, arsénico, detergentes, alcalinidad total y alcalinidad bicarbonato muy por fuera del rango histórico medido y no consistentes con la tendencia de los últimos años; así mismo, el punto Burro Muerto solo presentó valores de alcalinidad total y alcalinidad bicarbonato no consistentes con el registro histórico y fuera de tendencia.

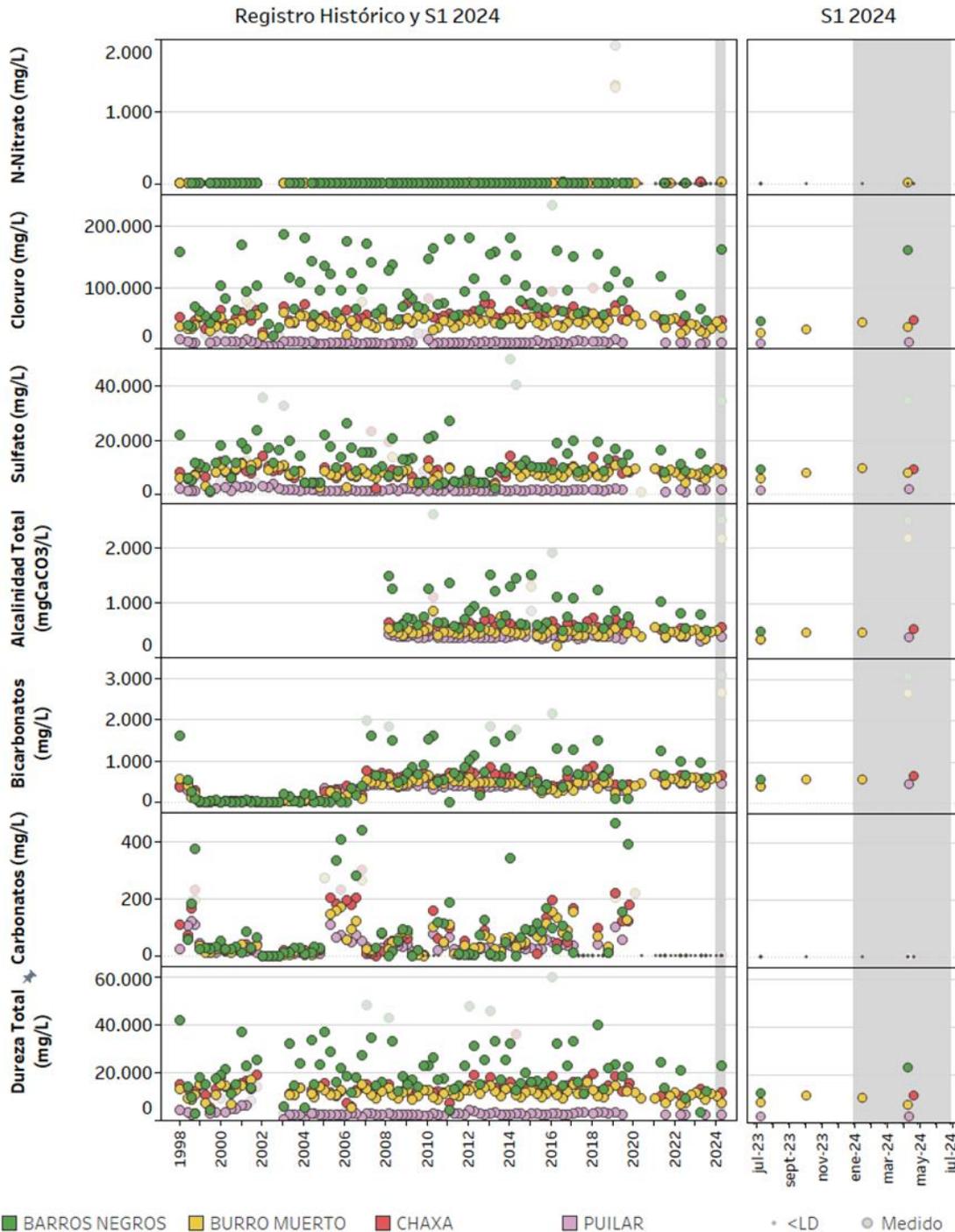
Los resultados del primer semestre de 2024 para los distintos analitos restantes y puntos se encuentran, en general, dentro del rango histórico registrado.

Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto



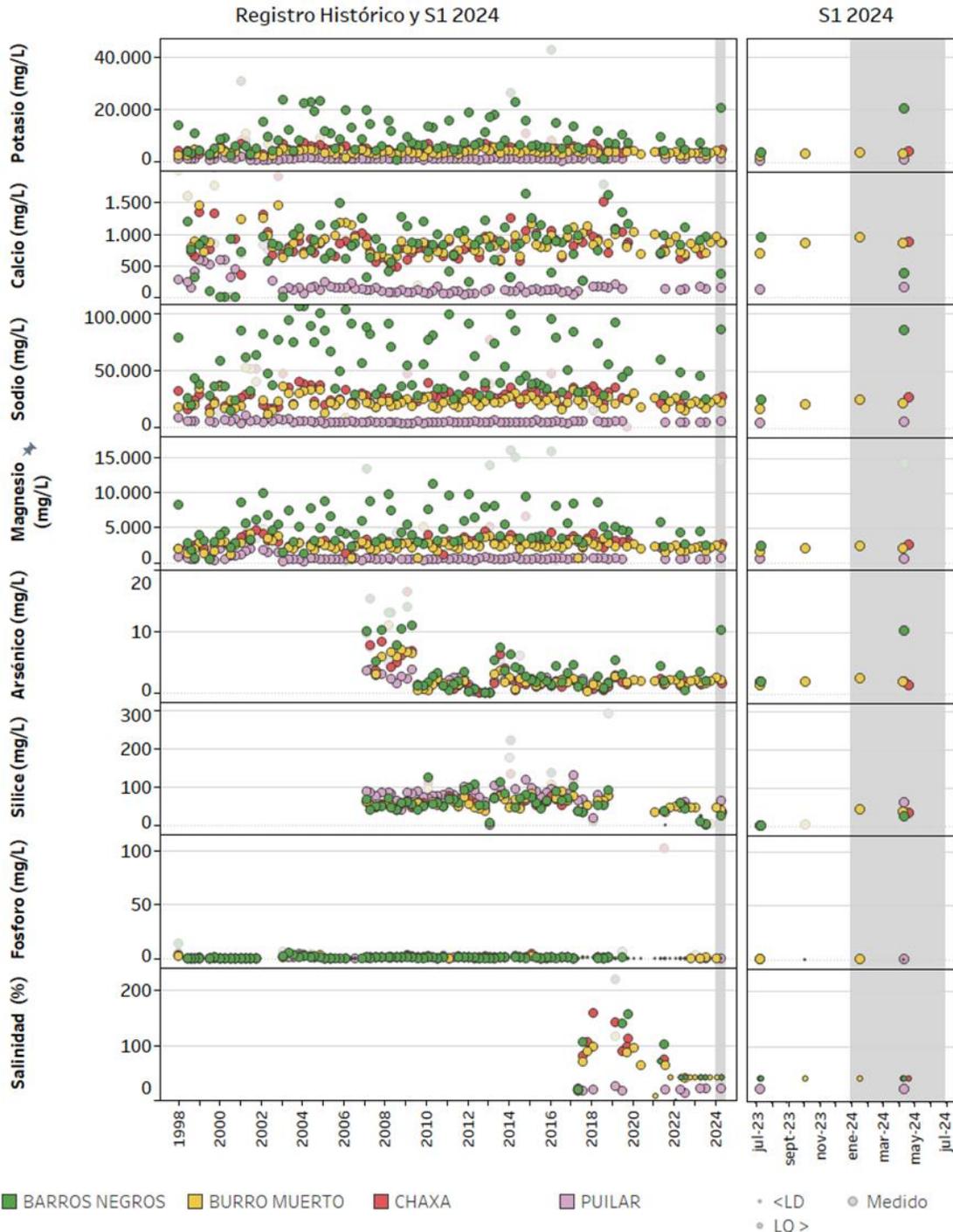
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



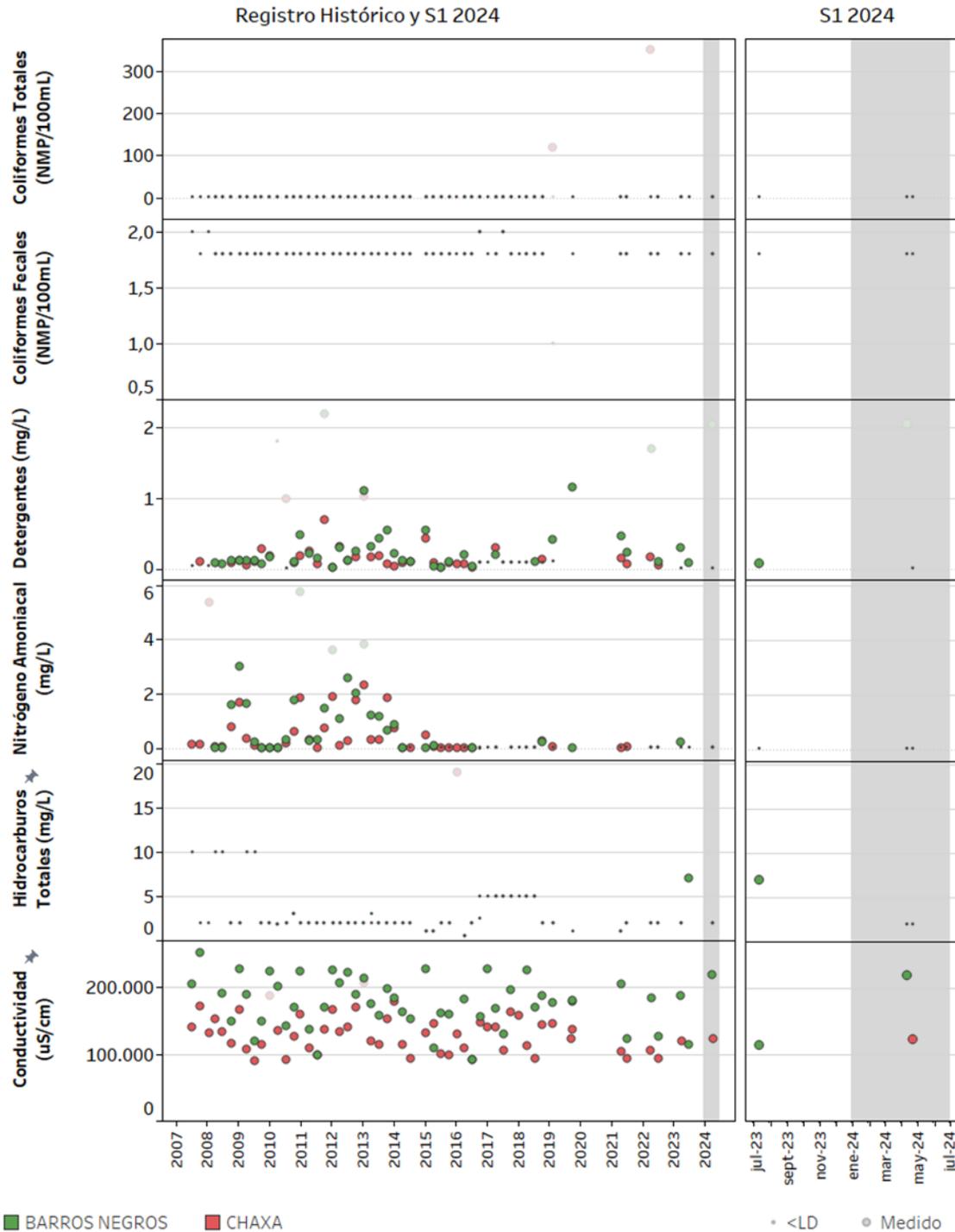
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



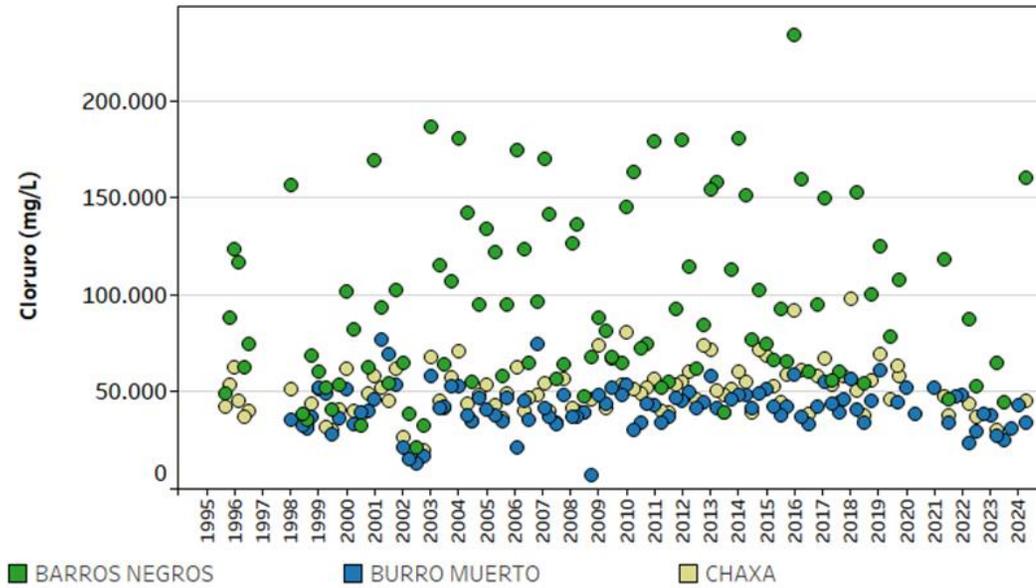
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal
Burro Muerto (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-38: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, laguna Chaxa y laguna Barros Negros

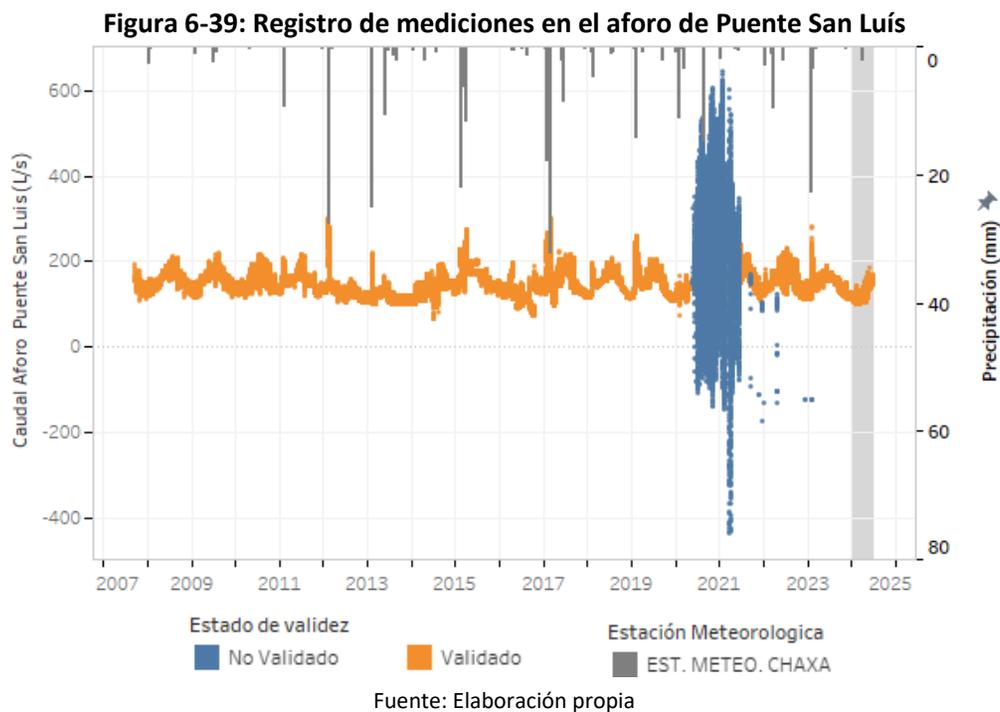


Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.6 Caudal de agua superficial (aforos)

En el sistema Soncor, se dispone de dos puntos de aforo de caudal de agua superficial. El primero está ubicado en el Puente San Luis donde se mide en forma continua, y además de forma voluntaria y adicional a lo comprometido por RCA N°226/2006 se hacen mediciones manuales mensuales. El segundo punto, denominado Barros Negros, se ubica a la salida de la laguna Chaxa, donde se toman medidas manuales mensuales.

En la Figura 6-39 se muestra el registro histórico del punto de aforo del Puente San Luis, junto con la precipitación medida en la estación de Chaxa, que se encuentra a escasos metros de distancia.

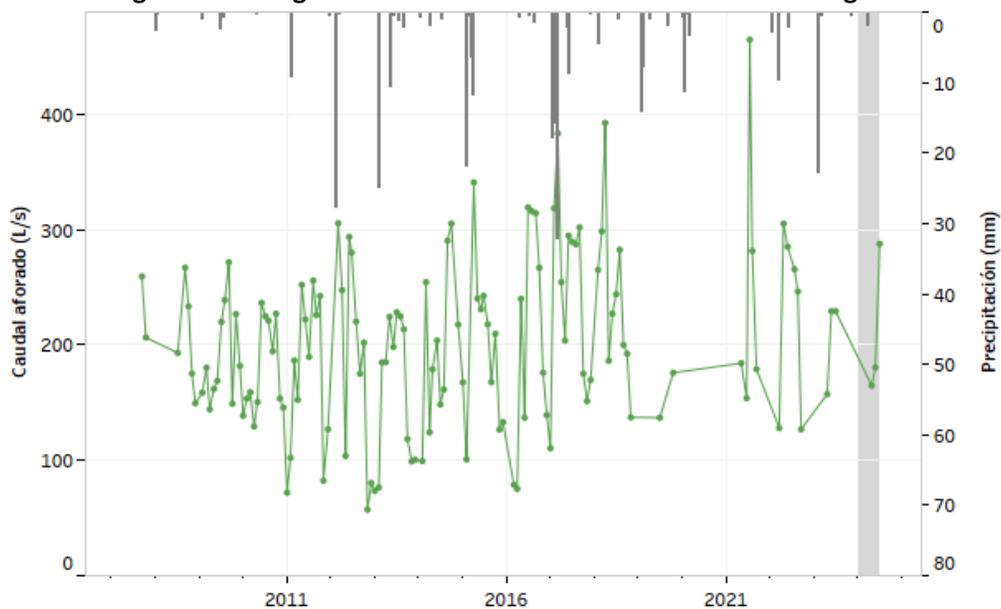


Las medidas continuas para el primer semestre del 2024 del Puente San Luis se validan para todo el periodo. Su tendencia general es la esperada, presentando un leve aumento en el caudal superficial en respuesta a la estacionalidad. Respecto los años anteriores a 2024, se observa que, en épocas secas, como el período 2008-2012, el caudal superficial presenta un comportamiento estacional, con mínimos en verano y máximos en invierno, respondiendo a la recarga superficial. En cambio, en la época más húmeda comprendida en el periodo entre los años 2012 y 2019, las precipitaciones registradas los años 2011, 2012, 2013, 2015, 2017, 2019 provocaron aumentos bruscos del caudal pasante, debido al escurrimiento superficial generado por dichas precipitaciones, hecho que

enmascara levemente la evolución estacional observada en los años anteriores. Con respecto a los caudales del primer semestre del 2024, se tienen valores menores a los presentados al primer semestre del año 2023 producto de los eventos de precipitación que se tuvieron dicho año.

Por su parte, en la Figura 6-40 se muestra el caudal histórico para el punto Barros Negros, junto a la precipitación medida en la estación meteorológica Chaxa. Se tienen caudales mayores a los registrados para el primer semestre del 2023, a pesar de haber tenido un evento importante de precipitaciones como el visto el 3 de febrero del 2023.

Figura 6-40: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros



Fuente: Elaboración propia



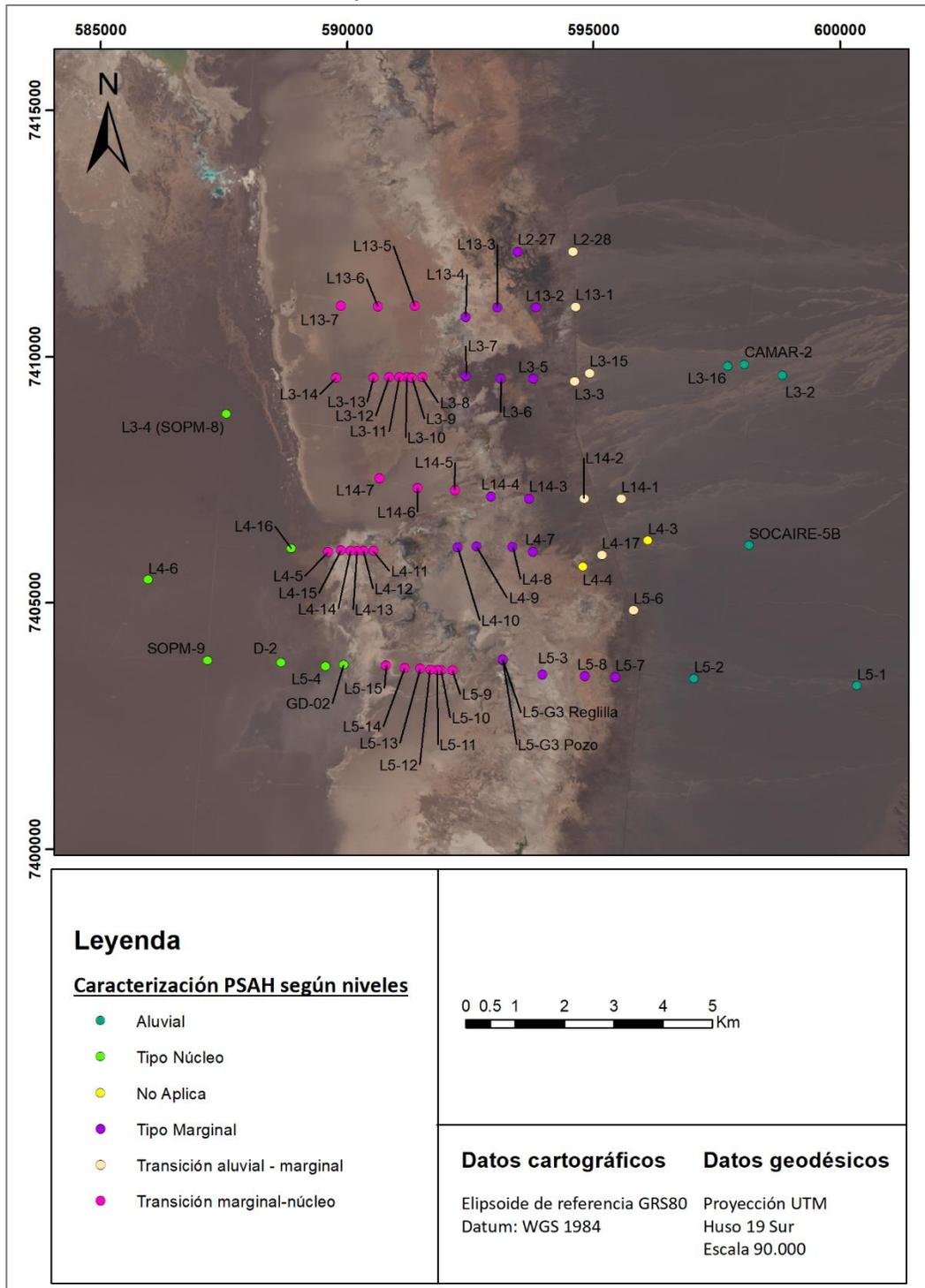
6.1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA – VEGETACIÓN BORDE ESTE

De la misma manera que se ha planteado en el sistema Soncor, para el análisis de los datos se han incluido todos los puntos ubicados en el sistema Aguas de Quelana, aunque formen parte de la clasificación administrativa del sistema Vegetación Borde Este (Figura 6-41). Se incluyen por tanto en este apartado también los siguientes puntos;

- **De la serie L2:** L2-27, L2-28
- **De la serie L3:** L3-3, L3-5, L3-15, L3-11, L3-16
- **De la serie L4:** L4-3, L4-7, L4-10, L4-17

Cabe decir para efectos del capítulo 6, desde este punto del reporte y en adelante se tratará a este sector correspondiente al sistema Aguas de Quelana – vegetación Borde Este, como sistema Aguas de Quelana, dado que la delimitación del sistema vegetación Borde Este corresponde a condicionantes en la vegetación y no a términos hidrogeológicos. Por lo que se cree más conveniente tratarlo como un único sistema Aguas de Quelana.

Figura 6-41: Infraestructura presente en el sistema Aguas de Quelana y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

6.1.2.1 Niveles de agua subterránea y superficial

En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sistema Aguas de Quelana – Vegetación Borde Este, con énfasis en la comparación entre el registro histórico respecto a las mediciones obtenidas durante el primer semestre de 2024.

El objetivo principal de los pozos ubicados en el Sistema Aguas de Quelana es observar el eventual efecto de la explotación de salmuera en el núcleo sobre las lagunas difusas y dispersas, así como el impacto de las operaciones de los pozos de agua industrial Camar-2 y Socaire-5.

En el análisis de este sistema se han identificado varios comportamientos con características hidrogeológicas determinadas, que también se presentan en el Sistema Soncor. En concreto, se reconocen comportamientos asociados al acuífero aluvial, el transicional entre el aluvial y el marginal, el propio de la zona marginal (producto de la interfaz salina) y del tipo transicional entre marginal y núcleo. En este caso, no existe un sistema de lagunas y canales de agua superficiales que generen un impacto característico sobre el acuífero, como ocurre en el Sistema Soncor. Por el contrario, se trata de una distribución irregular de afloramientos de agua subterránea ligados al levantamiento del agua dulce proveniente de la cordillera (generado por la presencia de la interfaz salina) y el cambio de relieve (vinculado a la dispersión de los cuerpos de agua de norte a sur). Por ese motivo, existe un comportamiento no visto como tal en el Sistema Soncor, referente a una transición entre la zona marginal y el núcleo. A continuación, se muestran las series de niveles y el análisis asociado.

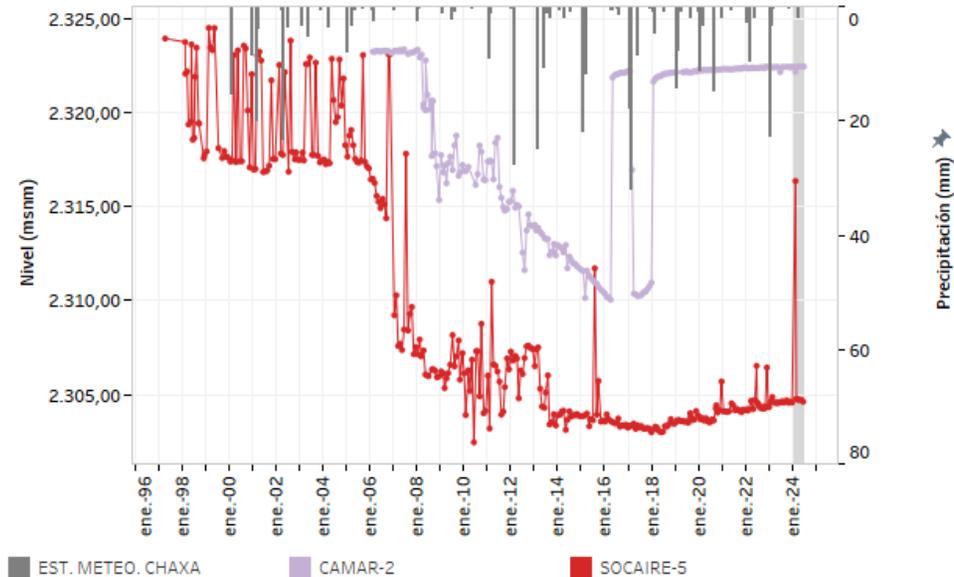
6.1.2.1.1 Niveles en pozos de bombeo de agua industrial

Los pozos de agua industrial presentes en el Sistema Aguas de Quelana son el Camar-2 y Socaire-5. En la Figura 6-42 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos.

En general, los pozos Camar-2 y Socaire-5 mostraron descensos continuos desde el inicio de su operación. En el período entre 2008 y 2018, el pozo Socaire-5 mostró una tendencia descendente y oscilaciones irregulares, provocadas por la superposición entre los valores estáticos y los dinámicos producto del bombeo. Posterior a esta última fecha, dicha tendencia se revirtió, reflejando un aumento del nivel con una tasa del orden de 26 cm/año (considerando el primer semestre de 2024). Lo anterior, está relacionado directamente con la detención del pozo vecino Camar-2 en febrero de 2018. Por su parte, el pozo Camar-2 mostró un ascenso de nivel significativo como respuesta a su detención en los períodos 2016 a 2017 y 2018, en orden respectivo. Dado que este pozo se encuentra

detenido y desmantelado (en 2021), los niveles se encuentran estables sobre la cota 2.322 m s.n.m., aún con una tasa de recuperación (ascenso) en torno a los 8 cm/año, calculada hasta junio de 2024.

Figura 6-42: Niveles en los pozos de agua industrial del Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.2.1.2 Pozos en Zona Aluvial

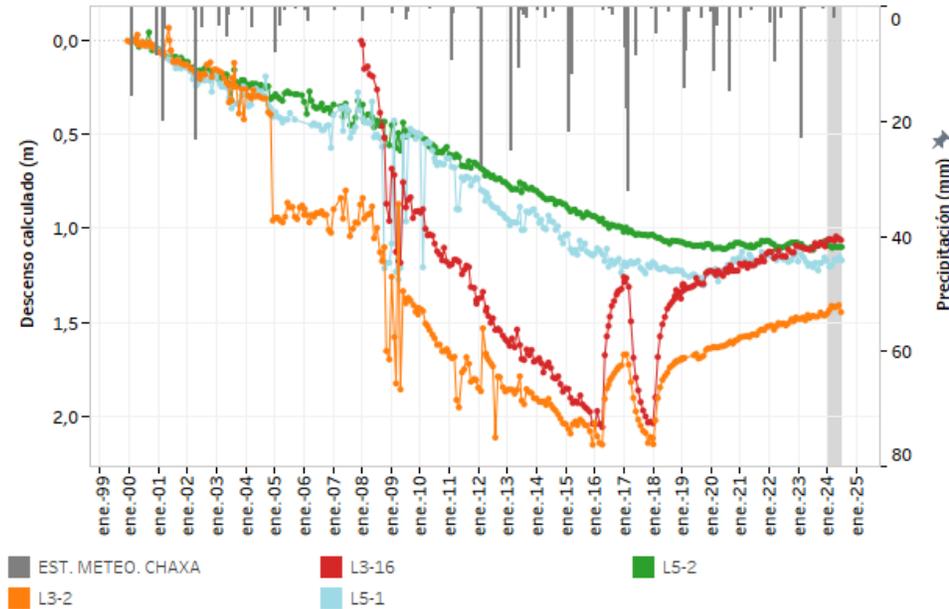
Los siguientes pozos analizados para el Sistema Aguas de Quelana se encuentran en el acuífero aluvial y están conformados por los puntos L3-2, L3-16, L5-1 y L5-2. Dado que este grupo de pozos presenta diferencias de cota significativas que no permiten apreciar el comportamiento a describir, en la Figura 6-43 se muestra un gráfico con los descensos calculados para este grupo.

Desde el comienzo de su seguimiento hasta 2018, los puntos L3-2 y L3-16 (ubicados a 800 m y 350 m del pozo Camar-2) mostraron pendientes de descenso de 15 y 20 cm/año, respectivamente. Sin embargo, a partir de la detención del pozo Camar-2 en 2016 y en 2018, se observó una evidente y rápida recuperación de los niveles (ascenso). Desde entonces, considerando el primer semestre de 2024, se aprecia una tasa de ascenso aproximada de 6 cm/año.

En el caso de los puntos L5-1 y L5-2, previo a la detención del Camar-2, estos puntos registraban un descenso promedio de 6,8 cm/año (L5-1) y 5,8 cm/año (L5-2). El efecto del cese definitivo se empezó a observar a mediados de 2019 en el punto L5-1, y a partir de 2020 en el caso del L5-2, denotando una

estabilización del nivel, y seguido por una leve tendencia de ascenso que se mantiene hasta junio de 2024 (con un promedio aproximado de 1 cm/año).

Figura 6-43: Descensos calculados a partir de 2008 de los puntos del Sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.3 Pozos en Zona Marginal

En esta sección se realiza el análisis para los puntos localizados en la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana. Tal y como se mencionó en el Sistema Soncor, dicha zona presenta varios comportamientos debido a que existen diferentes factores hidrogeológicos que modifican los niveles de forma local y distinta según el sector. Pueden identificarse pozos con comportamiento transicional aluvial, marginal, transicional marginal-núcleo y tipo núcleo. Cada comportamiento se expone a continuación.

6.1.2.1.3.1 Pozos de comportamiento transicional aluvial - marginal

Los puntos más cercanos al acuífero aluvial describen un comportamiento transicional puesto que presentan una tendencia de descenso característica del acuífero aluvial (influenciado principalmente por las extracciones de agua industrial), y a su vez muestran una oscilación estacional de tipo Marginal.

Dado que existen diferencias de cota importantes que no permiten apreciar el comportamiento a describir, en la Figura 6-44 se presentan los descensos calculados para este grupo.

De este grupo, el punto L2-28 es aquel que se sitúa más al norte. Históricamente, ha mostrado una marcada oscilación, con una tendencia de descenso aproximada en 5 cm/año. Tras las lluvias de febrero de 2019, ocurrió una elevación de los niveles (de unos 44 cm) alcanzando cotas que no se registraban desde 2013. Sin embargo, seguidamente, el nivel recuperó su tendencia original (descenso), pero con una pendiente más pronunciada, situación que se mantuvo hasta 2022. A partir de este año y hasta la actualidad, el pozo L2-28 comenzó a reproducir un ascenso, en donde los mínimos estacionales se han registrado a cotas cada vez mayores. Este comportamiento estaría relacionado a una respuesta tardía al cese del bombeo en el pozo Camar-2, tal y como se observó en otros puntos de la Zona Aluvial.

El punto L13-1 se encuentra inmediatamente al sur del L2-28 y muestra un comportamiento análogo a este pozo. En el período entre 2007 y 2019, el L13-1 mostró una tasa de descenso de 5,5 cm/año y posterior a las precipitaciones de febrero de 2019, han reflejado un comportamiento de aparente recuperación y estabilización del nivel. Los últimos máximos estacionales registrados (período 2021 a 2024) se han posicionado a cotas similares, mientras que los mínimos se sitúan a cotas superiores sucesivamente.

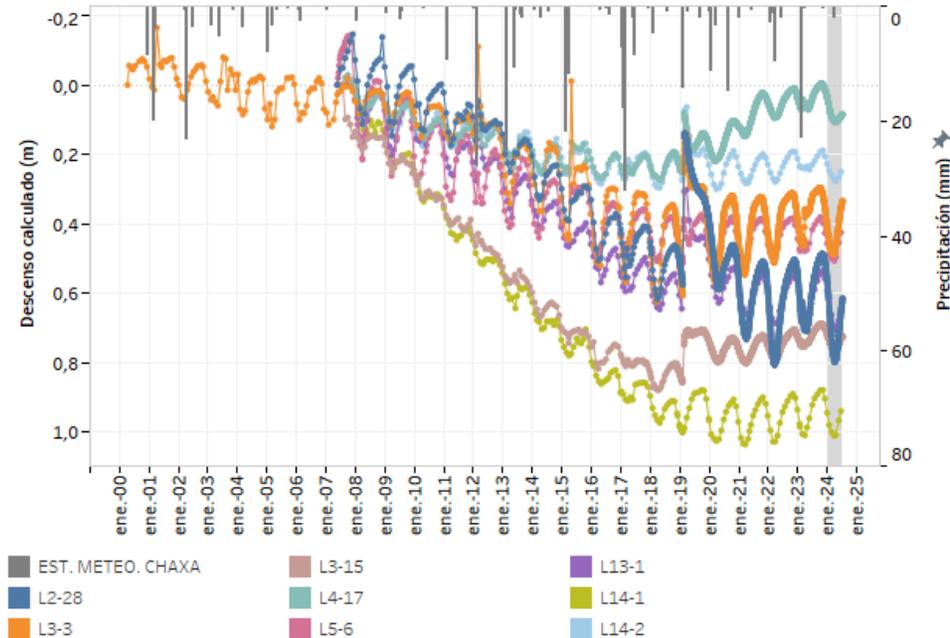
Por su lado, el punto L3-15, ubicado al sur del L13-1 y sobre la transecta del pozo Camar-2, ha mostrado una clara respuesta de recuperación ante la detención del bombeo (Camar-2). Desde el inicio de los registros y hasta 2019, la tasa de descenso era de 7 cm/año aproximadamente, y a partir de ahí, su comportamiento cambió a un ascenso, cuya tasa es alrededor de 1 cm/año. Respecto al punto L3-3, localizado a unos 350 m aguas abajo del pozo L3-15, y los puntos L14-1 y L14-2, ubicados más hacia el sur, presentan un patrón similar. Todos estos pozos han mantenido su tendencia de ascenso hasta el actual semestre reportado.

El punto L4-17, se ubica al sur y sobre la transecta del pozo Socaire-5. Mostró un comportamiento descendente desde el inicio de sus mediciones hasta febrero de 2019 (tasa aproximada en 2 cm/año). A partir de ahí y hasta junio de 2024, se ha visualizado que el nivel ha aumentado, con una tasa aproximada en 4 cm/año. Cabe mencionar que, este punto se encuentra más cercano al Socaire-5, pero este pozo no ha modificado su régimen de extracción. En base a esta situación, se infiere una alta

heterogeneidad de los parámetros hidráulicos del acuífero en el entorno distal del acuífero aluvial (heterogeneidad), que explicaría distintos comportamientos en sectores cercanos.

Por último, el punto L5-6, que se encuentra más al sur, muestra un comportamiento similar al descrito para los puntos L2-28 y L13-1, en donde el nivel deja de descender (con una tasa de 4 cm/año) y desde 2018, ha reflejado una estabilización del nivel debido a que los máximos estacionales se registran en cotas similares consecutivamente (período 2018 a 2022). Igualmente se destaca que, los mínimos estacionales se han posicionado en cotas levemente superiores a los años previos, haciendo que la amplitud de la oscilación disminuya.

Figura 6-44: Descensos calculados de los puntos del Sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento de transición entre la zona marginal y el acuífero aluvial



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.3.2 Pozos singulares: L4-3 y L4-4

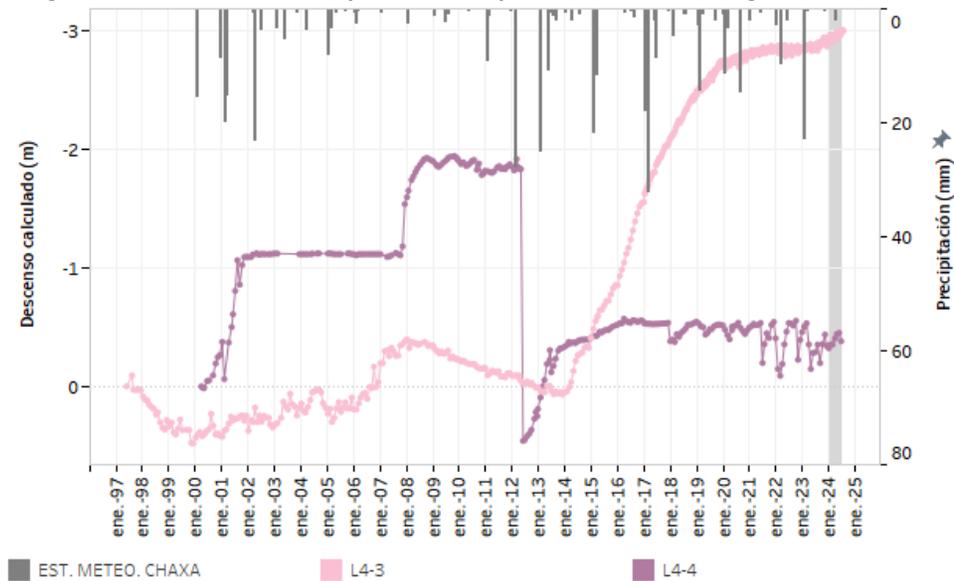
En el entorno de los puntos descritos anteriormente, se encuentran el L4-3 y el L4-4 que presentan un comportamiento singular en comparación con el resto de los pozos vecinos. En la Figura 6-45 se muestran los niveles de estos puntos. El año 2012 el pozo L4-4 sufrió un golpe por terceros, hecho reportado en el Informe N°11 del PSAH. Esto provocó un cambio en los niveles medidos, lo que se

aprecia como un abrupto aumento del descenso dicho año. Posteriormente, el punto mostró una recuperación del nivel hasta alcanzar, en 2016, un nivel aproximado de 2.304,55 m s.n.m.

A partir de junio de 2021, en el punto L4-4 se observa cómo el nivel ha empezado a mostrar un comportamiento oscilatorio de mayor amplitud que el presentado entre el 2017 y el 2021. Si bien todos los puntos del sistema han mostrado respuesta al paro del pozo Camar-2, para el caso de L4-4 no se tiene claridad si este cambio descrito pueda también relacionarse a ello.

Por su parte, el L4-3 cambió su tendencia desde el 2014 y empezó a mostrar un ascenso regular, con una pendiente del orden de 30 cm/año hasta el 2020, posterior a ello su tasa de ascenso disminuyó, para volver a aumentar durante el primer semestre 2024.

Figura 6-45: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.2.1.3.3 Pozos característicos de la Zona Marginal

El siguiente grupo de pozos que se analiza en esta sección son los que se ubican entorno a la interfaz salina, y que, por tanto, muestran el comportamiento esperado en la Zona Marginal. Dichos pozos se caracterizan por una tasa de descenso casi nula y una fuerte estacionalidad. Se trata de un gran número de puntos situados entre el límite del acuífero aluvial y la zona de la surgencia de los cuerpos de agua objeto de protección del Sistema Aguas de Quelana. Para ello, se muestran directamente los descensos

calculados, que permite visualizar mejor el comportamiento característico, y se presentan agrupados en distintas figuras de norte a sur:

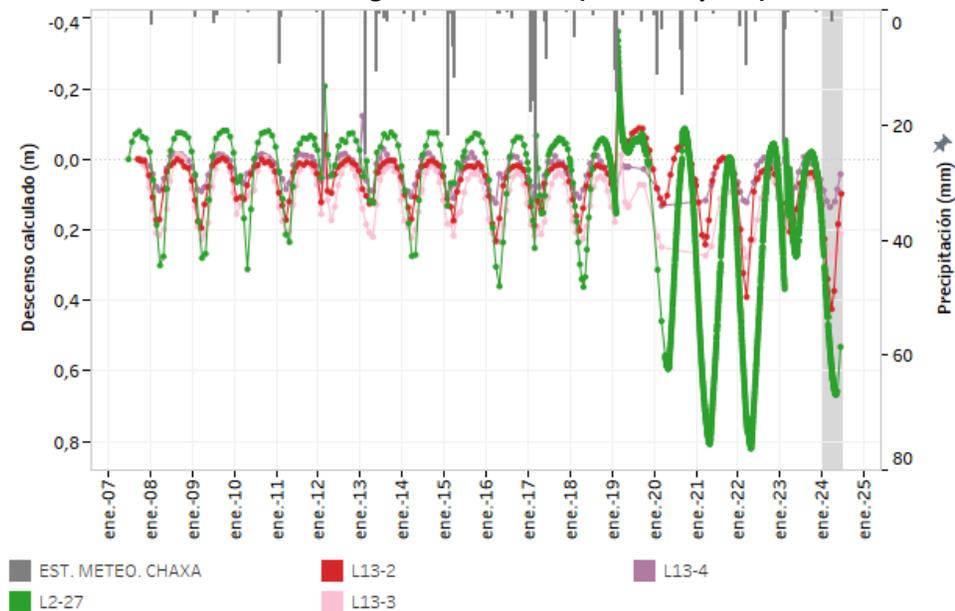
- Series L2 (L2-27) y L13 (L13-2, L13-3 y L13-4) en la Figura 6-46
- Serie L3 (L3-5, L3-6 y L3-7) en la Figura 6-47.
- Serie L14 (L14-3 y L14-4) en la Figura 6-48.
- Serie L4 (L4-7, L4-8, L4-9 y L4-10) en la Figura 6-49.
- Serie L5 (L5-3, L5-7, L5-8 y L5-G3 Reglilla y Pozo) en la Figura 6-50.

Puede notarse que, en esta agrupación de puntos, con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana, se encuentran las reglillas pertenecientes al monitoreo de agua superficial de este sector: L13-4, L14-4, L3-7, L4-10 y L5-G3 Reglilla y Pozo. Como puede verse en las figuras, no muestran un comportamiento diferenciado con respecto al resto de los puntos incluidos en este grupo. Esto es debido a que el sistema Aguas de Quelana tiene una dinámica distinta al sistema de Soncor, por ejemplo, en donde existe una interacción entre los cuerpos lagunares superficiales y el acuífero del sector. En el caso del sistema de Aguas de Quelana, los cuerpos de agua dispersos sobre la superficie del terreno tienen como origen la surgencia del acuífero procedente de la zona aluvial, que al encontrarse con el acuífero del núcleo produce la llamada interfaz salina. Esta diferencia de densidades y el relieve llano de la zona (en comparación con las cotas topográficas del aluvial) son las responsables de la somerización del acuífero y por tanto de que exista este sistema de humedales en el borde este del Salar de Atacama.

Volviendo al comportamiento de los niveles, de la misma manera que se describía para los pozos también asociados a la interfaz salina del sistema de Soncor, estos puntos muestran una marcada oscilación estacional y, en general, tendencia de pendiente prácticamente nula (ni ascenso ni descenso). Es posible que estos puntos se comporten de forma distinta al bombeo de los pozos de agua industrial debido a que las condiciones hidráulicas del acuífero en este sector son heterogéneas, como ya se ha visto anteriormente, así que depende de lo transmisible que sea el material litológico existente entre el campo de pozos de agua y cada punto. Las amplitudes de oscilación son variables (entre 1 y 12 cm) y la respuesta a los eventos de lluvia también varía en función del evento y del punto (está relacionado con la amplitud de la zona no saturada, la pendiente del terreno y la litología y sus características transmisibles).

En la Figura 6-46 destaca el punto L2-27. Este punto muestra un comportamiento muy similar al punto L1-17 (Sistema Soncor, apartado 6.1.1.1.5), con un aumento notorio en la amplitud de oscilación y registro de mínimos históricos a partir del año 2019. Como se ha especificado para el punto L1-17, este cambio de comportamiento puede estar relacionado con las extracciones de agua industrial del acuífero aluvial. La causa principal de las activaciones de los pozos del Borde Este (también implica al L1-17) ha sido la extracción de agua desde el acuífero aluvial.

Figura 6-46: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13)



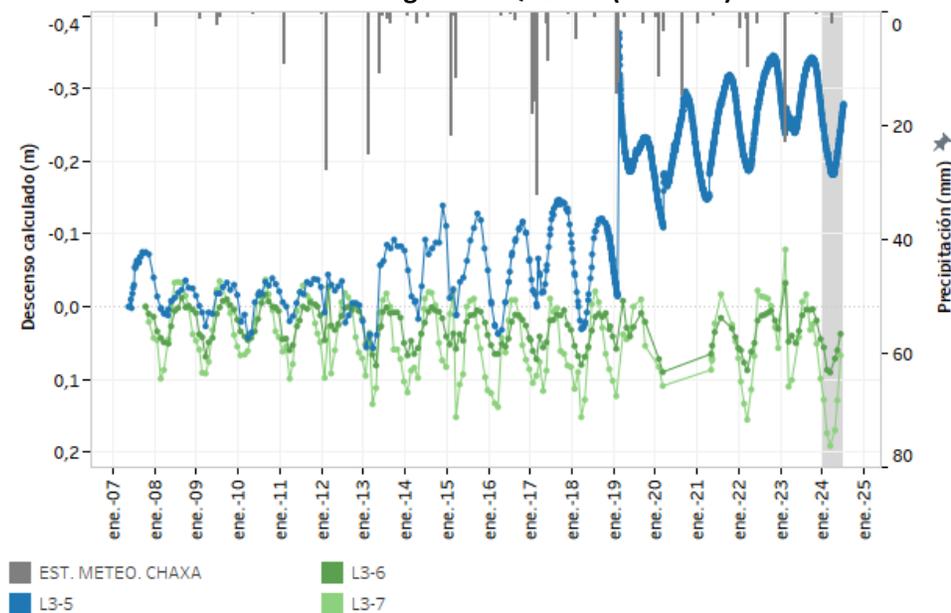
Fuente: Elaboración propia.

Respecto del siguiente subgrupo, se inicia el análisis con el pozo L3-5 (serie L3 en la Figura 6-47), situado sobre la transecta inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto registraba una oscilación relativamente estable, en donde para el período entre 2007 y 2012 la amplitud era de unos 8 cm, mientras que, para el período entre 2013 y 2018 aumentó a alrededor de los 16 cm. Este cambio posiblemente se debió a la sucesión de eventos de precipitación por lo que se caracteriza este período, en contraposición al anterior período. Se destaca como, posterior a 2019, adicionalmente a la respuesta de la lluvia de dicho año, el punto cambió el patrón y empezó a registrar un ascenso continuado, a la vez que oscilatorio. La tasa de ascenso general, incluyendo el primer semestre 2024, es de 2,5 cm/año, lo que lleva a estar registrando máximos estacionales históricos un año tras otro.

Este cambio en L3-5 se interpreta como respuesta a la disminución de las extracciones en el acuífero aluvial, lo que también es concordante con lo observado y descrito en el anterior subgrupo, en donde los puntos L3-3 y L3-15 inmediatamente aguas arriba también pasaban a mostrar tasas ascendentes. Ahora bien, es llamativo que en el entorno del punto L3-5 los niveles estén alcanzando cotas históricas; por ejemplo, el máximo estacional de 2022 se situó unos 25 cm por sobre el primer máximo estacional, registrado en 2007.

El resto de los puntos de la transecta L3 con comportamiento tipo Zona Marginal (L3-6 y L3-7) se encuentran más alejados del acuífero aluvial. Estos puntos se han mantenido históricamente oscilando alrededor de las mismas cotas durante todo el período registrado, sin mostrar efecto proveniente de la extracción de agua (tampoco de la disminución de las extracciones en el acuífero). Si bien, este comportamiento histórico se ha mantenido para L3-6 durante el primer semestre 2024, en el caso de L3-7 se registró, en este último período, mínimo en torno a 15 cm por debajo de la tendencia general.

Figura 6-47: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L3)



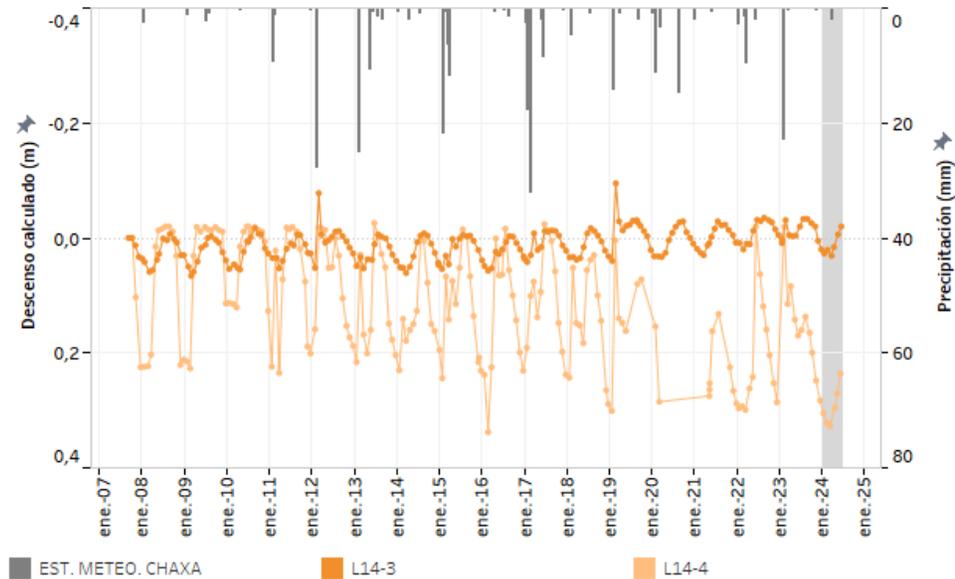
Fuente: Elaboración propia.

Sobre la transecta L14 (Figura 6-48) se encuentra el L14-4, que es una de las reglillas del sistema Aguas de Quelana. Este punto muestra una mayor amplitud de oscilación, alrededor de 24 cm, respecto de

su vecino, L14-3. Esta diferencia se atribuye principalmente al mayor efecto de la evaporación, ya que las aguas en este punto se encuentran en la superficie y, por tanto, están más expuestas a las condiciones climáticas. Es interesante notar que, para el primer semestre de 2024, este punto continúa oscilando alrededor de una cota estable, sin mostrar ninguna tendencia (ascendente o descendente).

En el caso del L14-3, puede verse como sí se registra un cambio en el comportamiento del nivel a partir del año 2016. Mientras anteriormente el nivel se encontraba estable (sin ascenso ni descenso), desde ese año se reproduce un ascenso continuado hasta la actualidad (manteniendo la misma amplitud de la oscilación estacional), cuya tasa es de 0,7 cm/año.

Figura 6-48: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (L14)

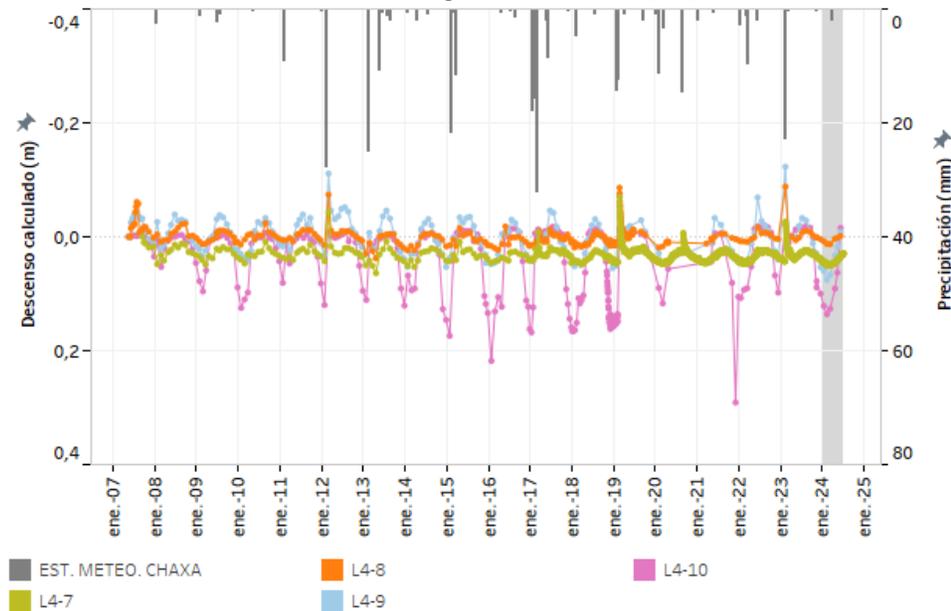


Fuente: Elaboración propia.

En la se Figura 6-49 se muestran los puntos de la transecta L4, que se encuentran aguas abajo del pozo Socaire-5. Los puntos L4-8 y L4-7 son los que se ubican más cercanos al acuífero aluvial. Estos oscilan de forma estable y sin tendencia (de ascenso o descenso) y con una amplitud pequeña (3 cm aprox.).

Por otro lado, se tienen los puntos L4-9 y L4-10 (reglilla). Ambos puntos exhiben una oscilación de amplitud mayor en comparación con los anteriores puntos descritos de la serie L4, 7 cm aproximadamente. En términos generales, se mantienen estables alrededor de la misma cota histórica. Este comportamiento se mantiene también durante el primer semestre 2024.

Figura 6-49: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (L4)



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6-50 se muestran los descensos de los puntos de la transecta L5, que se ubica al sur del pozo Socaire-5. El punto más cercano al acuífero aluvial es el L5-7 y muestra un comportamiento oscilante con tendencia de descenso desde el inicio de los registros (2007) y hasta 2018 (tasa de 1,5 cm/año). A partir de esta fecha, producto de la detención definitiva del Camar-2, tal y como se ha observado en puntos de esta zona, los niveles cambian la tendencia y pasan a reproducir una estabilización y posterior recuperación, más evidente en los mínimos estacionales. Durante el primer semestre del 2024 se alcanza un mínimo estacional similar al alcanzado el año 2020, indicando una tendencia estable en el período 2018-2024.

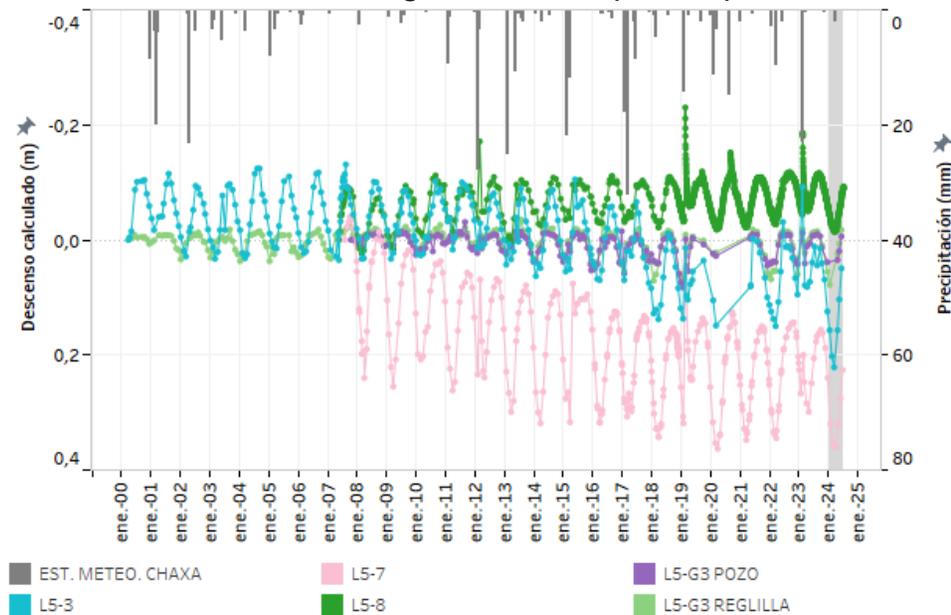
Dirección aguas abajo, el siguiente punto de la transecta es el L5-8, el cual viene mostrando una menor amplitud y una leve tendencia ascendente desde el año 2009 (pendiente promedio de 0,2 cm/año). Esta tendencia general al ascenso se mantiene durante el primer semestre 2024.

A continuación, también hacia aguas abajo, se encuentra el L5-3 que se muestra con una tendencia descendente desde el año 2010, con una tasa de 1 cm/año y una amplitud similar a L5-7. Previamente, el pozo se mostraba estabilizado en torno a la misma cota. No obstante, a partir de 2021 los registros

obtenidos (considerando el vacío de mediciones entre febrero 2020 y mayo 2021) muestran una tendencia mayormente estable, evidenciada en máximos y mínimos estacionales. Finalmente, durante el primer semestre de 2024 se reconoce un mínimo estacional histórico, en torno a unos 16 cm por debajo de la cota promedio del 2023.

Finalmente, la reglilla L5-G3 (Reglilla y Pozo) muestran los máximos estacionales alrededor de cotas similares durante todo el período registrado, mientras que los mínimos se han posicionado en cotas distintas. Durante el período de 2001 y 2007 se mantuvieron estables (cotas similares cada año). Luego, entre 2008 y 2019, los mínimos fueron alcanzando cotas cada vez menores, generando que la amplitud de la oscilación fuera mayor. Desde entonces, considerando que no se tienen datos entre febrero 2020 y hasta mayo 2021, se observa que estos mínimos estacionales mostrarían una recuperación (ascenso) del nivel debido a que las cotas han incrementado cada año, lo cual se confirma con los registros obtenidos durante el primer semestre de 2024, con una leve tasa de ascenso promedio de 0,3 cm/año.

Figura 6-50: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L5)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.3.4 Pozos de comportamiento transicional marginal - núcleo

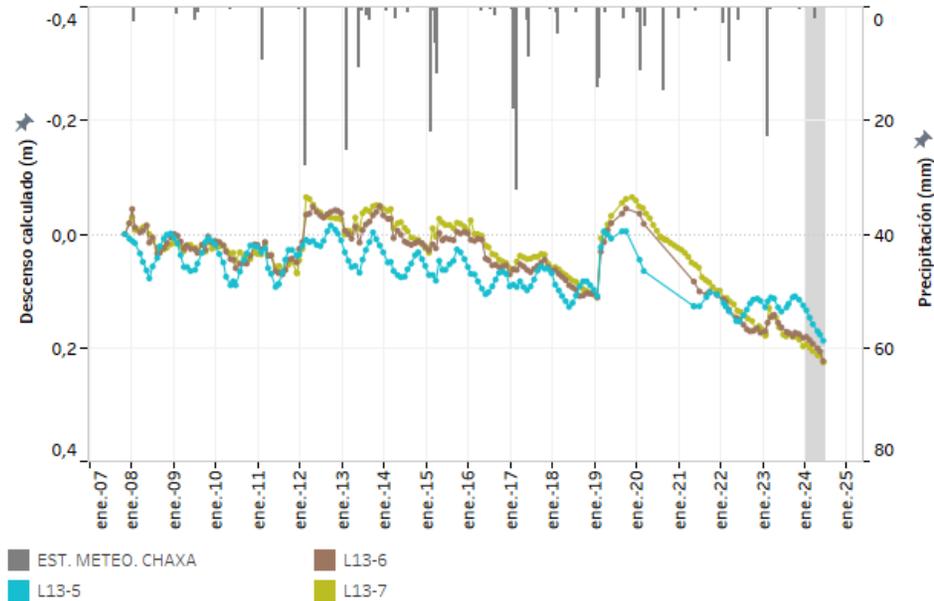
El siguiente grupo abarca desde los cuerpos de agua en superficie y en dirección al oeste. Estos pozos presentan un comportamiento transicional entre lo observado en la Zona Marginal y el Núcleo (que se describe en el apartado 6.1.6). Se trata de un gran número de puntos, por lo que se muestra el descenso calculado distribuido en varios gráficos, de manera que permita identificar mejor las respuestas de norte a sur:

- Serie L13 (L13-5, L13-6, L13-7) en Figura 6-51
- Serie L3 (L3-8, L3-9, L3-10, L3-11, L3-12, L3-13, L3-14) en la Figura 6-52.
- Serie L14 (L14-5, L14-6, L14-7) en la Figura 6-53.
- Serie L4 (L4-5, L4-11, L4-12, L4-13, L4-14, L4-15) en la Figura 6-54.
- Serie L5 (L5-9, L5-10, L5-11, L5-12, L5-13, L5-14, L5-15) en la Figura 6-55.

En general, estos puntos muestran oscilaciones estacionales residuales; con una menor amplitud y regularidad que las observadas en la Zona Marginal, e incluso en ocasiones se muestra desfasado unos meses. Todos los pozos muestran una tendencia de descenso, cuya pendiente se incrementa conforme aumenta su cercanía al núcleo. Por otro lado, los puntos ubicados a una distancia de hasta 2 km de los cuerpos de agua presentan un patrón oscilatorio, reproduciendo máximos estacionales; mientras que los cuerpos más alejados de este *buffer* mantienen la pendiente de descenso promedio. De acuerdo con esto, se podría inferir que el efecto estacional alcanzaría aquella zona ubicada a 2 km de distancia aproximadamente (ver por ejemplo las series L13 y L3).

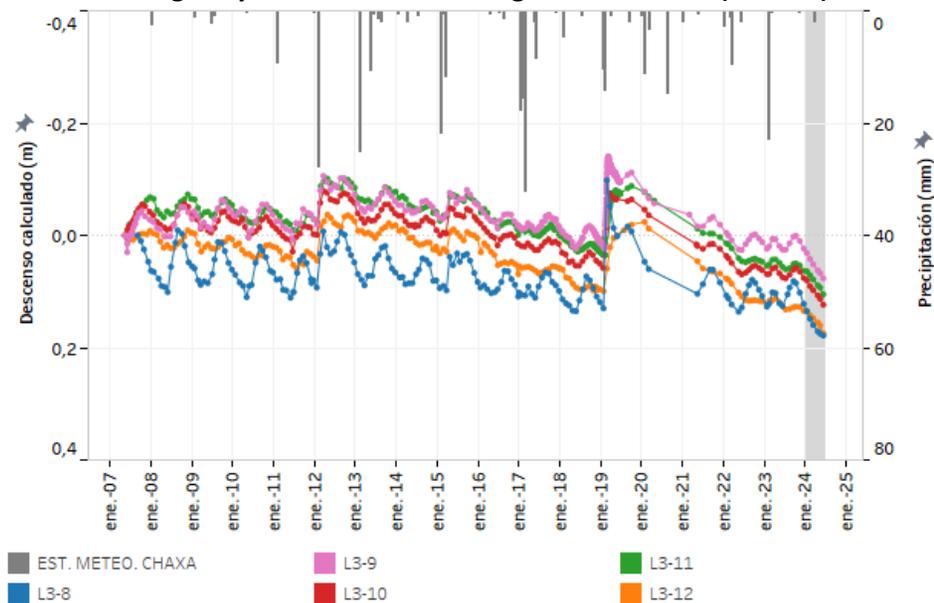
Según los registros obtenidos, todos los puntos reaccionan a los eventos de lluvia. Aquellos que muestran una mayor respuesta de ascenso son los pozos de la serie L4; por ejemplo, durante las lluvias de febrero de 2023, el punto L4-5 registró un ascenso de 43 cm. El pozo L5-9, a su vez, registró un ascenso de 40 cm, si bien es el único de su serie que registra respuestas tan notorias. Este comportamiento estaría confirmando la respuesta de este sector central de Aguas de Quelana, en donde los pequeños cuerpos de agua superficiales se mantienen estables durante el año y a su vez producen eventos de descarga hacia el núcleo en épocas de lluvia, generando esta recarga rápida que evidencian los registros de niveles de estos pozos.

Figura 6-51: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L13)



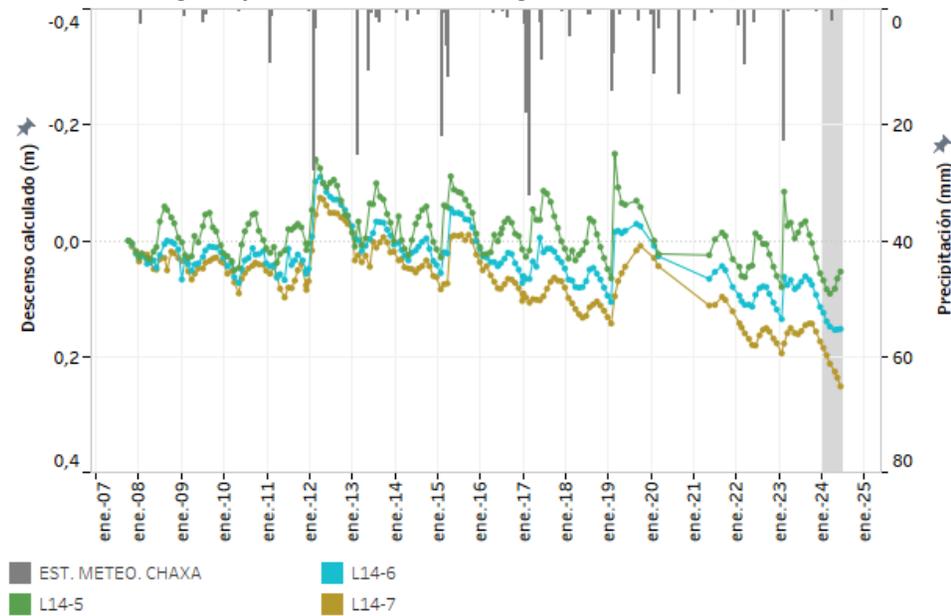
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-52: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L3)



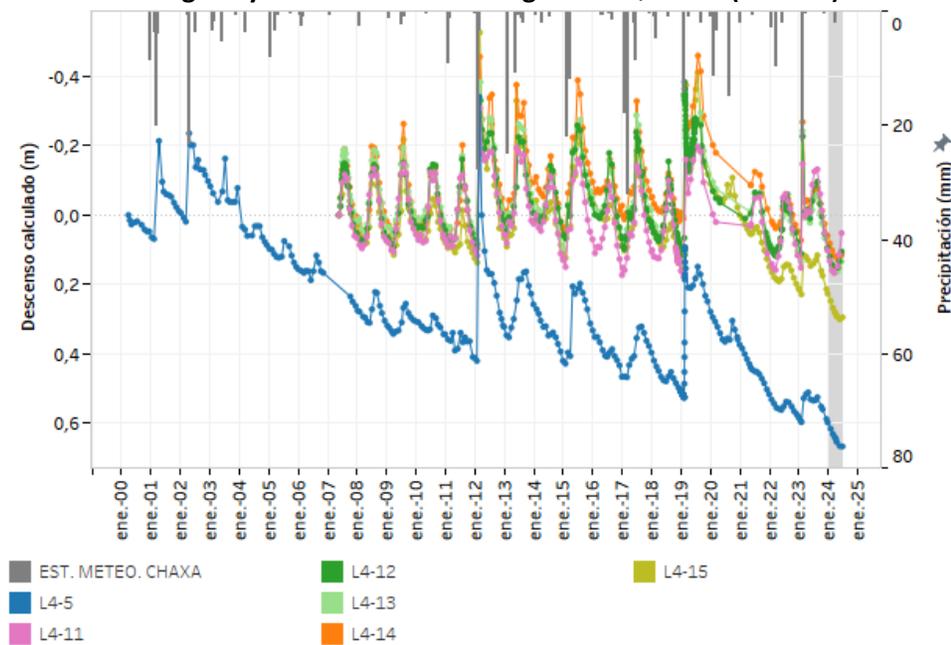
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-53: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L14)



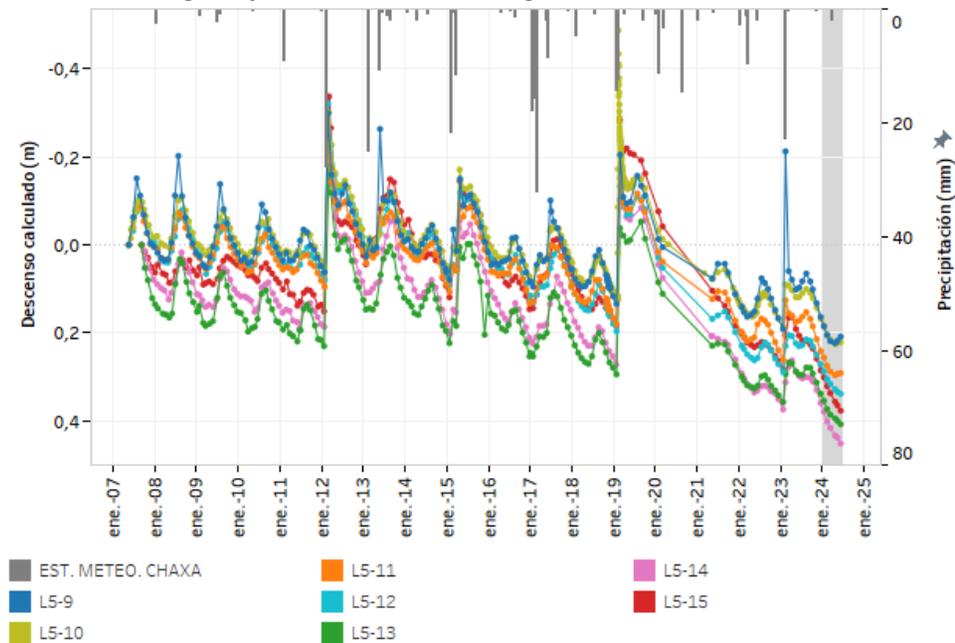
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-54: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L4)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-55: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L5)



Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, los niveles históricos junto con la data registrada durante el primer semestre de 2024 permiten concluir que el sistema permanece con las variaciones esperadas según el tipo de comportamiento. La detención del Camar-3 supuso el ascenso del nivel en diversos puntos, no solo cercanos al arco de éste, sino que también en sectores más al sur del pozo Socaire-5. No obstante, el efecto ha sido más marcado en el acuífero aluvial y en la zona de transición hacia la Zona Marginal. Por el contrario, no se muestra una respuesta de ascenso en el objeto de protección, aunque en este sector tampoco se han observado tendencias de descenso que pudiesen interpretarse como un efecto histórico de los pozos de agua industrial, lo que sugiere que no se deba esperar que el mismo objeto de protección pueda llegar a variar de su oscilación habitual en ese sentido.

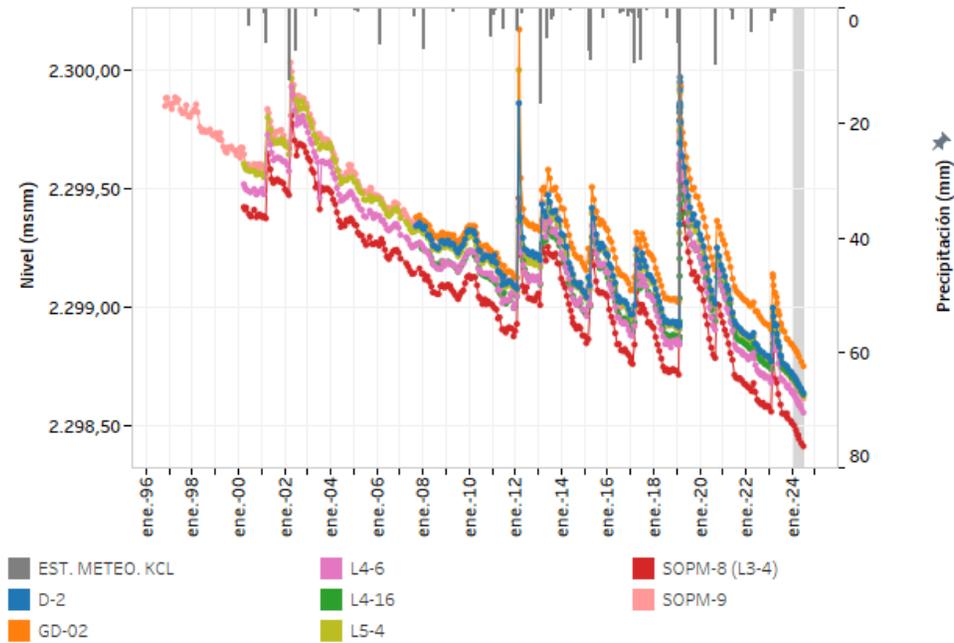
6.1.2.1.3.1 Pozos de comportamiento de tipo núcleo

Estos pozos presentan un comportamiento observado en los pozos del Núcleo (que se describe en el apartado 6.1.6). Se trata de siete pozos ubicados en el extremo oeste del sistema Aguas de Quelana.

Como puede observarse en la Figura 6-56, estos puntos muestran oscilaciones estacionales con una menor amplitud y regularidad que las observadas en los puntos con comportamiento de Zona

Marginal. Incluso se muestra desfasado unos meses, con mínimos estacionales en el mes de abril. Todos los pozos muestran una tendencia de descenso, a pesar de las rápidas respuestas a eventos de precipitación.

Figura 6-56: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al Núcleo en el Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.2.2 Superficie de los sistemas lacustres

El sistema lacustre de Aguas de Quelana comprende cuerpos de agua heterogéneos, dinámicos y poco profundos. Se encuentra emplazado sobre la zona de transición, lugar donde existe un encuentro entre aguas dulces y salmuera, generando humedales y una serie de lagunas distribuidas principalmente en dirección norte-sur, paralelas a la interfaz y con elongaciones en general perpendiculares a esta estructura, debido probablemente a eventos puntuales de desborde. En estas zonas es en donde se producen las mayores tasas de evaporación de la cuenca producto de la poca profundidad de niveles piezométricos del acuífero, factor que ocasiona una elevada variabilidad de extensión lacustre a escala estacional.

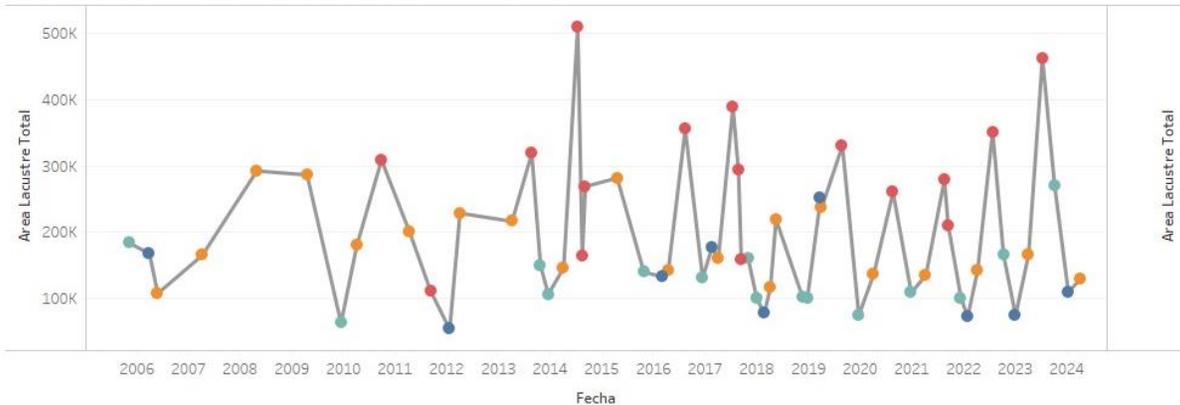
Para este sistema las mediciones de superficie lacustre se realizaron mediante imágenes satelitales, y no se considera el uso de técnicas como las estacas y levantamiento perimetral debido a la dispersión,

reducido tamaño y alta variación espacial en los cuerpos de agua. Además, estas últimas técnicas no forman parte del compromiso definido en el PdC.

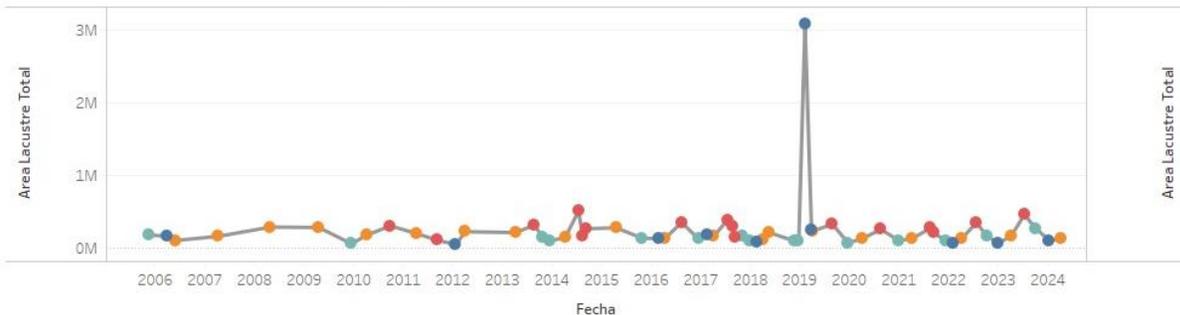
La Figura 6-57 muestra los resultados de esta serie de tiempo actualizada hasta el primer semestre de 2024, incluyendo los valores estimados para los meses de enero y abril. Se aprecia que la superficie lacustre de este sistema muestra un aumento del 47,3% si se comparan los registros de enero de 2023 y 2024. En cambio, se observa una disminución de 21,9% al comparar las superficies de los meses de abril de 2023 y 2024. Por otra parte, se observa un aumento de 18,5% entre enero y abril de 2024.

Figura 6-57: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial.

Extensión Lacustre Histórica de Aguas de Quelana



Extensión Lacustre Histórica de Aguas de Quelana



Trimestre de Fecha
■ T1 ■ T2 ■ T3 ■ T4

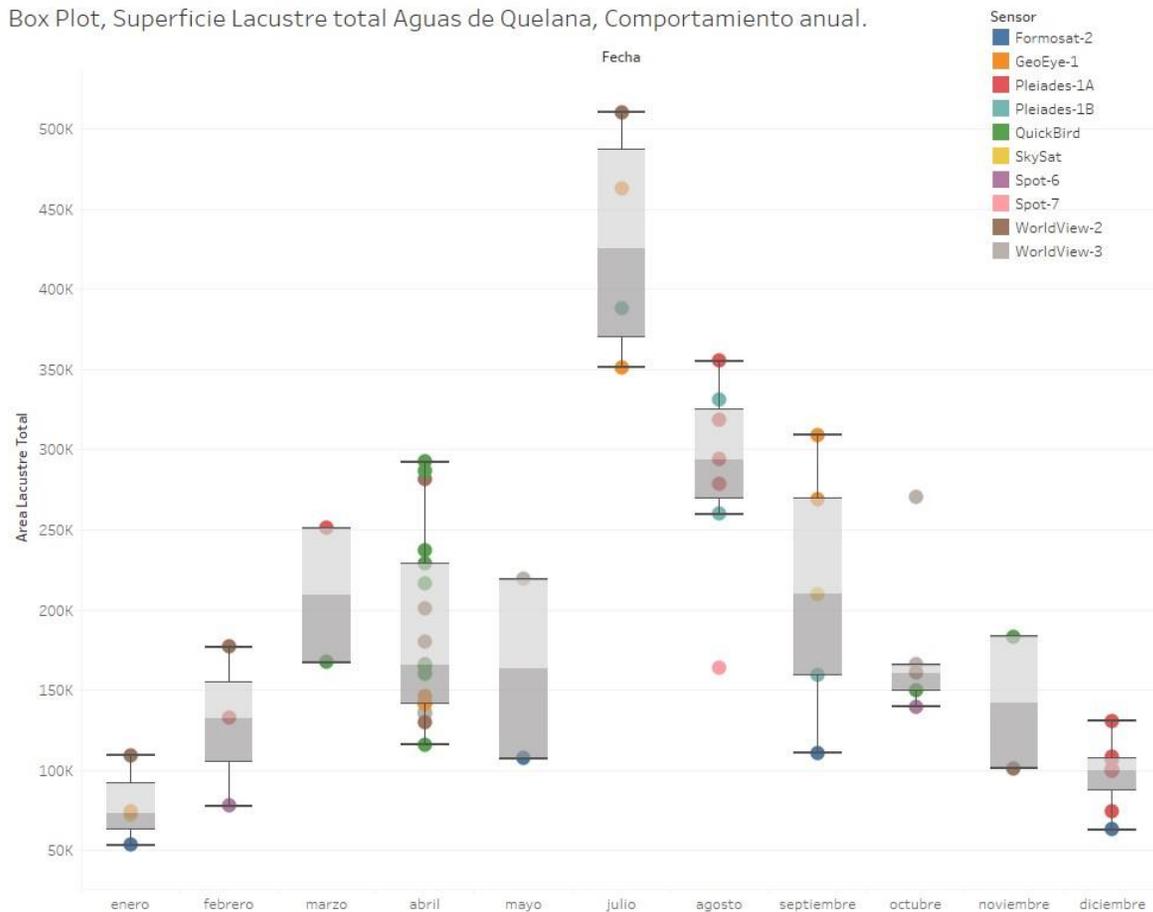
Nota: El gráfico superior no incluye el dato del 5 de febrero de 2019
 Fuente: elaboración propia

El gráfico superior de la Figura 6-57 muestra la totalidad de los datos con excepción del correspondiente al 5 de febrero de 2019, el cual se encuentra fuertemente afectado por la precipitación ocurrida a fines de enero del mismo año. Se diferencian las áreas considerando el trimestre de captura satelital, donde se observa que los máximos de extensión lacustre en general ocurren en el tercer trimestre (julio, agosto y septiembre), mientras que los mínimos ocurren a fines del cuarto trimestre (octubre, noviembre y diciembre) y principios del primer trimestre (enero, febrero y marzo). En términos generales la serie histórica evidencia una marcada estacionalidad en la superficie lagunar, donde la mayor magnitud ocurre en el tercer trimestre y la menor en el cuarto trimestre. La superficie promedio en período es de aproximadamente 140.000 m².

Por otro lado, la Figura 6-58 resume el comportamiento de un año tipo en el sistema lacustre de Aguas de Quelana recuperado con los datos calculados con imágenes de alta resolución. En efecto, se marca un fuerte comportamiento cíclico, en donde los mínimos se encuentran a fines del cuarto trimestre y principios del primer trimestre, mientras que los máximos se concentran en torno a julio. Se debe indicar que en la Figura 6-58 no se incluye el máximo correspondiente al 5 de febrero de 2019.

Por otro lado, se debe considerar que los datos que no siguen la tendencia estacional corresponden a imágenes satelitales de alta a moderada resolución espacial (Spot y Formosat, 6 y 8 metros por píxel, respectivamente). Para poder realizar un seguimiento sistemático de las variaciones registradas por medio de imágenes satelitales, es necesario que la resolución de ellas sea la misma, lo que no se logra con las imágenes históricas Spot y Formosat como se mencionó anteriormente. Para subsanar esta diferencia, es que SQM al día de hoy cuenta con imágenes satelitales de alta resolución que permiten hacer este análisis de forma consistente. Con respecto a las superficies obtenidas para el primer semestre del 2024, en enero se observa un comportamiento por sobre los valores de años pasados, mientras que abril se encuentra bajo la mediana de los datos históricos.

Figura 6-58: Comportamiento anual típico de extensión lagunar entre el 2006 y 2024 empleando imágenes satelitales de alta resolución espacial.

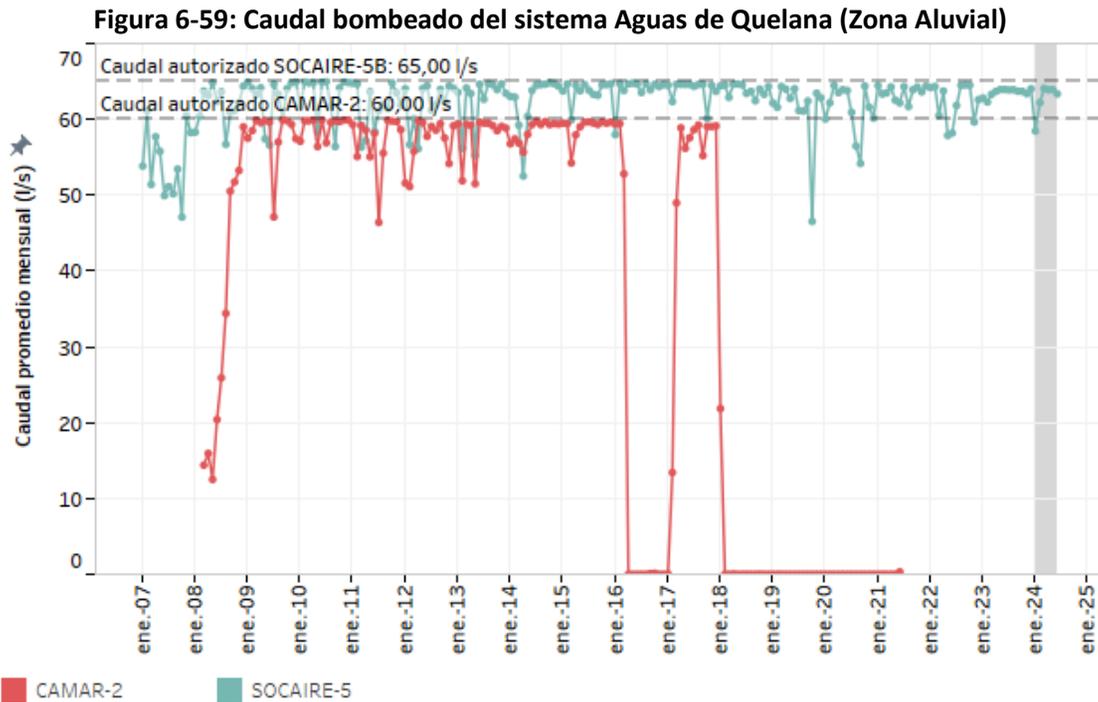


Fuente: Elaboración propia

6.1.2.3 Caudal bombeado

Los flujos de agua industrial extraídos históricamente desde los pozos Camar-2 y Socaire-5 se muestran en la Figura 6-59. El pozo Camar inició su funcionamiento en marzo de 2008 y estuvo detenido entre abril de 2016 y enero de 2017, cuando se reactivó con una extracción promedio de 53,2 L/s durante este último año. En enero de 2018, Camar-2 cesó su operación y, en 2021, el pozo finalmente fue desmantelado. A lo largo de todo el período de extracción, el caudal no sobrepasó los derechos de aprovechamiento autorizados (60 L/s). En cuanto al pozo Socaire-5, durante 2007 operó con un caudal promedio de 53,8 L/s, y desde 2008 hasta 2023, el pozo continuó operativo con un caudal promedio en torno a los 62,6 L/s, manteniéndose por debajo del límite de extracción autorizado (65 L/s).

Respecto al primer semestre de 2024, la operación del pozo Socaire-5 se mantiene por debajo del umbral autorizado, con un caudal promedio semestral de 62,6 L/s.



Fuente: Elaboración propia

6.1.2.4 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado durante el primer semestre de 2024 en el agua superficial y subterránea del Sistema Aguas de Quelana, desde el aluvial, zona marginal hasta el núcleo al oeste, en comparación con su evolución histórica.

Esta sección se divide en dos subsecciones que agrupan los puntos de monitoreo de calidad de aguas de acuerdo con sus características, la primera corresponde pozos y reglillas de monitoreo (subterráneo), y la segunda corresponde a la calidad de agua en pozos de agua industrial (subterráneo).

Para la lectura de las series históricas de los registros de parámetros analizados se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.

2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran con resalte.

6.1.2.4.1 Calidad del agua en pozos y reglillas de monitoreo

Los registros históricos de calidad del agua en los pozos y reglillas de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana es monitoreado en los puntos: L4-3, L4-6, L4-8, L4-9, L4-12, L5-3 y Reglilla L4-10, que espacialmente corresponde a puntos en el aluvial (L4-3), pasando por la zona marginal (L5-3, L4-8, L4-9, Reglilla L4-10, L4-12) hasta el núcleo (L4-6).

Los parámetros utilizados corresponden a Calidad 1 para todos los pozos, y en particular para la reglilla L4-10, los correspondientes a Calidad 3 (Figura 6-60, Figura 6-61 y Figura 6-62)^{18, 19}.

Los menores valores de conductividad eléctrica se encuentran en el punto más al sur, L5-3, con valores en el rango entre 3.770-8.460 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, presenta un pH terreno con valores entre 7,3 y 8,2 valores de densidad de terreno alrededor de 1,00 g/mL, un contenido de sólidos totales inferior a 7.460 mg/L y sólidos disueltos totales inferiores a 5.718 mg/L. Los otros parámetros para este punto (conductividad eléctrica, conductividad eléctrica terreno, densidad, densidad de terreno, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales), se muestran relativamente estables respecto al promedio histórico observado.

El resto de los puntos de monitoreo se alinean según una transecta E-W en la cual los valores de conductividad eléctrica de terreno aumentan a medida que se avanza hacia el núcleo, los valores en el aluvial (L4-3) tienen valores menores a 22.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aumentando hacia la zona marginal (L4-8 y

¹⁸ En el informe N° 5 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de la CE y SDT de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el Laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A hasta julio de 2008, adjuntándose carta explicativa emitida por ALS Life Sciences Chile S.A, así como un breve análisis.

¹⁹ En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado informe. Adicionalmente, el mismo problema fue detectado en la campaña de mayo de 2020 y se adjunta la carta de respuesta de ALS, indicando que el error en los resultados de STD y ST se debe a un error en la toma de alícuota y que realizará una capacitación del personal para que no vuelva a suceder. (Esta carta se presenta en el Anexo 10.2).

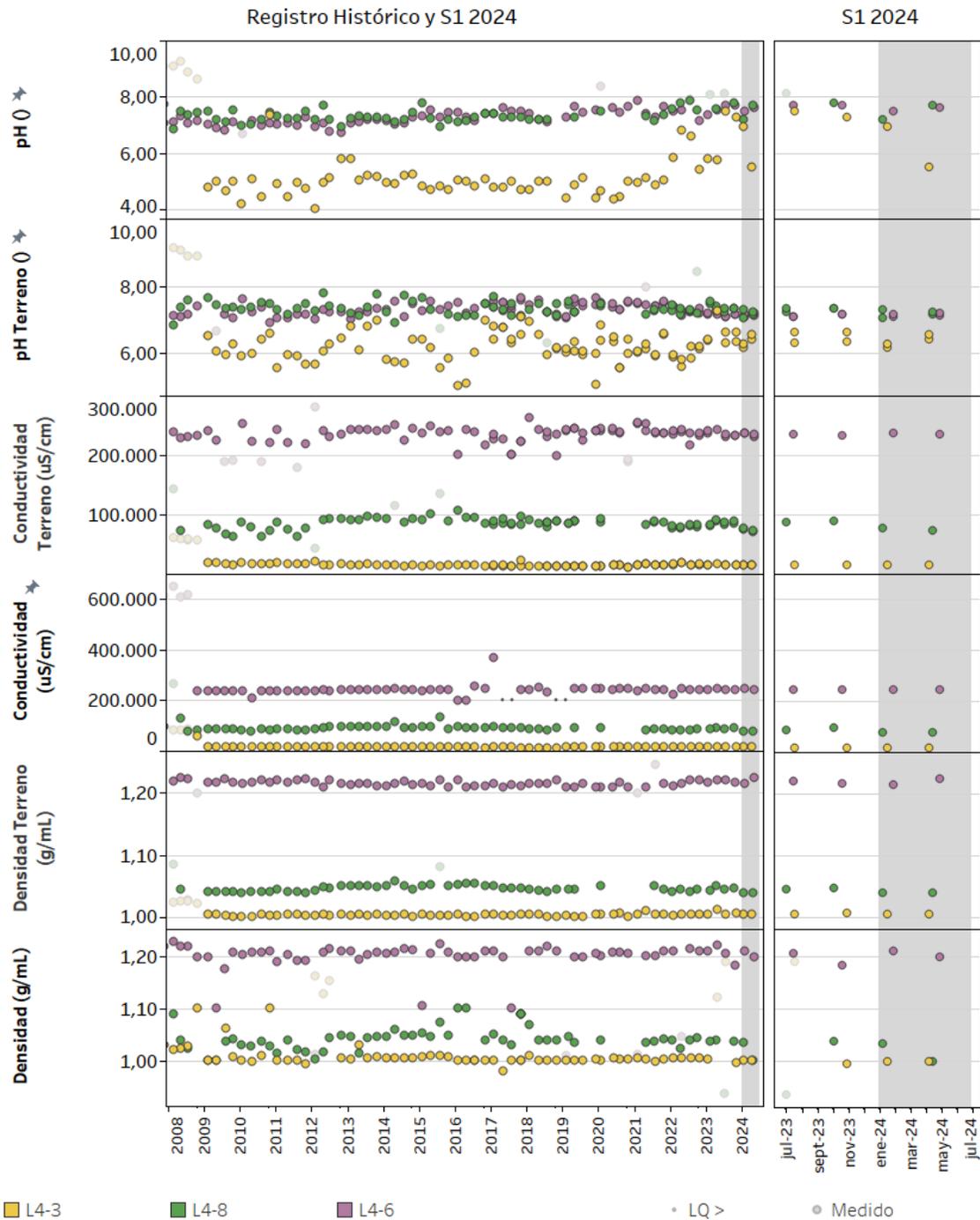
L4-9) con registros promedio en torno a 85.223 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo L4-8 y 117.753 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo L4-9. Adicionalmente, la conductividad eléctrica aumenta a medida que se avanza al oeste, con un valor de 151.444 $\mu\text{S}/\text{cm}$ promedio en el punto L4-12, hasta valores cercanos a 235.947 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el punto L4-6. Misma relación se observa para los parámetros densidad, densidad de terreno, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales, adquiriendo características de salmuera hacia el oeste. El pH terreno para estos puntos presenta valores entre 6,90 y 8,31.

Por otra parte, el pozo L4-3, ubicado en la zona aluvial, presenta valores de conductividad eléctrica del sector inferiores a 22.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH de terreno entre 5,03-7,27, lo que sugiere que este pozo capta aguas de un acuífero confinado, debido a la diferencia pH y conductividad eléctrica en comparación a los pozos que se encuentran a su alrededor. Adicionalmente, presenta un contenido de sólidos totales y sólidos disueltos totales en general inferior a 37.120 mg/L y una densidad de terreno y laboratorio en torno 0,98-1,10 g/mL.

El pozo L4-6, ubicado en el núcleo, muestra en las concentraciones de sus parámetros alta conductividad eléctrica (promedio 236.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales (>99.000 mg/L, valor mínimo del pozo L4-12) y densidad promedio del orden de 1,2 g/mL, correspondiente a un agua tipo salmuera.

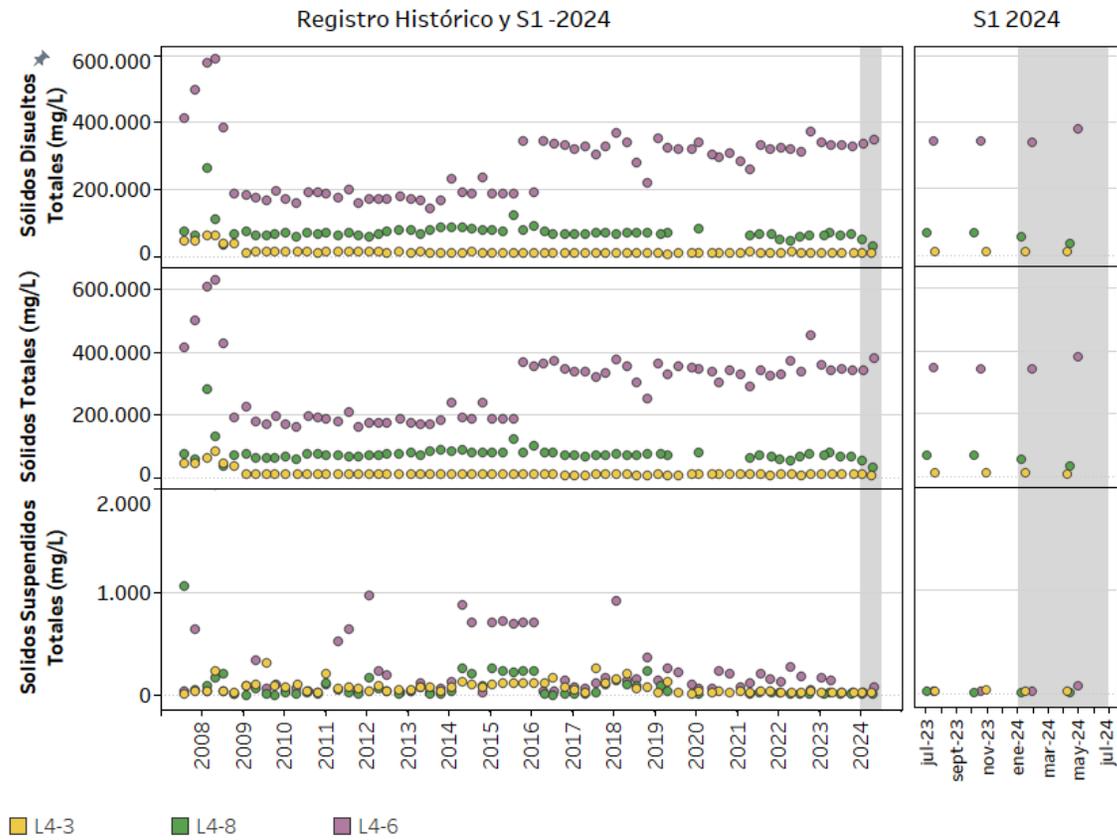
La Reglilla L4-10 presenta como principal característica una marcada estacionalidad, como consecuencia de la evaporación, oscilando su conductividad eléctrica entre valores en torno a 20.000 y 240.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, entre invierno y verano, respectivamente. Respecto a los parámetros adicionales que se reportan del punto L4-10 (alcalinidad total (CaCO_3), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, magnesio, N-nitrato, oxígeno disuelto, oxígeno disuelto terreno, potasio, salinidad, sodio, sulfato), se muestran estables respecto al promedio histórico observado.

Figura 6-60: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8



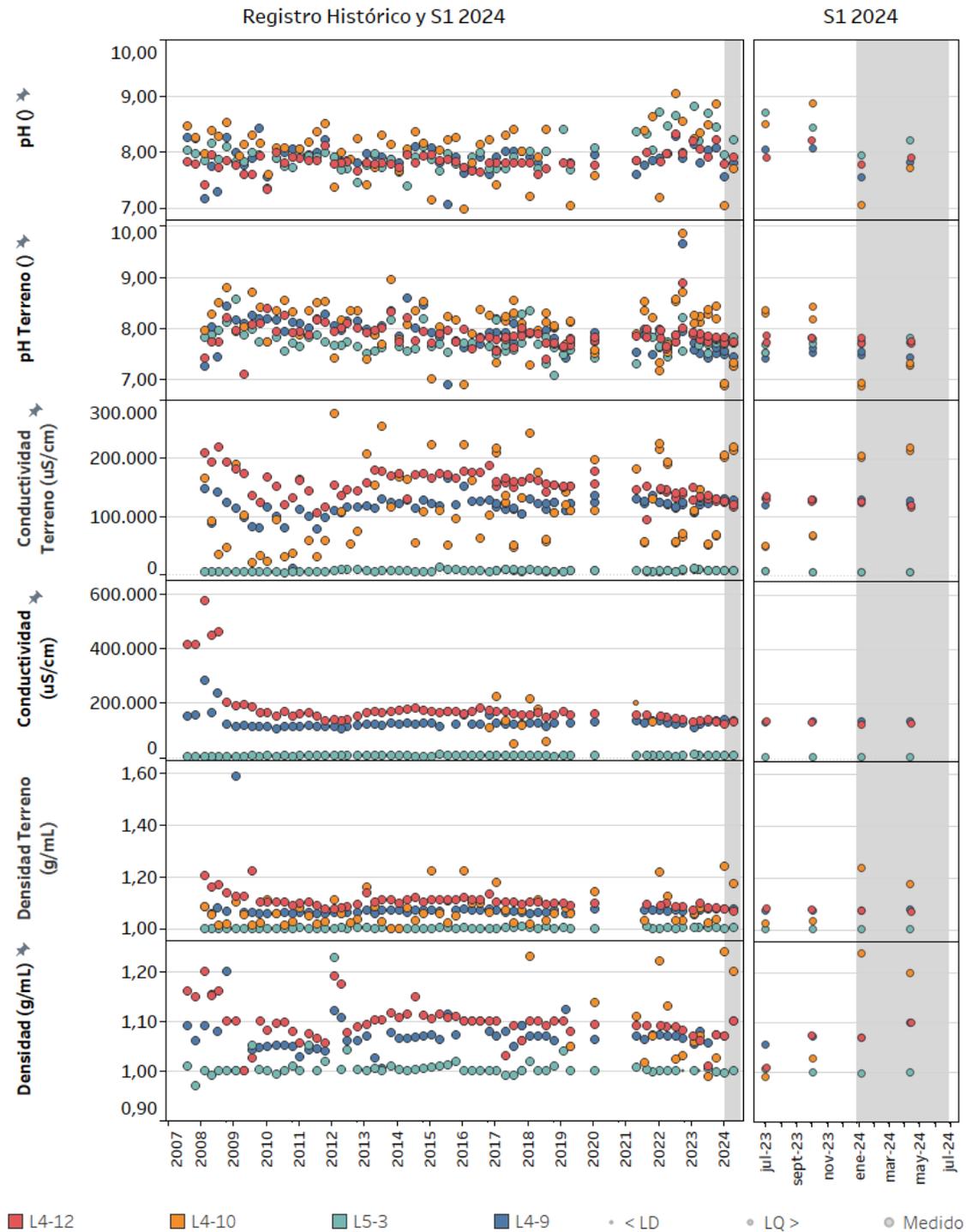
Fuente: Elaboración propia. Los valores >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-60: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8 (continuación)



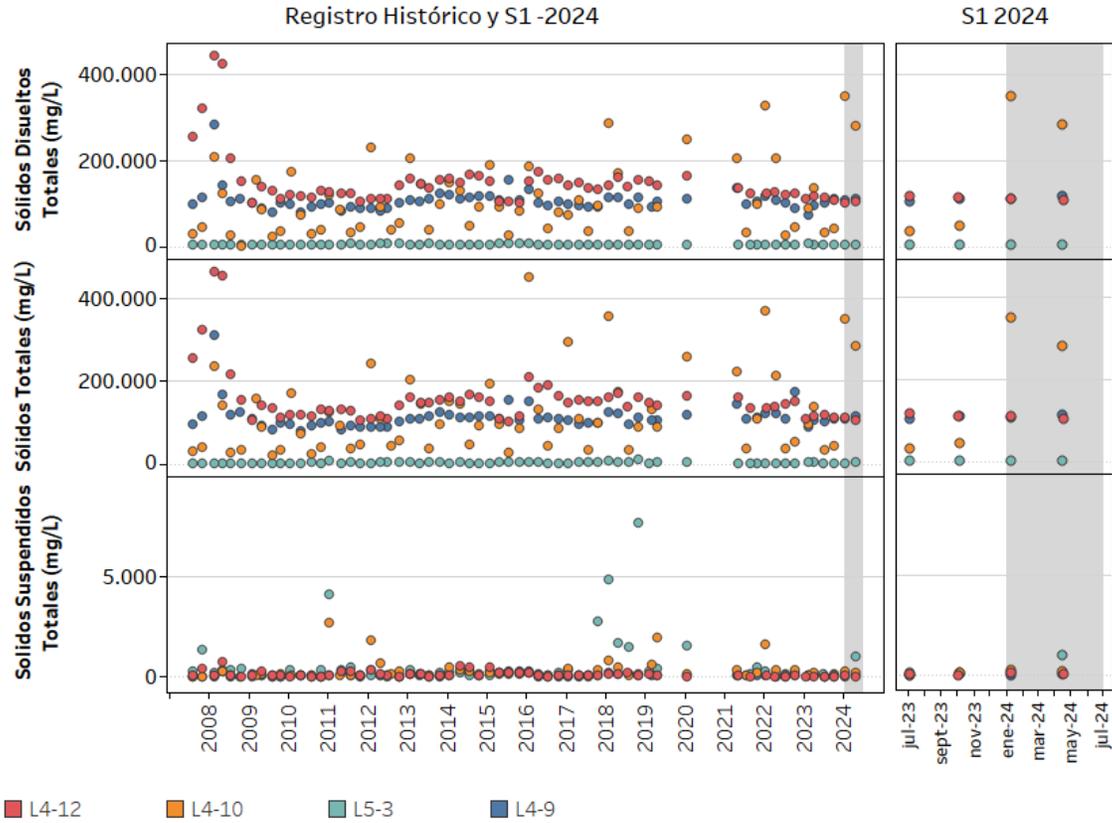
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-61: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L4-12, L4-10, L5-3 y L4-9



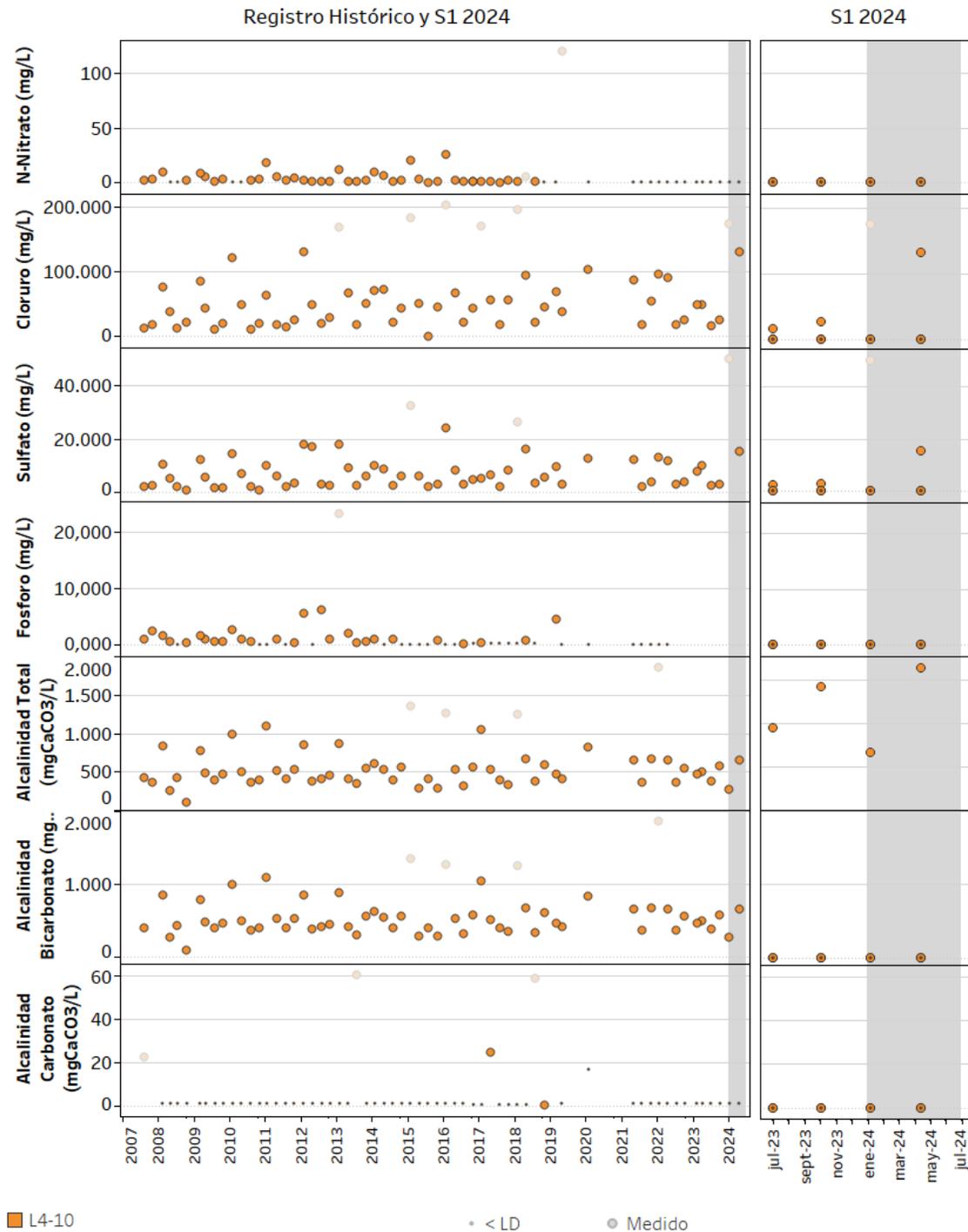
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD y >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-61: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L4-12, L4-10, L5-3 y L4-9
(continuación)



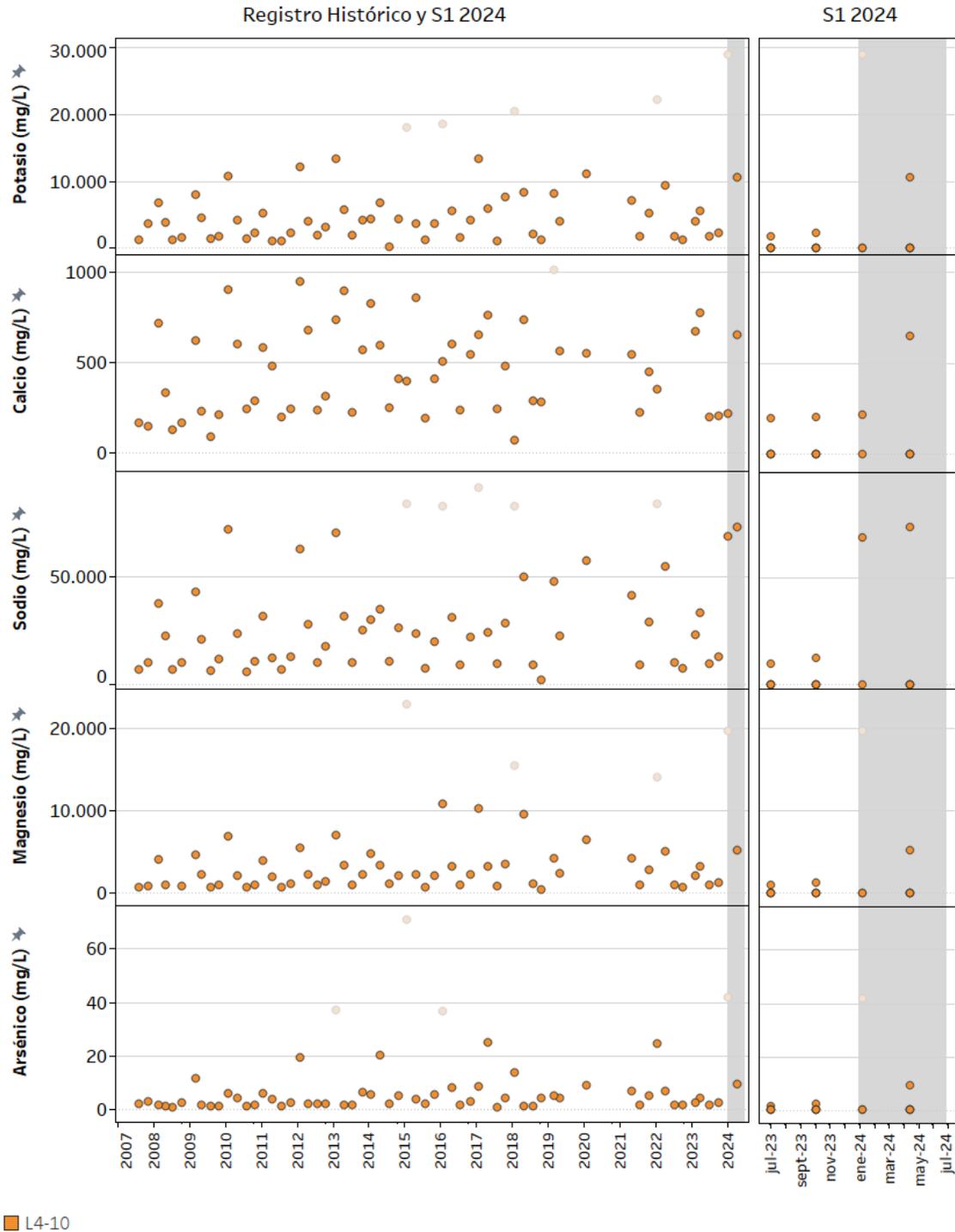
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-62: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10



Fuente: Elaboración propia Los valores < LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-62: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10 (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

6.1.2.4.2 Calidad del agua en pozos de agua industrial

La evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción de agua industrial Camar-2 y Socaire-5B se presenta en la Figura 6-64, respectivamente. Los parámetros monitoreados en estos pozos corresponden a Calidad4. Los resultados del primer semestre de 2024 para los distintos analitos se encuentran en general dentro del rango histórico.

En cuanto al comportamiento general, tanto Camar-2 como Socaire-5B se encuentran en el acuífero aluvial, el cual alimenta a la zona marginal. Los dos pozos presentan un pH neutro (en torno un valor de 7). Desde la detención del pozo Camar-2 en 2018, se observa un salto en el pH de terreno de 7,0 a valores cercanos a 8, lo que se asocia al cambio de las condiciones geoquímicas dadas por su detención. Este cambio generó también un salto en los valores promedio de otros parámetros como la conductividad eléctrica, hierro, manganeso, cloruro, sodio, sólidos suspendidos totales y magnesio. El pozo Socaire-5B muestra un aumento paulatino del pH dentro del rango histórico sostenido.

De acuerdo con el contenido promedio de SDT, los fluidos de Camar-2 y Socaire-5B clasifican como agua fresca. Al considerar los valores promedio de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y densidad, ambos fluidos clasifican como agua dulce. A partir de 2018, desde la detención del bombeo, el pozo Camar-2 muestra un aumento de conductividad. Sin embargo, los valores de conductividad eléctrica se mantienen en torno a $4.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, lo que no cambia su clasificación del tipo de agua. Esta clasificación se mantuvo para el primer semestre de 2024.

El resto de los parámetros analizados (alcalinidad total (CaCO_3), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato, potasio, sodio, sulfato y zinc) presentan concentraciones en el primer semestre de 2024 dentro del rango histórico registrado.

En la mayoría de los pozos las mediciones realizadas el primer semestre de 2024 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- El pozo Socaire-5B presentó un valor alto de conductividad de laboratorio en febrero de 2024 de $4.170 \mu\text{S}/\text{cm}$ ligeramente mayor a las muestras colectadas en el mes de enero y abril de 2024. Adicionalmente, se observó en el mismo mes un valor alto de sólidos disueltos totales de $3.080 \text{ mg}/\text{L}$ que sobrepasa el promedio histórico ($1.984 \text{ mg}/\text{L}$). Estas variaciones podrían atribuirse a errores en las mediciones de laboratorio.

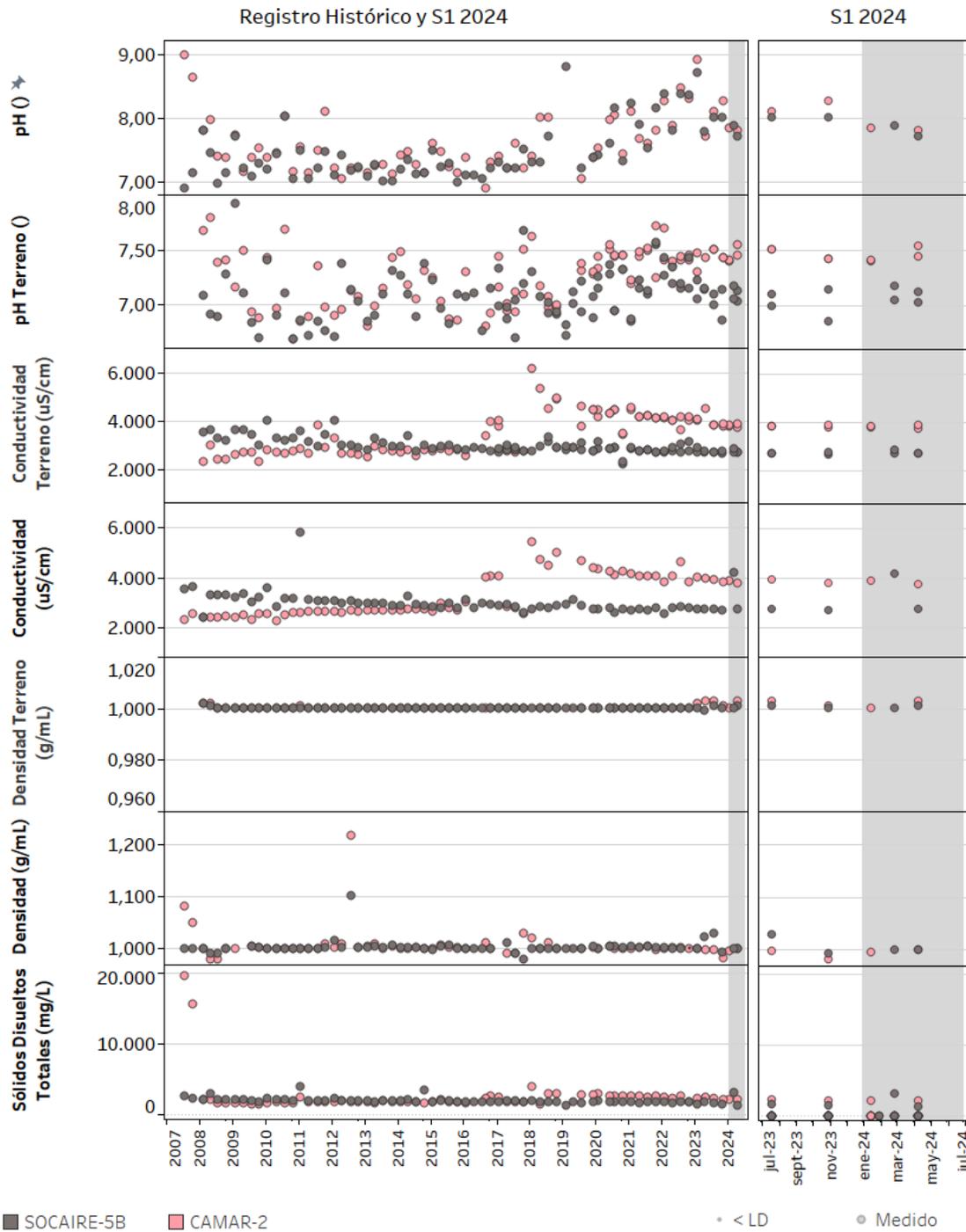


- Se observó una ligera diferencia en los valores de densidad en las muestras tomadas en abril de 2024 respecto a la tendencia histórica (promedio 1,000 g/mL), para los pozos Socaire-5B (1,001 g/mL) y Camar-2 (1,003 g/mL), que podrían asociarse a errores en la medición.

Respecto a las tendencias identificadas:

- Desde 2018, en ambos pozos (Camar-2 y Socaire 5-B) se observa en promedio un leve aumento del pH, dentro del rango 7 a 8.
- El hierro y el manganeso hasta inicios de 2018 para ambos pozos no muestra cambios respecto al histórico observado. Sin embargo, posterior a esta fecha y, coincidente con su detención (cese de bombeo provoca un aumento de nivel de agua y con ello cambio de las condiciones geoquímicas reductoras), el pozo Camar-2 produce un importante aumento de ambas concentraciones. De manera similar se produce un aumento en la conductividad eléctrica, cloruro, sodio y sólidos suspendidos totales. En el pozo Socaire-5B se observa un efecto a la baja en la misma fecha y con tendencia a recuperar su nivel previo.

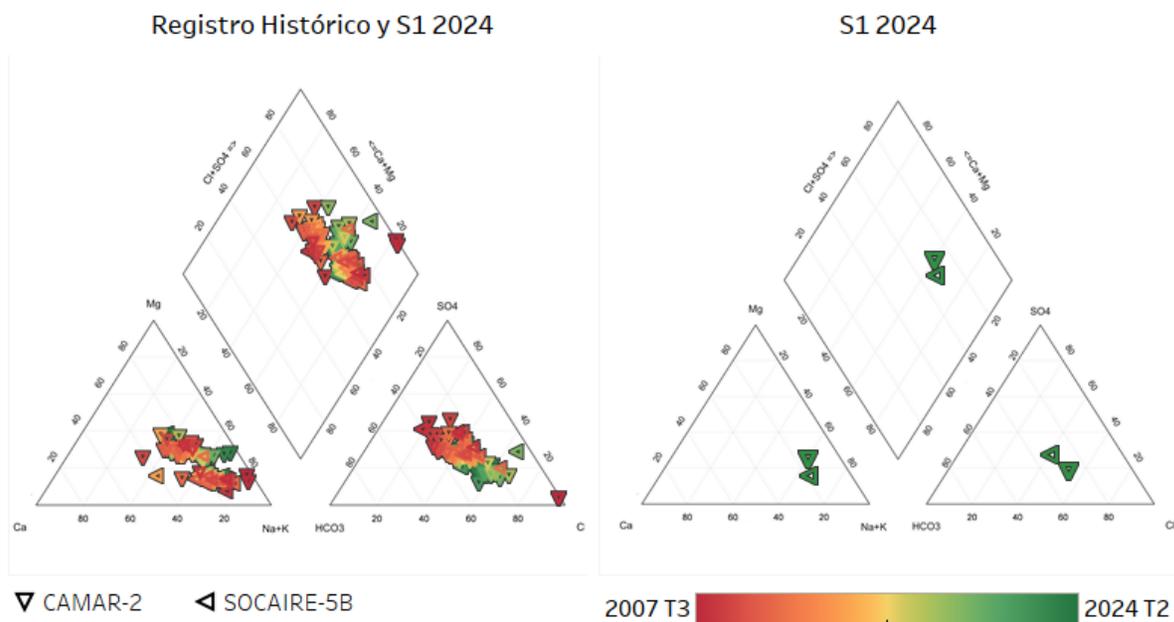
Figura 6-64: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

En la Figura 6-65 se presenta el diagrama de Piper para los pozos Camar-2 y Socaire-5B, donde se aprecia que los valores de Camar-2 han evolucionado a una composición más clorurada sódica y los de Socaire-5B conservan su característica geoquímica sulfatada-clorurada sódica. Estas aguas representan la recarga que alcanza a la zona marginal y sistema lagunares por lo que las concentraciones en estos puntos son menores a las observadas en los pozos y reglillas de la zona marginal y el núcleo. La mayor parte de esta agua será evaporada en la zona marginal.

Figura 6-65: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B

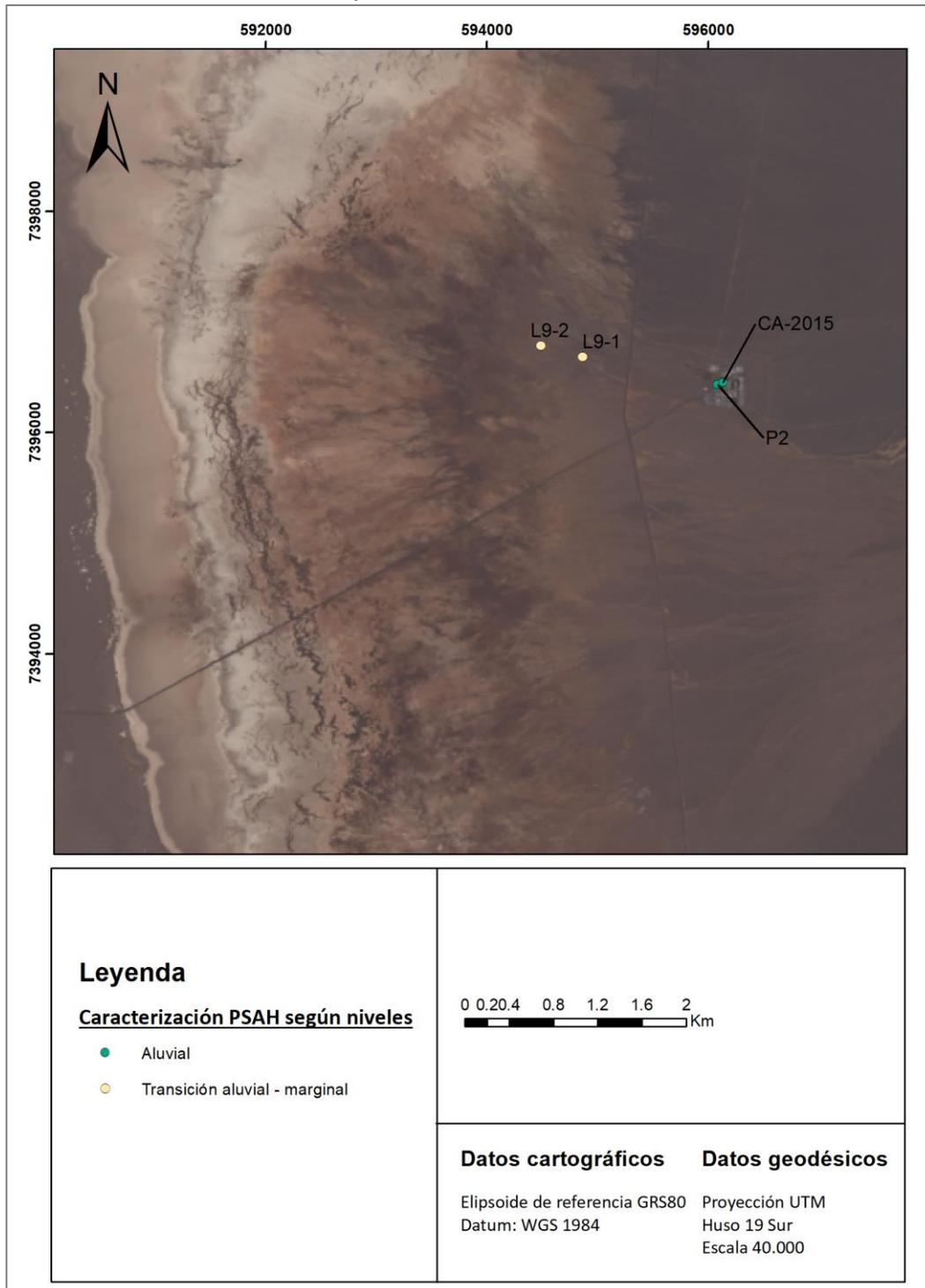


Fuente: Elaboración propia

6.1.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE – SECTOR POZO CA-2015

A continuación, se analiza el comportamiento histórico de los pozos pertenecientes al Sistema Vegetación Borde Este. Como ya se ha indicado al inicio de este capítulo, se han descrito los puntos separados en función del sistema hídrico (sistema Soncor o sistema Aguas de Quelana) (Figura 6-66). Esto ha permitido poder describir y entender mejor la dinámica hidrogeológica de estos sistemas. En este apartado, queda entonces por describir la zona inmediata al pozo de agua industrial CA-2015, que consta de los puntos P2, L9-1 y L9-2.

Figura 6-66: Infraestructura presente en el sistema Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

6.1.3.1 Niveles de agua subterránea

En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sistema Borde Este – Sector pozo CA-2015, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el primer semestre de 2024 respecto al registro histórico.

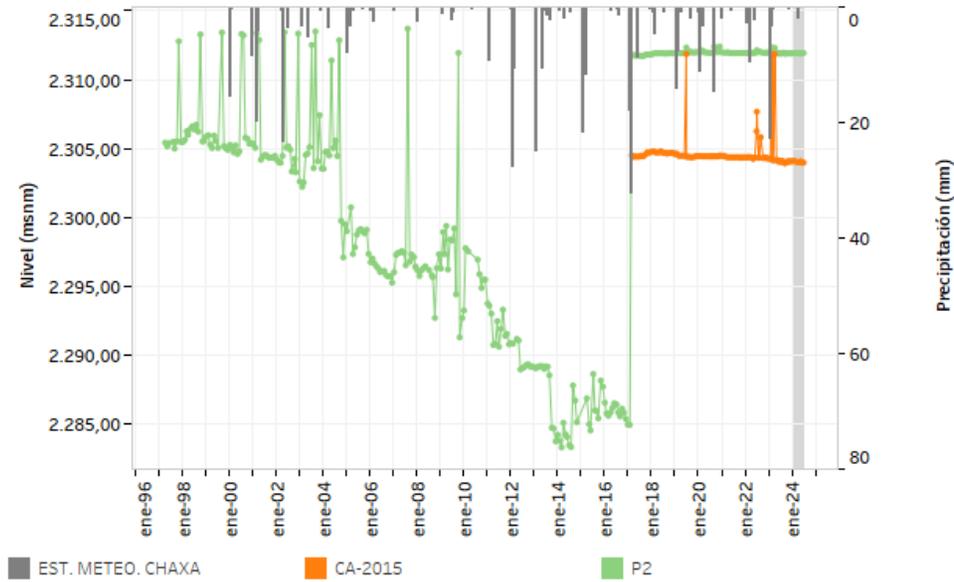
6.1.3.1.1 Nivel en pozo de bombeo de agua industrial

El Sistema Vegetación Borde Este cuenta con el pozo de agua industrial CA-2015, que reemplazó al pozo P2 a partir de febrero de 2017 (según Resolución Exenta N°296/2016 de la DGA). En la Figura 6-67 se muestran los niveles de ambas infraestructuras, mientras que en la Figura 6-68 se observa en detalle el pozo CA-2015, permitiendo ver las variaciones de nivel recientes.

Históricamente, el pozo P2 mostró un descenso continuo del nivel y en 2017, cuando se detuvo, el nivel aumentó alrededor de 26 m, situándose por sobre los 2.311,70 m s.n.m., tal como se visualiza en la Figura 6-67. Luego, en enero de 2018, dicho pozo alcanzó un nivel de 2.311,90 m s.n.m. (20 cm más alto), el cual se ha mantenido estable hasta el período actual (2024).

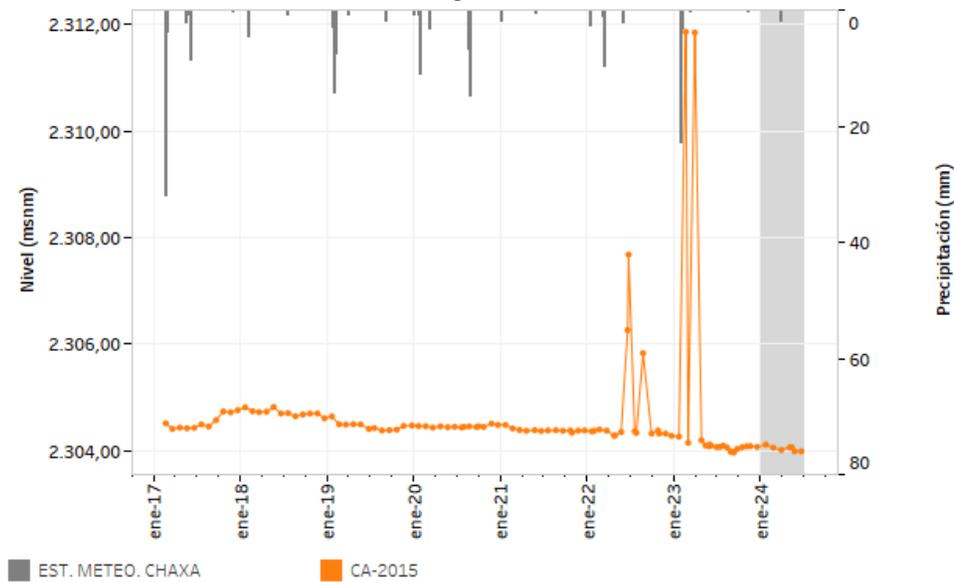
Por su parte, el pozo CA-2015 ha mantenido su extracción por debajo del caudal autorizado (35 L/s), con un promedio de 31,1 L/s. La Figura 6-67 muestra que el nivel del pozo se ha mantenido con una tendencia de descenso, en torno a una tasa de 14 cm/año. En septiembre de 2023, se registró un mínimo estacional histórico de 2.303,96 m s.n.m. debido a la ausencia de precipitaciones. Posterior a esta fecha, el nivel aumentó levemente hasta febrero 2024 (2.034,05 m s.n.m.), donde el nivel recuperó su tendencia al descenso, llegando a 2.303,99 m s.n.m. en junio del 2024. A pesar de este comportamiento, se observaron algunos picos en los niveles, asociados al manejo operacional y al régimen de extracción de los pozos.

Figura 6-67: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al Sistema de Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-68: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al Sistema de Vegetación Borde Este



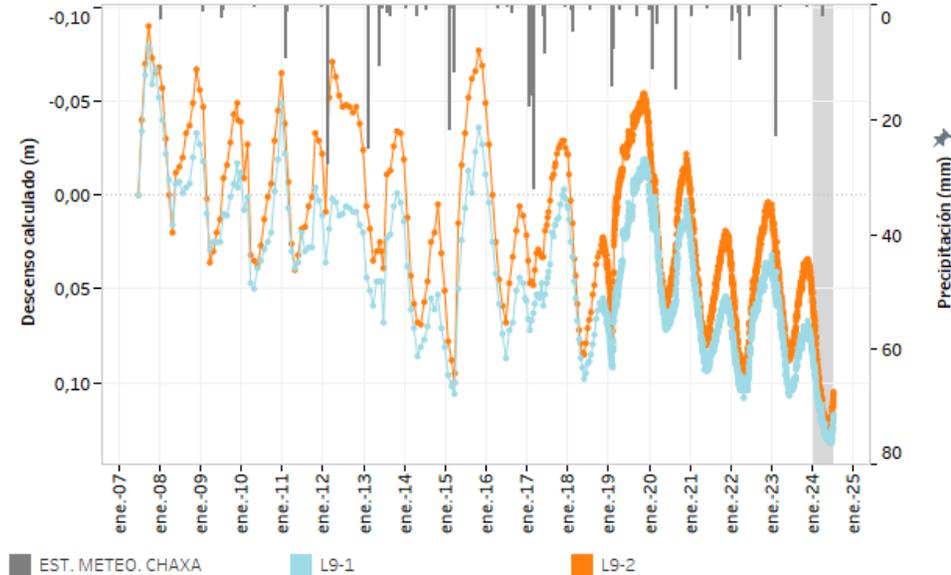
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.3.1.2 Pozos en Zona Aluvial y Marginal

El resto de los puntos a analizar para el Sistema de Vegetación Borde Este, son los pozos L9-1 y L9-2. En este sector se encuentra una menor densidad de puntos de control (en comparación con el resto de los sistemas), por lo que no se pueden observar todos los comportamientos reconocidos en los anteriores apartados.

En este caso, los niveles de los puntos L9-1 y L9-2 (ver descensos calculados en la Figura 6-69) muestran un comportamiento definido en los sistemas anteriores como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, ya que muestra una oscilación poco regular y estacional. Estos puntos se miden diariamente desde 2018, permitiendo una mejor observación de la regularidad del efecto estacional en la variación de sus niveles. Luego de este cambio en la frecuencia de medición, se cree más representativo medir la tasa de descenso solo desde esta fecha, que resulta ser de aproximadamente 2 cm/año en promedio, considerando junio de 2024. Cabe señalar que, en el primer semestre se reprodujo un mínimo estacional histórico para ambos puntos.

Figura 6-69: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del Sistema Vegetación Borde Este



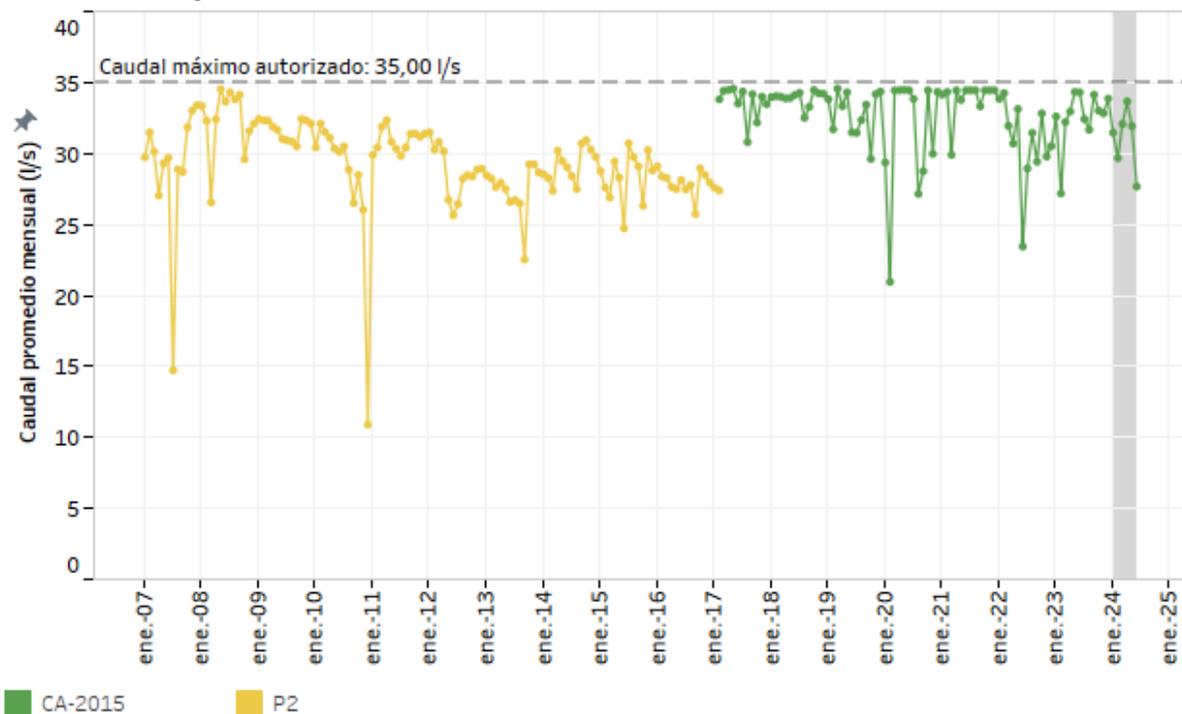
Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.2 Caudal bombeado

El registro de los caudales históricos extraídos desde el pozo P2 – posteriormente reemplazado por CA-2015 – se presenta en la Figura 6-70. Durante el período comprendido entre 2007 y 2017, el pozo P2 operó con un caudal promedio de 29,3 L/s, con un máximo de 34,5 L/s. Posteriormente, en enero de 2017, el pozo P2 inició su operación como CA-2015 y aumentó su caudal promedio a 32,6 L/s. A lo largo de todo el período de extracción, el caudal no ha sobrepasado los derechos de aprovechamiento autorizados (35 L/s).

Al cierre de este semestre, el caudal de extracción promedio fue de 31,1 L/s, manteniendo el régimen de extracción regular de los últimos meses.

Figura 6-70: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado el primer semestre de 2024 en el Sistema Vegetación Borde Este, en comparación con su evolución histórica. Como se mencionó en la sección 5, no existen límites establecidos para los parámetros monitoreados (normativos o de línea de base). Por lo anterior, en esta sección solo se discute su comportamiento y evolución histórica a partir del inicio del periodo de registro.

El monitoreo de este sistema se realiza en los pozos L2-4, L4-3, L7-3 y en el pozo de extracción de agua industrial CA-2015 (reemplazo del pozo antiguo P2). Los tres pozos de monitoreo de agua subterránea (L2-4, L4-3, L7-3) corresponden también a puntos de monitoreo de otros sistemas y fueron presentados en las secciones anteriores (ver pozos L2-4 y L7-3 en Sistema Soncor y pozo L4-3 en Sistema Aguas de Quelana). De esta manera, en esta sección solo se presenta gráficamente la evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción de agua industrial P2 en el periodo histórico desde 2008 hasta marzo 2017, y el CA-2015 desde inicio abril 2017 hasta el segundo trimestre de 2024 (Figura 6-71).

Los parámetros corresponden a: conductividad eléctrica terreno, densidad de terreno, pH terreno, alcalinidad total (CaCO₃), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, conductividad eléctrica, densidad, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato, pH, potasio, sodio, sólidos disueltos totales, sulfato y zinc.

En general se observa que todos los parámetros analizados se encuentran dentro del rango de la tendencia histórica en el primer semestre de 2024.

Los registros que corresponden al pozo P2 (hasta fines de 2016), muestran una baja conductividad eléctrica de terreno (menor a 4.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y bajas concentraciones de sólidos disueltos totales y cloruros (promedio 2.167 mg/L y máximo 1.221 mg/L respectivamente), al encontrarse en el acuífero aluvial que representa las aguas de recarga a la zona marginal y proveniente de las aguas infiltradas desde la zona aluvial. Sin embargo, a partir de 2017 (pozo CA-2015), las concentraciones de estos parámetros aumentan en promedio 3 a 4 veces, observando que los sólidos disueltos totales alcanzan valores máximos de 12.794 mg/L y cloruro hasta 6.416 mg/L. El punto CA-2015 está colectando aguas más profundas que el P2 y, por tanto, con una mayor influencia de la interfaz salina.



Este comportamiento también se observa en las tendencias de las concentraciones para el sulfato, magnesio y sodio. La densidad histórica se mantiene en torno a 1,00 g/mL, y pH de terreno y laboratorio en torno a 7,0-8,5.

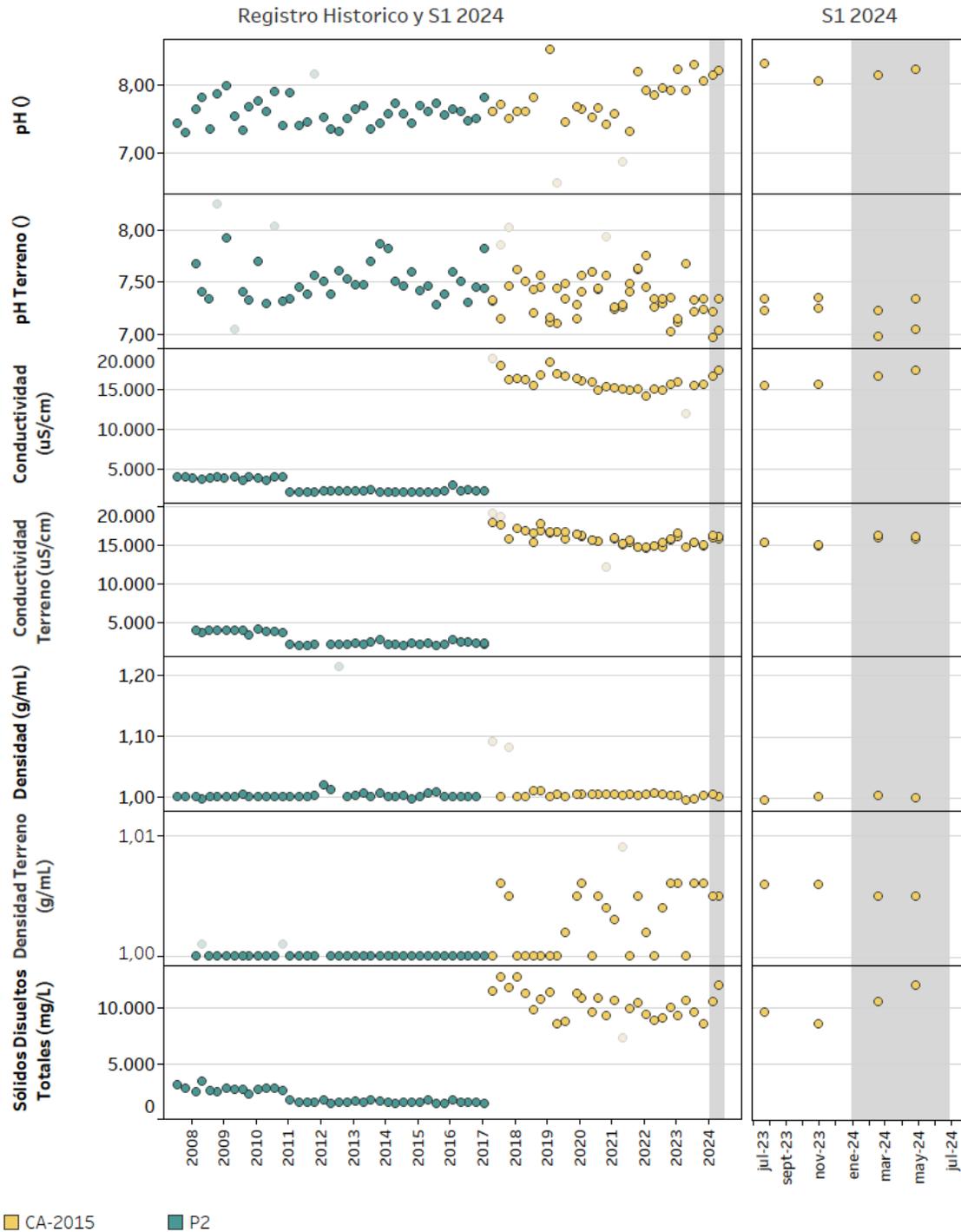
Se observa que el valor para el zinc obtenido en abril 2024 se escapa del comportamiento del último año, siendo similar al valor obtenido en julio de 2022.

El resto de los parámetros analizados: alcalinidad total (CaCO_3), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato, pH, potasio, sodio y sulfato, presentan concentraciones en los análisis del primer semestre de 2024 dentro del rango histórico observado.

Para la lectura de las series históricas de los registros de parámetros analizados se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

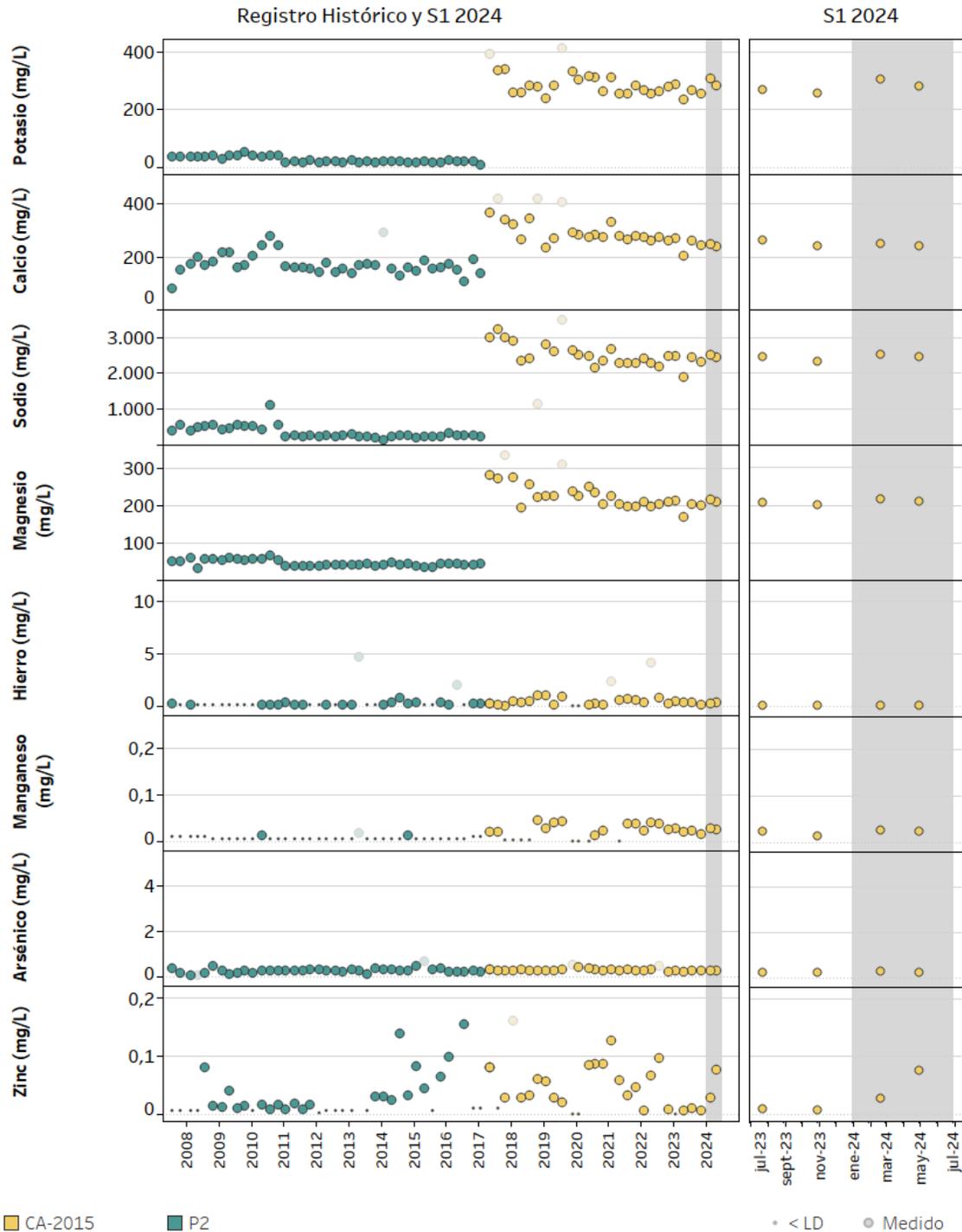
1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-71: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción P2 y CA-2015 (a partir de abril de 2017 corresponden al pozo CA-2015)



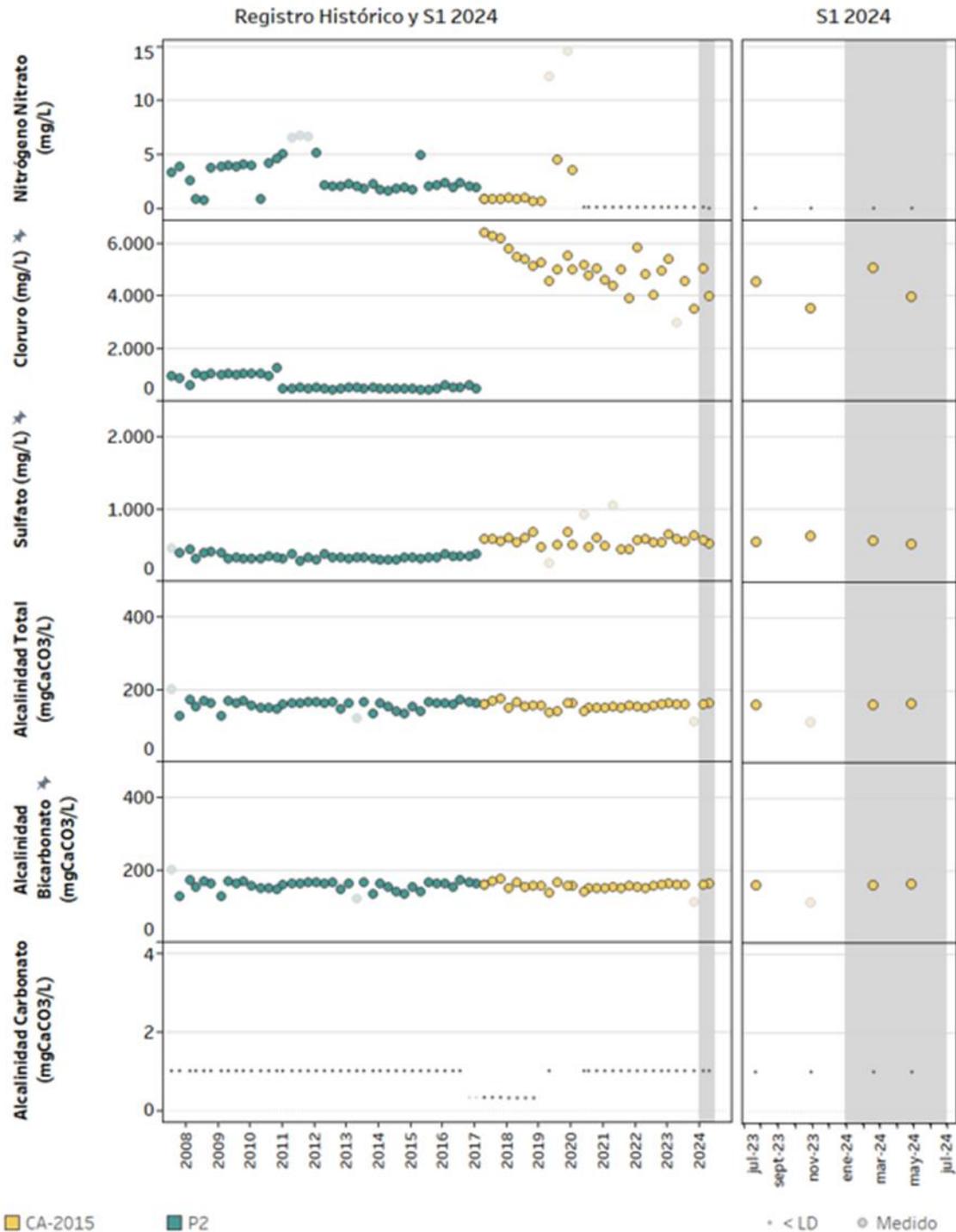
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-71: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción P2 y CA-2015 (a partir de abril de 2017 corresponden al pozo CA-2015) (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-71: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción P2 y CA-2015 (a partir de abril de 2017 corresponden al pozo CA-2015) (continuación)

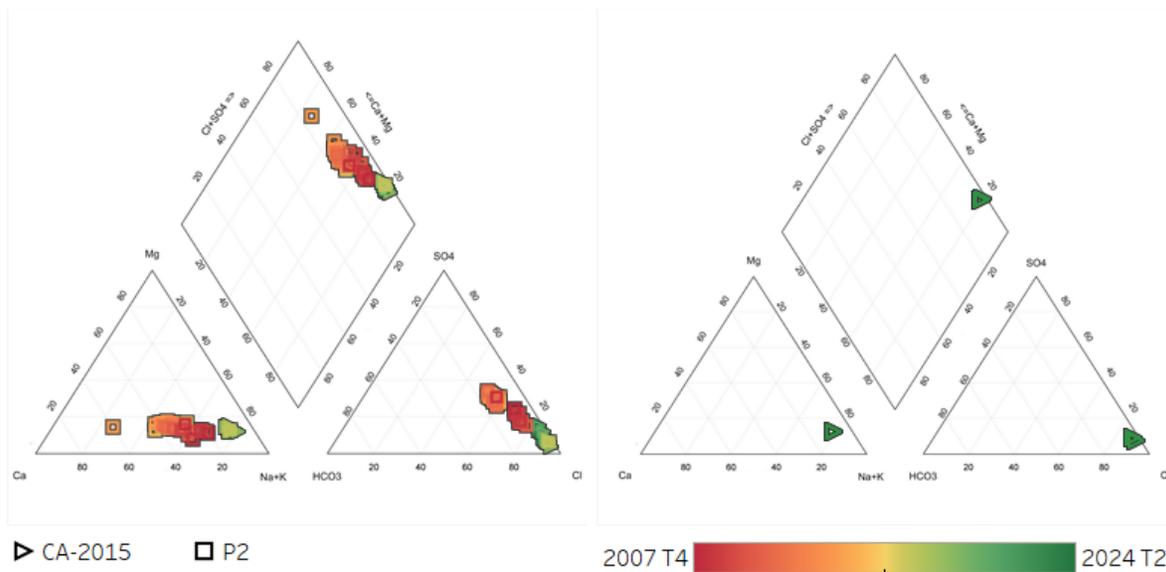


Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

La Figura 6-72 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en CA-2015 y punto P2 (presenta registro hasta enero 2017), con un BI inferior al 10% y correspondiente al primer semestre 2024 y registro histórico. Se observa que las aguas del punto CA-2015 presentan una característica clorurada sódica en correspondencia a lo observado en su tendencia histórica.

Respecto a las tendencias en este sector, se observan algunos parámetros del punto CA-2015 con leve tendencia a la baja como pH terreno, conductividad eléctrica de terreno, sólidos disueltos totales y cloruro, lo cual podría estar asociado a los eventos de precipitación que han venido decreciendo en el tiempo. Siendo más intensos en el año 2019, favoreciendo la disolución de sales y por ende incrementando ligeramente la conductividad eléctrica de las aguas.

**Figura 6-72: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para CA-2015 y P2
Registro Histórico y S1 2024**

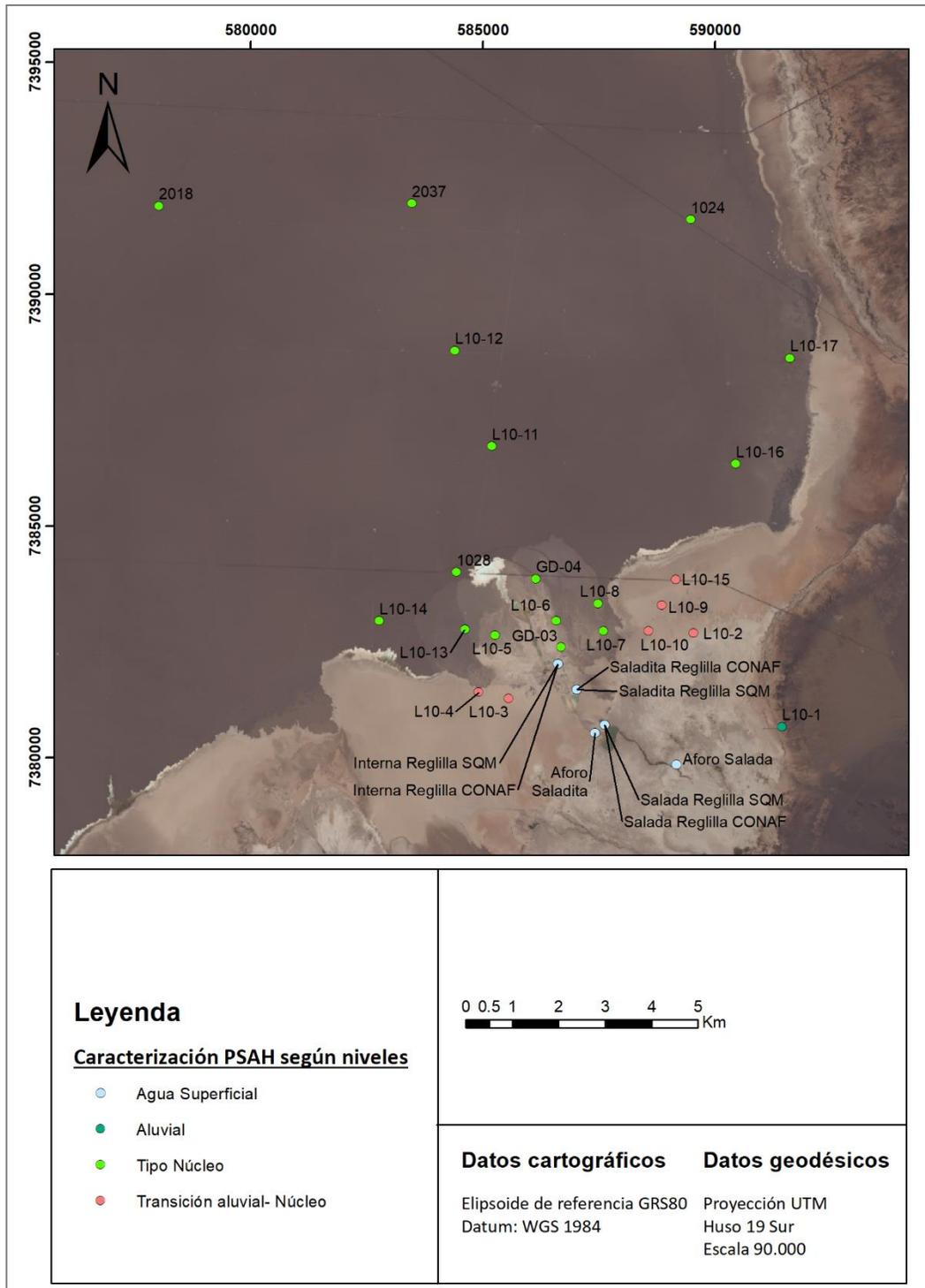


Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 SISTEMA PEINE

A continuación, se analiza el comportamiento de los monitoreos asociados a los puntos de control pertenecientes al sistema Peine, es decir aquellos cercanos a las lagunas Salada, Saladita e Interna (Figura 6-73). Cabe recordar que esta última unidad corresponde al desborde terminal de este sistema de lagunas y, por lo tanto, presenta un comportamiento variable distinto de un cuerpo lagunar estable.

Figura 6-73: Infraestructura presente en el sistema Peine y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

6.1.4.1 Niveles de agua subterránea y superficial

En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sistema Peine, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el primer semestre de 2024 respecto al registro histórico.

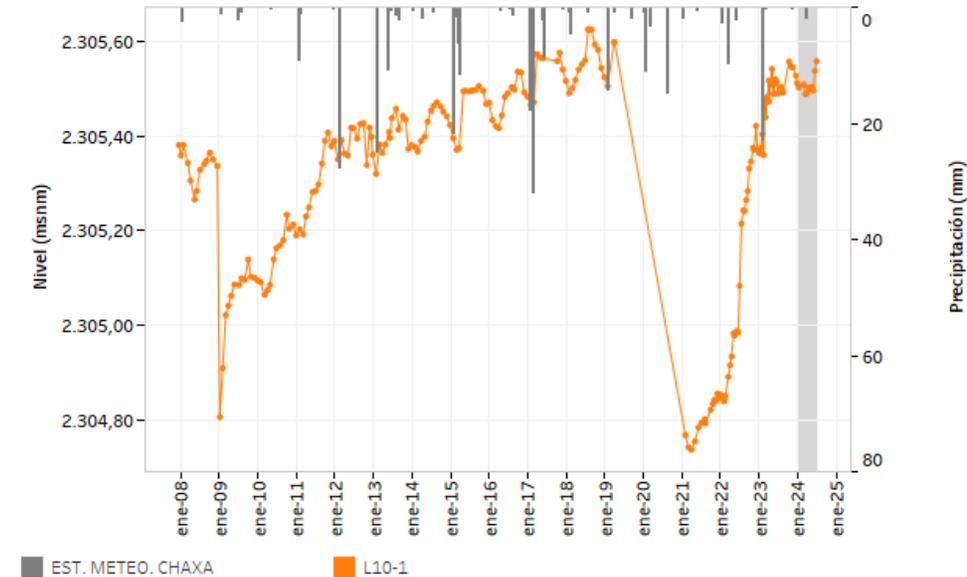
6.1.4.1.1 Pozos en Zona Aluvial

En el Sistema Peine, el único punto situado en la zona aluvial es el L10-1, que se encuentra en el límite entre las zonas marginal y aluvial. Pese a que este punto está asociado al monitoreo de la Zona Marginal de este sistema, su comportamiento singular y poco relacionado con lo que se esperaría para dicha zona, muestra una estrecha relación con los ciclos de evaporación estacionales.

La Figura 6-74 presenta los niveles históricos medidos, evidenciando oscilaciones irregulares que estarían asociadas a eventos de recarga subterránea. La tendencia general ha sido ascendente desde enero de 2009, con una tasa promedio de 3 cm/año (calculada entre junio de 2011 y diciembre de 2018). Otro aspecto destacable es la nula respuesta a los eventos de precipitación. Cabe indicar que, de este punto, no se dispuso de información desde 2019 hasta 2021, fecha en la cual se retomó la medición. De esta forma, la medición realizada en enero de 2021 situó el nivel en una cota mínima histórica, de 83 cm inferior a la anterior medición de 2019. Lo anterior, estaría probablemente ligado con el manejo operacional de las extracciones en el aluvial, porque se descarta que SQM haya tomado ninguna muestra en el pozo que haya requerido de bombeo.

Los registros del primer semestre en el pozo L10-1, muestran niveles mayores a los del segundo semestre de 2023, donde se tiene una recuperación en los niveles de 5,6 cm entre los registros de enero de 2024 y los de junio 2024; mientras que, si se comparan los registros del año pasado (primer semestre de 2023) para la misma fecha, los niveles de junio 2024 son 18,4 cm mayores que los de enero del 2023.

Figura 6-74: Niveles medidos en la Zona Aluvial del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

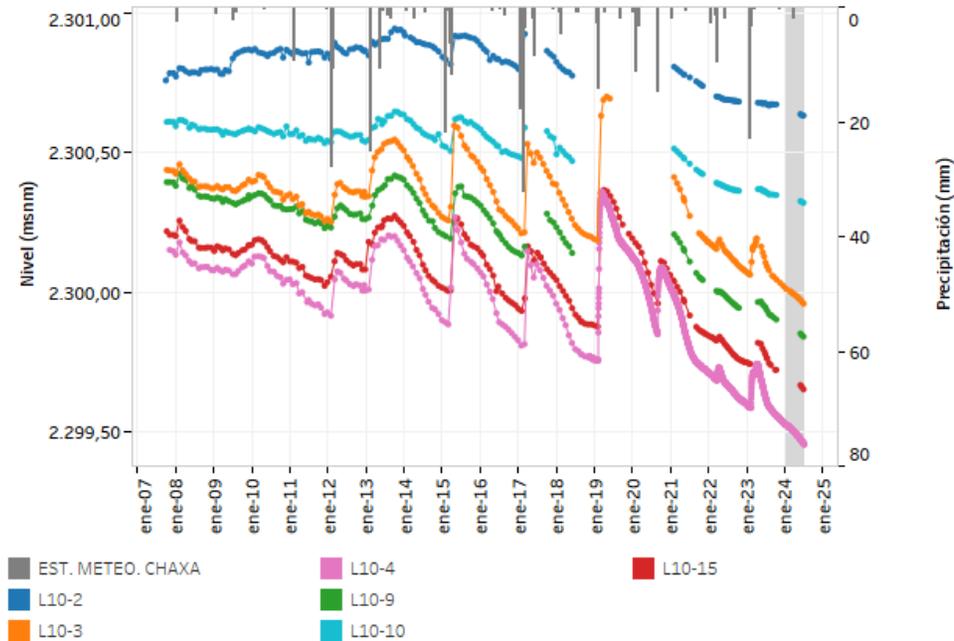
6.1.4.1.2 Pozos en Zona Marginal

Desde la Zona Aluvial y hacia el noroeste, siguiendo la dirección del flujo, se encuentra la Zona Marginal en donde los niveles muestran un comportamiento mixto entre el observado en el L10-1 y el núcleo. Se trata de los puntos L10-2, L10-3, L10-4, L10-9, L10-10 y L10-15, que se muestran en la Figura 6-75.

Estos puntos no muestran la particular oscilación regular característica de los ciclos estacionales de evaporación, y se observa que permanecen con un comportamiento transicional. Los puntos más cercanos al acuífero aluvial presentan algunos rasgos distintivos observados también en el L10-1 (como en el caso del L10-2). A medida que los puntos se alejan (y se van acercando al núcleo) se van disipando estos rasgos para reflejar progresivamente características más relacionadas con el núcleo.

Durante la primera mitad de 2024 continúa la tendencia de descenso en los niveles producto de la escasa y casi nula precipitación en el mismo período. Puede observarse que la pendiente basal tiene distinta tasa de descenso en función de si el punto se encuentra más cercano al acuífero aluvial, como el caso del L10-2 con una tasa de 0,5 cm/semestre, mientras que los puntos más cercanos al núcleo la pendiente es de 7,1 cm/semestre, en el caso del L10-4.

Figura 6-75: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el Núcleo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tal y como se ha descrito, en la Zona Marginal se encuentran los objetos de protección definidos para el Sistema Peine. No obstante, para obtener conclusiones acerca de los potenciales riesgos para estos cuerpos de agua superficiales, debe considerarse que en esta zona del Sistema Peine el comportamiento de los niveles no es análogo al observado en los otros sistemas (Soncor o Aguas de Quelana), debido a que no se observan las típicas características de oscilación estacional asociada a la evaporación ni la variación de los niveles alrededor de una cota estable, es decir, sin tendencia de ascenso o descenso.

Los niveles en la Zona Marginal del Sistema Peine se asemejan más a una transición entre el acuífero aluvial y el acuífero del núcleo, lo que conlleva a que el Sistema de Lagunas Salada - Saladita discorra por sobre el terreno, prácticamente de forma aislada (baja conductividad hidráulica en su base) sin generar apenas cambios en el mismo acuífero.

A partir de esto, se ha establecido que, para analizar el estado actual de los objetos de protección, se debe revisar detalladamente los niveles en el siguiente apartado, junto con los análisis de la extensión lacustre del apartado 6.1.4.2.

Para monitorear el nivel de la superficie de las lagunas del Sistema Peine, se observan los registros de las reglillas Salada, Saladita e Interna, medidas históricamente por CONAF en el marco del convenio establecido en la RCA N°226/2006. Como se mencionó en el capítulo 5, a partir de enero de 2019 y en virtud del término del convenio, las mediciones de nivel en el sistema lacustre de Peine son responsabilidad de SQM Salar S.A., cuyos resultados se agregan a la data histórica.

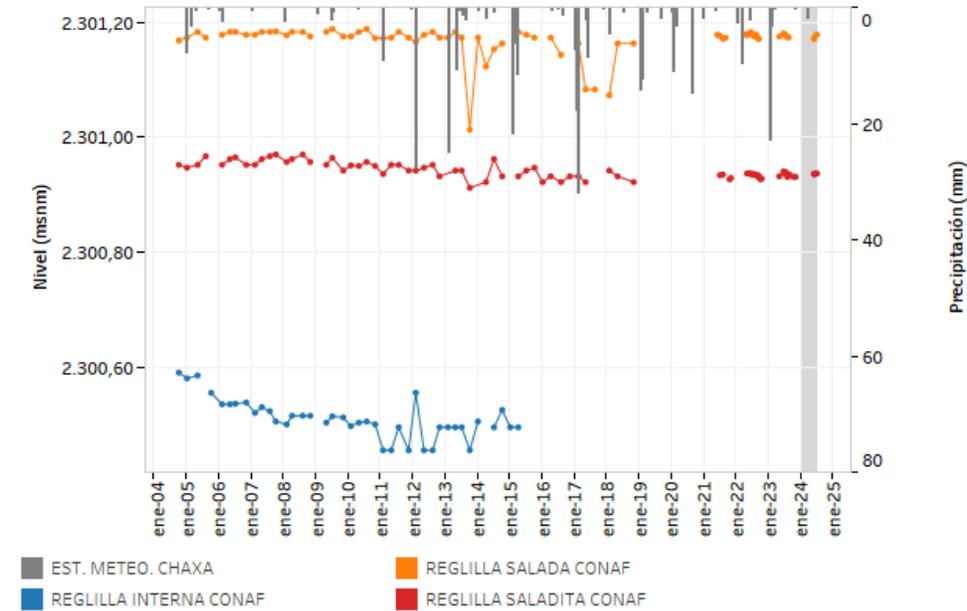
Los niveles medidos hasta la fecha se muestran en la Figura 6-76. Como se observa, la frecuencia de medición trimestral ofrece menos detalle respecto las variaciones estacionales, aunque se aprecia cierta oscilación, sobre todo en las reglillas de Salada y Saladita.

En términos generales, la Reglilla Salada muestra registros estables durante todo el período de mediciones, incluyendo los registros de mayo y junio de 2024 (Figura 6-76). Algunas mediciones se han obtenido en cotas anómalas, por debajo de este rango histórico de variabilidad, como son por ejemplo la obtenida en octubre 2013 o varias de las mediciones entre 2017 y 2018. Dichas mediciones no suponen cambios representativos en la dinámica de la laguna, sino que más bien reflejan cambios asociados a variaciones en los bordes del cuerpo de agua (presencia de precipitados o aumento de la sedimentación). Cabe decir que, es complejo identificar patrones debido al alto número de períodos sin información, como por ejemplo entre octubre 2018 y mayo 2021, y luego durante los cierres anuales en los meses de nidificación. Durante el actual período reportado, las mediciones solo se efectuaron en los últimos meses.

En la Reglilla Saladita, desde el inicio de los registros en 2005 y hasta 2013, se ha mantenido con una tendencia permanente de descenso promedio de 0,3 cm/año. Posterior a esta fecha, en el período de entre 2015 y 2018, se puede ver que los niveles se estabilizan y dejan de mostrar descenso, oscilando a través de una cota estable. Este punto no se pudo visitar entre octubre de 2018 y junio de 2021. El nivel medido con posterioridad se muestra oscilante alrededor de la misma cota que el período previo, por lo que, podría decirse que el nivel de la Laguna Saladita se mantiene estable.

Finalmente, en la Reglilla Interna no se han podido medir los niveles desde abril de 2015 puesto que el área de descarga no ha cubierto la ubicación del punto de monitoreo.

Figura 6-76: Niveles en las reglillas de agua superficial del Sistema Peine



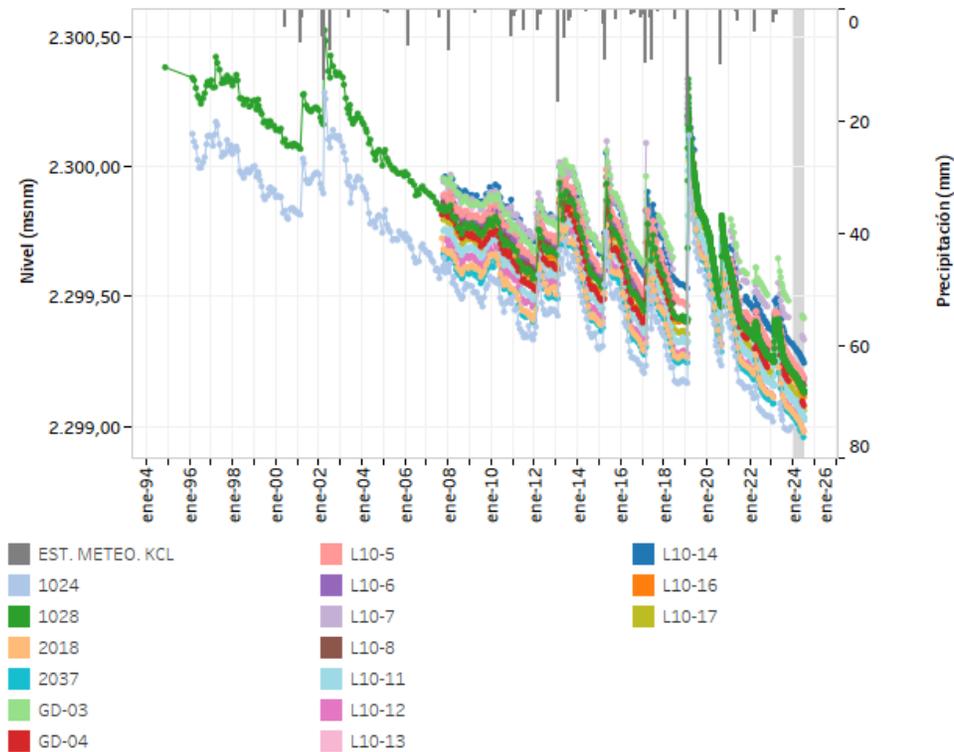
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.4.1.3 Pozos en Zona Núcleo

En la Zona Núcleo se ha observado el mismo patrón Tipo Núcleo reconocido en los otros sectores (Soncor, Aguas de Quelana y Tilopozo, éste último se expone más adelante), que consiste en presentar un comportamiento sensible a los eventos de precipitación directa sobre el Núcleo del Salar, respondiendo de forma inmediata a eventos significativos y recuperando la tendencia original al tiempo de haber sucedido dichos eventos. Muestran también pocas diferencias de cota piezométrica entre ellos, dando cuenta de la planitud de la superficie piezométrica en el acuífero del núcleo. Los niveles medidos se muestran en la Figura 6-77, donde se evidencia un comportamiento sin oscilación estacional y con clara tendencia al descenso.

El descenso de los niveles del grupo de pozos en la Zona Núcleo ronda los 5 cm/año en promedio, donde el pozo L10-16 muestra un descenso de 8 cm/año aproximadamente, siendo el de mayor magnitud.

Figura 6-77: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el Núcleo, para el Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

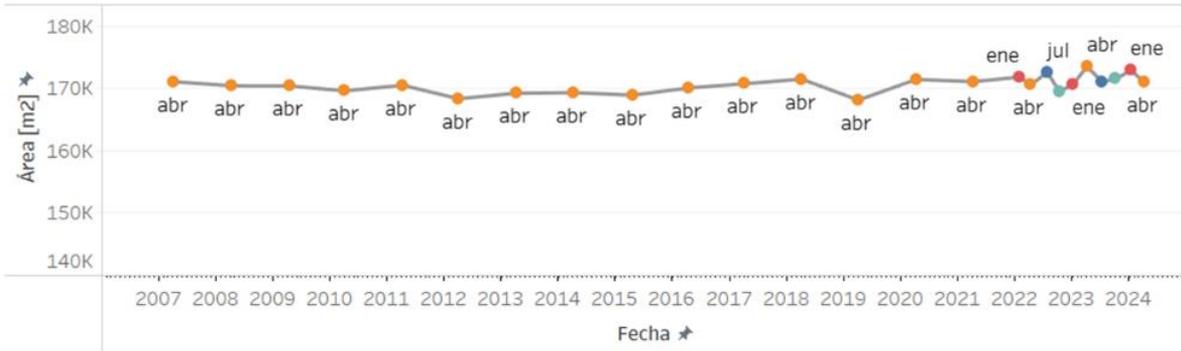
6.1.4.2 Superficie de los sistemas lacustres

Los sistemas lacustres de Peine son alimentados por un canal que es el resultado de afloramientos naturales de agua subterránea aguas arriba del sistema. Las lagunas que componen este sistema son Salada, Saladita y Desborde Laguna Interna. Esta última está formada por los desbordes de la Laguna Saladita, y su morfología es altamente dinámica.

La Figura 6-78, Figura 6-79 y Figura 6-80 presentan las series de tiempo de área para cada una de las lagunas de Salada, Saladita y Laguna Interna, respectivamente. Es necesario destacar que, la medición de estacas perimetrales no aplica para el caso de Desborde Laguna Interna.

Figura 6-78: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada.

Imagen Satelital - Salada



Estacas Perimetricas - Salada



Levantamiento Topográfico - Salada



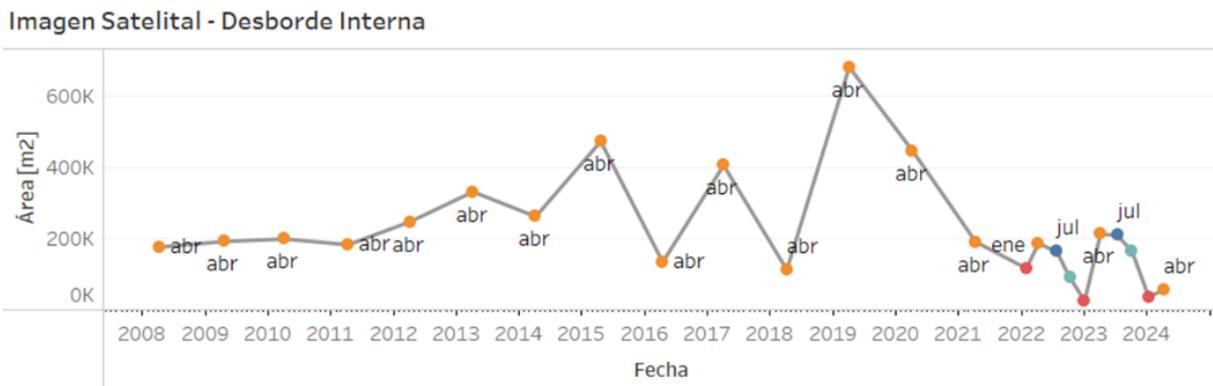
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-79: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita.



Fuente: Elaboración propia.

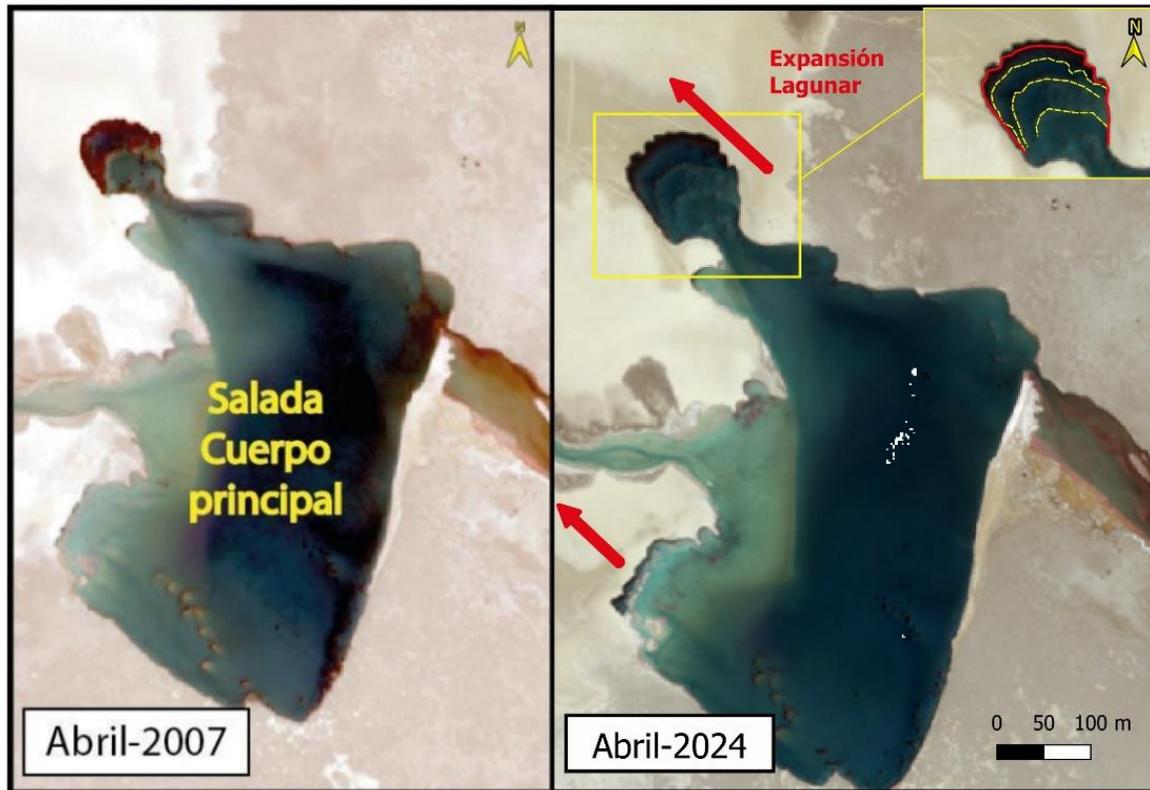
Figura 6-80: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna.



Fuente: Elaboración propia.

La evolución histórica de laguna Salada (Figura 6-81) muestra un ascenso marginal de área entre abril del 2022 y 2023. La comparación entre los meses de abril 2023 y abril 2024 muestra un leve descenso en la superficie lagunar entre estos dos años, el cual es del orden del 2%. El promedio histórico de esta superficie, para el período entre los años 2007 y 2024 es del orden de 170.000 m².

Figura 6-81: Comparación satelital de Salada (Cuerpo principal) entre 2007 y 2024 (meses de abril).



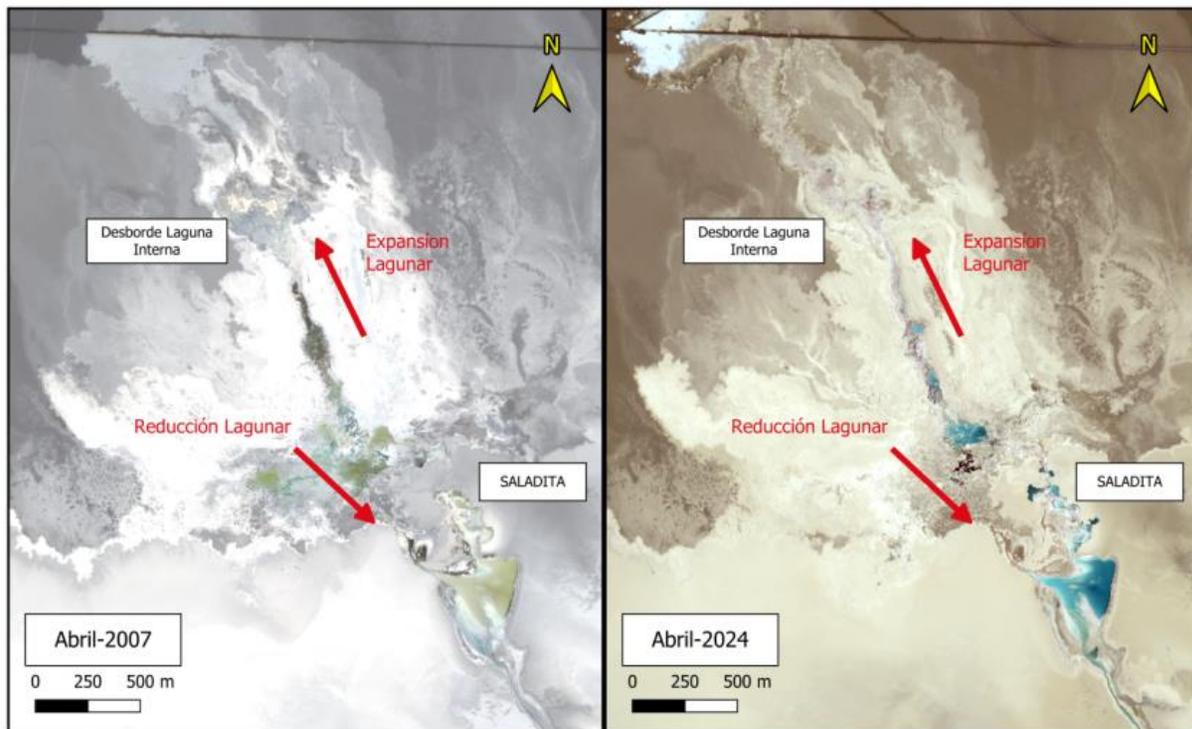
Fuente: Elaboración propia.

Se observa para Laguna Saladita, acorde a lo registrado por las imágenes satelitales (Figura 6-79), una leve pero sostenida disminución en su superficie desde 2022, presentando una disminución del 15% de su superficie desde 2022 y del 9% desde 2023. El sistema Saladita-Interna muestra significativas variaciones en su superficie lacustre. En la Figura 6-82 se comparan estas diferencias con una imagen de abril de 2007, destacándose una mayor presencia de agua y su migración hacia el noroeste, similar a lo observado en la laguna Salada (Figura 6-81). También se observan desbordes en áreas cercanas al cuerpo principal de la Laguna Saladita y una reducción de la extensión hacia el oeste en la zona sur del desborde de la laguna Interna. Cabe destacar que las áreas cercanas al cuerpo distal de la laguna Interna tienen un comportamiento espectral similar al agua (alta reflectancia en la región verde y baja

en infrarrojo), lo que puede causar falsos positivos en la extracción de píxeles de agua. Sin embargo, esto se corrige con puntos de control en terreno y un ajuste adecuado de colores en la imagen satelital.

El Desborde Laguna Interna recibe aguas de las lagunas Salada y Saladita, lo que explica la buena correlación de sus máximos con los años de eventos de precipitación anómalos (como en 2015, 2017 y 2019). Durante el período de estudio, su superficie registra los valores más bajos en el histórico del semestre. Este cuerpo de agua carece de un límite definido, lo que podría provocar una migración de su parte terminal en futuros eventos de precipitación intensa. Al estar en el nivel base del sistema lacustre, es más propenso a la evaporación por su baja canalización y delgada capa de agua, lo que genera una costra salina predominante, una superficie a considerar para el filtrado mediante índices espectrales.

Figura 6-82: Comparación satelital de Saladita y Desborde Laguna Interna entre 2007 y 2024 (meses de abril).

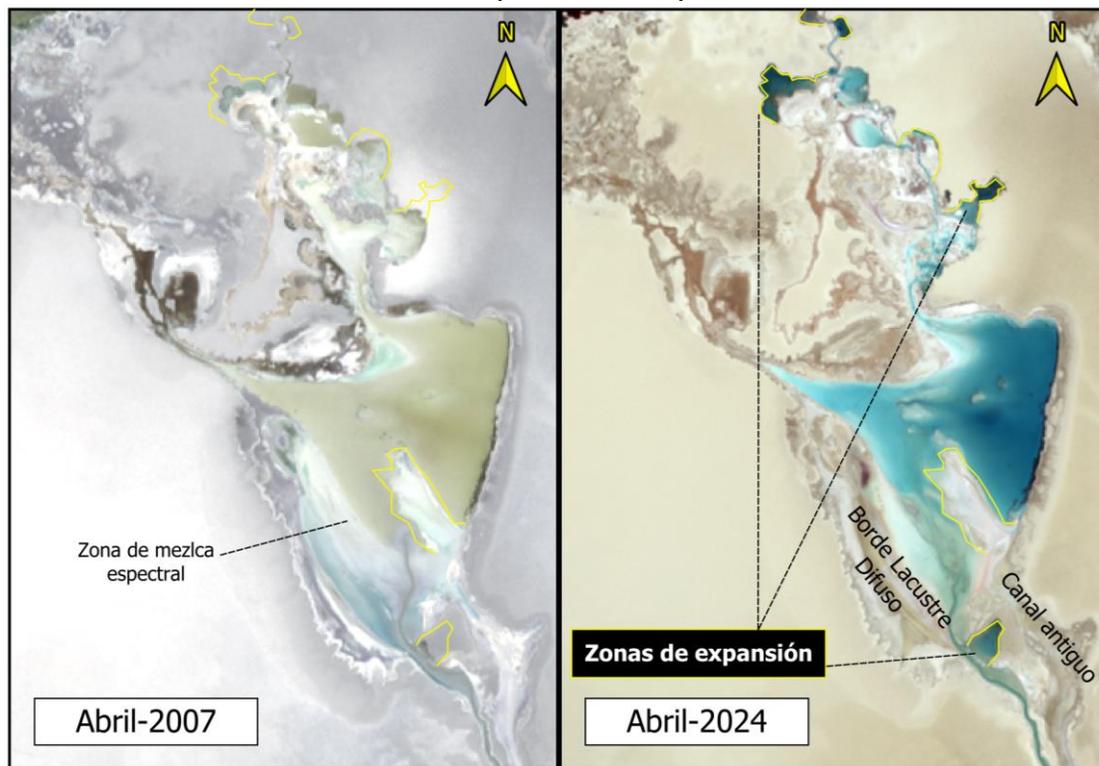


Fuente: Elaboración propia.

Bajo este contexto, la alta variabilidad de extensión lacustre en laguna Saladita puede explicarse en primer orden por dos hipótesis no excluyentes. La primera se relaciona con una elevada probabilidad de sedimentación activa hacia la zona deltaica o entrada de agua proveniente de laguna Salada, esto

no solo se manifiesta por efectos de mezcla espectral en bordes lacustres difusos (Figura 6-83), sino también por el crecimiento de sectores asociados a islas o barras tipo penínsulas (notar zonas interiores de cuerpo principal). La segunda hipótesis está relacionada con un aumento de sectores de desbordes discretos aledaños al cuerpo principal. Estos sectores, al estar fuera de los límites definidos por la mesa técnica del año 2010, no se han contabilizado históricamente como área de Saladita, dado que se reporta el cuerpo principal.

Figura 6-83: Comparación satelital de cambios observados en sector de Saladita entre año 2007 y 2024 (meses de abril).



Fuente: Elaboración propia.



6.1.4.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado en el primer semestre de 2024 en el Sistema Peine, tanto en el agua superficial, como en el agua subterránea en comparación con su evolución histórica. Como se mencionó en la sección 5, no existen límites establecidos para los distintos parámetros monitoreados (normativos o de línea de base).

Como ya se ha descrito en emisiones previas de este informe (PSAH N°28 de 2020), no se pudo acceder a algunos puntos de control de este sistema con la frecuencia adecuada en el periodo 2018 a 2020²⁰. Sin embargo, desde enero 2021 se ha podido ingresar a realizar los monitoreos periódicos al área contando con registros hasta la fecha.

Esta sección se divide en dos subsecciones que agrupan los puntos de monitoreo de acuerdo con sus características, la primera corresponde a la calidad de agua en pozos de monitoreo (subterráneo) y la segunda corresponde a la calidad de agua en los sistemas lacustres (superficial).

Para la lectura de las series históricas de los registros de parámetros analizados se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran con resalte.

²⁰ Un antecedente relevante para la ejecución del PSAH en el periodo del presente informe es la restricción de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF). La Resolución N°56/2019 de CONAF aprobó el Protocolo de Monitoreo Ambiental para el sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la RNLF, en vigor desde el 14 de junio de 2019, estableciendo procedimientos, requisitos y limitaciones para autorizar actividades de monitoreo en la Reserva. Además, debido a la contingencia sanitaria por COVID-19, el acceso a áreas protegidas, incluida la RNLF, fue cerrado en marzo de 2020, según la Resolución N°162/2020. Esta restricción se ha mantenido hasta el final del periodo reportado, impactando significativamente los compromisos de monitoreo del PSAH (PSAH N°28 de 2020, p.30).

6.1.4.3.1 Calidad del agua en pozos de monitoreo

La calidad química del agua subterránea en el sistema Peine es monitoreada en los pozos L10-1, L10-4 y 1028; la evolución histórica de los distintos parámetros en estos pozos se muestra en la Figura 6-84^{21,22}, que corresponden a Calidad 1.

En cuanto al análisis histórico, los tres pozos presentan distintas características, de acuerdo con su ubicación respecto del núcleo del Salar de Atacama dentro del Sistema Peine, donde el pozo L10-1 se ubica al comienzo de la zona marginal, el pozo L10-4 en la zona marginal al oeste de las lagunas, y el pozo 1028 en el límite norte de la zona marginal con el núcleo.

Los resultados del primer semestre 2024 para los pozos y parámetros analizados se encuentran dentro del rango histórico registrado.

El pozo L10-1, ubicado en el comienzo de la zona marginal, presenta la menor conductividad eléctrica de terreno con valores promedios en torno a 13.021 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una densidad promedio de 1,0 g/mL y valores de pH terreno entre 7,45 - 8,77. Este pozo se caracteriza por presentar aguas salobres (promedio SDT 9.965 mg/L) debido a que este sector corresponde a la zona de transición de la recarga que recibe el salar desde el aluvial al sur. Todos los parámetros analizados, incluyendo los sólidos disueltos totales, sólidos totales y sólidos suspendidos totales se caracterizan por no presentar grandes variaciones en las tendencias históricas.

El pozo L10-4, cercano a la parte final de la zona marginal, presenta valores cercanos a la salmuera del núcleo, conductividad eléctrica de terreno entre 116.700-197.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y densidad promedio de 1,1 g/mL, con pH terreno entre 7,04-7,91. Se observa desde mediados de 2015 un incremento

²¹ En el informe N°5 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de la CE y SDT de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el Laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A hasta julio de 2008, adjuntándose carta explicativa emitida por ALS Life Sciences Chile S.A, así como un breve análisis.

²² En el informe PSAH N° 26/2019 se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado informe. Adicionalmente, el mismo problema fue detectado en la campaña de mayo de 2020 y se adjunta la carta de respuesta de ALS Life Sciences Chile S.A, indicando que el error en los resultados de STD y ST se debe a un error en la toma de alícuota y que realizará una capacitación del personal para que no vuelva a suceder. (Esta carta se presenta en el PSAH N° 26/2019).

paulatino de la conductividad eléctrica de terreno y laboratorio, así como en la densidad de terreno. Estas variaciones se corresponden con descensos de nivel, que pueden generar mayor concentración en las aguas, y por ende aumentos de la conductividad eléctrica y densidad. Adicionalmente, se observó el mismo fenómeno de ascenso para los sólidos disueltos totales y sólidos totales.

Por último, el pozo 1028 ubicado en el núcleo del Salar de Atacama se caracteriza por registrar la mayor conductividad eléctrica de terreno del orden promedio de 234.994 $\mu\text{S}/\text{cm}$ consistente con un agua de tipo salmuera y densidad promedio de 1,2 g/mL, y un pH de terreno en el rango de 6,74-7,33. Estas mediciones presentan una marcada variación estacional. Por otra parte, los sólidos disueltos totales y sólidos totales presentan un comportamiento monótono hasta fines del 2015, con un valor del orden de 200.000 mg/L para ambos parámetros, y a partir de esa fecha un aumento del registro de ambos parámetros hasta valores de 442.000 mg/L en el contenido de sólidos totales y sólidos disueltos totales. Mientras que los valores de sólidos suspendidos totales en promedio se han mantenido estables en torno a los 175 mg/L en el último periodo.

En la mayoría de los pozos las mediciones realizadas el primer semestre de 2024 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- El pozo L10-4 y 1028 presentaron un valor de pH de laboratorio de 7,91 y 7,66 durante el mes de febrero de 2024, los cuales son ligeramente superiores a las muestras reportadas durante el primer semestre 2024. Lo cual podría atribuirse a posibles errores en la medición.
- El pozo 1028 presentó un valor alto de densidad de terreno de 1,26 g/mL, el cual no se corresponde con la tendencia histórica ni con los valores reportados en las muestras del primer semestre 2024. Por lo tanto, podría considerarse un error en la medición (outlier).

Respecto a las tendencias identificadas:

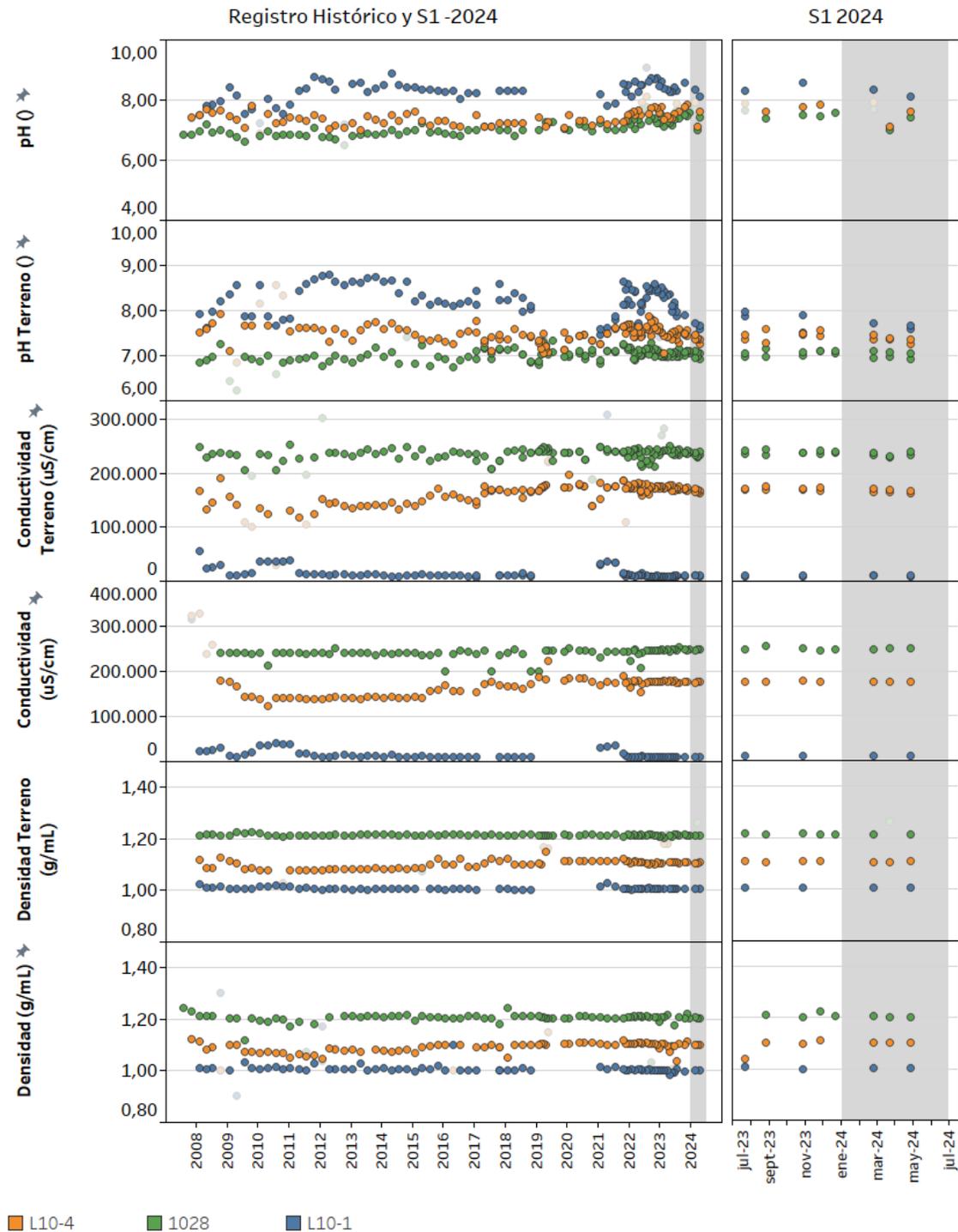
- El pozo L10-1 no presenta variaciones en las tendencias históricas para ninguno de los parámetros analizados.
- El pozo L10-4 presenta una tendencia histórica ascendente para conductividad eléctrica y densidad de terreno y laboratorio y para sólidos disueltos y totales.
- La tendencia histórica creciente de la conductividad eléctrica y densidad observada en el pozo L10-4 se correlaciona con los registros de los descensos de niveles, indicando una posible concentración de las aguas. Como en el caso de los niveles, probablemente el cambio en la



calidad de este pozo posiblemente se deba a al manejo extractivo del acuífero aluvial por alguno de los actores que dispone de volúmenes de extracción autorizados en este sector.

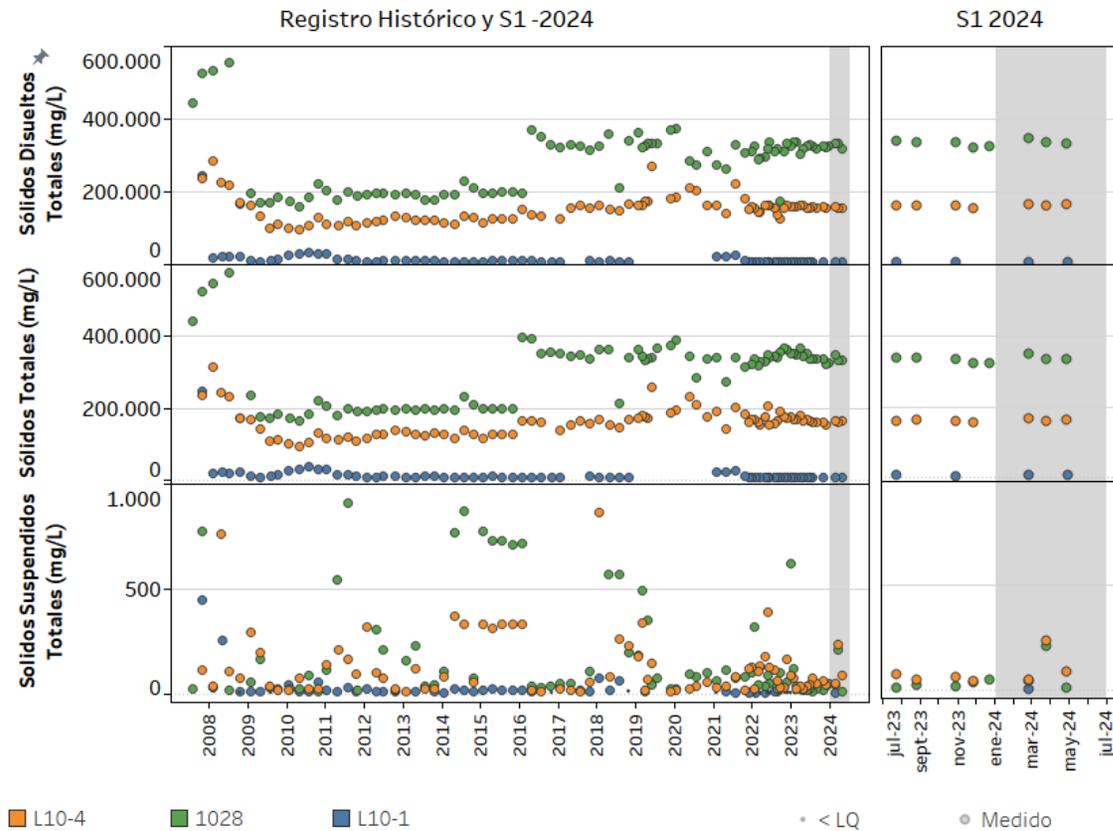
- Para los puntos 1028 y L10-4, el aumento en sólidos disueltos totales que se produjo desde mediados del 2015 y que se mantiene hasta la fecha, no se pueden asociar a cambios en el acuífero, sino a un cambio en los protocolos de muestreo, transporte y/o tratamiento de la muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en PSAH N° 26 del año 2019.

Figura 6-84: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1



Fuente: Elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-84: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1 (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores > LQ se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

6.1.4.3.2 Calidad del agua en sistemas lacustres

Durante el primer semestre del año 2024 fue posible acceder a monitorear las tres lagunas objeto de este análisis, las cuales son las lagunas Interna, Saladita y Salada. En el periodo 2019-2021 no se cuenta con registros debido a las restricciones de las comunidades al acceso al salar (tal y como se detalló en los informes semestrales correspondientes a las fechas indicadas), únicamente resultó posible acceder a muestrear en Salada en mayo de 2021. La Figura 6-85 presenta la evolución histórica de los parámetros analizados, los cuales corresponden a Calidad 3.

En cuanto al análisis histórico y por tratarse de agua superficial, se observa en todas las lagunas una marcada estacionalidad, controlado por la evaporación y el régimen de caudales que las recargan, para casi todos los parámetros, alcanzando valores máximos en verano y mínimos en invierno en concordancia a los ciclos evaporativos y contrario al régimen de caudales.

Los resultados del primer semestre de 2024 para los distintos analitos y puntos se encuentran, en general, dentro del rango histórico registrado.

El pH de terreno históricamente se ha registrado en torno a un valor de 8,0 en promedio, sin presentar grandes variaciones. La conductividad eléctrica de terreno se registra desde el año 2017 y en promedio para cada punto se mantiene en el rango histórico, con valores en torno a los 41.487 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en desborde Interna (característico de agua salada), y en torno a los 42.071 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la laguna Saladita y bajo 35.234 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la laguna Salada, lo cual se condice con su ubicación y la respuesta a la recarga de agua dulce desde el sur.

Esta misma relación se da para los parámetros sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y dureza, encontrándose aguas más concentradas en la laguna Interna, que se ubica próxima al núcleo del salar (sólidos disueltos totales promedio en torno a los 43.329 mg/L histórico hasta fines de 2018), y disminuye en la laguna Salada (sólidos disueltos totales promedio en torno a los 32.611 mg/L histórico hasta fines de 2018).

Para la salinidad, se observa la laguna Interna con registros promedio en el primer semestre de 2024 en torno a 28%, y las lagunas Saladita y Salada en torno a 26% y 24%, respectivamente, mostrando el mismo comportamiento descrito previamente. Para los valores a contar de 2021 en adelante, los parámetros sólidos disueltos totales y sólidos totales se observa una baja en las concentraciones promedio.

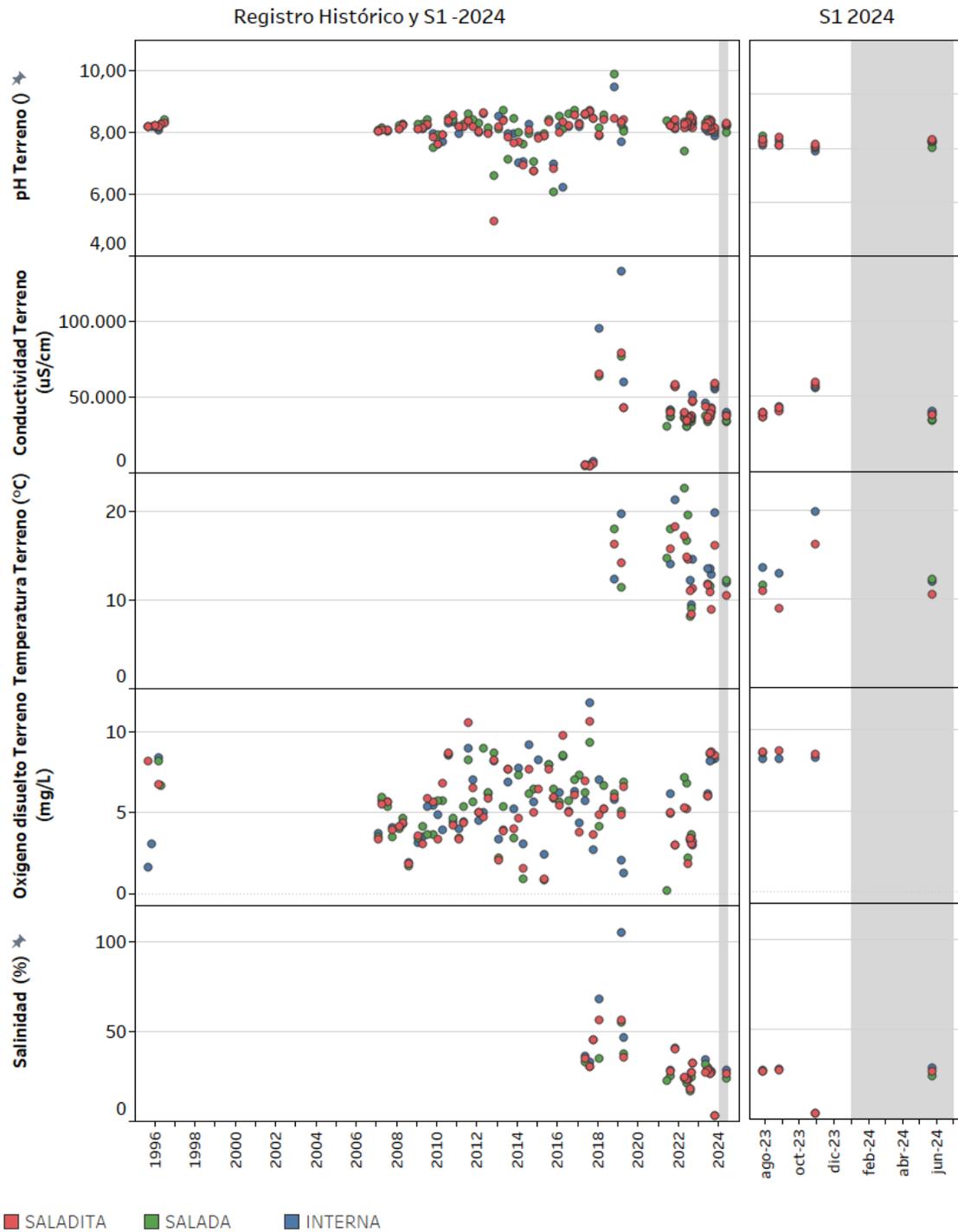


El oxígeno disuelto muestra una variación estacional propia de esta variable, con valores máximos en invierno y mínimos en verano. Para el primer semestre de 2024 no se cuenta con registros de este parámetro. Por otra parte, no se puede establecer un comportamiento para la temperatura registrada en terreno debido a que se cuenta con muy pocos registros y ellos se comportan de manera errática en el periodo 2018 a 2024.

Los parámetros alcalinidad total (CaCO_3), arsénico, calcio, cloruro, fósforo, magnesio, N-nitrato, potasio, sílice, sodio y sulfato en promedio histórico se comportan de forma estable con variación estacional propia de puntos de agua superficial, siendo el punto con mayores concentraciones siempre la laguna Interna y menor para las lagunas Saladita y Salada. Los valores de estos parámetros a contar de 2021 en adelante muestran una baja en las concentraciones promedio en general, aunque el calcio no ha mostrado una variabilidad significativa desde 2018, y en el último semestre de 2023 se registra un aumento por sobre el promedio histórico en la laguna Interna y Saladita con valores máximos de 1.400 y 1.349 mg/L, respectivamente, pero manteniéndose dentro de los rangos máximos históricos. Posteriormente, en el primer semestre de 2024 las concentraciones vuelven a disminuir y estabilizan en el rango histórico, con concentraciones en el orden de 400 mg/L para la laguna Salada y Saladita y 600 mg/L para la laguna Interna.

La principal tendencia identificada para las lagunas Interna, Saladita y Salada es que las concentraciones de los parámetros son en general mayores para la laguna Interna, que se ubica próxima al núcleo del salar, y disminuye hacia la laguna Saladita y Salada conforme se avanza hacia borde del Salar de Atacama.

Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna



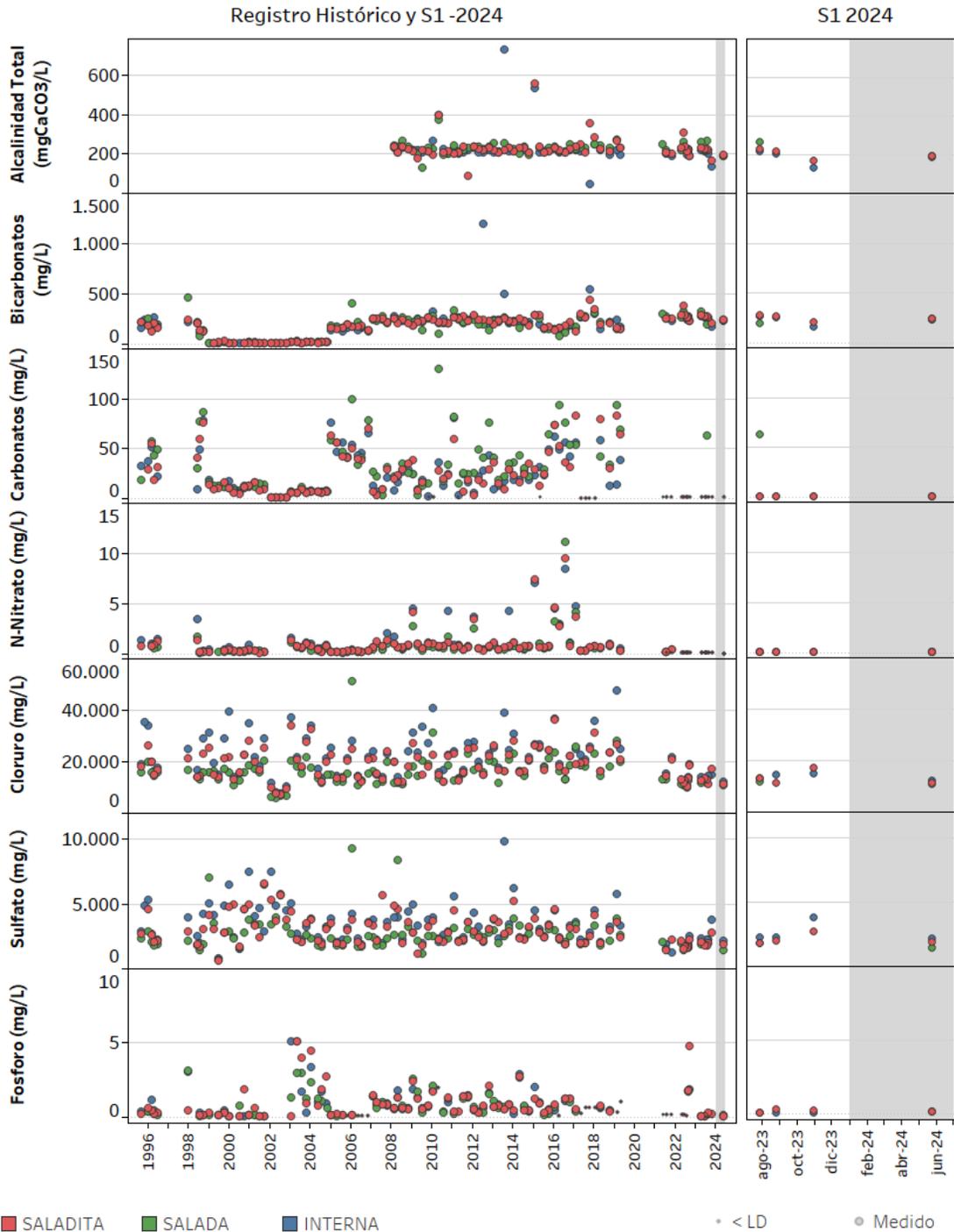
Fuente: elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



Fuente: elaboración propia. Para efectos de la escala, se ha omitido del gráfico el valor de Sólidos Suspendedos Totales (81.260mg/L) correspondiente a febrero de 2006. Los valores < LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

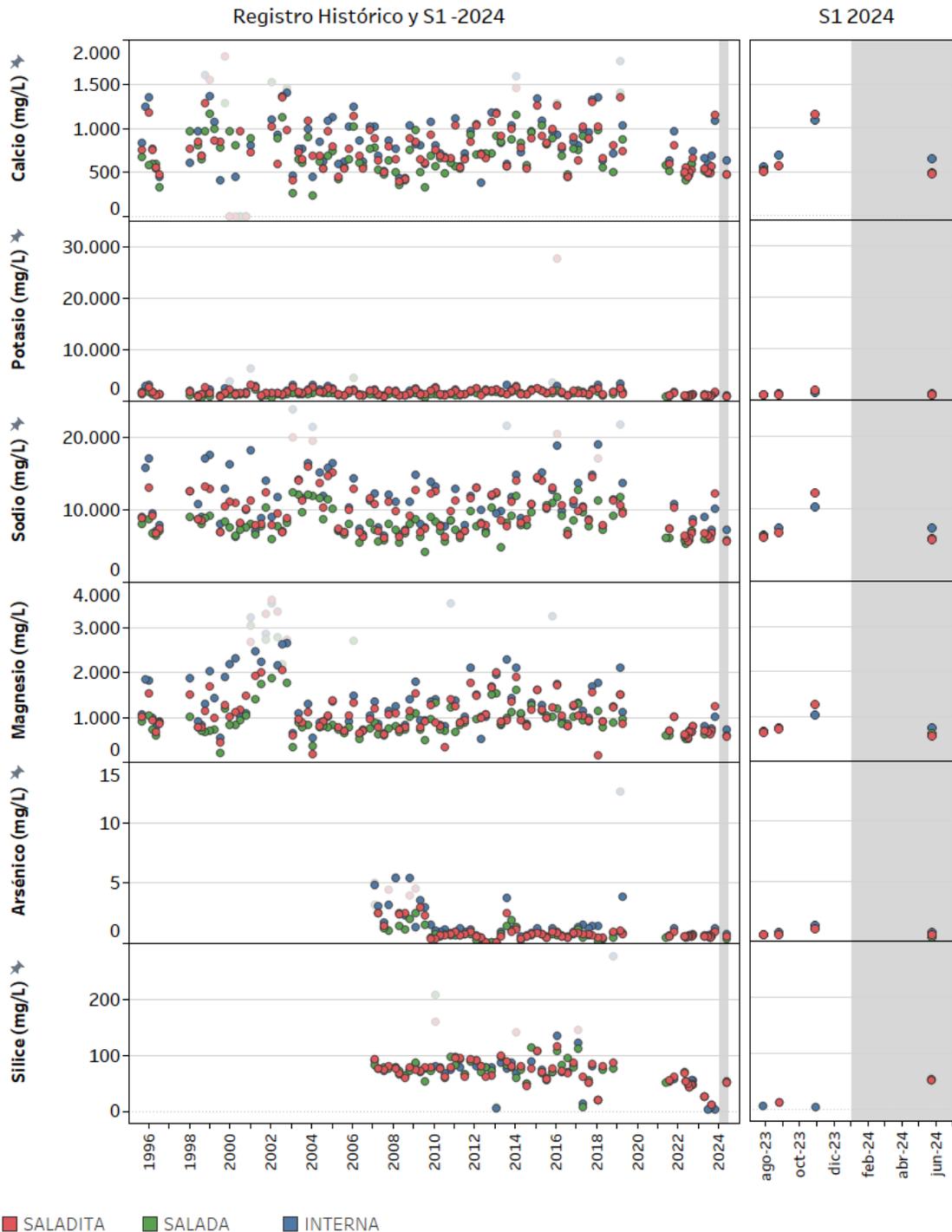
**Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna
(continuación)**



Fuente: Elaboración propia. Para efectos de la escala, se han omitido del gráfico los valores de N-Nitrato para febrero de 2019 de la laguna Salada (657mg/L), Saladita (493 mg/L) e Interna (1.062 mg/L). Los valores < LD se describen en la leyenda.

Los valores validados según concentración se muestran resaltados. .

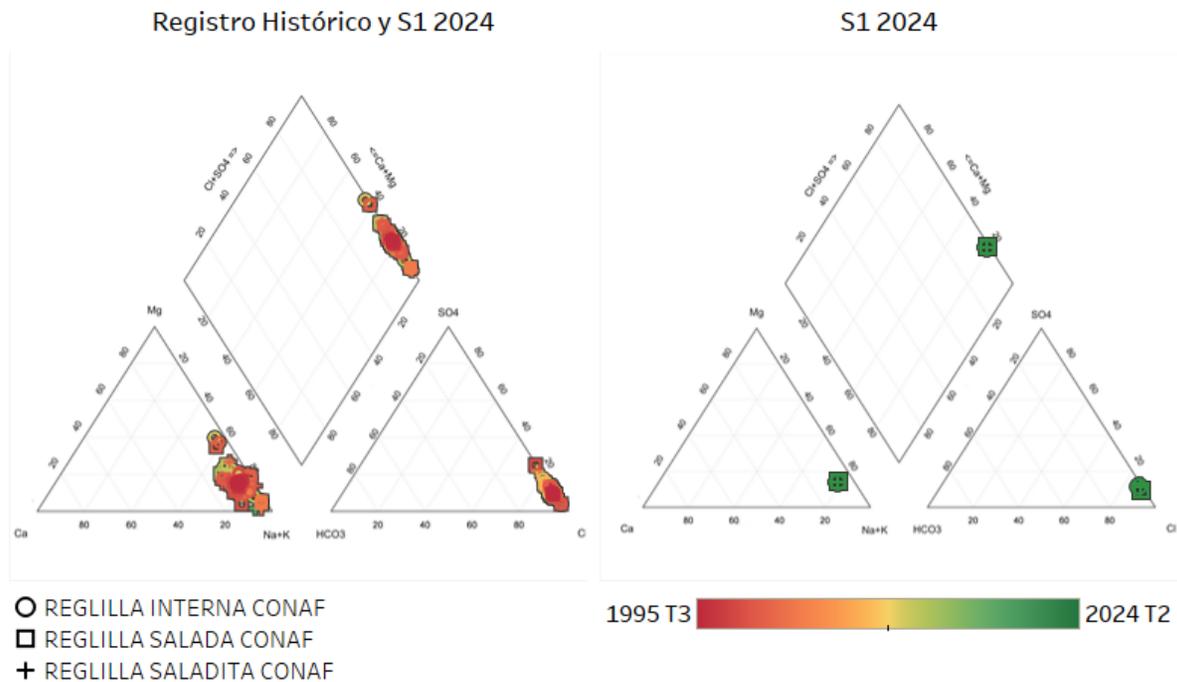
Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



Fuente: elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

En cuanto a las características generales, en la Figura 6-86 se observa el diagrama de Piper para los tres puntos de agua superficial en sistema Peine. Nótese que todas las lagunas se clasifican como cloruradas sódicas.

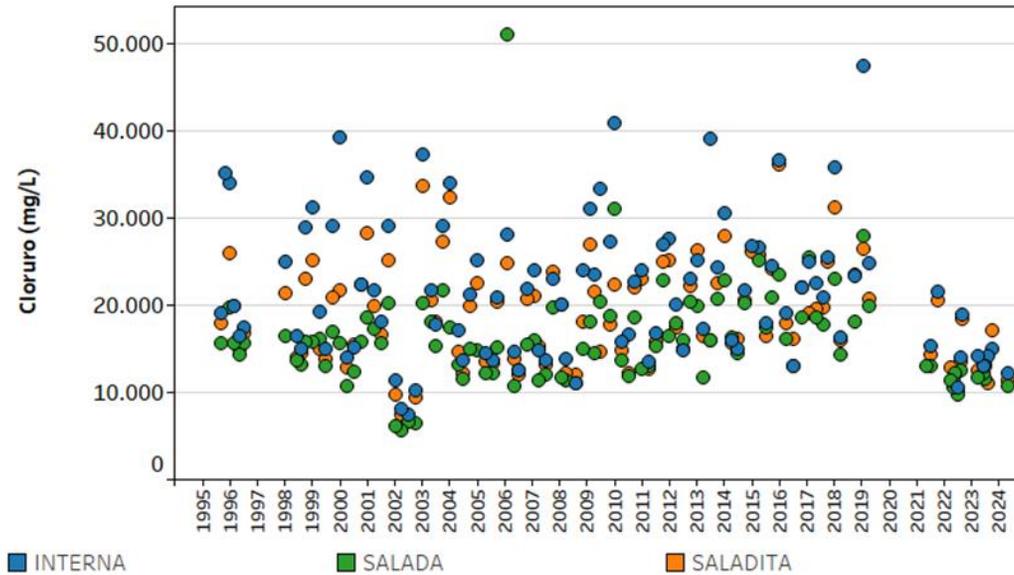
Figura 6-86: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine con un BI>10%



Fuente: Elaboración propia

Además, dado que en el canal que alimenta a las lagunas el flujo es de sureste- noroeste, se produce un enriquecimiento en las concentraciones de cloruro en este mismo sentido (Figura 6-87), debido fundamentalmente a evaporación y en menor medida, a disolución de sales. De esta manera, las mayores concentraciones se registran en la laguna Interna, cuerpo terminal del sistema Peine desde el cual se producen desbordes hacia el núcleo con extensión muy variable. Las menores concentraciones se registran en la laguna Salada.

Figura 6-87: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.4 Caudal de recarga superficial (aforos)

La red de monitoreo para la variable de caudal superficial del Sistema Peine está compuesta por los puntos de aforo Salada y Saladita, ubicadas en los canales que alimentan dichas lagunas. En la Figura 6-88 se muestran las mediciones realizadas hasta el final del primer semestre 2024. En el punto de Salada solo se pudo medir el caudal en el mes de junio 2024, mientras que en Saladita no se pudo realizar la medición de esta variable durante el primer semestre de 2024.

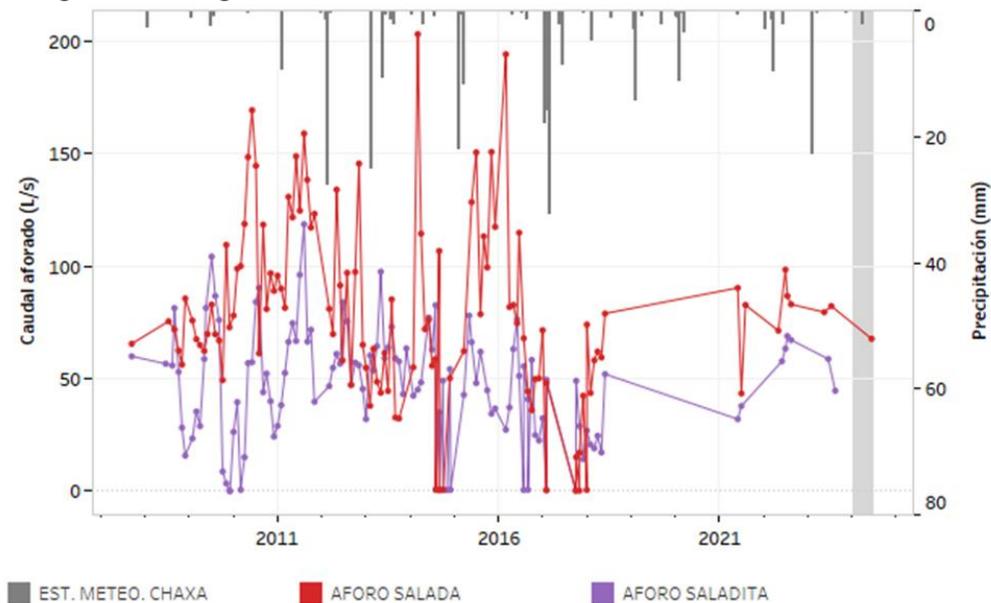
Respecto del registro histórico (ver Figura 6-88), se observa que el aforo de Salada muestra una oscilación con una frecuencia mayor a la anual, no asociada eventos estacionales. Se observa la presencia de un ciclo entre los años 2008 y 2013, y un segundo entre los años 2014 y 2017. En 2017, no se pudo realizar mediciones con una frecuencia estable, y posteriormente, en junio de 2018, las visitas se suspendieron, lo que impide confirmar con mayor certeza si este comportamiento de ciclos se mantiene en la actualidad. Tampoco es posible determinar las causas de esta fluctuación, ya que no se dispone de suficientes datos para establecer la frecuencia de los ciclos.

En cuanto al aforo de Saladita, se observa la presencia de ciclos estacionales. Entre 2009 y 2012, se detecta una tendencia promedio ascendente, seguida de una tendencia descendente entre 2013 y 2018. Sin embargo, debido a la corta longitud de la serie de mediciones, no es posible confirmar este

comportamiento ni interpretar de manera concluyente el cambio de tendencia en 2013. Por lo tanto, se requiere un registro de datos más extenso para verificar estas variaciones.

El punto Saladita no fue visitado desde 2018 hasta el primer semestre de 2021, cuando se retomaron las mediciones. Sin embargo, tal como se indicó, durante el primer semestre de 2024 no se reportaron mediciones en este punto, por lo que será necesario revisar los datos de los próximos meses.

Figura 6-88: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine

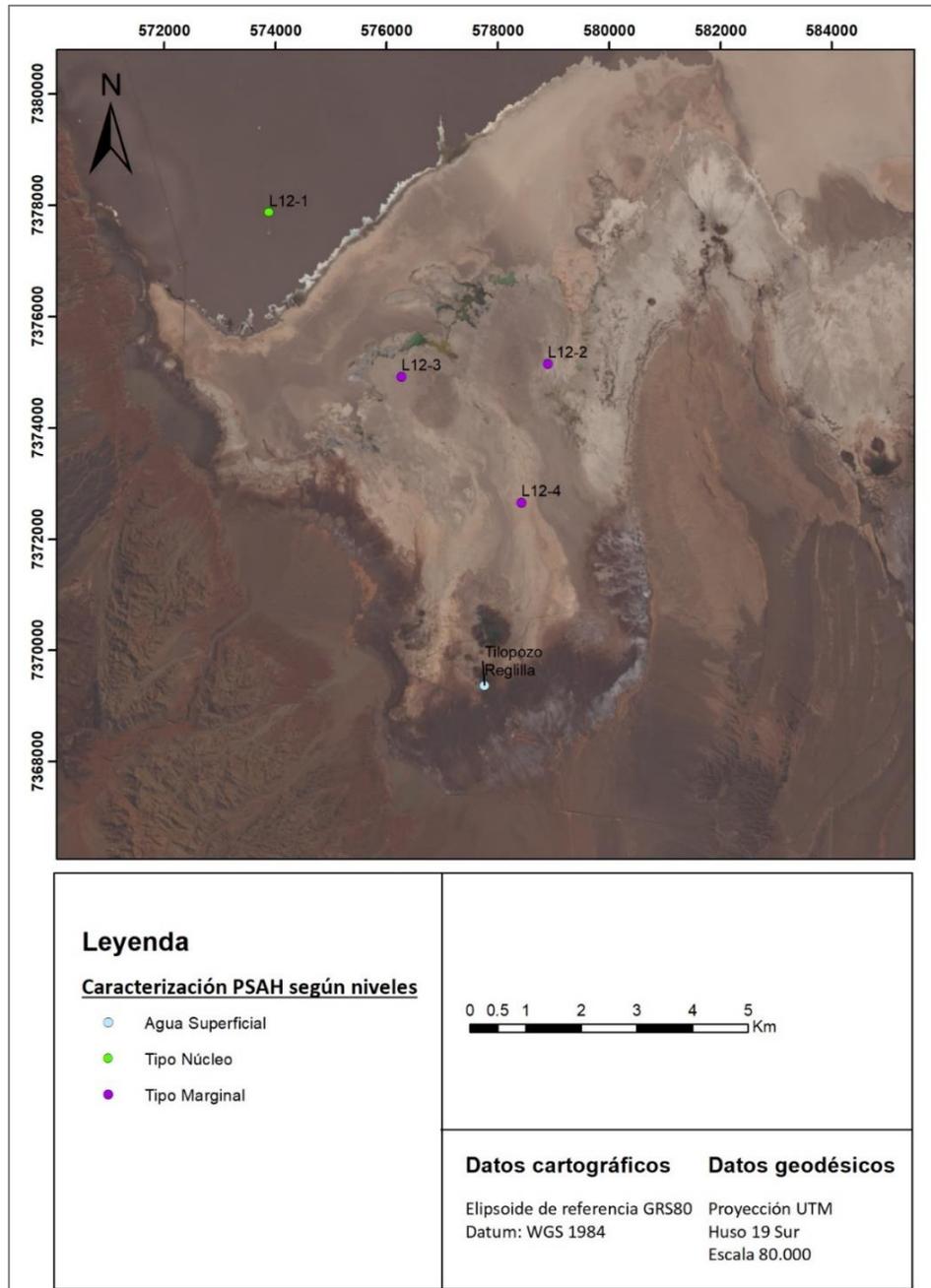


Fuente: Elaboración propia

6.1.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

Las observaciones que se realizan en este sistema tienen por objetivo monitorear el comportamiento de las vegas y bofedales del sector de Tilopozo (Figura 6-89).

Figura 6-89: Infraestructura presente en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

6.1.5.1 Niveles de agua subterránea y superficial

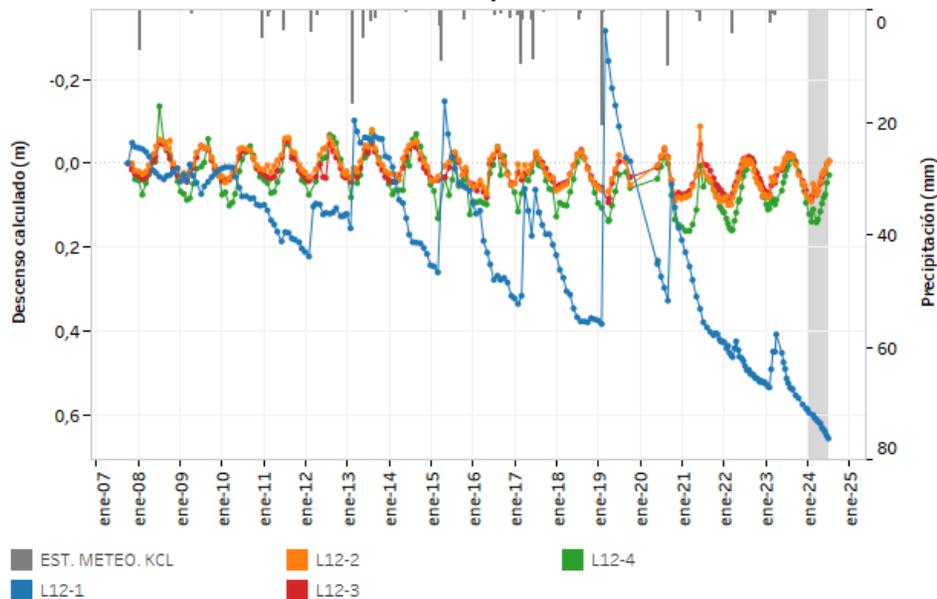
En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sector Vegas de Tilopozo, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el primer semestre de 2024 respecto al registro histórico.

6.1.5.1.1 Pozos en Zona Marginal y Núcleo

Los puntos de control en esta zona corresponden al L12-1, L12-2, L12-3 y L12-4. En la Figura 6-90 se muestran los descensos calculados, que permiten visualizar mejor el comportamiento en comparación a los niveles, puesto que existen diferencias importantes de cotas en este grupo de pozos.

Los puntos L12-2, L12-3 y L12-4 muestran una oscilación estacional bastante regular, propia de la zona marginal (Figura 6-90). Previo a 2014, los niveles se mantuvieron estables, sin tendencias aparentes (de ascenso o descenso). A partir de 2014, comenzaron a reproducir un descenso, con una tasa de entre 0,5 y 0,9 cm/año. Sin embargo, desde 2021, se intuye como la tendencia en los tres casos se revierte y asciende; puede verse, por ejemplo, que los mínimos estacionales de los últimos años (2022, 2023 y 2024) se produjeron cada vez en cotas más elevadas, las tasas obtenidas entre 1,6 y 3 cm/año.

Figura 6-90: Descensos calculados en los puntos de la Zona Marginal y el núcleo del Sector Vegas de Tilopozo



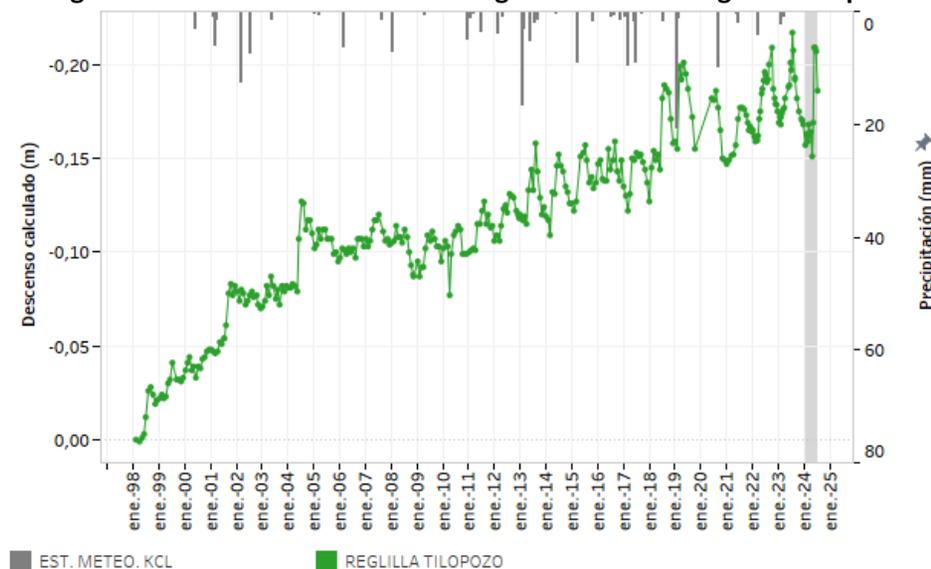
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el punto L12-1 muestra un comportamiento diferenciado al resto de los puntos, y es que este punto refleja el comportamiento esperado en el núcleo; sin oscilación estacional, respuesta inmediata a los eventos de lluvia y una tasa característica de descenso, que en este caso es de unos 3 cm/año. En el último período, desde febrero de 2019 hasta la actualidad se distingue un régimen de descenso con una pendiente más pronunciada, con una tasa de casi 14 cm/año. Respecto a esto, el descenso más marcado se vincularía con el aumento en la tasa de extracción de Albermarle. Para el primer semestre 2024 se observa una tendencia creciente en los descensos, alcanzado un acumulado de 2,3 cm/semestre en este período. De no existir precipitaciones que generen recarga, es esperable que este punto siga descendiendo y alcance el nivel base que caracteriza al Tipo Núcleo.

6.1.5.1.2 Nivel de agua superficial

Se analiza el único punto de monitoreo que mide los niveles de los cuerpos de agua superficial, correspondiente a la Reglilla Tilopozo (Figura 6-91). Los niveles históricos registrados muestran un comportamiento ascendente con oscilaciones poco regulares y de baja amplitud. A pesar de que la pendiente ha variado en el tiempo, en el período entre 2008 y 2024, se tiene una tasa aprox. de 0,5 cm/año. En el primer semestre de 2024 se registraron niveles en cotas similares o inferiores a los medidos en los semestres previos, alcanzando ascensos del orden de 5 cm/semestre promedio al 2024.

Figura 6-91: Niveles medidos en la reglilla del Sector Vegas de Tilopozo

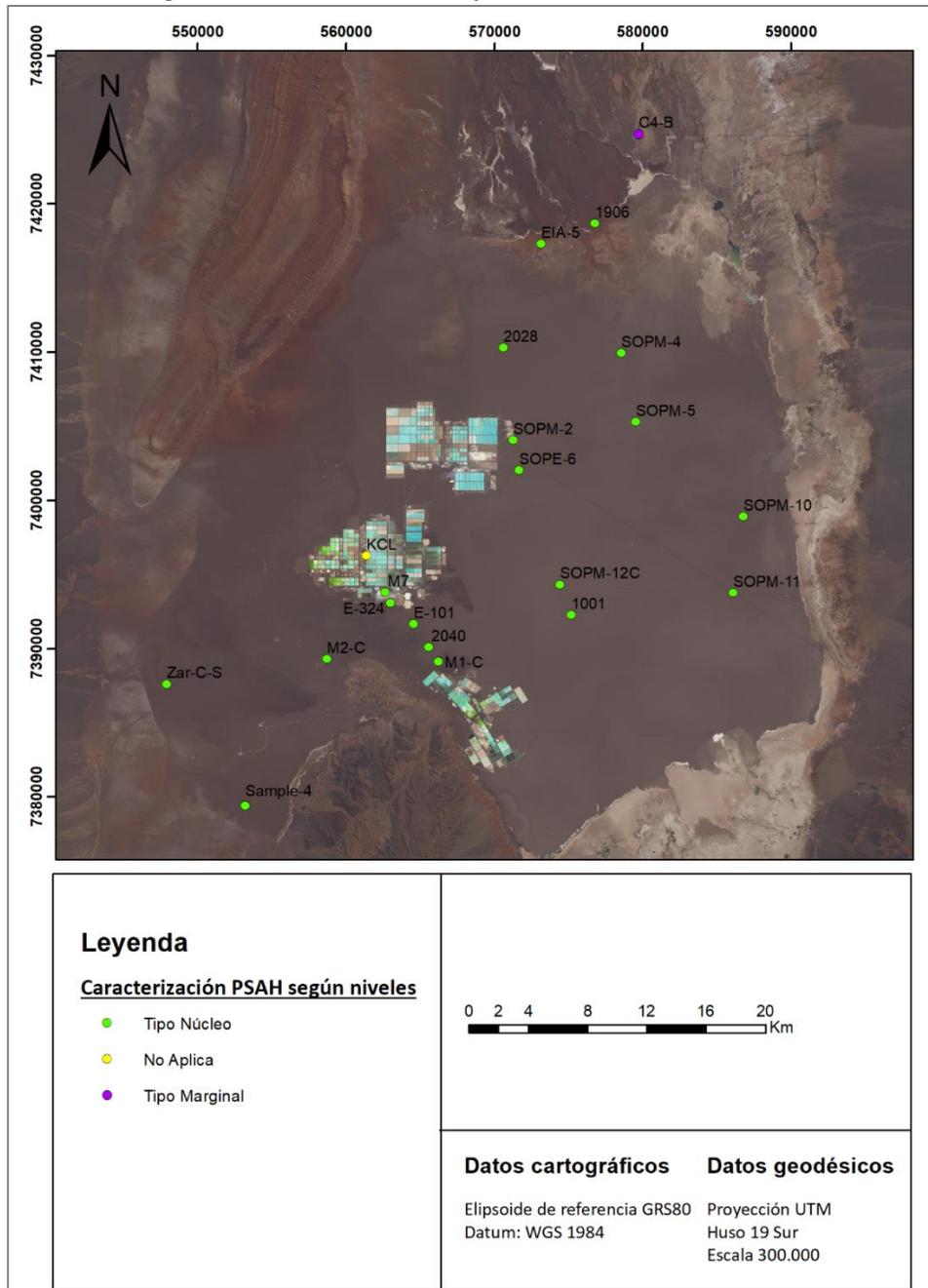


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

En este capítulo se describe la infraestructura situada en el Núcleo, incluye la estación meteorológica KCL (Figura 6-92).

Figura 6-92: Infraestructura presente en el sector Núcleo



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

6.1.6.1 Niveles de agua subterránea

En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Núcleo del Salar de Atacama, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el primer semestre de 2024 respecto al registro histórico.

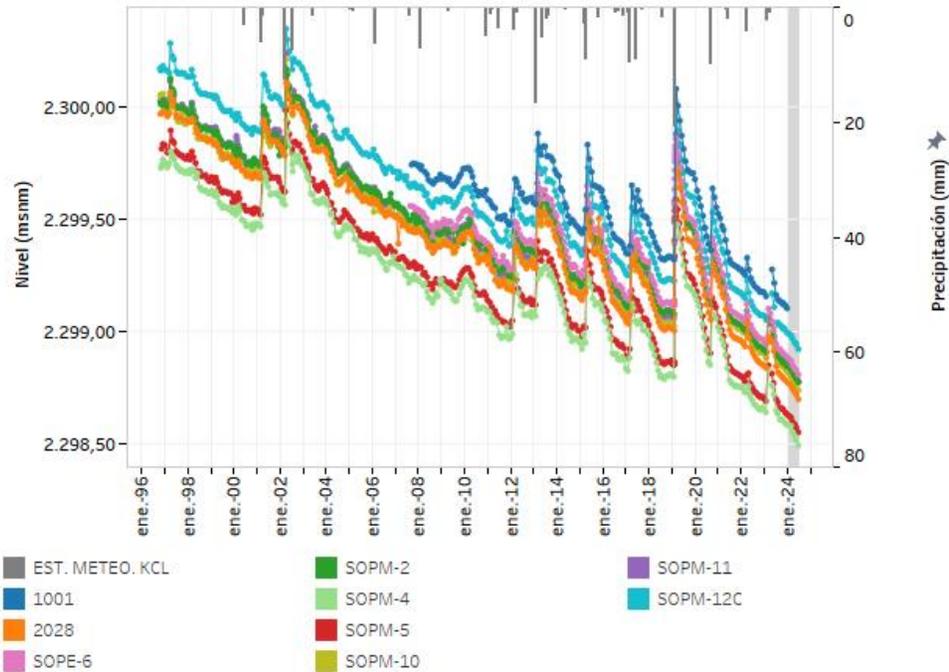
Los pozos que se encuentran ubicados en el sector del núcleo se han clasificado en grupos según su ubicación:

- Pozos ubicados en el lado Este del Salar: 1001, 2028, SOPE-6, SOPM-2, SOPM-4, SOPM-5, SOPM-10, SOPM-11 y SOPM-12C. Sus niveles se muestran en la Figura 6-93.
- Pozos ubicados entre las pozas de SQM y de Albemarle: M7, E-324, E-101, 2040, M1-C. Sus niveles se muestran en Figura 6-94, y detalle para los pozos E-101, 2040, M1-C en Figura 6-95.
- Pozos ubicados al Oeste del Salar: M2-C, Zar-C-S y Sample-4. Sus niveles se muestran en la Figura 6-96.
- Pozos ubicados al Norte del Salar: EIA-5, 1906 y C4-B. Sus niveles se muestran en la Figura 6-97, y sus respectivos descensos calculados en la Figura 6-98.

Respecto los puntos que se encuentran en el borde Este del Núcleo del Salar, en la Figura 6-93 se observa que presentan un comportamiento Tipo Núcleo, análogo al identificado en los otros sistemas; reflejando un descenso continuo del nivel, que solo se eleva durante los episodios de precipitación, ya que por la forma de la respuesta (ascenso inmediato y recuperación progresiva), esta agua llega en forma de recarga directa al acuífero. Precisamente, en febrero de 2023, se observa una respuesta de todos los puntos de este grupo al evento de lluvia registrado, seguido de una rápida recuperación del nivel (descenso).

Actualmente, en el primer semestre de 2024, se observa una tendencia asociada al descenso en los niveles de 0,5 cm/semestre en promedio.

Figura 6-93: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del Núcleo del Salar



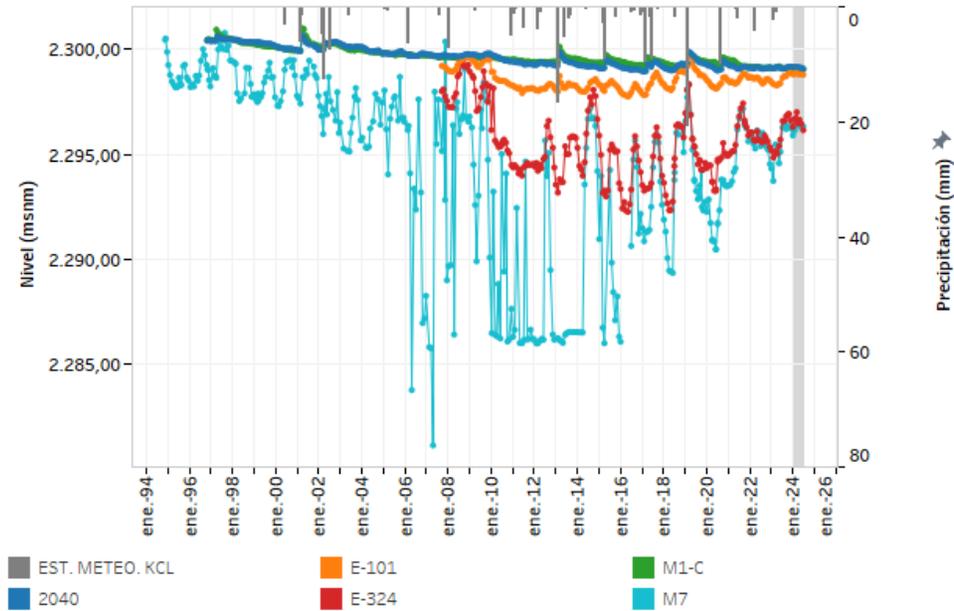
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

El siguiente grupo de puntos se sitúa sobre la transecta definida entre las pozas de SQM y las de Albermarle, y que, por tanto, una parte se encuentra sobre el campo de pozos de producción de ese sector. Los puntos M7 y E-324 son aquellos más próximos a las pozas de SQM (su ubicación se utiliza a modo de referencia espacial) y tal como se observa en la Figura 6-94, muestran oscilaciones irregulares y están sujetos al manejo operativo de los pozos productivos. A pesar de esto, al menos desde mayo de 2018 hasta junio de 2024, se observa una aparente tendencia de ascenso, diferenciada más claramente en los registros mínimos. Las medidas para el primer semestre de 2024 para estos dos puntos muestran que los niveles de agua subterránea presentan oscilaciones más estables que en las dos últimas décadas, con descensos promedio de 0,1 cm/semestre al 2024.

Respecto al pozo E-101, se ubica equidistante entre ambas pozas, mientras que los pozos 2040 y M1-C son los más cercanos a las pozas de Albemarle. Por su parte, los niveles de E-101 oscilan similar a los puntos 2040 y E-324, pero en menor proporción (amplitudes menores y nivel se ubica a una cota mayor), por lo que podría interpretarse que este pozo responde de forma residual al manejo operacional del campo de pozos.

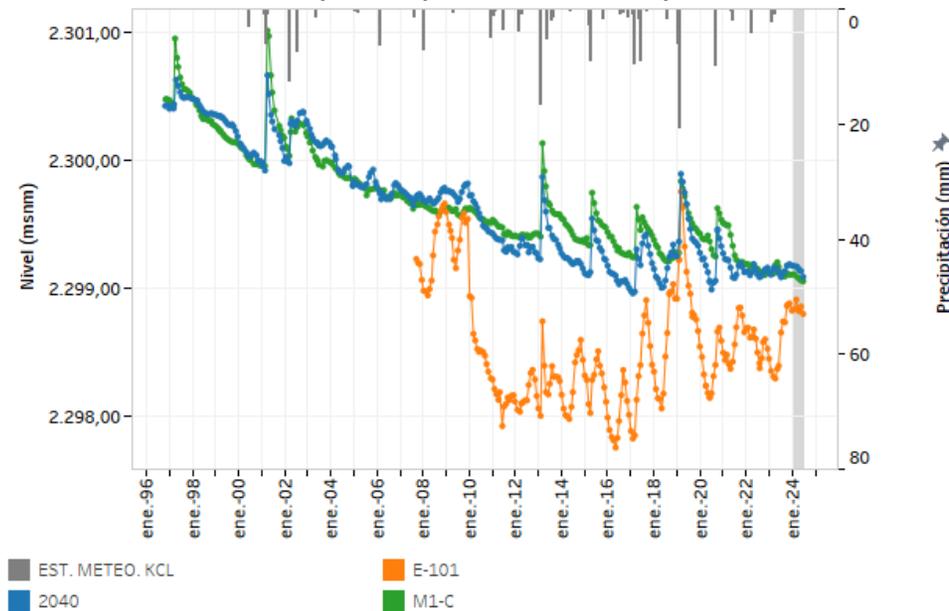
Por último, los puntos 2040 y M1-C no se relacionarían directamente con el manejo operacional, sin embargo, muestran un comportamiento descendente y con leves respuestas a los eventos de lluvia que estarían produciendo una recarga directa sobre esta área. Lo anterior es posible visualizarlo en detalle en la Figura 6-94.

Figura 6-94: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

**Figura 6-95: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle.
Detalle para los puntos 2040, E-101 y M1-C**



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

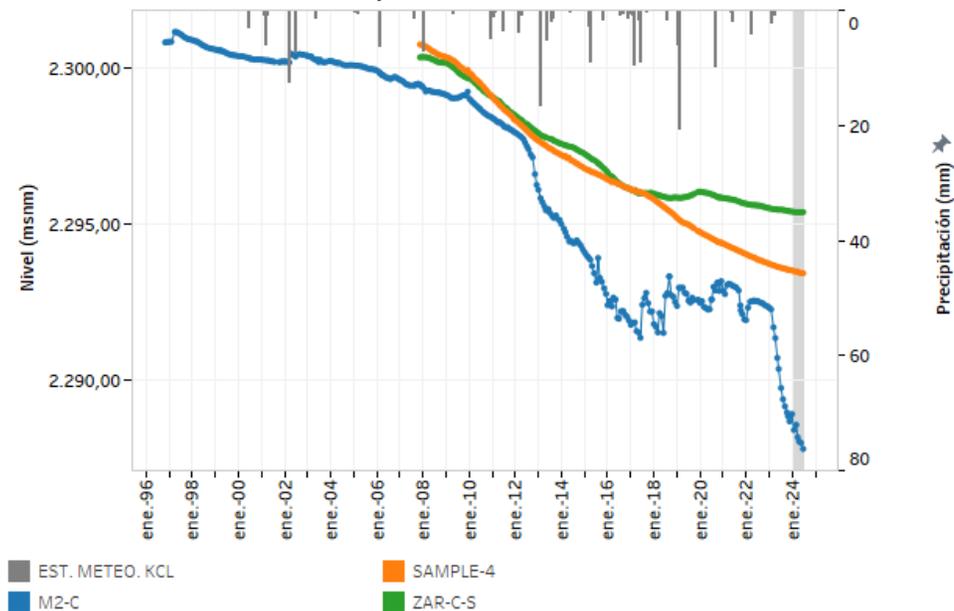
En el borde suroeste del Núcleo, al oeste de la península de Chépica, se encuentran los puntos M2-C, Zar-C-S y Sample-4, siendo el M2-C aquel que se encuentra más cercano al campo de pozos.

Según la Figura 6-94, el pozo M2-C mostró una fuerte pendiente de descenso en sus niveles (112 cm/año de tasa promedio, medido entre abril de 2012 y mayo de 2017). Sin embargo, a partir de esta última fecha, cambia drásticamente hacia una tendencia a ascendente (21 cm/año de tasa promedio, medido entre mayo de 2017 y diciembre de 2020), junto con variaciones irregulares. Lo anterior conduce a inferir que este punto se ve influenciado por el manejo operacional del campo de pozos. Posteriormente, en 2023, se produjo un descenso abrupto y continuo de casi 5 m, alcanzando una cota mínima histórica registrada durante el primer semestre de 2024.

El punto Sample-4 se localiza al sur y próximo al límite rocoso, mientras que el Zar-C-S se sitúa al oeste del sector. De acuerdo con la Figura 6-94, ambos pozos muestran una tendencia de descenso, pero con cambios graduales en sus pendientes a lo largo de la data histórica. Esto permite concluir que sus niveles responden al manejo operacional del campo de pozos, pero de forma residual, como pulsos que se producen en un punto y se transmiten a través del acuífero del núcleo, dada la forma suavizada de los cambios de tendencia. A partir de mayo de 2017, el Zar-C-S disminuyó la tasa de descenso, con

una aparente estabilización del nivel en torno a los 2.295,93 m s.n.m., coincidiendo con el cambio de comportamiento descrito en el M2-C. En cambio, el Sample-4 ha mantenido el descenso, inclusive aumentando la pendiente a partir del mismo mes; desde entonces la tasa promedio aprox. 40 cm/año. Las medidas para el primer semestre de 2024 muestran que permanece el comportamiento descrito anteriormente para todos los puntos de este grupo.

Figura 6-96: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde Oeste del Núcleo del Salar



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

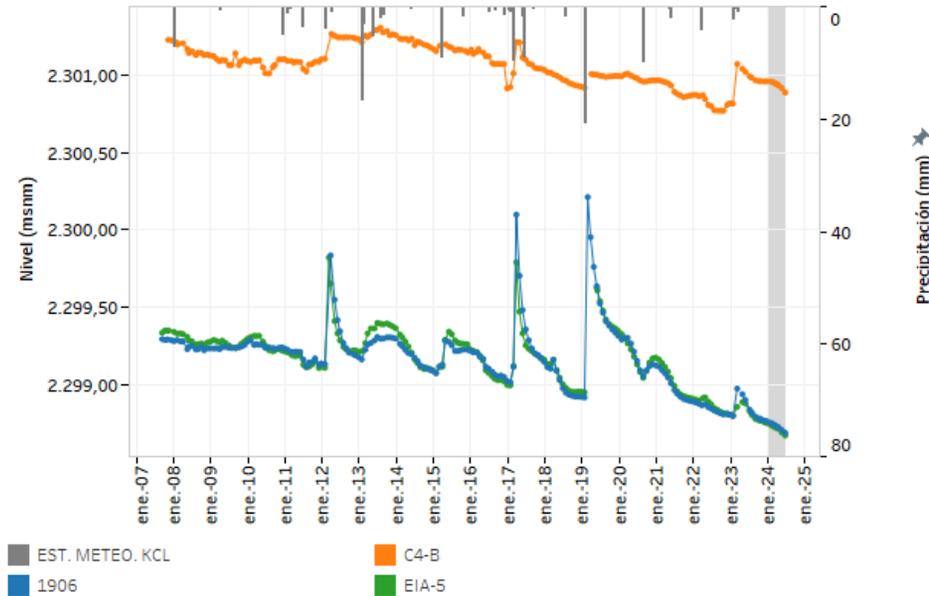
Finalmente, los pozos restantes que se encuentran al norte del Núcleo del Salar son el 1906, EIA-5 (ambos al sur del delta de San Pedro) y el C4-B (más cercano a la estación de Chaxa).

En la Figura 6-97 se observan diferencias importantes entre las cotas del 1906 y el EIA-5 con respecto al C4-B. Por este motivo, para facilitar el análisis, en la Figura 6-98 se presentan los descensos calculados para estos puntos. Al observar las figuras mencionadas, puede verse que la tendencia promedio de los tres puntos es similar y recuerda al comportamiento descrito para los pozos Tipo Núcleo descritos en todos los sistemas, con la salvedad que el C4-B no responde de la misma forma a los eventos de lluvia (ascensos rápidos de nivel y recuperaciones prolongadas en el tiempo).

En el primer semestre de 2024 se observa una tendencia creciente en los descensos luego de un período de recuperación posterior al evento de lluvias de 2023. Para todos los pozos se denotó una

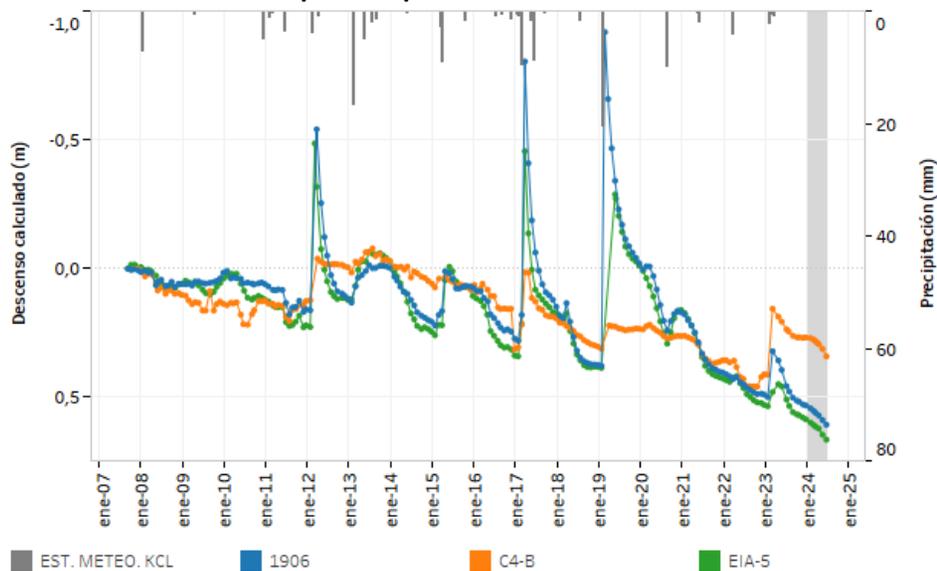
leve *peak* de ascenso. En el caso del C4-B se observó una respuesta en forma de leve cambio en la tendencia de descenso (menor pendiente). Cabe mencionar que, este pozo se encuentra al norte completamente del Núcleo del Salar, sobre la Zona Marginal. En general, los descensos acumulados del primer semestre 2024 son del orden de 10 cm/semestre promedio.

Figura 6-97: Niveles medidos en el sector Norte del Núcleo del Salar



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-98: Descensos calculados para los puntos ubicados en el sector Norte del Núcleo del Salar

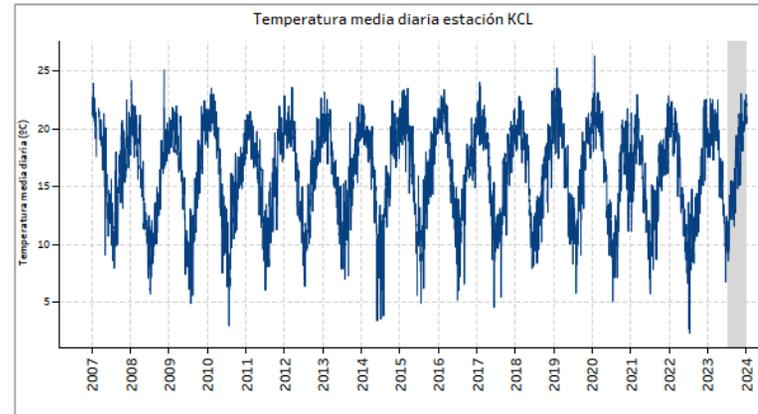
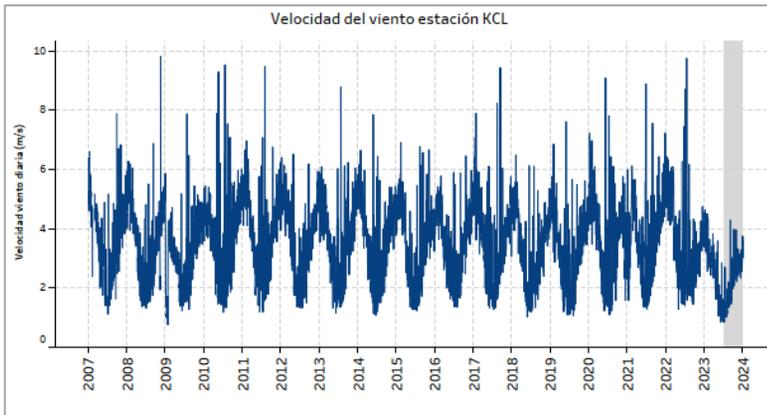
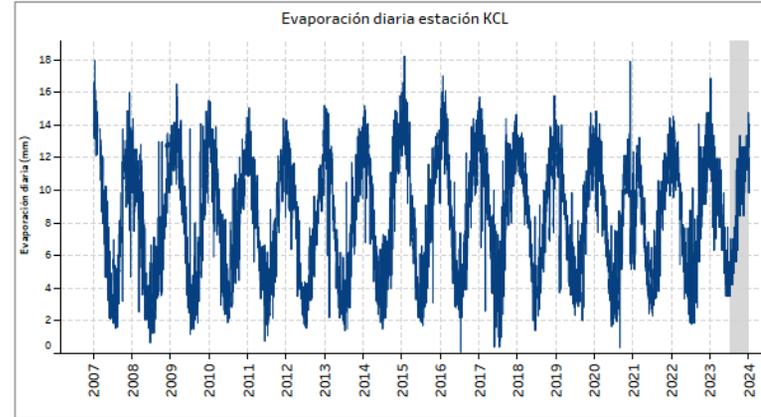
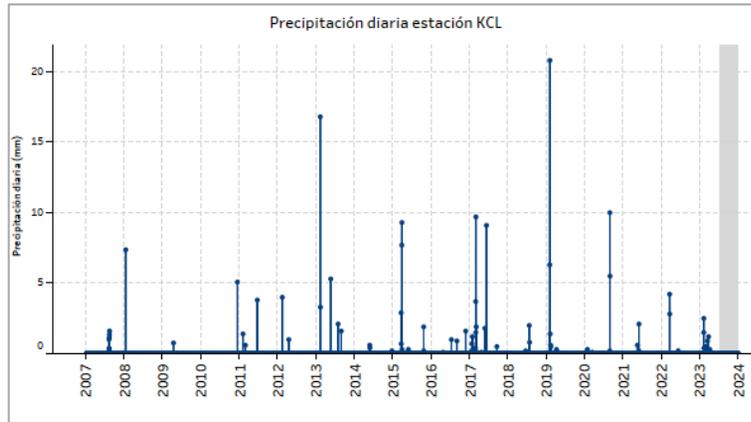


Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.2 Meteorología

El análisis histórico de la meteorología de la Estación KCL abarca la medición de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura desde el inicio del proyecto. Las series históricas de estas variables se presentan en la Figura 6-99. Históricamente, la evaporación y la temperatura presentan una oscilación estacional, con incrementos durante el verano. La precipitación histórica, en cambio, muestra un cambio de tendencia a lo largo del tiempo, diferenciándose en dos periodos según los eventos registrados. En el primer periodo, entre mayo de 2007 y diciembre de 2012, se registraron pocos eventos de precipitación, con un máximo de 7,4 mm el 14 de enero de 2008. A partir de enero de 2013, se observa un incremento en las precipitaciones, especialmente en el primer trimestre de los años 2013, 2015, 2017 y 2019, alcanzando un máximo de 20,8 mm el 31 de enero de 2019. En el histórico, en promedio, se han registrado durante el primer semestre 9,0 mm, y durante el primer semestre de 2024 no se registraron precipitaciones. La evaporación histórica promedio es de 8,1 mm/día, y en el primer semestre de 2024 alcanzó una media de 9,1 mm/día, que equivale a un aumento del 12% respecto al promedio histórico. La velocidad del viento, con un promedio histórico de 3,4 m/s, registró en el primer semestre de 2024 un valor promedio de 2,5 m/s que corresponden a una disminución del 26% sobre el promedio histórico. La temperatura promedio en este semestre fue de 18,3°C, lo que representa un aumento de 1,7°C respecto al promedio histórico de 16,6°C.

Figura 6-99: Series históricas de variables meteorológicas en la estación KCL



Fuente: Elaboración propia



6.1.6.3 Calidad Química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad de agua realizado el primer semestre de 2024 en el Sistema Núcleo, en comparación con su evolución histórica para los pozos SOPM-12C y 1001. Como se mencionó en la sección 5, no existen límites establecidos para los parámetros monitoreados (normativos o de línea de base). Los parámetros monitoreados de esta descripción pertenecen a los pozos SOPM-12C y 1001, y corresponden a Calidad 5 (Figura 6-100), respectivamente^{23, 24}.

Para los puntos del Sistema Núcleo, durante todo el periodo de monitoreo se ha registrado una alta conductividad eléctrica en torno a 230.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (característico de salmueras). Además, el pH terreno históricamente se ha registrado en torno a un valor de 7,0 (neutro) en ambos pozos, sin embargo, desde 2016 en adelante se observó para el pozo 1001 un aumento paulatino del pH de terreno llegando a valores máximos de 7,47.

Ambos pozos muestran en promedio una densidad de laboratorio en torno a 1,2 g/mL, sin embargo, la densidad de terreno desde el año 2016 en adelante en el pozo 1001 muestra una tendencia a la baja, que no se corresponde con los registros de laboratorio. Adicionalmente, en ambos pozos se observó un incremento en el contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales a partir del 2016. Por lo tanto, ocurre una fecha común respecto a las cuales se observan los cambios en las tendencias históricas de densidad, pH y contenido de sólidos disueltos totales. Lo que indica que probablemente las variaciones

²³ En el informe N°5 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de la CE y SDT de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el Laboratorio ALS Life Sciences S.A hasta julio de 2008, adjuntándose carta explicativa emitida por ALS Life Sciences S.A, así como un breve análisis.

²⁴ En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Life Sciences S.A hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado informe. Adicionalmente, el mismo problema fue detectado en la campaña de mayo de 2020 y se adjunta la carta de respuesta de ALS, indicando que el error en los resultados de STD y ST se debe a un error en la toma de alícuota y que realizará una capacitación del personal para que no vuelva a suceder. (Esta carta se presenta en el Anexo 10.2).



observadas se deban a los cambios en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de las muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26/2019.

En el pozo SOPM-12C la mayoría de las mediciones realizadas el primer semestre de 2024 se encontró dentro del rango registrado históricamente. La única excepción corresponde a:

- En el segundo trimestre un valor de densidad de laboratorio por debajo de la tendencia histórica. Este valor no se correlaciona con los datos de laboratorio, por lo tanto, podría asociarse a un error en la medición (outlier).

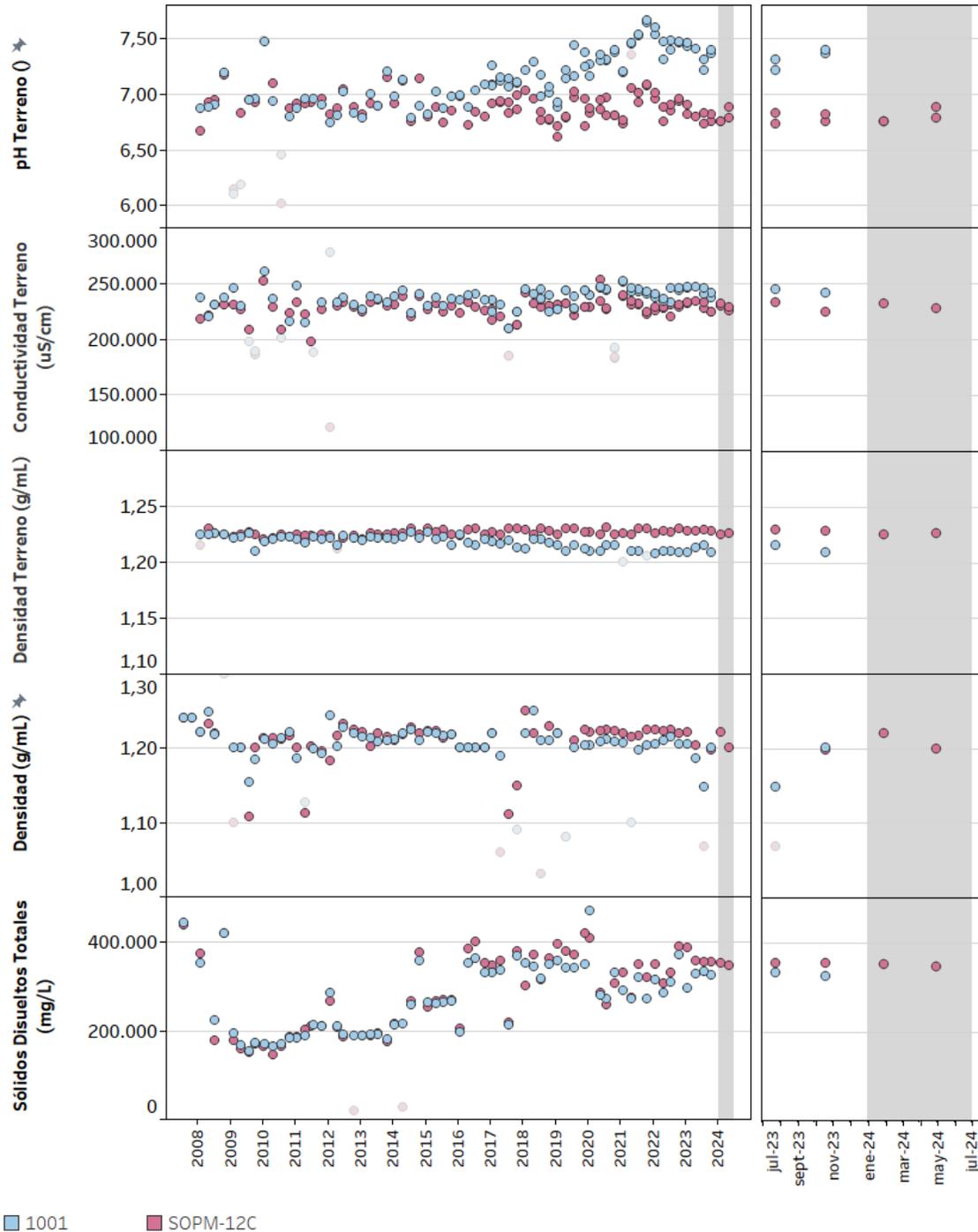
Respecto a tendencias identificadas:

- En relación con la evolución temporal, se observan cambios en las tendencias históricas en la concentración de sólidos disueltos totales, densidad y pH de terreno, con una leve tendencia al alza. Mientras que la conductividad eléctrica presenta una menor dispersión de sus registros.
- Para ambos puntos de muestreo, SOMP-12C y 1001, se observó el aumento en sólidos disueltos totales y el ligero aumento del pH y descenso de la densidad en el pozo 1001, que se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha. Estas variaciones no se pueden asociar a cambios en el acuífero, sino a un cambio en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de las muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26/2019.

Para la lectura de las series históricas de los registros de parámetros analizados se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-100: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001
Registro Histórico y S1 2024



Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.



6.1.7 CUÑA SALINA

La Cuña Salina corresponde a la zona de transición entre el agua dulce del acuífero aluvial y la salmuera en el acuífero del núcleo. Para el seguimiento de la cuña salina se dispone de los pozos Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, L4-3, Cuña 6, Cuña 7 y L10-1. Todos estos puntos se localizan en la Zona Marginal, entre los sistemas Soncor, Aguas de Quelana y Peine.

6.1.7.1 Niveles de agua subterránea

Respecto de los niveles, el punto de control L4-3 se ha descrito en conjunto con los pozos del Sistema Aguas de Quelana y el L10-1 con los pozos del Sistema Peine, por lo que no se muestran en este capítulo.

Dado que existen diferencias entre las cotas de los niveles de los puntos Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, Cuña 6 y Cuña 7, que no permiten visualizar bien los comportamientos a describir, en la Figura 6-101 se muestran los descensos calculados para este grupo. Por otro lado, en la Figura 6-102 se muestran nuevamente los descensos calculados, exceptuando el punto Cuña 4, puesto que en los años 2009 y 2017 reprodujo unos fuertes descensos que se alejan de la escala utilizada en la gráfica de descensos de los otros pozos y que, en este caso, no permitiría un análisis lo suficientemente detallado.

En el Sistema Soncor se encuentran los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3, los dos primeros ubicados sobre la Zona Marginal, entre las vegas de Carvajal y la Laguna Barros Negros, y el Cuña 3 se sitúa sobre el acuífero aluvial, entre el pozo Mullay-1 y las Vegas de Carvajal.

El pozo Cuña 1, desde el inicio de las mediciones en 2007 y hasta 2011, presentó un comportamiento oscilatorio con una leve tendencia de descenso. Luego del evento de precipitación ocurrido en 2012, los niveles aumentaron, alcanzando un primer máximo histórico en marzo de 2012. Posteriormente y análogo a lo descrito en los puntos situados en este entorno, los niveles se muestran con una tendencia promedio característica de este sector, sin oscilación estacional y con respuestas rápidas a los eventos de lluvia. consecuencia, tras las precipitaciones de febrero de 2019, se produjo un segundo máximo histórico. Seguido a este evento, se registra un descenso constante de unos 9 cm/año. En febrero de 2023, el pozo Cuña 1 también reaccionó a los eventos de lluvias, pero con *peak* de ascenso menor al de 2019. Para el



primer semestre de 2024 continúa la tendencia de descenso, registrándose un mínimo histórico para este indicador.

Por su lado, el pozo Cuña 2 también ha mostrado un patrón de niveles oscilatorio desde el inicio de los registros, con una tendencia de descenso más notoria desde 2013. Al siguiente año, el nivel promedio reprodujo una tasa de descenso de 1,6 cm/año. Después de la respuesta a las precipitaciones de 2019 y 2023, los niveles han descenso hasta alcanzar mínimos históricos para el primer semestre de 2024.

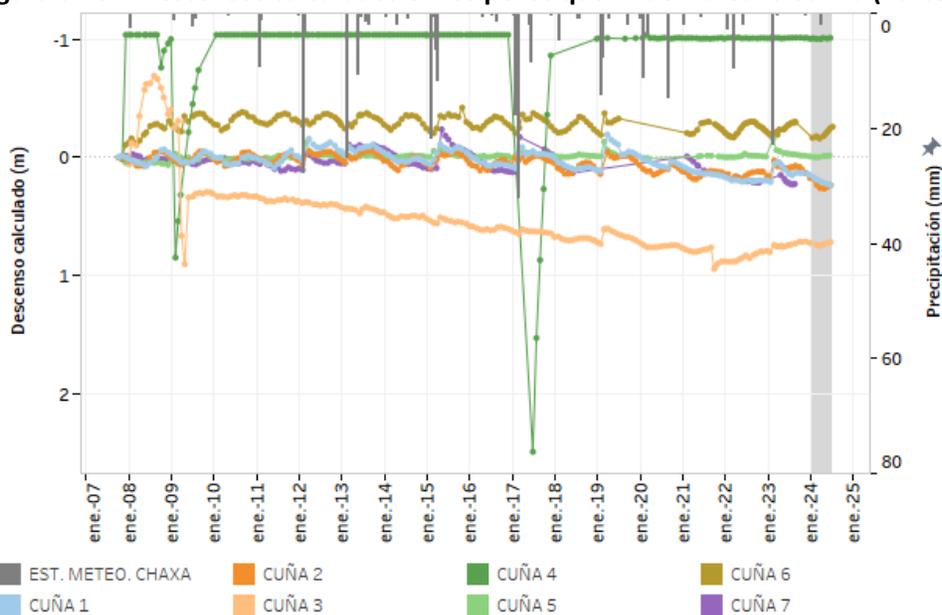
El pozo Cuña 3, que se encuentra sobre el acuífero aluvial, registra una pendiente de descenso más pronunciada que el resto de los puntos, sin mostrarse reactivo a los eventos de precipitación. Durante el período entre 2009 y 2021 la tasa de descenso obtenida fue de 4 cm/año. No obstante, a partir de septiembre de 2021, se obtuvo un nivel que supuso una disminución de 18 cm respecto de la medición del mes anterior. Posterior a esta fecha y hasta el actual semestre reportado, el pozo cambió su tendencia a ascenso, con una tasa aproximada de 10 cm/año. Si bien el 2024 comenzó con un leve descenso del nivel, este comportamiento en los últimos datos registrados retomó la tendencia al ascenso de años anteriores. Se desconoce el motivo del salto registrado en 2021 (descenso abrupto) y el cambio en la tendencia. No obstante, dada su ubicación (sobre el acuífero aluvial), se esperaría que en parte ambos se vinculen con la disminución de los caudales extraídos desde los pozos de agua.

En el Sistema Aguas de Quelana se encuentran los pozos Cuña 4 y Cuña 5, ambos situados al borde oeste del acuífero aluvial, cercanos a la Zona Marginal. Por su parte, el Cuña 4 muestra un comportamiento anómalo en sus niveles en su registro histórico. Por lo tanto, es a partir de la primera medición de 2018 (diciembre) que se observa un registro de niveles que se cree más representativo del medio. Por esta razón, su desarrollo y evolución se observa más claramente en la Figura 6-101. Por consiguiente, en el período comprendido entre 2018 y 2024, pozo ha permanecido con un nivel estable (ni ascenso ni descenso), incluyendo el primer semestre de 2024. Por otra parte, el pozo Cuña 5 ha mostrado una leve tasa de ascenso desde 2009 hasta el cierre de este reporte (0,22 cm/año), así como también ha presentado leves respuestas frente a los episodios de precipitación. En febrero de 2023 se registró un máximo como respuesta a las lluvias, después los niveles recuperaron (descendieron) hasta estabilizarse, tendencia que continúa a día de hoy.

En el Sistema Peine los pozos presentes son el Cuña 6 y Cuña 7. El primero, se encuentra al borde este del acuífero aluvial, muy próximo a la Zona Marginal. En este pozo los niveles muestran oscilaciones estacionales, con una tendencia aparente de descenso desde 2011. Posteriormente, entre junio 2019 y enero 2021, se tiene un alto número de vacíos sin información, producto del cierre de la reserva. A partir de esta última fecha, se observa cómo el pozo ha continuado oscilante dentro de un mismo rango de cotas, pero estabilizado. Este comportamiento mantiene hasta la última medición obtenida durante el año 2024.

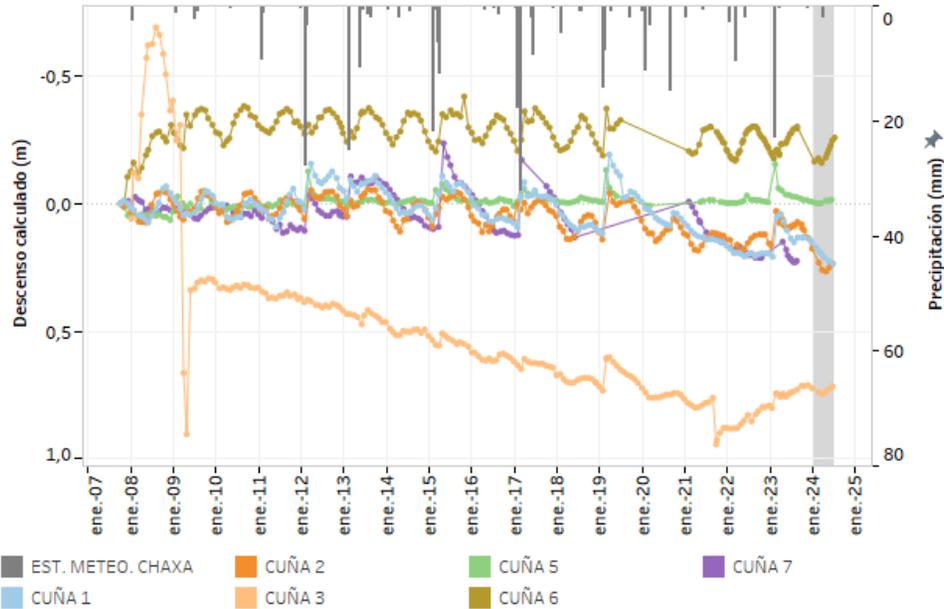
Respecto al pozo Cuña 7, se encuentra en el extremo de la Zona Marginal y de la misma forma que el resto de los pozos en esa área, los niveles muestran un comportamiento típico del núcleo, con una fuerte respuesta a las lluvias y una tasa de descenso basal similar. Durante agosto de 2023 y junio de 2024, se presenta un vacío sin información ya que este pozo no fue visitado debido al cierre de la reserva.

Figura 6-101: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-102: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 2)



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2 Perfiles de conductividad

Los perfiles de conductividad eléctrica (CE) permiten establecer la posición de la interfaz salina originada por la mezcla entre los acuíferos del núcleo y el aluvial. En efecto, estos perfiles son monitoreados en los pozos de la Cuña Salina. Adicionalmente a estos pozos, también se cuenta con mediciones de perfiles de CE en el pozo L10-1 (de la Zona Aluvial del Sistema Peine). Para efectuar el análisis los pozos se agrupan según su ubicación en cada sistema de la siguiente manera:

De acuerdo con la ubicación de los pozos en los distintos sistemas se van a agrupar para el análisis de la siguiente manera:

- Pozos Soncor (borde norte de la interfaz): Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3.
- Pozos Aguas de Quelana (borde central de la interfaz): Cuña 4, Cuña 5 y L4-3.
- Pozos Peine (borde sur de la interfaz): Cuña 6, Cuña 7 y L10-1.

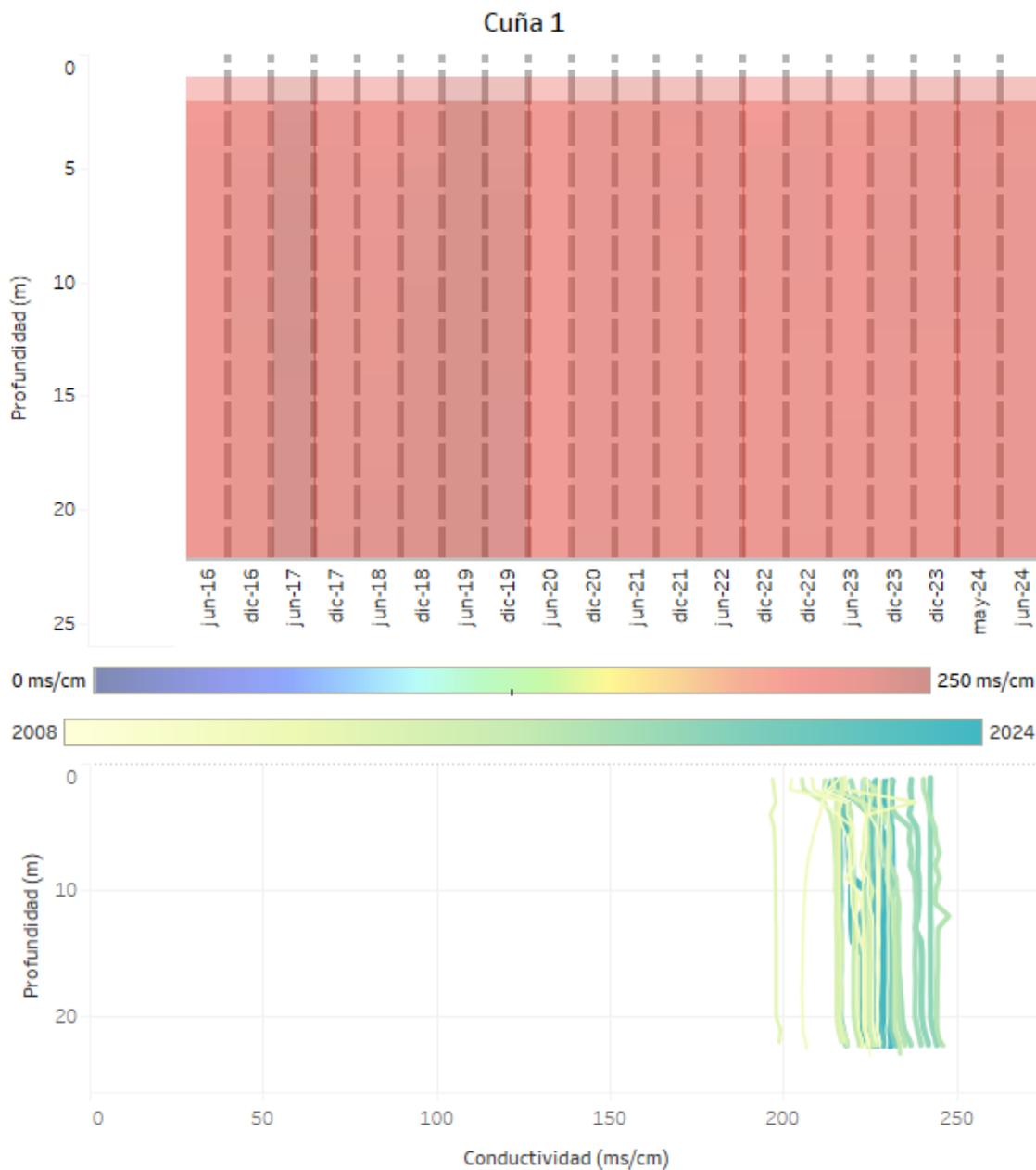


La evolución histórica de los pozos del norte se presenta en la Figura 6-103. En ella se muestra que los puntos Cuña 1 (ranurado entre 2-22 m) y Cuña 2 (ranurado entre 4-22 m), ubicados al oeste de la zona de afloramiento de la interfaz salina, presentan valores de conductividad superiores a 200 mS/cm. Esto sugiere que los flujos subterráneos en el área provienen del núcleo del salar, sin hacer contacto, con el acuífero de agua dulce-salobre del margen este. A lo largo del período de registro, en ambos casos la CE se mantienen superior a 200 mS/cm, excepto en diciembre de 2013. Sin embargo, en general se interpreta que la interfaz no ha sido localizada en la profundidad donde están habilitados estos pozos, predominando el afloramiento de la interfaz al este de la Cuña 2.

En el punto Cuña 3 se observan aguas de baja CE indicando que el comienzo de la interfaz se encuentra entre los puntos Cuña 2 y Cuña 3. Este punto presenta su ranurado debajo de los 120 m²⁵. Respecto a su evolución temporal, no se observan variaciones significativas durante el período medido, salvo un cambio el primer semestre de 2009, donde el estrato de menor CE disminuyó producto de un bombeo para toma de muestra, y un ascenso a valores cercanos a 125 mS/cm desde 2014 hasta 2020, seguido de un descenso en las últimas mediciones a cotas similares a las anteriores a 2014. Es importante mencionar que, durante una gran parte del período monitoreado, este pozo ha mostrado surgencia, lo que dificulta la interpretación de los resultados. En general, la profundidad donde se han registrado valores de conductividad próximos a 150-200 mS/cm, dentro de la zona ranurada, se ha encontrado en torno a los 130 m, mostrando oscilaciones al alza y a la baja, sin una tendencia sostenida para todo el período.

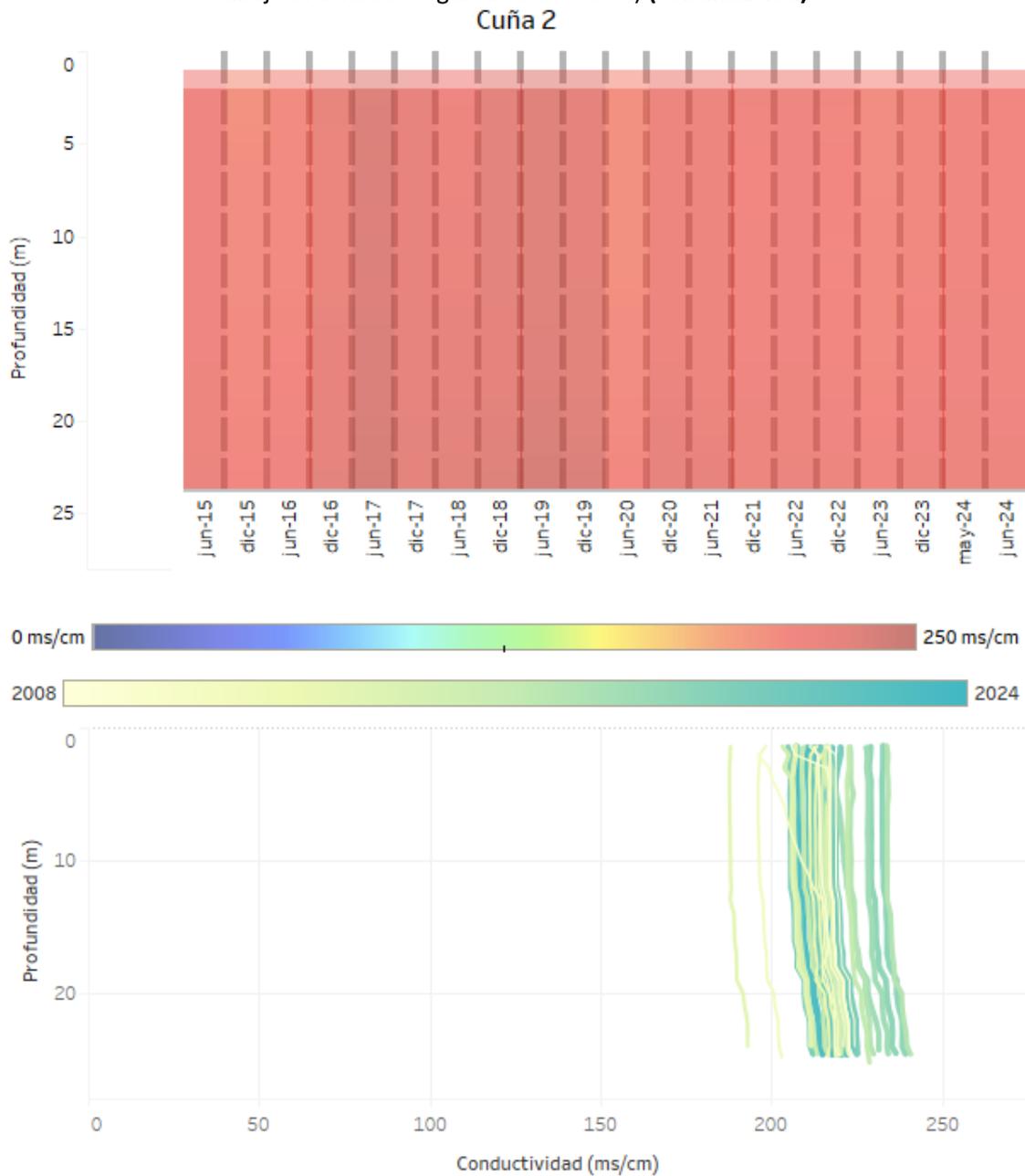
²⁵ Se ha confirmado esta profundidad para el ranurado en base al Strarter del pozo. En anteriores informes se había confundido la profundidad del ranurado con 102m.

Figura 6-103: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



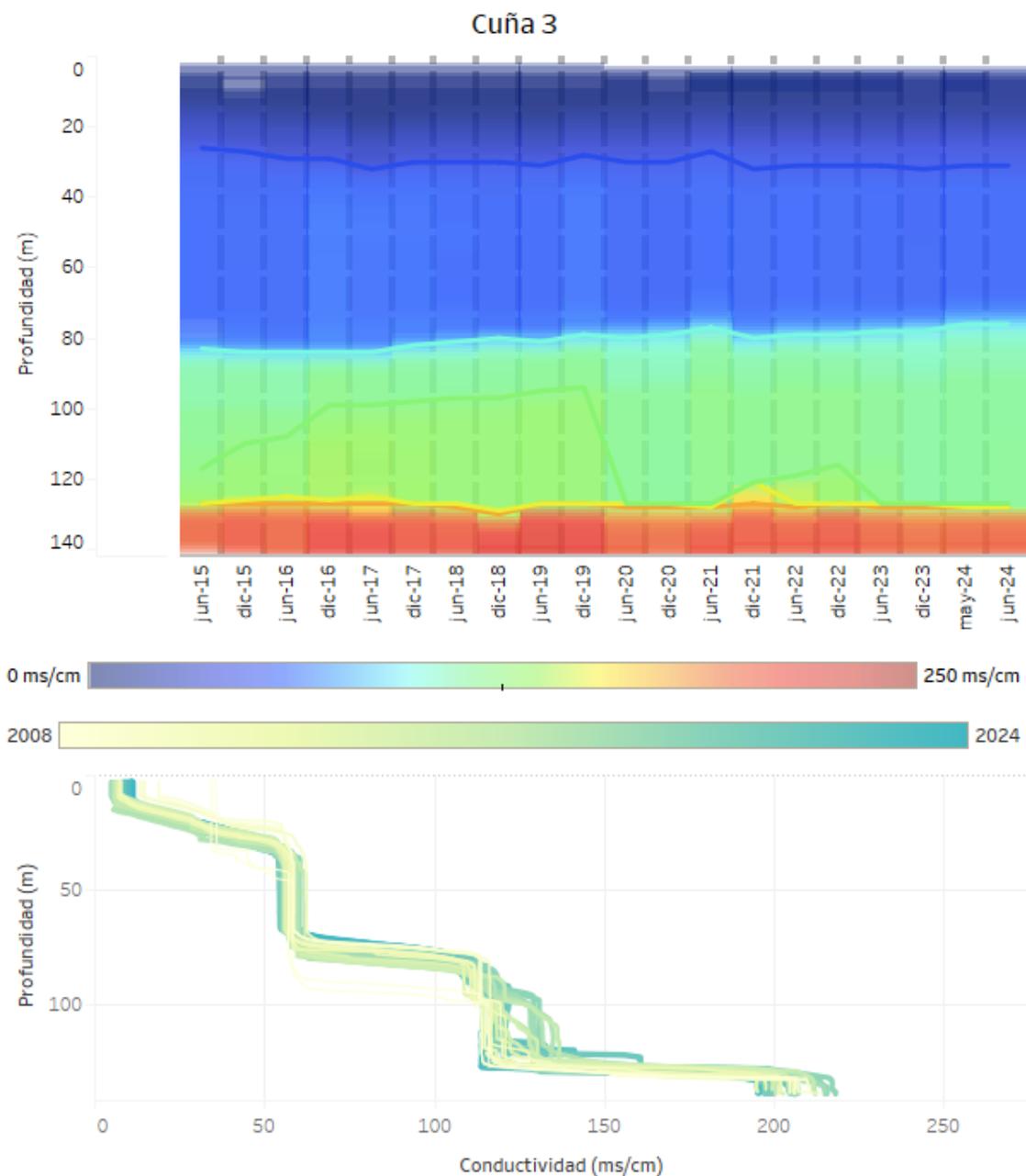
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-103: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) **(continuación)**



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-103: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) **(continuación)**



Fuente: Elaboración propia

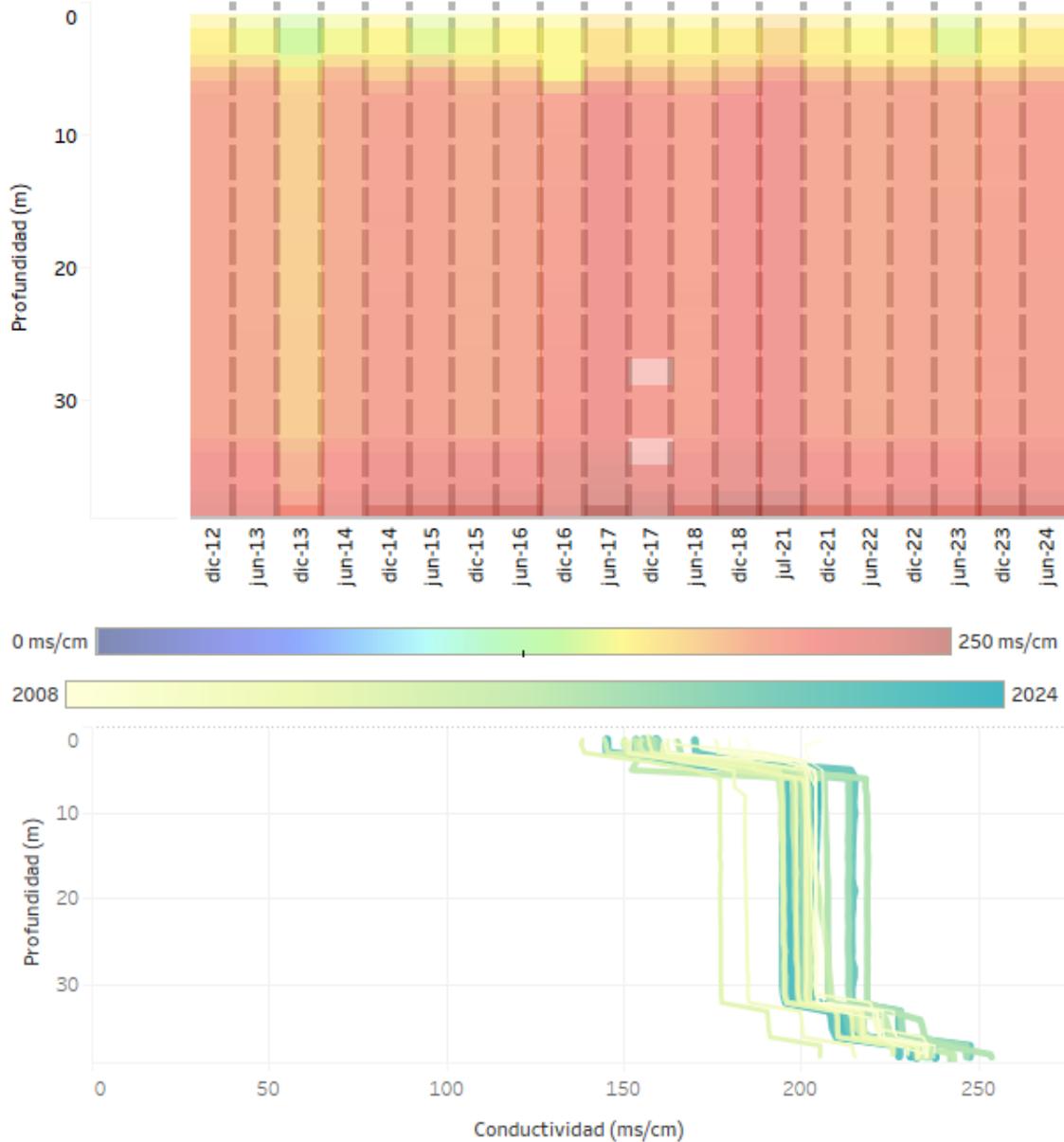


Al mismo tiempo, la evolución histórica de los pozos en el sector de Aguas de Quelana se muestra en la Figura 6-104. En ella se observa que en el Cuña 5 el agua cercana a la superficie es de menor CE que la más profunda. De todos modos, esta última presenta también altos valores de CE lo que indica que la interfaz comienza a aflorar más al este, dado que sus valores son más representativos de salmuera.

Al avanzar hacia el este (Cuña 4), se observan menores valores de la CE en el fluido próximo a la superficie. Este punto tiene comportamiento surgente y su tramo ranurado comienza a los 64 m. Se observa que la zona en que se produce el cambio a valores de mayor CE se ha mantenido estable en torno a los 55 m, sin mostrar tendencias al alza o a la baja.

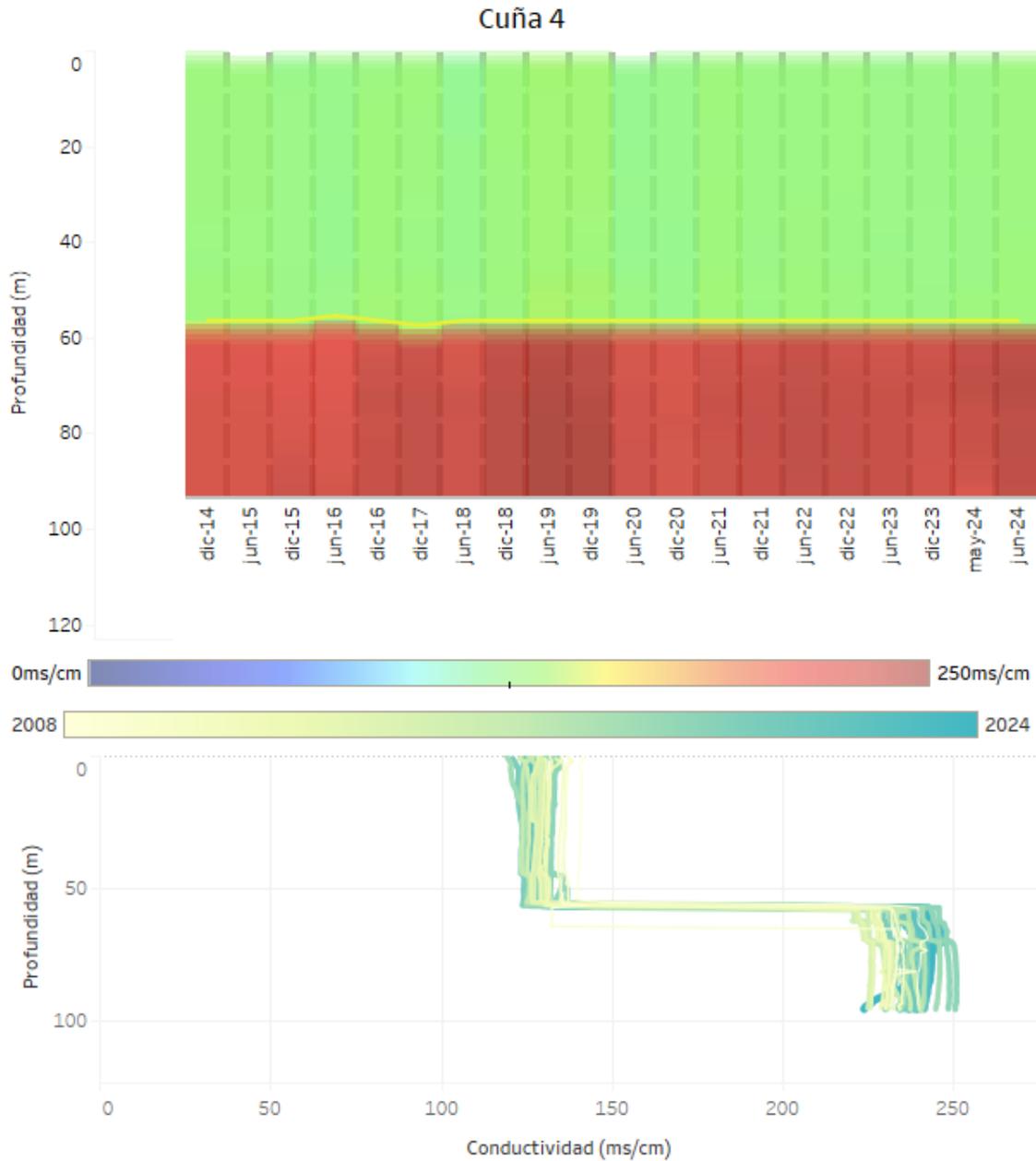
En el punto más al este de Aguas de Quelana, L4-3, existe una interfaz definida, ubicada aproximadamente a 40 m de profundidad. El equilibrio de la interfaz se mantiene en el tiempo, con oscilaciones menores entre campañas, pero sin mostrar un comportamiento de tendencia.

Figura 6-104: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este)
Cuña 5



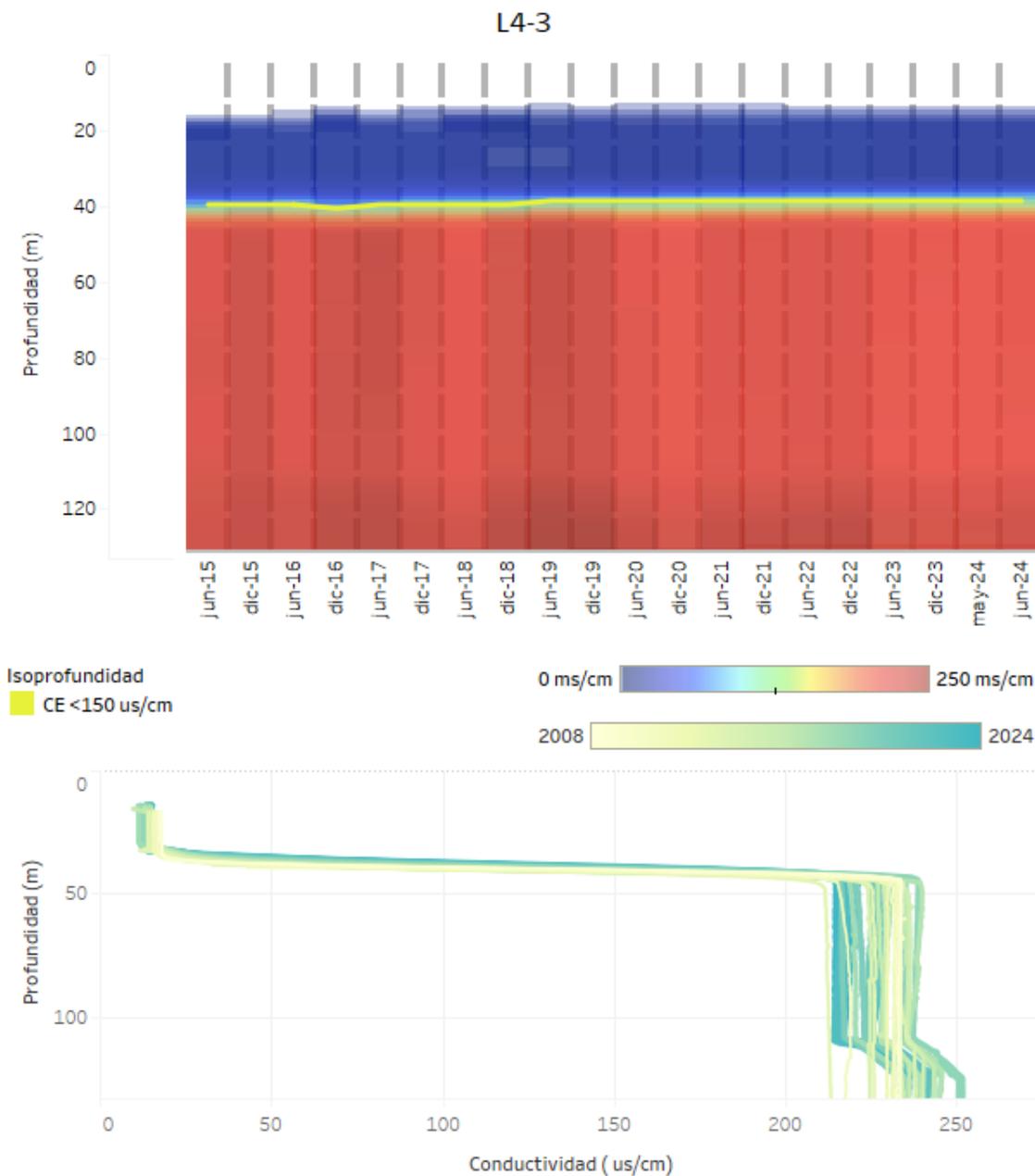
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-104: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este)
(continuación)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-104: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este)
(continuación)



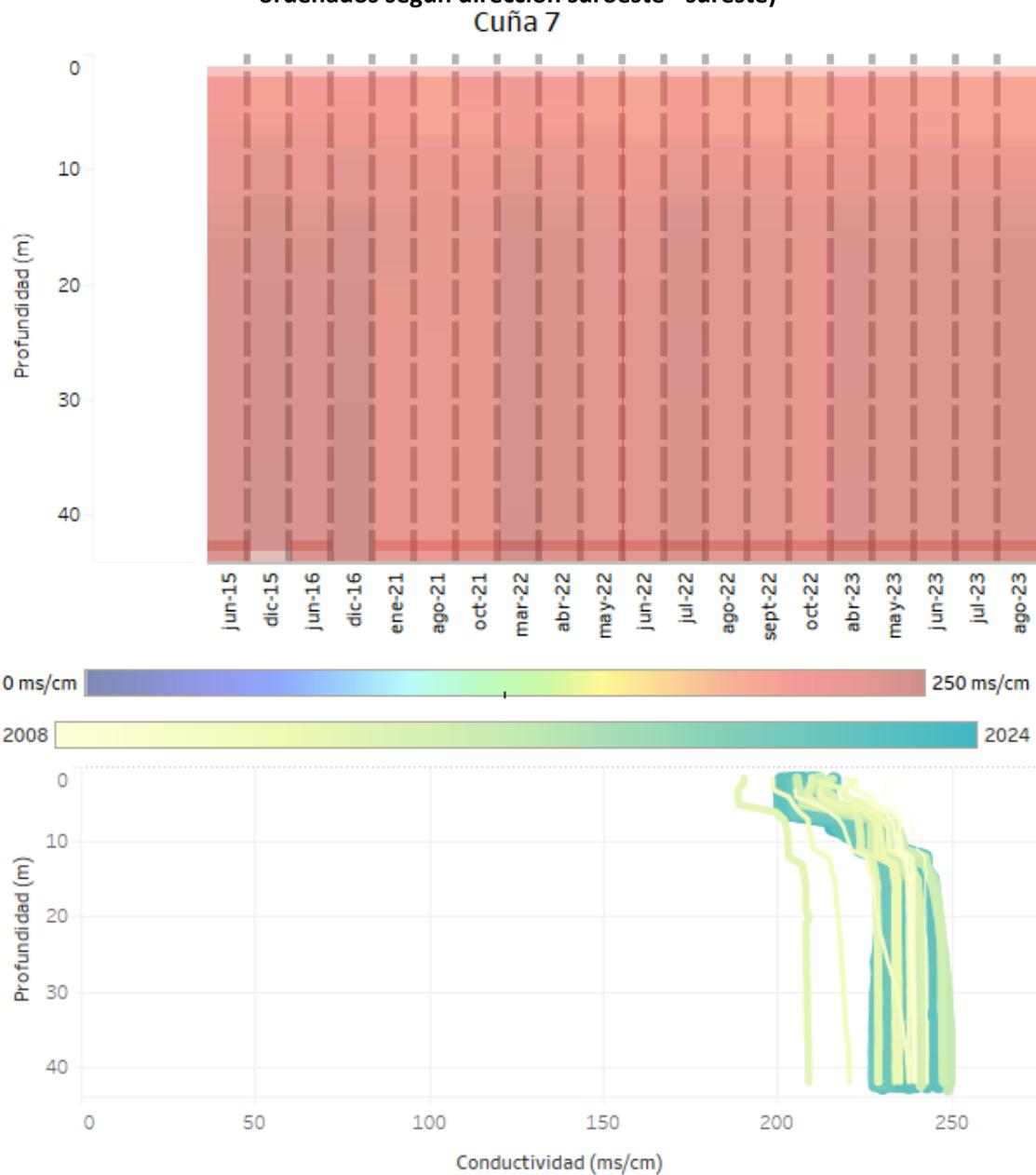
Fuente: Elaboración propia. Se quitan del gráfico algunos valores *outliers* y el perfil de junio 2008 por presentar anomalía en todo su desarrollo en L4-3.



Finalmente, la evolución histórica de los pozos del sur se muestra en la Figura 6-105. En ella se observa que en el pozo Cuña 7 el final del quiebre se encuentra cercano a la superficie. Siguiendo hacia el sureste, el pozo L10-1 ha registrado características surgentes en anteriores ocasiones, con un ranurado comenzando en 74 m. Se observa que los acuíferos ya están en contacto a una profundidad cercana a los 50 m y donde cambian los valores de CE se ha mantenido estable en el tiempo. Cabe señalar que la medición de la isolínea de 50 mS/cm ha mostrado un cambio significativo de la profundidad en los muestreos del primer y primer semestre de 2024. Este cambio en los valores de CE en los primeros 40 m de profundidad es coherente con los cambios expuestos en los capítulos de análisis de niveles y calidad y se atribuye a una posible extracción en el acuífero aluvial.

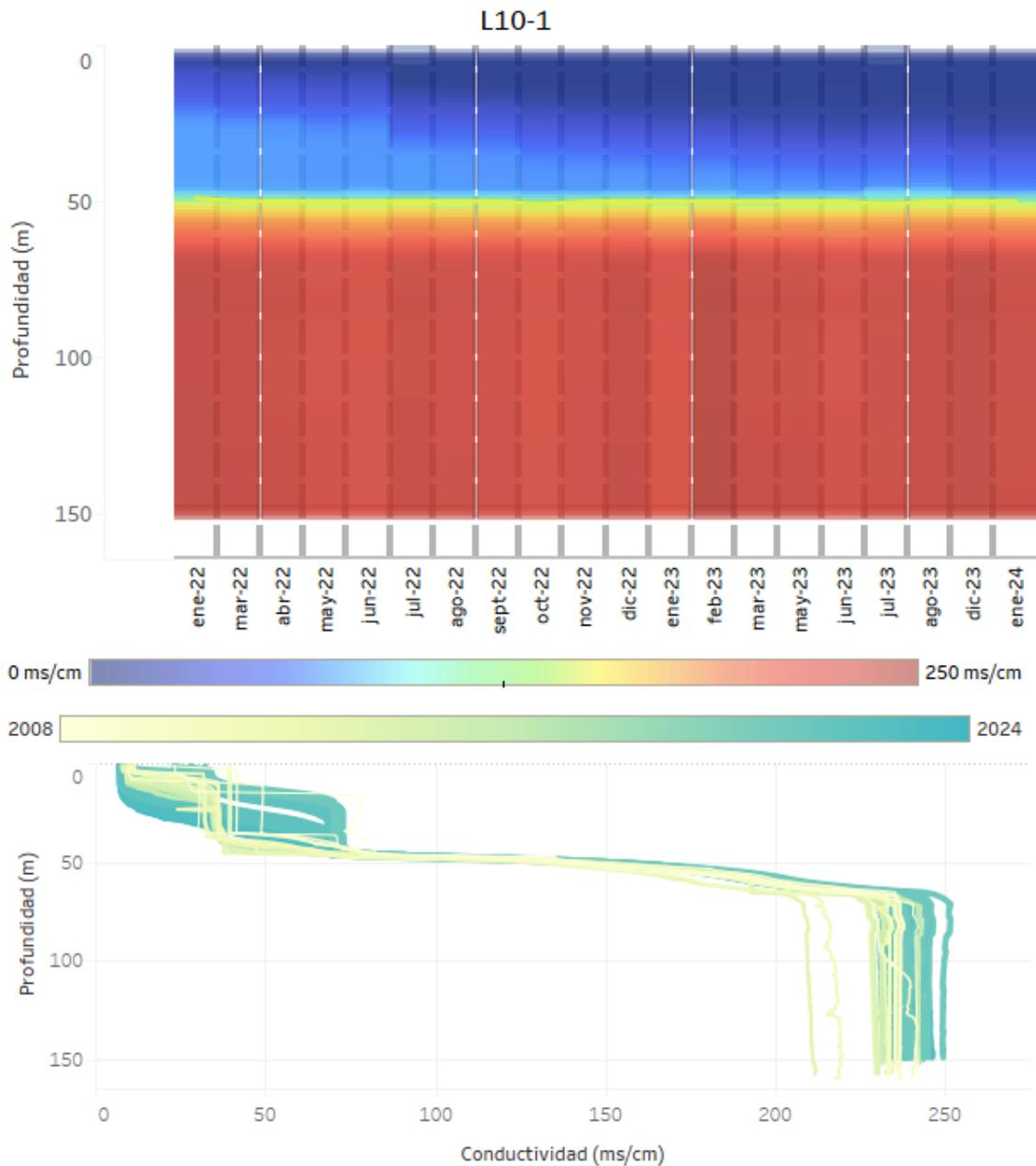
En Cuña 6, se observa un mayor predominio del acuífero del margen. Aquí, el mayor quiebre en los valores de CE se sitúa a una mayor profundidad: aproximadamente a 70 m desde la superficie. El equilibrio descrito no ha sufrido cambios en el tiempo, sin observarse variaciones significativas en los perfiles de CE.

Figura 6-105: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste)



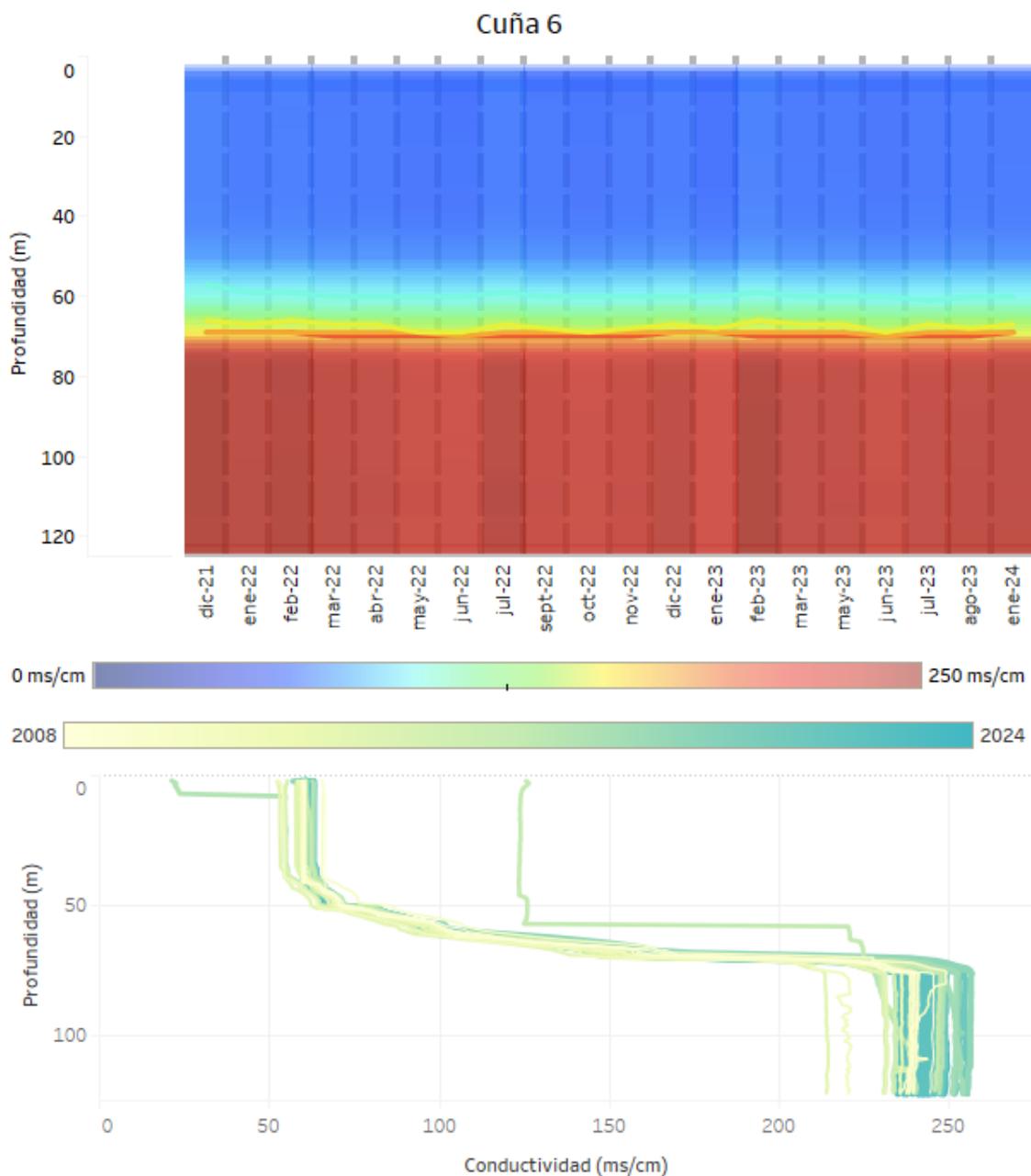
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-105: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste) (continuación)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-105: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste) (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Se ha eliminado el perfil de junio 2016, por tener resultados anómalos.



En el presente apartado se ha visto como la profundidad en la que se producen los quiebres de conductividad eléctrica se ha mantenido estable en el tiempo con algunas variaciones menores y sin mostrar tendencias al alza o a la baja para los distintos puntos. Por ende, puede decirse que la posición de la interfaz no se ha visto afectada en el período monitoreado.

6.2 ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS

En los siguientes capítulos se muestra una descripción de los niveles históricos de todos los indicadores, junto con los umbrales definidos en el Plan de Contingencia.

6.2.1 SISTEMA SONCOR

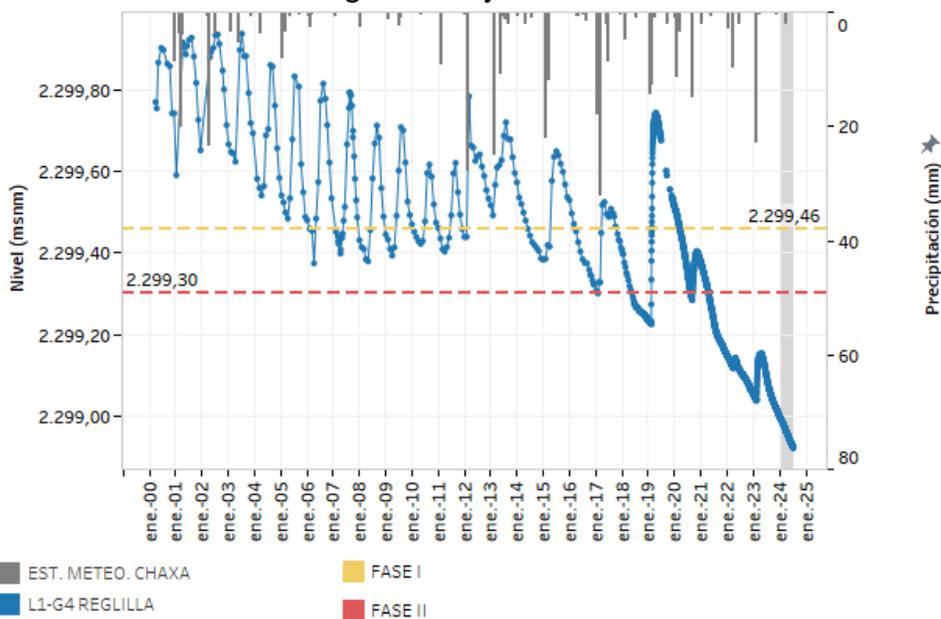
De acuerdo con la RCA N°226/2006 (considerandos 11.2.1 y 11.2.3), la Reglilla L1-G4 y el pozo L1-5 son los indicadores de estado para la Laguna Barros Negros por el bombeo de salmuera desde el núcleo del salar. Además, el pozo L1-4 es también indicador de estado para la misma laguna, pero ante el posible efecto proveniente de los pozos de agua industrial Mullay-1 y Allana. Por otro lado, el pozo L7-4 es el indicador de estado para la Laguna Puilar por el bombeo del pozo Mullay-1 y Allana.

Respecto de los puntos Reglilla L1-G4 (Figura 6-106) y L1-5 (Figura 6-107), según lo descrito en el apartado 6.1.1 (Análisis y discusión de los resultados del Sistema Soncor), se ha podido comprobar, a través del análisis de sus niveles y de los puntos vecinos, cómo estos indicadores desde 2012 ya no volvieron a recibir de forma regular los aportes en forma de recarga directa proveniente de los desbordes de la laguna Barros Negros, particularmente desde el Desborde Cola de Pez. Desde entonces reproducen el descenso propio del acuífero en ese sector, con tasa de descenso constante y respuesta inmediata a los episodios de precipitación. El Desborde Cola de Pez, que infiltraba recargando a estos puntos, fue sustituido por otro desborde hacia el sur de la laguna Barros Negros, lo que se evidencia con claridad en las imágenes satelitales históricas, que ilustran la migración entre ambos sectores. Estos puntos, durante el período de registro han sobrepasado el umbral de Fase II hasta en tres ocasiones, las que han sido detallados en los informes PSAH respectivos: en mayo de 2018 (informe PSAH N°23), en agosto de 2020 (Informe PSAH N°28), y finalmente abril de 2021 (Informe PSAH N°29). Durante el primer semestre del 2024 ambos indicadores se mantuvieron con la Fase II activada, y no es previsible que puedan llegarla a desactivar hasta que no se produzca un nuevo evento de precipitación.

Tal y como se ha observado desde 2018, la activación en estos casos responde a que estos pozos presentan un comportamiento Tipo Núcleo, desde que no están recibiendo los aportes del desborde de la Laguna Barros Negros a través del sector de Cola de Pez. Como se ha mencionado en varias ocasiones, este patrón no se identificó en el momento de la elaboración de la RCA N°226/2006, ya que se preveía que estos pozos reproducían la dinámica propia de la recarga del cuerpo lagunar.

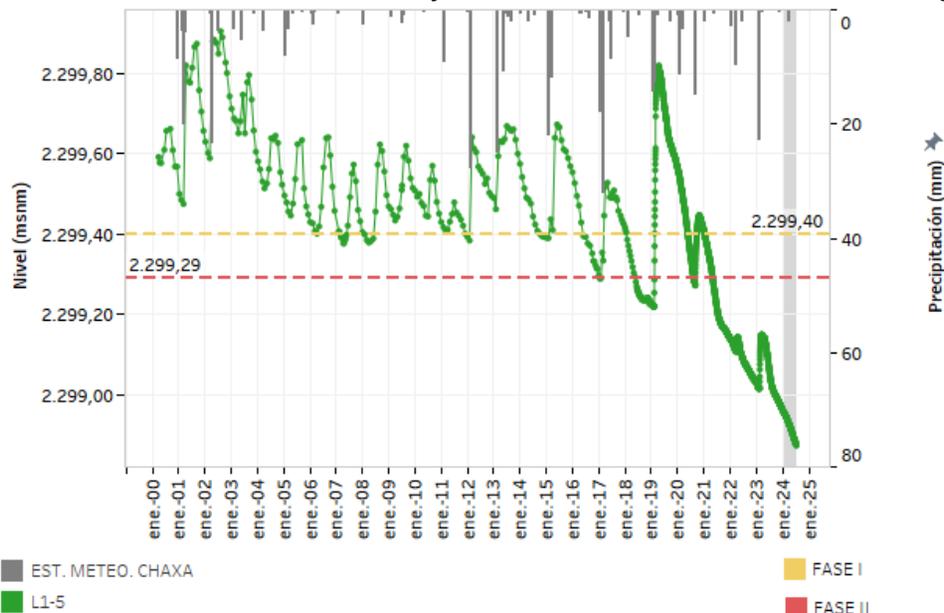
De esta forma, dados los resultados de los análisis y simulaciones implementadas durante la etapa de investigación, efectuada con motivo de la activación de Fase II en mayo de 2018 de estos puntos (IDAEA-CSIC, 2018), se concluyó que la causa principal de activación correspondió al cambio en la dinámica natural de desborde de la laguna Barros Negros y no al efecto de las extracciones de salmuera efectuado por SQM en el salar. De ahí se deduce que los actuales indicadores de estado, L1-5 y L1-G4, no son eficaces para anticipar potenciales efectos sobre el sistema objeto de protección producto de las extracciones de salmuera en el núcleo, siendo recomendable establecer una optimización de los indicadores de estado considerando puntos más idóneos para estos efectos.

Figura 6-106: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-107: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia

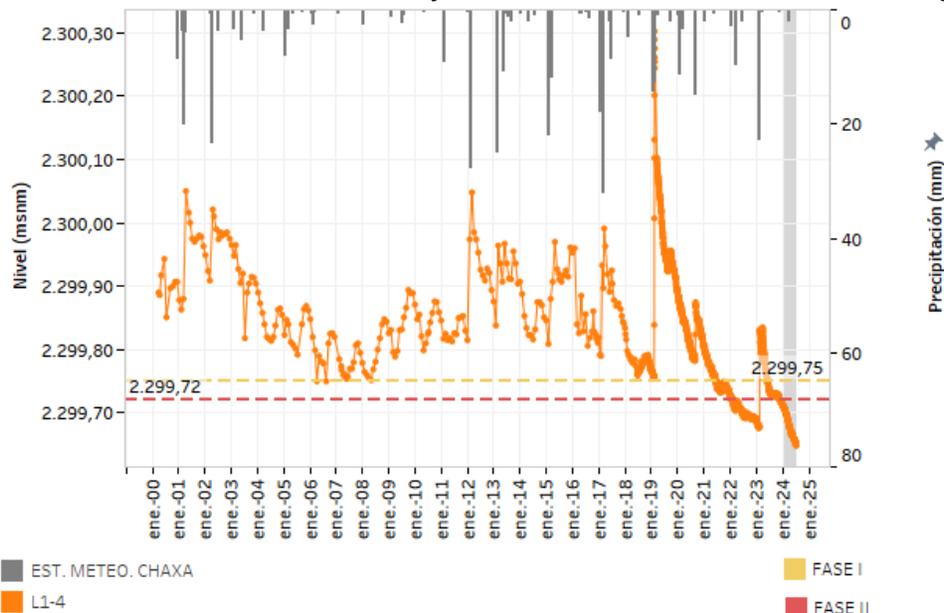


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Por su parte, el punto L1-4 (Figura 6-108) se ha analizado en el apartado 6.1.1 (Análisis y discusión de los resultados del Sistema Soncor) y se ha podido comprobar que los niveles en este punto muestran un comportamiento propio de la Zona Marginal (relacionado con la interfaz salina y los ciclos de evaporación), pero con influencia del cuerpo de agua superficial de Barros Negros. Este punto, a partir de 2012, tiene una leve tendencia de descenso cuando se observan los mínimos de las oscilaciones (1,6 cm/año) y se muestra influenciado por la recarga directa de los episodios de lluvia.

El indicador de estado L1-4 activó la Fase II del PC en enero de 2022, en donde las lluvias episódicas de febrero de 2023 desactivaron ambas fases. Posteriormente, el 20 de noviembre de 2023, el indicador mostró un descenso de nivel que activó la Fase II nuevamente. Desde entonces, y durante todo el presente semestre reportado, se ha mantenido activo en Fase II, debido a la ausencia de precipitaciones.

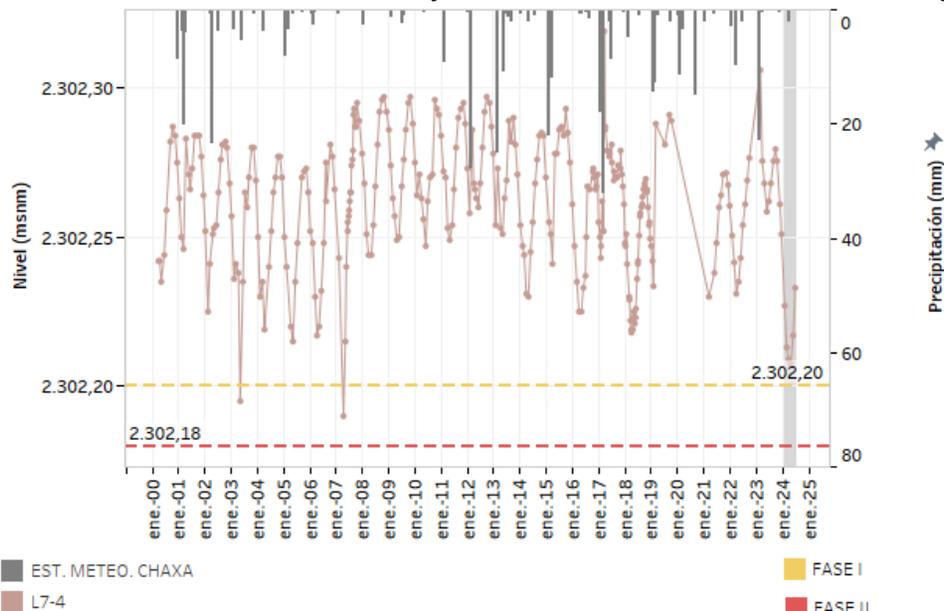
Figura 6-108: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

En cuanto a L7-4 (Figura 6-109), indicador de estado de la Laguna Puillar, se ha podido comprobar, tal como se menciona en el apartado 6.1.1, que muestra un comportamiento influenciado por los ciclos de evaporación (propio de los puntos próximos a la interfaz salina) y relacionado con la recarga proveniente del borde este y los episodios de lluvia más intensos. Las mediciones de nivel del periodo actual muestran un descenso respecto del semestre anterior, pero sin presentar una activación de la Fase I del PC.

Figura 6-109: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.2.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

El PC del Sistema Aguas de Quelana busca advertir, anticipar y evitar posibles afectaciones sobre los objetos de protección del sistema producto de las actividades que desarrolla SQM en la cuenca. Para este sistema, los objetos de protección corresponden al hábitat que sustenta la biota en el conjunto de lagunas dispersas del margen este del Salar de Atacama, ubicadas dentro de la RNLF de Aguas de Quelana.

Teniendo en cuenta el objeto de protección descrito, para la RCA N°226/2006 se definieron diferentes indicadores de estado del sistema. Estos indicadores buscan alertar sobre posibles afectaciones provenientes desde dos fuentes: extracciones de salmuera desde el núcleo del salar y bombeo de agua industrial desde Camar-2 y Socaire-5. Como indicadores de la influencia de las extracciones del núcleo, se monitorea el nivel de los pozos L3-9, L4-12 y L5-10. Como indicadores del bombeo de los pozos de agua industrial, se monitorea el nivel de los pozos L3-5, L4-8 y L5-8.



6.2.2.1 Indicadores de agua

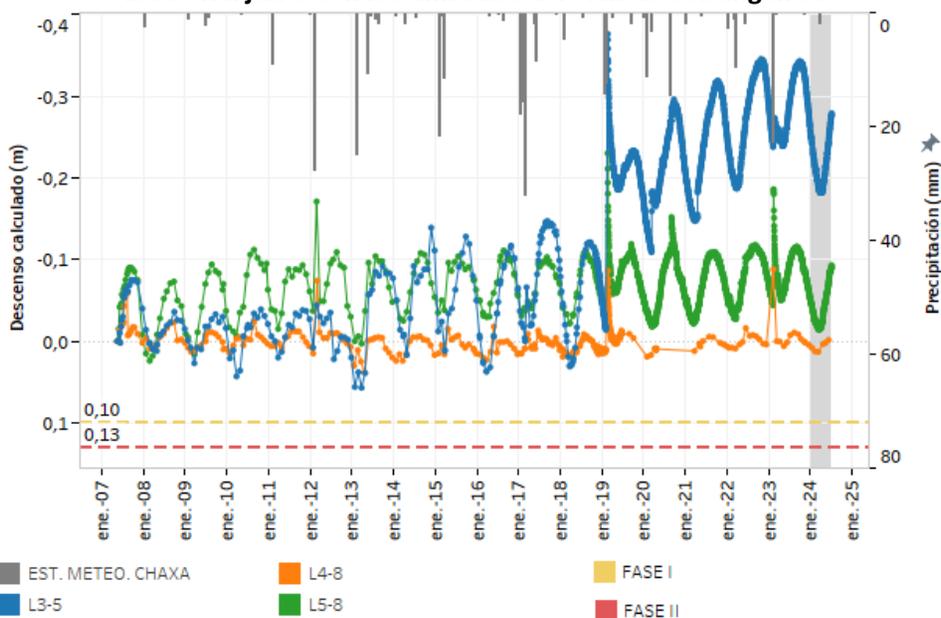
Los descensos calculados²⁶ de los niveles de los pozos L3-5, L4-8 y L5-8, indicadores de estado del bombeo de los pozos de agua industrial, se muestran en la Figura 6-110 junto a los umbrales correspondientes. En el análisis efectuado en el apartado 6.1.2.1, se ha comprobado que estos puntos muestran la dinámica propia de los puntos influenciados por la interfaz salina (oscilaciones estacionales y sin tendencias de descenso-ascenso de los niveles) y la recarga proveniente del borde Este y de episodios de lluvia.

El pozo L3-5, que se sitúa sobre la transecta L3 inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2, permite observar el ascenso que se ha generado en el nivel, motivo de la respuesta al evento de lluvia ocurrido durante el primer semestre de 2019. Desde entonces el pozo presentó un cambio en el patrón y empezó a registrar un ascenso continuado y a la vez senoidal. Se destaca que en el entorno de este punto los niveles estén alcanzando cotas históricas, por ejemplo, el máximo estacional de 2022 se situó 27 cm por sobre el primer máximo estacional registrado en 2007, lo que hace que se aleje cada vez más de los umbrales que determinan el PAT, confirmando que esta medida (sin que esta se haya tomado por una activación) es efectiva sobre el sistema. Respecto al primer semestre 2024, se observa que se alcanza un mínimo estacional similar al del primer semestre del 2022, seguido de una tendencia ascendente que se mantiene hasta finales del período actualmente reportado.

De la misma forma que el pozo L3-5, a pesar de encontrarse más alejado, el pozo L5-8 presenta una tendencia oscilante con una tasa de ascenso promedio de 1 cm/año desde el 2020. Tal y como se ha observado en el capítulo 6.1.2, los niveles en estos sectores han mostrado recuperación (ascenso) de sus niveles, en distinta magnitud según su ubicación y la variabilidad del tipo de material del acuífero, producto de la detención del pozo Camar-2, indicando que, al igual que con el punto L3-5, esta medida (sin que se haya tomado por una activación) es efectiva sobre el sistema. En pozo L4-8 se muestra estable en todo su registro histórico.

²⁶ Para este apartado, la fecha de inicio que permite el cálculo del descenso se basa en lo estipulado según la RCA N° 226/2006.

Figura 6-110: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de los pozos de agua industrial junto con los umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia

6.2.2.2 Indicadores de salmuera

Los indicadores de estado para determinar la influencia de las extracciones del núcleo (L3-9, L4-12 y L5-10) se muestran en la Figura 6-111 junto con los umbrales de la Fase I y Fase II. En el apartado 6.1.2 se determinó que estos puntos muestran un comportamiento mixto entre la Zona Marginal (zona de interfaz salina) y el Núcleo. Por lo anterior, es esperable que este grupo de pozos muestren una oscilación estacional, que será más regular en la medida que el punto esté más próximo a la interfaz, y que además presenten una tendencia promedio de descenso, con una pendiente mayor hacia el núcleo. De la misma forma que ha ocurrido en todo el borde este del Salar, existe un cambio en el comportamiento de estos niveles desde 2012, donde la tasa de descenso promedio ha aumentado a 1,3 cm/año para el L3-9, 1,7 cm/año para el L4-12 y 2 cm/año para el L5-10.

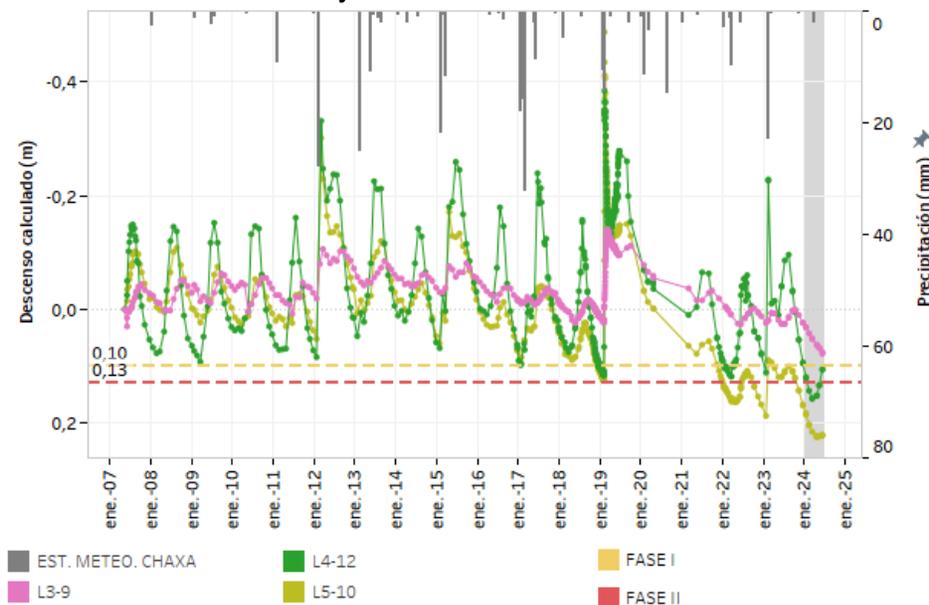
De este modo, el indicador L5-10 ha activado a Fase II en 3 oportunidades. La última activación ocurrió el 20 de octubre de 2023, situación que se correlacionó con las extracciones de salmuera y con la disminución

de las precipitaciones que han disminuido desde el año 2020. Esta situación se ha mantenido durante el primer semestre del 2024, situación esperable dada la tendencia general de descenso que mantiene

En comparación con el L5-10, el L4-12 ha mostrado una menor tendencia al descenso, probablemente debido a su proximidad a los cuerpos de agua del sistema. A pesar de esto, ha entrado en Fase I en dos ocasiones y, el 21 de enero de 2024, se activó por primera vez la Fase II desde que comenzaron los registros, situación que se mantuvo hasta mayo del 2024, cuando regresa a Fase I. Finalmente, a comienzos de junio del 2024 el nivel regresa por debajo del umbral de Fase I. Según se detalla en la carta GMAL 55/2024, que acompaña el informe de investigación entregado, la activación de la Fase II se ha atribuido a la extracción de salmuera y a la reducción en las precipitaciones que se viene registrando desde 2020.

En cuanto a L3-9, este indicador se mantiene oscilante y de forma muy estable (sin tendencia de ascenso o descenso) durante los años 2022 y 2023. Sin embargo, el primer semestre del 2024 muestra un leve descenso, menor a 0,1 m, pero manteniéndose siempre por debajo del umbral de Fase I (desactivada).

Figura 6-111: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia



6.2.3 SISTEMA BORDE ESTE - VEGETACIÓN HIDROMORFA

El Sistema Vegetación Borde Este cuenta con 3 subsistemas: Vegetación Hidromorfa, Brea-Atriplex y Alerta Temprana. A continuación, se describe cada uno de ellos por separado.

El PC del subsistema Vegetación Hidromorfa busca advertir, anticipar y evitar posibles afecciones que puedan producir las extracciones de agua industrial. Para ello, se tiene como indicadores de estado los pozos: L1-17, L2-4, L2-27, L3-5, L7-3 y la Reglilla L4-10.

Los puntos L1-17, L2-4, L2-27 y L7-3 se han analizado junto con los otros puntos del Sistema Soncor (apartado 6.1.1) y el punto L3-5 y la reglilla L4-10 en el Sistema de Aguas de Quelana (apartado 6.1.2). Los descensos calculados para estos puntos con respecto los umbrales se muestran en la Figura 6-112.

Los indicadores L1-17 y L2-27 activaron sus Fases I y II tres veces entre los años 2020 y 2022, debido a un cambio en el patrón de comportamiento en estas zonas cercanas a las zonas de vegas (Vegas de Carvajal y Vegas de Quelana) desde 2020, en donde los mínimos estacionales alcanzaron cotas históricas. Esta situación fue descrita en los informes PSAH N°27, 29 y 31 y los informes de investigación. Una de las causas activaciones se debe a los descensos vinculados a la extracción de los pozos de agua industrial. Sin embargo, también se plantea la posible existencia de otros factores que puedan estar influyendo en este reciente cambio de patrón. En el primer semestre del 2024, ambos indicadores activaron la Fase I en febrero y Fase II en marzo. Sin embargo, desde mayo de 2024 han mostrado una tendencia de ascenso del nivel, en donde el L1-17 desactivó la Fase II en mayo y el L2-27 en junio de 2024. En el indicador L7-3, que se encuentra al norte del Sistema Soncor, muestra una reducción en la tasa de descenso desde el inicio de los registros y 2021 (1 cm/año aprox.) y desde entonces se observa una señal de recuperación (ascenso), revertiendo el comportamiento. El comportamiento de este punto está ligado probablemente a la operación del pozo Allana, que redujo el caudal a la mitad en 2020 y desde 2021 se encuentra prácticamente sin operar. Durante el 2023, se produce un ascenso producto de las precipitaciones registradas, y el segundo semestre registra mínimos de descensos, pero sin sobrepasar las Fase I y Fase II. Finalmente, el primer semestre 2024 activó la Fase I en febrero 2024, desactivándose en abril 2024.

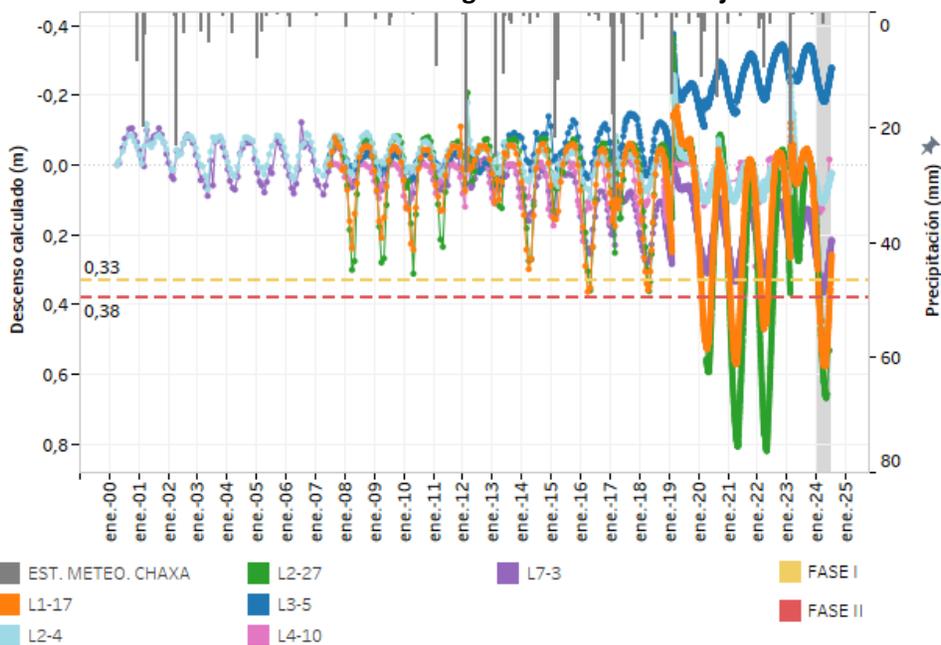
Por otro lado, el indicador L3-5 cambió la tendencia de los niveles a partir de las lluvias de 2019, volviéndose ascendente, cada año el mínimo estacional se encuentra más alejado de las fases del PC.

Durante el primer semestre de 2024 se mantuvo en la misma tendencia. Se desconocen las razones de este cambio de patrón, es probable que sea un efecto local ya que no se repite en puntos cercanos.

Por su lado, el punto L2-4, que se encuentra en el extremo sur de las vegas de Carvajal, ha venido reproduciendo la estacionalidad esperada para un pozo de la zona marginal, en donde se destaca como la amplitud de la oscilación se ha mantenido estable. No obstante, la tendencia ha ido variando en el tiempo: desde 2007 hasta 2010, la tendencia se ha observado estable (sin ascenso ni descenso). Posteriormente, entre 2011 y 2019, mostró una tendencia promedio de descenso (0,6 cm/año). Sin embargo, desde entonces hasta el primer semestre 2024, se observa cómo los niveles han vuelto a mostrarse estables, sin mostrar una tendencia definida y por sobre el umbral de las fases.

Finalmente, el punto L4-10, correspondiente a una reglilla del sistema Aguas de Quelana, ha demostrado, a modo general, una estabilidad a lo largo de su registro, y se ha mantenido en torno a la misma cota histórica durante el primer semestre de 2024. Además, se caracteriza por presentar una oscilación de mayor amplitud, respecto de los anteriores puntos descritos de la serie L4 (alrededor de 7 cm).

Figura 6-112: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia



6.2.4 SISTEMA BORDE ESTE - VEGETACIÓN BREA-ATRIPLEX

Los pozos del PC del subsistema Vegetación Brea-Atriplex, corresponden a los indicadores: L7-6, L1-3, L2-7, L2-28, L3-3, L4-7 y L9-1. Si bien los pozos L7-6, L2-7 y L4-7 no se encuentra en una zona de Vegetación Brea-Atriplex (ver Anexo 2), sí se ha mantenido su evaluación como indicadores de acuerdo con lo comprometido en la RCA N°226/2006.

Estos indicadores se han analizado en conjunto con los otros puntos del PSAH considerando el sistema hidrogeológico en el que se encuentran. De este modo, en el Sistema Soncor (apartado 6.1.1) se encuentra el análisis de los puntos L7-6, L1-3, L2-7 y L2-28; en el Sistema Aguas de Quelana (apartado 6.1.2) está el análisis de los indicadores L3-3 y L4-7; y L9-1 se ha analizado en el Sistema de Vegetación Borde Este.

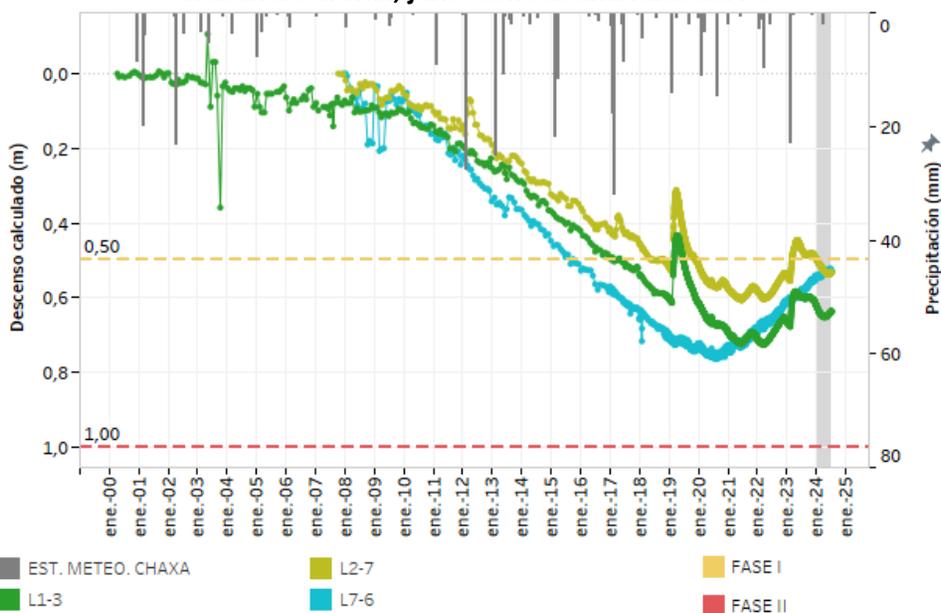
Cabe señalar que el pozo L7-6 se definió en la RCA como un pozo del PC para el resguardo del Sistema Vegetación Borde Este - Brea Atriplex. Sin embargo, durante la implementación se verificó que su ubicación no era idónea para el objetivo planteado, manteniéndose su monitoreo como parte del PSAH, pero siendo reemplazado como indicador de contingencia por otros pozos existentes más representativos (L7-14, L4-17, L9-2 y L2-25). En el marco del proceso sancionatorio iniciado por la SMA mediante Resolución Exenta N°1/Rol F-041-2016, SQM retoma el monitoreo de dicho pozo como parte del PC del Sistema Vegetación Borde Este.

Por otro lado, hay que recordar que el pozo L1-3 se reconstruyó durante el año 2012, producto de que el original fue tapado por un aluvión. Esta situación fue informada a través del Informe PSAH N°11/2012. Dado que el nuevo pozo supone una pequeña variación de las coordenadas y de la cota del punto de referencia (+0,183 m), se adiciona dicha diferencia a partir de marzo de 2012, a la "medición desde punto de referencia" inicial de mayo de 2007. El cálculo de los descensos, con respecto a los umbrales del PC de los puntos L7-6, L1-3 y L2-7, se muestran en la Figura 6-113. El punto L7-6 se encuentra sobre la transecta L7 que se sitúa inmediatamente aguas abajo del pozo Mullay-1, a unos 4 km de distancia. Este punto ha mostrado un comportamiento característico del acuífero aluvial, con un descenso continuo y sin presentar respuesta a eventos de precipitación y/o evaporación. No obstante, a partir de 2020 la tendencia del pozo cambió y comenzó a reproducir una pendiente ascendente. Este efecto se relaciona directamente con la reducción de la extracción de agua de los pozos Allana y Mullay-1, lo que confirma la efectividad de esta medida sobre el sistema (aunque esta se haya tomado independiente de las activaciones en el Borde Este).

Este indicador se encuentra en Fase I activada desde junio de 2015, situación que no se revirtió a la fecha de 2024. Sin embargo, debido a su tendencia ascendente se prevé pueda desactivar esta fase.

Los indicadores L1-3 y L2-7 se ubican en la parte distal del acuífero aluvial, aguas abajo de los pozos Mullay-1 y Allana. Estos puntos históricamente han presentado un comportamiento del tipo aluvial, al igual que el L7-6, con tendencia de descenso continuo y sin mostrar algún efecto proveniente de los eventos de lluvia o de evaporación. Sin embargo, al igual que el pozo L7-6, a partir de 2020, cesó el descenso y los pozos se estabilizaron (sin pendiente de ascenso o descenso) e incluso mostraron oscilación estacional, junto con *peak* asociados a los episodios de lluvia. Ambos indicadores activaron Fase I en 2019 (junio L1-3 y diciembre L2-7). No obstante, en febrero de 2023 se denotó un cambio en el patrón de los niveles producto de la disminución de la extracción de agua, y el pozo L2-7 mostró un *peak* de recarga procedente de los episodios de lluvia registrada en 2023, lo que produjo la desactivación de la Fase I. Lo que se mantuvo hasta febrero de 2024, cuando L2-7 nuevamente activa la Fase I hasta la fecha. Por su parte, el pozo L1-3 ha permanecido con la Fase I activada desde junio de 2019, mostrando un patrón de nivel ascendente, con evidentes respuestas frente a precipitaciones.

Figura 6-113: Descensos de los indicadores de Vegetación Brea-Atriplex con comportamiento asociado al acuífero aluvial, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia



En los puntos L2-28, L3-3 y L9-1 se ha observado un comportamiento transicional entre el acuífero aluvial y en la zona marginal, relacionada con la zona de interfaz salina (Figura 6-114). Estos puntos se caracterizan por presentar oscilaciones estacionales junto con un descenso promedio de los niveles.

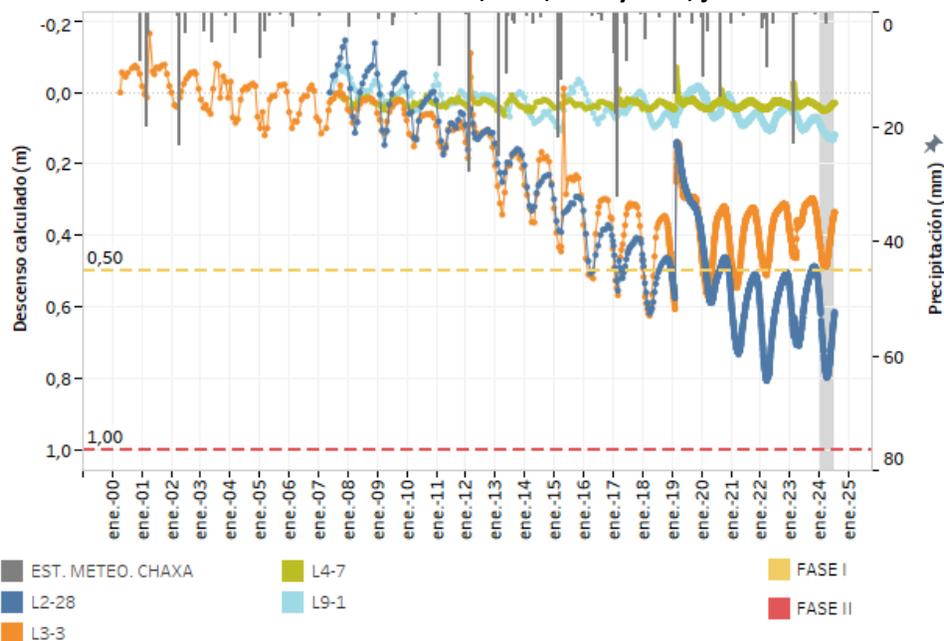
El indicador L2-28 se ubica aguas abajo del área comprendida entre los pozos Allana y Camar-2. En el pasado, este pozo mostraba una marcada oscilación con una tendencia descendente constante. Sin embargo, a partir de 2020, se observa un cambio en el patrón, ya que en general, el pozo deja de descender y los máximos estacionales, por ejemplo, se empiezan a registrar en cotas similares cada año (ver años 2021 y 2022). Este cambio se relaciona principalmente con la reducción de las extracciones de agua en el acuífero aluvial, tanto por parte del pozo Mullay-1 como del pozo Allana, así como también por la detención del Camar-2. Este indicador produjo diversas activaciones (y desactivaciones) de Fase I durante los ciclos estacionales a partir de 2017, y desde 2020 los niveles se mantuvieron por debajo del umbral de Fase I. En septiembre del 2023 se produjo una desactivación de la Fase I, durante el ascenso hacia el máximo estacional registrado, para volver a activarse en noviembre de ese mismo año, permaneciendo activado hasta la fecha de cierre del primer semestre 2024.

Por su parte, el L3-3 se sitúa sobre la transecta L3, inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto ha mostrado históricamente un comportamiento transicional entre el aluvial y el de la zona marginal, con una pendiente de descenso y una oscilación propia de la estacionalidad. No obstante, a partir de 2018 y más evidentemente, después de la recuperación de las lluvias de febrero 2019, el punto revirtió su tendencia y empezó a ascender, manteniendo la oscilación estacional. Este efecto se relaciona directamente con la detención del pozo Camar-2, que cesó su actividad de forma definitiva el año 2018. Este indicador ha activado y desactivado Fase I en varias ocasiones a partir del año 2017, debido a que los mínimos estacionales han sobrepasado el umbral de activación. No obstante, a partir de 2022, el mínimo estacional registrado no sobrepasó el umbral de Fase I y en base a esto, se ha interpretado que el cese del pozo Camar-2 ha sido efectivo sobre el sistema.

Con respecto al indicador L4-7, este se sitúa sobre la transecta L4, aguas abajo del pozo Socaire-5. En términos generales, este punto se ha mantenido históricamente estable (sin ascenso ni descenso) y oscilante. Sus niveles se han mantenido normalmente por sobre del umbral de Fase I, 50 cm en promedio.

Finalmente, el L9-1 se sitúa aguas abajo del pozo CA-2015 y muestra un comportamiento que se ha identificado en los sistemas anteriores y que ha sido definido como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, ya que presenta una oscilación poco regular. La tendencia de descenso se observa más evidentemente en el período comprendido entre 2007 y 2015, con una pendiente promedio de 1,3 cm/año. A partir de marzo de 2015, este indicador comenzó a fluctuar con máximos y mínimos a distintas cotas cada año y con una tendencia estable, lo que le confiere un comportamiento distinto respecto del período anterior. No obstante, desde 2015 hasta el actual semestre reportado este indicador se ha mantenido unos 40 cm por sobre el umbral de Fase I.

Figura 6-114: Descensos de los indicadores L2-28, L3-3, L9-1 y L4-7, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia



6.2.5 SISTEMA BORDE ESTE - ALERTA TEMPRANA

Los pozos del subsistema Alerta Temprana están ubicados en el límite oriental del Sistema de Vegetación Borde Este, al este del Sistema Vegetación Brea-Atriplex. Estos pozos permiten observar anticipadamente los posibles efectos del bombeo de agua sobre las formaciones vegetales protegidas. Cabe señalar que, los indicadores de estado fueron analizados de forma conjunta en función de su ubicación con respecto los sistemas hidrogeológicos de la siguiente forma: L7-13 y L2-25 (Sistema Soncor), L4-3 y L3-11 (Sistema Aguas de Quelana), y L9-1 (Sistema Vegetación Borde Este).

Como ya se ha descrito, el pozo L4-3 modificó su tendencia de descenso en el 2014. Desde entonces ha reproducido un ascenso permanente, que se mantiene durante el primer semestre de 2024 tal como se observa en la Figura 6-115. Este comportamiento es considerado anómalo al ser comparado con el resto de los pozos vecinos.

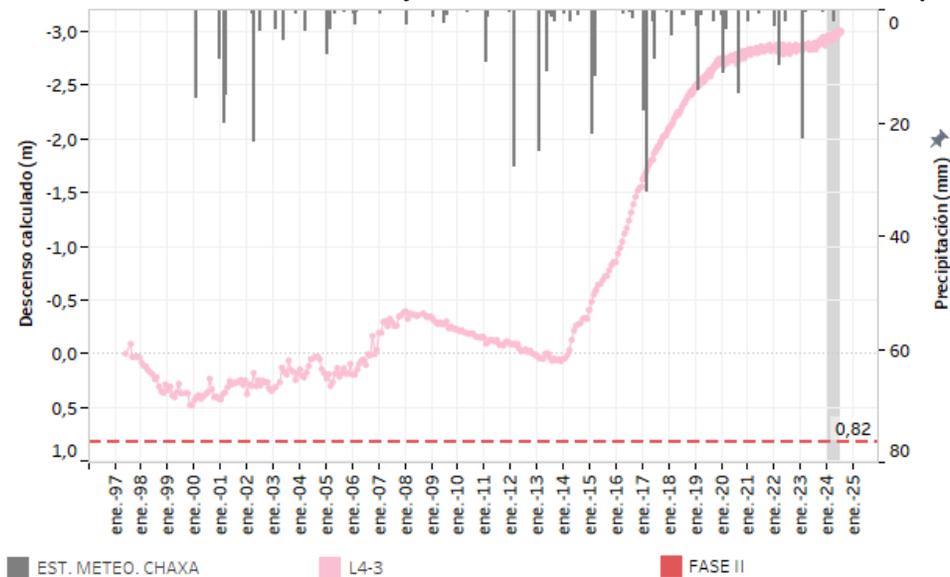
Respecto al punto L2-25, ubicado en el extremo oeste del acuífero aluvial, presenta un comportamiento transicional entre la Zona Aluvial y la Zona Marginal (Figura 6-116). Concretamente, en su serie histórica este punto muestra un ascenso continuo y estable del nivel. Al cierre de este reporte, el indicador L2-25 se mantiene alrededor de 1 m sobre del umbral de Fase II. Cabe destacar que, en el marco del PC se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, correspondiente a un descenso de 1 m.

En cuanto al punto L7-13, situado sobre el acuífero aluvial del Sistema Soncor, muestra el comportamiento típico asociado a esta zona; con una tendencia de descenso sin oscilaciones estacionales (Figura 6-117). En base al registro histórico, se identificó que el pozo presentaba un descenso constante hasta el 2020; sin embargo, a mediados de 2021, el nivel disminuyó su pendiente de descenso y mostró una aparente estabilización del nivel. Desde esta última fecha, el punto L7-13 ha mostrado una tendencia de ascenso del nivel más evidente, posiblemente relacionado con la disminución en la extracción del acuífero aluvial. Al cierre del primer semestre de 2024, este indicador se encuentra a 81 cm por sobre del umbral establecido. Cabe mencionar que, en el marco del PC se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso de 1,25 m.

Por último, los puntos L3-11 y L9-1 se muestran en conjunto debido a que comparten el mismo umbral, pese a que se encuentren en sectores distintos (Figura 6-118). Por su parte, el indicador- L9-1 se encuentra

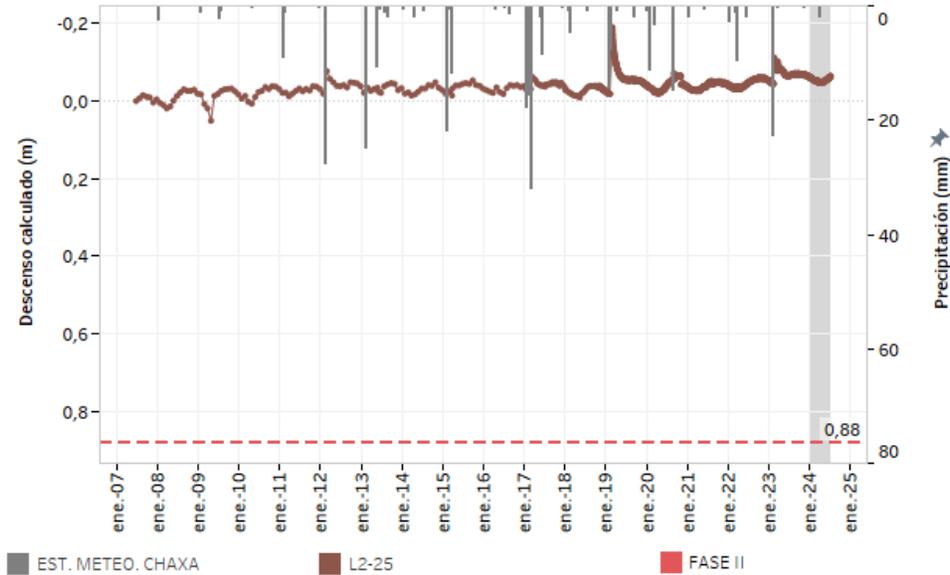
en el Sistema Vegetación Borde Este, en el extremo del acuífero aluvial, aguas abajo del pozo CA-2015; mientras que el punto L3-11 se ubica en el Sistema Aguas de Quelana, en la zona enmarcada entre la interfaz salina y el núcleo. Lo anterior, denota que este último punto no es representativo como indicador de estado de la Vegetación del Borde Este. De todas formas, como compromiso ambiental adquirido en la RCA se mantiene dicho punto dentro del PC. Por otra parte, el indicador L9-1 ha mostrado un comportamiento oscilatorio y con una tendencia estable, con leves variaciones alrededor de la misma cota. Durante el primer semestre de 2024, el indicador se mantiene en torno a unos 78 cm por debajo del umbral de activación. Cabe mencionar que, en el marco del PC se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso 0,86 m.

Figura 6-115: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC



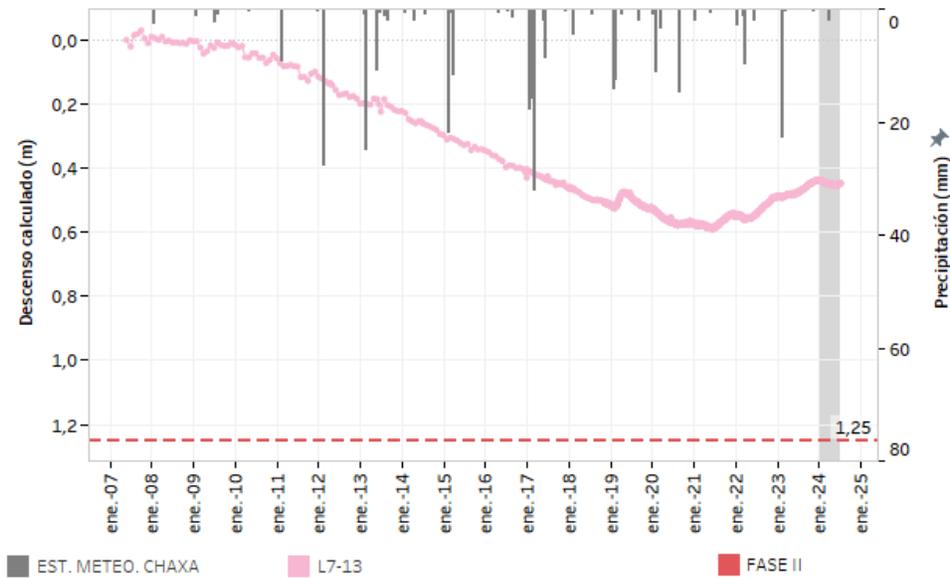
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-116: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC



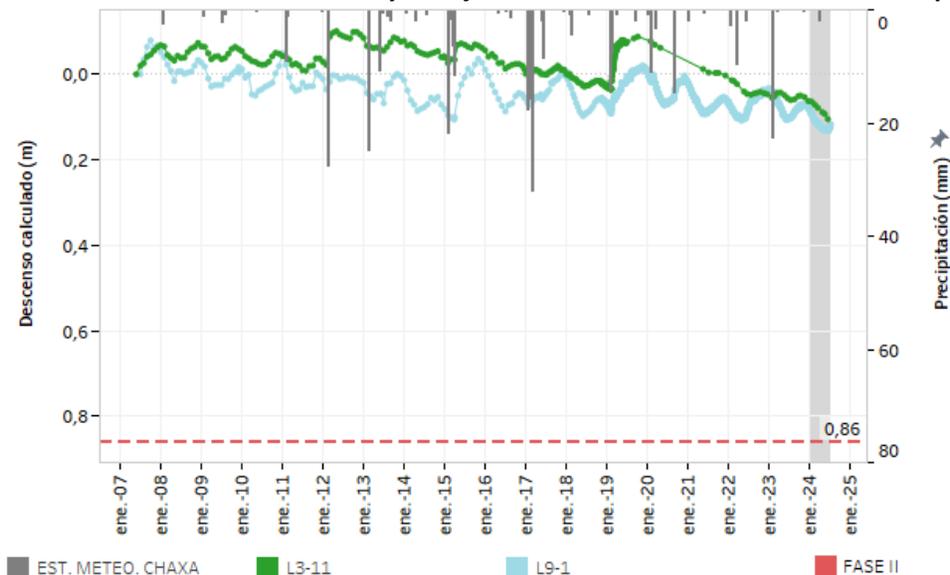
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-117: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-118: Descenso indicadores L3-11 y L9-1 junto al umbral subsistema Alerta Temprana del PC



Fuente: Elaboración propia

6.2.6 INDICADORES DE ESTADO SISTEMA PEINE

Tal como se especifica en el PdC presentado a la SMA, se comprometió aplicar los umbrales de activación de Fase I y/o II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto aprobado por la RCA N°226/2006 (pozos 1028, L10-11 y L10-4), como a los pozos PN-05B y PN-08A establecidos en el considerando 10.18 de la RCA N°21/16²⁷.

Para los pozos pertenecientes al plan de seguimiento contemplado en la RCA N°226/2006 (pozos 1028, L10-11 y L10-4), el PdC propone el contraste entre las mediciones efectuadas a partir de octubre de 2018, respecto a los umbrales establecidos (umbrales variables anualmente en forma escalonada). Para el caso de los pozos PN-05B y PN-08A de la RCA N°21/16, la adopción de medidas de control se condiciona al aviso

²⁷ Asimismo, mediante Resolución Exenta 1367/2020, de 6 de agosto de 2020, la aplicación de estos umbrales de activación para los indicadores de estado mencionados fue ordenada como medida provisional por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente, medida que fue renovada mediante Resolución Exenta 2141/2020, de 28 de octubre de 2020 y Resolución Exenta N° 962/2021, de 30 de abril de 2021.



por parte de la SMA a SQM de la activación de Fase II. Cabe señalar que durante el primer semestre de 2021 no se recibieron avisos por parte de la SMA relativos a la activación de Fase II de estos pozos.

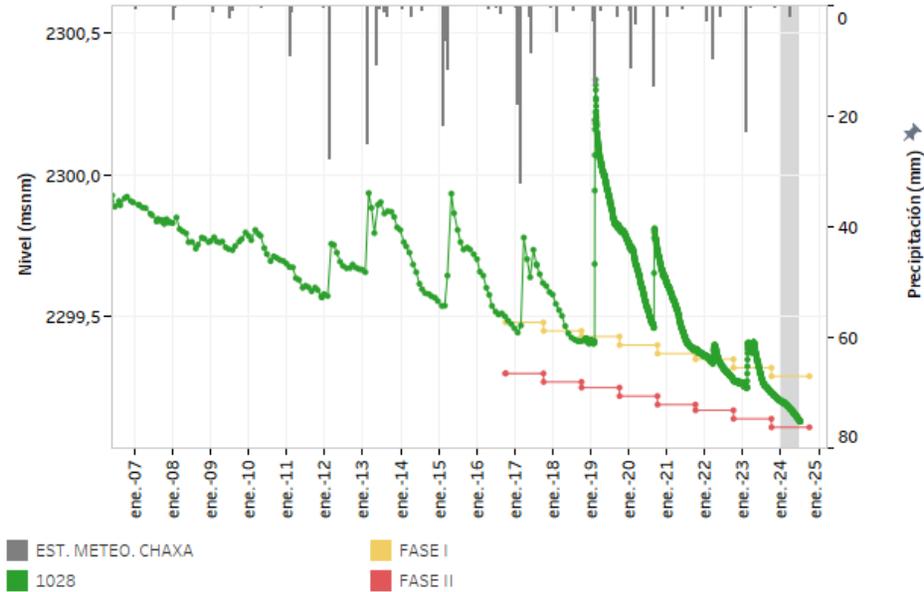
Como se ha mencionado, los umbrales de los indicadores 1028, L10-11 y L10-4 son escalonados y varían de forma anual, disminuyendo la cota los meses de septiembre de cada año; el cambio de escalón se produce los segundos semestres de cada año, por lo que, en el actual semestre no hay cambio de escalón.

El pozo 1028 se encuentra cercano al punto de desborde de Interna, pero según el análisis efectuado con el resto de los pozos del PSAH del Sistema Peine, este punto muestra un comportamiento relacionado con el núcleo (sección 6.1.4), con tendencia general de descenso y respuesta a eventos de lluvia. Desde el año 2022, este indicador ha registrado varias activaciones de Fase I (febrero 2022, mayo 2022, mayo 2023). El indicador se mantiene activo hoy en día, desde que sobrepasó el umbral en mayo de 2023, muestra una marcada tendencia al descenso y actualmente se encuentra cercano al umbral de la Fase II (Figura 6-120).

El indicador L10-11 (Figura 6-120) también se encuentra en el núcleo, con el consecuente patrón de comportamiento de nivel, igual que el anterior pozo descrito (1028). El comportamiento observado en este pozo es totalmente análogo al 1028. El indicador L10-11 sobrepasó el umbral de Fase I en septiembre de 2021 y abril de 2022. Desde esta última fecha, el indicador permaneció activado hasta que en el período comprendido entre febrero y mayo de 2023 se produjo la temporal desactivación tras el peak de ascenso del nivel asociado con las lluvias registradas durante estos meses. Posteriormente, este indicador activó de nuevo la Fase I en mayo de 2023, manteniendo la tendencia descendente desde entonces. En junio de 2024, este indicador sobrepasó el umbral de la Fase II por primera vez.

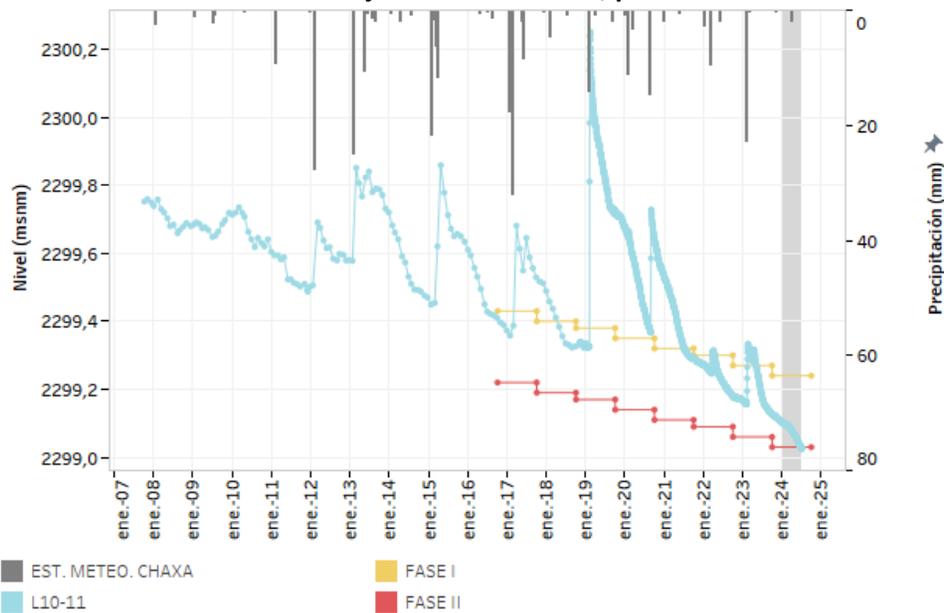
Por su parte, el L10-4 (Figura 6-121) se encuentra en el extremo de la zona marginal, cercano al núcleo, por lo que, a partir del análisis de niveles, se ha podido ver que este punto muestra un comportamiento transicional entre la zona marginal y el núcleo, aunque dada su proximidad al núcleo, se registran variaciones muy similares al resto de puntos caracterizados como núcleo. De forma análoga a los dos indicadores anteriores, el punto L10-4 activó la Fase I en mayo de 2022 y permaneció así hasta el primer semestre de 2023, en donde debido al peak de lluvias registrado estos meses se produjo la temporal desactivación. Finalmente, en junio de 2023 el nivel sobrepasó nuevamente el umbral de activación de la Fase I y al cierre de este segundo semestre reportado permanece activa dicha fase.

Figura 6-119: Niveles medidos en 1028 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine



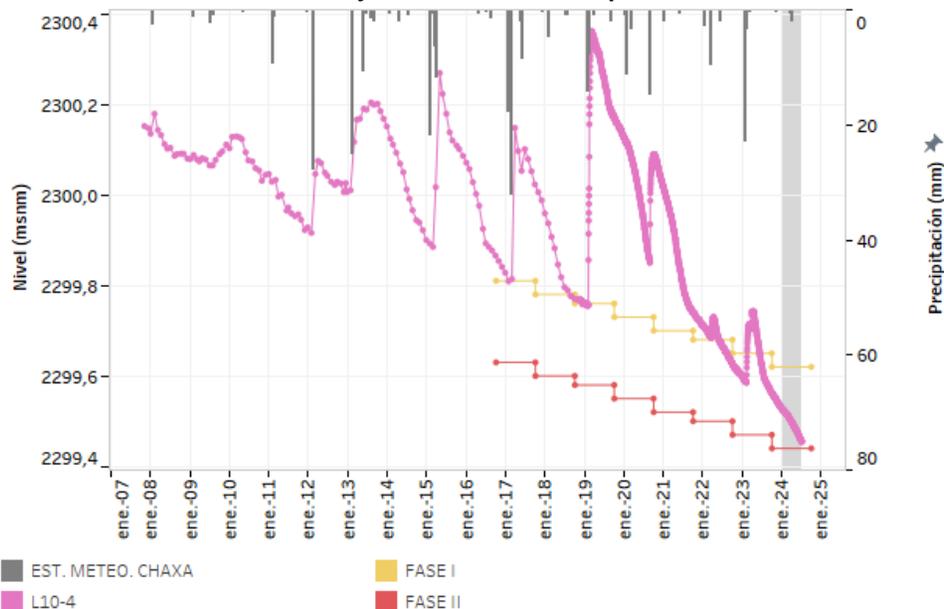
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-120: Niveles medidos en L10-11 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-121: Niveles medidos en L10-4 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

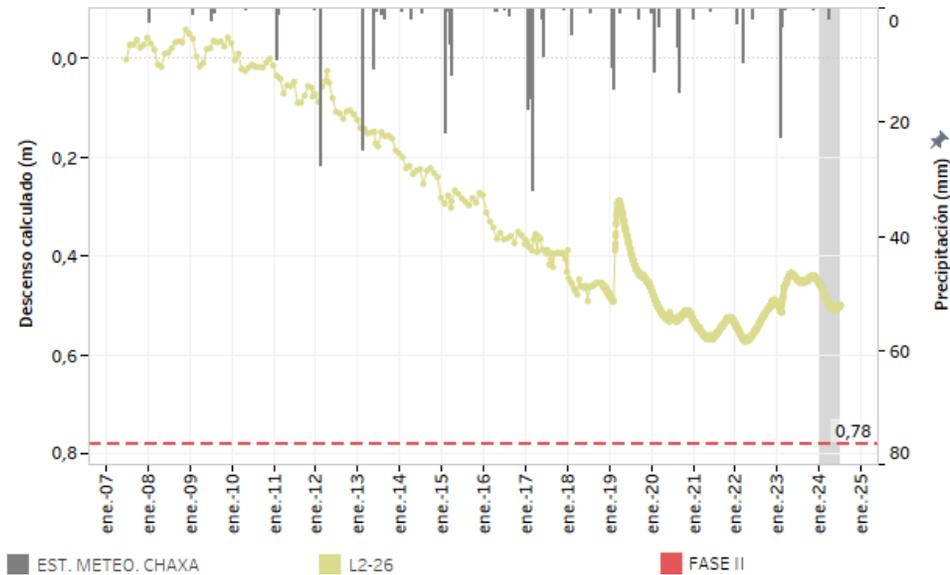
6.2.7 POZOS ADICIONALES AL PLAN DE CONTINGENCIA

Tal como se mencionó en la sección 4.3.8, con el fin de incrementar los resguardos sobre el Sistema Borde Este, SQM ha incluido en forma complementaria al PC, el monitoreo de 6 pozos que forman parte del PSAH, como indicadores adicionales a los establecidos en la RCA N°226/2006. Estos pozos son: L7-14, L4-17, L9-2, L2-25 (asociados al subsistema Borde Este – Vegetación Brea-Atriplex) y L2-26 y L3-15 (asociados al subsistema Borde Este – Alerta Temprana). En la sección 6.1.1 los indicadores fueron abordados de la siguiente forma: L7-14, L2-25 y L2-26 (Sistema Soncor), L4-17 y L3-15 (Sistema Aguas de Quelana), y L9-2 (Sistema Vegetación Borde Este).

Respecto del L2-26 (Figura 6-122), se ubica sobre la transecta L2, aguas abajo del pozo Allana. Este corresponde a uno de los tantos puntos que han modificado su comportamiento por la reducción de las extracciones de agua, ya que desde 2020 ha pasado a reproducir un patrón similar a la Zona Marginal, cuando antes se relacionaba más al descenso esperado para el acuífero aluvial. De hecho, a partir de 2022, dicho punto comenzó a reproducir una tendencia de ascenso, probablemente asociada a la detención del

pozo Allana (2021). Durante el primer semestre de 2024, el indicador L2-26 ha reflejado una tendencia de descenso, pero posicionándose al menos 25 cm debajo del umbral de Fase II (desactivada).

Figura 6-122: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC

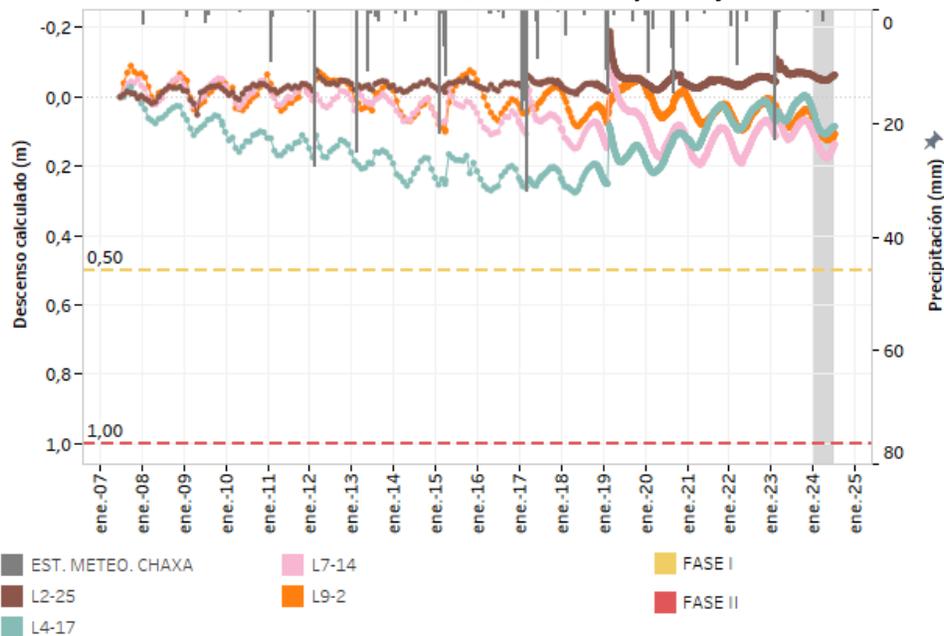


Fuente: Elaboración propia

El resto de los puntos de este grupo muestran una transición entre el acuífero aluvial y la Zona Marginal. Estos puntos se muestran en distintos gráficos puesto que poseen distintos umbrales de activación definidos en el PC. Por consiguiente, en la Figura 6-123 se grafican los descensos históricos del L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 y en la Figura 6-124 el L3-15.

Respecto al primer grupo (Figura 6-123), para estos indicadores se asimilaron los límites de activación de Fases del subsistema Vegetación Brea-Atriplex. Así, desde el 2007 hasta la fecha, ningún pozo ha descendido más allá del límite de Fase I. Sin embargo, desde 2020 empezó a mostrar una tendencia de ascenso, debido al efecto de la reducción en las extracciones de agua, como ha ocurrido en la totalidad de pozos de este sector. Dicha tendencia se ralentiza durante el primer semestre de 2024, pero no se espera que esta sea la tendencia general, aunque esto deberá confirmarse en futuros informes.

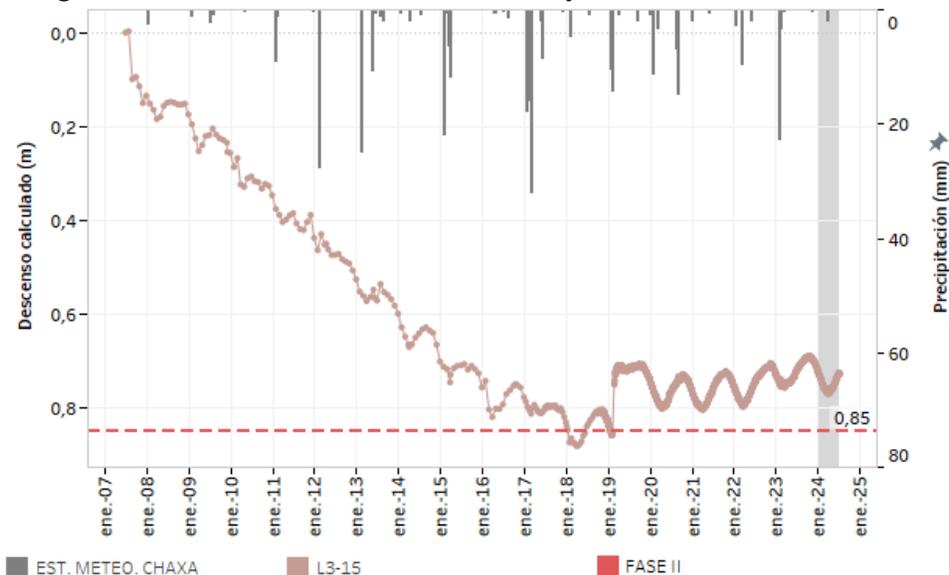
Figura 6-123: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia

El indicador L3-15 (Figura 6-124) se ubica aguas abajo del área que comprenden los pozos Allana y Camar-2. Este pozo muestra un comportamiento mixto, entre el propio de la Zona Marginal y el acuífero aluvial, que ha reaccionado a las reducciones en la extracción de agua con un cambio en su tendencia, pasando a reproducir un patrón ascendente desde 2020. Para este indicador, se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, con un umbral de descenso de 0,85 m. Al término del primer semestre de 2024, el nivel se ha encontrado al menos a 12 cm debajo del umbral (desactivado), y si se mantiene el comportamiento ascendente esta distancia seguirá en aumento.

Figura 6-124: Descenso del indicador L3-15, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia



7 CONCLUSIONES

El Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) asociado a la RCA N°226/2006 cubre una amplia extensión espacial, con 225 puntos de monitoreo en los que se registran 35 parámetros diferentes, con diversas frecuencias de medición en función del punto, variable y parámetro objeto de control (desde medición continua a frecuencia semestral). El PSAH permite monitorear el comportamiento hidrogeológico del Salar de Atacama, proporcionando información crucial para la protección de los sistemas lacustres y vegetativos, así como también para mejorar el conocimiento del sistema hidrogeológico de la cuenca. Esta información sustenta las actualizaciones del modelo hidrogeológico comprometidas en la RCA N°226/2006.

Durante el período semestral reportado, comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio del año 2024, se llevaron a cabo campañas de monitoreo de todos los puntos incluidos en el PSAH, de acuerdo con la frecuencia especificada. Sin embargo, no fue posible obtener resultados en varios puntos de control, debido a las restricciones de acceso, que se documentan y detallan en el Capítulo 5 de este informe. La causa principal de la disminución en el volumen de información levantada fue la restricción de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF) para los Sistemas de Soncor y Aguas de Quelana, la falta de autorización de ingreso a las zonas sensibles del Sistema Peine, Tilopozo y sector Tambillo por parte de sus respectivas comunidades, y la imposibilidad de realizar actividades de monitoreo a los puntos del Plan de Contingencia (PC) durante el mes de enero debido a la contingencia por bloqueos de caminos realizada por los Pueblos Atacameños en algunos accesos al Salar de Atacama.

A continuación, se describen las principales conclusiones de las variables de seguimiento y del estado del Plan de Contingencias.

De los niveles de agua/salmuera subterránea

De acuerdo con la información de niveles registrada durante este semestre, todos los pozos han mostrado un comportamiento hidrogeológico coherente con su localización y distribución, presentando patrones de las zonas Núcleo, Marginal y Aluvial, así como influencias por agua superficial y comportamientos transicionales asociados.



Los puntos de monitoreo situados en la zona norte del acuífero aluvial, en su parte distal, y en la zona marginal han mostrado cambios en el patrón de los niveles tras el cese del bombeo en el pozo Camar-2 (2018) y la disminución de la extracción en los pozos Mullay-1 y Allana. En efecto, se han observado cambios en las tendencias de descenso del acuífero aluvial, con aparentes estabilizaciones del nivel que, en algunos casos, reflejan comportamientos típicos de la zona marginal (oscilación estacional y respuesta a episodios puntuales de lluvias). Además, en la zona de transición aluvial-marginal, varios puntos han revertido su tendencia histórica, pasando de descenso a ascenso. Lo anterior, confirma que el acuífero aluvial se extiende lateralmente hasta dicho sector y que los conos de descenso de los pozos de agua industrial se encuentran solapados entre sí.

Es importante señalar que los tiempos y la magnitud de la respuesta a los cambios en las extracciones de agua (en este caso, la detención del Camar-2 y la reducción del caudal) han variado en toda la parte distal del acuífero aluvial y al inicio de la zona marginal. Esta zona se caracteriza por una interdigitación entre depósitos sedimentarios finos y gruesos, clásticos y evaporíticos, y expone la heterogeneidad en las propiedades hidráulicas conferidas por los materiales que la componen.

Durante el primer semestre de 2024, no se han registrado eventos de precipitación de importancia que recarguen de forma directa el Salar de Atacama (precipitación nula en KCL (Soncor), y en CHAXA (Núcleo) precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de tres eventos de precipitación ocurridos durante febrero y abril).

En el Núcleo del Salar, el patrón de los niveles ha mostrado históricamente una pendiente de descenso típica, sin estacionalidad y con alta sensibilidad a eventos de precipitación, que se asocia a aportes por recarga directa. Un efecto observado comúnmente es un aumento centimétrico en el nivel, seguido por un descenso gradual.

Respecto a los puntos ubicados en la Zona Marginal, presentan comportamientos diversos que varían según su ubicación, proximidad a pozos de bombeo (conos de descenso), distribución de las características hidráulicas asociadas a la litología de la cuenca, topografía (gradiente hidráulico), entre otros factores. En esta zona se ha identificado que la recarga ocurre de forma directa y lateralmente (origen subterráneo).



Finalmente, los pozos que se encuentran en la Zona Aluvial presentan un patrón histórico de descenso, con diferencias topográficas significativas en algunos casos. Generalmente, sus niveles no responden significativamente a eventos de lluvias, pero sí se ven influenciados por los conos de descenso generados durante el bombeo, según su proximidad al pozo de bombeo.

De los niveles de agua superficial

En el Sistema Soncor, los niveles de agua superficial han mostrado un patrón global que se ha mantenido relativamente estable en el tiempo, con oscilaciones estacionales. En particular, los niveles de la Reglilla Puilar CONAF experimentaron una leve tendencia de descenso en el periodo histórico, ligada a la variabilidad y dinámica del sistema lagunar. En el caso del punto L7-G2 (Reglilla y Pozo), se han observado sucesivos períodos de descensos y ascensos debido a períodos secos y húmedos, acentuado a su vez por la cercanía a la surgencia de agua que alimenta el canal de recarga de la Laguna Puilar.

Respecto a los niveles medidos en Puente San Luis (Reglilla y Pozo) y Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF), ambas mediciones para cada punto muestran el mismo patrón oscilatorio. Desde 2013 en adelante, los niveles han mostrado una tendencia al aumento continuo hasta el cierre de este semestre, con las oscilaciones estacionales marcadas. En cuanto a la Reglilla Chaxas, los niveles presentan un patrón análogo al general, con leve tendencia a la disminución de los mínimos, y una mayor amplitud de registros desde 2015 en adelante. Sin embargo, desde 2017, el nivel en promedio se ha mantenido relativamente estable.

En la Reglilla Barros Negros (SQM y CONAF), resulta complejo definir una tendencia con certeza debido a la existencia de vacíos de información, producto del cierre de la reserva durante las épocas de nidificación. Sin embargo, desde 2021, se ha reflejado un comportamiento descendente asociado con el aumento de la extensión lacustre hacia el Desborde Sur.

Por último, entre las lagunas Chaxa y Barros Negros existe una diferencia de nivel que se ha mantenido estable y que a su vez ha favorecido el flujo de agua mediante el canal de Burro Muerto; y el punto L7-G1, situado entre ambas lagunas, evidencia la oscilación estacional, con tendencia al descenso desde 2021.

En el Sistema Aguas de Quelana, los niveles muestran un comportamiento asociado a la interacción entre los cuerpos lagunares y el acuífero aluvial, influenciados por la presencia de surgencias de agua



subterránea vinculados a la dinámica de la cuña salina. En términos generales, los niveles describen un comportamiento oscilatorio estacional y una tendencia estable (ni ascenso ni descenso). Es posible que el comportamiento de algunos de los puntos de monitoreo de este sistema se relacione con la extracción de agua industrial ya que en este sector las condiciones hidráulicas son heterogéneas.

En el Sistema Peine, la Reglilla Salada ha mostrado registros estables durante todo el período de mediciones. Algunas mediciones han registrado valores anómalos (por debajo de este rango histórico de variabilidad), lo cual ha sido vinculado a variaciones en los bordes del cuerpo lagunar (presencia de precipitados o aumento de la sedimentación). En la Reglilla Saladita, los niveles han mantenido una fluctuación alrededor de una cota estable. Respecto a la Reglilla Interna, registra mediciones hasta marzo de 2015 debido a que el área de descarga no ha cubierto la ubicación del punto de monitoreo.

Finalmente, en el Sector Vegas de Tilopozo, el único punto de monitoreo (Reglilla Tilopozo) ha mostrado históricamente un comportamiento oscilatorio estacional con una marcada tendencia de ascenso, y desde 2018 una mayor amplitud entre los máximos y mínimos registrados.

En términos general, los niveles de agua superficiales muestran un comportamiento oscilatorio influenciado por la estacionalidad, debido a la recarga y evaporación directa del sistema, y presentan una tendencia relativamente estable a lo largo del tiempo.

En particular, la tendencia observada en cada punto de monitoreo (ya sea de ascenso, descenso o estabilidad) ha sido afectada por la dinámica y variabilidad del sistema lagunar. Factores como la movilidad de los flujos de agua sobre la superficie, la proximidad a sectores con surgencia de agua y la extensión de la superficie lacustre han desempeñado un papel crucial en esta influencia.

Del plan de contingencias

En el Sistema Soncor, los indicadores L1-5 y L1-G4 Reglilla han permanecido con la Fase II del PC activada desde abril de 2021 debido a que la tendencia de descenso de este sector está influenciada por la merma en la infiltración aportante desde los desbordes de Barros Negros a partir de 2012. En concreto, el Desborde Cola de Pez derivó algunos encharcamientos aislados, cercanos a los indicadores mencionados. Sin embargo, estos fueron desapareciendo a partir de cambios en el patrón de desbordes desde el oeste



hacia el sur. Esta migración de los desbordes es identificable en las imágenes satelitales históricas y evidencian que su origen reside en cambios en la topografía de los bordes lagunares y algunos lóbulos de depositación de sedimentos (Le Roux, 2017, 2018). El comportamiento de descenso en ambos indicadores (L1-5 y L1-G4 Reglilla) ha sido afectado por los eventos de precipitación, siendo el último de mayor intensidad en febrero de 2023. Sin embargo, durante el primer semestre de 2024, la tendencia de descenso continúa, y ninguno de los dos indicadores ha salido de Fase II.

Respecto del indicador L1-4, se activó la Fase II del PC por primera vez en enero de 2022 y tras las lluvias de febrero de 2023 se produjo la desactivación de ambas fases. Seguidamente, este punto volvió a activar la Fase I y luego, la Fase II en noviembre de 2023, la cual ha permanecido activada durante el primer semestre de 2024 debido a la ausencia de precipitaciones importantes. Cabe destacar que, este punto al estar desconectado hidráulicamente del acuífero aluvial, no se considera un buen indicador de estado para el seguimiento de los efectos provenientes de la extracción de agua. Por otro lado, el informe de efectividad de la medida que se realizó debido a la activación de 2022 da cuenta de que los pozos del acuífero aluvial y aquellos que se encuentran cercanos sí están mostrando respuesta a la reducción de extracción de agua.

En el Sistema Aguas de Quelana, los indicadores de salmuera, L5-10 y L4-12 sobrepasaron los umbrales de Fase II. Por su parte, el L5-10 desde los inicios de registros de nivel ha mostrado fluctuaciones asociadas a recargas puntuales y con una tendencia general al descenso, y durante el primer semestre de 2024 se mantiene la Fase II del PC activada. Este pozo es particularmente sensible a las condiciones estacionales, mostrando picos en invierno y valles en verano, lo que ha generado activaciones y desactivaciones sucesivas de las Fases I y II desde su activación inicial (2022). Por otra parte, el pozo L4-12 activó la Fase II por primera vez en enero de 2024, la cual se mantuvo hasta mayo, desactivándose la Fase II en junio.

En el Sistema Vegetación Borde Este, los pozos L1-17 y L2-27 activaron sus Fases I y II tres veces entre los años 2020 y 2022 producto de un cambio en el comportamiento en estos sectores desde 2020, cercanos a las Vegas de Carvajal y Vegas de Quelana, en donde los mínimos estacionales se registraron a cotas más bajas. Durante el primer semestre de 2024, ambos indicadores activaron la Fase I en febrero y seguidamente, activaron la Fase II en marzo del presente año. Sin embargo, el L1-17 desactivó la Fase en



mayo y el L2-27 en junio de 2024. Cabe indicar que, ambos pozos han venido registrando mínimos históricos.

En el Sistema de Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex los indicadores de estado L7-6, L2-7, L1-3 y L2-28, se han mantenido con la Fase I activada desde 2020 hasta la actualidad (L7-6 desde 2016). En general, la mayoría de los puntos muestran ascensos de nivel tras eventos de precipitación, a excepción del indicador L7-6. Estos puntos se encuentran en un área influenciada por la reducción de las extracciones de los pozos Mullay-1 y Allana y, en consecuencia, sus niveles han tendido a estabilizarse y/o a ascender.

En el Sistema Peine, los indicadores 1028, L10-11 y L10-4, se encuentran sobre el núcleo (o muy próximo a este, en el caso del L10-4), por lo que muestran un comportamiento característico de este sistema. Los tres indicadores se han mantenido en activación de la Fase I desde el semestre anterior. Sin embargo, el indicador L10-11 activó la Fase II recientemente en junio de 2024. El informe de investigación correspondiente a esta activación será entregado a la autoridad en la fecha estipulada, y antes del cierre de este informe, se activó sobrepasó el umbral de la fase II en el pozo 1028, lo que se detallará en el próximo informe del PSAH

En relación con los indicadores de estado PN-05B y PN-08A del PAT Sector Alerta Núcleo de Albemarle, hasta la fecha, SQM no ha recibido notificación alguna por parte de la SMA sobre la activación durante el primer semestre 2024 de ninguno de los dos pozos (PN-05B y PN-08), por lo que se entiende que no hubo activación de la Fase II en estos indicadores.

De las variables meteorológicas

El análisis histórico de las variables meteorológicas considera la medición de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, variables que condicionan en distinta medida el comportamiento de los niveles del PSAH. El registro histórico de precipitación muestra un cambio de tendencias en el tiempo, diferenciándose dos períodos. Durante el primer periodo, entre el 2007 y el 2011, se registraron pocos eventos de precipitación, mientras que, en forma posteriormente se observa un incremento de éstas, no obstante, se producen como eventos puntuales de lluvias intensas en algunos años (2012, 2015, 2017, 2019 por ejemplo) por lo que no es un incremento lineal. Durante el periodo a reportar, se han registrado eventos de precipitación en las estaciones Chaxa y KCL, acumulando 3,2 mm y 0 mm respectivamente.



La serie histórica de evaporación diaria y temperatura media diaria, tanto en la estación Chaxa como en KCL, se observa una marcada oscilación estacional, donde las mayores magnitudes se observan en los meses de verano. En el primer semestre de 2024 el promedio observado de estos parámetros se encuentra sobre el promedio histórico. Por su parte, la velocidad del viento en ambas estaciones muestra variabilidad estacional, con una tendencia a la disminución de los valores del primer semestre de 2024, respecto a los promedios históricos recientes. Esta información es crucial para entender las dinámicas ambientales en Chaxa y KCL, las que podrán desarrollarse a medida que se cuente con mayor disponibilidad de datos en estas estaciones meteorológicas.

De la extensión lagunar

Para el primer semestre de 2024 en el sistema Soncor (Laguna Puilar, Barros Negros y Laguna Chaxa) se realizó la medición de superficie lacustre vía imagen satelital con frecuencia trimestral, según corresponde al compromiso trimestral definido en el Programa de Cumplimiento (PdC). Además, se complementó con información generada en terreno sobre la base de puntos de control mediante estacas perimetrales. En el mes de enero no fue posible el acceso a estos sectores debido a restricciones de ingreso por periodo reproductivo de flamencos, lo cual impidió el desarrollo de trabajos de medición de superficie lacustre. No obstante, en el mes de abril sí se contó con los permisos para ingreso a la zona.

La superficie lacustre estimada para Piular en el primer semestre de 2024 indica un incremento del 0,4% en comparación con el último registro del semestre pasado. Sin embargo, se observa una disminución del 1,3% en el área del cuerpo principal de Puilar entre enero y abril de 2024. En términos generales, se observa que para el período entre los años 2007 y 2017, la superficie lacustre de Puilar, estimada con datos satelitales, se mantuvo alrededor de los 70.000 m². Posteriormente, se observa una disminución hasta alrededor de 62.000 m² en el año 2019, la cual tiende a mantenerse hasta el año 2024. A partir del año 2022 se iniciaron las mediciones con frecuencia trimestral, no obstante, no se logra visualizar en forma marcada la estacionalidad. Los valores obtenidos en este semestre de superficie para la laguna Puilar fueron de 62.723 m² (enero 2024) y 61.931 m² (abril 2024).

Los datos de la superficie lacustre del cuerpo principal de Barros Negros del primer semestre de 2024 indican una disminución del 15,8% en comparación con el último registro del semestre pasado. Sin



embargo, se observa un incremento del 9,2% entre enero y abril de 2024 en el cuerpo principal de Barros Negros. Al comparar la medición de enero de 2023 con la de 2024, se registra una disminución del 8,5% en el área, mientras que la comparación de abril de 2023 con la de abril 2024 revela una disminución del 14,5% en el área del cuerpo principal de Barros Negros. Si bien el incremento en el área lacustre entre enero y abril se repite desde el año 2021, se aprecia una disminución progresiva en el área en los mismos meses año a año, esto posiblemente por una redistribución natural de la extensión total de la laguna hacia el sur. Los valores obtenidos en este semestre de superficie lagunar para Barros Negros fueron de 765.764 m² (enero 2024) y 824.777 m² (abril 2024).

Los datos de la superficie de laguna Chaxa del primer semestre de 2024 indican un incremento del 0,6% en comparación con el último registro del semestre pasado. Sin embargo, se observa una disminución del 1,6% entre enero y abril de 2024. Al comparar la medición de enero de 2023 con la de 2024, se registra un aumento del 2,0% en la superficie lagunar, mientras que la comparación de abril 2023 con abril de 2024 revela una disminución del 2,3% en esta superficie. A partir del año 2022, debido al inicio de las mediciones trimestrales, se observa estacionalidad donde la mayor superficie ocurre en el segundo y tercer trimestre. Los valores obtenidos en este semestre de la superficie de laguna Chaxa fueron de 280.335 m² (enero 2024) y 275.850 m² (abril 2024).

Para el primer semestre de 2024 se calculó la extensión lagunar de Aguas de Quelana en los meses de enero y abril, según corresponde al compromiso trimestral definido en el Programa de Cumplimiento (PdC). En dichos meses se contó con la autorización de acceso para tomar los puntos de control en terreno en la misma semana que la captura satelital. La serie de datos obtenida para el primer semestre de 2024 de la superficie lacustre de este sistema muestra un aumento del 47,3% si se comparan los registros de enero de 2023 y 2024. En cambio, se observa una disminución de 21,9% al comparar las superficies de los meses de abril de 2023 y 2024. Por otra parte, se observa un aumento de 18,5% entre enero de 2024 y abril de 2024. Los valores obtenidos en este semestre de superficie lagunar de Aguas de Quelana fueron de 109.385 m² (enero 2024) y 129.597 m² (abril 2024).

Para el primer semestre de 2024 se realizaron mediciones de la superficie lacustre en el sistema Peine (Salada, Saladita y Desborde Laguna Interna), según corresponde al compromiso trimestral definido en el



Programa de Cumplimiento (PdC). Estas mediciones se realizaron mediante imágenes satelitales de alta resolución en los meses de enero y abril.

La comparación de la superficie lagunar de Salada entre los meses de abril 2023 y abril 2024 muestra un leve descenso, el cual es del orden del 2%. Los valores obtenidos en este semestre de superficie lagunar para Salada fueron de 172.931 m² (enero 2024) y 170.994 m² (abril 2024).

Para Laguna Saladita los datos históricos de la superficie lagunar muestran una leve pero sostenida disminución en su superficie desde 2022, presentando una disminución del 15% de su superficie desde 2022 y del 9% desde 2023. Los valores obtenidos en este semestre de superficie lagunar para Saladita fueron de 85.293 m² (enero 2024) y 81.967 m² (abril 2024).

Los valores obtenidos en este semestre de superficie lagunar para Desborde Laguna Interna fueron de 35.734 m² (enero 2024) y 56.938 m² (abril 2024). Estos valores corresponden a un descenso del orden de 60% respecto a las mediciones del año pasado.

De los caudales de agua superficial

En el primer semestre de 2024, para el sistema Soncor se cuenta con mediciones continuas y manuales en el Puente San Luis, ubicado aguas arriba de la Laguna Chaxa. En cambio, en el punto Barros Negros, solo se realizaron mediciones en los meses de abril, mayo y junio, esto último debido a las restricciones de acceso existentes al punto de medición dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF), las que se ajustan a lo indicado en el Protocolo de ingreso aprobado por la Resolución N°56/2019 de CONAF y comunidades de cada sector ambiental.

En Puente San Luis los caudales observados en el primer semestre del 2024 son menores a los presentados al primer semestre del año 2023, esto producto de los eventos de precipitación que se tuvieron dicho año. Las mediciones manuales realizadas en este punto variaron entre 58,1 L/s (enero 2024) y 137,4 L/s (junio 2024). Se observa que en épocas secas como el período 2008-2012, el caudal superficial presenta un comportamiento estacional, con mínimos en verano y máximos en invierno, respondiendo a la recarga superficial. En cambio, en la época más húmeda comprendida en el periodo entre los años 2012 y 2019, las precipitaciones registradas los años 2011, 2012, 2013, 2015, 2017, 2019 provocaron aumentos bruscos



del caudal pasante, debido al escurrimiento superficial generado por dichas precipitaciones. Esto enmascara levemente la evolución estacional observada en los años anteriores.

En el punto Barros Negros, se observó en el primer semestre de 2024 caudales mayores a los registrados en el primer semestre del 2023. Las mediciones manuales realizadas en este punto variaron entre 164,8 L/s (abril 2024) y 227,0 L/s (junio 2024).

En el caso del sistema Peine, se tienen los puntos de aforo en las estaciones denominadas Salada y Saladita. Sin embargo, solamente se pudo realizar la medición de caudal en el mes de junio en la estación Salada. Esto se debió a que la Comunidad de Peine no concedió permiso al personal de SQM y ETFA para ingresar al área correspondiente. El caudal manual medido en Salada fue de 67,7 L/s (junio 2024).

El registro histórico del aforo de Salada muestra una oscilación con una frecuencia mayor a la anual, no asociada eventos estacionales. Se observa la presencia de un ciclo entre los años 2008 y 2013, y un segundo entre los años 2014 y 2017. En 2017, no se pudo realizar mediciones con una frecuencia estable, y posteriormente, en junio de 2018, las visitas se suspendieron, lo que impide confirmar con mayor certeza si este comportamiento de ciclos se mantiene en la actualidad.

En cuanto al aforo de Saladita, se observa la presencia de ciclos estacionales. Entre 2009 y 2012, se detecta una tendencia promedio ascendente, seguida de una tendencia descendente entre 2013 y 2018. Sin embargo, debido a la corta longitud de la serie de mediciones, no es posible confirmar este comportamiento ni interpretar de manera concluyente el cambio de tendencia en 2013. Por lo tanto, se requiere un registro de datos más extenso para verificar estas variaciones. El punto Saladita no fue visitado desde 2018 hasta el primer semestre de 2021, cuando se retomaron las mediciones. En el primer semestre de 2024 no se realizaron mediciones.

De la calidad química de aguas superficiales y subterráneas

Las muestras corresponden a pozos de monitoreo, pozos de agua industrial, y reglillas que se distribuyen para cada sistema desde la Zona Aluvial en el borde este del Salar de Atacama, pasando por la Zona Marginal como transición hacia el oeste hasta el Núcleo. La concentración de los diferentes parámetros muestra la evolución de las aguas en este sentido, enriquecimiento de sales de este a oeste, hacia el



núcleo. El sistema Peine al sur del salar de Atacama cuenta con puntos analizados en la Zona Marginal y Núcleo.

Con relación a la calidad fisicoquímica de las aguas superficiales y subterráneas es posible concluir que la gran mayoría de los parámetros monitoreados durante el primer semestre del año 2024 se encuentran dentro de los rangos históricos, con excepciones que no sugieren cambios en las características de los sistemas o anomalías en la metodología de muestreo y/o de los análisis de muestras en laboratorio.

Los cambios de tendencia históricos observados son principalmente el aumento en sólidos disueltos totales, el cual se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha. Este efecto fue estudiado oportunamente (PSAH N°26/2019), donde se indica que esta tendencia no se puede asociar a cambios en el acuífero, sino a un cambio en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de la muestra en los laboratorios.

De las extracciones de agua industrial

De acuerdo con el registro histórico, la totalidad de pozos contemplados en el PSAH han extraídos caudales inferiores a los autorizados ambientalmente en cada caso. Durante el primer semestre de 2024, los pozos Socaire-5 (Sistema Aguas de Quelana) y CA-2015 (Sistema Vegetación Borde Este) han permanecido operativos, con un flujo de extracción inferior al límite ambiental autorizado. Por otra parte, se destaca que el pozo Mullay-1 operó con un caudal reducido a más de la mitad respecto al límite permitido (12,4 de 40 L/s), y que Allana ha permanecido con una extracción reducida desde 2022 (de hasta 6 L/s) hasta el cierre de este semestre (2,9 de 40 L/s). Por último, el pozo Camar-2 (Sistema Aguas de Quelana) cesó su bombeo en 2018 y seguidamente, su infraestructura fue desmantelada en 2021.

De la posición de la cuña salina

En el primer semestre de 2024, los perfiles de conductividad fueron medidos en todos los pozos, a excepción de L10-1 y Cuña 6, que cuentan con registros solo hasta enero de 2024, y el pozo Cuña 7, que dispone de información hasta agosto de 2023; esto debido a la restricción de acceso por parte de la comunidad de Peine. En términos generales, los perfiles realizados permiten establecer que la interfaz salina mantiene un comportamiento estable y sin tendencia en el tiempo.



8 REFERENCIAS

Amphos 21 Actualización del modelo conceptual del sector Soncor, Informe para SQM [Informe]. - Santiago : [s.n.], 2009a.

Boutt David [y otros] Imbalance in the modern hydrologic budget of topographic catchments along the western slope of the Andes (21-25°S): implications for groundwater recharge assessment [Journal] // Hydrogeology Journal. - [s.l.] : Springer, 2021. - págs. 985-1007.

Fetter Charles Willard Applied Hydrogeology [Libro]. - New Jersey : Prentice Hall, 2001.

Hidroestudios Informe de investigación Activación fase II indicador de estado L2-27 (marzo 2021) [Informe]. - Santiago : [s.n.], 2021.

Hidroestudios Informe investigación Activación Fase II L1-17 (marzo 2021) [Informe]. - Santiago : [s.n.], 2021.

IDAEA-CSIC Informe de Efectividad de Acción [Informe]. - Barcelona : [s.n.], 2018.

IDAEA-CSIC Informe de Investigación producto de la activación del plan de contingencia en los puntos L1-5 y reglilla L1-G4 [Informe]. - Barcelona : [s.n.], 2018.

Marazuela M. A [y otros] 3D mapping, hydrodynamics and modelling of the freshwater-brine mixing zone in salt flats similar to the Salar de Atacama (Chile) [Journal] // Journal of Hydrology 561. - 2018. - págs. 223–235.

SGA Soluciones en Gestión Ambiental Estudio hidrogeológico y modelo numérico Sector Sur del Salar de Atacama (Anexo 1). Estudio de Impacto Ambiental proyecto "Modificaciones del Sistema de Pozas de Evaporación solar en el Salar de Atacama de Rockwood Lithium" [Informe]. - Santiago : [s.n.], 2015.

SQM INFORME N° 19 DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLOGICO PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA [Informe]. - Santiago : [s.n.], 2016.



Urrutia Javier [y otros] Processes explaining the origin and evolution of groundwater composition in the Andean Precordillera and Altiplano of the Tarapacá Region of northern Chile [Journal] // Science of the Total Environment. - [s.l.] : Elsevier, 2021.



9 GLOSARIO Y ABREVIACIONES

9.1 GLOSARIO

Antepozo: Tubería metálica o de PVC que protege a un pozo.

Cota piezométrica: Altura del agua/salmuera respecto al nivel medio del mar.

Cota de punto de referencia: Altura del punto de referencia respecto al nivel medio del mar, desde donde se mide el nivel del agua y/o salmuera.

Cota punto: Definición equivalente a Cota de punto de referencia indicada en los Informes N°1 y N°2 de Integrant, 2007.

DGA: Dirección General de Aguas.

Georreferenciación: Proceso que consiste en ligar o relacionar una información geográfica a uno o varios puntos en común.

Indicador de estado: Se refiere a un parámetro o punto de monitoreo utilizado para evaluar y reportar la condición de un sistema hidrogeológico o ambiental en un momento dado.

Limnómetro: Reglilla graduada para medición de nivel.

Nivel freático: Término hidrológico referente a la superficie superior de la zona de saturación en un acuífero.

Remediación: medición que se realiza sobre un punto ya medido previamente, con la finalidad de ratificar el resultado original.

Salmuera: Solución altamente concentrada en sales, puede estar presente de manera superficial o subterránea con concentraciones de sólidos totales disueltos mayores a 100.000 mg/L. o análogamente de acuerdo a lo definido en este informe para el Salar de Atacama, con conductividades > a 142,9 mS/cm.

SMA: Superintendencia de Medio Ambiente.

WGS84: sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

Zona de transición: Agua superficial o subterránea con concentraciones de sólidos totales disueltos entre 3.000 y 100.000 mg/L. o análogamente, aguas con conductividades entre 2,2 y 142,9 mS/cm.



9.2 ABREVIACIONES

C.: Registros Continuos de nivel.

LD: Límite de detección, es la concentración más baja de una sustancia química en una muestra de agua que puede ser detectada con precisión y fiabilidad por el método analítico utilizado

LQ: Límite de Cuantificación (superior), es la concentración más baja de una sustancia química en una muestra que puede ser cuantificada con precisión y exactitud utilizando el método analítico específico.

LT: Level Troll, es un equipo para medición en continuo de niveles de agua subterránea basado en sensores de presión hidroestática.

M.C.: Mediciones manuales en pozos con registro Continuo.

m s.n.m.: Metros sobre nivel medio del mar.

PC: Plan de Contingencias.

PdC: Programa de Cumplimiento

PSA: Plan de Seguimiento Ambiental.

PSAH: Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico.

SMA: Superintendencia de Medio Ambiente