SQM SALAR SPA.

INFORME Nº36 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 DICIEMBRE 2024

ÍNDICE

1 RESUMEN 21
2 INTRODUCCIÓN 26
3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (PSAH) 30
4 MATERIALES Y MÉTODOS 31
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 31
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS OBJETO DEL PSAH 31
4.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS O ÁREAS DE MONITOREO 37
4.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES 62
4.5 MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍAS DE MONITOREO 67
4.6 FECHA DE MEDICIÓN, MUESTREO Y/O ANÁLISIS 68
4.7 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS 68
5 RESULTADOS DEL SEGUNDO SEMESTRE 2024 73
5.1 MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO 75
5.2 MONITOREO Y ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 204
6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 222
6.1 ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL 222
6.2 ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 452
7 CONCLUSIONES 476
7.1 DE LOS NIVELES DE AGUA/SALMUERA SUBTERRÁNEA 477
7.2 DE LOS NIVELES DE AGUA SUPERFICIAL 478
7.3 DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 479

7.4 **DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS.....481**

7.5 **DE LA EXTENSIÓN LAGUNAR.....483**

7.6 **DE LOS CAUDALES DE AGUA SUPERFICIAL.....484**

7.7 **DE LA CALIDAD QUÍMICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS 486**

7.8 DE LOS CAUDALES BOMBEADO DE AGUA 487

7.9 **DE LA POSICIÓN DE LA CUÑA SALINA.....487**

8 REFERENCIAS 489

9 GLOSARIO Y ABREVIACIONES 491

9.1 GLOSARIO 491

9.2 ABREVIACIONES.....493

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1: Ubicación esquemática de los sistemas y sectores ambientales del PSAH 35
Figura 4-2: Zonificación Salar de Atacama basado en delimitación de las unidades hidrogeológicas 36
Figura 4-3: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH 38
Figura 4-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Soncor..... 40
Figura 4-5: Representación gráfica de las reglillas cercanas al Puente San Luis..... 42
Figura 4-6: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana..... 45
Figura 4-7: Registro Fotográfico de Reglilla L5-G3 46
Figura 4-8: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Vegetación Borde Este 48
Figura 4-9: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Peine..... 50
Figura 4-10: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo 51
Figura 4-11: Distribución espacial puntos de monitoreo Sector Núcleo del Salar de Atacama..... 52
Figura 4-12: Distribución geográfica puntos de monitoreo del Sector Cuña Salina 54
Figura 4-13: Distribución geográfica puntos de monitoreo del Sector Cuenca Salar de Atacama 55
Figura 4-14: Distribución geográfica puntos de monitoreo del Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña..... 57
Figura 4-15: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este 60
Figura 4-16: Ubicación indicadores de estado Sistema Peine..... 61
Figura 5-1: Niveles medidos en los pozos L2-24, 1001 y 1024..... 86
Figura 5-2: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del Sistema Soncor..... 88
Figura 5-3: Nivel dinámico observado (m s.n.m.) en zona aluvial de Sistema Soncor – Pozos de extracción de agua industrial..... 88
Figura 5-4: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar..... 89
Figura 5-5: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros..... 90
Figura 5-6: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector oeste y sur de la laguna Chaxa 91

Figura 5-7: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros 93
Figura 5-8: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros 95
Figura 5-9: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona Núcleo Sistema Soncor 96
Figura 5-10: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Soncor 98
Figura 5-11: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) del Sistema Soncor – sector Puente San Luis 99
Figura 5-12: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – niveles en las lagunas 100
Figura 5-13: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de Chaxa 102
Figura 5-14: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de Chaxa 103
Figura 5-15: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor 104
Figura 5-16: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Soncor 113
Figura 5-17: Caudales medidos en puntos de aforo Barros Negros y Puente San Luis Sistema Soncor ... 115
Figura 5-18: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar 117
Figura 5-19: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa 118
Figura 5-20: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros 119
Figura 5-21: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Aguas de Quelana 121
Figura 5-22: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 122
Figura 5-23: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B 124
Figura 5-24: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua 125
Figura 5-25: 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 127
Figura 5-26: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Aguas de Quelana 128

Figura 5-27: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana .. 129
Figura 5-28: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica en Aguas de Quelana. 132
Figura 5-29: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica en Aguas de Quelana..... 133
Figura 5-30: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana en julio 2024 (izquierda) y octubre 2024 (derecha) a misma escala gráfica 135
Figura 5-31: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana 136
Figura 5-32: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Aguas de Quelana 142
Figura 5-33: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este 144
Figura 5-34: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este 145
Figura 5-35: Series de precipitación, temperatura y humedad relativa Estación Meteorológica en Sistema de Vegetación Borde Este. 148
Figura 5-36: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este 149
Figura 5-37: Error de balance iónico calculado para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras en sistema Vegetación Borde Este 153
Figura 5-38: Caudales medidos en puntos de aforo Quebrada Aguas Blancas Tranque, Quebrada Aguas Blancas Oeste, Quebrada Camar y Quebrada Soncor. 155
Figura 5-39: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine 157
Figura 5-40: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine..... 158
Figura 5-41: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine 159
Figura 5-42: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de LZ9-1 (Interna) 162
Figura 5-43: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de LZ9-1 (Interna)..... 163

Figura 5-44: Error de balance iónico para los análisis químicos y consistencia de balance de masa para muestras de sistema Peine..... 171
Figura 5-45: Mapa delimitación lacustre de laguna Salada, sector Peine..... 172
Figura 5-46: Mapa delimitación lacustre de laguna Saladita, sector Peine 173
Figura 5-47: Mapa delimitación lacustre de laguna Interna, sector Peine 174
Figura 5-48: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo 175
Figura 5-49: Nivel observado (m s.n.m.) de la reglilla del sector Vegas de Tilopozo..... 176
Figura 5-50: Series de precipitación, temperatura y humedad relativa Estación Meteorológica de LZA10-1 178
Figura 5-51: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo 180
Figura 5-52: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo..... 181
Figura 5-53: Nivel observado (m s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo 182
Figura 5-54: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de SOP y KCL 185
Figura 5-55: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de SOP y KCL..... 186
Figura 5-56: Error de balance iónico para los análisis químicos para muestras de sistema Núcleo..... 189
Figura 5-57: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina 190
Figura 5-58: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3..... 191
Figura 5-59: Registro de CE para los pozos Cuña 4, Cuña 5 y L4-3..... 192
Figura 5-60: Registro de CE para los pozos Cuña 6, Cuña 7 y L10-1..... 192
Figura 5-61: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica en Cuenca Salar de Atacama 197
Figura 5-62: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica en Cuenca Salar de Atacama..... 198
Figura 5-63: Series de precipitación, velocidad del viento, temperatura y radiación global Estación Meteorológica de Cerro Cosor y El Tatio SQM..... 202

Figura 5-64: Series de dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de Cerro Cosor y El Tatio SQM. 203
Figura 5-65: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente 207
Figura 5-66: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente 207
Figura 5-67: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente 208
Figura 5-68: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores estado L1-G4 Pozo y Reglilla del PC Sistema Soncor junto con el umbral correspondiente 208
Figura 5-69: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes 210
Figura 5-70: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa 211
Figura 5-71: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex 212
Figura 5-72: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 214
Figura 5-73: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 214
Figura 5-74: Descensos observados (m) en el indicador de estado L7-13 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 215
Figura 5-75: 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 215
Figura 5-76: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine 217
Figura 5-77: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine 218
Figura 5-78: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado 1028 del Sistema Peine 218
Figura 5-79: Indicadores de estado adicionales al Plan de Contingencias 219

Figura 5-80: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex 220
Figura 5-81: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana 220
Figura 5-82: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana 221
Figura 6-1: Infraestructura presente en el sistema Soncor – Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles 226
Figura 6-2: Niveles medidos en los puntos del Sector Tambillo 228
Figura 6-3: Descensos calculados de los puntos del Sector de Tambillo 228
Figura 6-4: Niveles dinámicos medidos en los pozos de agua industrial del Sistema Soncor 230
Figura 6-5: Descensos calculados de los puntos del Sistema Soncor que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial 232
Figura 6-6: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la Laguna Puilar 233
Figura 6-7: Niveles medidos en las reglillas Puilar SQM y CONAF 234
Figura 6-8: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la Laguna Puilar 234
Figura 6-9: Niveles medidos en reglillas ubicadas en el entorno de medición del aforo Puente San Luis 235
Figura 6-10: Niveles medidos en las reglillas en la Laguna Chaxa 237
Figura 6-11: Niveles medidos en las reglillas del cuerpo principal de la Laguna Barros Negros 238
Figura 6-12: Niveles medidos en reglillas que se encuentran entre la Laguna de Chaxa y Barros Negros 239
Figura 6-13: Descensos calculados en pozos ubicados en Zona Marginal más cercanos al acuífero aluvial 240
Figura 6-14: Descensos calculados en los pozos asociados al comportamiento marginal 242
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) 244
Figura 6-16: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10) 245
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) 246

Figura 6-18: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga directa del desborde de Cola de Pez 247
Figura 6-19: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga de forma indirecta del desborde de Cola de Pez 248
Figura 6-20: Niveles medidos pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (grupo 1). 250
Figura 6-21: Niveles medidos pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (grupo 2). 251
Figura 6-22: Niveles medidos pozos ubicados al oeste del sistema de lagunas de Soncor 252
Figura 6-23: Niveles medidos en el núcleo del Sistema Soncor 253
Figura 6-24: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar..... 256
Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor..... 257
Figura 6-26: Series de tiempo históricas de superficie lacustre zonas de desbordes de Laguna Barros Negros – Soncor..... 258
Figura 6-27: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR..... 259
Figura 6-28: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación Chaxa..... 261
Figura 6-29: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación Chaxa 262
Figura 6-30: Caudal histórico de los pozos de Agua Industrial del Sistema Soncor (Zona Aluvial) 264
Figura 6-31: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L1-4, L1-5, L1-6 y L2-5..... 268
Figura 6-32: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L2-4, L2-3 y L7-3..... 270
Figura 6-33: Evolución histórica calidad del agua en pozos L1-G4, L7-G1, SOPM-14 y SOPM-7 (L2-6) 273
Figura 6-34: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 279
Figura 6-35: Diagrama de Piper para los puntos Mullay-1 y Allana 287
Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto..... 290
Figura 6-37: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor..... 302
Figura 6-38: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, laguna Chaxa y laguna Barros Negros. 303
Figura 6-39: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís 304
Figura 6-40: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros..... 305

Figura 6-41: Infraestructura presente en el sistema Aguas de Quelana y clasificada según comportamiento de los niveles 306
Figura 6-42: Niveles en los pozos de agua industrial del Sistema Aguas de Quelana 308
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 309
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 311
Figura 6-45: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del Sistema Aguas de Quelana 312
Figura 6-46: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13) 314
Figura 6-47: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L3) 315
Figura 6-48: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (L14) 316
Figura 6-49: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (L4) 317
Figura 6-50: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la Zona Marginal del Sistema Aguas de Quelana (series L5) 318
Figura 6-51: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L13) 320
Figura 6-52: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L3) 320
Figura 6-53: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L14) 321
Figura 6-54: Nivel en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L4) 321
Figura 6-55: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L5) 322

Figura 6-56: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al Núcleo en el Sistema Aguas de Quelana 323
Figura 6-57: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial. 325
Figura 6-58: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación LZA3-1 y LZA3-2 327
Figura 6-59: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación LZA3-1 y LZA3-2 328
Figura 6-60: Caudal bombeado del sistema Aguas de Quelana (Zona Aluvial) 329
Figura 6-61: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8 333
Figura 6-62: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L4-12, L4-10, L5-3 y L4-9 336
Figura 6-63: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10 339
Figura 6-64: Diagrama Piper para las muestras con balance de cargas <10% en L4-10 344
Figura 6-65: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B 347
Figura 6-66: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B 355
Figura 6-67: Infraestructura presente en el sistema Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles 356
Figura 6-68: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al Sistema de Vegetación Borde Este 358
Figura 6-69: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al Sistema de Vegetación Borde Este 358
Figura 6-70: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del Sistema Vegetación Borde Este 359
Figura 6-71: Series históricas de precipitación, temperatura y humedad en la estación meteorológica LZA3-3, LZA7-1, LZA7-2, LZA12-1, LZA12-2 361
Figura 6-72: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial) 362
Figura 6-73: 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) 365
Figura 6-74: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para CA-2015 y P2 373
Figura 6-75 Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Vegetación Borde Este 374

Figura 6-76: Infraestructura presente en el sistema Peine y clasificada según comportamiento de los niveles 375
Figura 6-77: Niveles medidos en la Zona Aluvial del Sistema Peine 377
Figura 6-78: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el Núcleo 378
Figura 6-79: Niveles en las reglillas de agua superficial del Sistema Peine 380
Figura 6-80: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el Núcleo, para el Sistema Peine 381
Figura 6-81: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada. 383
Figura 6-82: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita. 384
Figura 6-83: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna. 385
Figura 6-84: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación LZA9-1 387
Figura 6-85: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación LZA9-1 388
Figura 6-86: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1 393
Figura 6-87: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna 398
Figura 6-88: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine con un BI>10% 407
Figura 6-89: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna 408
Figura 6-90: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine 409
Figura 6-91: Infraestructura presente en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles 410
Figura 6-92: Descensos calculados en los puntos de la Zona Marginal y el núcleo del Sector Vegas de Tilopozo 411
Figura 6-93: Niveles medidos en la reglilla del Sector Vegas de Tilopozo 412
Figura 6-94: Series históricas de precipitación, temperatura y humedad relativa en la estación meteorológica LZA10-1 414
Figura 6-95: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del Núcleo del Salar 416
Figura 6-96: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle 417

Figura 6-97: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde Oeste del Núcleo del Salar 418
Figura 6-98: Niveles medidos en el sector Norte del Núcleo del Salar 419
Figura 6-99: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación KCL y SOP 421
Figura 6-100: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación KCL y SOP..... 422
Figura 6-101: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001..... 425
Figura 6-102: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Núcleo con un BI>10%.. 430
Figura 6-103: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 1)..... 433
Figura 6-104: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 2)..... 433
Figura 6-105: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) 435
Figura 6-106: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) (continuación)..... 436
Figura 6-107: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) (continuación)..... 437
Figura 6-108: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este)... 438
Figura 6-109: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este) (continuación) 439
Figura 6-110: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este) (continuación) 440
Figura 6-111: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste) 441
Figura 6-112: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste) (continuación)..... 442
Figura 6-113: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste) (continuación)..... 443
Figura 6-114: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3 446

Figura 6-115: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3 447
Figura 6-116: Series históricas de precipitación, temperatura, velocidad del viento y radiación global en la estación Cerro Cosor y El Tatio SQM 450
Figura 6-117: Series históricas de dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación Cerro Cosor y El Tatio SQM 451
El pozo 1001 se encuentra obturado naturalmente desde 2004 por precipitación de sales. A una distancia de aproximadamente 100 metros, se encuentra el pozo MSW-252, construido en 2010, cuya señal piezométrica ha mostrado una diferencia mínima (0,35 m) respecto al pozo 1001. Ambos presentan un comportamiento típico del núcleo del salar, con descensos graduales interrumpidos por ascensos ligados a precipitaciones. La Figura 6-118 muestra el registro histórico de niveles en ambos puntos. 452
Figura 6-119: Niveles medidos en el pozo 1001 y en el pozo complementario MSW-252..... 452
El pozo 1024, también se encuentra obturado por precipitación de sales desde 2004. A 20 metros se ubica el pozo MSW-284, construido en 2012, el cual presenta una diferencia de nivel de solo 0,11 m respecto a 1024. Al igual que el caso anterior, ambos reflejan un comportamiento típico del núcleo. La Figura 6-120 muestra el registro histórico de niveles en ambos puntos. 452
Figura 6-121: Niveles medidos en el pozo 1024 y el pozo complementario MSW-284..... 452
Figura 6-122: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia ... 453
Figura 6-123: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 454
Figura 6-124: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 455
Figura 6-125: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 455
Figura 6-126: 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 457
Figura 6-127: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del PC 459
Figura 6-128: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del PC . 460
Figura 6-129: Descensos de los indicadores de Vegetación Brea-Atriplex con comportamiento asociado al acuífero aluvial, junto con sus umbrales del PC..... 463
Figura 6-130: Descensos de los indicadores L2-28, L3-3, L9-1 y L4-7, junto con sus umbrales del PC 465

Figura 6-131: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC..... 467
Figura 6-132: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC.... 467
Figura 6-133: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC.... 468
Figura 6-134: Descenso indicadores L3-11 y L9-1 junto al umbral subsistema Alerta Temprana del PC . 468
Figura 6-135: Niveles medidos en 1028 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine ... 471
Figura 6-136: Niveles medidos en L10-11 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine 471
Figura 6-137: Niveles medidos en L10-4 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine .. 472
Figura 6-138: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC 473
Figura 6-139: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC . 474
Figura 6-140: Descenso del indicador L3-15, junto con sus umbrales del PC 475

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1: Resumen puntos de monitoreo del PSAH 22
Tabla 1-2: Activaciones y desactivaciones de Fase reportados a la SMA durante el periodo actual..... 24
Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe..... 28
Tabla 2-2: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia 29
Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección 34
Tabla 4-2: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua, Calidad 1 a 4 ... 41
Tabla 4-3: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua, Calidad 5 53
Tabla 4-4: Indicadores de Estado del Plan de Contingencia 59
Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH 64
Tabla 4-6: Metodologías consideraciones utilizadas para el muestreo, medición y análisis. 67
Tabla 5-1: Resumen información complementaria para cada componente en anexos 77
Tabla 5-2: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de ingreso a RNLF 79
Tabla 5-3: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Soncor..... 80
Tabla 5-4: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Aguas de Quelana 81
Tabla 5-5: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de las comunidades 82
Tabla 5-6: Resumen de puntos no visitados..... 84
Tabla 5-7: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica de Chaxa 101
Tabla 5-8: Resultados calidad del agua Sistema Soncor 106
Tabla 5-9: Resultados calidad del agua en pozos de extracción 107
Tabla 5-10: Resultados calidad del agua en agua superficial 109
Tabla 5-11: Resultados de la validación en el sistema Soncor 111
Tabla 5-12: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor..... 112
Tabla 5-13: Resultados de aforos manuales en los puntos Barros Negros y Puente San Luis 114

Tabla 5-14. Superficies lacustres segundo semestre 2024 en Sistema Soncor 116
Tabla 5-15: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica LZA3-1 131
Tabla 5-16: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA3-2 131
Tabla 5-17: Superficie lacustre para el segundo semestre el año 2024 en Sistema Aguas de Quelana ... 134
Tabla 5-18: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana 138
Tabla 5-19: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo Camar-2, L4-10 y SOCAIRE-5B 139
Tabla 5-20: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana 140
Tabla 5-21: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana 141
Tabla 5-22: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA12-1 146
Tabla 5-23: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA12-2 146
Tabla 5-24: Estadígrafos de series diaria de la estación meteorológica LZA3-3 147
Tabla 5-25: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA7-1 147
Tabla 5-26: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA7-2 147
Tabla 5-27: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015 151
Tabla 5-28: Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este 152
Tabla 5-29: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Vegetación Borde Este 152
Tabla 5-30: Resultados de aforos manuales en los puntos Quebrada Aguas Blancas Tranque, Quebrada Aguas Blancas Oeste, Quebrada Camar y Quebrada Soncor. 154
Tabla 5-31: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA9-1 (Interna) 161
Tabla 5-32: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine 165
Tabla 5-33: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine 167
Tabla 5-34: Resultados de la validación en el sistema Peine 169
Tabla 5-35: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine 170
Tabla 5-36: Superficies Lacustres segundo semestre 2024 en Sistema Peine 172
Tabla 5-37: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica LZA10-1 177
Tabla 5-38: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica de SOP 184

Tabla 5-39: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de KCL 184
Tabla 5-40: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama..... 188
Tabla 5-41: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Cordillera de Sal..... 195
Tabla 5-42: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Domeyko 195
Tabla 5-43: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Llano de Paciencia 196
Tabla 5-44: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de LZA12-3..... 196
Tabla 5-45: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Cerro Cosor..... 200
Tabla 5-46: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de El Tatio SQM 201
Tabla 5-47: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno 204
Tabla 5-48: Estado del Plan de Contingencias..... 205

LISTADO DE ANEXOS

Nombre Anexo		Tipo doc.
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 Curriculums monitores SQM	pdf
Anexo 3.5	Detalle de procedimientos medición, materiales y equipos utilizados 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
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 *(formato RES. 894)*	.xls
Anexo 8	Caudal agua superficial *(formato RES. 894)*	.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 medidas de control frente a activación Fase I y Fase II Sistema Peine	pdf
Anexo 12.3	Definición medidas de control frente a activación Fase I y Fase II Sistema Peine 09/2021	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 julio a diciembre de 2024, según los compromisos del proyecto "Cambios y Mejoras de la operación Minera en el Salar de Atacama", aprobado por la RCA Nº226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta (RCA Nº226/2006). 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 Nº38/Rol F-041-2016 de fecha 29 de agosto de 2022; Resolución Exenta Nº39/Rol F-041-2016 de fecha 31 de enero de 2024 y Resolución Exenta Nº 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 y sector 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, 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 Nº226/2006. Los resultados del caudal bombeado de salmuera se entregan anualmente a la autoridad ambiental según el considerando 10.2.7 de la RCA Nº226/2006.

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.

Adicionalmente SQM ha actualizado su PSAH incluyendo voluntariamente puntos de control a partir de los requerimientos específicos establecidos en:

- Resolución Exenta N°1314/2020 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) que tiene como objetivo fiscalizar y asegurar el cumplimiento de las obligaciones ambientales de los titulares de proyectos emplazados en el Salar de Atacama, en especial aquellas relacionadas con el monitoreo,

reporte y control de impactos ambientales, garantizando la protección de los recursos naturales y la salud de la población.

- Acción 16 del Programa de Cumplimiento (PdC) F-041-2016, corresponde que sobre la base de las recomendaciones del análisis integrado de la información de seguimiento ambiental hidrogeológico comprometido en el marco de la acción 15, SQM Salar efectúe la actualización del Plan Seguimiento Ambiental Hidrogeológico PSAH (SQM, marzo 2024).

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
- Sector Núcleo del Salar de Atacama
- Sector Cuña Salina (como parte de los compromisos de la RCA).
- Sector Cuenca Salar de Atacama
- Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña

El PSAH consta de 225 puntos de monitoreo en los diferentes seguimientos (Tabla 1-1), a lo que se incluye los 23 puntos adicionales.

Tabla 1-1: Resumen puntos de monitoreo del PSAH

Tipo de Punto de Monitoreo	Seguimiento	PSAH	Voluntarios
Pozos	Aguas subterráneas	196	3 [2]
Pozos	Agua industrial [1]	5	-
Reglillas	Agua superficial	18	-
Estaciones de Aforo	Agua superficial	4	4
Estaciones Meteorológicas	Antecedente forzantes meteorológicas	2	16
	Subtotal	225	23
	Total	248	

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 Nº226/2006. (2) incluye los dos pozos voluntarios MSW.

Fuente: Elaboración propia.

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.

Las secciones 5.2 y 6.1.10 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 Nº56/2019 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 Nº21/2016) propiedad de Albemarle, junto con los indicadores de estado de SQM (1028, L10-11 y L10-4). La consideración de estos indicadores de propiedad de Albemarle 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 algunos de los compromisos ambientales, entregando en este informe, los puntos y su respectiva justificación respaldada cuando no se pudo realizar el monitoreo

Durante el período reportado de julio a diciembre 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 reportados a la SMA durante el periodo actual

Sector	Indicador de estado	Fase de Activación	Fecha Activación/Desactivación	Estado activación	Nº de carta conductora de SQM
Sistema Borde Este	L2-28	Fase I	28/10/2024	Desactivado	GMAL 516/2024
	L2-28	Fase I	13/11/2024	Activado	GMAL 539/2024
	L2-7	Fase I	10/9/2024	Desactivado	GMAL 452/2024
Sistema Aguas de Quelana	L4-12	Fase I	2/11/2024	Activado	GMAL 525/2024
	L4-12	Fase II	24/11/2024	Activado	GMAL 561/2024
Sistema Peine	1028	Fase II	31/08/2024	Activado	GMAL 440/2024
	1028	Fase II	26/09/2024	Desactivado	GMAL 467/2024
	1028	Fase II	23/11/2024	Activado	GMAL 560/2024
	L10-4	Fase II	7/8/2024	Activado	GMAL 415/2024
	L10-4	Fase II	26/09/2024	Desactivado	GMAL 466/2024
	L10-4	Fase II	30/09/2024	Activado	GMAL 477/2024
	PN-08A	Fase II	22/07/2024	Activado	GMAL 397/2024

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de las principales observaciones al monitoreo PSAH del segundo semestre de 2024:

- En esta actualización, se han incorporado 21 nuevos puntos de monitoreo en el marco de la Acción 16 del Programa de Cumplimiento (PdC), ampliando la red con tres nuevos sectores de monitoreo que incluyen 16 estaciones meteorológicas, 4 puntos de aforos y 1 punto de medición de nivel freático.
- La ejecución del programa se ha desarrollado conforme a los compromisos establecidos, sin embargo, en esta oportunidad no fue posible acceder a ciertos puntos de control debido a restricciones de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos (Soncor, Aguas de Quelana), así como en los sectores Peine y Cuña Salina. Además, de restricción de acceso por falta de respuesta de la comunidad (Solor).
- La tendencia histórica del monitoreo hidrogeológico en el Salar de Atacama indica una evolución diferenciada según los sectores y las variables evaluadas.
    - Se observa una recuperación parcial y estabilización de niveles de agua subterránea en la Zona Aluvial y Marginal, asociada a la reducción en la extracción de agua industrial en los últimos años. Sin embargo, en la Zona Núcleo del salar, los niveles continúan mostrando un descenso progresivo, reflejando la influencia de la extracción de salmuera y la limitada recarga natural.
    - En los cuerpos de agua superficial, las fluctuaciones estacionales responden a la dinámica climática y la interacción con los sistemas hidrogeológicos, destacando una tendencia ligeramente ascendente en Puente San Luis desde 2017 lo que podría estar relacionado con cambios en la dinámica del flujo de agua por represamiento. La laguna Barros Negros ha mostrado reducción en su superficie y en la reglilla Chaxa se llevan registrando mínimos estacionales históricos en dos veranos consecutivos.
    - Respecto a la calidad del agua, los parámetros monitoreados se han mantenido dentro de los rangos históricos, salvo un aumento en los sólidos disueltos totales detectado desde 2016, atribuido a modificaciones en los protocolos de muestreo y análisis.
    - La posición de la cuña salina ha permanecido estable en los distintos sectores monitoreados, indicando un equilibrio en la transición entre los acuíferos aluviales y el núcleo del salar.
- Durante este semestre activaron la Fase II los indicadores L4-12 en Soncor y los indicadores 1028 y L10-4 en Peine. En este mismo sistema, el indicador L10-11 activó Fase II en junio de 2024. Los indicadores L1-5, L1-G4 Pozo y L1-G4 Reglilla continúan activos desde 2021 y el L1-4 y L5-10 desde finales de 2023.

2 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Nº36 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) analiza y reporta la información recolectada entre julio a diciembre 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 Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas y 11.1 Características del Plan de Contingencia de la RCA Nº226/2006.

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, y parámetros meteorológicos. Ha sido diseñado en función de la protección de los principales sistemas ambientalmente sensibles y permite desarrollar el conocimiento acerca de los sistemas ambientales, con el fin de tomar acciones preventivas y concretas para asegurar su mantención de acuerdo con los compromisos previamente acordados.

La RCA Nº226/2006 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 Nº38/2013 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.

Para dar cumplimiento al decreto mencionado, y de acuerdo con la Resolución Exenta Nº574 de 2022[1], para el período objeto del presente reporte (segundo semestre de 2024), las mediciones diarias de nivel de los pozos PC, caudal de agua superficial y muestreos químicos han sido realizadas por la ETFA SEGEA. Mientras que el análisis de calidad del agua laboratorio fue realizado por ETFA ALS Life Sciences Chile S.A.

El informe detalla los cambios en la normativa establecidos en la Resolución Exenta Nº573/2022, especificando en la sección 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 segundo semestre de 2024.

Una restricción significativa en la ejecución del PSAH, es el acceso limitado a la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF). Mediante Resolución Nº56/2019, CONAF[2] 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.

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

[1] Se deja sin efecto la Resolución Exenta Nº127/2019 por revocación, desde la entrada en vigor del acto administrativo Resolución Exenta Nº574/2022. 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.

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 de nivel de agua subterránea y superficial. Mediciones en campo de parámetros fisicoquímicos [1] Mantención y descarga de datos de estaciones meteorológicas
ETFA/SEGEA	Mediciones de nivel freático y nivel de agua superficial (incluidos los puntos del ex convenio CONAF-SQM). Caudales superficiales (o aforos). Muestreo de aguas, medición de Parámetros fisicoquímicos in situ.
ETFA/ALS Life Sciences Chile S.A.	Análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio
SRGIS	Procesamiento de imágenes satelitales y cálculo de extensión lagunar derivado
ATYGEO	Levantamiento puntos de control para procesamiento imágenes satelitales. Actividades 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.

Nota: (1) Mediciones complementarias a las efectuadas por las ETFAS. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo requerido por la SMA mediante el Ordinario MZN Nº418/2016, 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 Nº226/2006. Sin embargo, este no se presenta ya que, en enero de 2022 se presentó al Sistema de Evaluación de 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 Nº33, Nº34, N°35 y actual informe (Nº36) 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.cual es presentado y analizado en el capítulo 5.2. (Análisis del Plan de Contingencia).

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 Nº33	Jun-23	Oct-23	Revisión del PC, según considerando 11.1 de RCA Nº226/2006. Sin embargo, se efectuará en el marco EIA 2022.
Informe PSAH Nº34	Dic-23	Abr-24	-
Informe PSAH Nº35	Jun-24	Sep-24	Informe anterior.
Informe PSAH Nº36	Dic-24	Mar-25	**Actual informe**
Informe PSAH Nº37	Jun -25	Sep-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, 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 julio a 31 de diciembre de 2024.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En este 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 km^2. El núcleo del Salar, donde se ubican las faenas extractivas de salmuera, posee una superficie aproximada de 1.500 km^2, y está rodeado por una zona marginal de unos 2.000 km^2 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 nueve sistemas y sectores del Salar de Atacama; en la Figura 41 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 Nº226/2006). 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 Sector 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.

- **Sector 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 del Sector 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.
- **Sector Cuenca Salar de Atacama** se define a partir de cuatro monitoreos puntuales de variables meteorológicas, obtenidas desde estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del Salar de Atacama, pero fuera del área de influencia hidrogeológica del Proyecto. Dos de ellas se encuentran ubicadas en la subcuenca Llanos de la Paciencia al N-W del núcleo del salar (Llano de la Paciencia y Domeyko), y las otras dos dentro del límite del Salar de Atacama (LZA12-3 y Cordillera de la Sal). Su incorporación y la información que aporta permite mejorar la disponibilidad, calidad y consistencia de la información, así como estimar con mayor precisión la distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca y, por consiguiente, las entradas del sistema, lo que permite minimizar la incertidumbre en el cálculo del balance hídrico.
- **Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña** se define a partir dos monitoreos puntuales de variables meteorológicas obtenidas desde estaciones meteorológicas ubicadas fuera de la cuenca del Salar de Atacama. Una se encuentra en la cuenca Río Loa, siendo el punto de monitoreo del PSAH más al norte del Salar de Atacama y corresponde la estación meteorológica El Tatio. Y la segunda, es el punto de monitoreo más al sur del PSAH y corresponde a la estación meteorológica Cerro Cosor en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Su incorporación y la información que aporta permite mejorar la disponibilidad, calidad y consistencia de la información, así como estimar con mayor precisión la distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca y, por consiguiente, las entradas del sistema, lo que permite minimizar la incertidumbre en el cálculo del balance hídrico.

Como resumen, en la Tabla 4-1 se indican los sistemas objeto de protección ambiental del PSAH asociados a la RCA Nº226/2006 y se indican además los objetos de protección definidos para cada uno de ellos.

Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección

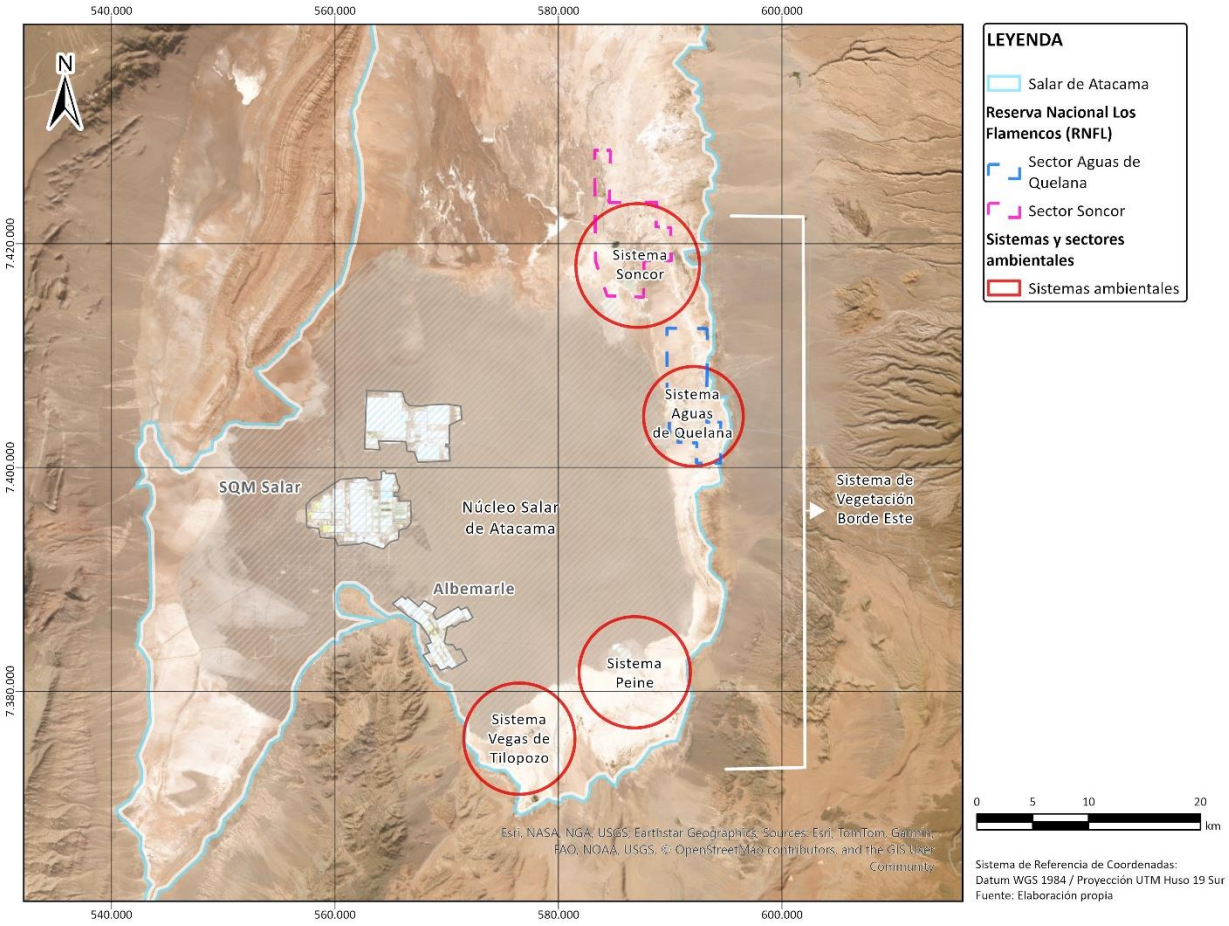
Sistema/Sector	Objetos de protección
Sistema Soncor	Lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros
Sistema Aguas de Quelana	Cuerpos lacustres dispersos y de dimensiones variables
Sistema Vegetación Borde Este	Zona de Vegetación Hidromorfa Zona de vegetación Brea-Atriplex conectada con el acuífero
Sistema Peine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

Nota: No se incluyen los sectores nuevos (voluntarios) por no tener un objeto de protección asociado

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comprensión del seguimiento ambiental hidrogeológico, y sobre la base a los distintos comportamientos esperados, el análisis histórico de los resultados del monitoreo en cada sistema ha sido sectorizados de acuerdo con las zonas acuíferas definidas en la Figura 42, 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.

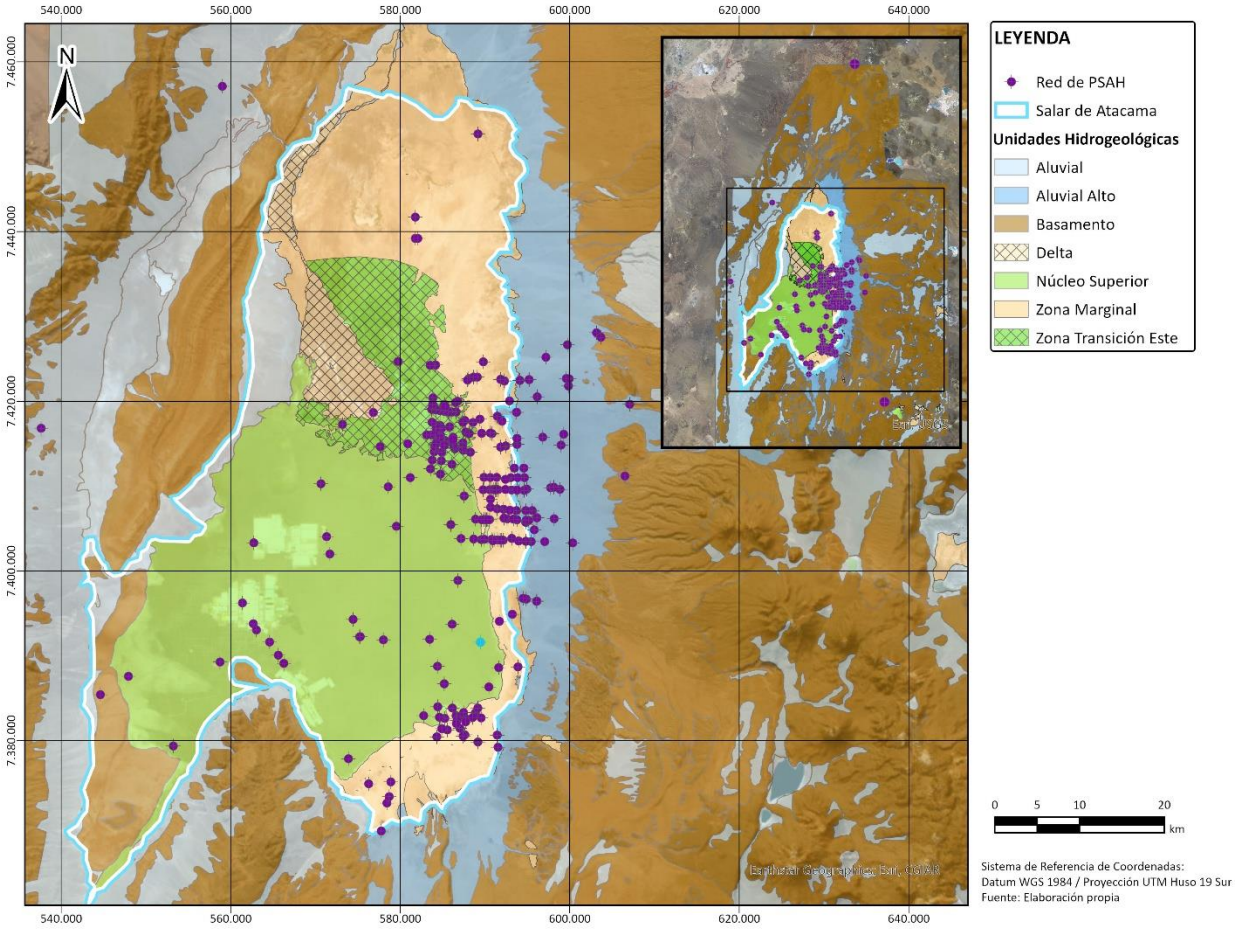
Figura : Ubicación esquemática de los sistemas y sectores ambientales del PSAH



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.

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 226 puntos de monitoreo, de los cuales 73 corresponden a puntos de monitoreo existentes y con registros previos a la RCA Nº226/2006 y 153 corresponden a puntos de monitoreo construidos como parte del proyecto, los cuales se encontraban todos habilitados el 31 de octubre de 2007. Además de 23 puntos voluntarios, completando un total de 248 puntos de monitoreo a la fecha. A partir de esta actualización correspondiente al segundo semestre de 2024 se incluyen 21 puntos de monitoreo adicionales en respuesta a la Acción 16 del PdC.

Todos los puntos de monitoreo corresponden a puntos fijos en el tiempo, a excepción de la medición de superficies lacustres, donde los puntos de control[3] 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:

- 197 pozos de monitoreo de nivel de agua/salmuera subterránea
- 5 pozos de bombeo de agua industrial[4]
- 18 reglillas para la medición del nivel de agua superficial
- 8 estaciones de aforo de flujos de agua superficiales
- 18 estaciones meteorológicas

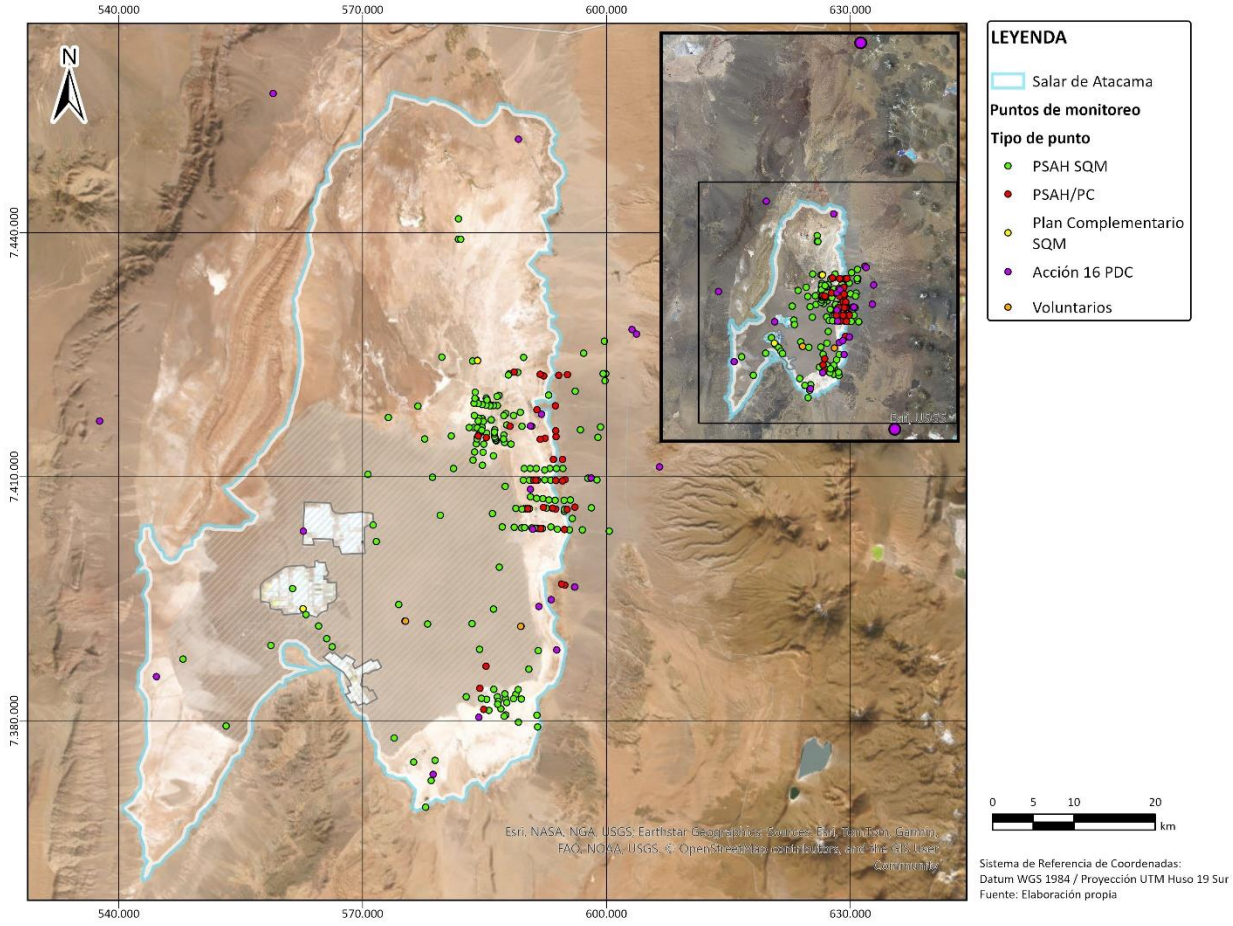
La ubicación de los puntos de monitoreo que conforman el PSAH se muestran en el mapa de la Figura 43, donde se diferencia por color los sistemas objeto del PSAH del proyecto. Las coordenadas presentadas corresponden a las obtenidas en la campaña de levantamiento topográfico de detalle realizada el año 2007

[3] Punto de control variable de acuerdo con lo indicado en Res Nº224/2010, dado que los límites de los objetos de protección presentan variabilidad en el tiempo de su área y extensión.

[4] 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.

de acuerdo con el considerando 10.2.1 de RCA Nº226/2006 para los puntos reportados hasta el PSAH N°35, y para los 21 puntos incorporados en esta actualización (PSAH N°36). Dichas coordenadas se levantaron en proyección UTM Huso 19S, considerando datum WGS 1984 y elipsoide de referencia GRS80.

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



Fuente: Elaboración propia.

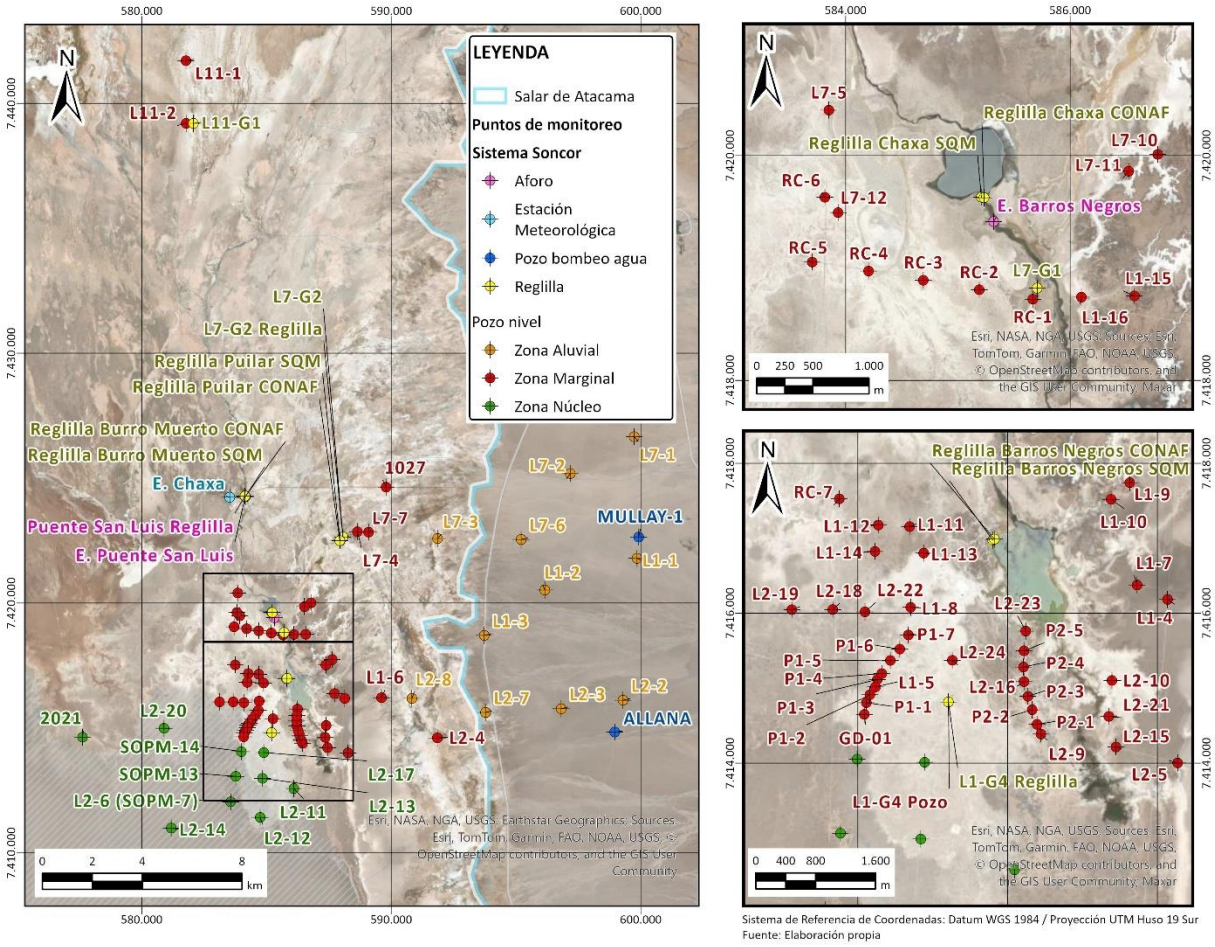
4.3.1 SISTEMA SONCOR

Los puntos de monitoreo del PSAH del Sistema Soncor se ubican entre las coordenadas UTM (WGS1984) 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 44, donde se ha diferenciado con un código de colores las infraestructuras en función de la zonificación presentada en la Figura 42. 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, Calidad 1 a 4

Nombre grupo parámetros	Parámetros incluidos
Calidad 1	Densidad, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos, pH y Conductividad.
Calidad 2	Salinidad, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, 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 Suspendidos, 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

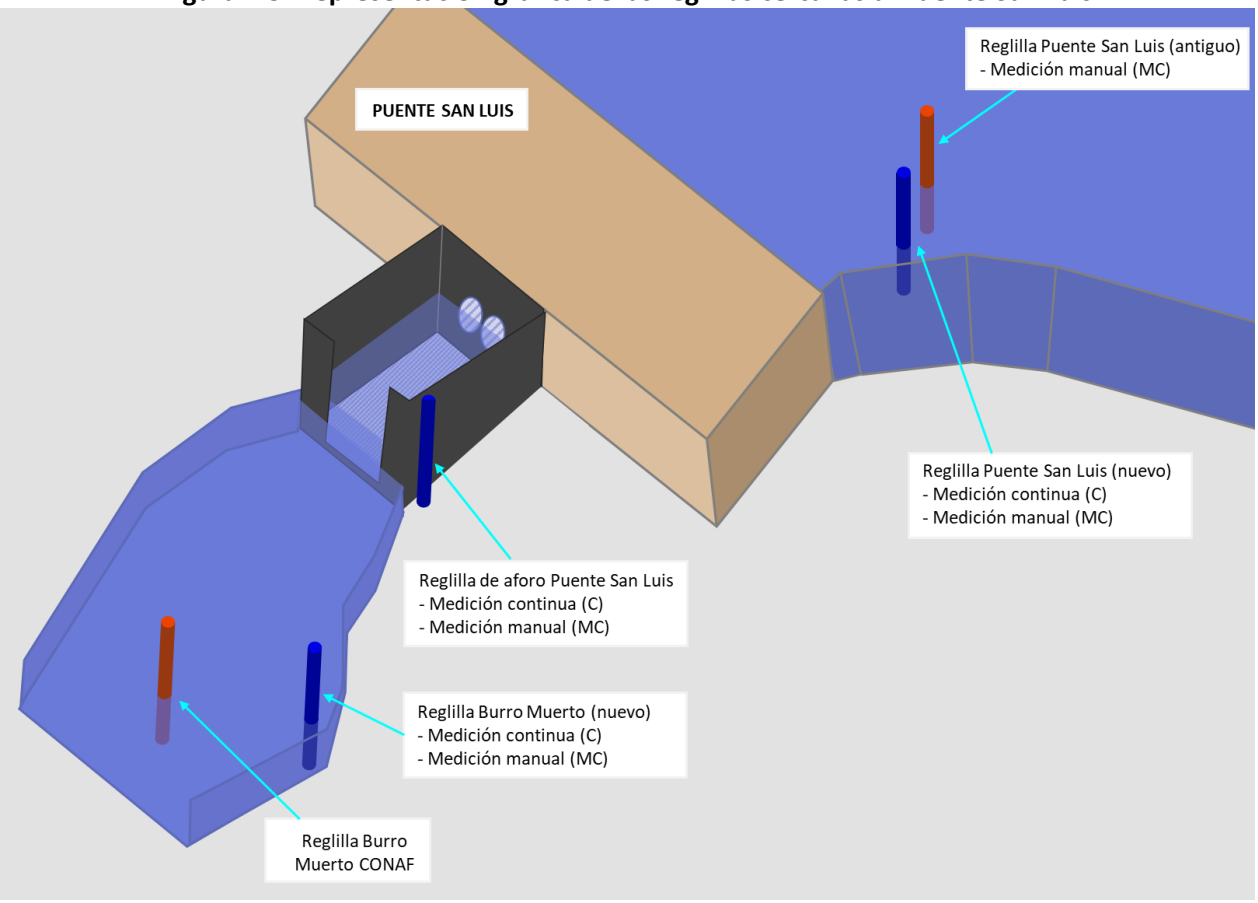
Nota: Existe un 5to tipo denominado Calidad 5 que se presenta en la Tabla 4-3Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la estación meteorológica Chaxa, se considera la medición de los parámetros precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura correspondiente al cumplimiento de la RCA 226/2006, y los parámetros voluntarios dirección del viento, humedad relativa, presión atmosférica y radiación global.

A modo explicativo, en la Figura 45 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, 2023). Este informe, 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 a 2023, 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 Nº226/2006 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,2023), 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 (WGS1984) 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 46. 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, las estaciones Meteorológicas LZA3-2 y LZA3-1, y el pozo de extracción de Agua Industrial Socaire-5B. De entre éstos, los pozos son muestreados para calidad.

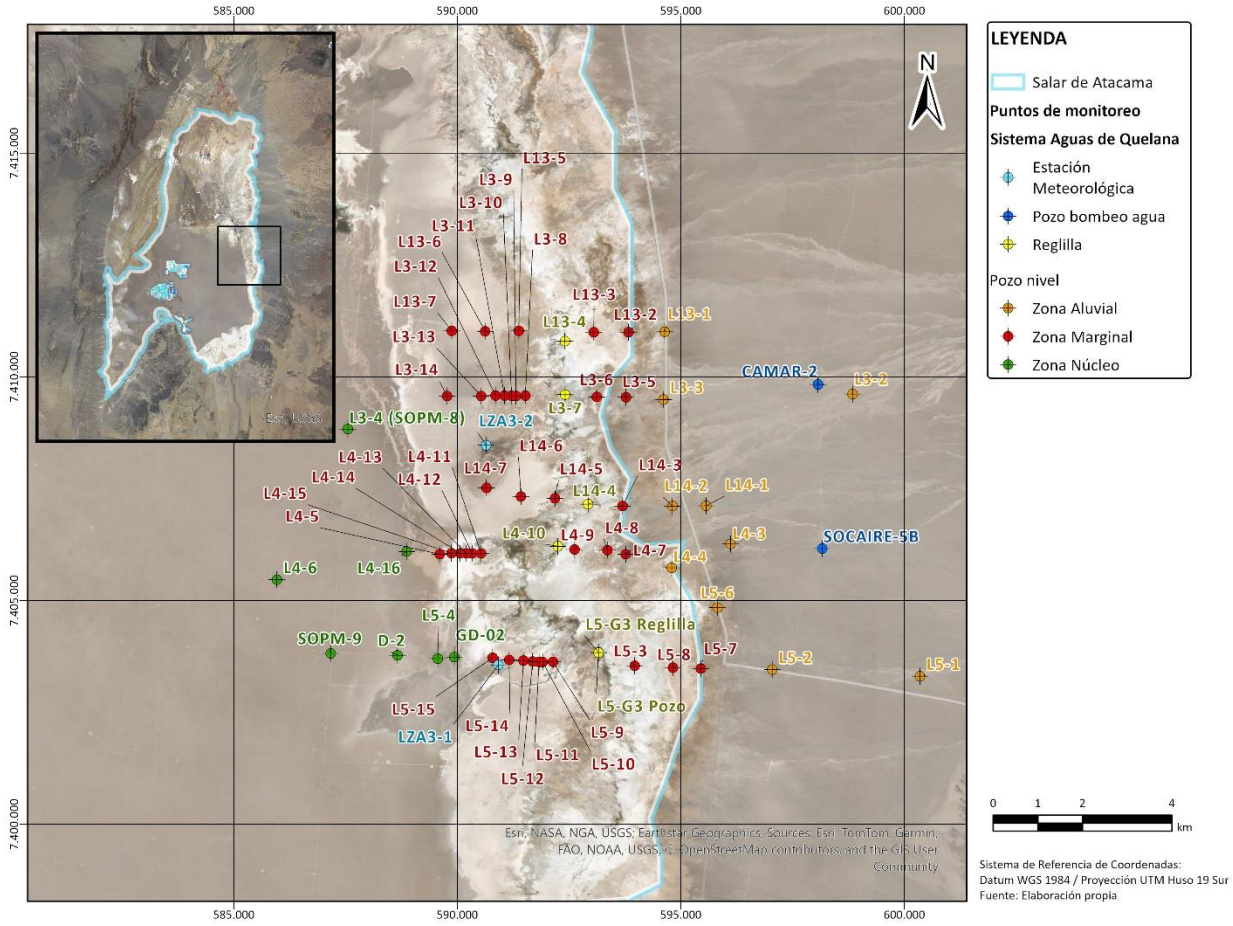
Para el caso de las estaciones meteorológicas, se considera la medición de los parámetros humedad relativa promedio, precipitación y temperatura promedio para la estación LZA3-2; y los parámetros dirección del viento, evaporación, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio, velocidad del viento para la estación LZA3-1.

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 Nº30, Nº31 y Nº32 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, 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.

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 47). 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 47, 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).

4.3.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

Los puntos de monitoreo del Sistema Vegetación Borde Este se encuentran entre las coordenadas UTM (WGS1984) 7.425.000 a 7.395.000 norte y 590.000 a 600.000 este aproximadamente. La red de monitoreo de este sistema contempla los puntos de monitoreo de nivel de agua, las estaciones meteorológicas LZA12-1, LZA12-2, LZA3-3, LZA7-1 y LZA7-2, el pozo de extracción de Agua Industrial CA-2015, calidad química, aforo y caudal de agua superficial.

En la siguiente Figura 48 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.

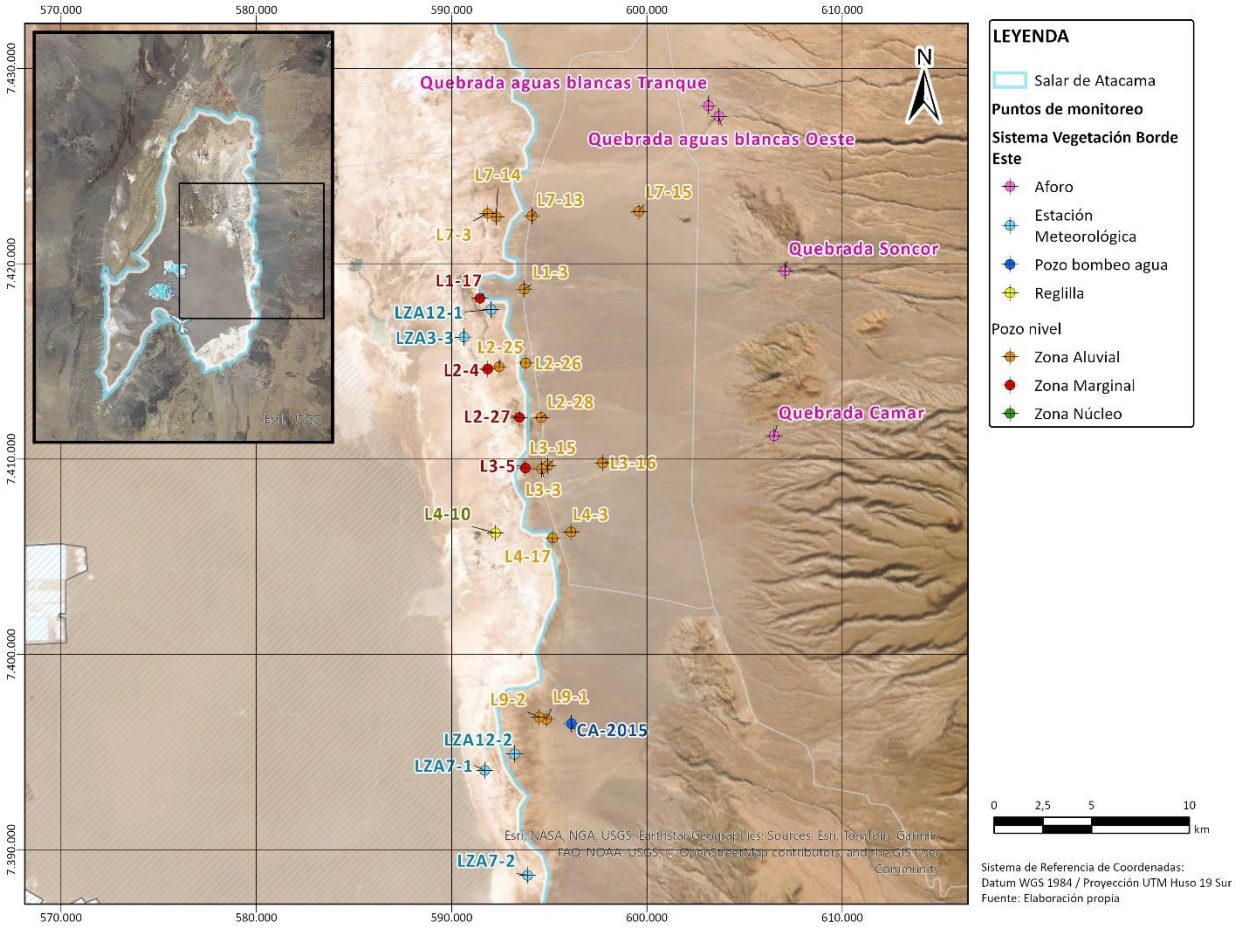
Cabe mencionar, que todos los puntos de medición de nivel que cuentan con sistema para la obtención de datos continuos son además medidos manualmente con una frecuencia determinada según sea un pozo del PC (medición diaria) o del resto de la red del PSAH (mensual).

Para el caso de las estaciones meteorológicas, se considera la medición de los parámetros humedad relativa promedio, precipitación y temperatura promedio para todas las estaciones.

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.

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 en pozos, y meteorología en la estación LZA9-1 (Interna). En el Sistema Peine no se contemplan pozos de agua industrial.

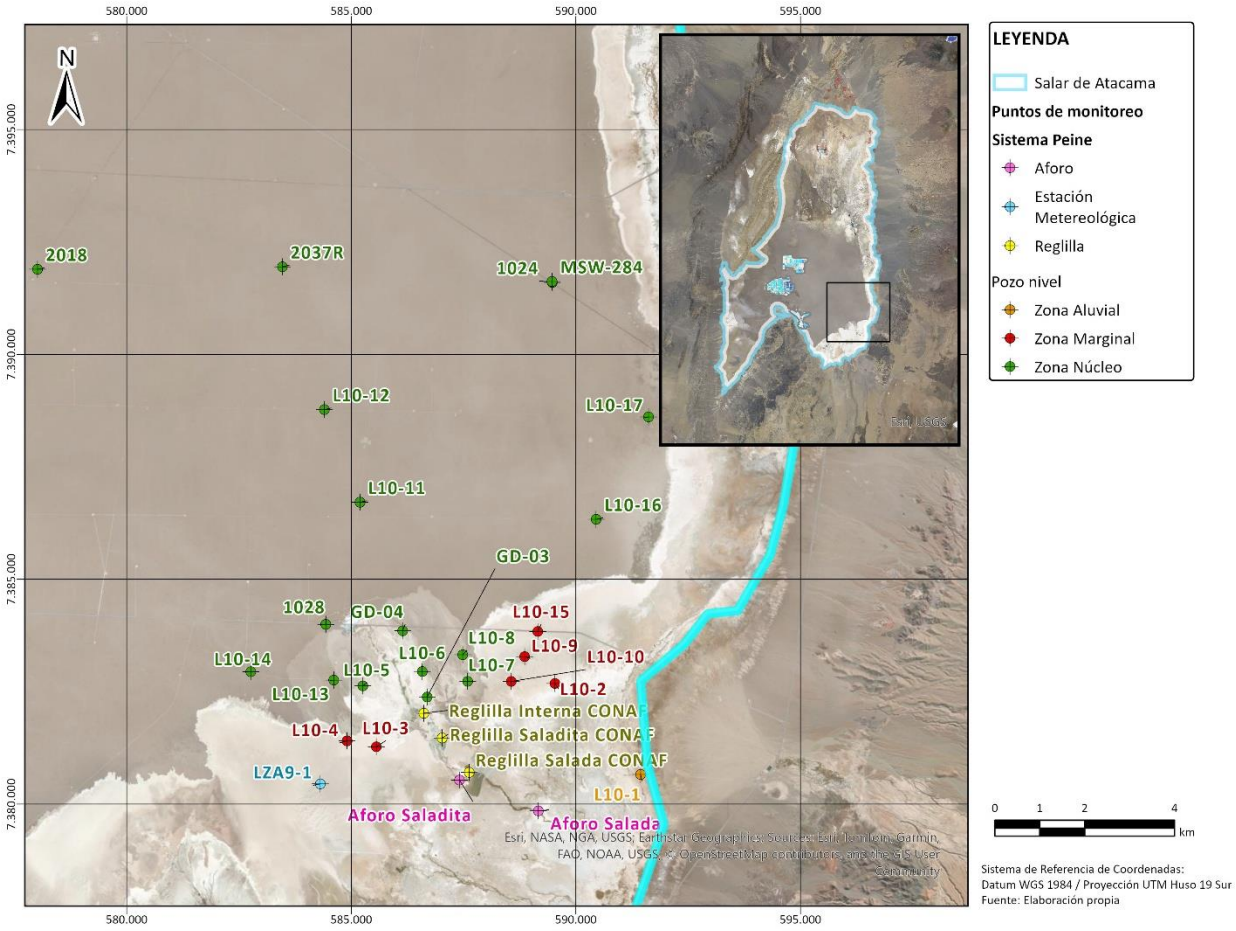
La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 49. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

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 Nº226/2006. 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.

Para el caso de la estación meteorológica LZA9-1 (Interna), se considera la medición de los parámetros dirección del viento, evaporación, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio, velocidad del viento.

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).

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



Fuente: Elaboración propia.

4.3.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

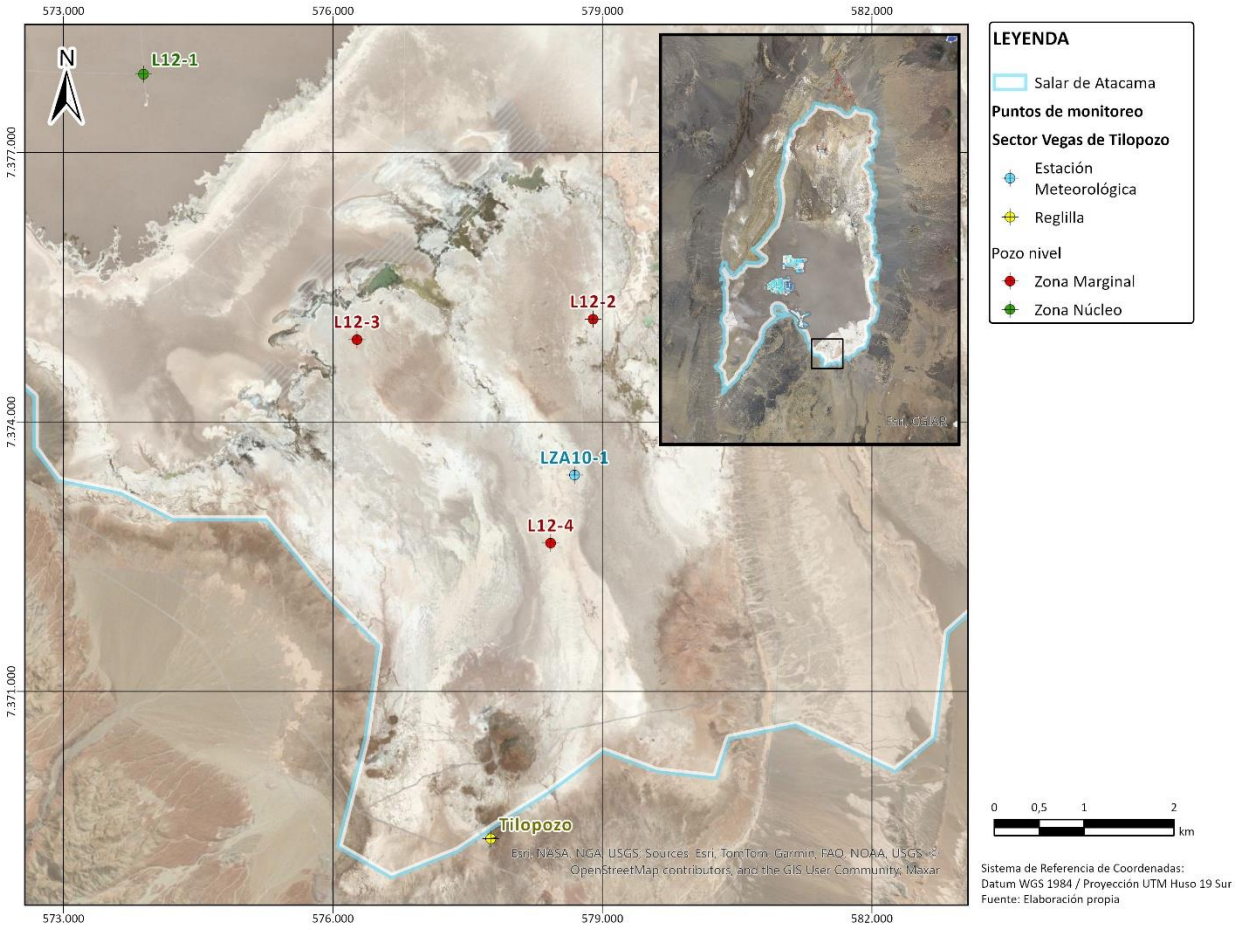
Los puntos de monitoreo del Sector Vegas de Tilopozo se ubican entre las coordenadas UTM (WGS1984) 7.378.000 a 7.370.000 norte y 573.000 a 580.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de nivel, reglillas y meteorología en la estación LZA10-1.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 410, donde se ha diferenciado con un código de colores las infraestructuras en función de la zonificación presentada en la Figura 42.

Para el caso de la estación meteorológica LZA10-1, se considera la medición de los parámetros humedad relativa promedio, precipitación y temperatura promedio.

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

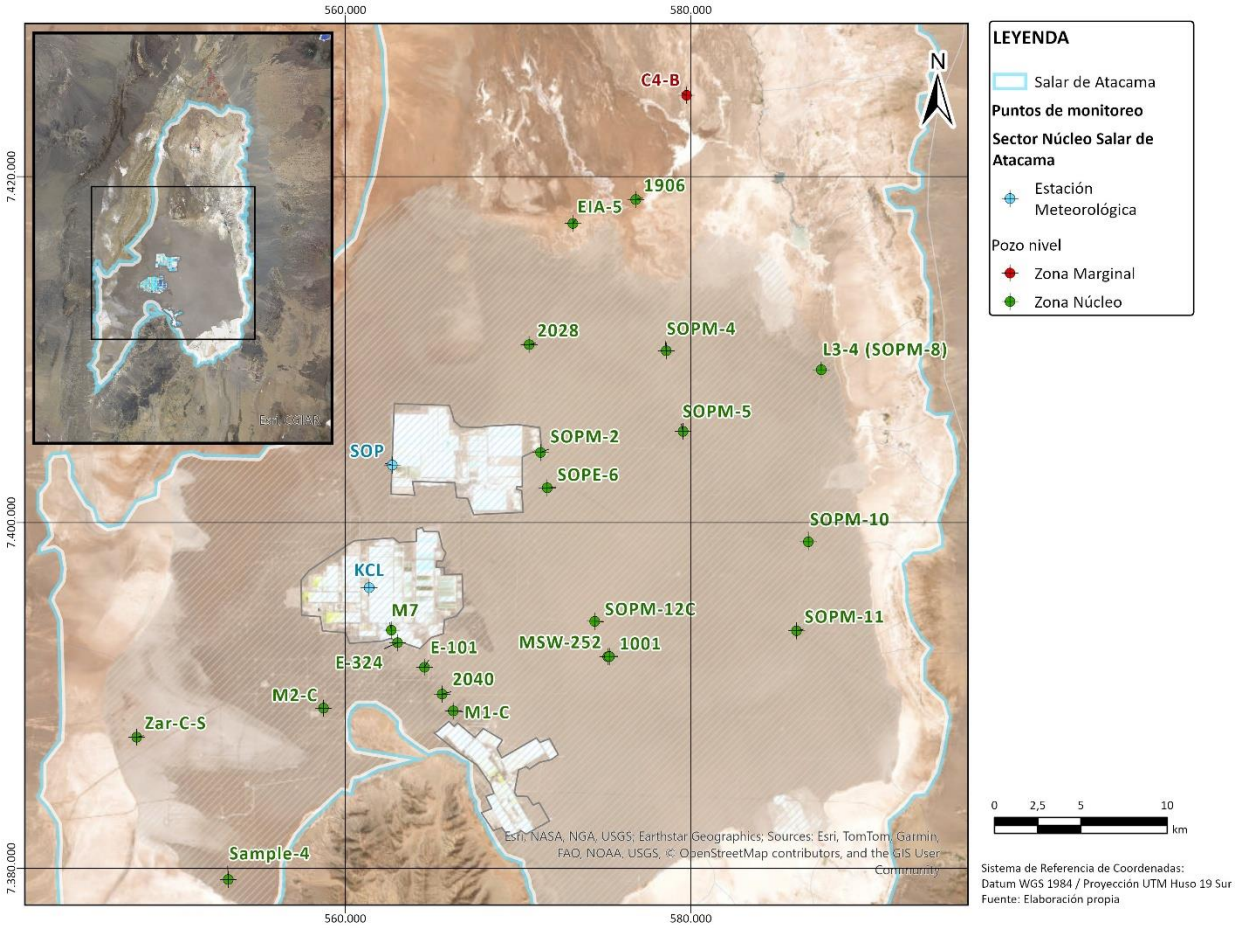


Fuente: Elaboración propia.

4.3.6 SECTOR NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

Los puntos de monitoreo del Núcleo del Salar de Atacama se encuentran entre las coordenadas UTM (WGS1984) 7.425.000 a 7.379.000 norte y 547.000 a 588.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de nivel de salmuera, calidad química y meteorología en las estaciones SOP y KCL. La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 411. 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.

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



Fuente: Elaboración propia.

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, Calidad 5

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

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de las estaciones meteorológicas SOP y KCL, se considera la medición de los parámetros dirección del viento, evaporación, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio, velocidad del viento.

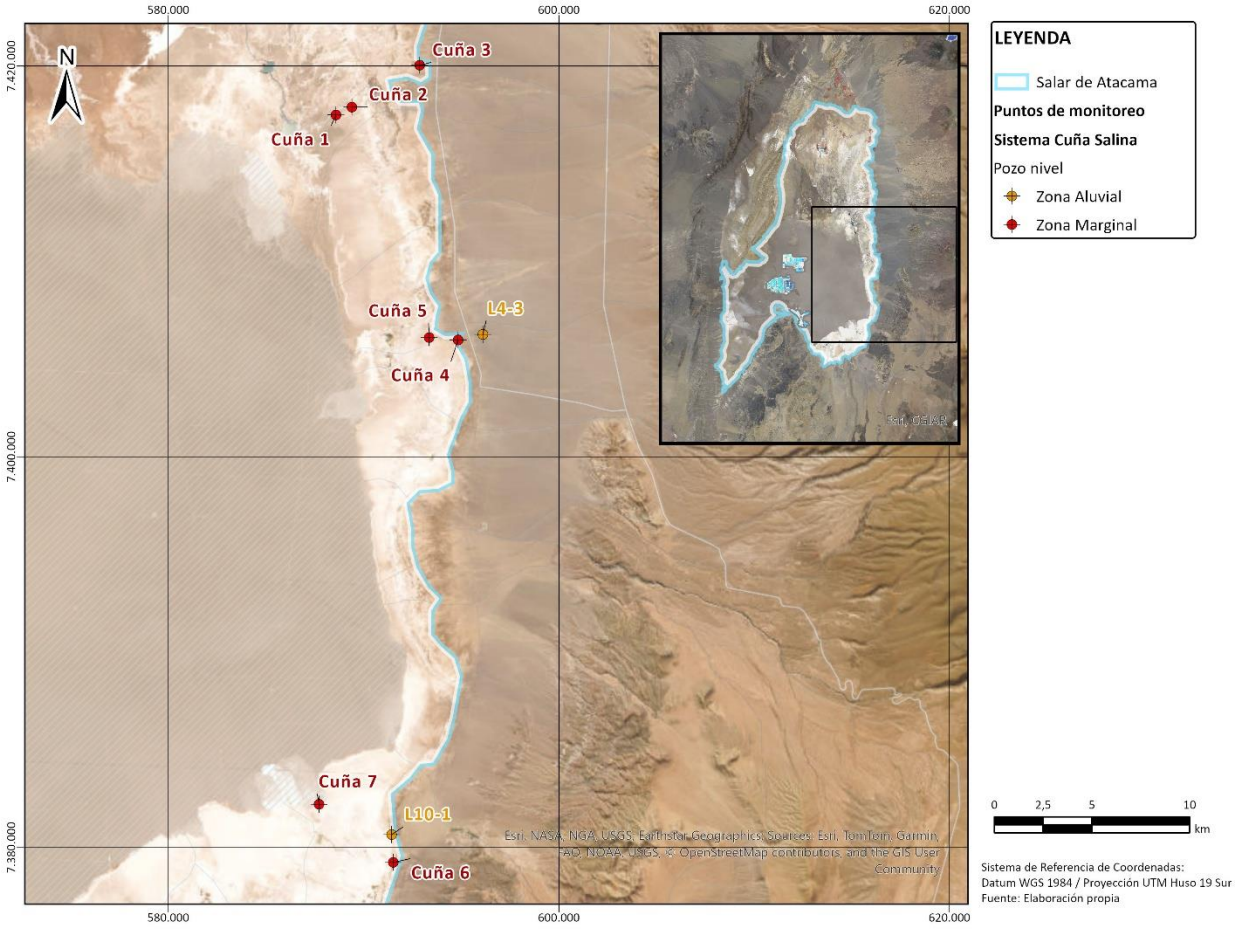
4.3.7 SECTOR CUÑA SALINA

Los 9 puntos de monitoreo de la Cuña Salina, agrupados en tres perfiles, se encuentran entre las coordenadas UTM (WGS1984) 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 del salar.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de la Cuña Salina se muestra en la Figura 412. 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.

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 y Anexo 2).

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



Fuente: Elaboración propia.

4.3.8 SECTOR CUENCA SALAR DE ATACAMA

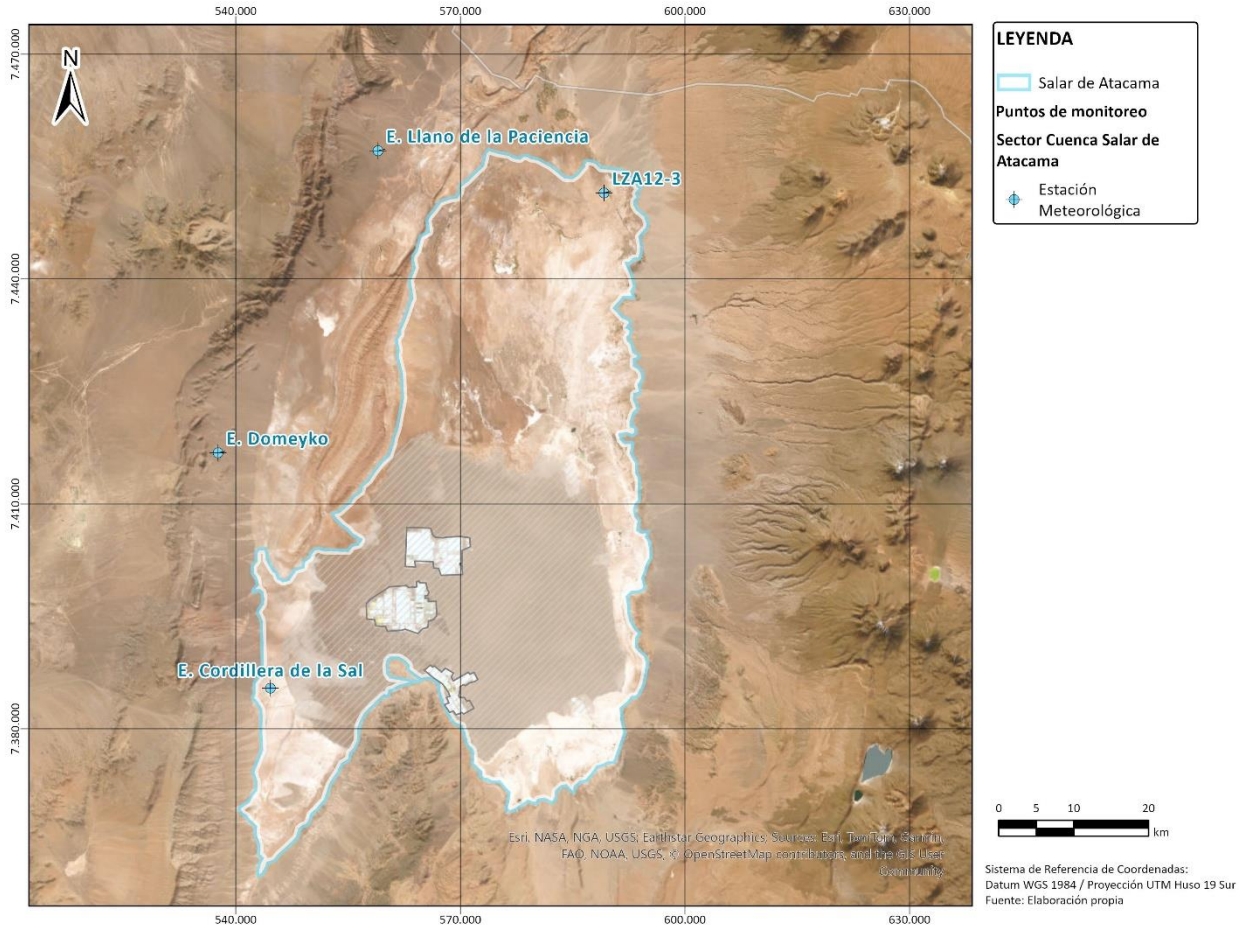
Los puntos de monitoreo del PSAH del Sector Cuenca Salar de Atacama se ubican entre las coordenadas UTM (WGS1984) 7.385.000 a 7.457.000 norte y 600.000 a 616.000 este aproximadamente. La red de monitoreo de este sistema contempla a las estaciones meteorológicas Domeyko, Cordillera de la Sal, Llano de la Paciencia y LZA12-3.

Para las estaciones meteorológicas se considera la medición de los parámetros dirección del viento, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio, velocidad del viento para las estaciones Domeyko y Llano de la Paciencia; los parámetros

dirección del viento, evaporación, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio, velocidad del viento para la estación cordillera de la sal; y los parámetros, humedad relativa promedio, precipitación, temperatura promedio para la estación LZA12-3.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo del Sector Cuenca Salar de Atacama se muestra en la Figura 413. 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.

Figura 4-13: Distribución geográfica puntos de monitoreo del Sector Cuenca Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

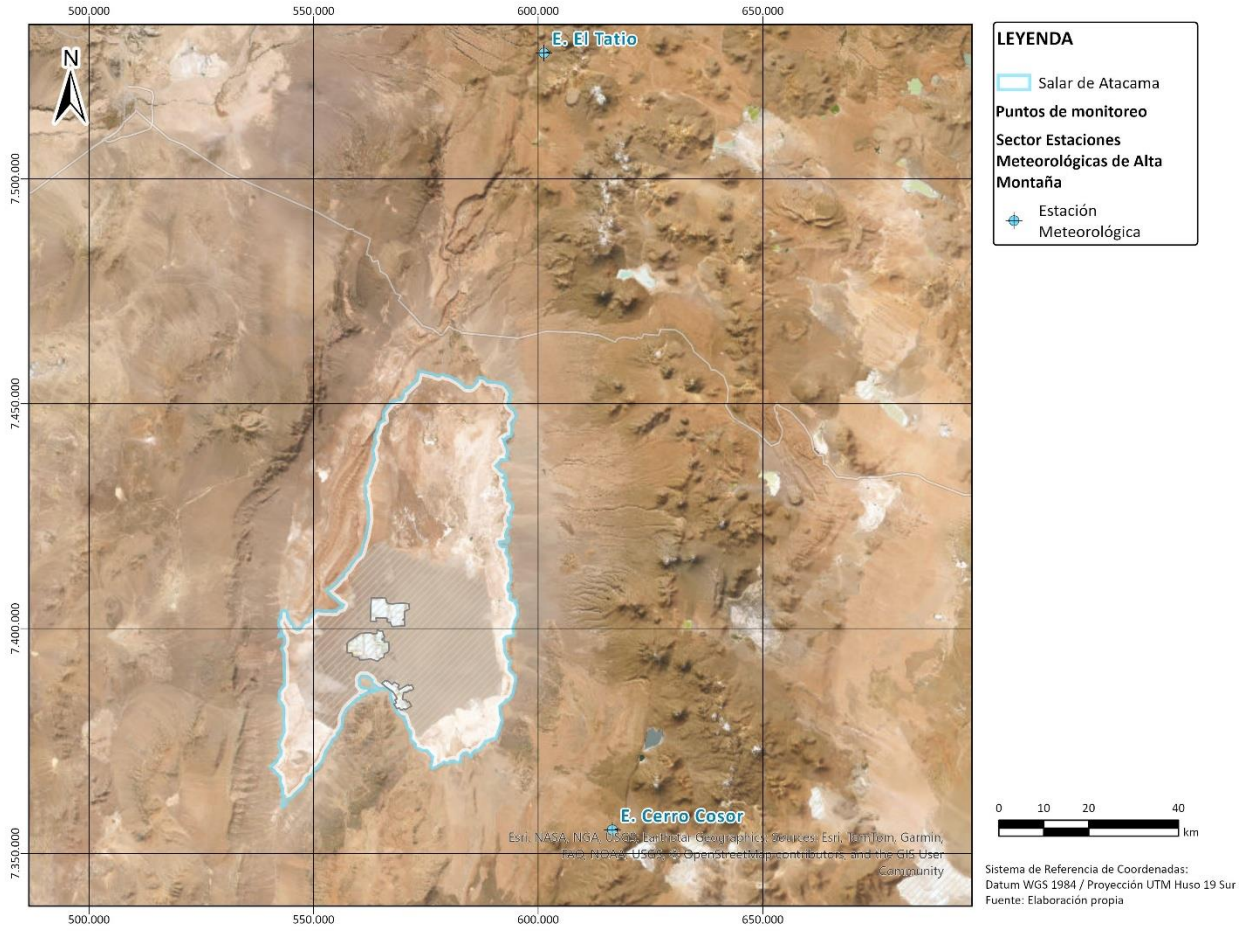
4.3.9 SECTOR ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE ALTA MONTAÑA

Los puntos de monitoreo del PSAH del Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña se ubican entre las coordenadas UTM (WGS1984) 7.355.000 a 7.528.000 norte y 600.000 a 616.000 este aproximadamente. La red de monitoreo de este sistema contempla a las estaciones meteorológicas Cerro Cosor y El Tatio SQM.

Para las estaciones meteorológicas se considera la medición de los parámetros dirección y velocidad del viento, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio, velocidad del viento.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo del Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña se muestra en la Figura 414. 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.

Figura 4-14: Distribución geográfica puntos de monitoreo del Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña



Fuente: Elaboración propia.

4.3.10 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 Nº226/2006 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. 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 Nº33, Nº34, Nº35 y actual (Nº36) 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 Nº38/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 Nº226/2006.

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)[5].

SQM ha asumido como compromiso voluntario considerar 6 indicadores de estado adicionales a los definidos en la RCA Nº226/2006, 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

[5] 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.

el sistema Alerta Temprana (L2-26 y L3-15). Para todos se definieron los umbrales respectivos bajo los mismos criterios que en la RCA Nº226/2006 vigente.

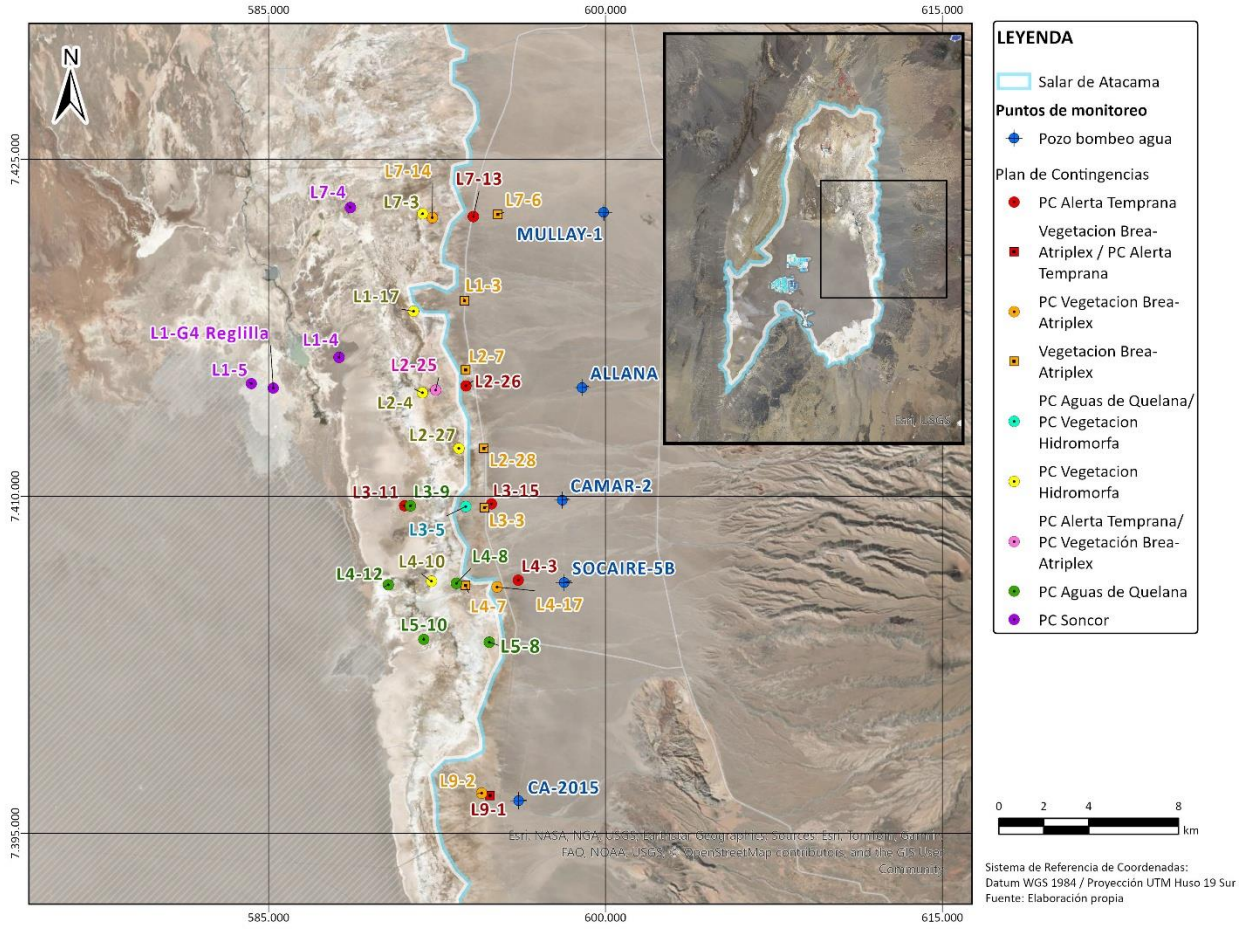
De acuerdo con lo anterior, los Indicadores de Estado del Plan de Contingencias, que además forman parte de los puntos de control del PSAH señalados en las secciones anteriores, se identifican en la Tabla 4-4, y su ubicación espacial se presentan en el mapa de la Figura 415 y Figura 416.

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 Nº226/2006
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	PdC presentado en proceso SMA F-041-2016
Pozos adicionales	Vegetación Brea-Atriplex	L2-25, L7-14, L4-17, L9-2	Pozos adicionales SQM
	Alerta Temprana	L2-26, L3-15	

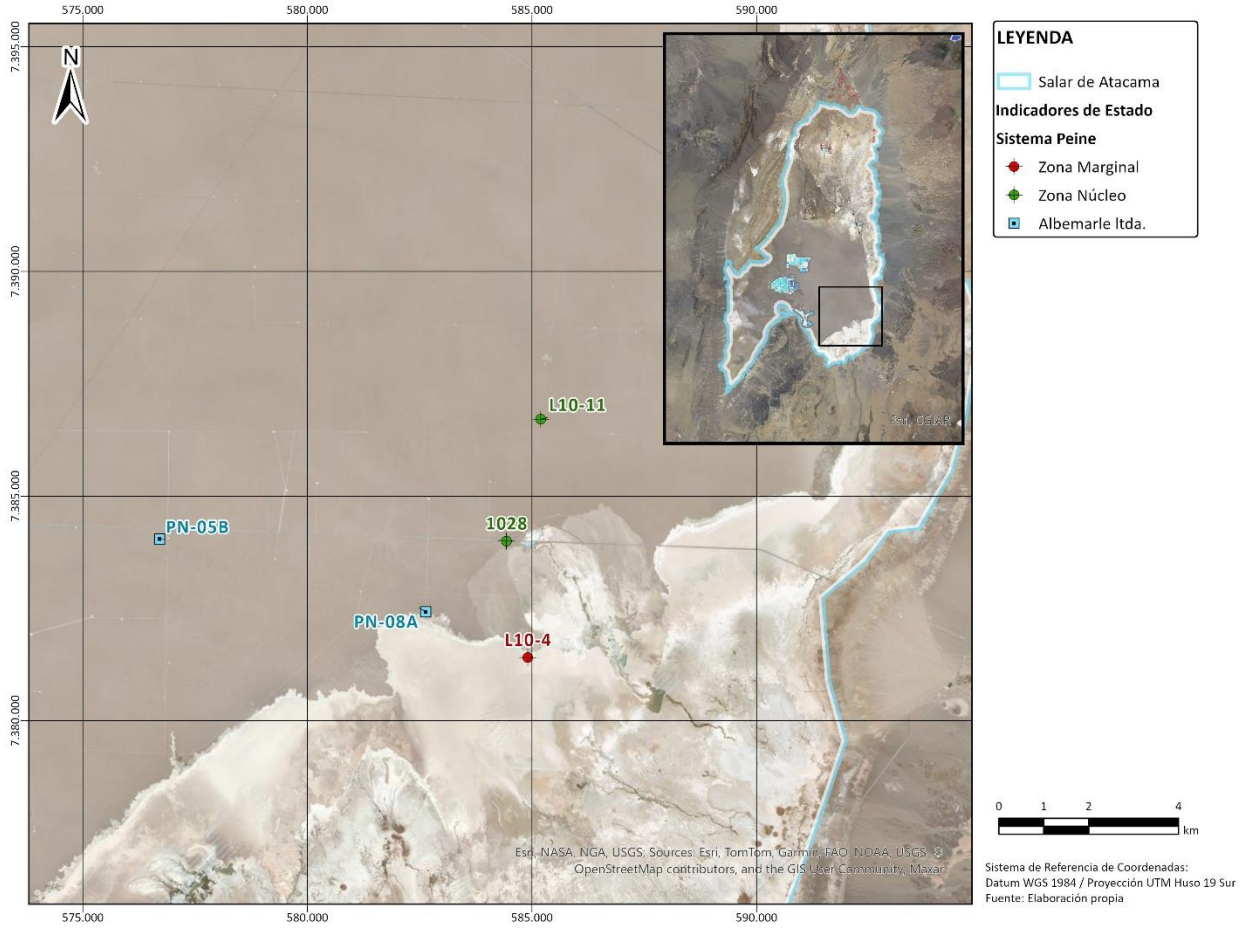
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-15: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-16: 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 Nº226/2006 y la Resolución Externa Nº223, 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 Nº894/2019, 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 Nº894/2019 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, las comunidades tienen acceso a información actualizada sobre el seguimiento hidrogeológico a través del sitio web público https://www.sqmsenlinea.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 Nº226/2006 y a posteriores resoluciones ambientales que modifican el responsable de la medición. Así, en abril de 2022, se emitieron nuevas resoluciones (Resoluciones Exentas Nº573, Nº574 y Nº575/2022) 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 Nº573/2022, 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 superficial, cuando 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.

Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Formato reportabilidad de la data	**Método | Frecuencia | Responsable de medición** *Cambios derivados de la aplicación de Res. Ex. Nº573/2022*
Agua	Agua subterránea	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. Nº894/2020	**Red PSAH:** Manual | Mensual | SQM Continua | 1 min | SQM
					Red PC: Manual | Diaria | ETFA Continua | 1 min | SQM (A)
					Mediciones voluntarias: **Red PC:** Manual | Mensual | SQM **Red Voluntaria**: Manual | Mensual | SQM
			Caudal bombeo	Res. Ex. Nº894/2020	Continua | Mensual | SQM
		Calidad de agua	Posición Interfaz Salina	Propio	Manual | Mensual |SQM
			Físico y químicos	Res. Ex. Nº894/2020	Muestreo | Trimestral RCA 226/2006 y Mensual Sistema PEINE por Plan de Cumplimiento + pozo M7 y 1906 | ETFA
	Agua superficial	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. Nº894/2020 (B)	**Red PSAH:** Manual | Mensual | SQM Continua | 1 min | SQM **Red PC**: Manual | Diaria | ETFA
			Superficie Lacustre (C)	Propio	RTK | 5 años | SQM Estacas | Trimestral | SQM Imágenes satelitales | Trimestral | SQM
			Caudal	Res. Ex. Nº894/2020	**Red PSAH:** Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM **Red Voluntaria:** Manual | Mensual | SQM
		Calidad de agua	Físico y químicos (D)	Res. Ex. Nº894/2020	Manual | Trimestral | ETFA
Aire	Aire	Meteorología	Precipitación acumulada, evaporación promedio, temperatura promedio y velocidad del viento promedio (RCA 226/2206), y dirección del viento promedio, humedad relativa promedio, presión atmosférica promedio y radiación global promedio voluntarios.	Propio	Continua | 5 min | SQM

Notas: Los comentarios numerados en esta tabla y que detallan aspectos adicionales de los parámetros se presentan en el texto a continuación. Fuente: Elaboración propia.

Algunas precisiones respecto a las metodologías de parámetros del PSAH se describen a continuación:

- La red voluntaria de monitoreo son los puntos declarados como respuesta de la Resolución 1.314/2020 SMA y en función de la recomendación de la acción 16 del PdC.
- Niveles de la red de monitoreo PC (A): 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 la sección 4.3 junto a la ubicación de los puntos o áreas de Monitoreo.
- Forma de reportar Nieles (B): se entregan los datos en el formato establecido por la Resolución Exenta Nº 894/2020 de forma voluntaria ya que, según la misma, no se establece formato definido para esta variable de agua superficial.
- Superficie lacustre (C): 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 la sección 4.5 Materiales, Equipos y Metodologías de monitoreo.
- Calidad del Agua (D): se establecen como criterios de validación
  - Error del Balance Iónico (EBI), el cual se basa en el principio de electroneutralidad de los iones disueltos en una solución y postula que en aguas naturales la suma de las cargas positivas y negativas, dada por los cationes y aniones respectivamente, debiese ser equivalente. El EBI se calcula mediante la expresión:

$$EBI\ (\%)\ = 100 \cdot \frac{\sum cationes\left(\frac{meq}{L}\right) - \sum aniones\left(\frac{meq}{L}\right)}{\sum cationes\left(\frac{meq}{L}\right) + \sum aniones\left(\frac{meq}{L}\right)}$$

    Se establece un criterio de admisibilidad de un $|EBI| \leq 10\%$.
  - Balance de masa (BM): para aquellas muestras que se analizan Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos (SS) y Sólidos totales (ST), se establece el balance de masa según:

$$BM\ (\%) = \frac{SDT\ +\ SS\ -\ ST}{ST} \cdot 100\ \leq\ \pm 20\%$$

    Se establece un criterio de admisibilidad de un $|BM| \leq 20\%$.

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 5.1 se entrega detalle sobre los procedimientos de medición, materiales y equipos utilizados por la ETFA.

Tabla 4-6: Metodologías consideraciones utilizadas para el muestreo, medición y análisis.

Monitoreo	Empresa monitoreo	Metodología
Medición de nivel de agua y salmuera subterránea en piezómetros y pozos	ETFA SEGEA	ETFA es responsable realizar las mediciones con frecuencia diaria a los pozos del Plan de Contingencia
Medición de nivel de agua superficial	ETFA SEGEA	ETFA es responsable y realizar las mediciones con frecuencia diaria a los limnímetros del Plan de Contingencia
Medición de nivel de agua subterránea	SQM	Medición en continuo de nivel mediante sensor de presión y medición de nivel manual mensual.
Medición de superficie lacustre[1]	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)
Medición caudal pozos de bombeo agua industrial	SQM	Medición en continuo mediante Flujómetro (Totalizadores).
Medición de caudal superficial (aforos)D	ETFA SEGEA y SQM	Medición manual del caudal de agua superficial, o aforos mediante medidor de velocidad de flujo.
Medición 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, frecuencia semestral RCA N°226/2006 y mensual por Plan de Cumplimiento.
Medición meteorología	SQM	A partir de las estaciones que SQM dispone en el salar equipadas con sensores específicos para cada variable medida.

Nota: (1) 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 Nº 244/2010 de la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA) de la Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

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 segundo semestre de 2024, que comprende el período de entre el 01 de julio al 31 de diciembre de 2024.

Estas actividades se han ejecutado con la frecuencia indicada en la RCA Nº226/2006, así como en el PdC F-041-2016. No obstante, el régimen de acceso a los sectores donde se ubican parte importante de los puntos de seguimiento está condicionado por autorizaciones de por parte de las comunidades o por CONAF, 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 segundo semestre 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 los Procedimientos de medición (Anexo 3). 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. Las especificaciones técnicas de los equipos se presentan en el Anexo 3.1.

- **Cota piezométrica.** Las incertidumbres en la obtención de la cota piezométrica se concentran en la precisión de los equipos de medición, como el Pozómetro (±5 mm), la observación realizada por el monitor (±1 mm) y la exactitud con la que se ha medido la cota del punto de referencia (±1 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 automáticamente cada minuto, conforme a lo establecido por la Res Ex. Nº1314/2020 de la SMA. Utilizando un valor de densidad de referencia ingresado por el usuario, el transductor calcula y reporta el nivel en distancia desde el punto de referencia hasta el agua. 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.

  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 gestionar con el Equipo de Instrumentación para que 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.

- **Parámetros Fisicoquímicos**. En la medición de parámetros fisicoquímicos 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 o aforos, la incertidumbre recae en la medición del área de las secciones (± 0,25 cm), la precisión de medición del molinete (± 2% para equipo SQM y ± 0,5%+5mm/s para equipo ETFA) y el régimen del flujo de agua (laminar-turbulento).
- **Medición de variables meteorológicas**. En las mediciones de dirección del viento, evaporación, humedad relativa promedio, precipitación, presión atmosférica promedio, radiación global, temperatura promedio 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 elementos). Además, el método presenta limitaciones para estimar cuerpos de agua de dimensiones pequeñas (centimétricas o decimétricas) o para detectar cuerpos de agua someros (de pocos centímetros), esto ocurre debido a 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 de superficies lacustre de forma satelital.
- **Caudales de agua industrial.** la incertidumbre está asociada a la precisión de los equipos utilizados, lo cual se realiza mediante flujómetro Yokogawa tienen un error de ± 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 Nº56/2019 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.

5 RESULTADOS DEL SEGUNDO 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 segundo 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 Nº223/2015, 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. Nº38/Rol F-041-2016. Dichas acciones son:

- Acción 5: 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 Nº 56/2019 de CONAF.
- Acción 42: 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 Nº226/2006, 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 Nº21/2016, 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.

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.

De manera que, de acuerdo con las instrucciones impartidas por la SMA (Decreto Supremo Nº38/2013 y Resolución Exenta 574/2022 SMA), las mediciones de los indicadores de estado son efectuadas por la ETFA, ya que tienen una frecuencia diaria.

Dicho todo lo anterior y junto con lo establecido en la RCA Nº226/2006, en la Tabla 51 se muestra la frecuencia de medición comprometida y el detalle de quien realiza el monitoreo, 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, aforos y meteorología; en el caso de los niveles de los indicadores de estado. Como reportabilidad voluntaria, en este informe se incluye la reportabilidad de:

1. La totalidad de las estaciones meteorológicas propiedad de SQM en la cuenca del Salar de Atacama, lo que corresponde a incluir 16 nuevas estaciones.
2. Incorporación de 4 puntos de aforo adicionales: Quebrada Camar, Quebrada Soncor, Quebrada Aguas Blancas Tranque y Quebrada Aguas Blancas Oeste.
3. Incorporación de la variable nivel para el pozo CAMAR-2015 (como respuesta a Acción 16 del PdC)
4. Niveles de aguas subterráneas de pozos MSW en el Sector Núcleo como reporte adicional en respuesta a el hallazgo de pozos secos (sección 5.1.2).

   Niveles de aguas subterráneas complementarios declarados en Resolución 1.314/2020 SMA.

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 responsabilidad de SQM (Resoluciones Exentas Nº 573, Nº 574 y Nº 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	Esporádico [1]	ETFA
	Caudal de agua (aforos)	Mensual	ETFA	Mensual	SQM
	Calidad	Trimestral	ETFA	Mensual [2]	ETFA/SQM-[3]
	Meteorología	5 minutos	SQM	Diaria [4]	SQM
	Superficie lacustre	5 años/ anual/ trimestral	SQM (mediante empresa especializada)	-	-
	Caudal bombeado	1 minuto	SQM	-	-
Indicador de estado	Nivel	Diaria	ETFA	Esporádico [1]	SQM

Notas: (1) Para este periodo segundo semestre 2024 solo el pozo L1-G4 monitoreado con frecuencia diaria. (2) Solo corresponde a el punto comprometido en Peine. (3) SQM solo mide parámetros en terreno (pH, densidad, conductividad, temperatura). (4) Corresponde al cálculo del parámetro representativo diario, y no a la toma del dato diario.

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 julio a diciembre de 2024, agrupados según los siguientes sistemas y sectores de control (ver sección 4):

- Sistema Soncor
- Sistema Aguas de Quelana
- Sistema Vegetación Borde Este
- Sistema Peine
- Sector Vegas de Tilopozo
- Sector Núcleo del Salar de Atacama
- Sector Cuña Salina
- Sector Cuenca Salar de Atacama
- Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña

Las variables monitoreadas en cada uno de estos sistemas y sectores, según corresponda, han sido agrupadas de la siguiente forma (ver sección 4):

- Nivel del agua subterránea
- Nivel del agua superficial
- Nivel de salmuera
- Caudal bombeado (aguas)
- Caudal superficial (aforos)
- Calidad química
- Meteorología
- Superficie lacustre
- Cuña salina
- Perfil de conductividad

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 y sector 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.

A modo de facilitar la visualización e interpretación conjunta del seguimiento ambiental y garantizar el cumplimiento de la Resolución Exenta Nº223/2015, se presentan gráficos que resumen todos los registros de monitoreo según la variable medida en el período. Estos registros incluyen mediciones puntuales, continuas y aquellas realizadas por entidades externas, si corresponde.

En el caso de los pozos pertenecientes al PC, que disponen de una medición de nivel de manera diaria, en las tablas se exponen los máximos y mínimos mensuales a modo de referencia. Los niveles medidos de forma continua se muestran como la mediana diaria. Las mediciones diarias, además, se entregan tabuladas en el anexo correspondiente a los niveles. En relación con la información entregada en los anexos, la Tabla 5-1 se especifica la información complementaria al informe del PSAH que es parte de esta entrega.

Tabla 5-1: Resumen información complementaria para cada componente en anexos

Anexo	Componente	Contenido
Anexo 4	General	**Anexo 4.1:** Gestión de ingreso a RNLF (correos SQM solicitando autorización)
		Anexo 4.2: Cartas de CONAF y Comunidad Atacameña de Peine con restricción acceso RNLF
		Anexo 4.3: Cartas de activación de fases
		Anexo 4.4: Cartas de solicitud de ingreso a RNLF y programación de monitoreos
		Anexo 4.5: Resoluciones ETFA
		Anexo 4.6: Justificaciones de no monitoreo
Anexo 5	Niveles y caudales	**Anexo 5.1:** Informes de la ETFA sobre niveles y caudal de agua subterránea, incluyendo justificaciones para puntos no visitados (RES Nº127/2019).
		Anexo 5.2: Información tabulada de monitoreos de agua subterránea y superficial, con mediciones en msnm, mbpr, mbnt, (RES Nº894/2020).
Anexo 6	Calidad química de Agua Subterránea y Superficiales	**Anexo 6.1:** Informes de las ETFAs, indicando puntos no muestreados.
		Anexo 6.2: Resultados de calidad para el segundo semestre de 2024.
Anexo 7	Caudal Extracciones	Caudal medio mensual de extracciones de pozos de agua industrial (RES Nº894/2020)
Anexo 8	Resultados de Aforos	Resultados de aforos (caudal de agua superficial) según formato establecido. (RES Nº894/2020)
Anexo 9	Datos Meteorológicos	**Anexo 9.1:** Resultados de variables meteorológicas tabuladas para el semestre actual
		Anexo 9.2: Resultados de variables meteorológicas tabuladas para el semestre actual, frecuencia diaria
		Anexo 9.3: Memos mensual de validación y relleno de variables meteorológicas
Anexo 10	Extensión Lagunar	**Anexo 10.1:** Mapeo y cálculo de superficies lacustres
		Anexo 10.2: Estacas perimetrales y puntos de control
		Anexo 10.3: Mapas de extensión lagunar formato .png
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	**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 medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II Sistema Peine
		Anexo 12.4: Protocolo de aplicación de umbrales definidos para el Sistema Peine.

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, sectores en donde se requiere una autorización explicita ya sea por parte de CONAF o de las Comunidades Atacameñas de Toconao, Talabre, Camar, Socaire, Peine y Coyo aledañas al proyecto. A continuación, se describe y detalla los puntos que no pudieron ser monitoreadas según la frecuencia definida y su respectiva justificación para el segundo semestre de 2024.

5.1.1.1 Zonas de acceso restringido en la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF)

Existen áreas con acceso restringido debido al "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 Nº56/2019 CONAF 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. La infraestructura habilitada en esta área incluye 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 una reglilla (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 son controlados por CONAF (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 éstos, 6 son indicadores de estado.

Se hace notar que el indicador de estado L2-27 perteneciente al PC, dejó de tener mediciones diarias desde el 26/04/2024 dado que se encuentra dentro del polígono de límites de la RNLF Aguas de Quelana, por lo tanto, aplica régimen de acceso de visita según Resolución Nº 56/2019 CONAF y en consecuencia la medición de nivel manual diario pasa a frecuencia mensual en RNLF.

- En el área **Sector Tambillo** en el Sistema Soncor, la restricción limita el acceso a 3 puntos de control, los cuales corresponden a la estación meteorológica LZA12-3, y la medición de niveles de los puntos RIOCHILEX-15 y RIOCHILEX-16.

Adicionalmente el protocolo establecido mediante Resolución Nº 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 puede ingresar al área protegida. En la Tabla 5-2 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 en sectores Soncor, Aguas de Quelana y Tambillo. Sin embargo, no se obtuvo respuesta de autorización por parte de CONAF en el sector de Tambillo.

Tabla 5-2: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de ingreso a RNLF

		Envío Solicitud SQM		Respuesta Autorización	
Entidad / Sistema	**Mes**	**Nº Carta**	**Fecha**	**Nº Resolución**	**Fecha**
CONAF (Sistema Soncor)	jul	GMAL 334/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 17/2024	1/7/2024
	ago	GMAL 334/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 17/2024	1/7/2024
	sep	GMAL 334/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 17/2024	1/7/2024
	oct	GMAL 479/2024	2/10/2024	CARTA OFICIAL Nº 26/2024	10/10/2024
	nov	GMAL 479/2024	2/10/2024	CARTA OFICIAL Nº 26/2024	10/10/2024
	dic	GMAL 479/2024	2/10/2024	CARTA OFICIAL Nº 26/2024	10/10/2024
CONAF (Sistema Aguas de Quelana)	jul	GMAL 333/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 15/2024	28/06/2024
	ago	GMAL 333/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 15/2024	28/06/2024
	sep	GMAL 333/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 15/2024	28/06/2024
	oct	GMAL 481/2024	2/10/2024	CARTA OFICIAL Nº 24/2024	9/10/2024
	nov	GMAL 481/2024	2/10/2024	CARTA OFICIAL Nº 24/2024	9/10/2024
	dic	GMAL 481/2024	2/10/2024	CARTA OFICIAL Nº 24/2024	9/10/2024
CONAF (sector Tambillo)	jul	GMAL 335/2024	12/6/2024	s/r	-
	ago	GMAL 335/2024	12/6/2024	s/r	-
	sep	GMAL 335/2024	12/6/2024	s/r	-
	oct	GMAL 480/2024	2/10/2024	s/r	-

nov	GMAL 480/2024	2/10/2024	s/r	-
dic	GMAL 480/2024	2/10/2024	s/r	-

Fuente: Elaboración propia. (s/r): sin respuesta.

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, por lo que, pese a contar con las autorizaciones cada mes, en varias ocasiones no se han podido ejecutar todas las actividades comprometidas en el PSAH.

Respecto de los puntos del PC dentro de la reserva (6 en el sistema Aguas de Quelana y 1 en Soncor) que deben tener una medición diaria conforme a lo considerado en el PdC, en algunos 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. En el segundo semestre de 2024, para el sistema Soncor y aguas de Quelana, CONAF autoriza el ingreso a monitoreo a los sectores de interés con las restricciones que se detallan en la Tabla 5-3 y Tabla 5-4 respectivamente.

Tabla 5-3: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Soncor

Mes	Acceso Restringido	Variables Afectadas
Julio	Sin restricciones específicas.	Sin variables afectadas.
Agosto	L7-G2 Pozo, L7-G2, Reglilla Puilar, Reglilla Puilar Conaf, Reglilla Chaxa CONAF, Reglilla Chaxa SQM	Medición de nivel
	Aforo Barros Negros	Medición de aforos
Septiembre	L2-23, L7-12, L7-G1, L7-G2 Pozo, L7-G2 Reglilla, P2-4, P2-5, Reglilla Barros Negros CONAF, Reglilla Barros Negros SQM, Reglilla Chaxa CONAF, Reglilla Chaxa SQM, Reglilla Puilar CONAF, Reglilla Puilar SQM	Medición de nivel
	Aforo Barros Negros	Medición de aforos
Octubre	L1-10, L1-13, L2-23, L7-12, L7-G1, L7-G2 Pozo, L7-G2 Reglilla, Laguna Barros Negros, Laguna Chaxa, Laguna Puilar, P2-4, P2-5, Reglilla Barros Negros CONAF, Reglilla Barros Negros SQM, Reglilla Burro Muerto CONAF, Reglilla Burro Muerto SQM, Reglilla CHAXA CONAF, Reglilla Chaxa SQM, Reglilla Puilar CONAF, Reglilla Puilar SQM	Medición de nivel
	Aforo Barros Negros	Medición de aforos
	L7-G1, Reglilla Barros Negros CONAF, Reglilla Burro Muerto CONAF, Reglilla Chaxa CONAF, Reglilla Puilar CONAF, Reglilla Puilar SQM	Muestreo fisicoquímico
Noviembre	L1-10, L1-13, L2-23, L7-12, L7-G1, L7-G2 Pozo, L7-G2 Reglilla, P2-4, P2-5, RC-3, RC-5, Reglilla Barros Negros CONAF, Reglilla Barros Negros Sqm, Reglilla Chaxa CONAF, Reglilla Chaxa SQM, Reglilla Puilar CONAF, Reglilla Puilar SQM	Medición de nivel
	Aforo Barros Negros	Medición de aforos

Diciembre	L2-23, L7-12, L7-5, L7-G1, L7-G2 Pozo, L7-G2 Reglilla, P2-4, P2-5, RC-1, RC-3, RC-5, RC-5, RC-7, Reglilla Barros Negros CONAF, Reglilla Barros Negros SQM, Reglilla Chaxa CONAF, Reglilla Chaxa SQM, Reglilla Puilar CONAF, Reglilla Puilar SQM	Medición de nivel
	Aforo Barros Negros	Medición de aforos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-4: Restricciones y variables afectadas según concesión de permisos de ingreso a RNLF Sector Aguas de Quelana

Mes	Acceso Restringido	Variables Afectadas
Diciembre	L5-G3 Pozo	Medición de nivel

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Áreas restringidas por las comunidades

Existen también dos áreas con acceso controlado por comunidades (Tabla 5-5); 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).

- Esta área dentro del **Sistema Peine** contiene 16 puntos de nivel mensual (no hay ningún punto del PC, Los indicadores correspondientes al PAT provisorio de Peine no se encuentran en esta subárea controlada por la Comunidad de Peine), 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.
- Cabe mencionar que la Comunidad decretó el cierre completo del sector de lagunas y puntos aledaños. durante el 28 agosto y el 9 de septiembre, se vio indicios de adelantamiento del proceso reproductivo de las colonias de Flamencos Altoandinos en los cuerpos lacustres del Sistema Hidrológico de Soncor, en el Salar de Atacama. De acuerdo al protocolo de ingreso para actividades de monitoreo en el Salar de Atacama, la restricción de actividades comienza a partir de octubre 2024 a febrero 2025, periodo correspondiente a la temporada reproductiva de los Flamencos Altoandinos, sin embargo por adelantarse este periodo, se indica que se procederá a ejecutar el cierre inmediato de actividades monitoreo, mediciones e investigaciones, en todos los puntos que

se encuentren insertos en un área buffer de protección de 1 KM a los cuerpos lacustres del sistema hidrológico de Soncor, dejando la posibilidad de poder seguir implementando monitoreos y mediciones fuera del rango indicado hasta el mes de Octubre, periodo en que comienza formalmente el ciclo reproductivo del Flamenco y se realiza el cierre del sector.

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

		Envío Solicitud SQM		Respuesta Autorización	
Entidad / Sistema	**Mes**	**Nº Carta**	**Fecha**	**Nº Resolución**	**Fecha**
Comunidad Atacameña de Camar (Sistema Peine)	jul	GMAL 329/2024	12/6/2024	S/R	
	ago	GMAL 329/2024	12/6/2024	S/R	
	sep	GMAL 329/2024	12/6/2024	S/R	
	oct	GMAL 478/2024	1/10/2024	N°95/2024	28/10/2024
	nov	GMAL 478/2024	1/10/2024	N°95/2024	28/10/2024
	dic	GMAL 478/2024	1/10/2024	N°95/2024	28/10/2024
Comunidades Camar (Sistema Vegetación Borde Este)	jul	GMAL 327/2024	12/6/2024	S/R	
	ago	GMAL 327/2024	12/6/2024	S/R	
	sep	GMAL 327/2024	12/6/2024	S/R	
	oct	GMAL 476/2024	30/09/2024	S/R	
	nov	GMAL 476/2024	30/09/2024	S/R	
	dic	GMAL 476/2024	30/09/2024	S/R	
Comunidad Atacameña de Coyo (Sistema Soncor)	jul	GMAL 328/2024	12/6/2024	S/R	
	ago	GMAL 328/2024	12/6/2024	S/R	
	sep	GMAL 328/2024	12/6/2024	CARTA OFICIAL Nº 56/2024	16/09/2024
	oct	GMAL 473/2024	30/09/2024	CARTA OFICIAL Nº 56/2024	16/09/2024
	nov	GMAL 473/2024	30/09/2024	CARTA OFICIAL Nº 56/2024	16/09/2024
	dic	GMAL 473/2024	30/09/2024	CARTA OFICIAL Nº 56/2024	16/09/2024
Comunidad Atacameña de Socaire (Sistema Vegetación Borde Este)	jul	GMAL 330/2024	12/6/2024	S/R	
	ago	GMAL 330/2024	12/6/2024	S/R	
	sep	GMAL 330/2024	12/6/2024	S/R	
	oct	GMAL 472/2024	30/09/2024	S/R	
	nov	GMAL 472/2024	30/09/2024	S/R	
	dic	GMAL 472/2024	30/09/2024	S/R	
Comunidad Atacameña de Talabre (Programa de Cumplimiento (PdC))	jul	GMAL 331/2024	12/6/2024	S/R	
	ago	GMAL 331/2024	12/6/2024	S/R	
	sep	GMAL 331/2024	12/6/2024	S/R	
	oct	GMAL 470/2024	27/09/2024	S/R	
	nov	GMAL 470/2024	27/09/2024	S/R	
	dic	GMAL 470/2024	27/09/2024	S/R	
Comunidad Atacameña de Toconao (Programa de Cumplimiento (PdC))	jul	GMAL 332/2024	12/6/2024	S/R	
	ago	GMAL 332/2024	12/6/2024	S/R	
	sep	GMAL 332/2024	12/6/2024	S/R	
	oct	GMAL 475/2024	30/09/2024	S/R	
	nov	GMAL 475/2024	30/09/2024	S/R	
	dic	GMAL 475/2024	30/09/2024	S/R	

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

5.1.1.3 Resumen de puntos no visitados durante segundo semestre de 2024

La Tabla 5-6 detalla los puntos que no se pudo acceder en los Sistemas Soncor, Aguas de Quelana, Peine y Sector Cuña Salina.

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

- ● Restricción de acceso por época de reproducción de flamencos/No autorizado por CONAF y/o Toconao sector RNLF Soncor
- ● Restricción de acceso por falta de respuesta por parte de la comunidad Coyo

Tabla 5-6: Resumen de puntos no visitados

Área	Nombre Infraestructura	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Sistema Soncor	Aforo Barros Negros			●	●	●	●
	Laguna Chaxa				●		
	Laguna Puilar				●		
	L2-23			●	●	●	●
	L7-5						●
	L7-12			●	●	●	●
	L7-G1			●	●	●	●
	L7-G2 pozo		●	●	●	●	●
	L7-G2 Reglilla		●	●	●	●	●
	L11-1	●	●	●	●	●	●
	L11-2	●	●	●	●	●	●
	L11-G1	●	●	●	●	●	●
	L1-3				●	●	●
	L1-13				●	●	●
	P2-4			●	●	●	●
	P2-5			●	●	●	●
	RC-1						●
	RC-3				●	●	●
	RC-5						●
	RC-7						●
	Reglilla Barros Negros CONAF			●	●	●	●
	Reglilla Barros Negros SQM			●	●	●	●
	Reglilla Chaxa CONAF		●	●	●	●	●
	Reglilla Chaxa SQM		●	●	●	●	●
	Reglilla Puilar CONAF		●	●	●	●	●
	Reglilla Puilar SQM		●	●	●	●	●
Sistema Aguas de Quelana	L5-G3 POZO						●
Sistema Peine	Aforo Salada	●	●	●	●	●	●
	Aforo Saladita	●	●	●	●	●	●
	L10-1			●			
	L10-2			●	●	●	●
	L10-6			●		●	●
	L10-7			●	●	●	●
	L10-8			●	●	●	●
	L10-9			●	●	●	●
	L10-10			●	●	●	●
	L10-15				●	●	●
	GD-03			●	●	●	●
	GD-04			●	●	●	●
	Reglilla Interna CONAF		●	●	●	●	●
	Reglilla Salada CONAF	●	●	●	●	●	●
	Reglilla Saladita CONAF	●	●	●	●	●	●
Sector Cuña Salina	Cuña-7			●		●	●

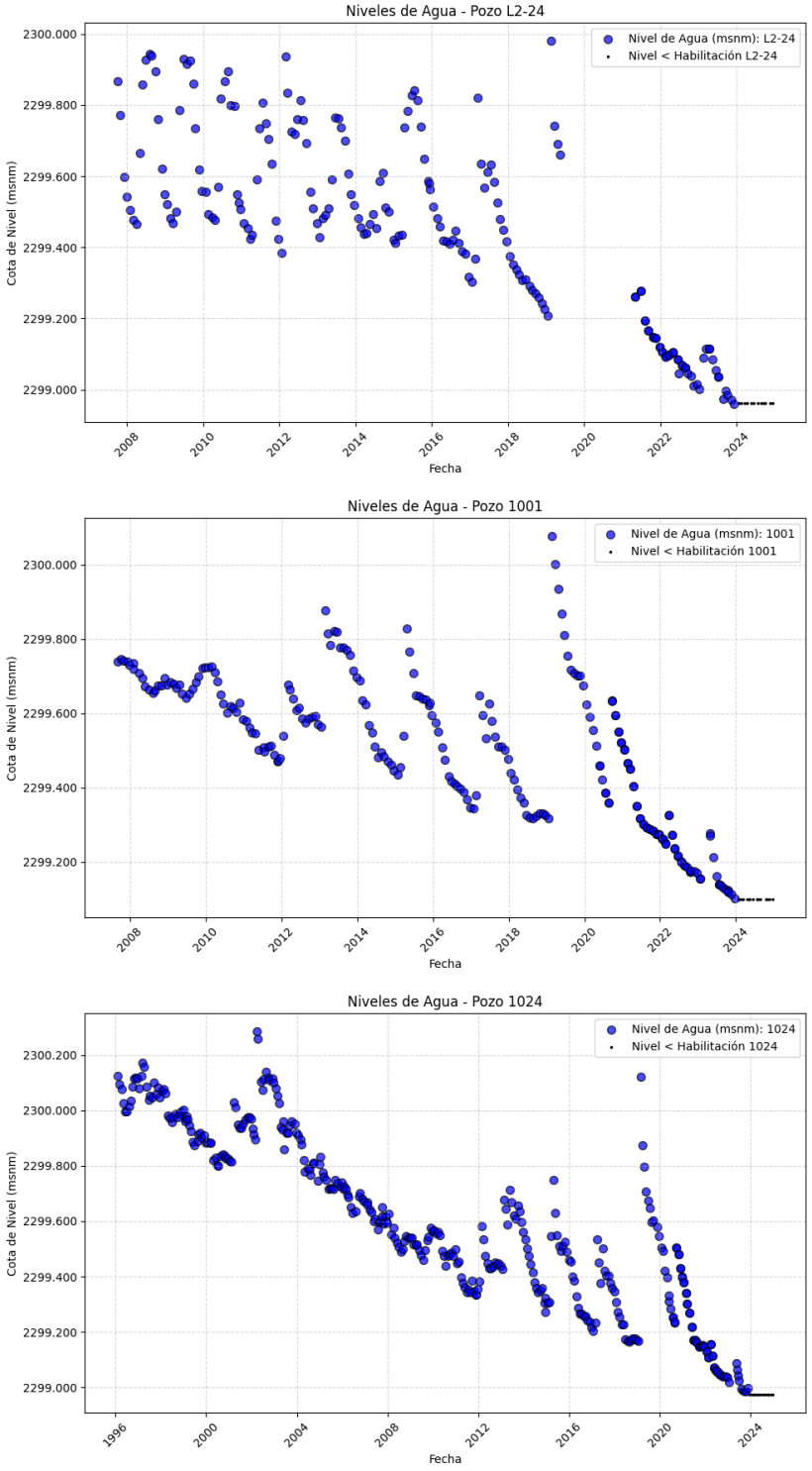
Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 CRITERIO POZO SECO

A la fecha existen en los pozos de monitoreo del PSAH 3 pozos de los cuales no se cuenta registro de nivel de agua subterránea por encontrarse seco u obturado. Sin perjuicio de lo anterior, ellos siguen siendo visitados con la frecuencia establecida en RCA, generándose los registros correspondientes como parte de la red de monitoreo vigente.

- **Pozo seco:** El pozo L2-24 que se encuentra en el Sistema Soncor a 1 km aprox. al suroreste de la Laguna Barros Negros (zona marginal), no es posible medir el nivel freático desde finales del año 2023, esto debido a que el nivel freático se encuentra más profundo que el fondo del pozo. El pozo L2-24 se construyó manualmente, logrando un fondo de pozo de unos pocos centímetros. Para poder contar con el registro de nivel de este indicador de estado, es necesario poder profundizar el pozo.
- **Pozo obturado**: Los pozos 1001 (Sector Núcleo Salar de Atacama) y 1024 (Sistema Peine) se encuentran obturados naturalmente por precipitación de sales, sin posibilidad de medir nivel estático desde el 2024. El pozo 1001 durante el año 2025 se realiza una mantención al pozo, tratando de profundizarlo y remover la obturación, logrando limpiar 50 cm de halita. Sin embargo, no fue suficiente para poder recuperar el registro de nivel. El pozo 1024 se encuentra en el Sector Peine, durante el año 2025 se realiza una mantención al pozo, tratando de profundizarlo, sin lograrlo. Para poder contar con el registro de nivel de este indicador de estado, es necesario poder desobturar el pozo, o reemplazarlo.

Figura 51 Figura 5-1: Niveles medidos en los pozos L2-24, 1001 y 1024



5.1.3 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 además de dos reglillas de CONAF), 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 segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.3.1 Nivel del agua subterránea y superficial

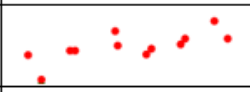
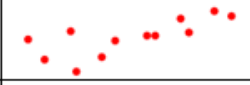
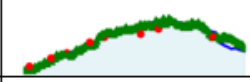
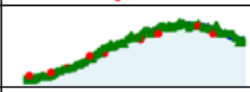
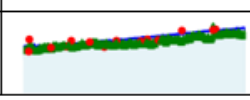
En esta sección se presentan los niveles de todos los puntos de control que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sistema Soncor, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-4 y en el Anexo 4, en consideración de la Tabla 5-6 que resumen las infraestructuras no visitadas para este 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.

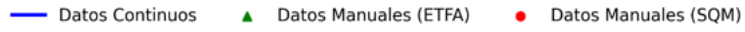
5.1.3.1.1 Pozos en zona aluvial

Esta zona consta de 11 puntos de control, de los cuales los puntos L1-3, L2-7 y L7-6 son indicadores de estado. En la Figura 52 y Figura 53 representan gráficamente los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2024, que incluyen las mediciones comprometidas y las complementarias. El Anexo 5.2 contiene el registro detallado de los niveles.

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

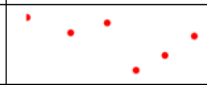
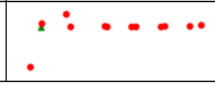
Figura 5-: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del Sistema Soncor

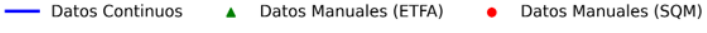
POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L1-1	2328.80	2328.86	2328.83		↑
L1-2	2324.62	2324.67	2324.65		→
L1-3	2319.88	2319.92	2319.90		→
L2-2	2323.93	2323.95	2323.94		→
L2-3	2322.79	2322.81	2322.79		→
L2-7	2318.83	2318.88	2318.85		→
L7-1	2333.30	2333.42	2333.39		→
L7-2	2330.17	2330.19	2330.18		→
L7-6	2325.61	2325.65	2325.63		→



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
ALLANA	2322.77	2322.80	2322.79		↑
MULLAY-1	2326.85	2329.52	2328.80		↑



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2 Pozos en zona marginal

En la Zona Marginal del Sistema Soncor se encuentran 58 puntos de control de nivel, de los cuales 19 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 grupo.

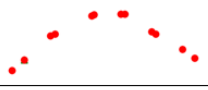
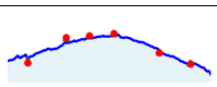
5.1.3.1.2.1 Subsector Puilar

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 54. El Anexo 5.1 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 y fue monitoreado con la frecuencia comprometida. El pozo L7-4 fue visitado una vez al mes, tanto por SEGEA como por SQM.

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

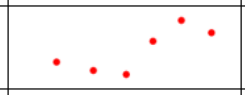
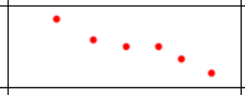
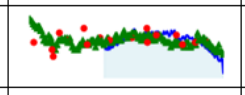
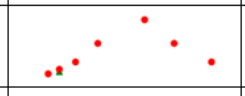
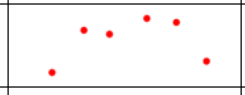
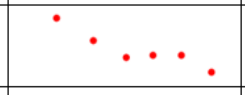
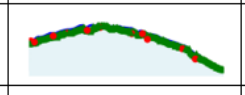
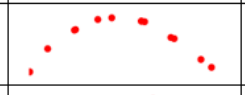
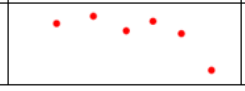
POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
1027	2307.87	2307.95	2307.92		→
L7-3	2313.44	2313.55	2313.51		→
L7-4	2302.24	2302.27	2302.25		→
L7-7	2304.09	2304.21	2304.15		→

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2.2 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 55. El Anexo 5.1 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM). No se pudo acceder al pozo L1-10 después de septiembre por restricción de acceso por parte de CONAF (Ver Carta Oficial N° 56/2024).

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L1-10	2299.59	2299.60	2299.60		↓
L1-15	2299.83	2299.85	2299.84		↓
L1-16	2299.98	2300.05	2300.01		→
L1-4	2299.62	2299.66	2299.64		→
L1-6	2299.89	2299.91	2299.89		↓
L1-7	2299.58	2299.59	2299.59		↓
L1-9	2299.51	2299.53	2299.52		↓
L2-4	2303.40	2303.48	2303.45		→
L2-8	2301.52	2301.70	2301.64		→
L7-10	2300.07	2300.09	2300.08		↓
L7-11	2299.93	2299.96	2299.95		↓

Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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).

5.1.3.1.2.3 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 56. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles.

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L7-12	2299.57	2299.58	2299.58		→
L7-5	2299.86	2299.88	2299.87		→
L7-6	2325.61	2325.65	2325.63		→
RC-1	2299.98	2300.06	2300.02		→
RC-2	2299.64	2299.64	2299.64		→
RC-3	2299.70	2299.70	2299.70		→
RC-4	2299.40	2299.40	2299.40		→
RC-5	2299.17	2299.19	2299.18		↓
RC-6	2299.74	2299.74	2299.74		→
RC-7	2298.84	2298.86	2298.85		↓

Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2.4 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 57. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM). Cabe destacar que el punto L2-24 actualmente tiene el nivel bajo la cota de habilitación, por lo cual, no hay registro de niveles en el segundo semestre de 2024.

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.

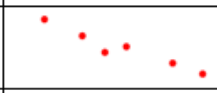
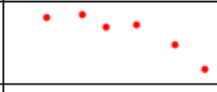
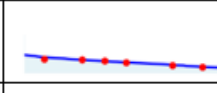
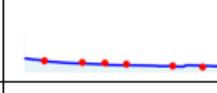
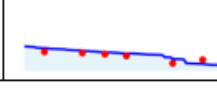
Figura 5-: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L1-12	2298.83	2298.84	2298.83		↓
L1-5	2298.82	2298.88	2298.85		↓
L2-11	2298.42	2298.47	2298.45		↓
L2-13	2298.38	2298.42	2298.40		↓
L2-17	2298.46	2298.49	2298.48		↓
L2-18	2298.58	2298.61	2298.59		↓
L2-19	2298.44	2298.47	2298.46		↓
L2-22	2298.57	2298.61	2298.59		↓
P1-1	2298.71	2298.75	2298.73		↓
P1-2	2298.64	2298.69	2298.66		↓
P1-3	2298.73	2298.79	2298.76		↓

Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 57: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros (continuación)

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
GD-01	2298.39	2298.42	2298.41		↓
L1-11	2299.08	2299.09	2299.08		↓
L1-13	2299.06	2299.06	2299.06		↓
L1-14	2298.68	2298.71	2298.69		↓
L1-8	2298.85	2298.88	2298.87		↓
L2-12	2298.42	2298.44	2298.44		↓
P1-4	2298.86	2298.92	2298.89		↓
P1-5	2298.74	2298.80	2298.77		↓
P1-6	2298.72	2298.75	2298.73		↓
P1-7	2298.86	2298.94	2298.90		↓



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

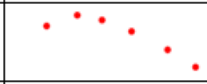
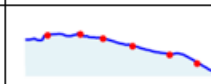
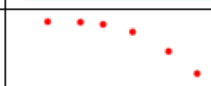
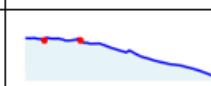
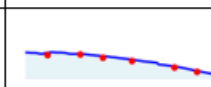
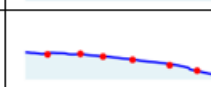
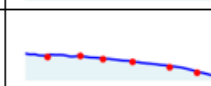
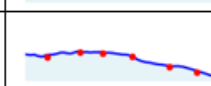
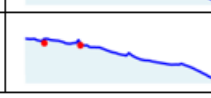
5.1.3.1.2.5 Subsector descarga sur de Barros Negros

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 (L2-23, P2-1, L2-9, P2-3, L2-16, P2-2, P2-5, P2-4). 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 58. El Anexo 5 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 julio, agosto y septiembre de 2024.

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L2-10	2299.43	2299.48	2299.46		↓
L2-15	2299.01	2299.18	2299.12		↓
L2-16	2299.27	2299.48	2299.41		→
L2-21	2299.34	2299.44	2299.41		→
L2-23	2299.57	2299.84	2299.73		→
L2-5	2299.23	2299.26	2299.25		↓
L2-9	2298.54	2298.67	2298.63		↓
P2-1	2298.62	2298.76	2298.71		↓
P2-2	2298.81	2298.92	2298.88		↓
P2-3	2299.01	2299.12	2299.09		→
P2-4	2299.52	2299.72	2299.65		→
P2-5	2299.61	2299.84	2299.75		→

Datos Continuos Datos Manuales (ETFA) Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2.6 Subsector norte del Salar

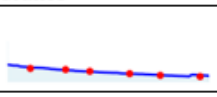
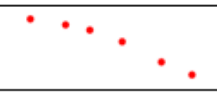
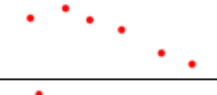
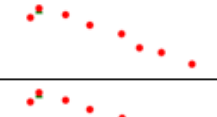
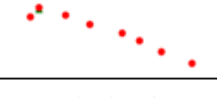
Los pozos L11-1 y L11-2 se sitúan en el subsector Norte del Salar. Ambos pozos se encuentran en un área donde el acceso ha sido imposibilitado desde noviembre de 2019 hasta la actualidad; por lo tanto, no se dispone de información para el segundo semestre de 2024.

5.1.3.1.3 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 59. El Anexo 5 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-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona Núcleo Sistema Soncor

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
2021	2298.49	2298.54	2298.51		↓
L2-14	2298.45	2298.48	2298.47		↓
L2-20	2298.37	2298.40	2298.39		↓
SOPM-13	2298.38	2298.41	2298.40		↓
SOPM-14	2298.36	2298.40	2298.38		↓
SOPM-7 (L2-6)	2298.41	2298.45	2298.43		↓

Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.4 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. Los puntos L7-G1 y L7-G2 se sitúan al interior de la reserva.

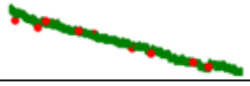
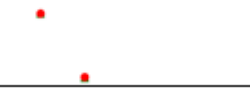
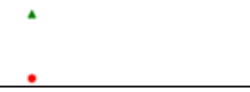
Respecto a las mediciones, solo los pozos L7-G2 y L1-G4, cuentan con dispositivos de medición continua. Cabe mencionar que los transductores de presión se encuentran en las infraestructuras denominadas como Pozo (L7-G2 Pozo y L1-G4 Pozo), puesto que en las propias reglillas su instalación no es factible 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 Nº226/2006, 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.

Los niveles monitoreados, tanto manuales como continuos, que incluyen las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestran en la Figura 510. El Anexo 5 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 1 vez al mes por SQM. Respecto a los puntos L7-G1 y L7-G2 Reglilla fueron visitados únicamente en julio, septiembre y diciembre de 2024, mientras que el L7-G2 Pozo fue monitoreado solo en diciembre 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-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Soncor

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L1-G4 POZO	2298.87	2298.92	2298.89		↓
L1-G4 REGLILLA	2298.87	2298.92	2298.89		↓
L7-G1	2300.16	2300.22	2300.19		→
L7-G2 POZO	2301.18	2301.25	2301.20		→
L7-G2 REGLILLA	2301.20	2301.21	2301.21		→

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.4.1 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 Nº226/2006, 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 511. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el recuento de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) del Sistema Soncor – sector Puente San Luis

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
PUENTE SAN LUIS POZO	2301.23	2301.38	2301.27		→
PUENTE SAN LUIS REGLILLA	2301.24	2301.31	2301.28		→
REGLILLA BURRO MUERTO CONAF	2301.08	2301.09	2301.09		→
REGLILLA BURRO MUERTO SQM	2301.09	2301.11	2301.09		→

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

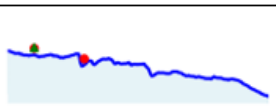
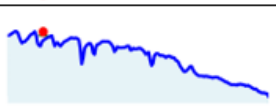
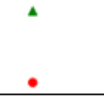
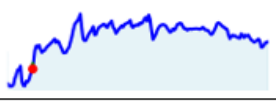
5.1.3.1.4.2 Nivel Lacustre

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 Nº226/2006, se encarga de la supervisión, mantención y medición adecuada de las infraestructuras de CONAF.

En cuanto a la medición del nivel lacustre con reglillas, es importante señalar que cada una de las tres lagunas del Sistema Soncor posee 2 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, que incluye las mediciones comprometidas y las complementarias, se muestra en la Figura 512. El Anexo 5 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, las Reglillas Puilar y Chaxa sólo se midieron en Julio; durante el resto del periodo no fue posible acceder a la zona por restricciones por parte de CONAF (ver carta oficial 56/2024). La reglilla Barros Negros cuenta con mediciones en julio y agosto.

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
REGLILLA BARROS NEGROS CONAF	2299.89	2299.93	2299.91		→
REGLILLA BARROS NEGROS SQM	2299.80	2299.91	2299.87		→
REGLILLA CHAXAS CONAF	2300.21	2300.21	2300.21		→
REGLILLA CHAXAS SQM	2300.05	2300.20	2300.12		→
REGLILLA PUILAR CONAF	2301.18	2301.18	2301.18		→
REGLILLA PUILAR SQM	2301.12	2301.25	2301.20		→



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.2 Meteorología

En la Tabla 5-7 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica Chaxa. En total, se incluyen 8 parámetros, de los cuales 4 son obligatorios según la RCA (indicar cuál es): precipitación acumulada, evaporación promedio, temperatura promedio y velocidad del viento promedio. Los otros cuatro parámetros, considerados voluntarios, son: dirección del viento promedio, humedad relativa promedio, presión atmosférica promedio y radiación global promedio. Todas las variables se presentan a nivel diario para el período comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2024. Además, las series diarias correspondientes al segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 513 y Figura 514, y en forma tabulada en el Anexo 9.2.

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 segundo semestre del 2024 la precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de un evento que ocurre durante el mes de octubre (2,2 mm). En cuanto a la velocidad y dirección del viento, se observa en promedio un aumento progresivo en el segundo semestre. Sin embargo, el día 6 de agosto puntualmente se alcanza una velocidad promedio diaria de 6,48 m/s.

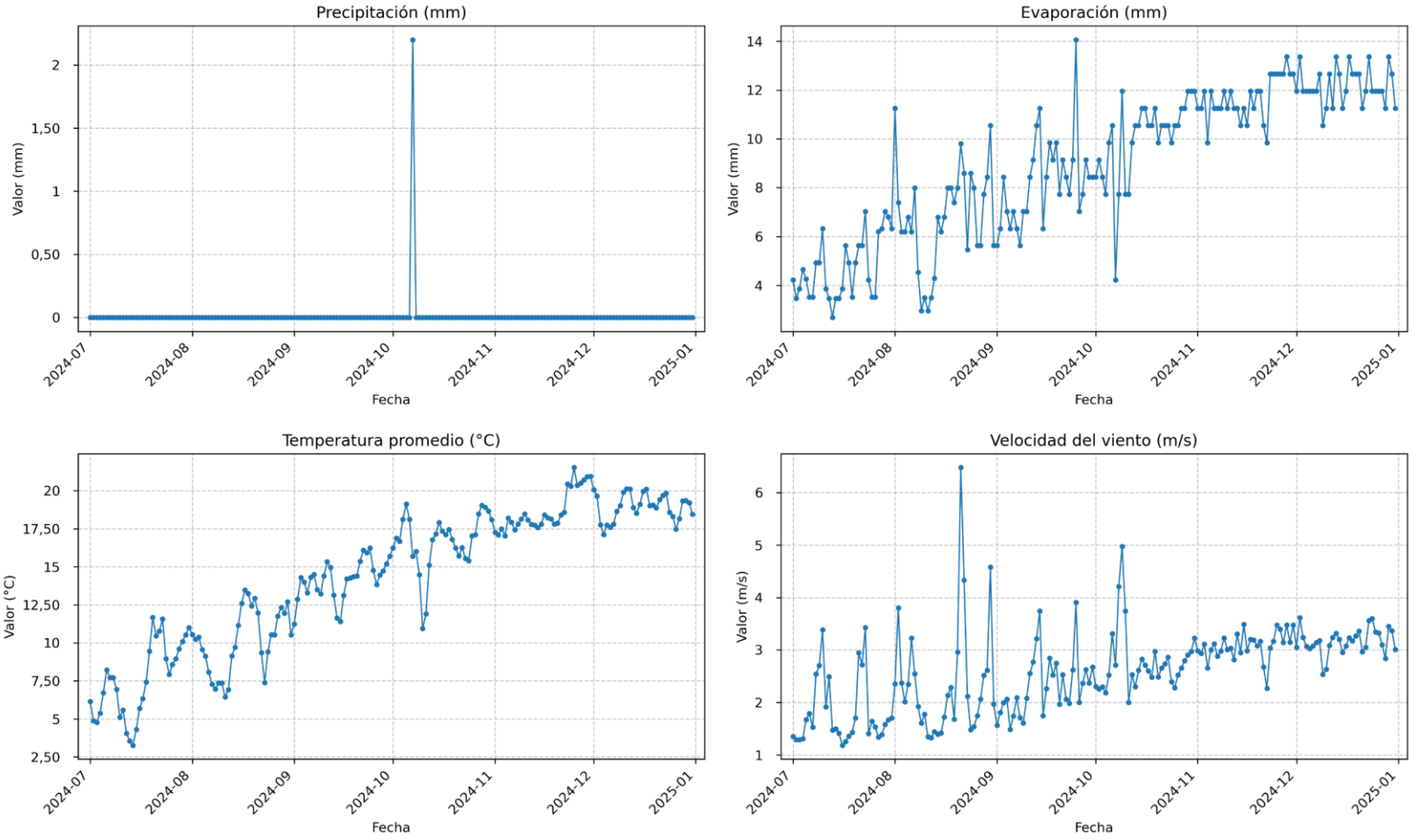
La radiación global, evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio diario es de 227 W/m^2 y en diciembre de 381,6 W/m^2. La evaporación en julio en promedio es de 4,7 mm/día y en diciembre de 12,1 mm/día. La temperatura media diaria en julio fue del orden de 7,5°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 18,9°C. La presión atmosférica y humedad relativa promedio presentan una tendencia a disminuir. La presión atmosférica en julio fue de 776,8 mbar y en diciembre de 749,7 mbar. La humedad relativa en julio en promedio fue de 18,3% mientras que en diciembre de 13,5%.

Tabla 5-7: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica de Chaxa

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	57,60	290,80	163,22	50,73
Evaporación promedio*	mm	2,68	14,06	8,90	3,04
Humedad relativa promedio	%	9,09	47,59	15,69	5,33
Precipitación acumulada	mm	0,00	2,20	0,01	0,16
Presión atmosférica promedio	mbar	771,27	780,50	775,58	1,49
Radiación global promedio*	W/m^2	145,96	393,36	319,45	60,18
Temperatura promedio	°C	3,26	21,53	14,31	4,63
Velocidad del viento promedio	m/s	1,18	6,48	2,58	0,80

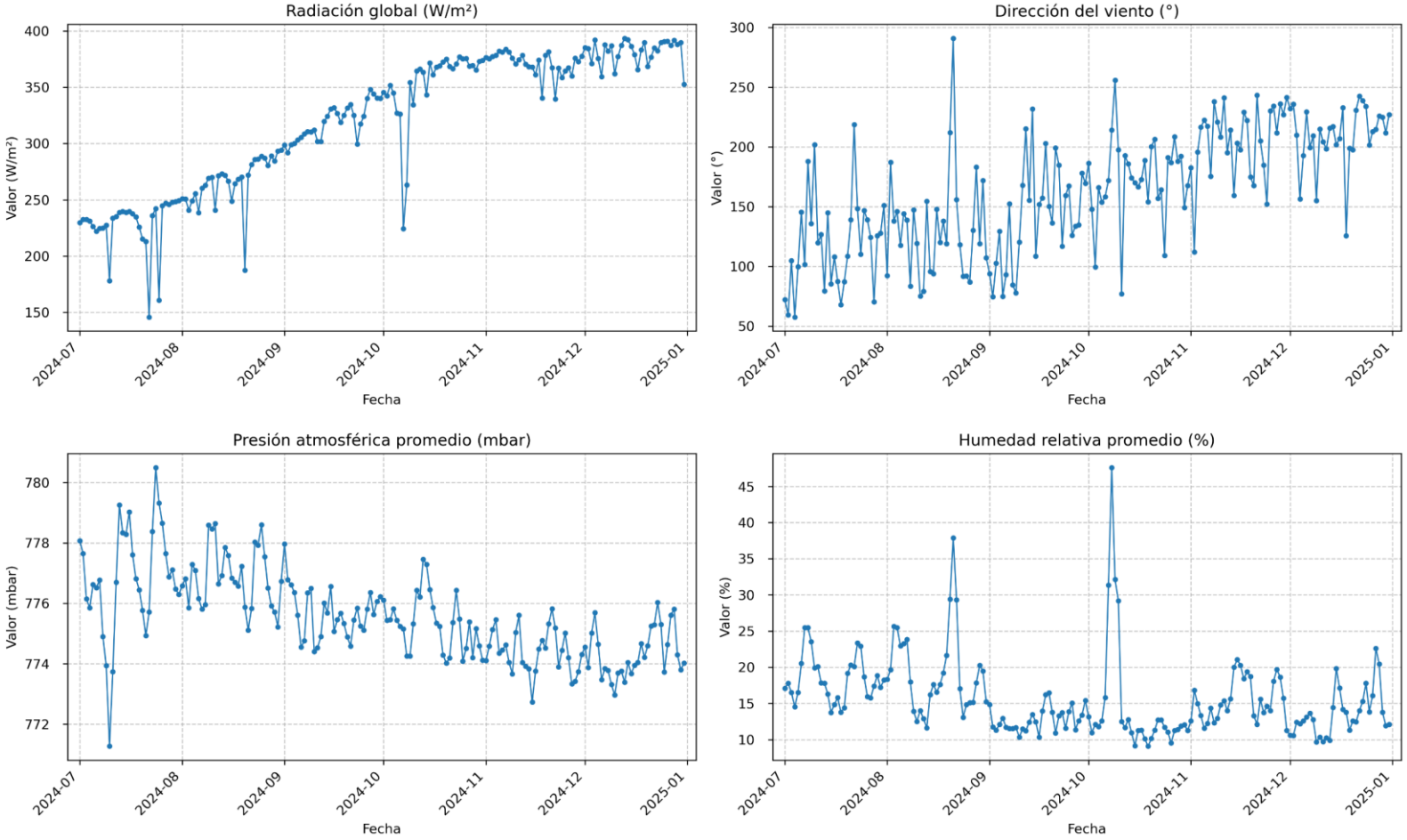
*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de Chaxa



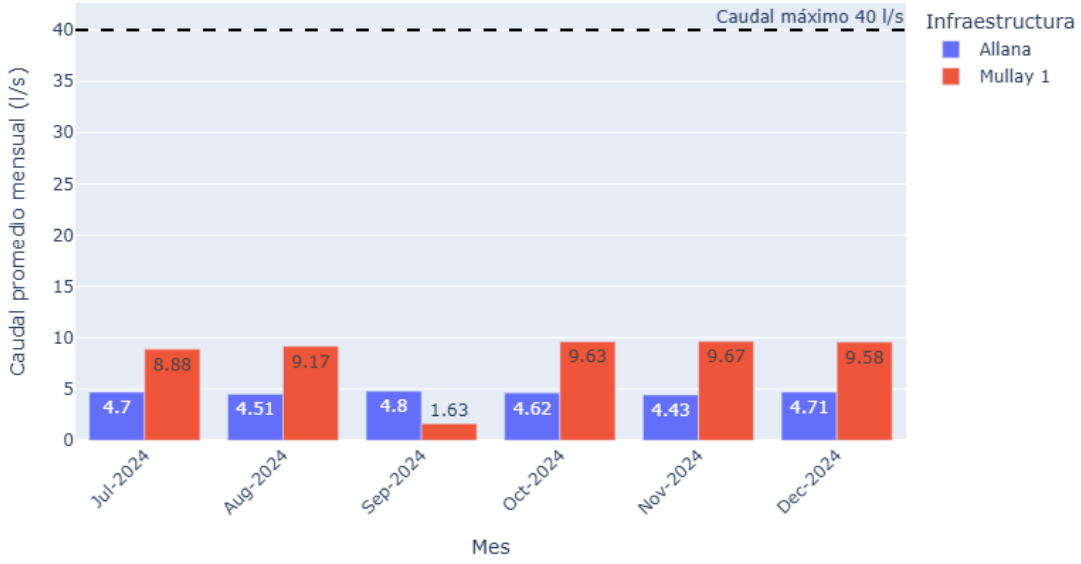
Fuente: Elaboración propia

5.1.3.3 Caudal bombeado agua

En el Sistema Soncor, los pozos de extracción Mullay-1 y Allana tienen autorizado ambientalmente un caudal de bombeo de 40 L/s cada uno. Es importante destacar que, de forma previa y voluntaria, SQM decidió reducir el caudal de extracción entre ambos pozos a 40 L/s, como parte de su Plan Estratégico de Sustentabilidad. Adicionalmente, como acciones debido a la activación de fase, SQM optó por reducir un 50% de esos 40 L/s, decir, extraer un máximo de 20 L/s mientras permanezca activada la contingencia.

Durante el segundo semestre de 2024, los flujos de extracción para ambos pozos se mantuvieron por debajo del caudal máximo permitido. En concreto, el promedio semestral de los caudales bombeados por los pozos Mullay-1 y Allana fueron de 7,93 L/s y 4,55 L/s, respectivamente (Figura 515).

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



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 Soncor durante el segundo 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 sección 4 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 segundo 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 4.7 se presentan los certificados de autorización de los laboratorios empleados para este periodo como Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFAs).

5.1.3.4.1 Muestreo de aguas red monitoreo

En la Tabla 5-8 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 (julio y octubre de 2024) a los pozos de monitoreo durante el segundo semestre del año 2024. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos, a excepción del punto L7-G1. El punto L7-G1 no contó con el permiso de ingreso a la Reserva Nacional los Flamencos durante octubre, noviembre y diciembre, por lo que solo contó con monitoreo el tercer trimestre. Todos estos detalles se encuentran en el respaldo en el informe realizado por la ETFA en el Anexo 6.1.

Tabla 5-8: Resultados calidad del agua Sistema Soncor

Parámetro	L1-4		L1-5		L1-6		L1-G4 Reglilla		L2-3		L2-4	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (µS/cm)	233.000	236000	202.000	206.000	191.900	182.700	223.000	224.000	3.600	3.850	11.330	9.790
Conductividad Terreno (µS/cm)	221.000	230.000	198.600	195.500	185.100	174.100	214.000	214.000	3.550	3.790	10.520	10.280
Densidad (g/mL)	1,192	1,199	1,145	1,146	1,127	1,115	1,177	1,178	0,998	0,997	1,001	0,998
Densidad Terreno (g/mL)	1,190	1,200	1,150	1,147	1,130	1,125	1,180	1,185	1,002	1,000	1,007	1,005
pH ()	7,7	7,9	8,0	8,0	8,1	8,1	7,8	7,8	8,0	7,8	8,2	8,3
pH Terreno ()	7,26	7,28	7,35	7,40	7,46	7,49	7,09	7,13	6,94	6,73	7,82	7,64
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	293.388	208.190	217.452	167.860	187.256	182.600	271.288	199.960	2.208	2.220	6.740	7.130
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	10	184	92	150	22	42	310	692	26	27	297	154
Sólidos Totales (mg/L)	318.720	223.120	227.280	176.650	197.360	188.320	295.732	220.260	2.434	2.440	7.610	7.300
Temperatura Terreno (°C)	18,2	21,3	16,8	16,6	19,4	21,0	17,1	18,7	24,5	17,5	17,5	20,2

Parámetro	L2-5		L7-3		L7-G1		SOPM-14		SOPM-7 (L2-6)	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (µS/cm)	207.000	21.000	1.885	1.878	152.700	-	240.000	245.000	242.000	246.000
Conductividad Terreno (µS/cm)	199.100	205.000	1.763	1.803	149.600	-	229.000	230.000	224.000	233.000
Densidad (g/mL)	1,146	1,144	0,998	0,994	1,090	-	1,215	1,214	1,219	1,2126
Densidad Terreno (g/mL)	1,150	1,155	1,000	1,002	1,095	-	1,220	1,220	1,220	1,221
pH ()	8,1	8,1	8,2	8,5	8,3	-	7,7	7,3	7,6	7,7
pH Terreno ()	7,31	7,56	8,12	7,89	7,68	-	7,10	7,14	6,98	7,03
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	216.264	175.183	943	1.238	128.012	-	330.668	210.000	337.704	205.650
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	22	36	14	<3	358	-	22	187	48	100
Sólidos Totales (mg/L)	226.012	193.010	1.056	1.362	139.277	-	365.516	230.640	346.016	219.212
Temperatura Terreno (°C)	16,5	19,2	16,0	18,3	18,1	-	20,3	20,3	22,3	22,3

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-9 se presentan los resultados del monitoreo trimestral de calidad efectuado a los pozos de bombeo Mullay-1 y Allana durante el segundo semestre de 2024.

Tabla 5-9: Resultados calidad del agua en pozos de extracción

Parámetro	ALLANA		MULLAY-1	
	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	172,4	167,6	336,6	298,9
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	<1	<1
Alcalinidad Total(mgCaCO3/L)	172,4	167,6	336,6	298,9
Arsénico total (mg/L)	0,059	0,059	3,995	3,656
Calcio total (mg/L)	249,70	262,72	89,68	92,75
Cloruro (mg/L)	335,8	383,4	417,5	417,5
Conductividad (µS/cm)	4.170	4.330	2.350	2.580
Conductividad Terreno (µS/cm)	4.1810	4.300	2.290	2.400
Densidad (g/mL)	0,999	0,993	0,998	0,991
Densidad Terreno (g/mL)	1,002	1,000	1,005	1,004
Hierro total(mg/L)	0,887	0,092	0,081	0,069
Magnesio (mg/L)	215,4	236,1	30,4	31,3
Manganeso total (mg/L)	0,0023	0,0012	0,0019	0,0013
Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrógeno de Nitrito (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
pH ()	7,5	7,9	7,9	8,1
pH Terreno ()	7,091	7,277	7,423	7,407
Potasio (mg/L)	23,43	25,10	28,79	29,21
Sodio (mg/L)	364,4	393,6	313,8	321,1
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.852	3.448	1.295	1.382
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	<3,0	<3,0	<3,0	3,0
Sulfato (mg/L)	1.795	1.809	225	232
Temperatura Terreno (°C)	24,5	26,8	16,9	16,9
Zinc (mg/L)	0,019	0,013	0,013	0,017

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4.2 Mediciones realizadas en cuerpos superficiales

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, Tabla 4-2), y Burro Muerto y Puilar (Calidad 3, Tabla 4-2), 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 5-10). Se analizan los parámetros correspondientes de acuerdo con la Tabla 4-2, como parte del compromiso de la RCA Nº226/2006 (ver Anexo 2, que define el tipo de calidad por cada punto de monitoreo).

El personal de SEGEA solo pudo ingresar en ambos trimestres al punto de Burro Muerto. En Burro Muerto, el monitoreo de octubre fue reprogramado y realizado en noviembre y diciembre. El resto de las reglillas solo fueron posibles de visitar durante el mes de julio; esto debido a que en octubre, noviembre y diciembre 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 4.2 y Anexo 4.6.

Tabla 5-10: Resultados calidad del agua en agua superficial

Parámetro	BARROS NEGROS		BURRO MUERTO				CHAXAS		PUILAR	
	julio	octubre	julio	octubre	noviembre	diciembre	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	542,6	-	367,6	-	463,0	488,6	524,2	-	346,6	-
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	-	<1	-	<1	<1	<1	-	22	-
Alcalinidad Total(mgCaCO3/L)	542,6	-	367,6	-	463,0	488,6	524,2	-	368,6	-
Arsénico total (mg/L)	2,198	-	1,469	-	2,071	2,133	1,171	-	1,774	-
Calcio total (mg/L)	988,40	-	659,00	-	936,96	891,45	655,70	-	131,30	-
Calcio Disuelto (mg/L)	968,2	-	630,8	-	903,0	829,0	632,2	-	128,3	-
Cloruro (mg/L)	69.879	-	27.452,5	-	37.775,5	38.456,2	33.805,1	-	8.848,3	-
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	<1,8	-	-	-	-	-	<1,8	-	-	-
Coliformes Totales (NMP/100mL)	<1,8	-	-	-	-	-	<1,8	-	-	-
Conductividad (µS/cm)	160.400	-	78.600	-	106.400	111.100	95.000	-	29.900	-
Conductividad Terreno (µS/cm)	154.700	-	76.100	-	104.500	110.300	92.300	-	29.000	-
Densidad (g/mL)	1,093	-	-	-	-	-	1,047	-	-	-
Densidad Terreno (g/mL)	1,096	-	1,044	-	1,060	-	1,05	-	1,018	-
Detergentes (mg/L)	0,4	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-
Dureza Total (mg/L)	9.298	-	7.439	-	9.112	7.191	9.298	-	5.579	-
Fósforo	-	-	<0,001	-	<0,001	0,088	-	-	0,16	-
Fósforo fosfato	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	-
Hidrocarburos Totales (mg/L)	<2,0	-	-	-	-	-	<2,0	-	-	-
Magnesio (mg/L)	4.041,0	-	1.998,0	-	2.176,2	2.106,5	1.769,0	-	502,4	-
Magnesio Disuelto (mg/L)	3.948,0	-	1.897,0	-	2.091,9	1.959,5	1.723,0	-	492,2	-
Nitrógeno de Amoniacal (mg/L)	0,05	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-
Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	-
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	2,83	-	5,80	-	3,90	4,00	6,39	-	8,53	-
pH Terreno ()	7,667	-	7,977	-	7,939	7,858	7,943	-	8,125	-
Potasio (mg/L)	4.180,0	-	1.778,0	-	3.432,1	3.252,5	2.918,0	-	857,90	-
Potasio Disuelto (mg/L)	4.116,0	-	1.699,0	-	3.344,0	2.979,0	2.812,0	-	839,5	-
Salinidad (%)	>42,00	-	>42,00	-	>42,00	37,50	>42,00	-	18,00	-
Sodio (mg/L)	51.716	-	19.634	-	22.858	22.928	18.899	-	4.715	-
Sodio Disuelto (mg/L)	51.037,0	-	18.688,0		21.949,6	21.194,9	18.425,0	-	4.593,0	-
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	134.787	-	50.617,0	-	84.180	77.650	67.700	-	19.520	-

Tabla 5-10: Resultados calidad del agua en agua superficial
(A continuación)

Parámetro	BARROS NEGROS		BURRO MUERTO				CHAXAS		PUILAR	
	julio	octubre	julio	octubre	noviembre	diciembre	julio	octubre	julio	octubre
Sulfato (mg/L)	1144.432	-	5.923	-	84.572	8.730	76.565	-	1.251	-
Temperatura Terreno (°C)	16,1	-	9,0	-	19,0	24,9	15,6	-	22,0	-

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.4.3 Validación de Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2024 en el sistema Soncor, de acuerdo con los criterios de validación definidos en el capítulo 4. La Tabla 5-11 muestra los resultados de la validación para las campañas del segundo 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 Nº226/2006. 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, Burro Muerto, Chaxas, Mullay-1 y Puilar aprueban los criterios de validación de balance iónico (|EBI| ≤ 10%) y balance de masa (|BM| ≤ 20%) definidos en la sección 4.4. Por otra parte, el balance iónico de Barros Negros (10,45%) no cumple el criterio de validación en julio, aunque al calcular el balance con las concentraciones disueltas medidas de forma voluntaria, el resultado sí cumple el criterio de validación.

Tabla 5-11: Resultados de la validación en el sistema Soncor

Punto de control	Balance Masa Sólidos (%)			Balance Iónico (%)		
	julio	octubre	noviembre	julio	octubre	noviembre
ALLANA	-9,7	-5,3	-	3,77	1,5	-
L1-4	-7,9	-6,6	-	NA*	NA*	-
L1-5	-4,2	-4,8	-	NA*	NA*	-
L1-6	-5,1	-3	-	NA*	NA*	-
L1-G4 REGLILLA	-8,1	-8,9	-	NA*	NA*	-
L2-3	-8,2	-7,9	-	NA*	NA*	-
L2-4	-7,5	-0,2	-	NA*	-	-
L2-5	-4,3	-9,2	-	NA*	NA*	-
L7-3	-9,3	-8,9	-	NA*	NA*	-
MULLAY-1	-9	-4	-	3,74	1,15	-
REGLILLA BARROS NEGROS CONAF	-6,6	-	-	10,45	-	-
REGLILLA BURRO MUERTO CONAF	-9,4	-	-1,1	9,57	-	2,13
REGLILLA CHAXAS CONAF	-4,1	-	-	1,18	-	-
REGLILLA PUILAR CONAF	-0,7	-	-	1,43	-	-
SOPM-14	-9,5	-8,8	-	NA*	NA*	-

Punto de control	Balance Masa Sólidos (%)			Balance Iónico (%)		
	julio	octubre	noviembre	julio	octubre	noviembre
SOPM-7 (L2-6)	-2,3	-6,2	-	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 5-12 muestra el número de muestras no validadas en base a su concentración histórica para cada analito verificado. Se observan para el segundo semestre de 2024 un total de 27 resultados no validados, de los cuales la mayoría corresponde a pH de laboratorio (18 muestras). Estas desviaciones representan un 4,75% del total de 569 análisis en el sistema Soncor durante el segundo semestre 2024. La Figura 516 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el segundo 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| ≤ 10%) y balance de masa (|BM| ≤ 20%) definidos en la sección 4.4.

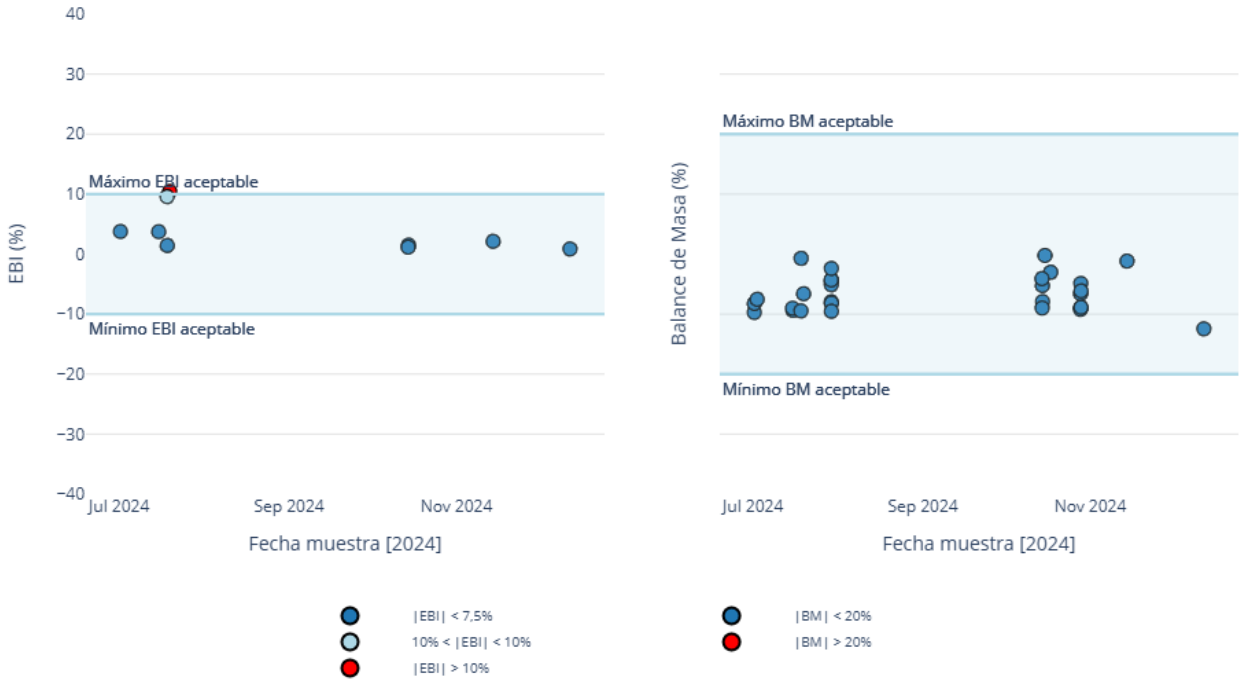
Tabla 5-12: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor

Nombre Analito	Mes de Fecha Muestra	Nombre Muestra
Alcalinidad Carbonato	julio de 2024	REGLILLA PUILAR CONAF|18-07-2024|ALS
Densidad Terreno	julio de 2024	ALLANA|01-07-2024|SQM
		L1-4|29-07-2024|SQM
		L2-3|01-07-2024|SQM
		MULLAY-1|15-07-2024|SQM
	octubre de 2024	L1-4|28-10-2024|SQM
		MULLAY-1|14-10-2024|SQM
pH	julio de 2024	L1-5|29-07-2024|ALS
		L1-6|29-07-2024|ALS
		L1-G4 REGLILLA|29-07-2024|ALS
		L2-3|01-07-2024|ALS
		L2-5|29-07-2024|ALS
		MULLAY-1|15-07-2024|ALS
		SOPM-7 (L2-6) |29-07-2024|ALS
	octubre de 2024	ALLANA|14-10-2024|ALS
		L1-4|28-10-2024|ALS
		L1-5|28-10-2024|ALS
		L1-6|17-10-2024|ALS
		L1-G4 REGLILLA|28-10-2024|ALS
		L2-3|14-10-2024|ALS
		L2-4|15-10-2024|ALS|v1
		L2-5|28-10-2024|ALS
		L7-3|14-10-2024|ALS

Nombre Analito	Mes de Fecha Muestra	Nombre Muestra
		MULLAY-1|14-10-2024|ALS
		SOPM-7 (L2-6) |28-10-2024|ALS
pH Terreno	julio de 2024	ALLANA|01-07-2024|SQM
		L4-3|02-07-2024|SQM
	octubre de 2024	L2-3|14-10-2024|SQM

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.5 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 sección 4.3.1), donde se toman medidas manuales mensuales.

En la Tabla 5-13 se presentan los resultados de las mediciones manuales realizadas durante el segundo semestre 2024. Se observa que en el punto del Puente San Luís se midieron con molinete voluntariamente

caudales durante todos los meses del segundo semestre de 2024. En cambio, en el punto Barros Negros, solo se realizaron mediciones en el mes de julio, 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 56/2024 de CONAF y comunidades de cada sector ambiental.

En la Figura 517 presenta de forma gráfica los resultados de las mediciones continuas y manuales en los dos puntos de aforo. En el Puente San Luis, los caudales continuos registrados a mediados de julio alcanzaron 153,50 L/s. Durante los meses siguientes de 2024, se observó una variación en los valores medidos: 103,9 L/s a fines de agosto, 136,00 L/s en septiembre, 107,70 L/s en octubre, 92,90 L/s en noviembre, y, finalmente, 120,79 L/s en diciembre.

Por otro lado, solo se observa una medición puntual de caudal, en el mes de Julio del 2024, en el punto de aforo de Barros Negros, el cual alcanza el valor aproximado de 180 L/s.

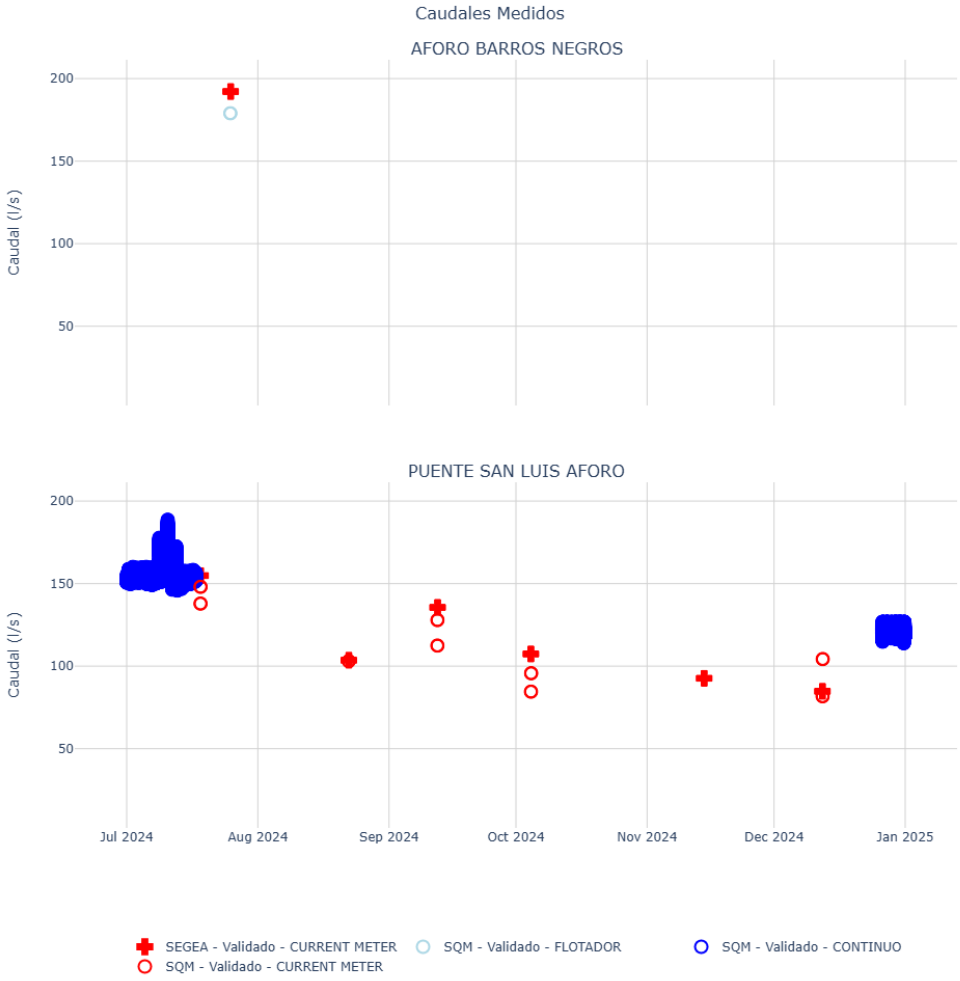
Para más detalle sobre la falta de mediciones continuas en el segundo semestre de 2024 referirse a la sección 5.1.1. En el Anexo 8 se presenta de forma tabulada el total de mediciones realizadas, en los 2 puntos de aforo del sistema Soncor para el segundo semestre de 2024.

Tabla 5-13: Resultados de aforos manuales en los puntos Barros Negros y Puente San Luis

Fecha	Infraestructura	Valor (L/s)	Empresa
Julio de 2024	Aforo Barros Negros	192,17	SEGEA
	Aforo Barros Negros	179,00	SQM
	Puente San Luis Aforo	155,30	SEGEA
Agosto de 2024	Aforo Barros Negros	S/I	SEGEA
	Aforo Barros Negros	S/I	SQM
	Puente San Luis Aforo	103,90	SEGEA
Septiembre de 2024	Aforo Barros Negros	S/I	SEGEA
	Aforo Barros Negros	S/I	SQM
	Puente San Luis Aforo	136,00	SEGEA
Octubre de 2024	Aforo Barros Negros	S/I	SEGEA
	Aforo Barros Negros	S/I	SQM
	Puente San Luis Aforo	107,70	SEGEA
Noviembre de 2024	Aforo Barros Negros	S/I	SEGEA
	Aforo Barros Negros	S/I	SQM
	Puente San Luis Aforo	92,90	SEGEA
Diciembre de 2024	Puente San Luis Aforo	85,00	SEGEA
	Puente San Luis Aforo	120,79	SQM

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

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.6 Superficie lacustre

Para el segundo semestre de 2024 se realizó la medición de superficie lacustre mediante análisis de imagen satelital con frecuencia trimestral, correspondiente al compromiso trimestral definido en el PdC (2022) dentro del procedimiento sancionatorio Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), como recordatorios es válido mencionar que según la RCA 226/2006 solo se haría este monitoreo de manera anual. Además, según complementa la Resolución Nº244/2010, 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 la Tabla 5-14 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 el mapa final de extensión lagunar.

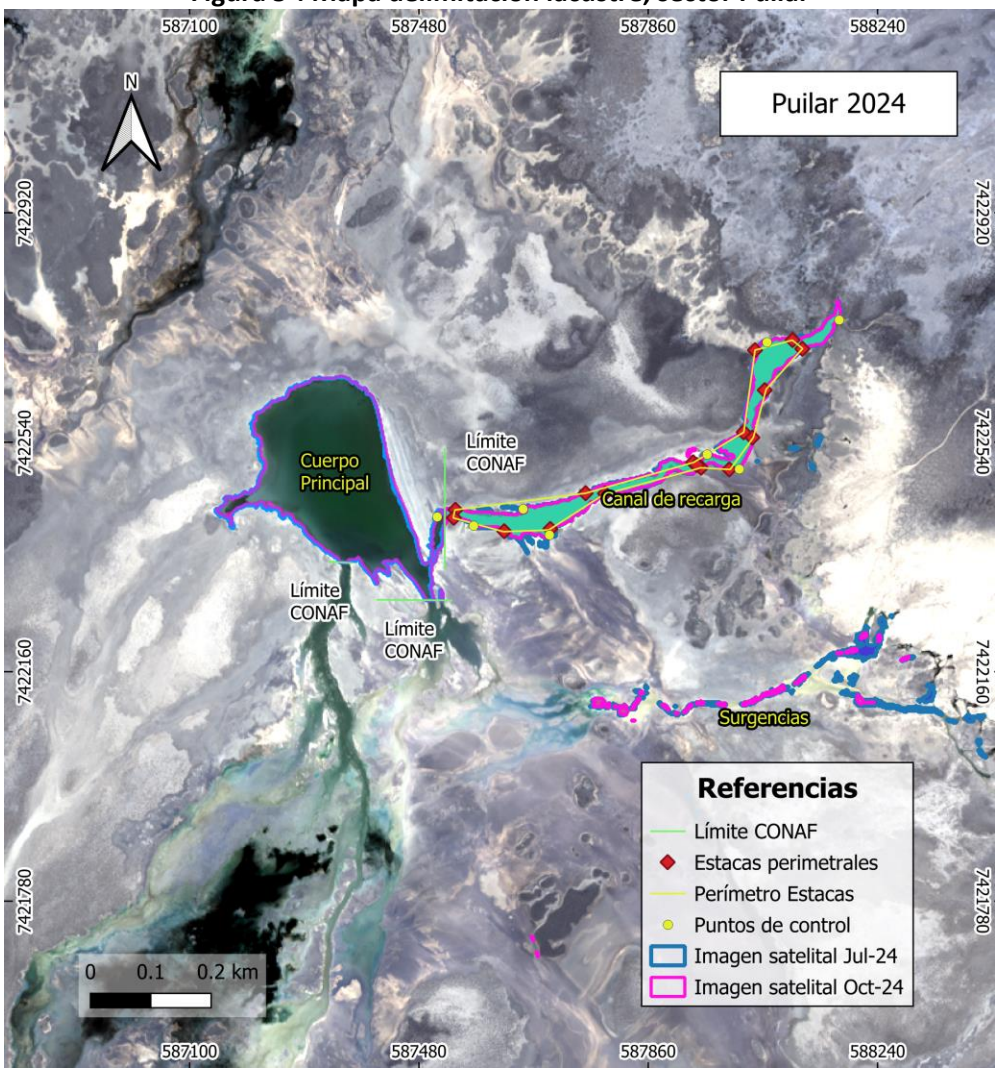
Tabla 5-14. Superficies lacustres segundo semestre 2024 en Sistema Soncor

Periodo de medición	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m^2)			
			Laguna Chaxa	Laguna Barros Negros	B. Negros Z. Aledañas + Desborde Sur	Laguna Puilar
Jul 2024	SRGIS	Imagen Satelital	290.781	914.646	113.826	61.931
Oct 2024	SRGIS	Imagen Satelital	283.784	831.891	275.066	62.344
Jul 2024	ATyGEO	Estacas perimetrales	277.044,7	1.034.704,8	N/A	19.228,7

N/A: No disponible (el dato no pudo ser medido).
Fuente: Elaboración propia.

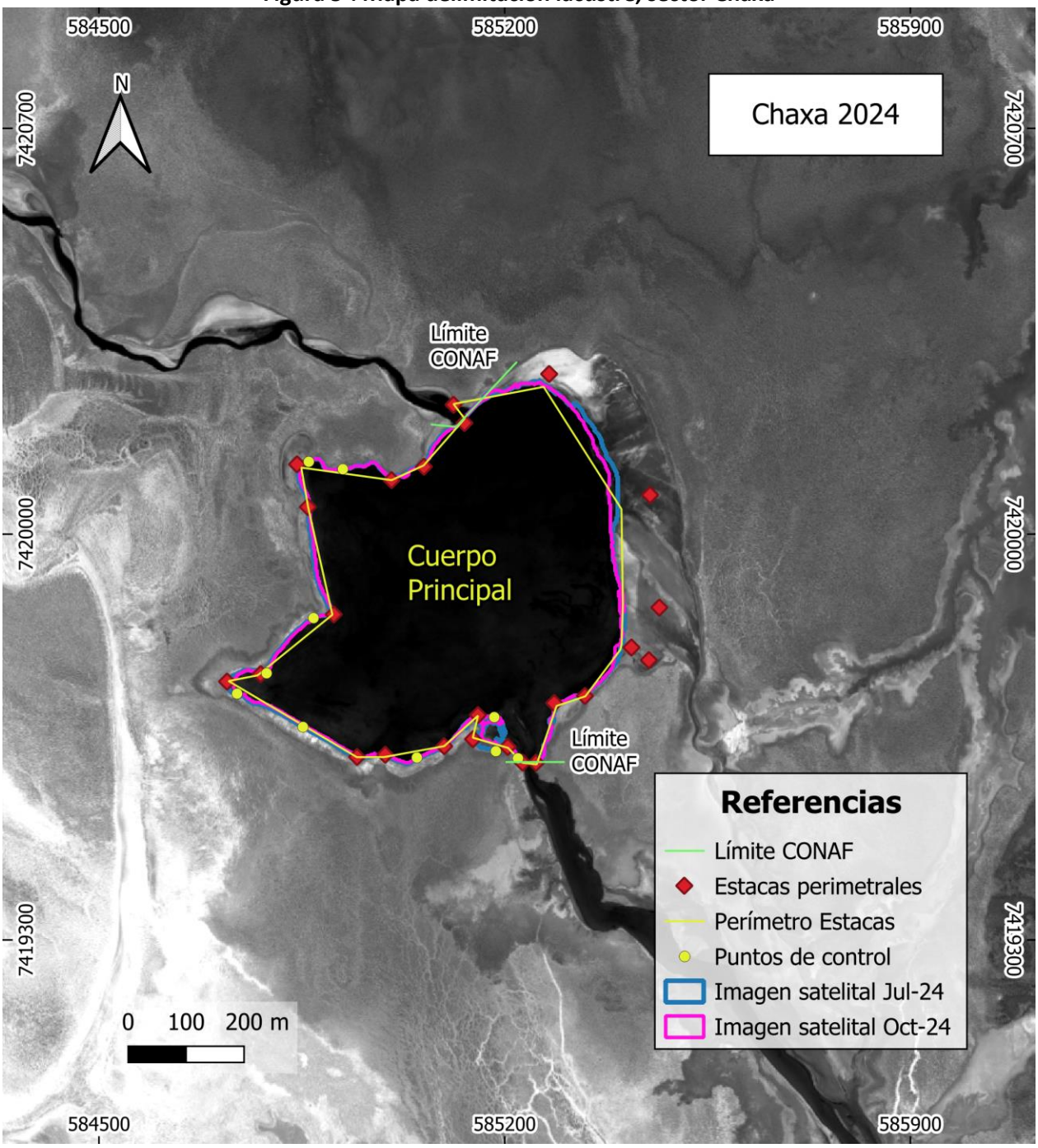
En las Figura 518, Figura 519, Figura 520 se muestran mapas con los resultados de las metodologías previamente señaladas para el segundo semestre de 2024.

Figura 5-: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar



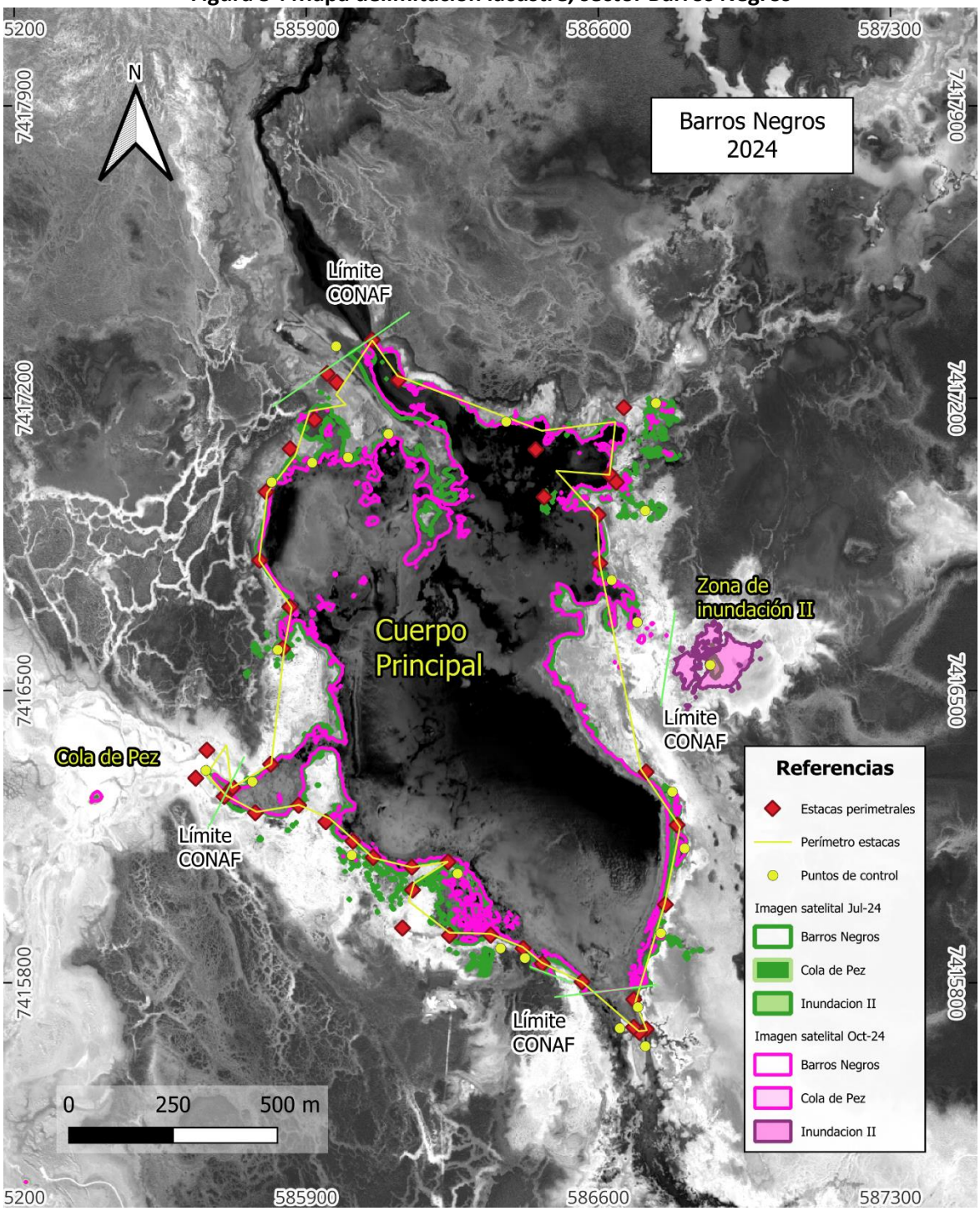
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 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 (62 puntos), caudal bombeado (2 puntos), calidad química (9 puntos). En esta actualización se han incluido voluntariamente 2 estaciones meteorológicas propiedad de SQM para complementar el entendimiento del desempeño de las variables en el Aguas de Quelana.

Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.4.1 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 46 y en el Anexo 2. Cabe señalar que, los pozos L4-3, L3-3, L3-5, y L3-16, 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.

5.1.4.1.1 Pozos en Zona Aluvial

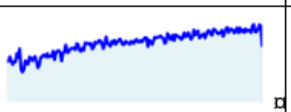
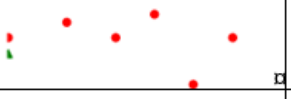
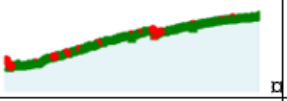
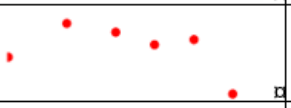
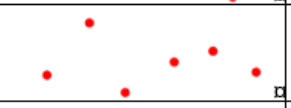
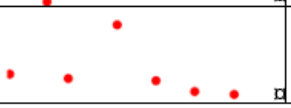
La Zona Aluvial cuenta con 8 puntos de control comprometidos para el Sistema Aguas de Quelana, de los cuales 6 corresponden a pozos de monitoreo y 2 a pozos de extracción. De estos, el L4-3 es indicador de estado. Se destaca que ninguna infraestructura de este grupo se encuentran dentro de la reserva.

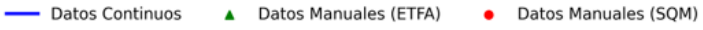
Cabe señalar que, desde mayo de 2022 se puso en marcha la medición continua en el pozo Camar-2, las cuales se propusieron de forma voluntaria en el marco del desmantelamiento de sus instalaciones para extracción de agua. El indicador de estado L4-3 fue visitado con la frecuencia comprometida (diaria por SEGEA) y voluntaria con un mínimo de 1 vez (mensual por SQM). El resto de los pozos contó con al menos 1 medición mensual por parte de SQM.

En la Figura 521 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales, manuales y continuas para el período del segundo semestre de

2024. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

POZO¤	MIN¤	MAX¤	Media¤	Grafico¤	Tendencia¤
CAMAR-2¤	2322.20¤	2322.52¤	2322.46¤		→¤
L3-2¤	2323.06¤	2323.07¤	2323.06¤		→¤
L4-3¤	2306.97¤	2307.46¤	2307.19¤		↑¤
L4-4¤	2304.09¤	2304.60¤	2304.42¤		→¤
L5-1¤	2322.27¤	2322.32¤	2322.29¤		→¤
L5-2¤	2315.11¤	2315.13¤	2315.13¤		→¤
SOCAIRE-5B¤	2304.49¤	2305.27¤	2304.72¤		↑¤



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.1.2 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 los cuales 23 poseen medición continua de nivel. Para facilitar el análisis, se han agrupado en 4 subgrupos en función de su ubicación: Área del pozo Camar-2 al este de los cuerpos de agua, Área del pozo Socaire-5B al este de los cuerpos de agua, Área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua, y Área del pozo Socaire-5B al oeste de los cuerpos de agua. A continuación, se muestran los resultados.

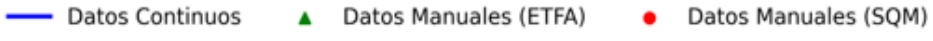
5.1.4.1.2.1 Área del pozo Camar-2

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 L13-3 y L3-6 se encuentran dentro de la reserva. Todos los pozos 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 1 medición (mensual SQM). El resto de los pozos dispone de al menos 1 medición mensual SQM.

La Figura 522 muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L13-1	2315.25	2315.33	2315.30		→
L13-2	2307.17	2307.33	2307.29		→
L13-3	2302.77	2302.90	2302.85		→
L3-3	2310.84	2310.93	2310.91		→
L3-5	2304.25	2304.34	2304.30		→
L3-6	2302.20	2302.25	2302.23		→



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.1.2.2 Área del pozo Socaire-5B

El subsector aledaño al pozo de extracción Socaire-5B 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 1 medición mensuales (SQM). El resto de los pozos registra al menos 1 medición mensual por parte de SQM. En la Figura 523 se presentan de forma gráfica las mediciones obtenidas para el período reportado, que incluye las comprometidas y las adicionales. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L14-1	2311.83	2311.88	2311.86		→
L14-2	2304.32	2304.38	2304.36		→
L14-3	2301.65	2301.69	2301.67		→
L14-5	2300.37	2300.43	2300.42		→
L14-6	2300.00	2300.04	2300.03		→
L14-7	2299.80	2299.82	2299.81		→
L4-7	2301.39	2301.43	2301.41		→
L4-8	2301.27	2301.30	2301.29		→
L4-9	2300.93	2301.02	2300.98		→
L5-3	2301.97	2302.13	2302.07		→
L5-6	2309.04	2309.12	2309.09		→
L5-7	2306.99	2307.10	2307.06		→
L5-8	2303.72	2303.79	2303.76		→

Datos Continuos Datos Manuales (ETFA) Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.1.2.3 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, L3-11, 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 segundo semestre de 2024 presenta gráficamente en la Figura 524, que incluye las comprometidas y las adicionales. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L13-5	2300.42	2300.45	2300.44		→
L13-6	2300.07	2300.09	2300.08		→
L13-7	2299.81	2299.84	2299.82		→
L3-10	2300.20	2300.23	2300.22		→
L3-11	2300.15	2300.16	2300.16		→
L3-12	2300.10	2300.10	2300.10		→
L3-13	2300.05	2300.08	2300.06		→
L3-14	2299.61	2299.64	2299.63		→
L3-8	2300.32	2300.37	2300.35		→
L3-9	2300.28	2300.32	2300.30		→
SOPM-8 (L3-4)	2298.38	2298.41	2298.40		↓

Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

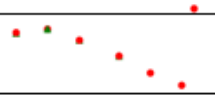
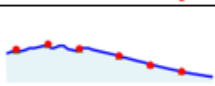
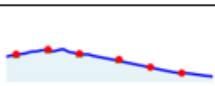
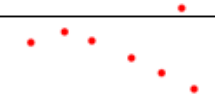
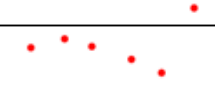
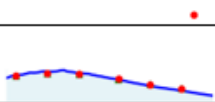
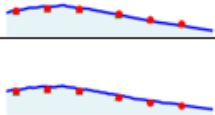
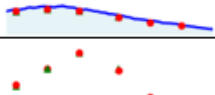
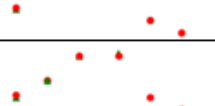
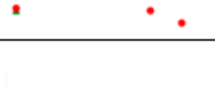
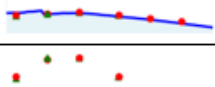
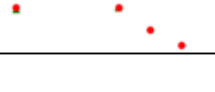
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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

El subsector oeste de los cuerpos de agua aledaños al pozo Socaire-5B 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 L5-9, L4-12, L4-13, L5-10, L5-11 y L5-14 cuentan con mediciones continuas. Todos los pozos fueron visitados al menos 1 vez al mes por SQM durante el segundo semestre de 2024.

El resultado del monitoreo para el actual período reportado se presenta gráficamente en la Figura 525, que incluye las mediciones comprometidas y las adicionales. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-: 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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
GD-02	2298.71	2298.74	2298.72		↓
L4-11	2299.68	2299.88	2299.81		→
L4-12	2299.57	2299.72	2299.66		→
L4-13	2299.49	2299.62	2299.56		→
L4-14	2299.52	2299.60	2299.58		↓
L4-15	2299.24	2299.30	2299.28		↓
L4-5	2299.05	2299.10	2299.08		↓
L5-10	2299.82	2299.90	2299.87		→
L5-11	2299.77	2299.85	2299.82		→
L5-12	2299.67	2299.71	2299.70		→
L5-13	2299.68	2299.70	2299.69		→
L5-14	2299.44	2299.49	2299.47		↓
L5-15	2299.34	2299.37	2299.36		↓
L5-9	2299.95	2300.03	2300.00		→



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.1.3 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 segundo semestre 2024, cada pozo fue visitado al menos 1 vez por mes por parte de SQM.

En la Figura 526 se muestra gráficamente el resultado completo del segundo semestre de 2024, considerando las mediciones comprometidas y las adicionales. El punto SOPM-8 (L3-4) se presenta en la sección 5.1.4.1.2.3. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
D-2	2298.59	2298.62	2298.61		↓
L4-16	2298.57	2298.60	2298.58		↓
L4-6	2298.51	2298.54	2298.53		↓
L5-4	2298.58	2298.61	2298.60		↓
SOPM-9	2298.57	2298.60	2298.59		↓

Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

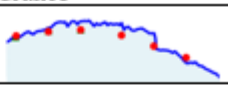
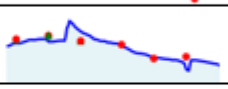
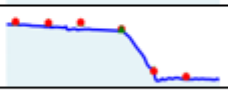
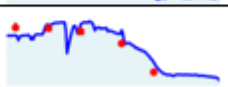
5.1.4.1.4 Nivel de agua superficial

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 527 se muestra gráficamente el resultado completo del segundo semestre de 2024, considerando las mediciones comprometidas y las adicionales. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L13-4	2301.48	2301.58	2301.55		→
L14-3	2301.65	2301.69	2301.67		→
L3-7	2301.14	2301.39	2301.23		→
L4-10	2300.55	2300.70	2300.62		→
L5-G3 POZO	2300.66	2300.74	2300.70		→
L5-G3 REGLILLA	2300.66	2300.73	2300.71		→

Datos Continuos Datos Manuales (ETFA) Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.2 Meteorología

En la Tabla 5-15 y Tabla 5-16 presentan un resumen de los principales estadígrafos de los parámetros registrados en las estaciones meteorológicas LZA3-1 y LZA3-2.

En la estación LZA3-1, se registraron un total de ocho parámetros, de los cuales cuatro son obligatorios según la RCA Nº226/2006: precipitación acumulada, evaporación promedio, temperatura promedio y velocidad del viento promedio. Los otros cuatro, considerados voluntarios, son: dirección del viento promedio, humedad relativa promedio, presión atmosférica promedio y radiación global promedio. Por su parte, en la estación LZA3-2, se midieron tres variables: precipitación acumulada, temperatura

promedio y humedad relativa promedio. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 528 y Figura 529, y en el Anexo 9.2.

La estación LZA3-2 tiene más de 95% de información completa en todos los meses de todas las variables. Por otro lado, la estación LAZA3-1 tiene menos del 95% de información solo para la variable evaporación, por lo que se tuvo que rellenar los datos faltantes. Para mayor detalle sobre la metodología implementada, referirse al Anexo 9.

Con respecto a la estación meteorológica LZA3-1, se observa que en el segundo semestre del 2024 la precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de un evento que ocurre durante el mes de octubre (0,2 mm). En cuanto a la velocidad y dirección del viento, se observa en promedio un aumento progresivo en el segundo semestre. En julio la velocidad del viento promedio diaria es de 1,4 m/s y en diciembre de 2,8 m/s. La velocidad máxima diaria en este periodo es de 4,9 m/s y se produjo el día 21 de agosto de 2024.

La radiación global, evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en promedio en julio es de 211,6 W/m^2, mientras que en diciembre fue de 410,2 W/m^2. Por su parte, La evaporación promedio en julio es de 5,8 mm/día y en diciembre 12,9 mm/día. Por otro lado, la temperatura media diaria en julio fue del orden de 7,3°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 18,7°C.

La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia leve a disminuir, en donde el julio es de 776,5 mbar y en fue del orden de 774,6 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 13,5%, con una máxima de 44,7% en octubre de 2024.

En relación con la estación meteorológica LZA3-2, se observa que en el segundo semestre del 2024 la precipitación es nula en todo el periodo. La temperatura media diaria presenta una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La temperatura media diaria en julio fue del orden de 4,8°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,8°C. Por último, la humedad relativa presenta un promedio semestral de 9,4%, con un máximo de 40,1% en octubre de 2024.

Tabla 5-15: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica LZA3-1

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	73,90	291,60	190,98	57,78
Evaporación promedio *	mm	2,69	14,76	9,65	3,16
Humedad relativa promedio	%	6,30	44,78	13,59	5,00
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,20	0,00	0,01
Presión atmosférica promedio	mbar	771,20	780,46	775,73	1,39
Radiación global promedio	W/m^2	132,97	417,32	323,13	74,08
Temperatura promedio	°C	2,88	21,20	14,20	4,67
Velocidad del viento promedio	m/s	0,99	4,94	2,24	0,67

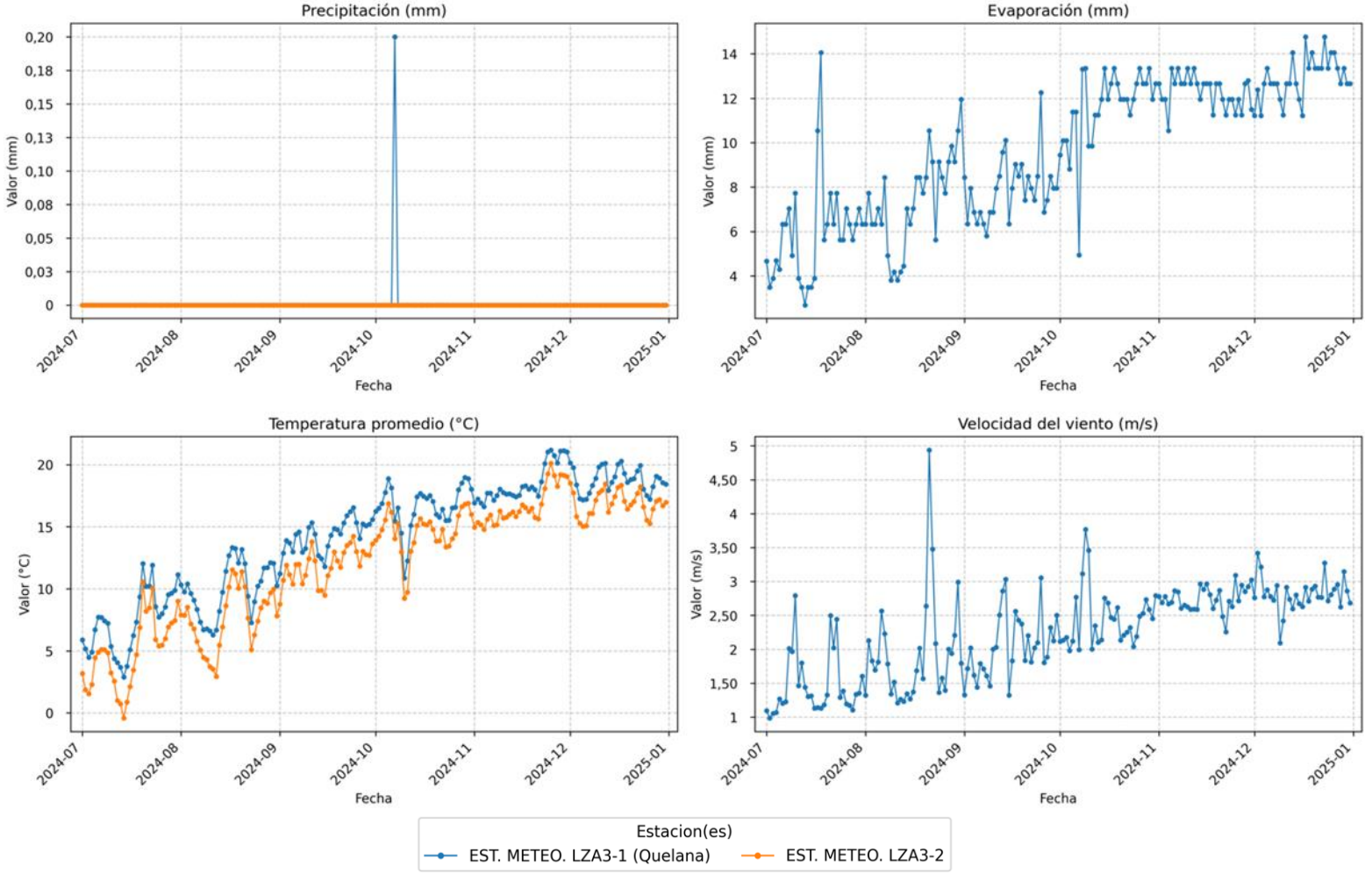
*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-16: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA3-2

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	2,90	40,17	9,48	5,00
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura promedio	°C	-0,42	20,12	12,04	4,95

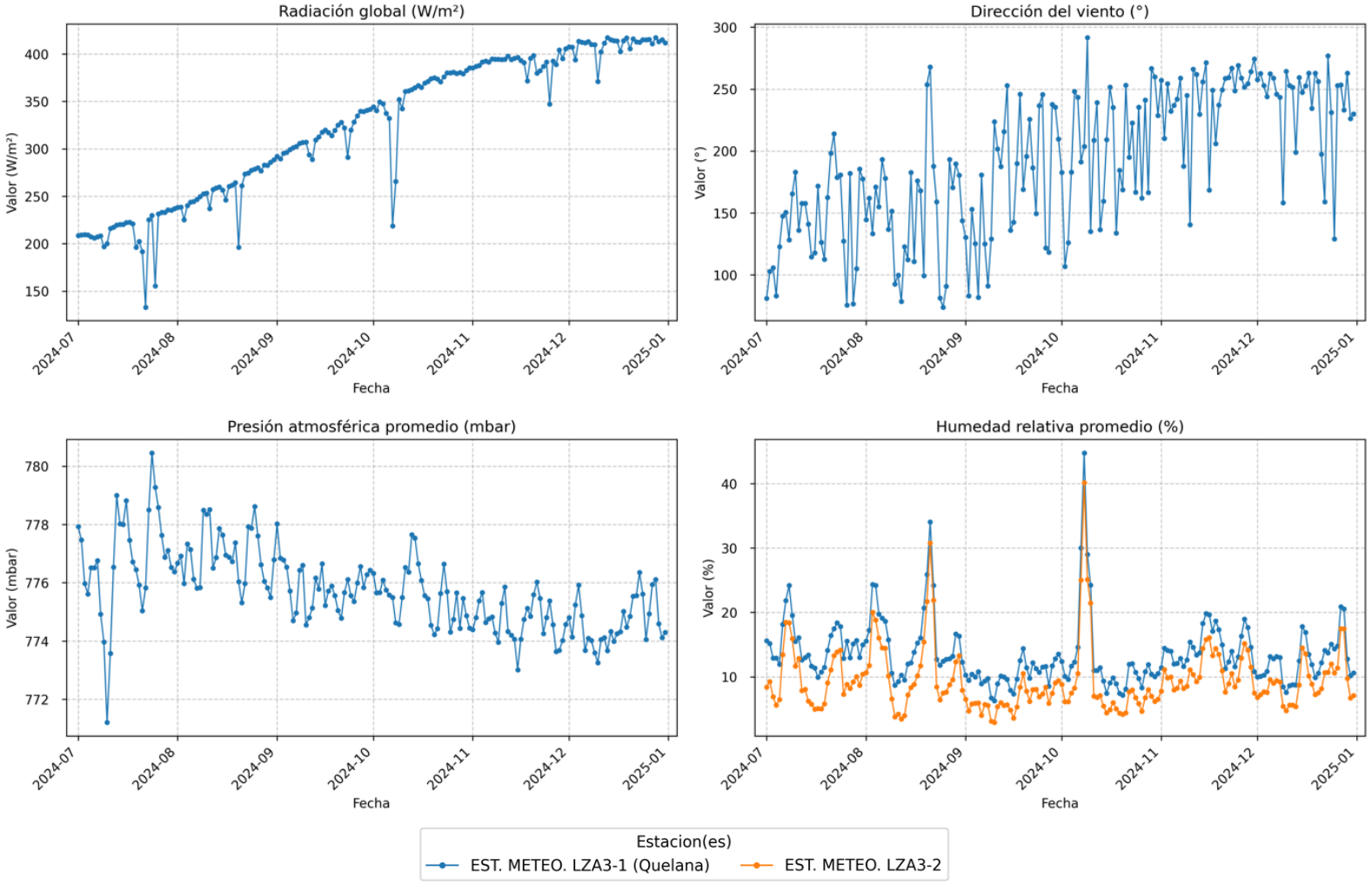
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica en Aguas de Quelana.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica en Aguas de Quelana.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.3 Superficie lacustre

Para el segundo semestre de 2024 se calculó la extensión lagunar de Aguas de Quelana en los meses de julio y octubre, según corresponde al compromiso trimestral definido en el Programa de Cumplimiento (PdC 2022) 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 registro caminando alrededor de las lagunas (según se indica en la sección 4.5). Además, estas últimas técnicas no forman parte del compromiso definido en el PdC (2022).

En la Tabla 5-17, se presentan los resultados correspondientes al cálculo de superficie lacustre para los meses de julio y octubre de 2024. Por otra parte, en la Figura 530 se presentan mapas con las delimitaciones lacustres para los meses indicados.

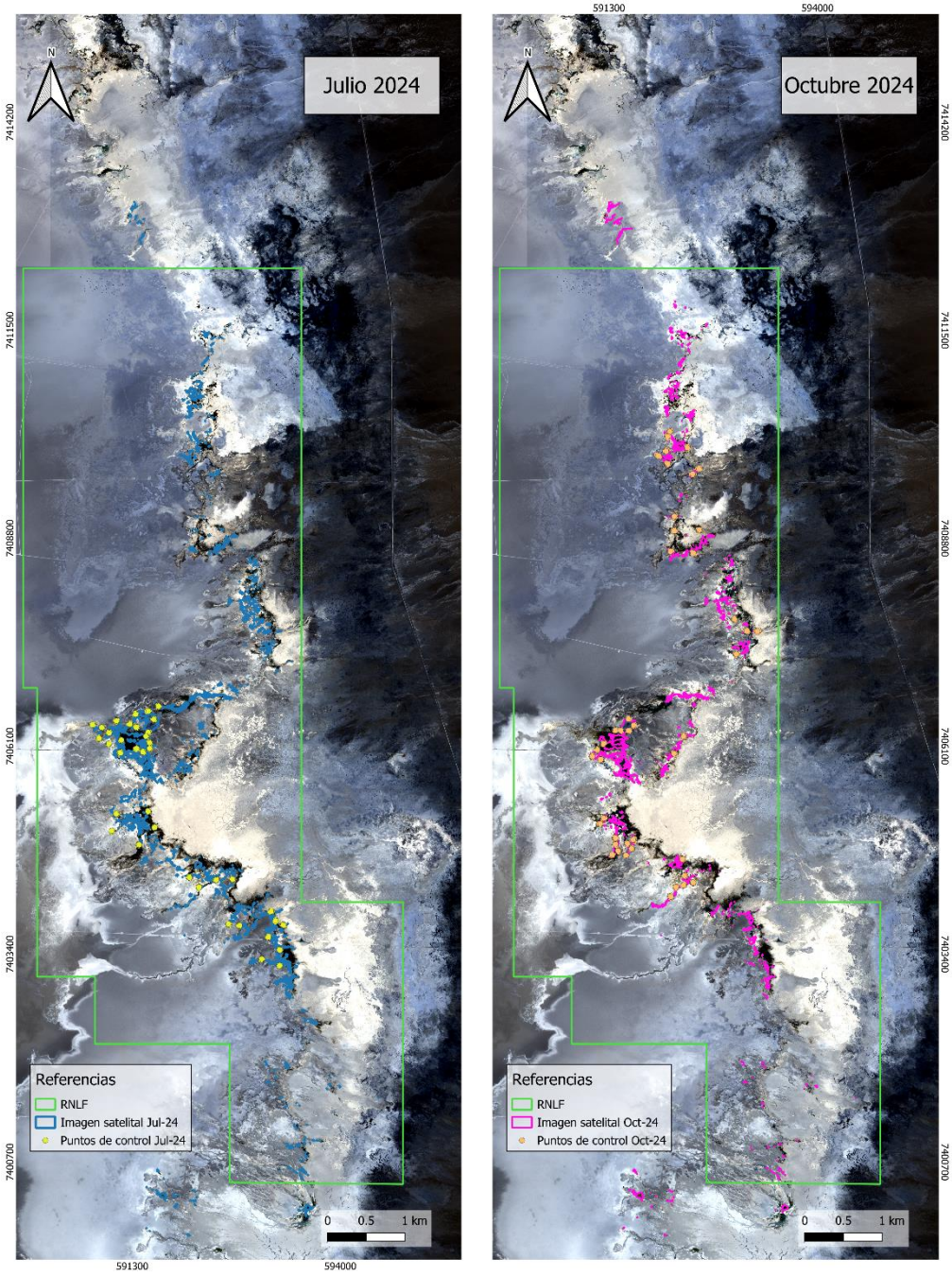
Tabla 5-17: Superficie lacustre para el segundo semestre el año 2024 en Sistema Aguas de Quelana

Periodo de medición	Responsable	Metodología	Sistema Lacustre de Aguas de Quelana (m^2)
Jul 2024	SRGIS	Imagen Satelital	420.188
Oct 2024	SRGIS	Imagen Satelital	310.768

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 el mapa con el resultado final de la extensión lagunar.

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

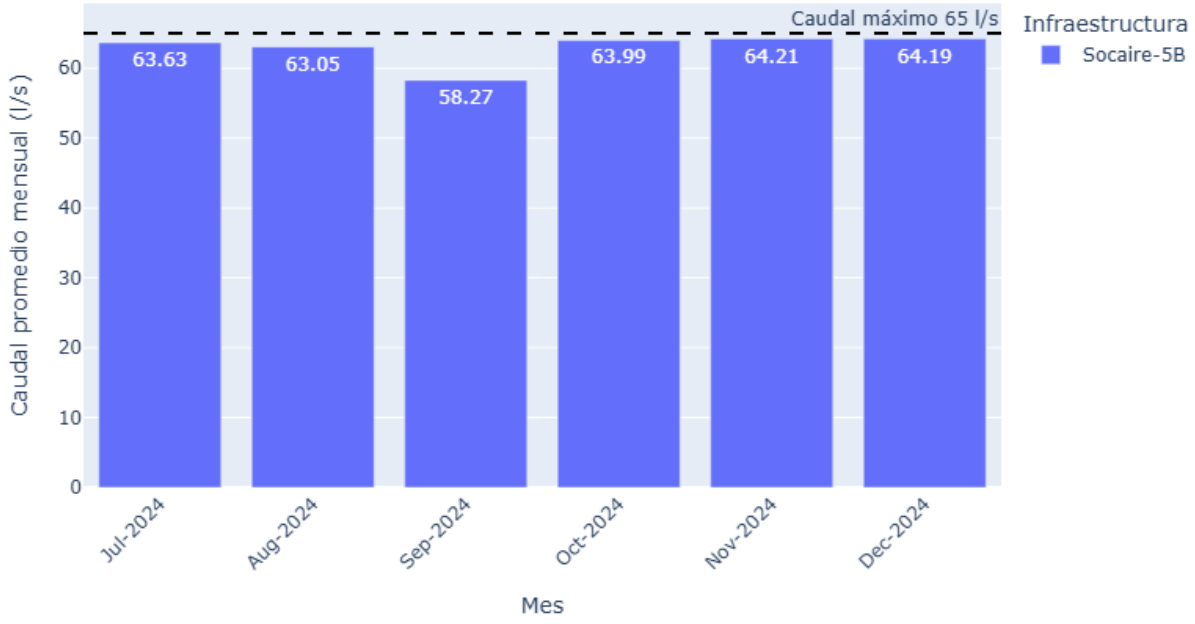


Fuente: Elaboración propia. Detalles de cálculo y puntos de control pueden ser revisados en el Anexo 10

5.1.4.4 Caudal bombeado agua

En el sector aluvial del Sistema Aguas de Quelana, la extracción de agua industrial se realiza exclusivamente desde el pozo Socaire-5B debido a que el pozo Camar-2 fue desmantelado. En el período entre julio y diciembre de 2024, el flujo de extracción ha oscilado entre 58,00 L/s y 64,21 L/s, manteniéndose por debajo del umbral de 65 L/s permitido (Figura 531). El caudal promedio semestral reportado para este periodo fue de 61,86 L/s.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.5 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 segundo 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 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 segundo semestre de 2024.

5.1.4.5.1 Muestreo de aguas red monitoreo

En la Tabla 5-18 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 (julio y octubre 2024), realizadas a los pozos de monitoreo en el segundo semestre del año.

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

Tabla 5-18: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana

Parámetro	L4-12		L4-3		L4-6	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (µS/cm)	115.900	107.400	15.870	15.180	245.000	252.000
Conductividad Terreno (µS/cm)	111.800	105.700	15.540	14.880	232.000	241.000
Densidad (g/mL)	1,062	1,053	1,003	1,000	1,215	1,198
Densidad Terreno (g/mL)	1,068	1,060	1,010	1,003	1,220	1,220
pH ()	7,9	8,3	6,8	6,5	7,6	7,6
pH Terreno ()	7,859	7,921	7,107	6,181	7,207	7,182
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	93.456	77.450	7.550	9.220	323.892	203.780
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	28	11	39	25	222	43
Sólidos Totales (mg/L)	96.164	91.690	7.877	9.560	351.160	216.990
Temperatura Terreno (°C)	14,6	16,7	25,0	27,4	17,4	22,6

Parámetro	L4-8		L4-9		L5-3	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (µS/cm)	85.200	90.600	129.500	129.900	4.530	4.290
Conductividad Terreno (µS/cm)	82.600	89.500	127.400	132.500	4.120	4.300
Densidad (g/mL)	1,039	1,036	1,067	1,065	0.999	0,992
Densidad Terreno (g/mL)	1,046	1,045	1,075	1,071	1,006	1,003
pH ()	7,3	7,7	7,8	8,0	8,2	8,3
pH Terreno ()	7,272	7,329	7,642	7,603	7,732	7,772
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	61.050	63.000	104.680	107.760	2.212	3.844
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	11	11	13	13	172	76
Sólidos Totales (mg/L)	61.100	70.700	106.320	116.220	2.328	4.148
Temperatura Terreno (°C)	14,9	18,5	12,8	16,6	8,1	16,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 5-19 se presentan los resultados del monitoreo de calidad para el segundo semestre 2024 en los pozos de Socaire-5B 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 Nº226/2006.

Tabla 5-19: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo Camar-2, L4-10 y SOCAIRE-5B

Parámetro	CAMAR-2		L4-10		SOCAIRE-5B	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	477,8	287,5	285,1	365,6	429,0	439,1
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	69,8	98,8	<1	<1
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	477,8	287,5	354,9	464,4	429,0	439,1
Arsénico total (mg/L)	0,283	0,124	1,454	2,519	1,961	1,881
Calcio total (mg/L)	95.075,00	122,82	221,80	200,76	93,73	99,87
Calcio Disuelto (mg/L)	-	-	204,9	197,4		
Cloruro (mg/L)	692,0	692,0	15087,5	23585,5	358,5	381,2
Conductividad (µS/cm)	3.700	3.940	-	-	2.370	2.730
Conductividad Terreno (µS/cm)	3.900	3.870	52.000	64.500	2.800	2.790
Densidad (g/mL)	0,997	0,995	1,022	1,022	0,998	0,994
Densidad Terreno (g/mL)	1,005	1,000	1,028	1,035	1,000	1,000
Dureza Total (mg/L)	-	-	5.207	5.579	-	-
Fósforo fosfato (mg/L)	-	-	<0,01	<0,01	-	-
Hierro total(mg/L)	24,05	15,05	-	-	0,015	0,016
Magnesio (mg/L)	98,5	109,2	938,3	1.091,95	43,91	48,27
Magnesio Disuelto (mg/L)	-	-	885,4	1.073,0	-	-
Manganeso total (mg/L)	0,3013	0,2041	-	-	0,0004	0,0035
Nitrógeno de Nitrato (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrógeno de Nitrito (mg/L)	<0,01	<0,01	-	-	<0,01	<0,01
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	-	-	9,73	4,78	-	-
pH ()	8,2	7,6	8,5	8,9	8,1	7,9
pH Terreno ()	7,458	7,382	8,447	8,514	7,108	7,041
Potasio (mg/L)	28,78	22,95	1703,00	2170,14	27,44	31,77
Potasio Disuelto (mg/L)	-	-	1.612,0	2.118,8		
Salinidad (%)	-	-	38,4	41,2	-	-
Sodio (mg/L)	469,8	512,9	9971,0	11880,7	361,1	388,5
Sodio disuelto (mg/L)	-	-	9.423,0	11.367,9	-	-
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.076	2.188	32.900	48.200	1.602	1.674
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	26,000	44,000	9,000	68,000	<3	<3
Sólidos Totales (mg/L)	2.176	2.352	36.217	52.900	1.782	1.820
Sulfato (mg/L)	322	431	1.978	3.427	365	377
Temperatura Terreno (°C)	23,1	26,5	16,2	16,7	26,6	29,5
Zinc (mg/L)	0,053	0,015	-	-	0,016	0,012

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.5.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2024 en el sistema Aguas de Quelana, de acuerdo con los criterios de validación definidos en la sección 4.4.

La Tabla 5-20 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 Nº226/2006, sin embargo, se presentan de forma voluntaria para el respectivo control de calidad.

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

Tabla 5-20: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana

Punto de control	Balance Masa Sólidos (%)		Balance Iónico (%)	
	julio	octubre	octubre	noviembre
CAMAR-2	-3,4	-5	1,19	5,92
L4-10	-9,1	-8,7	8,82	5,21
L4-12	-2,7	-15,5	NA*	NA*
L4-3	-3,6	-3,2	NA*	NA*
L4-6	-7,7	-6	NA*	NA*
L4-8	0	-10,8	NA*	NA*
L4-9	-1,5	-7,2	NA*	NA*
L5-3	-2,4	-5,4	NA*	NA*
SOCAIRE-5B	-10	-7,9	2,96	1,18

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 6), en la Tabla 5-21 se observa que durante el tercer trimestre se registró 7 desviaciones de diferentes analitos con respecto al histórico. Durante el cuarto trimestre las desviaciones fueron 8. Esto implica que, las 15 desviaciones de los analitos con respecto a desviaciones semestrales representan tan solo un 4,63% del total de 324 análisis en el sistema Aguas de Quelana durante el segundo semestre 2024.

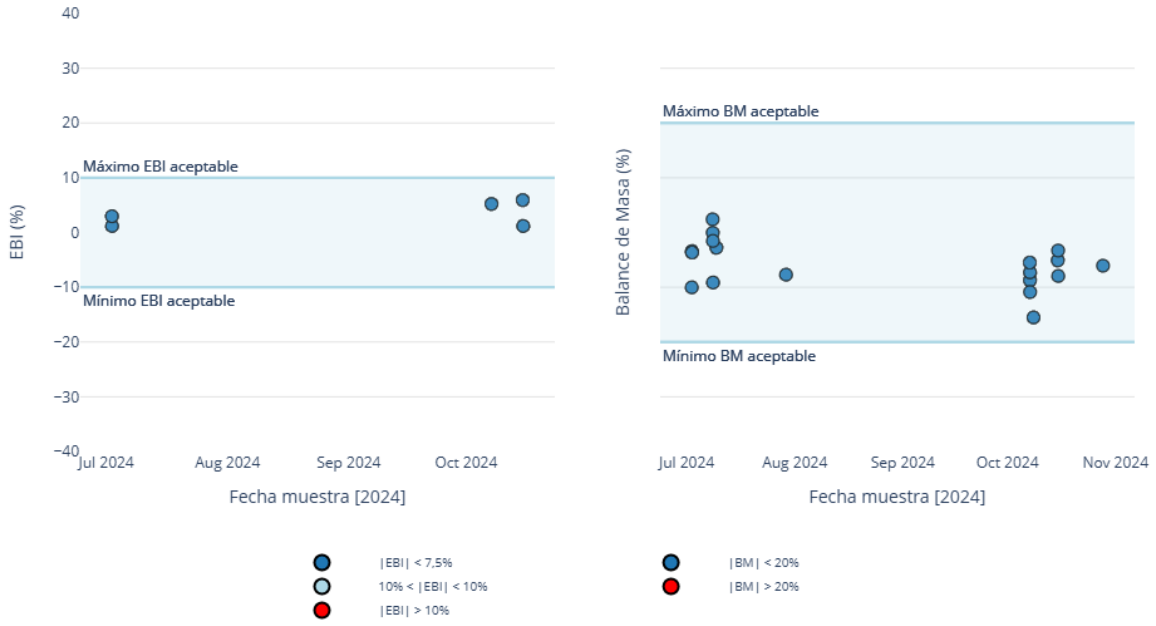
Tabla 5-21: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana

Nombre Analito	Mes de Fecha Muestra	Nombre Muestra
Alcalinidad Carbonato	julio de 2024	L4-10|08-07-2024|ALS
	octubre de 2024	L4-10|07-10-2024|ALS
Conductividad Terreno	julio de 2024	L5-3|08-07-2024|SQM
Densidad	octubre de 2024	L4-6|28-10-2024|ALS
		L4-10|07-10-2024|ALS
		L5-3|07-10-2024|ALS
Densidad Terreno	julio de 2024	CAMAR-2|02-07-2024|SQM
Hierro	julio de 2024	CAMAR-2|02-07-2024|ALS
pH	julio de 2024	CAMAR-2|02-07-2024|ALS
		SOCAIRE-5B|02-07-2024|ALS
	octubre de 2024	L4-12|08-10-2024|ALS
		L5-3|07-10-2024|ALS
		SOCAIRE-5B|15-10-2024|ALS
pH Terreno	julio de 2024	L4-3|02-07-2024|SQM
	octubre de 2024	L4-8|07-10-2024|SQM

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 532 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el segundo 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| ≤ 10%) y balance de masa (|BM| ≤ 20%) definidos en la sección 4.4.

Figura 5-: 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.

5.1.5 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), de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 48. 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, no se incluyen en el presente apartado.

En esta actualización se han incluido voluntariamente los registros de 5 estaciones meteorológicas propiedad de SQM, 4 puntos de aforo de caudal superficial, y 1 punto de monitoreo de nivel de agua

subterránea (CAMAR-2015) para complementar el entendimiento del desempeño de las variables en el Sistema Vegetación Borde Este.

Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.5.1 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.

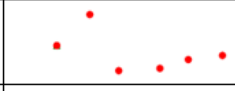
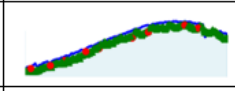
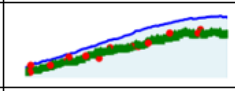
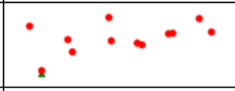
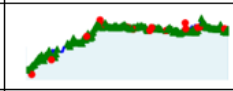
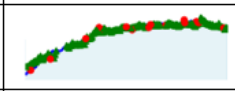
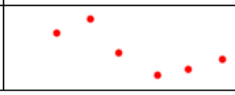
5.1.5.1.1 Pozos en Zona Aluvial

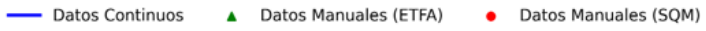
Como ya se ha mencionado, parte de los puntos de control que pertenecen al Sistema de Vegetación Borde Este ya se presentaron en los sistemas Soncor y Aguas de Quelana debido su proximidad con los otros puntos. En este apartado se exponen los resultados del monitoreo de los 8 puntos que restan. De estos, 7 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 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 533 se muestran el resultado de los niveles medidos durante el segundo semestre de 2024. Estas incluyen las mediciones comprometidas y voluntarias. En el Anexo 5 se presenta el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
CA-2015	2303.73	2303.87	2303.78		↓
CAMAR-2015	2316.51	2316.54	2316.52		↑
L2-26	2318.30	2318.36	2318.33		→
L7-13	2323.22	2323.28	2323.25		→
L7-15	2329.58	2329.63	2329.61		↑
L9-1	2309.61	2309.67	2309.66		→
L9-2	2308.81	2308.89	2308.86		→
P2	2311.91	2312.03	2311.96		→



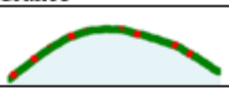
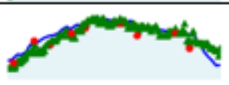
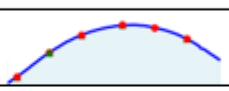
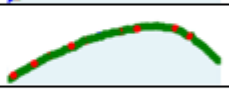
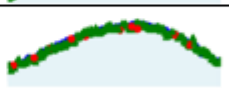
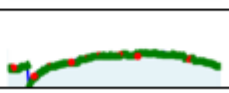
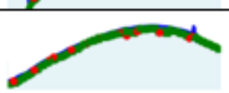
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

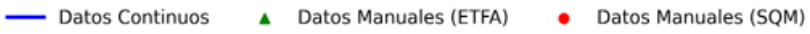
5.1.5.1.2 Pozos en Zona Marginal

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. Ninguno de ellos se encuentra dentro de la reserva y 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 la Figura 534 se muestran el resultado de los niveles medidos durante el segundo semestre de 2024. En el Anexo 5 se presenta el registro detallado del monitoreo manual efectuado en este segundo semestre 2024 y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L1-17	2306.48	2306.74	2306.65		→
L2-25	2308.84	2308.87	2308.85		→
L2-27	2310.57	2310.99	2310.86		→
L2-28	2316.22	2316.35	2316.30		→
L3-15	2315.52	2315.57	2315.55		→
L4-17	2306.35	2306.42	2306.40		→
L7-14	2315.62	2315.70	2315.67		→



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.2 Meteorología

En la Tabla 5-22, Tabla 5-23, Tabla 5-24, Tabla 5-25 y Tabla 5-26 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de las variables registradas en las estaciones meteorológicas LZA12-1, LZA12-2, LZA3-3, LZA7-1 y LZA7-2 respectivamente. Estas variables son 3 y corresponden a precipitación acumulada, temperatura promedio y humedad relativa promedio, a escala temporal diaria, para el período comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2024. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 535, y en forma tabulada en el Anexo 9.2. Cabe destacar que, para todas las variables y estaciones meteorológicas se cuenta con más del 95 % de las mediciones en este periodo, según se detalla en el Anexo 9.3.

Para las estaciones meteorológicas LZA12-1, LZA12-2, LZA3-3, LZA7-1 y LZA7-2 se registra solo un evento de precipitación líquida en el día 7 de octubre del 2024. La máxima precipitación se registró en la estación LZA7-2 de una magnitud de 1.4 mm.

En cuanto a la estación meteorológica LZA12-1, se observa que la temperatura media diaria en julio fue del orden de 4,9°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,3°C. Para la humedad relativa, esta presenta un valor promedio semestral de 11,5%, con una máxima de 45,7% en octubre 2024.

Con respecto a la estación meteorológica LZA12-2, se observa que la temperatura media diaria en julio fue del orden de 5,2°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,8°C. Para la humedad relativa, esta presenta un valor promedio semestral de 10,8%, con una máxima de 46,3% en octubre 2024.

En cuanto a la estación meteorológica LZA3-3, se observa que la temperatura media diaria en julio fue del orden de 4,1°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,1°C. Para la humedad relativa, esta presenta un valor promedio semestral de 11,1%, con una máxima de 43,3% en octubre 2024.

La estación meteorológica LZA7-1, en el segundo semestre del 2024 la temperatura media diaria en julio fue del orden de 4,5°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,5°C. Para la humedad relativa, esta presenta un valor promedio semestral de 12,3%, con una máxima de 46,2% en octubre 2024.

Respecto a la estación meteorológica LZA7-2, se puede ver que la temperatura media diaria en julio fue del orden de 4,2°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,7°C. Para la humedad relativa, esta presenta un valor promedio semestral de 9,5%, con una máxima de 46,9% en octubre 2024.

Tabla 5-22: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA12-1

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	3,00	45,74	11,52	5,62
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,40	0,00	0,03
Temperatura promedio	°C	-0,17	19,3	11,79	4,71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-23: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA12-2

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	3,05	46,33	10,82	5,76
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,90	0,00	0,07

Temperatura promedio	°C	1,11	19,51	12,22	4,75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-24: Estadígrafos de series diaria de la estación meteorológica LZA3-3

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	6,95	43,32	13,72	4,77
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,30	0,00	0,02
Temperatura promedio	°C	-0,72	19,09	11,36	4,91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-25: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA7-1

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	4,97	46,27	12,37	5,41
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,60	0,00	0,04
Temperatura promedio	°C	-0,25	19,35	11,76	4,90

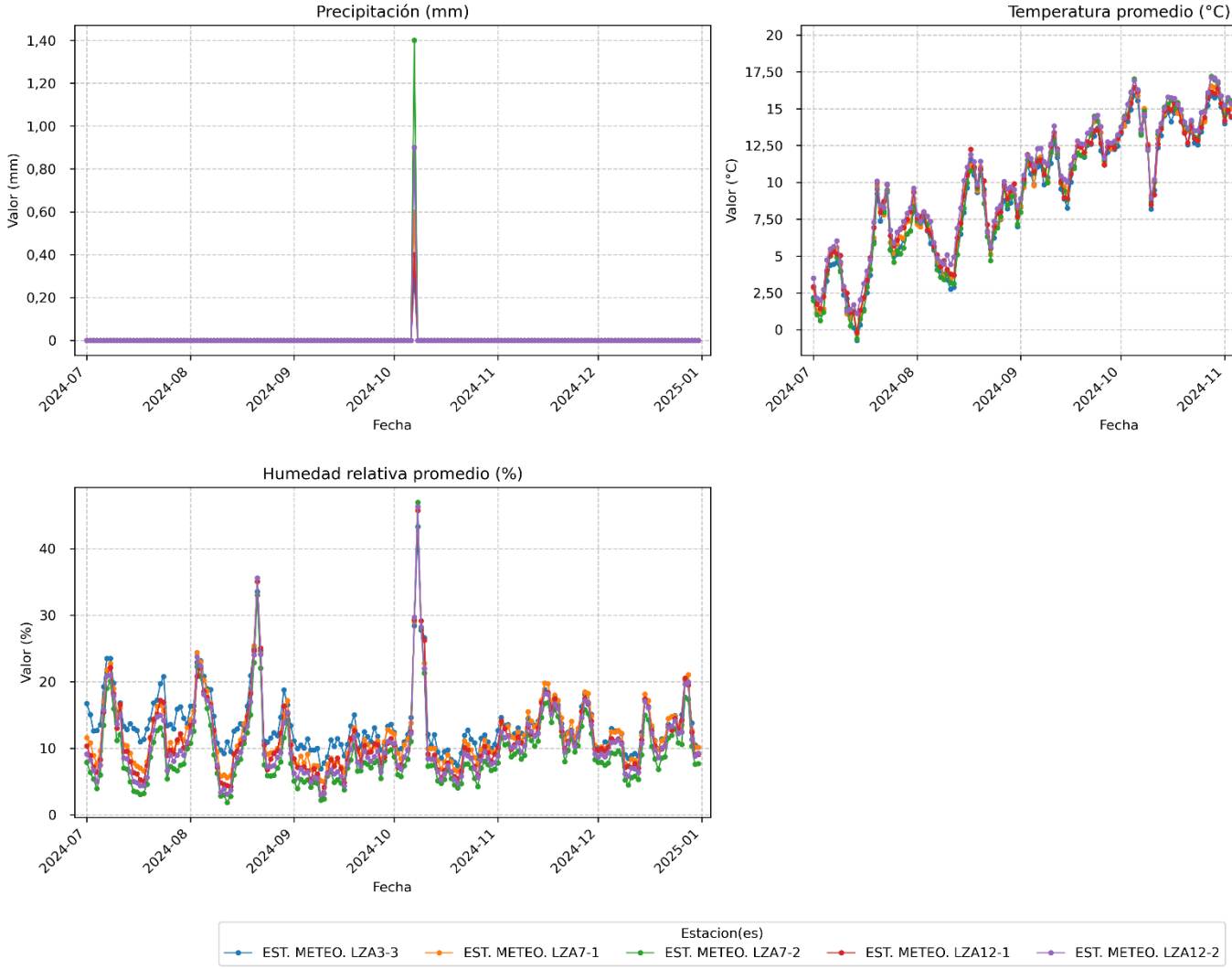
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-26: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA7-2

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	1,88	46,95	9,51	5,72
Precipitación acumulada	mm	0,00	1,40	0,01	0,10
Temperatura promedio	°C	-0,62	19,63	11,78	5,16

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de precipitación, temperatura y humedad relativa Estación Meteorológica en Sistema de Vegetación Borde Este.

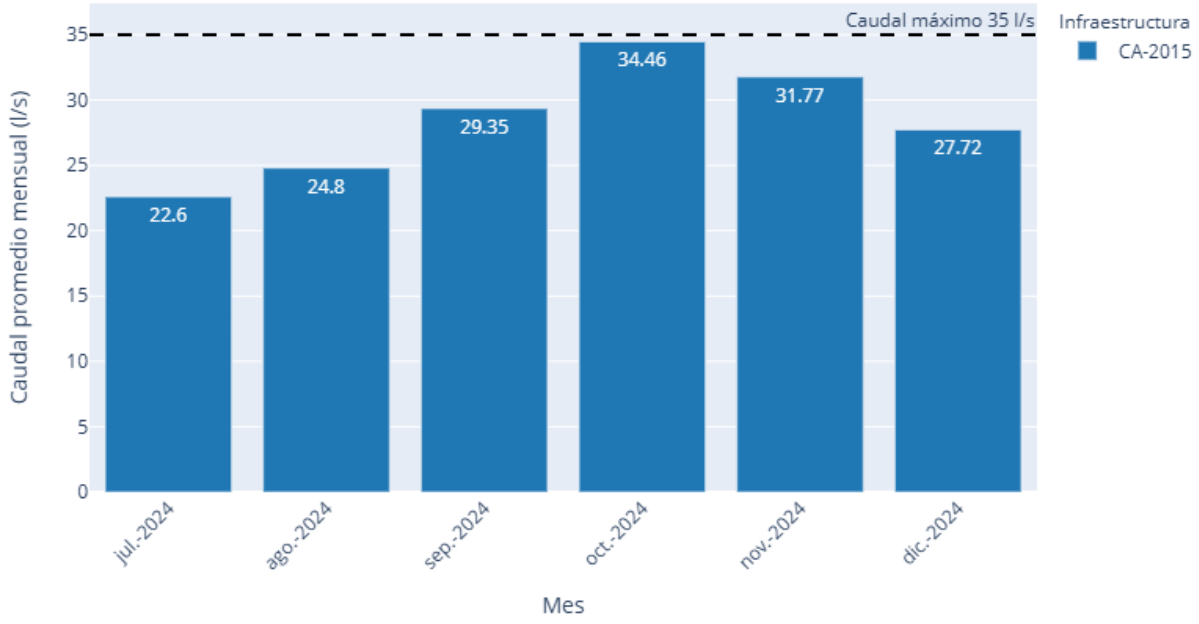


Fuente: Elaboración propia

5.1.5.3 Caudal bombeado agua

El Sistema Vegetación Borde Este dispone de un único pozo de extracción, denominado CA-2015. Durante el segundo semestre de 2024, el caudal de extracción se ha mantenido entre 22,60 L/s y 34,46 L/s, siempre por debajo del límite máximo establecido (35 L/s), tal como se observa en la Figura 536. En concreto, se obtuvo un caudal promedio mensual de 28,45 L/s durante este semestre.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.4 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 Vegetación Borde Este durante el segundo semestre del año 2024.

5.1.5.4.1 Análisis Fisicoquímico

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 5.1.4, 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 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).

En la Tabla 5-27 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 (julio y octubre

de 2024) del pozo de bombeo CA-2015. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos.

Tabla 5-27: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015

Parámetro	CA-2015	
	julio	octubre
Alcalinidad Bicarbonato(mgCaCO3/L)	161,00	155,80
Alcalinidad Carbonato(mgCaCO3/L)	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3/L)	161	155,80
Arsénico(mg/L)	0,250	0,255
Calcio(mg/L)	267,30	269,68
Cloruro(mg/L)	5.717,40	5.626,60
Conductividad(uS/cm)	19.170	17.690
Conductividad Terreno(uS/cm)	18.530	17.570
Densidad(g/ml)	1,007	1,005
Densidad Terreno(g/ml)	1,008	1,010
Hierro(mg/L)	0,292	0,744
Magnesio(mg/L)	252,70	237,39
Manganeso(mg/L)	0,034	0,034
Nitrógeno Nitrato(mg/L)	< 0,01	< 0,01
Nitrógeno Nitrito(mg/L)	< 0,01	< 0,01
pH ()	8,3	7,6
pH Terreno ()	7,197	7,145
Potasio(mg/L)	352,20	322,31
Sodio(mg/L)	3.044,00	2.794,83
Solidos disueltos Totales(mg/L)	13.120	10.580
Sulfato(mg/L)	650	596
Temperatura Terreno(°C)	23,90	25,20
Zinc(mg/L)	0,028	0,026

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.4.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2024 en el sistema Vegetación Borde Este, de acuerdo con los criterios de validación definidos en el capítulo 4. En la Tabla 5-28 se muestran los resultados de la validación para las muestras colectadas en Vegetación Borde

Este, específicamente en el pozo CA-2015. Los resultados del balance de masas y del balance iónico son satisfactorios en ambos trimestres, en el caso del balance iónico 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 5-28: Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este.

Punto de control	Balance Masa Sólidos (%)		Balance Iónico (%)	
	julio	octubre	julio	octubre
CA-2015	-6,2	-5	0,69	3,38

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.

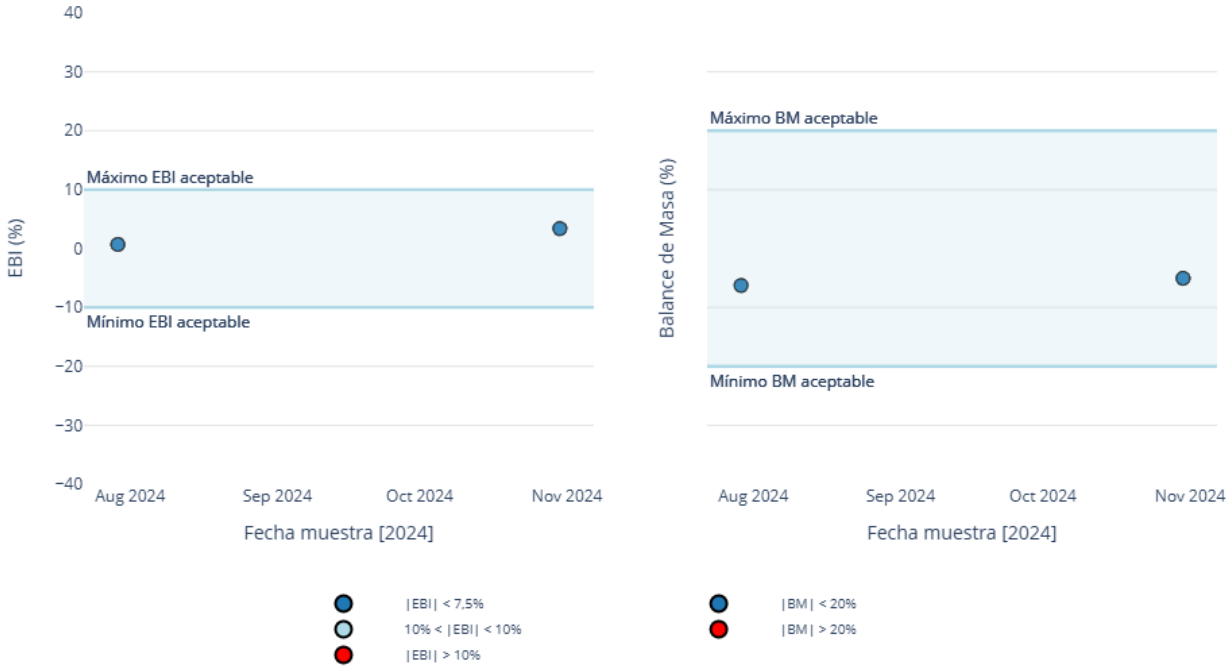
La Tabla 5-29 muestra el número de muestras no validadas en base a su concentración histórica para cada analito verificado. Se observan para el tercer trimestre de 2024 un total de 4 resultados no validados, mientras que en el cuarto trimestre de 2024 se observaron 6 resultados no validados. Estas desviaciones representan un 7,14% del total de 56 análisis en el sistema Vegetación Borde Este durante el segundo semestre 2024. La Figura 537 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el segundo 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 4.4.

Tabla 5-29: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Vegetación Borde Este

Nombre Analito	Mes de Fecha Muestra	Nombre Muestra
Conductividad	julio de 2024	CA-2015|29-07-2024|ALS
Densidad Terreno	octubre de 2024	CA-2015|30-10-2024|SQM
pH	julio de 2024	CA-2015|29-07-2024|ALS
pH Terreno	octubre de 2024	CA-2015|30-10-2024|SQM

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: 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.

5.1.5.5 Caudal agua superficial (aforos)

En el sistema de vegetación Borde Este cuentan con cuatro puntos de aforo de caudal de agua superficial. El primer punto es Quebrada Aguas Blancas Tranque, el segundo Quebrada Aguas Blancas Oeste y el tercero y el cuarto son Quebrada Camar y Quebrada Soncor respectivamente.

En la Tabla 5-30 y Figura 538 se presentan los resultados de las mediciones manuales realizadas durante el segundo semestre del año 2024, de forma tabular y gráfica. Se observa que, en los cuatro puntos de monitoreo existe información en la totalidad semestre.

En particular, en el punto Quebrada Aguas Blancas Tranque, en el mes de julio el caudal es de 83,84 L/s, llegando a un mínimo en el mes de octubre de 33,45 L/s para terminar el semestre con 61,70 L/s.

A su vez, en el punto de monitoreo Quebrada Aguas Blancas Oeste, en el mes de julio el caudal es de 195 L/s, llegando a un máximo en el mes de octubre con un valor de 259,95 L/s y finalizando el semestre, en el mes de diciembre con un caudal de 156,55 L/s.

Tabla 5-30: Resultados de aforos manuales en los puntos Quebrada Aguas Blancas Tranque, Quebrada Aguas Blancas Oeste, Quebrada Camar y Quebrada Soncor.

Fecha	Infraestructura	Valor (L/s)	Empresa
Julio de 2024	AFORO QBA AGUAS BLANCAS TRANQUE	83,84	SQM
	AFORO QUEBRADA AGUAS BLANCAS OESTE	195,40	SQM
	AFORO QUEBRADA CAMAR	24,22	SQM
	AFORO QUEBRADA SONCOR	38,23	SQM
Agosto de 2024	AFORO QBA AGUAS BLANCAS TRANQUE	56,90	SQM
	AFORO QUEBRADA AGUAS BLANCAS OESTE	207,35	SQM
	AFORO QUEBRADA CAMAR	25,90	SQM
	AFORO QUEBRADA SONCOR	42,10	SQM
Septiembre de 2024	AFORO QBA AGUAS BLANCAS TRANQUE	68,90	SQM
	AFORO QUEBRADA AGUAS BLANCAS OESTE	222,10	SQM
	AFORO QUEBRADA CAMAR	33,00	SQM
	AFORO QUEBRADA SONCOR	46,80	SQM
Octubre de 2024	AFORO QBA AGUAS BLANCAS TRANQUE	33,45	SQM
	AFORO QUEBRADA AGUAS BLANCAS OESTE	259,95	SQM
	AFORO QUEBRADA CAMAR	22,20	SQM
	AFORO QUEBRADA SONCOR	52,80	SQM
Noviembre de 2024	AFORO QBA AGUAS BLANCAS TRANQUE	47,60	SQM
	AFORO QUEBRADA AGUAS BLANCAS OESTE	234,15	SQM
	AFORO QUEBRADA CAMAR	30,10	SQM
	AFORO QUEBRADA SONCOR	54,00	SQM
Diciembre de 2024	AFORO QBA AGUAS BLANCAS TRANQUE	61,70	SQM
	AFORO QUEBRADA AGUAS BLANCAS OESTE	156,55	SQM
	AFORO QUEBRADA CAMAR	35,70	SQM
	AFORO QUEBRADA SONCOR	29,00	SQM

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

Por otro lado, en el punto de monitoreo Aforo Quebrada Camar, en el mes de julio el caudal es de 24,22 L/s, llegando a un mínimo en el mes de octubre con un valor de 22,20 L/s y finalizando el semestre, en el mes de diciembre con un caudal de 35,70 L/s.

Finalmente, en el punto Quebrada Soncor, en el mes de julio el caudal es de 38,23 L/s, llegando a un máximo en el mes de octubre de 52,80 L/s para terminar el semestre con un caudal de 29,00 L/s.

Figura 5-: Caudales medidos en puntos de aforo Quebrada Aguas Blancas Tranque, Quebrada Aguas Blancas Oeste, Quebrada Camar y Quebrada Soncor.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6 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 (23 puntos), calidad química (6 puntos), aforos de caudal (2 puntos) y superficie lacustre (lagunas y los canales de recarga de Salada y Saladita).

Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.6.1 Nivel del agua subterránea y superficial

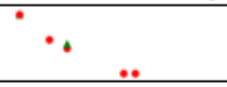
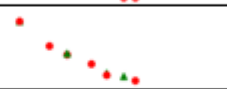
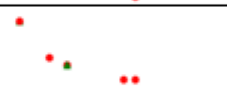
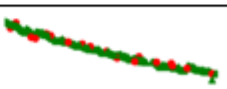
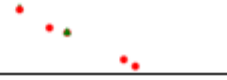
En esta sección se presentan los niveles de los puntos de control que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sistema Peine, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-9 y en el Anexo 2. Cabe señalar que el pozo L10-1 es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina, pero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

5.1.6.1.1 Pozos en Zona Marginal

La Zona Marginal del Sistema Peine cuenta con 7 puntos de control, donde sólo el pozo L10-4 resulta ser indicador de estado. Los puntos L10-2, L10-9, L10-10 y L10-15 no pudieron ser visitados después de septiembre debido a que la comunidad Peine restringió el ingreso (ver carta N°95/2024). El indicador de estado L10-4 fue monitoreado diariamente de acuerdo con lo establecido (por SEGEA) y al menos 1 mediciones mensuales complementarias (SQM).

En la Figura 539 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales manuales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L10-1	2305.20	2305.56	2305.31		↓
L10-10	2300.30	2300.32	2300.31		→
L10-15	2299.60	2299.64	2299.62		↓
L10-2	2300.62	2300.63	2300.63		→
L10-3	2299.90	2299.95	2299.92		↓
L10-4	2299.39	2299.45	2299.42		↓
L10-9	2299.80	2299.83	2299.82		→

Datos Continuos Datos Manuales (ETFA) Datos Manuales (SQM)

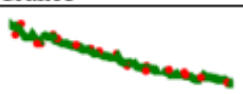
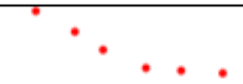
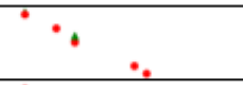
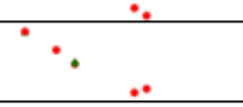
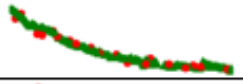
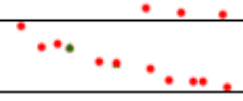
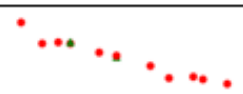
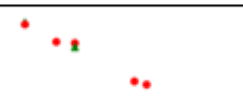
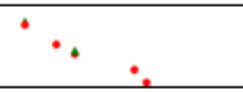
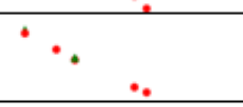
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

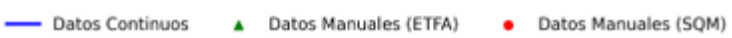
5.1.6.1.2 Pozos en Zona Núcleo

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 diariamente por SEGEA, de acuerdo con lo establecido, y con un mínimo de 3 veces al mes de manera adicional por SQM.

La Figura 540 muestra el resultado del monitoreo para el segundo semestre de 2024, que considera las mediciones manuales comprometidas y las adicionales. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM). Cabe mencionar que el pozo del PSAH 1024 se encuentra obturado naturalmente por precipitación de sales, sin posibilidad de medir nivel estático, ya que el nivel freático se encuentra por debajo del nivel de la obturación.

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
1028	2299.08	2299.13	2299.10		↓
2018	2298.93	2298.95	2298.94		↓
2037	2298.91	2298.93	2298.92		↓
GD-03	2299.37	2299.40	2299.39		↓
GD-04	2299.04	2299.07	2299.05		↓
L10-11	2298.98	2299.02	2298.99		↓
L10-12	2298.93	2298.96	2298.94		↓
L10-13	2299.12	2299.17	2299.14		↓
L10-14	2299.19	2299.24	2299.21		↓
L10-16	2299.06	2299.11	2299.08		↓
L10-17	2299.01	2299.05	2299.03		↓
L10-5	2299.13	2299.18	2299.15		↓
L10-6	2299.14	2299.17	2299.16		↓
L10-7	2299.31	2299.33	2299.32		↓
L10-8	2299.11	2299.15	2299.13		↓



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.6.1.3 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 julio y diciembre de 2024 por parte de SQM y SEGEA (la comunidad de Peine no autorizó el ingreso en los meses entre julio y noviembre).

En la Figura 541 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024.

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
REGLILLA SALADA CONAF	2301.17	2301.18	2301.17		↑
REGLILLA SALADITA CONAF	2300.94	2300.94	2300.94		↑

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.6.2 Meteorología

En la Tabla 5-31 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica LZ9-1 (Interna), los cuales son 8 y corresponden a precipitación acumulada, evaporación promedio, velocidad del viento promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, dirección del viento promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, a nivel diario, para el período comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2024. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 542 y Figura 543, y en forma tabulada en el Anexo 9.2.

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 no se han gestionado con suficiente anticipación, el permiso para entrar al sector. Cabe destacar que en verano se han implementado visitas de manera quincenal. 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 y las series obtenidas se en el Anexo 9.3.

Se observa que en el segundo semestre del 2024 la precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de un evento que ocurre durante el mes de octubre (0,7 mm). En cuanto a la velocidad y dirección del viento, se observa en promedio un aumento progresivo en el segundo semestre.

La radiación global, evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio es de 204,3 W/m^2 mientras que en diciembre de 403,7 W/m^2. La evaporación en julio en promedio es de 5,8 mm/día y en diciembre 12,88 mm/día promedio. Por otro lado, la temperatura media diaria en julio fue del orden de 6,5°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 18,4°C.

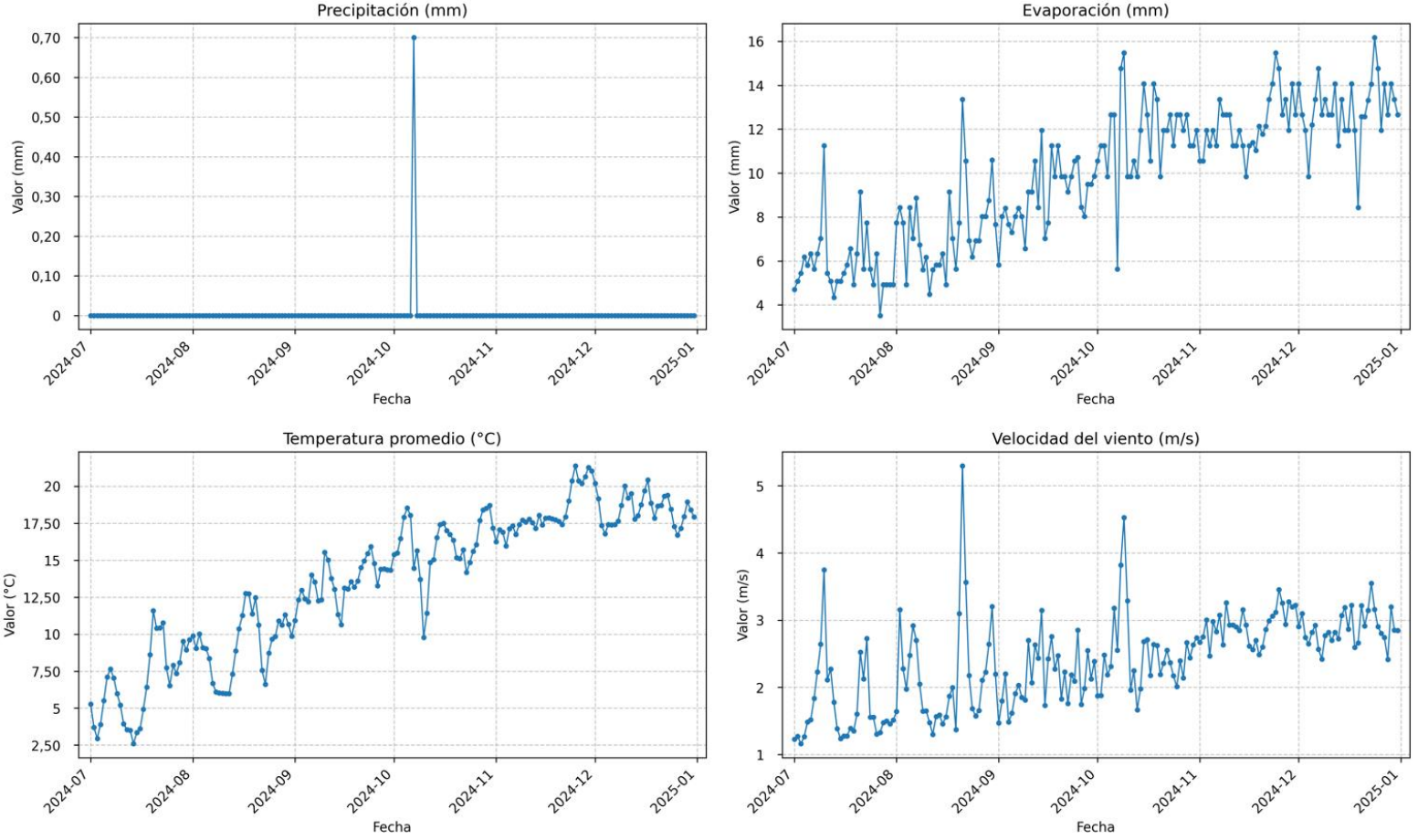
La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia a disminuir en el segundo semestre de 2024, en donde en julio es de 776,4 mbar y en diciembre es de 761,4 mbar. La humedad relativa presenta un promedio semestral de 12,7% con una máxima de 48,3% en octubre de 2024.

Tabla 5-31: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica LZA9-1 (Interna)

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	100,70	268,40	176,73	36,71
Evaporación promedio *	mm	3,52	16,17	9,82	3,07
Humedad relativa promedio	%	5,19	48,36	12,75	5,55
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,70	0,00	0,05
Presión atmosférica promedio	mbar	770,81	780,14	775,21	1,48
Radiación global promedio	W/m^2	135,70	412,36	316,28	75,15
Temperatura promedio	°C	2,59	21,38	13,62	4,83
Velocidad del viento promedio	m/s	1,16	5,30	2,39	0,68

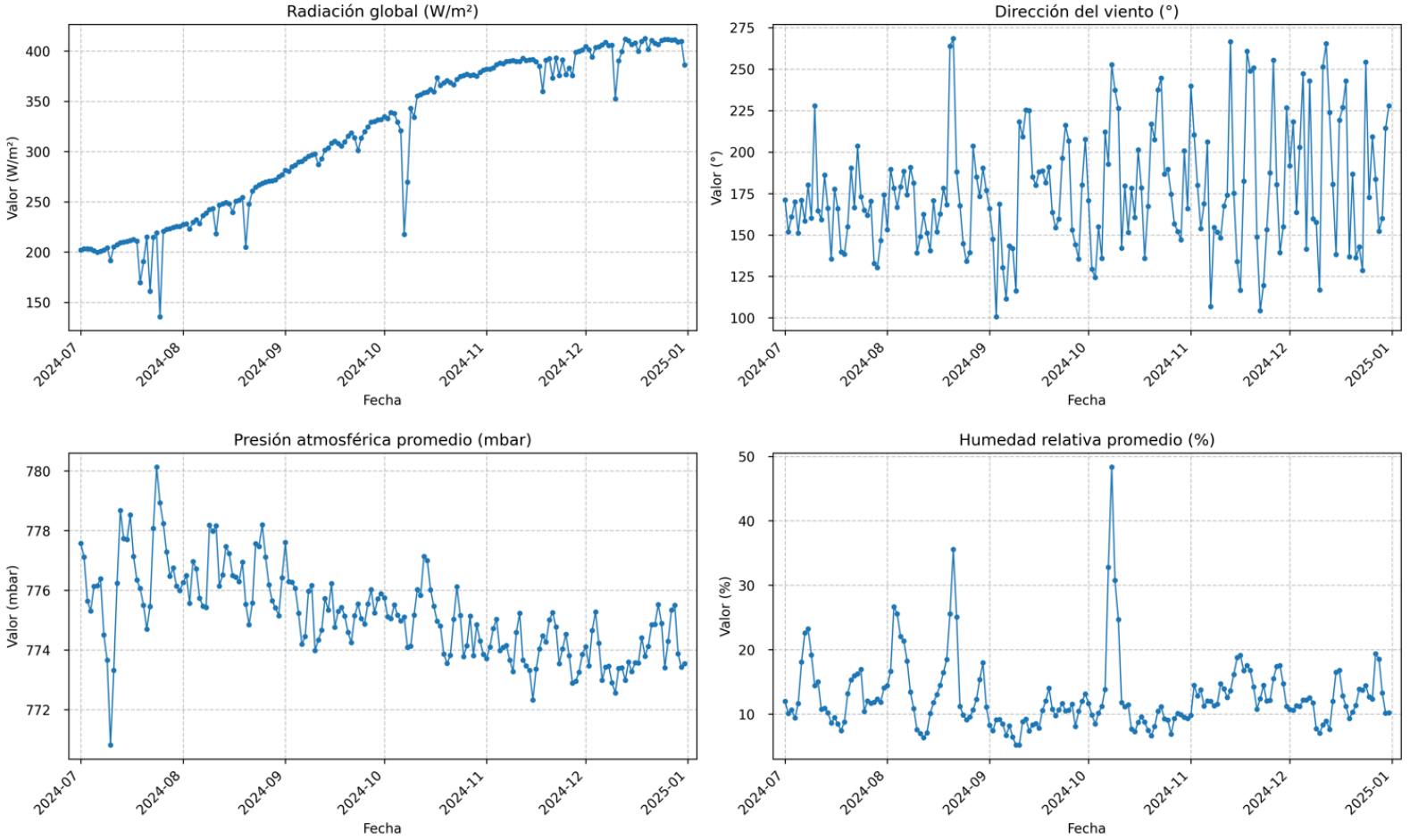
*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de LZ9-1 (Interna)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de LZ9-1 (Interna)



Fuente: Elaboración propia

5.1.6.3 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 del Sistema Peine durante el segundo 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 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 Nº226/2006 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.

5.1.6.3.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En la Tabla 5-32 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 el monitoreo mensual del pozo 1028 en ambos trimestres de acuerdo a la acción 40 del PdC como medida de control a la activación de Fase I. En los pozos L10-1 y L10-4 se realizó el monitoreo mensual en agosto, septiembre -en julio no se contó con acceso para ambos pozos- y el cuarto trimestre completo, a excepción del muestreo de septiembre comprometido en el pozo L10-1 debido a que no se contaba con permiso para acceder por parte de las comunidades (sección 5.1).

Tabla 5-32: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine

Parámetro	1028						L10-1		
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	julio	agosto	septiembre
Conductividad(uS/cm)	253.000	250.000	247.000	252.000	247.000	266.000	-	9.510	-
Conductividad Terreno(uS/cm)	239.000	239.000	246.000	241.000	237.000	242.000	-	9.030	-
Densidad(g/ml)	1,205	1,208	1,209	1,206	1,209	1,204	-	1,000	-
Densidad Terreno(g/ml)	1,212	1,210	1,210	1,214	1,208	1,210	-	1,004	-
pH ()	7,10	7,50	7,70	7,60	6,50	7,40	-	8,80	-
pH Terreno ()	7,125	7,101	7,104	7,128	7,113	7,081	-	7,574	-
Solidos Disueltos Totales(mg/L)	323.637	326.892	217.360	323.480	314.170	318.770	-	7.300	-
Solidos Suspendidos Totales(mg/L)	158	75	<3	4	143	41	-	<3	-
Solidos Totales(mg/L)	331.132	331.620	239.700	335.450	340.120	320.665	-	8.040	-
Temperatura Terreno(°C)	19,3	19,1	22,4	22,1	24,2	25,4	-	17,6	-

Parámetro	L10-1			L10-4					
	octubre	noviembre	diciembre	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Conductividad(uS/cm)	9.560	8.790	9.330	-	177.500	175.100	176.200	172.800	171.100
Conductividad Terreno(uS/cm)	9.330	8.540	9.520	-	171.600	176.500	174.700	169.000	173.600
Densidad(g/ml)	1,000	1,001	1,003	-	1,106	1,101	1,100	1,095	1,104
Densidad Terreno(g/ml)	1,010	1,004	1,010	-	1,109	1,107	1,105	1,103	1,105
pH ()	8,60	7,20	8,20	-	8,20	8,00	8,00	6,70	7,60
pH Terreno ()	7,850	6,592	7,218	-	7,218	7,497	7,548	7,502	7,473
Solidos Disueltos Totales(mg/L)	8.170	7.720	6.450	-	162.264	149.424	155.940	147.530	167.980
Solidos Suspendidos Totales(mg/L)	178	<3	<3	-	145	<3	93	59	53
Solidos Totales(mg/L)	9.200	8.290	7.800	-	163.144	163.384	171.800	163.960	168.910
Temperatura Terreno(°C)	19,7	21,3	22,4	-	16,2	15,5	16,2	18,3	17,8

Fuente: Elaboración propia. (-): no se presenta dato ya que no es un compromiso RCA Nº226/2006.

5.1.6.3.2 Muestreo realizado

En el segundo semestre de 2024 no pudieron realizarse ninguno de los dos muestreos trimestrales comprometidos por RCA Nº226/2006, tanto en Salada como en Saladita; debido a que no se contaba con permiso para acceder por parte de las comunidades (sección 5.1). Solo pudo realizarse el muestreo del tercer trimestre en Interna en julio.

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 dicho muestreo durante julio en Interna. En la Tabla 5-33 se muestran los resultados en los meses que se logró realizar el muestreo y en el Anexo 6.1 se encuentran los certificados de laboratorio.

Tabla 5-33: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine.

Parámetro	INTERNA						SALADA					
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Alcalinidad Bicarbonato(mgCaCO3/L)	186.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad Carbonato(mgCaCO3/L)	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad Total (CaCO3/L)	186.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsénico(mg/L)	0,624	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio(mg/L)	543,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro(mg/L)	12.342,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad(uS/cm)	38.700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad Terreno(uS/cm)	38.100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Densidad Terreno(g/ml)	1,020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza Total(mg/L)	5.207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo(mg/L)	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Fosfato(mg/L)	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnesio(mg/L)	565,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH ()	8,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH Terreno ()	8,134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potasio(mg/L)	879,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salinidad (%)	22,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sílice (mg/L)	51,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodio(mg/L)	5.732	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodio Disuelto(mg/L)	5.537	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales(mg/L)	24.660	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales/mg/L)	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totales(mg/L)	29.833	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfato(mg/L)	2.208	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura Terreno(°C)	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Parámetro	SALADITA					
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Alcalinidad Bicarbonato(mgCaCO3/L)	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad Carbonato(mgCaCO3/L)	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad Total (CaCO3/L)	-	-	-	-	-	-
Arsénico(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Calcio(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Cloruro(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Conductividad(uS/cm)	-	-	-	-	-	-
Conductividad Terreno(uS/cm)	-	-	-	-	-	-
Densidad Terreno(g/ml)	-	-	-	-	-	-
Dureza Total(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Fósforo(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Fósforo Fosfato(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Magnesio(mg/L)	-	-	-	-	-	-
pH ()	-	-	-	-	-	-
pH Terreno ()	-	-	-	-	-	-
Potasio(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Salinidad (%)	-	-	-	-	-	-
Sílice (mg/L)	-	-	-	-	-	-
Sodio(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Sodio Disuelto(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales/mg/L)	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totales(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Sulfato(mg/L)	-	-	-	-	-	-
Temperatura Terreno(°C)	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.3.3 Validación resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2024 en el sistema Peine. La Tabla 5-34 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, el único balance iónico que pudo realizarse de acuerdo a la disponibilidad de información (Interna) se encontró dentro del rango máximo de 10% de desviación.

Tabla 5-34: Resultados de la validación en el sistema Peine

Punto de control	Balance Masa Sólidos (%)					
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1028	-2,2	-1,40	-9,30	-3,50	-7,50	-0,50
L10-1	-	-9,10	-	-9,20	-6,80	-17,20
L10-4	-	-0,40	-8,50	-9,10	-9,90	-0,50
REGLILLA INTERNA CONAF	-17,20	-	-	-	-	-
REGLILLA SALADA CONAF	-	-	-	-	-	-
REGLILLA SALADITA CONAF	-	-	-	-	-	-

Punto de control	Balance Iónico (%)					
	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1028	NA*	NA*	NA*	NA*	NA*	NA*
L10-1	-	NA*		NA*	NA*	NA*
L10-4	-	NA*	NA*	NA*	NA*	NA*
REGLILLA INTERNA CONAF	7,03	-	-	-	-	-
REGLILLA SALADA CONAF	-	-	-	-	-	-
REGLILLA SALADITA CONAF	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. N/A: No Aplica; el número de analitos de los parámetros comprometidos por RCA Nº226/2006 (y analizados) no permiten realizar este cálculo.

La Tabla 5-35 muestra los resultados de la validación por concentraciones históricas en relación con cada analito y punto. Se observan en el segundo semestre de 2024 un total de 13 resultados no validados, de los cuales 11 corresponden a pH de laboratorio. Las muestras no validadas representan una desviación de 5,78% del total de 225 análisis durante el segundo semestre de 2024 en el sistema de Peine.

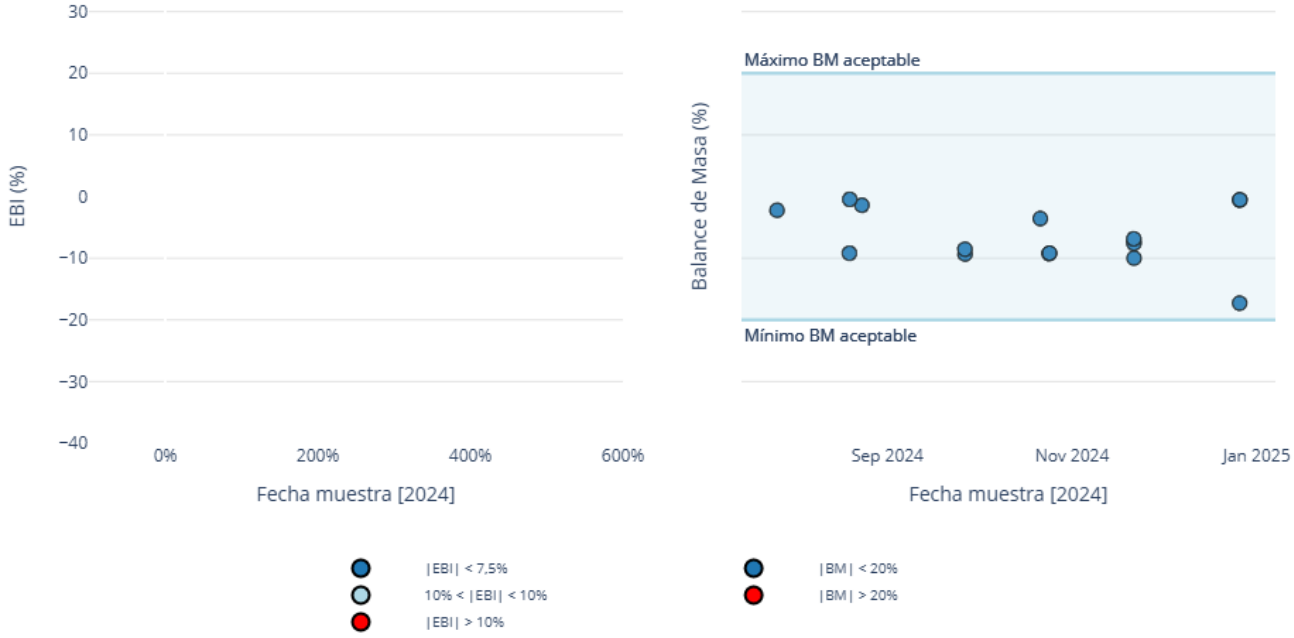
Tabla 5-35: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine

Nombre Analito	Mes de Fecha Muestra	Nombre Muestra
Conductividad Terreno	octubre de 2024	L10-1|24-10-2024|SQM
pH	agosto de 2024	L10-1|19-08-2024|ALS
		L10-4|19-08-2024|ALS
	septiembre de 2024	1028|26-09-2024|ALS
		L10-4|26-09-2024|ALS
	octubre de 2024	1028|21-10-2024|ALS
		L10-1|24-10-2024|ALS
		L10-4|24-10-2024|ALS
	noviembre de 2024	1028|21-11-2024|ALS
		L10-1|21-11-2024|ALS
		L10-4|21-11-2024|ALS
	diciembre de 2024	L10-1|26-12-2024|ALS
Sólidos Suspendidos Totales	octubre de 2024	L10-1|24-10-2024|ALS

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 544 muestra el error de balance iónico y consistencia de balance de masa para las muestras tomadas en el segundo 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| ≤ 10%) y balance de masa (|BM| ≤ 20%) definidos en la sección 4.4.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.4 Caudal agua superficial (aforos)

En el Sistema Peine se cuenta con 2 puntos de aforo de caudal superficial, y que corresponden a las estaciones denominadas Salada y Saladita. No hay mediciones por restricción de Acceso, para más información referirse a la sección 5.1.1.

5.1.6.5 Superficie lacustre

Para el segundo 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 2022) 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 julio y octubre, y estacas perimetrales en las Lagunas Salada y Saladita. Dichos resultados se presentan en la Tabla 5-36.

Las Figura 545, Figura 546 y Figura 547 presentan los mapas de los cuerpos principales de las lagunas del sistema Peine para el segundo semestre de 2024. El detalle de la estimación de la superficie lacustre del

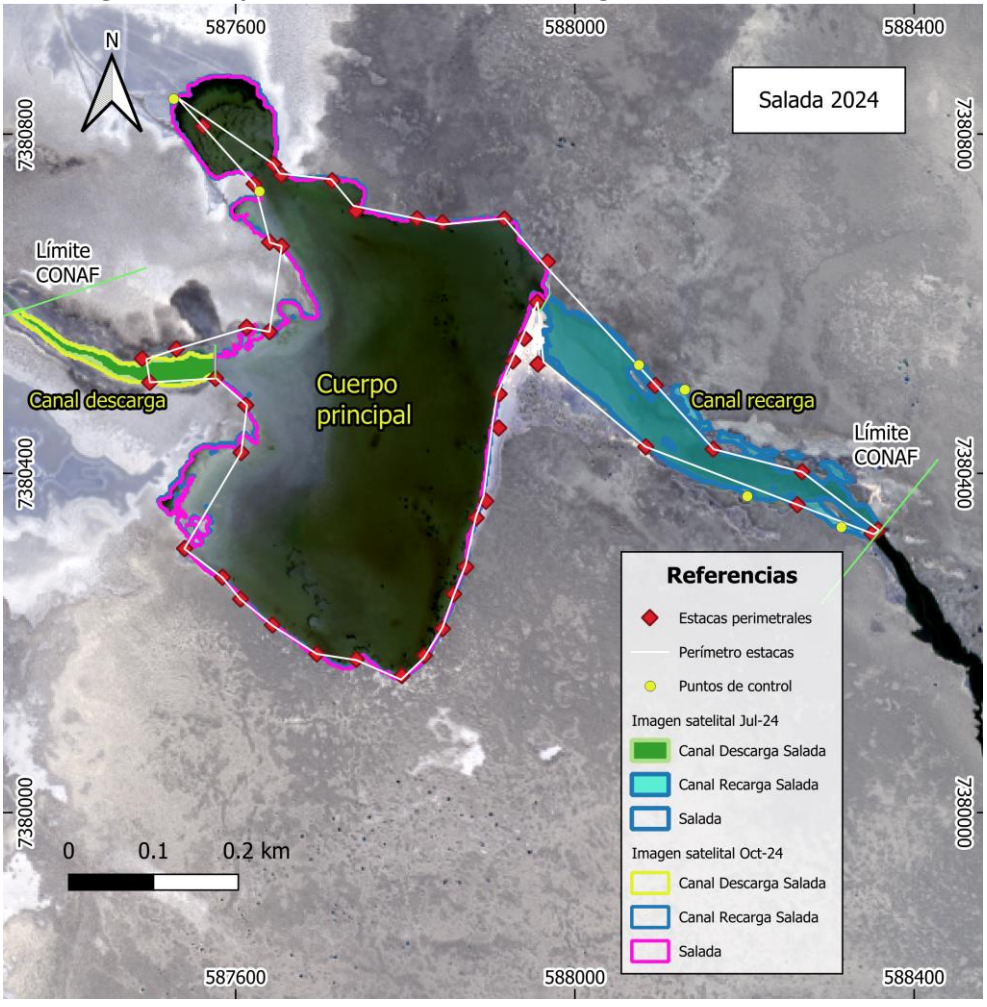
Sistema Peine mediante imágenes satelitales se presenta en el Anexo 10.1. En el Anexo 10.3 se presentan los mapas finales de extensión lagunar.

Tabla 5-36: Superficies Lacustres segundo semestre 2024 en Sistema Peine

Periodo	Responsable	Tipo de medición realizada	Superficie (m^2)		
			Interna	Salada	Saladita
Jul 2024	SRGIS	Imagen Satelital	108.596	173.536	86.003
Oct 2024	SRGIS	Imagen Satelital	117.104	171.783	85.992
Jul 2024	ATyGEO	Estacas perimetrales	N/A	187.059,7	95.118,2

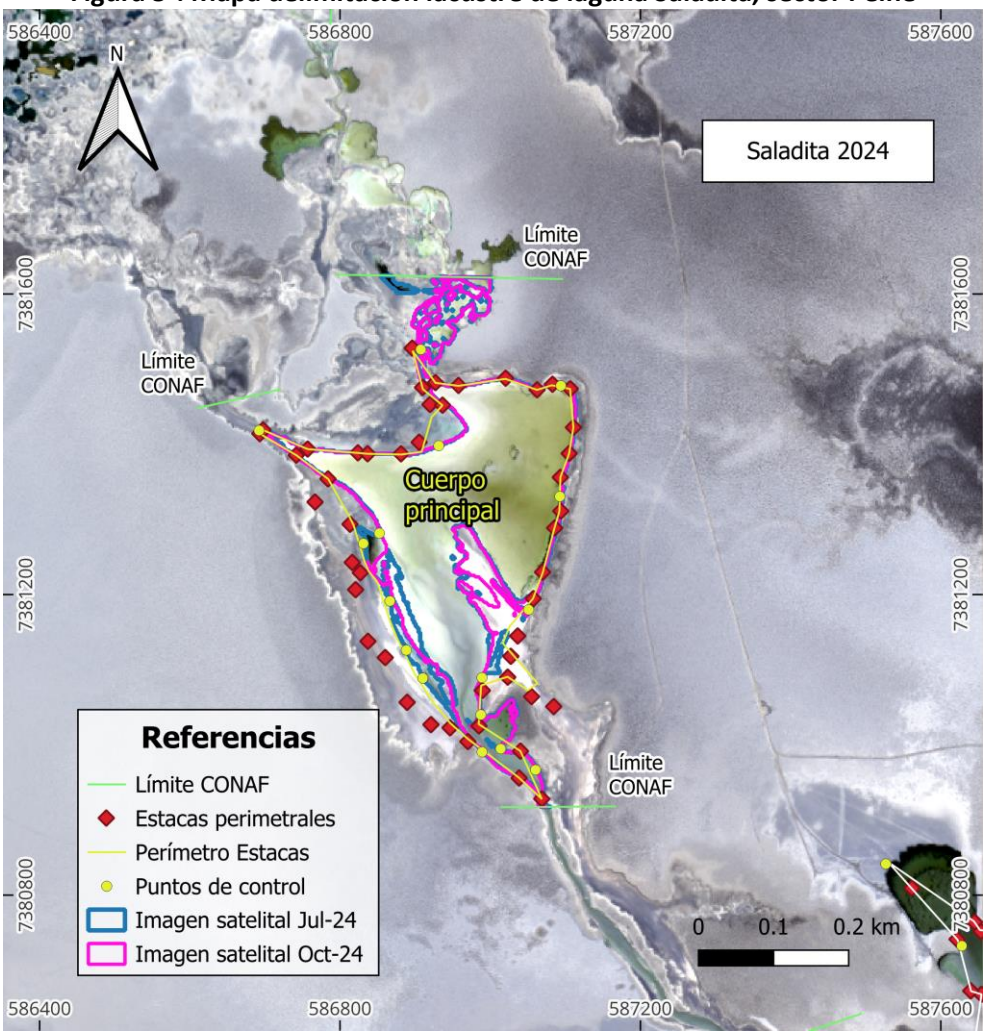
Datos de Salada corresponden a la superficie total (canal de recarga, cuerpo principal y canal de descarga); N/A: No Aplica
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Mapa delimitación lacustre de laguna Salada, sector Peine



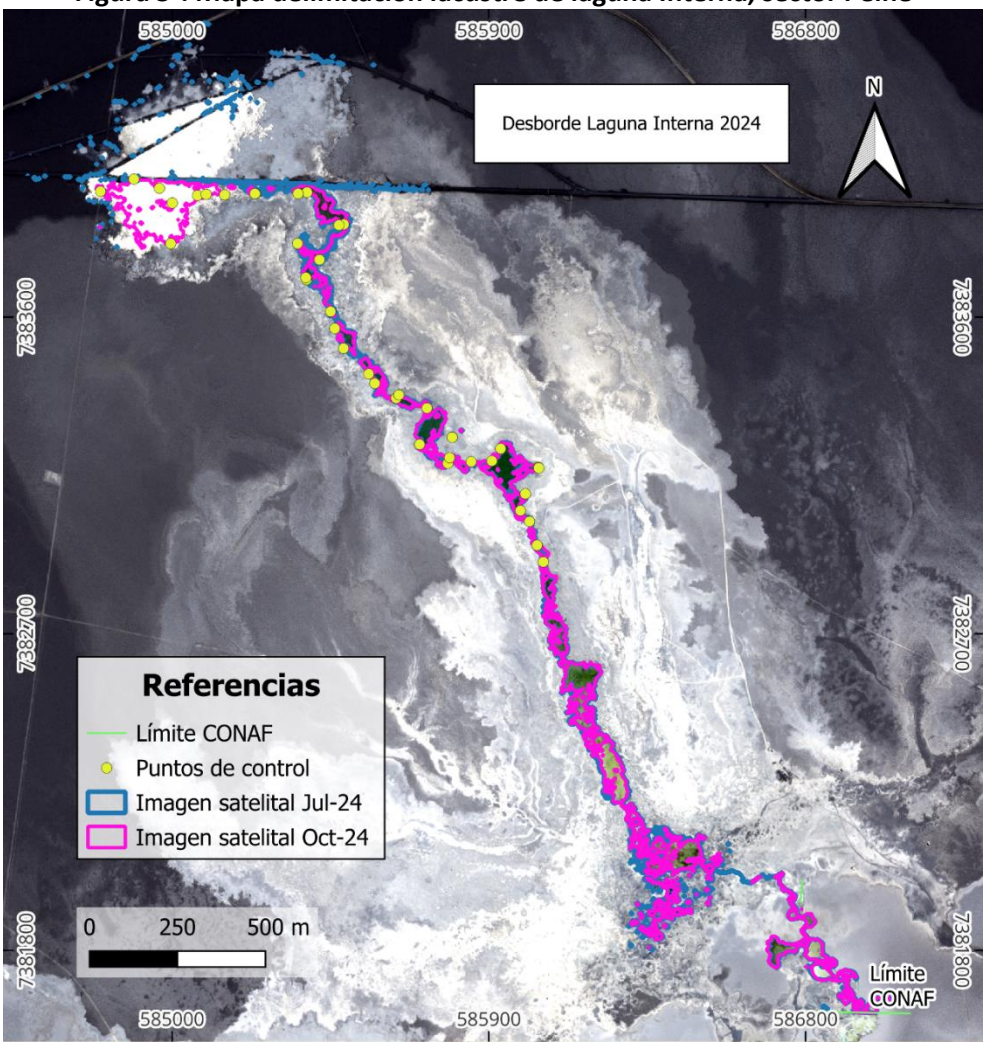
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Mapa delimitación lacustre de laguna Saladita, sector Peine



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Mapa delimitación lacustre de laguna Interna, sector Peine



Fuente: Elaboración propia.

5.1.7 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.

En esta actualización se han incluido voluntariamente 1 estación meteorológica propiedad de SQM para complementar el entendimiento del desempeño de las variables en el Sector Vegas de Tilopozo.

Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.7.1 Nivel del agua subterránea y superficial

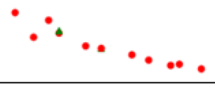
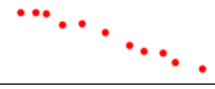
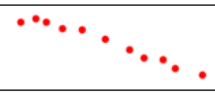
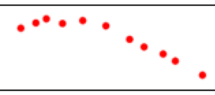
En esta sección se presentan los niveles de todos los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el Sector Vegas de Tilopozo, de acuerdo con la distribución de la Figura 410 y en el Anexo 2.

5.1.7.1.1 Pozos 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 segundo semestre de 2024 se ha realizado al menos 1 visita mensual a cada punto de monitoreo por parte de SQM.

En la Figura 548 se muestra gráficamente el resultado completo del monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas (SEGEA y SQM).

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
L12-1	2299.50	2299.55	2299.52		↓
L12-2	2302.49	2302.58	2302.54		→
L12-3	2301.65	2301.74	2301.70		→
L12-4	2303.77	2303.89	2303.85		→

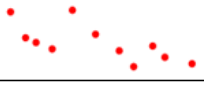
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.1.2 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 1 mediciones mensuales por parte de SQM.

En la Figura 549 se presentan gráficamente las medidas tomadas en dicho punto durante el segundo semestre 2024. En el Anexo 5 se presenta el registro detallado de niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA y SQM).

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

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
REGLILLA TILOPOZO	2309.30	2309.33	2309.31		→

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.2 Meteorología

En la Tabla 5-37 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica LZA10-1, los cuales son 3 y corresponden a precipitación acumulada, temperatura promedio y humedad relativa promedio, a nivel diario, para el período comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2024. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 550, y en forma tabulada en el Anexo 9.2.

Con respecto a la disponibilidad de información para la estación LZA10-1, se cuenta con más del 95% de la información para todas las variables. Para más información de este tema referirse al anexo 9.

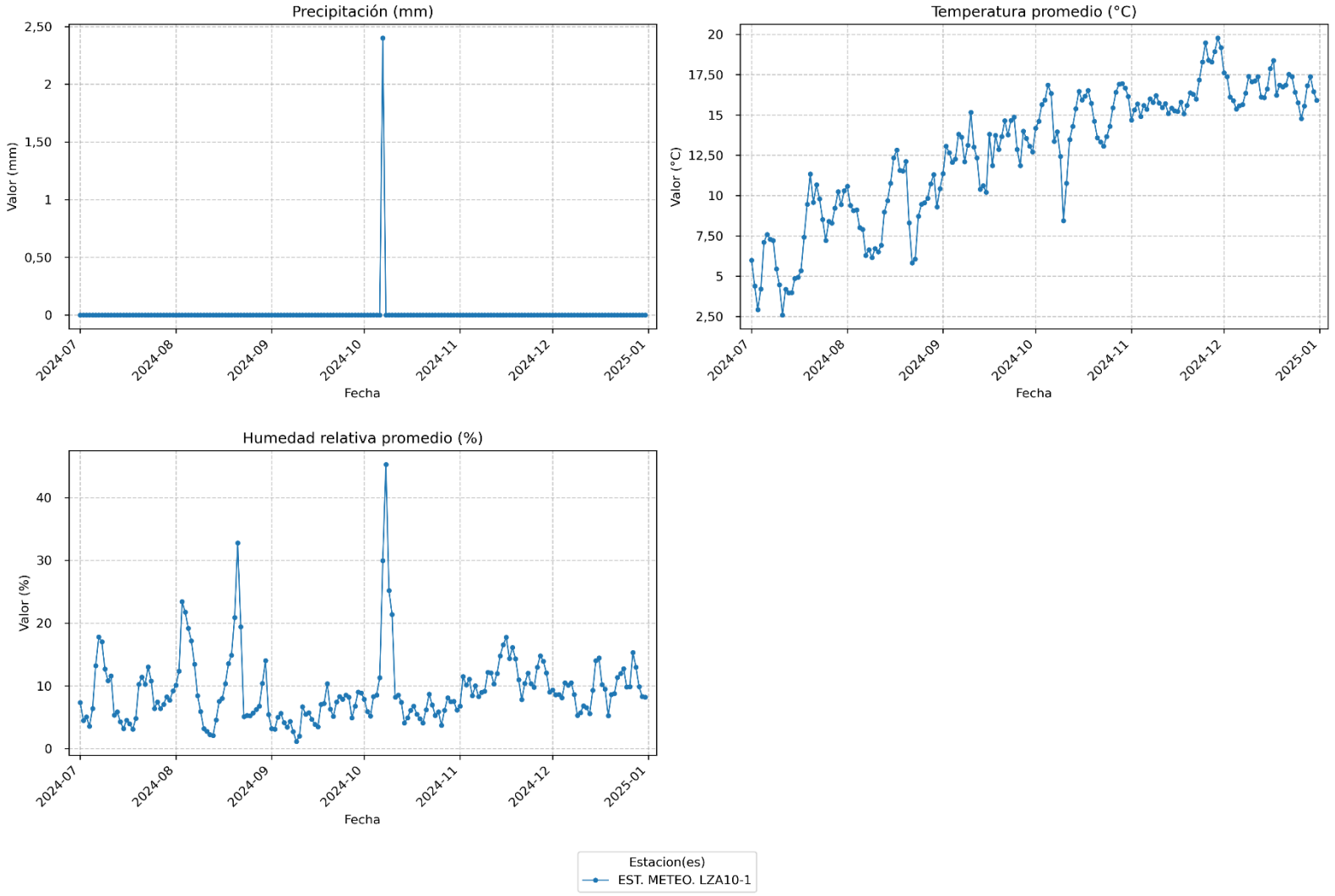
Se observa que en el segundo semestre del 2024 la precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de un evento que ocurre durante el mes de octubre (2,4 mm). En cuanto a la temperatura, se observa en promedio un aumento progresivo en el segundo semestre. La temperatura media diaria en julio fue del orden de 6,9°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 16,5°C. Para la humedad relativa, esta presenta un valor promedio semestral de 9,2%, con una máxima de 45,2% en octubre de 2024.

Tabla 5-37: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica LZA10-1

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio	%	1,16	45,28	9,28	5,60
Precipitación acumulada	mm	0,00	2,40	0,01	0,18
Temperatura promedio	°C	2,60	19,77	12,78	4,04

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de precipitación, temperatura y humedad relativa Estación Meteorológica de LZA10-1



Fuente: Elaboración propia

5.1.8 SECTOR 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 (20 puntos), meteorología (2 estaciones) y calidad química (2 puntos). El pozo SOPM-8 (identificado en la RCA Nº226/2006 como L3-4) pertenece tanto a la red de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana como al del Sistema Núcleo del Salar de Atacama (identificado en la RCA Nº226/2006 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.

Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.8.1 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 segundo 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.

5.1.8.1.1 Área alejada de la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 9 pozos. En la Figura 551 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por cada empresa (SEGEA 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, dado que se encuentra obturado naturalmente por precipitación de sales, sin posibilidad de medir nivel estático.

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
2028	2298.64	2298.67	2298.65		↓
SOPE-6	2298.75	2298.79	2298.77		↓
SOPM-10	2298.69	2298.72	2298.70		↓
SOPM-11	2298.72	2298.75	2298.74		↓
SOPM-12C	2298.87	2298.90	2298.88		↓
SOPM-2	2298.72	2298.74	2298.72		↓
SOPM-4	2298.44	2298.47	2298.46		↓
SOPM-5	2298.50	2298.53	2298.52		↓

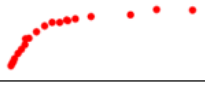
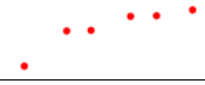
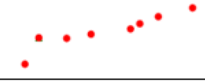
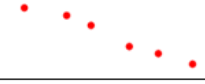
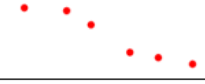
Datos Continuos ▲ Datos Manuales (ETFA) ● Datos Manuales (SQM)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.8.1.2 Área próxima a la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 8 pozos. En la Figura 552 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5.2 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-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
2040	2299.03	2299.09	2299.05		↓
E-101	2298.69	2298.92	2298.77		→
E-324	2296.66	2297.87	2297.34		↑
M1-C	2299.00	2299.04	2299.02		→
M2-C	2287.60	2289.14	2288.64		↓
M7	2297.01	2297.71	2297.41		↑
SAMPLE-4	2293.32	2293.40	2293.36		↓
ZAR-C-S	2295.33	2295.38	2295.35		→

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.8.1.3 Área al norte de la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 3 pozos, situados al norte de la zona productiva. En la Figura 553 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5 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-: Nivel observado (m s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
C4-B	2300.89	2300.96	2300.94		↓
EIA-5	2298.67	2298.73	2298.71		↓
1906	2298.68	2298.75	2298.72		↓

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.8.2 Meteorología

En la Tabla 5-38 y Tabla 5-39 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica SOP y KCL, que son 8 para variables y correspondiente a precipitación acumulada, evaporación promedio, velocidad del viento promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, dirección del viento promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, a nivel diario, para el período comprendido entre julio y diciembre de 2024. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 554 y Figura 555, y en forma tabulada en el Anexo 9.2. La precipitación se presenta como acumulado diario.

La precipitación es nula tanto para la estación meteorológica SOP y KCL, con excepción de un evento de precipitación que ocurre en el mes de octubre (3,2 mm en SOP y 4,0 mm en KCL de agua caída).

Para la estación KCL se observaron disminuciones bruscas en las mediciones de radiación global de manera reiterativa consistente con sombras sobre el piranómetro, resultado en un registro validado menor al 95%. 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.

Con respecto a la estación meteorológica SOP, se observa que, en el segundo semestre del 2024, la magnitud de velocidad de viento presenta aumento progresivo a lo largo del semestre. La magnitud de viento promedio del mes de julio es de 1,3 m/s y del mes de diciembre es de 2,8 m/s. El máximo promedio diario de la magnitud del viento registrado en este periodo es de 4,8 m/s el día 21 de agosto de 2024.

La radiación global, evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio diario es de 213,3 W/m^2 y en diciembre de 421,0 W/m^2. La evaporación en el mes de julio es del orden de 5,0 mm/día y en diciembre del orden de 12,8 mm/día. La temperatura media diaria en julio fue del orden de 10,0 °C mientras que en diciembre fue del orden de 20,0 °C.

La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia leve a disminuir, en donde el julio es de 776,5 mbar y en fue del orden de 774,2 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 13,8%, con una máxima de 46,7% en octubre de 2024.

En relación con la estación meteorológica KCL y la variable de velocidad del viento, se observa que, existió un aumento progresivo a lo largo del semestre. La magnitud de viento promedio del mes de julio es de 1,6 m/s y del mes de diciembre es de 2,9 m/s. El máximo promedio diario de la magnitud del viento registrado en este periodo es de 5,5 m/s el día 21 de agosto del 2024.

La radiación global, evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio diario es de 190,3 W/m^2 y en diciembre de 396,2 W/m^2. La evaporación en el mes de julio es del orden de 5,3 mm/día y en diciembre del orden de 12,6 mm/día en ambas estaciones (KCL y SOP). La temperatura media diaria en julio fue del orden de 10,0 °C mientras que en diciembre fue del orden de 19,1 °C, en ambas estaciones.

La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia leve a disminuir, en donde el julio es de 775,4 mbar y en fue del orden de 773,2 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 13,5%, con una máxima de 42,6% en octubre de 2024.

Tabla 5-38: Estadígrafos de series diarias la estación meteorológica de SOP

Parámetros	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	72,60	255,80	188,67	31,92
Evaporación	mm	2,81	14,76	9,24	3,13
Humedad relativa promedio	%	7,38	46,76	13,88	5,35
Precipitación acumulada	mm	0,00	3,20	0,02	0,24
Presión atmosférica promedio	mbar	770,93	780,25	775,42	1,43
Radiación global promedio	W/m^2	145,24	429,13	328,41	78,71
Temperatura promedio	°C	6,05	22,84	16,21	4,20
Velocidad del viento promedio	m/s	0,59	4,83	2,26	0,82

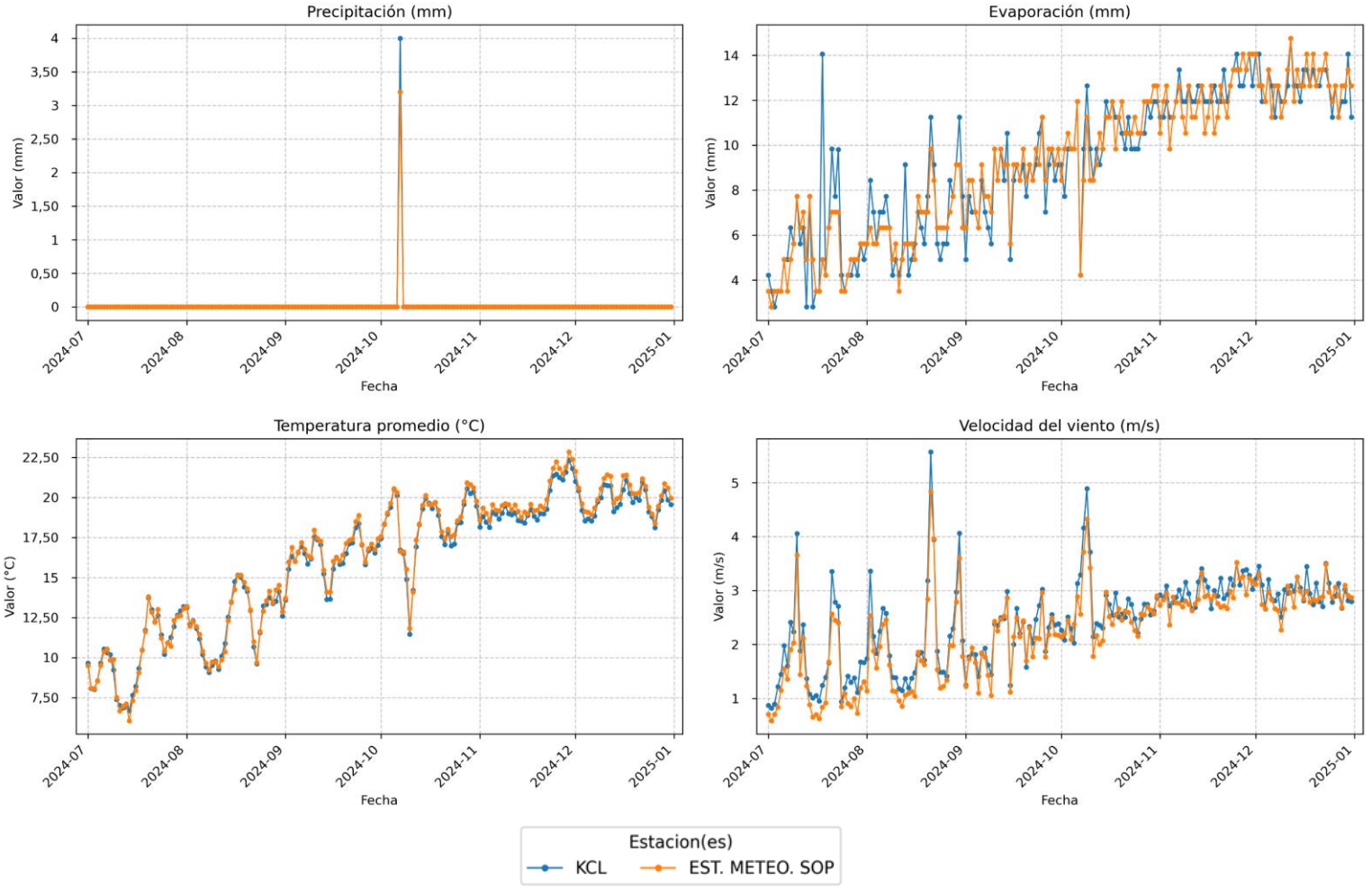
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-39: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de KCL

Parámetros	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	132,70	298,70	224,51	31,01
Evaporación promedio	mm	2,81	14,76	9,28	3,18
Humedad relativa promedio	%	6,32	42,60	13,51	4,94
Precipitación acumulada	mm	0,00	4,00	0,02	0,29
Presión atmosférica promedio	mbar	769,94	779,27	774,37	1,46
Radiación global promedio *	W/m^2	115,20	404,98	302,12	78,03
Temperatura promedio*	°C	6,69	22,33	15,98	4,03
Velocidad del viento promedio	m/s	0,82	5,57	2,44	0,80

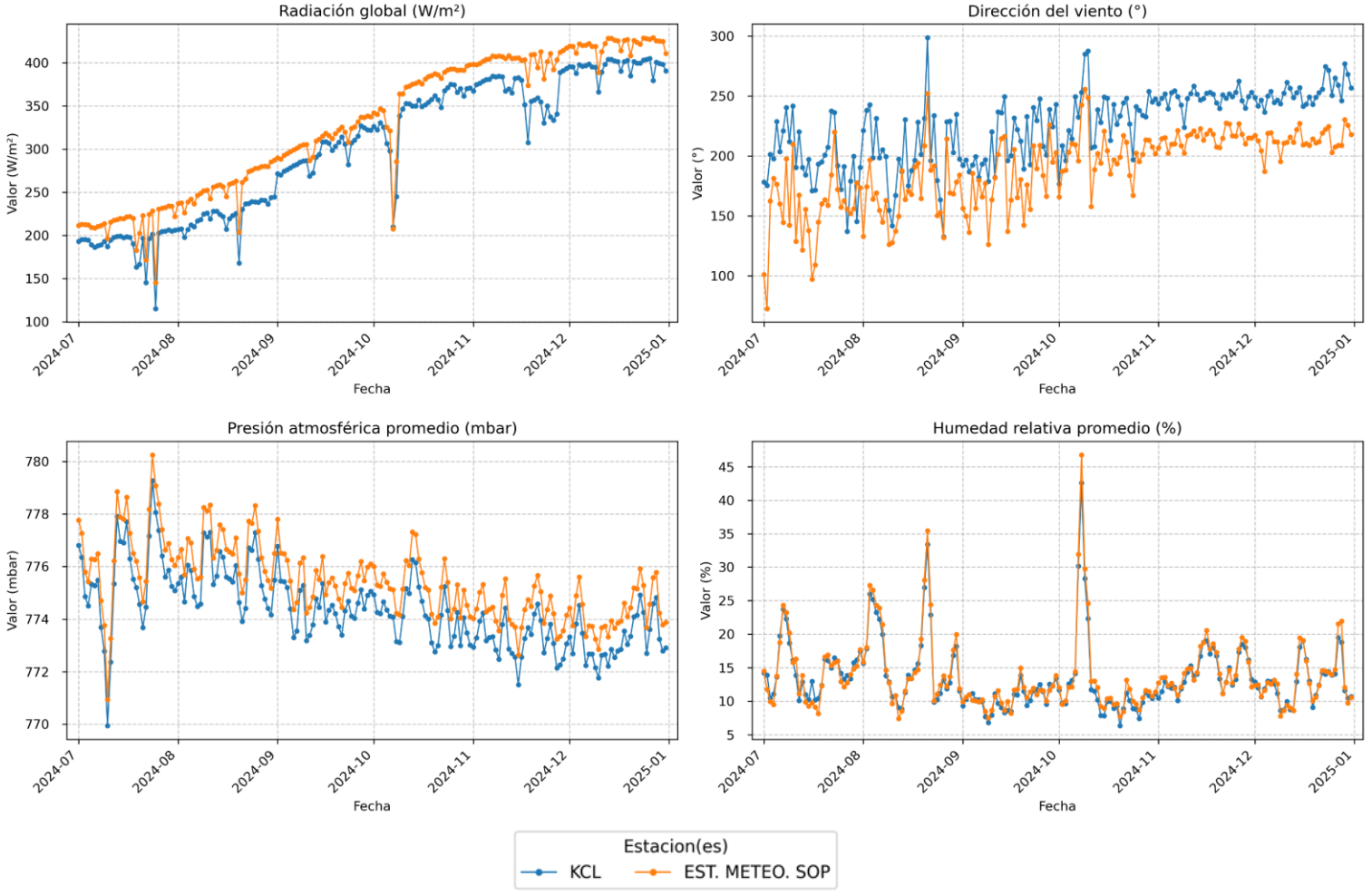
*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de SOP y KCL



Fuente: Elaboración propia.

5.1.8.3 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 segundo semestre del año 2024.

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, el anexo 4.5 presenta los certificados de autorización de los laboratorios empleados para este periodo como Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFAs).

A continuación, en la Tabla 5-40, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de muestras de salmuera tomadas en terreno por SEGEA (040-01) y analizadas por ALS Life Sciences Chile (029-01), para los pozos de monitoreo en el periodo a reportar. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos (julio y octubre) para el pozo SOPM-12C, además de un tercer monitoreo ejecutado en noviembre; mientras que el pozo 1001 no presentó muestra en ninguno de los trimestres por encontrarse el nivel por debajo del punto de obturación, no permitiendo así obtener la muestra.

Tabla 5-40: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama

Parámetro	1001		SOPM-12C		
	julio	octubre	julio	octubre	noviembre
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	s/m	s/m	567,6	520,8	-
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	s/m	s/m	567,6	520,8	-
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	s/m	s/m	<1,0	<1,0	-
Calcio (mg/L)	s/m	s/m	330,7	351,3	-
Cloruro (mg/L)	s/m	s/m	181.050,2	197.386,6	-
Conductividad (µS/cm)	s/m	s/m	-	-	-
Conductividad Terreno (µS/cm)	s/m	s/m	229.000	232.000	236.000
Densidad (g/mL)	s/m	s/m	1,223	1,224	1,222
Densidad Terreno (g/mL)	s/m	s/m	1,230	1,227	1,227
Magnesio (mg/L)	s/m	s/m	11.734	11.352	-
Magnesio Disuelto (mg/L)	s/m	s/m	10.304	11.138	-
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	s/m	s/m	< 0,01	< 0,01	-
pH Terreno ()	s/m	s/m	6,705	6,725	6,848
Potasio (mg/L)	s/m	s/m	23.239	23.068	-
Potasio Disuelto (mg/L)	s/m	s/m	20.470	22.541	-
Sodio (mg/L)	s/m	s/m	88.446	86.253	-
Sodio Disuelto (mg/L)	s/m	s/m	74.505	84.087	-
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	s/m	s/m	348.656	354.448	167.170
Sulfato (mg/L)	s/m	s/m	20.107	20.189	-
Temperatura Terreno (°C)	s/m	s/m	19,7	23,2	23,2

Fuente: Elaboración propia. (-): no se presenta dato ya que no es un compromiso RCA./s/m): sin muestra.

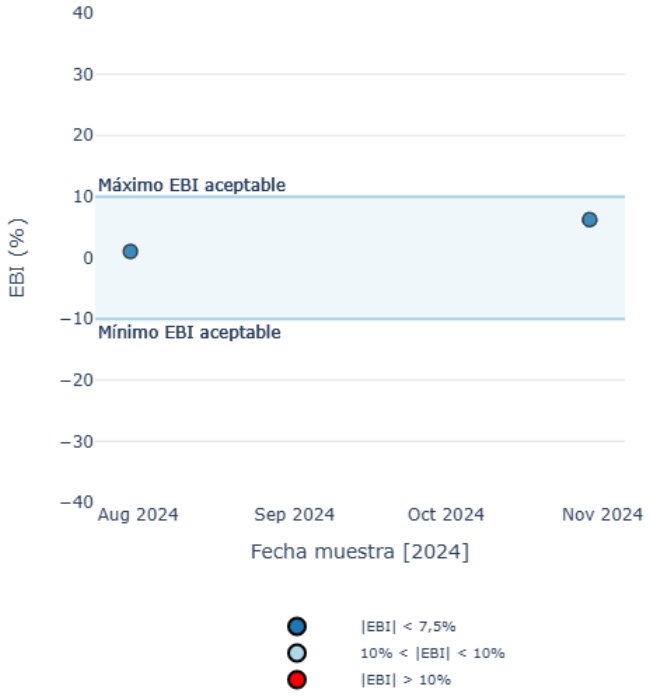
5.1.8.3.1 Validación resultados

El sistema del núcleo no contaba 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 Densidad y Sólidos Disueltos Totales. Para el segundo semestre de 2024 se incorporó la medición de cationes y aniones, por lo que se pudo calcular el balance iónico, encontrándose ambas muestras dentro del rango máximo de 10% de desviación.

Los parámetros analizados se validan mediante la comparación de la concentración actual con el análisis de sus concentraciones históricas. 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 (Figura 556).

Figura 5-: Error de balance iónico para los análisis químicos para muestras de sistema Núcleo



Fuente: Elaboración propia.

5.1.9 SECTOR CUÑA SALINA

De acuerdo con lo señalado en la sección 4, el PSAH de la Cuña Salina contempla 9 pozos, agrupados en 3 perfiles, con el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (1 punto), conductividad eléctrica (8 puntos) y calidad (1 punto), cuya distribución se presenta en la Figura 412. 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 un monitoreo mensual adicional. De esta forma, la Cuña Salina dispone de 9 puntos de control de nivel de agua subterránea. Se destaca que, dos de estos puntos, también forman parte de los sistemas Aguas de Quelana (L4-3) y Peine (L10-1), por lo que ya han sido presentados en los apartados anteriores.

Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.9.1 Nivel del agua subterránea

En esta sección se presentan los niveles de 7 de los 9 puntos de monitoreo para el Sector Cuña Salina. En la Figura 557 se muestra gráficamente el resultado completo del monitoreo, que considera las mediciones comprometidas y adicionales para el período del segundo semestre de 2024. El Anexo 5 contiene el registro detallado de los niveles y el número de mediciones realizadas por ambas empresas (SEGEA y SQM). En el segundo semestre de 2024 se realizó al menos 1 medición en todos los pozos salvo en Cuña 7, el cual no fue monitoreado desde septiembre a diciembre por la restricción de acceso a la zona por parte de la comunidad de Peine por época de reproducción de flamencos (carta Nº95/2024).

Figura 5-: Nivel mínimo, máximo y medio (m s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina

POZO	MIN	MAX	Media	Grafico	Tendencia
CUÑA 1	2299.75	2299.78	2299.76		↓
CUÑA 2	2300.28	2300.31	2300.30		↓
CUÑA 3	2318.83	2318.86	2318.85		→
CUÑA 4	2306.17	2306.18	2306.17		→
CUÑA 5	2301.16	2301.17	2301.17		→
CUÑA 6	2305.10	2305.20	2305.17		→
CUÑA 7	2300.05	2300.06	2300.05		→



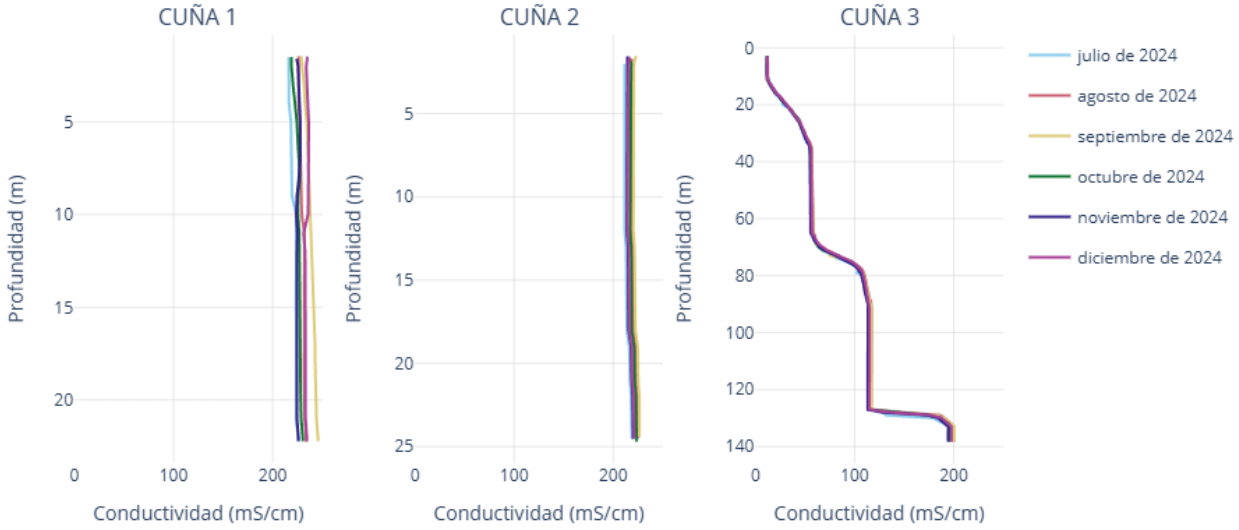
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.9.2 Perfiles de Conductividad

Durante el segundo semestre de 2024 se efectuaron mediciones de perfiles de conductividad eléctrica (CE) de los pozos situados en la Cuña Salina (Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, L4-3, Cuña 6, Cuña 7 y L10-1), de acuerdo con la acción 16 del Plan del Programa de Cumplimiento (PdC), la cual considera una medición mensual a partir de mayo de 2024. Este compromiso se cumplió para la totalidad de puntos monitoreados.

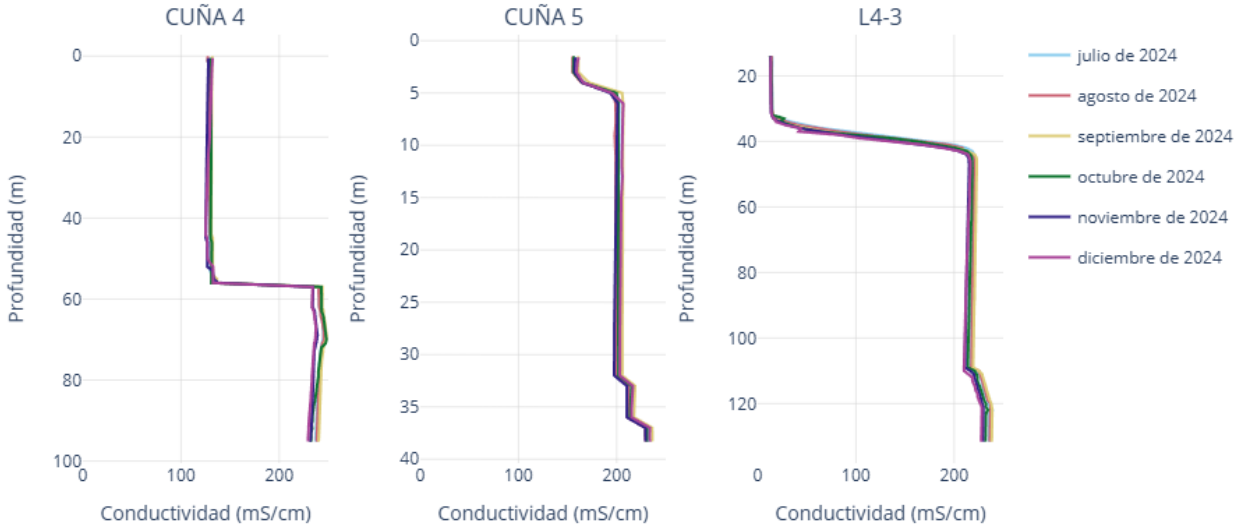
Los resultados de las mediciones de perfiles de CE en los pozos monitoreados durante el actual semestre se presentan ordenados de norte a sur en la Figura 558 (Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3), la Figura 559 Cuña 4, Cuña 5 y L4-3) y la Figura 560 (Cuña 6, Cuña 7 y L10-1). En el Anexo 6.2 se entregan todos los valores.

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



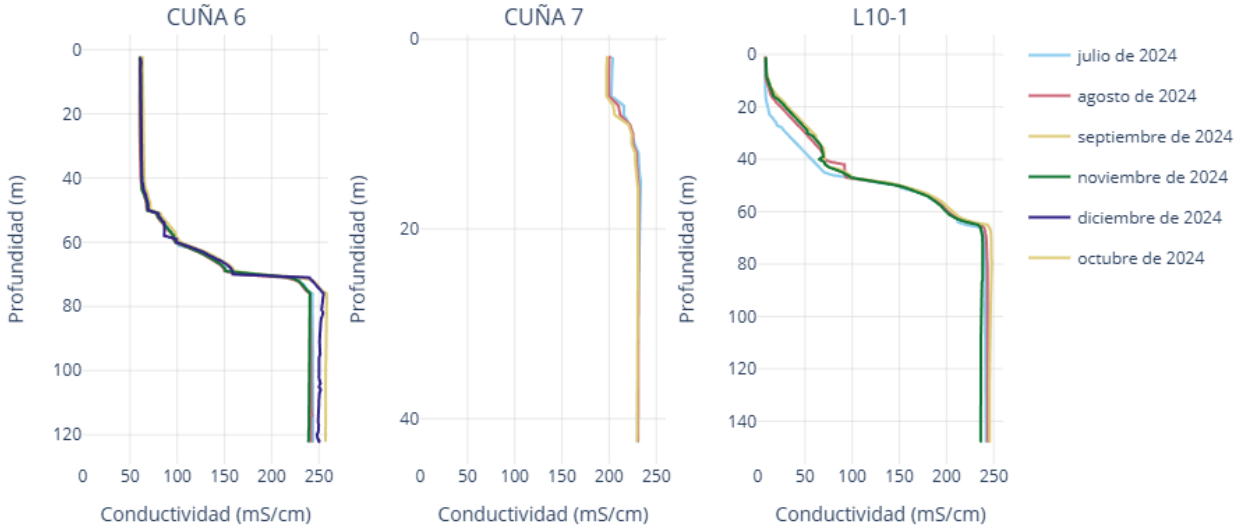
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Registro de CE para los pozos Cuña 6, Cuña 7 y L10-1



Fuente: Elaboración propia.

5.1.10 SECTOR CUENCA SALAR DE ATACAMA

De acuerdo con lo indicado en la sección 4, el PSAH del Sector Cuenca Salar de Atacama considera el monitoreo voluntario de la variable meteorología (4 estaciones), según se muestra su distribución en la Figura 413. Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.10.1 Meteorología

En la Tabla 5-41, Tabla 5-42, Tabla 5-43 y Tabla 5-44 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica Cordillera de Sal (8 variables), Domeyko (7 variables), Llano de Paciencia (7 variables) y LZA12-3 (3 variables), respectivamente. Estas variables corresponden a precipitación acumulada, evaporación promedio, velocidad del viento promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, dirección del viento promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, a nivel diario, para el período comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2024. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 561 y Figura 562, y en forma tabulada en el Anexo 9.2.

Para todas las variables se cuenta con más del 95 % de las mediciones, con algunas excepciones. En la estación meteorológica Domeyko, en el mes de julio existe menos del 95% la data válida en la variable de temperatura y en el mes de octubre de precipitación, temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, radiación global, presión atmosférica y dirección del viento. En la estación Cordillera de Sal, en los meses de julio-agosto-septiembre falta información de evaporación. Por otro lado, en la estación meteorológica LZA12-3 falta información en el mes de julio de las variables de precipitación, temperatura y humedad relativa. Debido a lo anterior, se realizó el relleno de las series de estas variables, en función del registro de otras estaciones. La metodología empleada y las series se presenta en el Anexo 9.

Con respecto a la estación meteorológica Cordillera de Sal, se observa que en el segundo semestre del 2024 la precipitación es cero en todo el periodo. En cuanto a la velocidad y dirección del viento, se observa en promedio un aumento progresivo en el segundo semestre. La velocidad del viento en el mes de julio es en promedio 2,3 m/s y en el mes de diciembre con una media de 5,2 m/s. La radiación global, evaporación y la temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio diario es de 208,3 W/m2 y en diciembre de 381,3 W/m2.

La evaporación en julio en promedio es de 5,5 mm/día y en diciembre 16,9 mm/día promedio. Por otro lado, la temperatura media diaria en julio fue del orden de 8,9°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 19,7°C. La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia leve a disminuir, en donde el julio es de 774,1 mbar y en fue del orden de 771,4 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 10,5%, con una máxima de 38,3% en octubre de 2024.

Respecto a la precipitación del segundo semestre de 2024, para todas las estaciones meteorológicas que registran esta variable, en este sector, se puede decir que, no hubo eventos de precipitación.

En cuanto a la estación meteorológica Domeyko para la velocidad del viento, se observa en promedio un aumento progresivo en el segundo semestre, mientras que la dirección del viento se observa una disminución progresiva. La velocidad del viento en el mes de julio es en promedio 4,5 m/s y en el mes de diciembre 7,0 m/s. La radiación global y temperatura media diaria, por otro lado, presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio diario es de 214,7 W/m^2 y en diciembre de 396,2 W/m^2. La temperatura media diaria en julio es del orden de 11,8°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 18,6°C. La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia leve a disminuir, en donde el julio es de 752,6 mbar y en fue del orden de 750,9 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 10,8%, con una máxima de 37,2% en octubre de 2024.

En cuanto a la estación meteorológica Llano de Paciencia, se observa que, en el segundo semestre del 2024 la velocidad del viento promedio presenta un aumento progresivo en el segundo semestre, mientras que la dirección del viento se observa una disminución progresiva. La velocidad del viento en el mes de julio es en promedio 4,1 m/s y en el mes de diciembre 5,2 m/s. La radiación global y temperatura media diaria, por otro lado, presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La radiación global en julio en promedio diario es de 202,1 W/m^2 y en diciembre de 393,9 W/m^2. La temperatura media diaria en julio es del orden de 11,3°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 19,7°C. La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia leve a disminuir, en donde el julio es de 762,8 mbar y en fue del orden de 760,7 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 11,4%, con una máxima de 42,9% en octubre de 2024.

Por último, la estación meteorológica LZA12-3 para variable de la temperatura se observa un aumento progresivo en el segundo semestre. La temperatura en el mes de julio es en promedio 5,0°C y en el mes de diciembre 16,2°C. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 11,1%, con una máxima de 44,3% en octubre de 2024.

Tabla 5-41: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Cordillera de Sal

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	147,20	300,60	212,68	36,08
Evaporación promedio*	mm	0,70	21,8	11,87	5,16
Humedad relativa promedio	%	2,12	38,36	10,15	5,66
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión atmosférica promedio	mbar	768,55	777,89	772,96	1,48
Radiación global promedio	W/m^2	136,21	392,63	306,64	65,52
Temperatura promedio	°C	4,72	22,44	15,44	4,48
Velocidad del viento promedio	m/s	1,29	7,54	3,95	1,44

*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-42: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Domeyko

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio*	°	224,70	291,60	248,34	14,72
Humedad relativa promedio*	%	2,24	37,26	10,80	5,79
Precipitación acumulada*	mm	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión atmosférica promedio*	mbar	746,50	756,44	751,84	1,35
Radiación global promedio*	W/m^2	137,47	402,27	317,67	68,62
Temperatura promedio*	°C	7,55	20,95	15,92	3,25
Velocidad del viento promedio*	m/s	2,85	9,77	5,82	1,56

*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-43: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Llano de Paciencia

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	230,70	317,70	292,04	11,75
Humedad relativa promedio	%	3,15	42,90	11,44	5,81
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión atmosférica promedio	mbar	756,70	766,62	761,86	1,41
Radiación global promedio	W/m^2	155,64	399,54	308,69	71,48
Temperatura promedio	°C	6,94	22,05	16,36	3,68
Velocidad del viento promedio	m/s	2,78	9,1	4,81	1,17

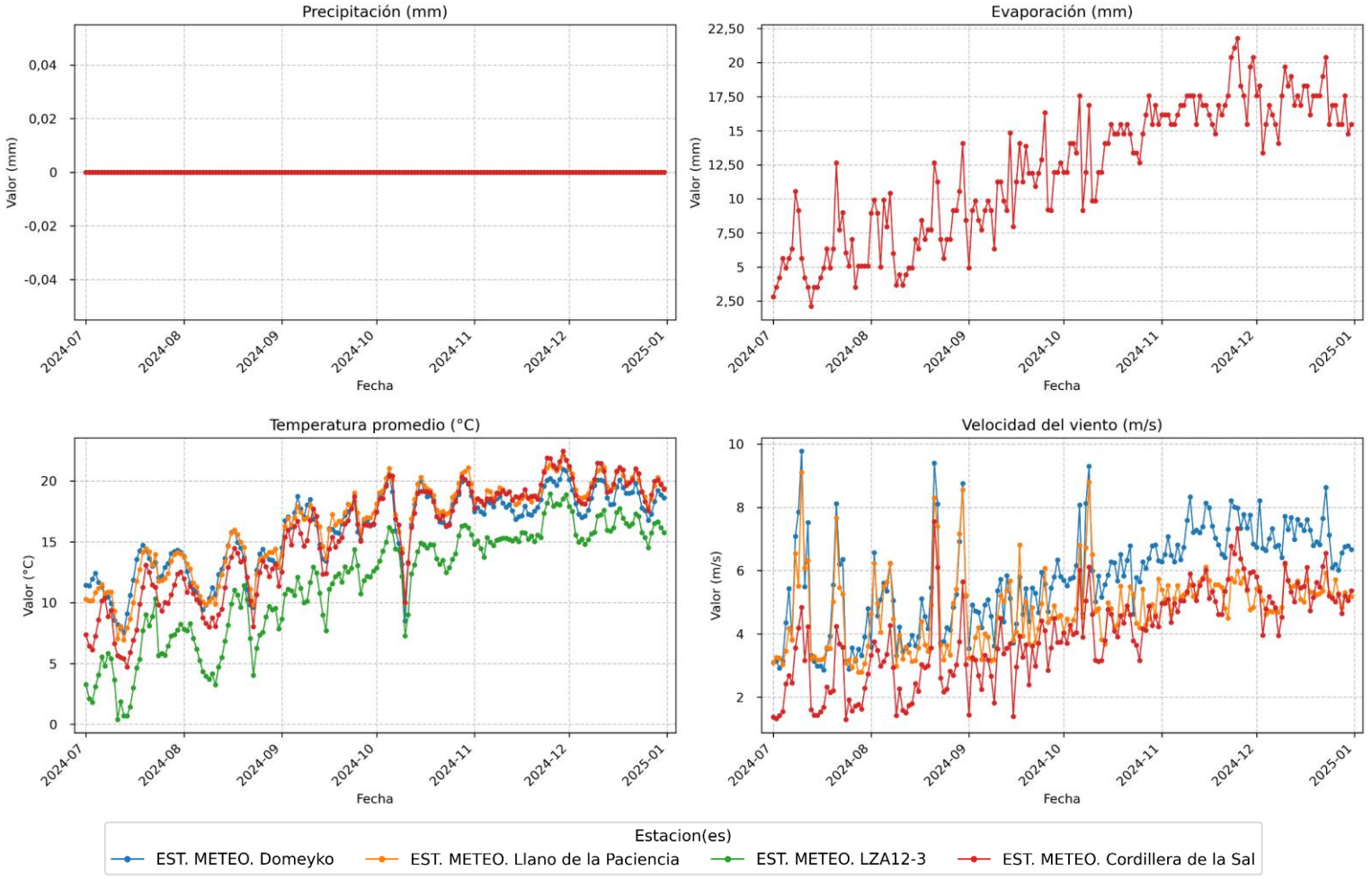
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-44: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de LZA12-3

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Humedad relativa promedio*	%	2,38	44,36	11,18	5,98
Precipitación acumulada*	mm	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura promedio*	°C	0,40	18,93	11,63	4,66

*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica en Cuenca Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-: Series de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica en Cuenca Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

5.1.11 SECTOR ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE ALTA MONTAÑA

De acuerdo con lo indicado en la sección 4, el PSAH del Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña considera el monitoreo voluntario de la variable meteorología (2 estaciones), según se muestra su distribución en la Figura 414. Los resultados para el segundo semestre de 2024 se presentan a continuación.

5.1.11.1 Meteorología

En la Tabla 5-45 y Tabla 5-46 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica Cerro Cosor y El Tatio SQM respetivamente, los cuales corresponden a precipitación acumulada, velocidad del viento promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, dirección del viento promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, a nivel diario, para el período comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2024. Las series diarias de estas variables para el segundo semestre de 2024 se presentan en forma gráfica en la Figura 563 y Figura 564, y en forma tabulada en el Anexo 9.2.

Para todas las variables se cuenta con más del 95 % de las mediciones, excepto para la estación meteorológica Cerro Cosor, en el cual en el mes de julio hay menos de 95% de data validada en las variables de precipitación, humedad relativa, temperatura radiación global, presión atmosférica, dirección y velocidad de viento, así como también, en los meses de agosto y octubre existe menos de 95% de data validada en la variable de velocidad y dirección del viento. Debido a lo anterior, se realizó el relleno de la serie las variables 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.

Para la estación meteorológica Cerro Cosor, se observa en el segundo semestre del 2024, que la precipitación es nula la mayoría del periodo, con excepción de un evento importante que ocurre durante el mes de octubre (8,5 mm). En cuanto a la velocidad del viento, se observa una importante variabilidad entre 4 m/s y 13 m/s para el período julio octubre. A partir de octubre los registros se mantienen alrededor de 4,5 m/s en promedio. La radiación global y temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La temperatura media diaria en julio fue del orden de 1,6°C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 7,4°C. La radiación global en julio

en promedio diario es de 211,3 W/m^2 y en diciembre de 390,2 W/m^2. La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia promedio de 622,4 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 18,1%, con una máxima de 89,9% en octubre de 2024.

Por otro lado, para la estación meteorológica El Tatio SQM, se observa en el segundo semestre del 2024, que la precipitación es nula la mayoría en todo el periodo. En cuanto a la velocidad del viento, se observa una importante variabilidad entre 2 m/s y 8 m/s para el período julio octubre. A partir de octubre los registros se mantienen alrededor de3 m/s en promedio.

La radiación global y temperatura media diaria presentan una tendencia promedio al aumento en el segundo semestre del 2024. La temperatura media diaria en julio fue del orden de -1,0 °C mientras que en diciembre el promedio diario es del orden de 4,4°C. La radiación global en julio en promedio diario es de 215,3 W/m^2 y en diciembre de 381,4 W/m^2. La presión atmosférica promedio diaria presenta una tendencia promedio de 610,0 mbar. La humedad relativa presenta una tendencia promedio de 21,6%, con una máxima de 63,8% en octubre de 2024.

Tabla 5-45: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de Cerro Cosor

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio *	°	125,30	345,84	293,38	35,32
Humedad relativa promedio*	%	1,39	89,94	18,11	12,67
Precipitación acumulada*	mm	0,00	8,50	0,06	0,64
Presión atmosférica promedio*	mbar	613,69	625,70	622,48	1,58
Radiación global promedio *	W/m^2	68,97	396,09	316,51	73,81
Temperatura promedio*	°C	-7,04	10,67	4,75	3,71
Velocidad del viento promedio *	m/s	2,16	13,39	5,24	1,86

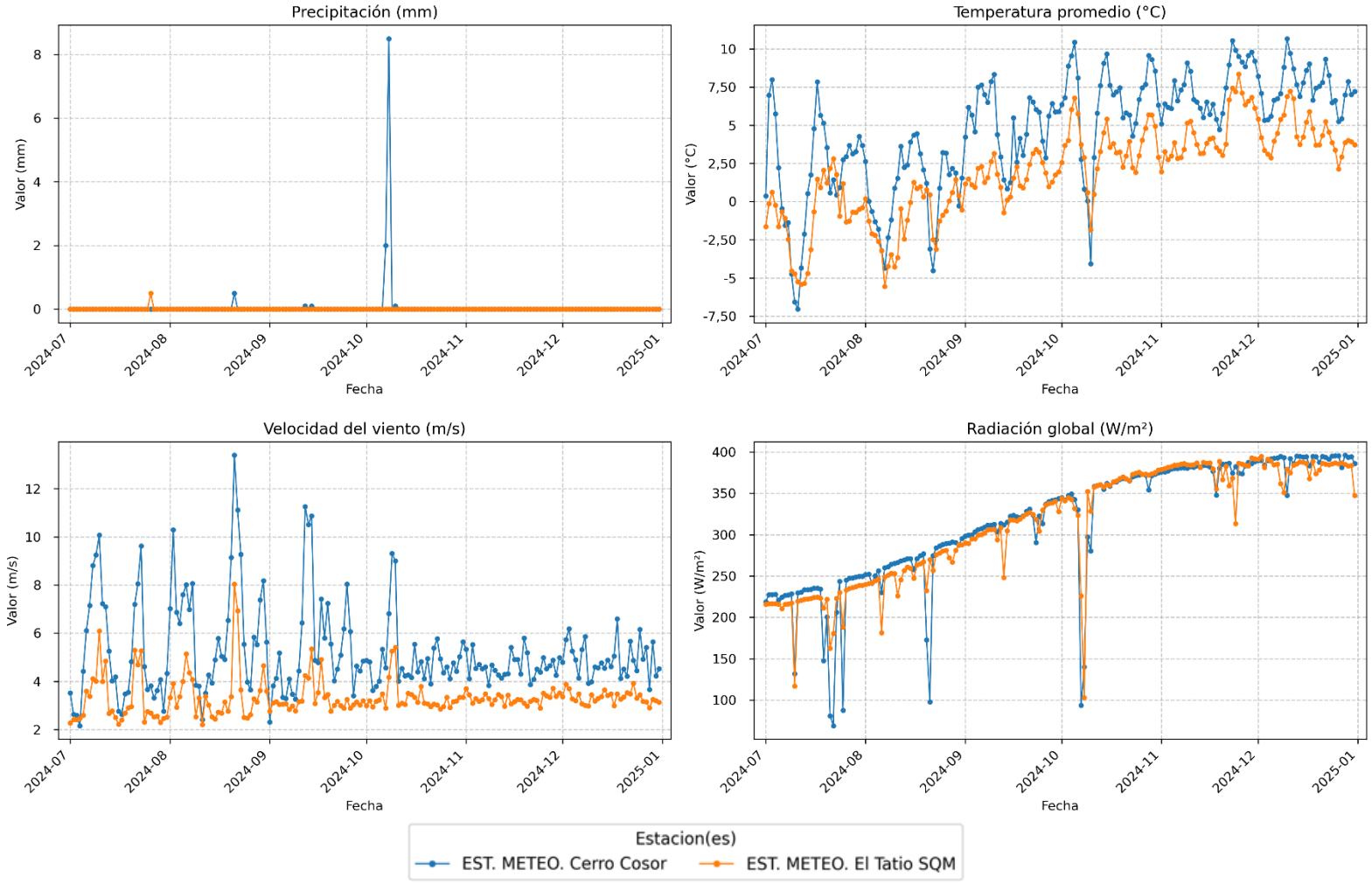
*Esta variable contempla uno o más períodos de rellenado
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-46: Estadígrafos de series diarias de la estación meteorológica de El Tatio SQM

Parámetro	Unidad	Min. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. Estánd. de Valor
Dirección del viento promedio	°	166,40	291,60	214,99	31,75
Humedad relativa promedio	%	8,16	63,88	21,66	8,87
Precipitación acumulada	mm	0,00	0,50	0,00	0,04
Presión atmosférica promedio	mbar	603,09	613,00	610,04	1,33
Radiación global promedio	W/m^2	103,07	394,78	314,96	67,92
Temperatura promedio	°C	-5,56	8,35	1,96	2,96
Velocidad del viento promedio	m/s	2,21	8,04	3,32	0,77

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-: Series de precipitación, velocidad del viento, temperatura y radiación global Estación Meteorológica de Cerro Cosor y El Tatio SQM.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-: Series de dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa Estación Meteorológica de Cerro Cosor y El Tatio SQM.



Fuente: Elaboración propia

5.2 MONITOREO Y ANÁLISIS 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 4.3.10 del presente informe. Según lo indicado en dicha sección, se abordan los siguientes sistemas objeto del Plan de Contingencias (Tabla 5-47).

Tabla 5-47: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno

Plan de Contingencias comprometido en la RCA Nº226/2006	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 segundo 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 Tabla 5-48. 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 la sección 5.1.

Tabla 5-48: Estado del Plan de Contingencias

Compromiso	Sistema	Subsistema	Indicador de estado	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
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	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L9-1	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
		Brea-Atriplex	L1-3	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡
			L2-7	🟡	🟡	🟡	🟢	🟢	🟢
			L2-28	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡	🟡
			L3-3	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L4-7	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L7-6	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡
			L9-1	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
		Hidromorfa	L1-17	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L2-4	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L2-27	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L3-5	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L4-10	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L7-3	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
PdC presentado en el proceso SMA F-041-2016	Peine	Alerta Temprana	1028	🟡	🔴	🟡	🟡	🔴	🔴
			L10-4	🟡	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
			L10-11	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
			PN-05B_RWL	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			PN08A_RWL	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
Pozos adicionales	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L2-26	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L3-15	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
		Brea-Atriplex	L2-26	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L3-15	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L2-25	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L4-17	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L7-14	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
			L9-2	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢

🟡 Fase I activada 🔴 Fase II activada 🟢 Sin fases activadas

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. Los resultados se muestran en forma gráfica con el último semestre destacado. 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

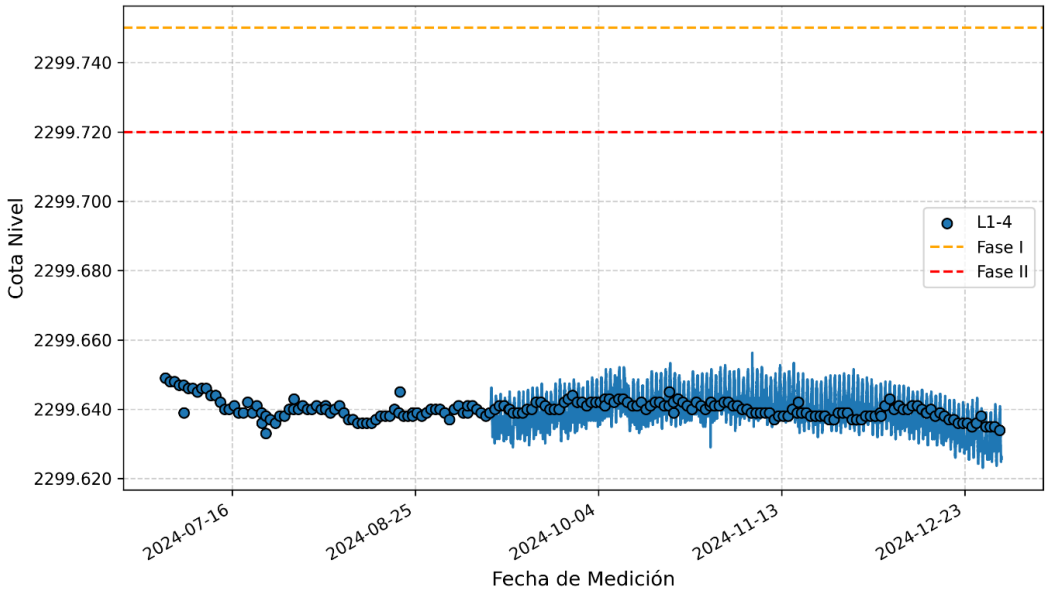
Los indicadores de estado del PC del Sistema Soncor incluyen los piezómetros L1-5, L7-4 y L1-4, así como el L1-G4 Reglilla; cuya medición se realiza diariamente conforme a lo establecido en el PdC. Además del monitoreo manual, SQM cuenta con un transductor de presión en cada uno de los puntos para medir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

Los resultados del monitoreo de nivel en estos indicadores para el período reportado, junto con sus umbrales de activación, se presentan en la Figura 565, Figura 566, Figura 567 y Figura 568.

En cuanto al estado de los indicadores, los puntos L1-5 y Reglilla L1-G4 han permanecido en Fase II desde su activación en abril de 2021 y a lo largo del segundo semestre de 2024. Asimismo, el indicador L1-4 ha mantenido activada la Fase II desde noviembre de 2023. Cabe destacar que el pozo L1-4, definido en la RCA Nº226/2006 como un indicador del estado del acuífero aluvial, se sitúa al otro lado de la interfaz salina, lo que implica su desconexión hidráulica con dicho acuífero. En definitiva, este indicador no es idóneo para monitorear el estado del objeto de protección como mecanismo de alerta temprana.

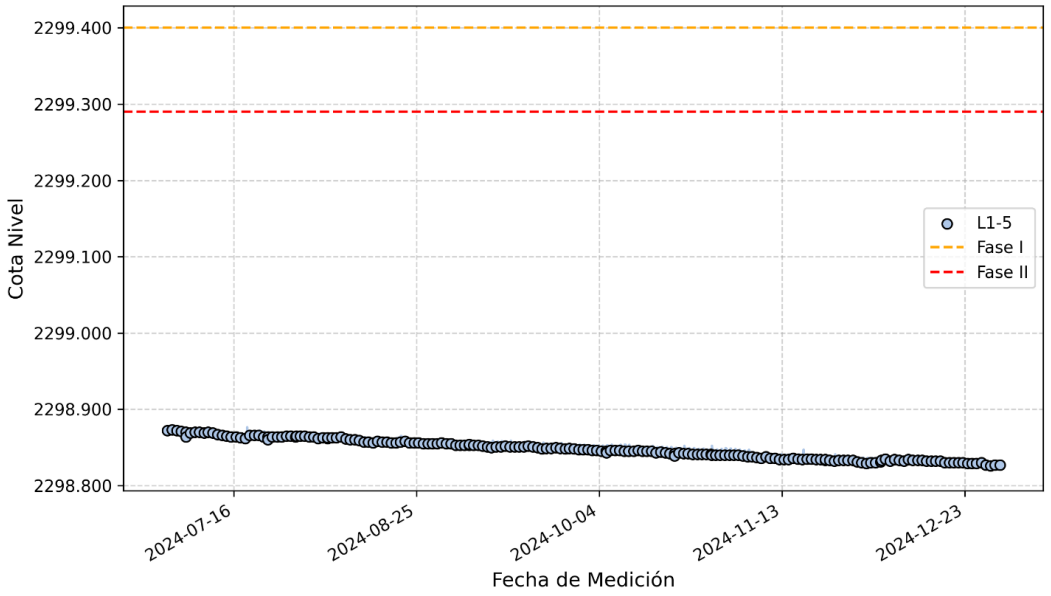
Por último, el indicador L7-4 no ha sobrepasado ninguno de los dos umbrales del PC durante el segundo semestre de 2024 y muestra la variación de nivel propia del efecto de la evaporación.

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



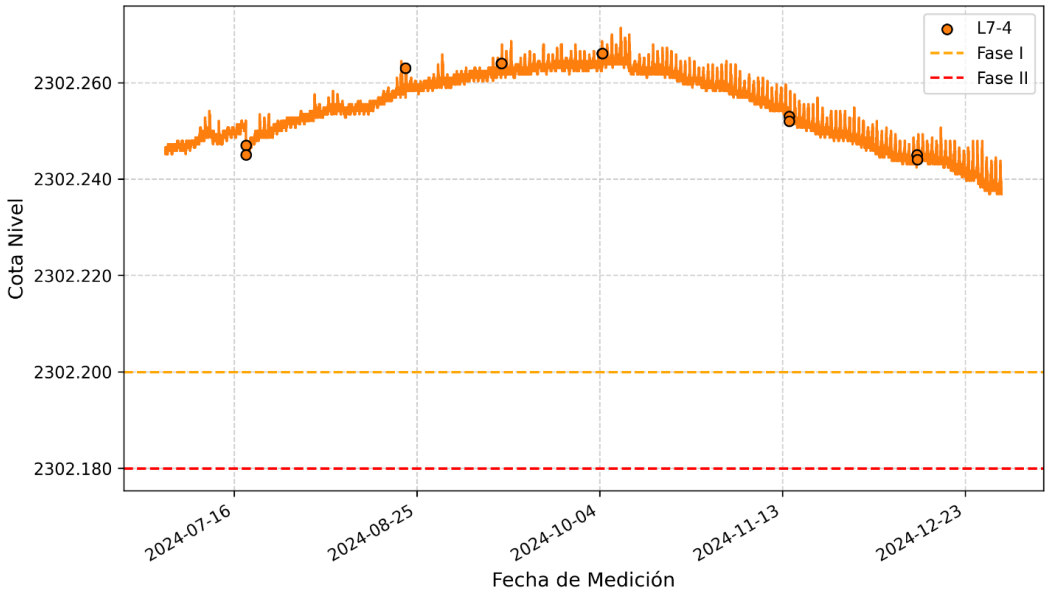
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



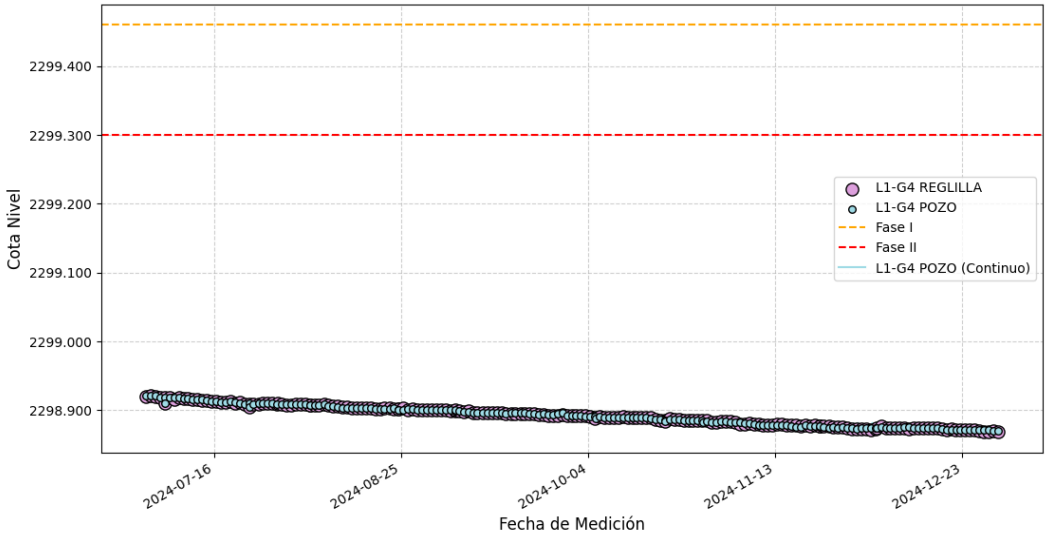
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

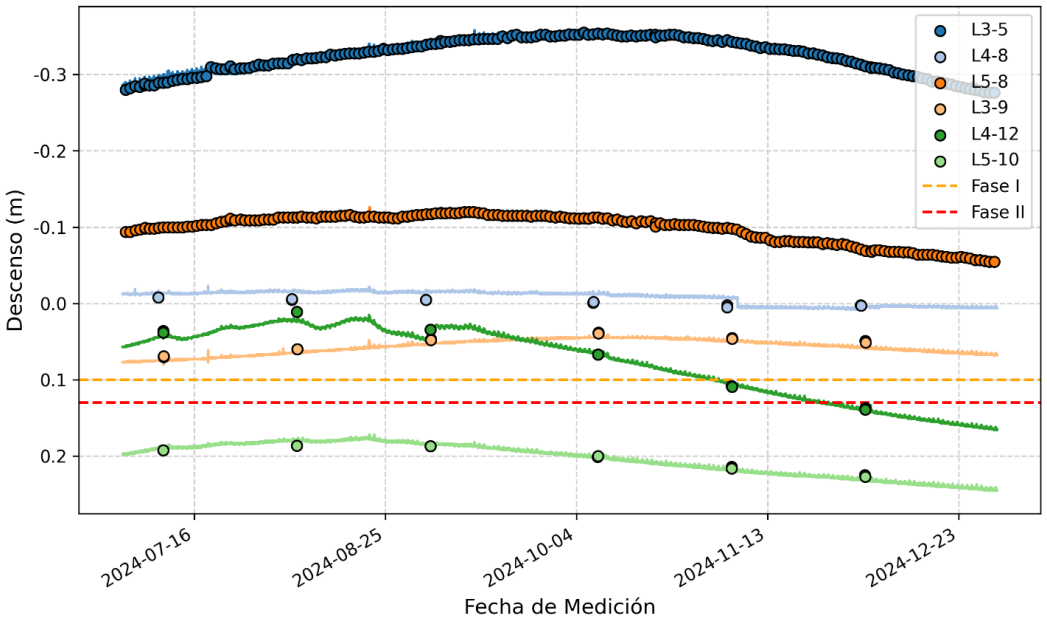
Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Aguas de Quelana son los piezómetros L3-5, L3-9, L4-8, L4-12, L5-8 y L5-10; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC. Adicional al monitoreo manual, SQM cuenta con un transductor de presión para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

En la Figura 569 se muestran los descensos calculados para estos indicadores durante el segundo semestre de 2024, que incluyen los valores de monitoreo continuo, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación.

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 segundo 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 el mes de noviembre; el informe de investigación que indica las causas de su activación se entregó a la autoridad en diciembre de 2024 mediante la carta conductora GMAL Nº55/2024. En indicador L5-10 se mantiene en Fase II desde 2023.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

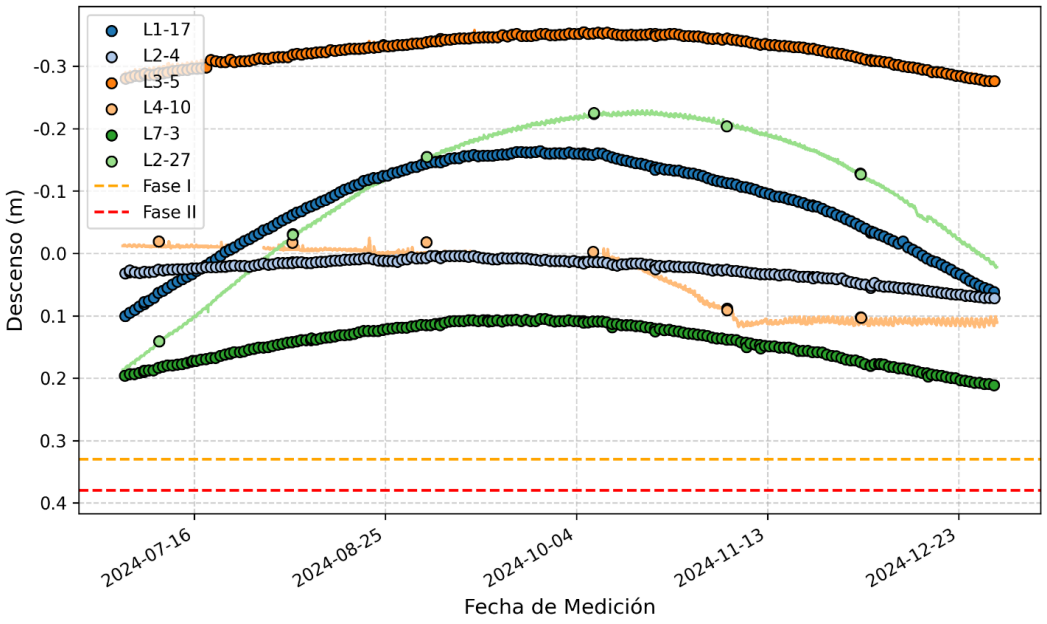
5.2.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: VEGETACIÓN HIDROMORFA

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 570 se presentan los descensos calculados para estos indicadores durante el segundo semestre, que incluyen los resultados del monitoreo continuo, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación.

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 en esta zona no registraron activaciones de ninguna de las fases del PC.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.4 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: VEGETACIÓN BREA-ATRIPLEX

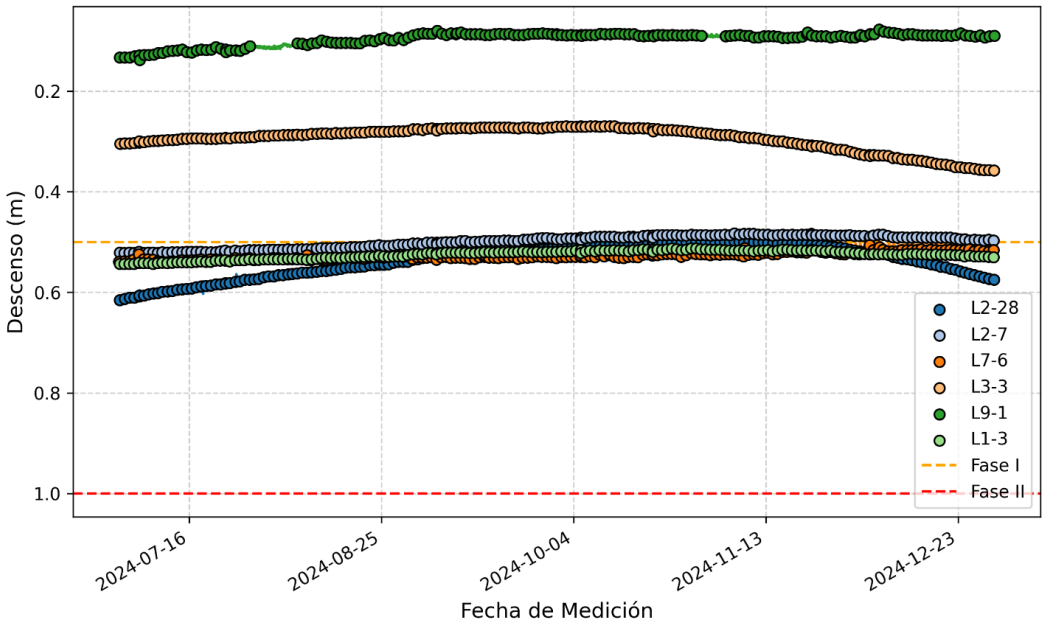
Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Brea-Atriplex son los piezómetros L1-3, L2-7, L2-28, L3-3, L7-6 y L9-1; para los cuales se acordó una frecuencia de medición diaria según lo establecido en el PdC. Adicionalmente al monitoreo manual, se disponen de mediciones continuas en todos los puntos, según lo comprometido en la RCA Nº226/2006.

En la Figura 571 se presentan los descensos calculados para estos indicadores durante el segundo semestre de 2024, que incluyen los resultados del monitoreo continuo, las mediciones de la ETFA y los umbrales de activación.

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 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 de forma permanente. Los puntos L2-28 y L2-7 muestran sucesivas desactivaciones y activaciones de Fase I a medida que los niveles oscilan respondiendo a la estacionalidad.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.2.5 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: ALERTA TEMPRANA

Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema 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. Todos los puntos cuentan con medición continua adicional.

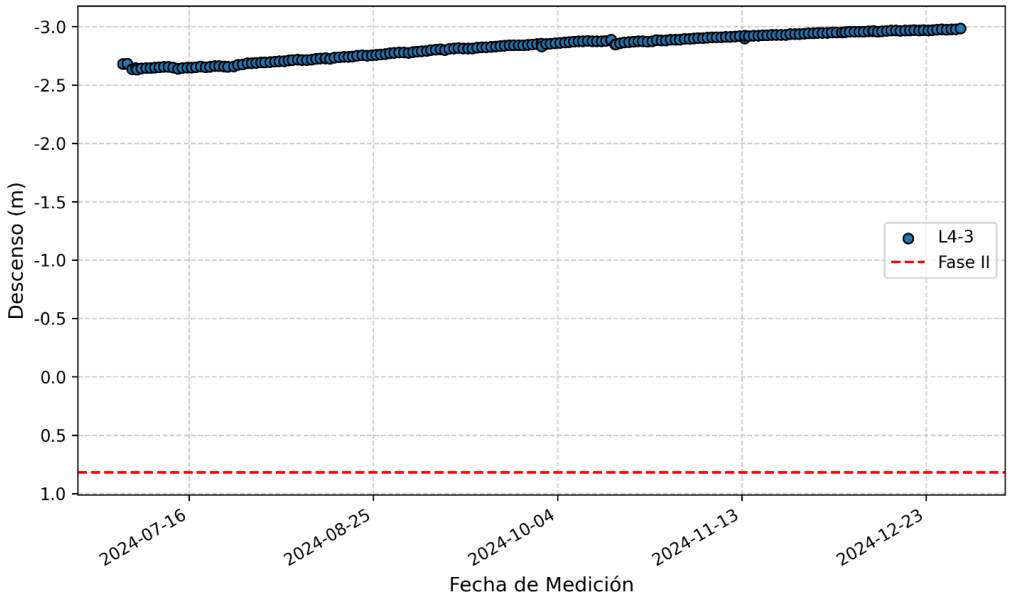
De acuerdo con lo establecido en la evaluación ambiental del Proyecto, los pozos de monitoreo del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Alerta Temprana, poseen únicamente umbrales de activación de Fase II. Los límites se establecieron con el propósito de asegurar un descenso máximo de 1,00 m en la zona 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 572, Figura 573, Figura 574 y Figura 575.

El pozo 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. lan de ontingencia

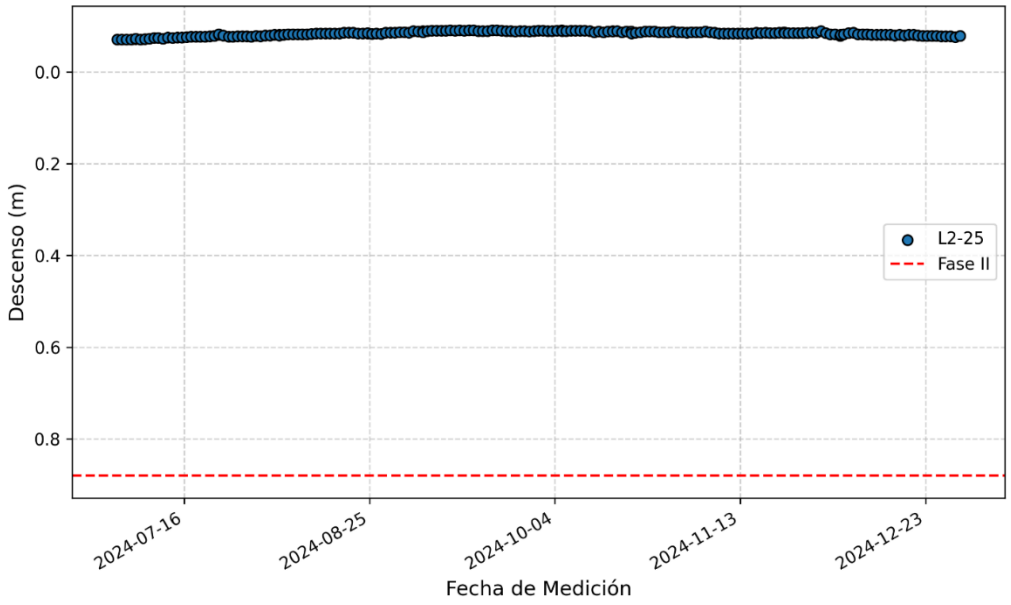
En base a la información presentada, durante el actual período, ninguno de los indicadores superó su respectivo umbral de Fase II.

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



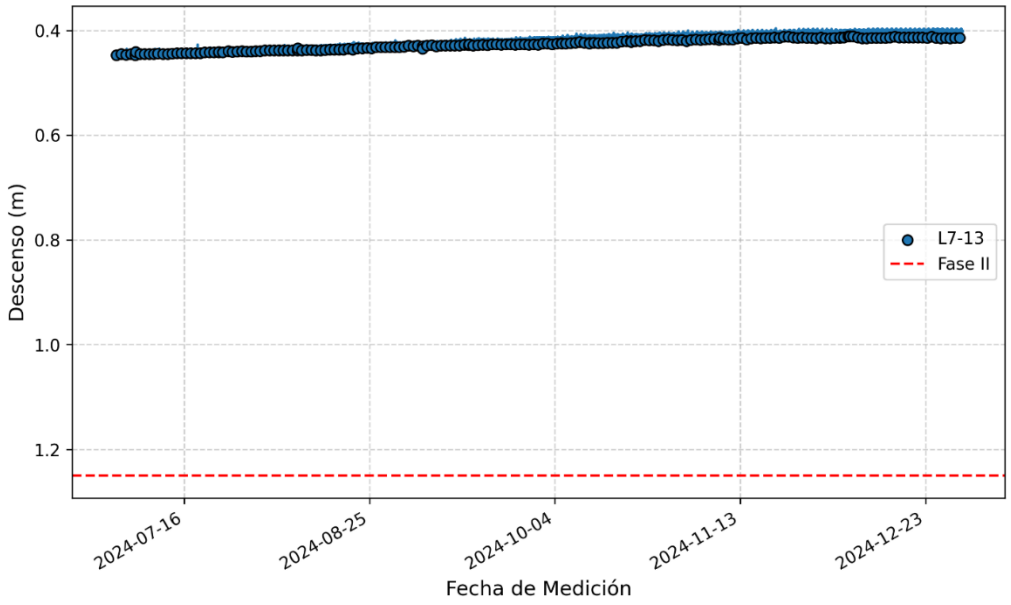
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



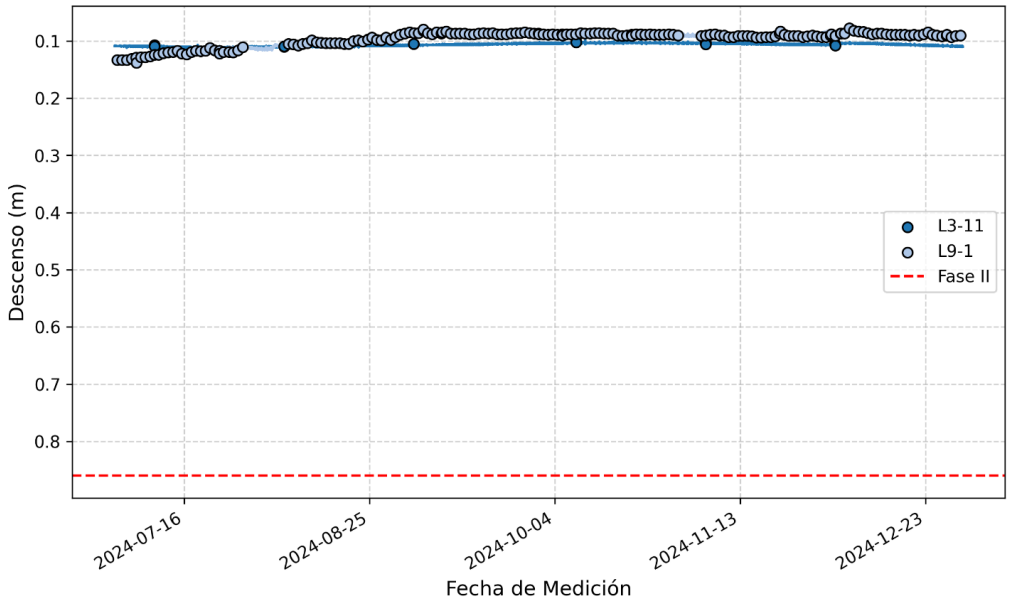
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-: 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 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 Nº1367/2020, de 6 de agosto de 2020, y renovadas a través de Resolución Exenta Nº2141/2020, de 28 de octubre de 2020, tanto en el seguimiento del proyecto aprobado por la RCA Nº226/2006 (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 Nº21/2016 del proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama", del titular Albemarle (ex Rockwood)[6]. Las especificaciones y fundamentos técnicos de estos indicadores, umbrales y medidas de control aplicables al sistema Peine se presentan en los anexos 4.02, 4.03 y 4.04 del PdC propuesto a la SMA, los que se adjuntan en el Anexo 12 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 PdC[7] 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. Según aviso recibido mediante la carta de activación GMAL 397/2024, el indicador PN-08A activó Fase II el día 15 de julio de 2024.

[6] Adicionalmente, a la fecha de presentación de este informe, la Superintendencia del Medio Ambiente ha ordenado medidas provisionales a través de Resolución Exenta Nº1367/2020, de 6 de agosto de 2020, renovadas mediante Resolución Exenta Nº2141/2020, de 28 de octubre de 2020, que disponen la continuidad a estas acciones, en los términos que se explican en la sección 4.7.

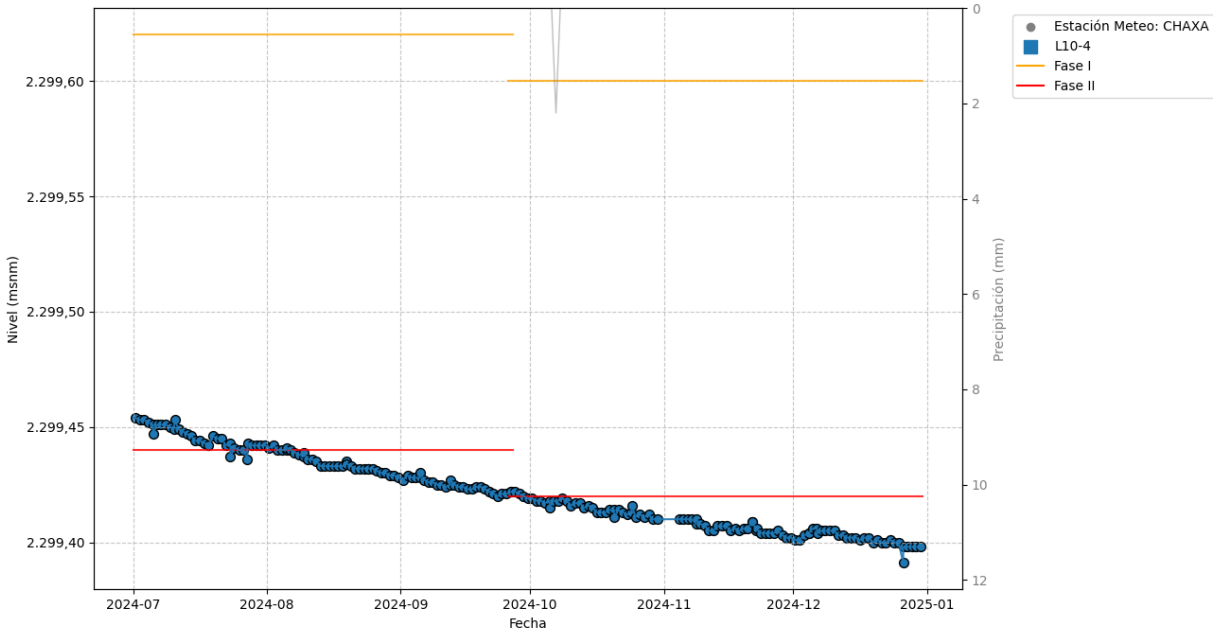
[7] Actual acción 42 (Ex acción 33): Aplicar los umbrales de activación de fase I y/o II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto calificado mediante RCA Nº226/2006, como en los pozos PN-05B y PN-08A del sector Alerta Núcleo del Plan de Alerta Temprana del considerando 10.18 de la RCA Nº21/16, y las correspondientes medidas de control, cuando corresponda.

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 576, Figura 577 y Figura 578.

Durante el segundo semestre de 2024, los pozos L10-4, L10-11 y 1028 superaron la Fase I, con el pozo L10-11 activando la Fase II el 22 de junio de 2024, condición que se ha mantenido en el segundo semestre de 2024. En el segundo semestre, debido a la continuidad del descenso en los niveles, los pozos L10-4 y 1028 también activaron la Fase II, el 27 de julio y el 31 de agosto, respectivamente. Dado el ajuste en el umbral de activación, reducido en 2 cm, se producen salidas puntuales de la Fase II, no obstante, desde septiembre y noviembre, respectivamente, los pozos L10-4 y 1028 han permanecido en Fase II activa.

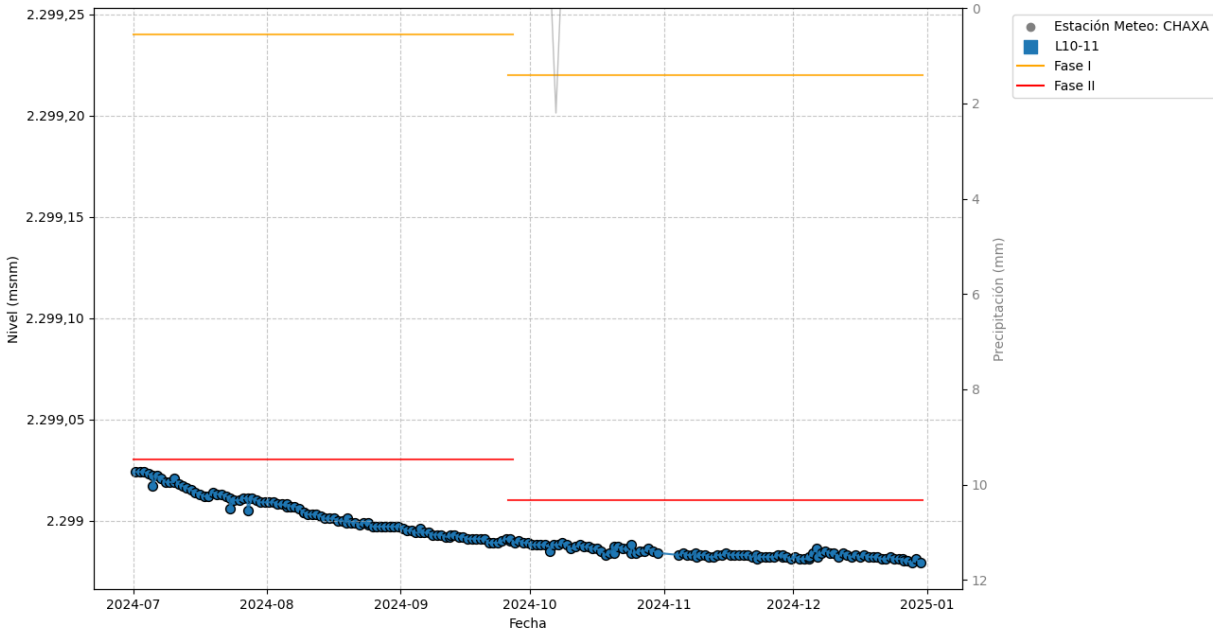
El informe de investigación que indica las causas de su activación se entregó a la autoridad en diciembre de 2024.

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



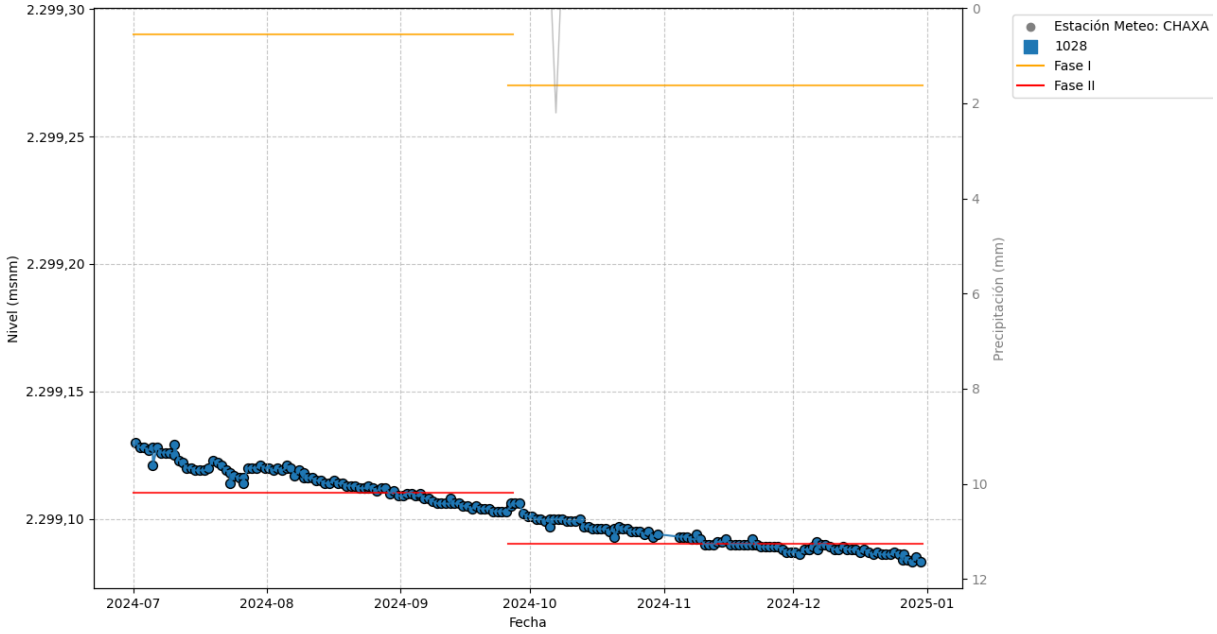
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-: 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-: 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 (Figura 579) 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.

Figura 5-: 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

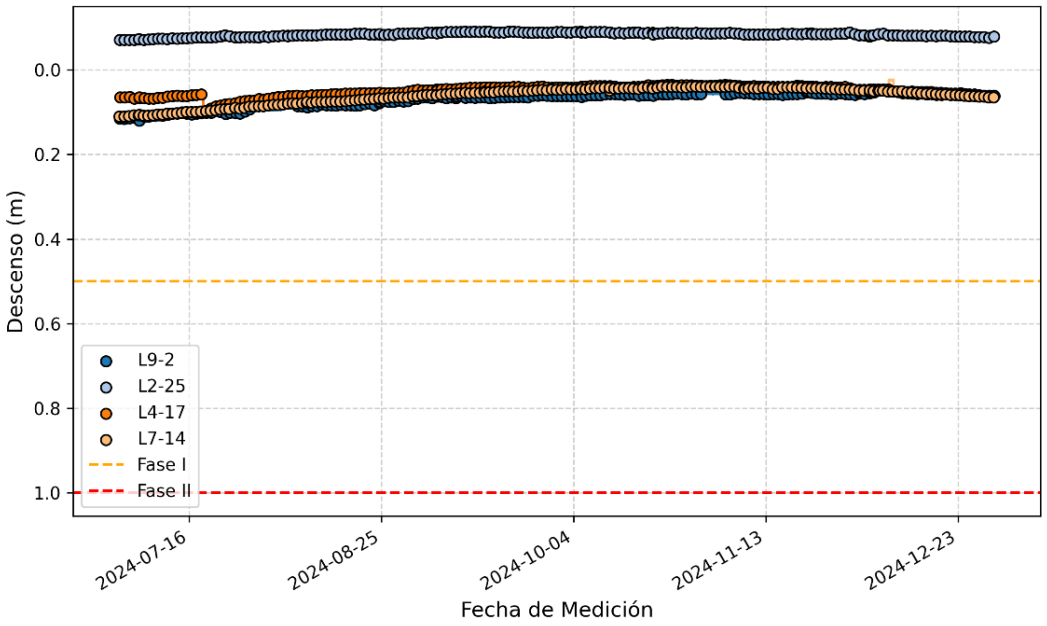
Fuente: Elaboración propia.

La definición de los umbrales para estos puntos de control se realizó bajo los mismos criterios de la RCA Nº226/2006. 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 580, Figura 581, Figura 582).

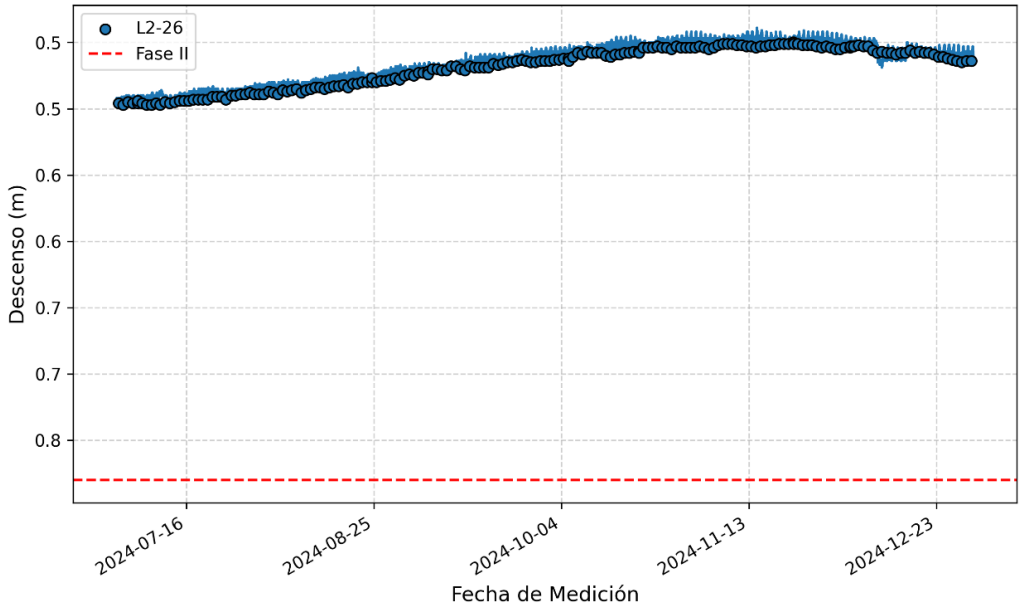
De la información presentada se concluye que, durante el período reportado, en ninguno de los indicadores de estado se superaron los umbrales correspondientes. En la sección 6.1.10 del presente informe se realiza un análisis más detallado del estado del PC.

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



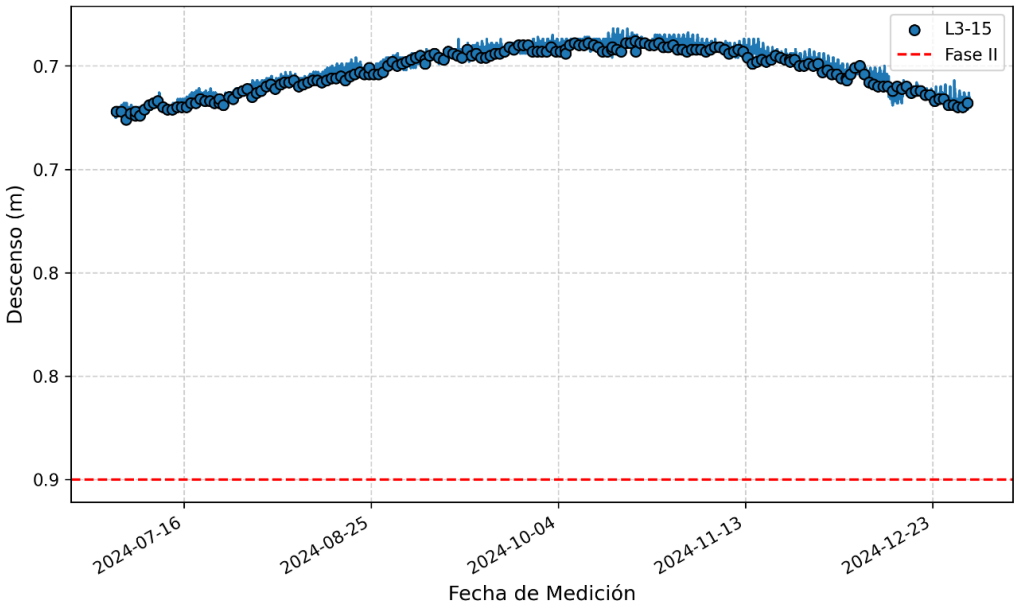
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

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



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, dado que también integran la red PSAH, contribuyendo a fortalecer las conclusiones sobre las dinámicas que regulan los sistemas de protección.

Asimismo, se incorporan los registros provenientes de todos los puntos complementarios de medición de nivel, conforme a lo estipulado en la Resolución N°1314. Adicionalmente, se consideran los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo adicionales de SQM, así como cualquier medición realizada en el marco del PdC y pozos complementarios ubicados en las inmediaciones de los puntos del PSAH en los casos en que existan.

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 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 segundo semestre de 2024. Así se facilita visualmente el análisis del comportamiento medido en este periodo con respecto las tendencias históricas.

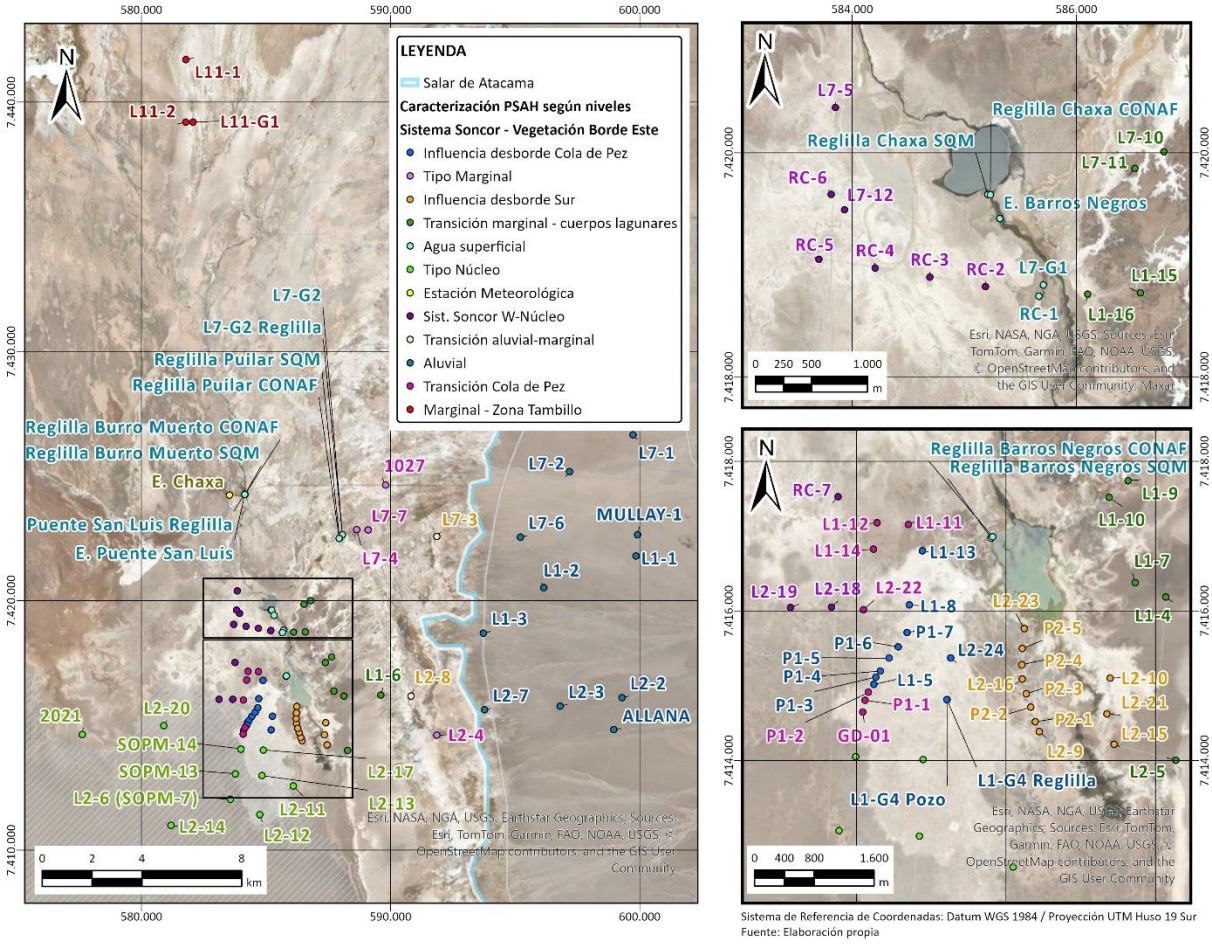
6.1.1 SISTEMA SONCOR – VEGETACIÓN BORDE ESTE

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 61). De esta forma los puntos que se describen en este apartado son los que la RCA Nº226/2006 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 segundo semestre de 2024.

El análisis se presenta según 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

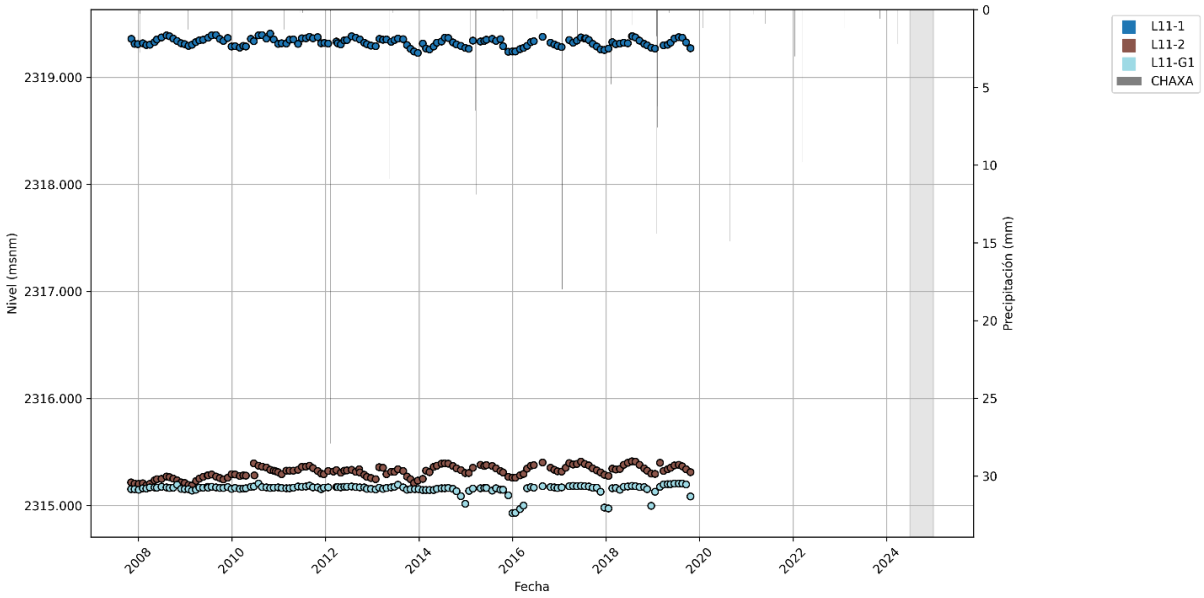
Al norte del Sistema Soncor, en el Sector de Tambillo, se encuentran los puntos de nivel de agua subterránea L11-1 y L11-2 y la reglilla L11-G1. En la Figura 62 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos, mientras que en la Figura 63 se presentan los descensos calculados. En la Figura 62, 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 63, 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).

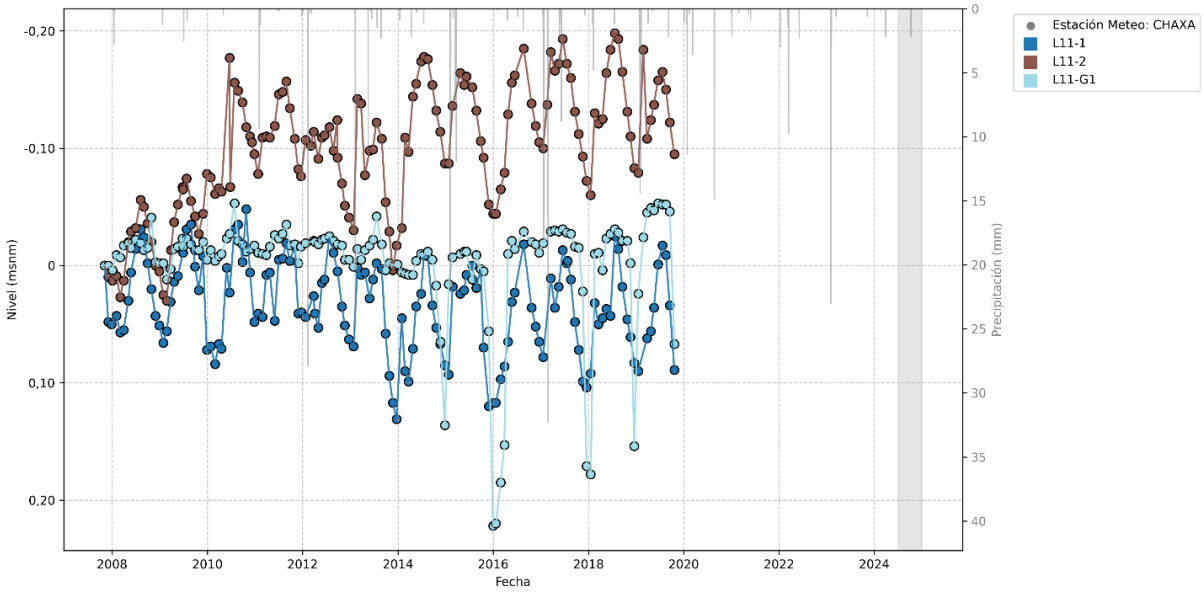
Como se ha mencionado anteriormente, estos 3 puntos no han sido visitados desde octubre 2019, por lo que el análisis de los niveles no se puede actualizar a partir de esta fecha.

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. Sistema referencia WGS-84.

6.1.1.1.2 Niveles en pozos de bombeo de agua industrial

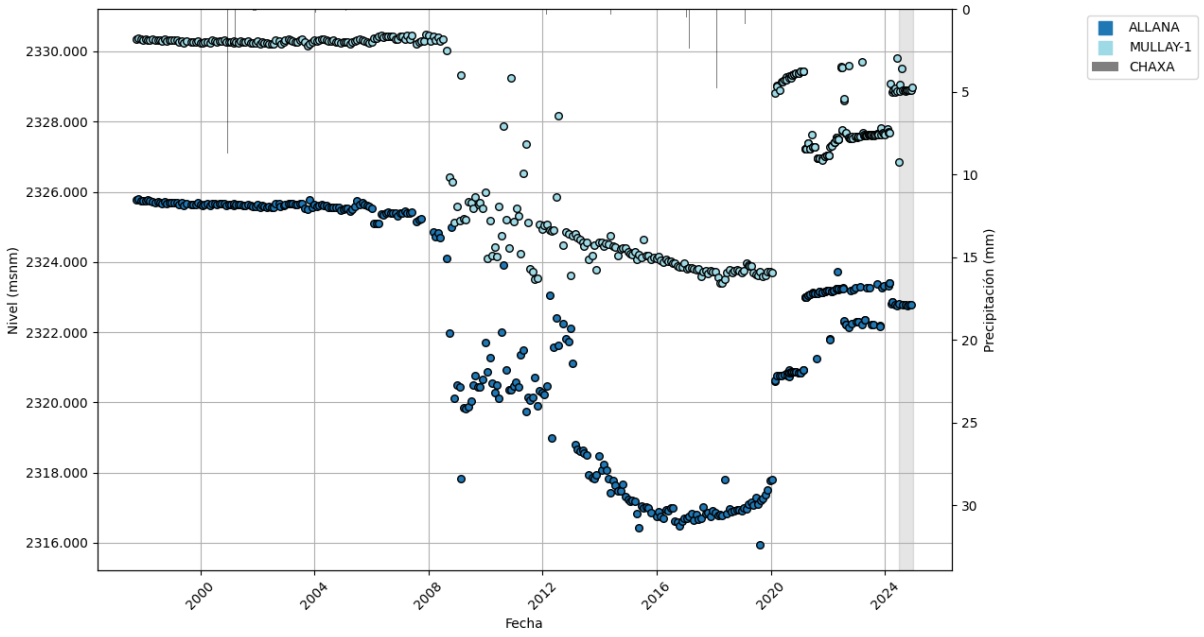
Los pozos de agua industrial presentes en el Sistema Soncor son el Mullay-1 (ubicado más al norte del sistema) y el Allana. En la Figura 64 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos. En este caso en particular, los niveles medidos están influenciados por el manejo operacional de 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 hasta 2020.

El 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 de 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 observó un descenso de 2 m durante el mismo mes. Durante el segundo semestre de 2024 y con un caudal de extracción reducido a 7,9 L/s, el nivel se encuentra 2.328,9 m.s.n.m, cerca de 6 metros por encima que en enero de 2020.

En cuanto al pozo Allana, presentó un leve aumento de nivel 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 en 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 mantuvo oscilante entre los 2.322 y 2.323,7 m s.n.m. Durante 2024 los niveles han dejado de oscilar y se encuentran estables en los 2322,8 m s.n.m a diciembre de 2024, con un régimen de extracción de menos de 5 L/s.

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

En este grupo, los pozos analizados para el Sistema Soncor se encuentran en el acuífero aluvial. Se caracterizan 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 año 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.

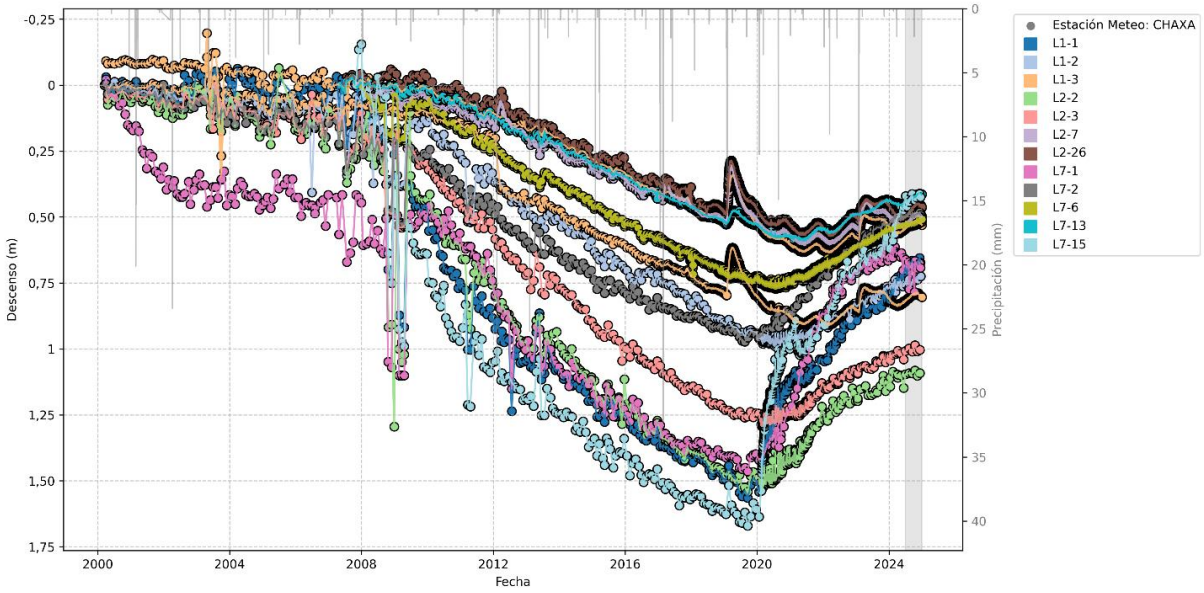
Este grupo de pozos presenta diferencias de cotas significativas en los niveles (de 20 m), con gradientes hidráulicos altos. Por lo tanto, para establecer una comparativa precisa respecto a las variaciones de nivel, éstas se muestran en forma de descenso calculado (Figura 65).

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 es debido a que estos puntos se encuentran más próximos a la superficie (someros) y a la Zona Marginal. Desde el inicio de su monitoreo, estos pozos han mostrado una tendencia de descenso, que varía entre 3 y 5 cm/año. Sin embargo, desde el 2021, esta tendencia se revierte debido a la reducción de las extracciones en los pozos Mullay-1 y Allana, momento en que también comienzan a mostrar una oscilación estacional característica de la Zona Marginal. Esta situación ha continuado hasta diciembre de 2024.

En el caso del grupo conformado por los pozos L1-1, L7-1, y L7-15, que se encuentras 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. En este grupo, la recuperación de niveles tras la reducción de las extracciones de agua industrial en el año 2020 se observa antes que el grupo anterior debido a su cercanía a los pozos Mullay-1 y Allana; 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. El punto L7-1, ubicado en la parte norte del sistema, presentan una tasa de ascenso de 17 cm/año.

El resto de los pozos (L7-6, L7-2, L2-3, L2-2 y L1-2) han presentado un comportamiento similar, mostrando una tendencia al aumento del nivel desde el año 2020, con una tasa promedio del orden de 7,8 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).

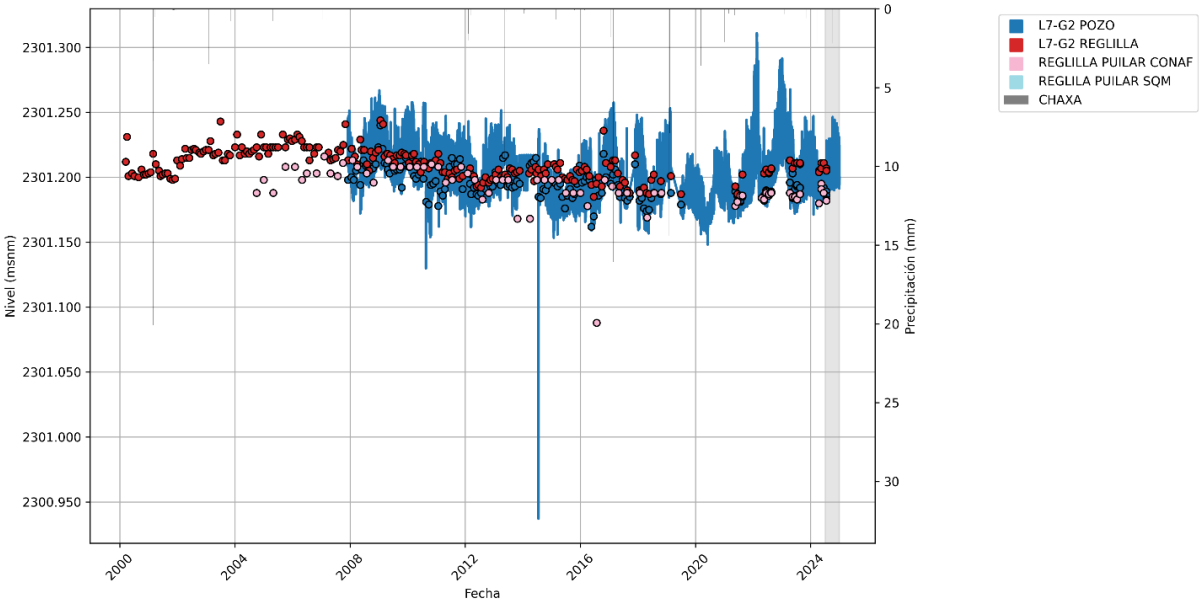
Para todos los puntos de monitoreo mencionados, no se cuenta con registros de niveles manuales para el período comprendido entre 2019 y 2021, debido a las restricciones de acceso impuestas durante la pandemia de COVID-19. Asimismo, entre agosto y diciembre de 2024, la ausencia de datos se debe al cierre de la reserva, lo que impidió la recopilación de información en ese intervalo. Las mediciones continuas, sin embargo, se mantuvieron durante todo el periodo.

Históricamente, los niveles de los puntos de monitoreo de la Laguna Puilar – Reglilla Puilar (SQM y CONAF) y L7-G2 (Reglilla y Pozo) – han presentado oscilaciones sinusoidales de largo período, con ciclos de hasta 10 años caracterizados por fases sucesivas de descenso y ascenso (Figura 66). La amplitud de estas variaciones, medida entre los niveles máximos y mínimos, es del orden de 5 a 6 cm. Tras el mínimo registrado en 2017 dentro de este patrón oscilatorio, se observa una tendencia general ascendente.

En general, la reglilla Puilar (SQM y CONAF; Figura 67) ha presentado un comportamiento oscilatorio pero estable. En la infraestructura de CONAF, esta variabilidad es más pronunciada en comparación con el punto de monitoreo de SQM. Por otro lado, en L7-G2 (Reglilla y Pozo; Figura 68), la oscilación es considerablemente más marcada que en Puilar.

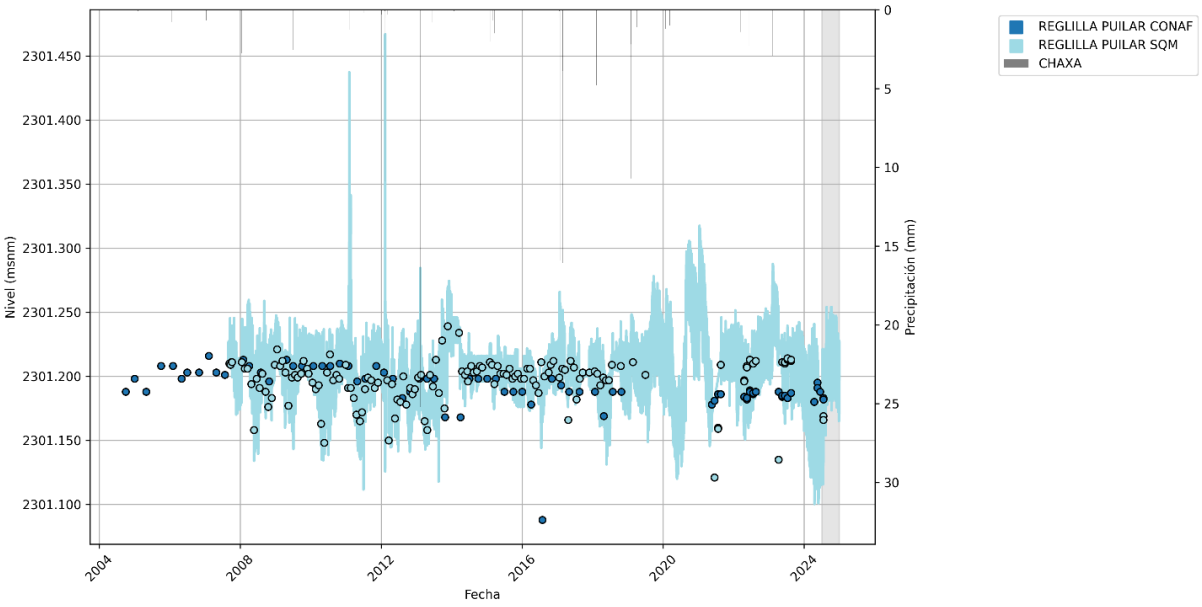
Este comportamiento sinusoidal estaría ligado a los períodos húmedos y secos del sistema, dado que estos puntos están más cercanos a la surgencia de agua que alimenta el canal de recarga de la Laguna Puilar.

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



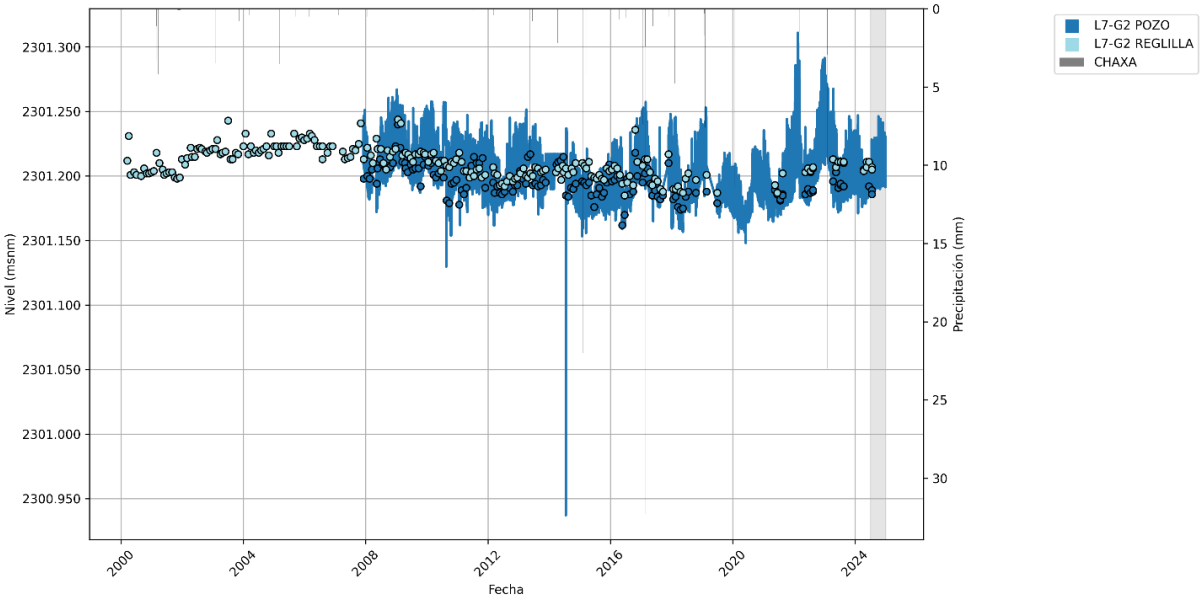
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



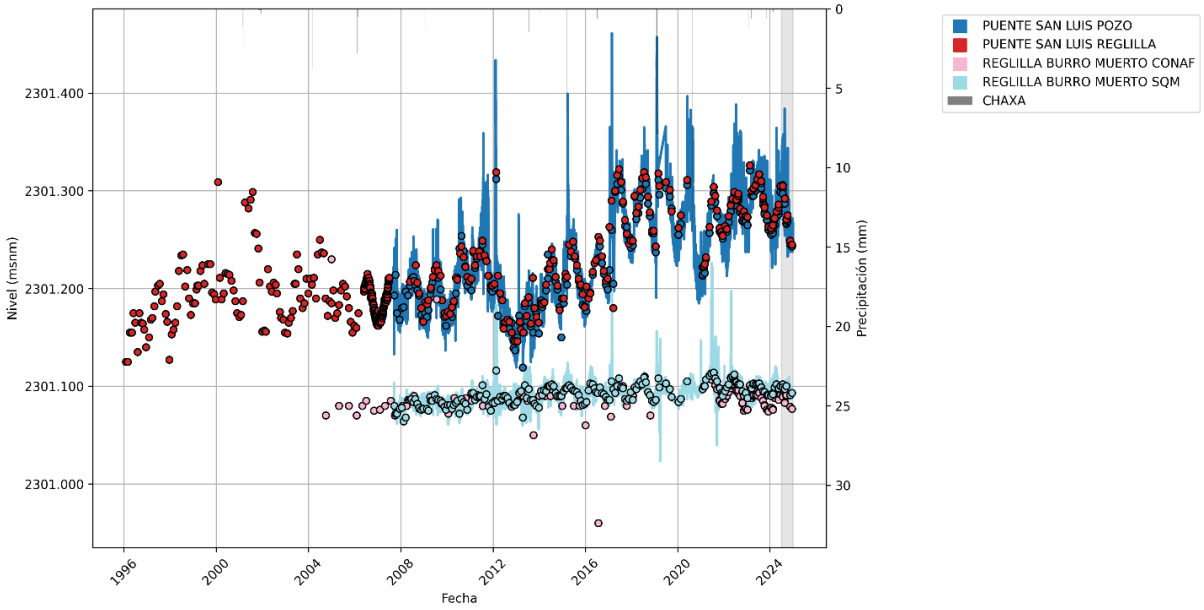
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 69. En cuanto a los puntos Puente San Luis, se reconoce un patrón de oscilación irregular, que mantiene la coherencia de máximos en invierno y mínimos en verano. Entre 2013 y 2017 los niveles han mantenido tendencia de acenso con una tasa de 3 cm/año, lo que podría estar relacionado con cambios en la dinámica del flujo de agua en el sector. Se ha observado un aumento en el área de represamiento que se evidencia en imágenes satelitales, lo que sugiere una posible alteración en la distribución del flujo. Este represamiento podría estar reduciendo el flujo pasante hacia las lagunas Chaxa y Barros Negros, por cambios en la redistribución de los flujos, que en algunos sectores parecen infiltrarse hacia el oeste del canal.

Desde 2017 a diciembre de 2024 los niveles no muestran una tendencia fuera del patrón oscilatorio. En las reglillas de Burro Muerto también se observa una tendencia de ascenso hasta el año 2017 o 2018, aunque en una tasa inferior. Desde el año 2021 a diciembre de 2024 existe una leve tendencia al descenso de 6mm/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.

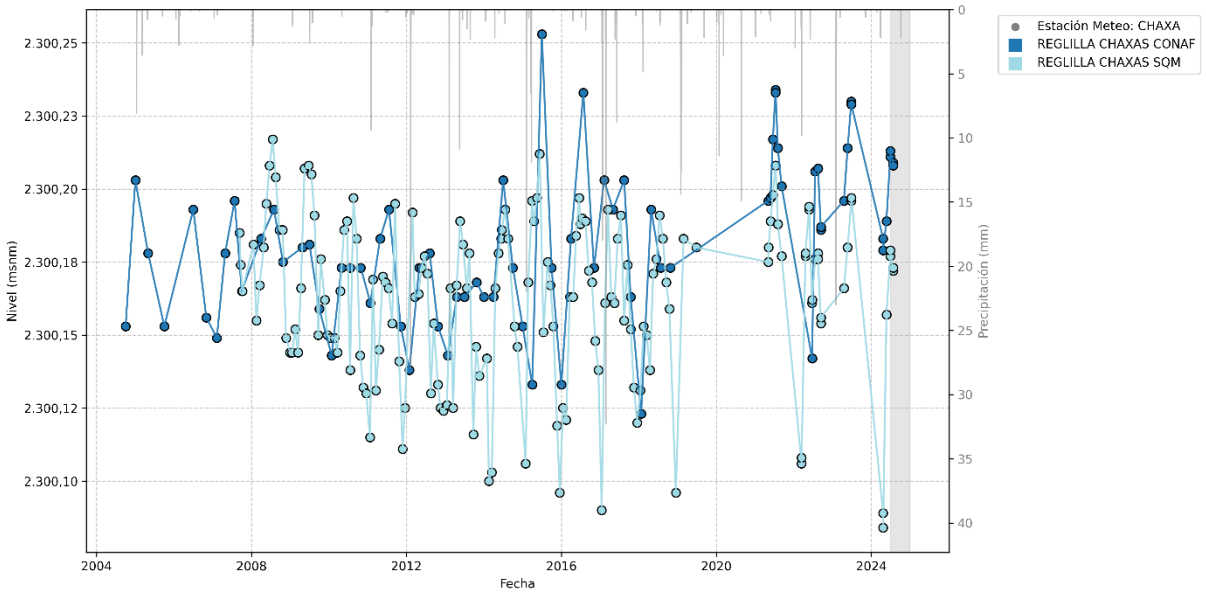
Los siguientes puntos de medición de nivel de agua superficial se encuentran a la salida de la Laguna Chaxa, aguas abajo del sistema: Reglilla Chaxas (SQM y CONAF). La frecuencia histórica de medición en el punto de SQM es mayor que en el de CONAF, lo que facilita la identificación de tendencias.

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 610). Desde 2017 hasta 2023, el nivel se mantuvo relativamente estable dentro del patrón oscilatorio, registrando amplitudes máximas de hasta 10 cm. En el último año, sin embargo, se evidencian dos mínimos históricos 5 cm por debajo de los mínimos anteriores.

Cabe mencionar que no se realizaron mediciones manuales entre junio de 2019 y mayo de 2021 (desde octubre de 2018 en el caso del punto de CONAF) debido a la combinación de restricciones de acceso impuestas por la pandemia de COVID-19 y el cierre temporal de la reserva.

Adicionalmente, cada año se implementa un cierre estacional de las reservas durante el período de nidificación de aves, lo que ha generado lagunas en los registros entre septiembre y marzo en los últimos años. Como resultado, la caracterización continua del comportamiento de los niveles del sistema presenta limitaciones. No obstante, en las mediciones más recientes, ambos puntos muestran valores dentro del rango de variabilidad histórica, lo que sugiere que el comportamiento en este entorno se ha mantenido estable.

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

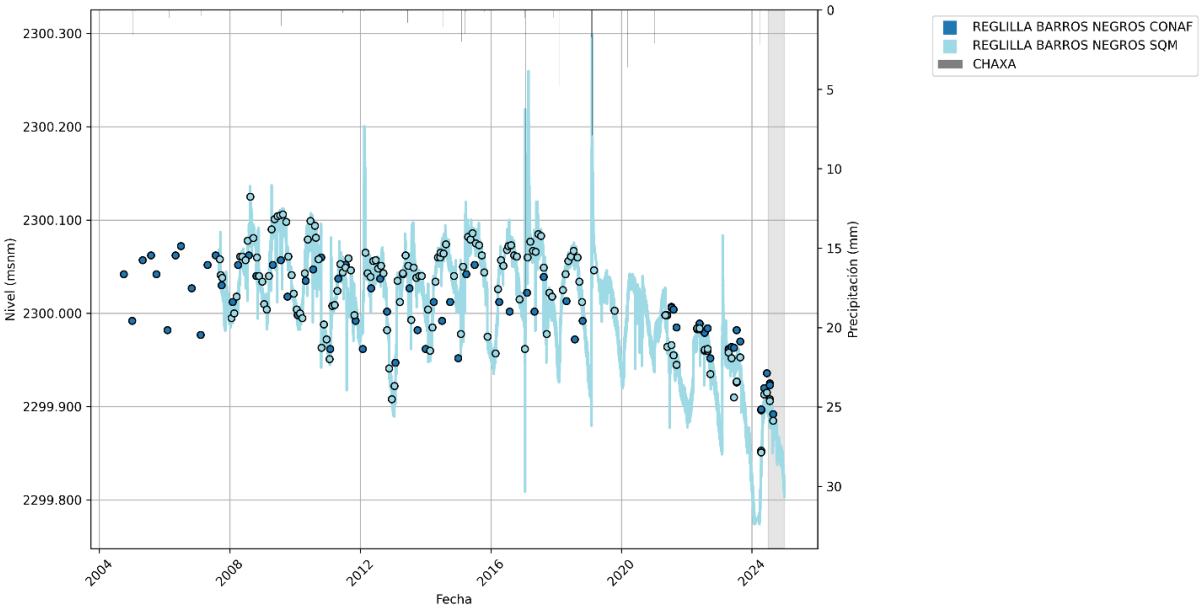


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Por otro lado, dentro de la Laguna de Barros Negros se encuentran los puntos de medición Reglilla Barros Negros SQM y CONAF (Figura 611). 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 el período previo a 2019, el nivel se encontraba en una cota promedio de 2.300,03 m s.n.m. Posteriormente, la cota descendió unos 11 cm y actualmente se encuentra en los 2.299,92 m s.n.m, resultando una tasa de descenso de 2,4 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 y descenso estacionales en invierno y primavera, respectivamente.

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



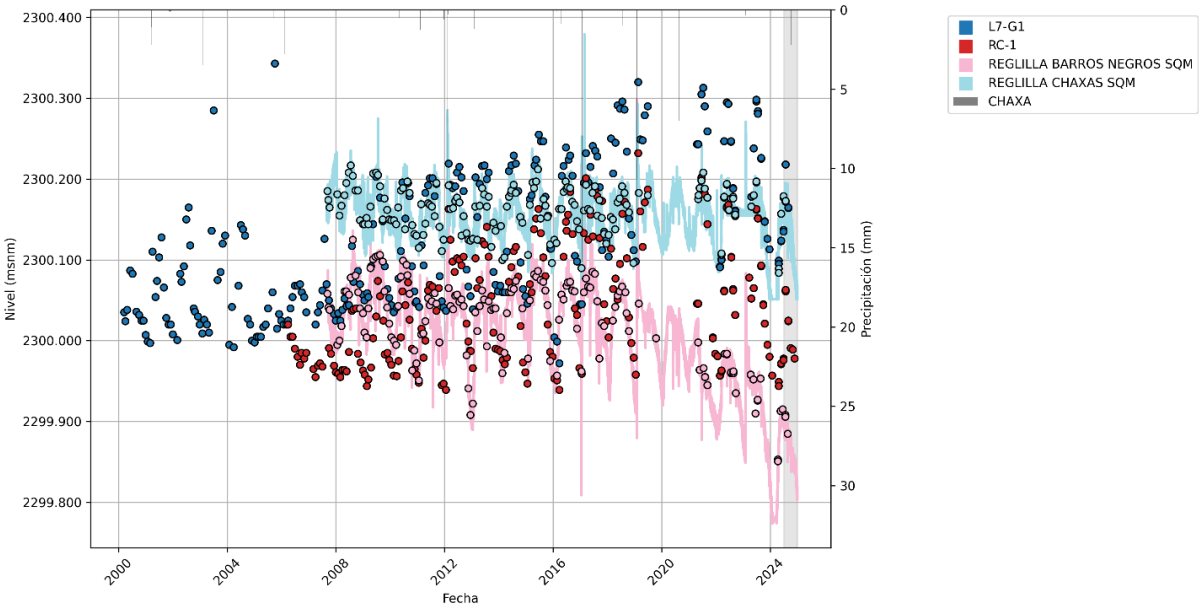
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 612). 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 en la actualidad una diferencia de nivel de 20 cm aprox, dado el descenso en los niveles de la laguna Barros Negros. Hasta el año 2019, este valor era de aproximadamente 10 cm. Esta diferencia en los niveles determina la dirección del flujo.
- El punto L7-G1, ubicado entre ambas lagunas, muestra una oscilación propia de la estacionalidad de la recarga directa, con máximos de unos 10 cm mayores que los registrados en Chaxas.

- En general, Los niveles en RC-1 y L7-G1 tienen una notoria tendencia al ascenso hasta el año 2019, momento en el cual comienzan a disminuir (RC-1) o se mantienen estables (L7-G1). Dado el aumento del nivel en RC-1 y del descenso en Barros Negros, las diferencias piezométricas se han incrementado, contrastando con el comportamiento previo, en el que dichas diferencias eran inexistentes o mínimas.

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



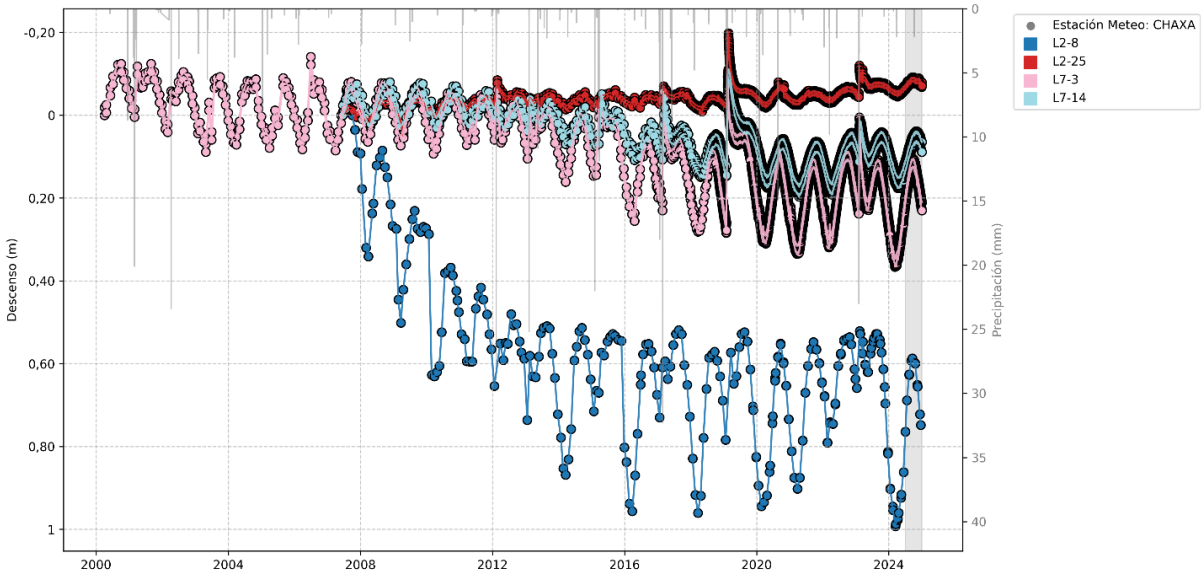
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 instantáneas 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 que no permiten apreciar el comportamiento a describir, en lugar de los niveles en la Figura 613 y Figura 614 se presentan los descensos.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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. Como se observa en la Figura 614, 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 2024, el L2-8 se ha estabilizado dentro del patrón estacional. 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. 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 desde julio de 2023. Será necesario analizar los datos de los próximos semestres para identificar si esto configura nuevas tendencias.

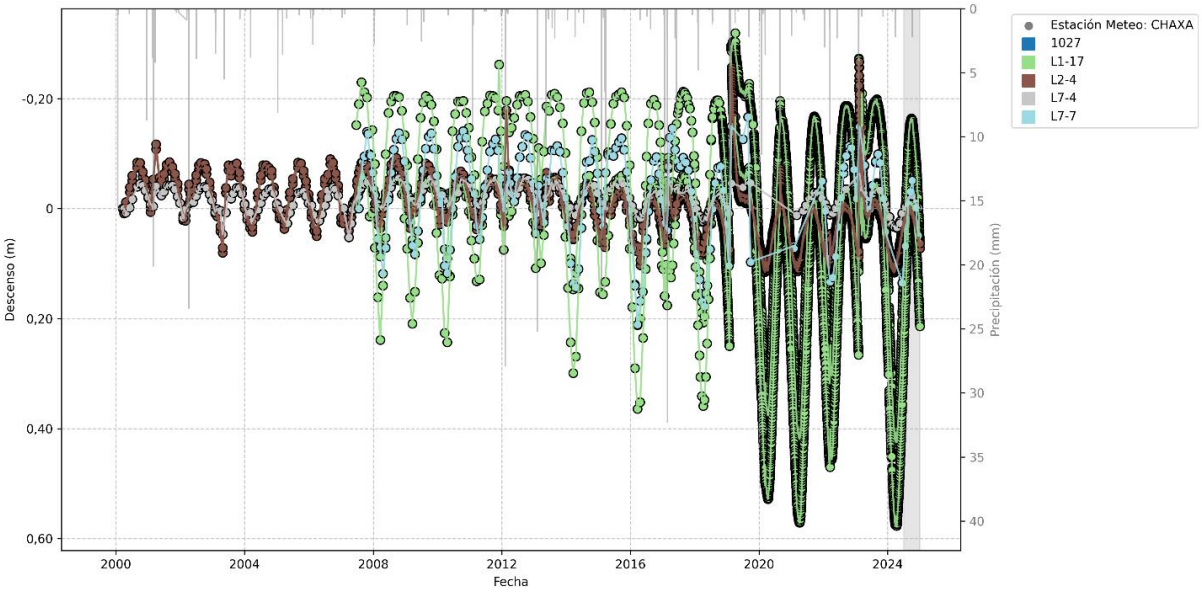
Desde el comienzo de su monitoreo hasta 2021, los puntos L7-3 y L7-14 han permanecido con un patrón estacional oscilatorio, con una tendencia de descenso aproximada de 3 cm/año. A partir de 2021, y hasta la actualidad, la tasa de descenso ha disminuido (promedio del orden de 1,5 cm/año), ligado probablemente a la reducción de las extracciones en los pozos Allana 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 614 se presentan los descensos calculados desde 2008 para este grupo.

En la Figura 614 se observa que el L7-4 es aquel que muestra una menor 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 segundo semestre de 2024 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. Sistema referencia WGS-84.

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. En la actualidad, continua estable dentro del rango oscilatorio y amplitud.

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. Actualmente este indicador no se encuentra activo, ya que los niveles volvieron a subir después del mínimo estacional de marzo de 2024.

Por otro lado, el punto L2-4, en el extremo sur de las Vegas de Carvajal (aguas abajo del L2-25 con tendencia ascendente), ha venido reproduciendo la estacionalidad esperada, con una amplitud de la oscilación estable. Se registraron máximos estacionales históricos a comienzos de 2019 y de 2023, asociados a eventos de precipitación. Su tendencia ha mostrado variaciones a lo largo del tiempo; entre

2007 y 2010, el nivel se mantuvo sin cambios significativos. Posteriormente, entre 2011 y 2019, presentó un descenso progresivo con una tasa promedio de 1 cm/año. En el período más reciente, desde 2019 hasta diciembre de 2024, los niveles no han mostrado una tendencia definida de ascenso o descenso, manteniéndose dentro del rango de variabilidad natural del sistema.

Finalmente, el punto 1027 ha mantenido prácticamente una misma amplitud estacional de unos 2 cm desde el inicio de su seguimiento en 1998, mostrando sucesivos mínimos estacionales y una leve tendencia de descenso del orden de 6 mm/año desde 2010.

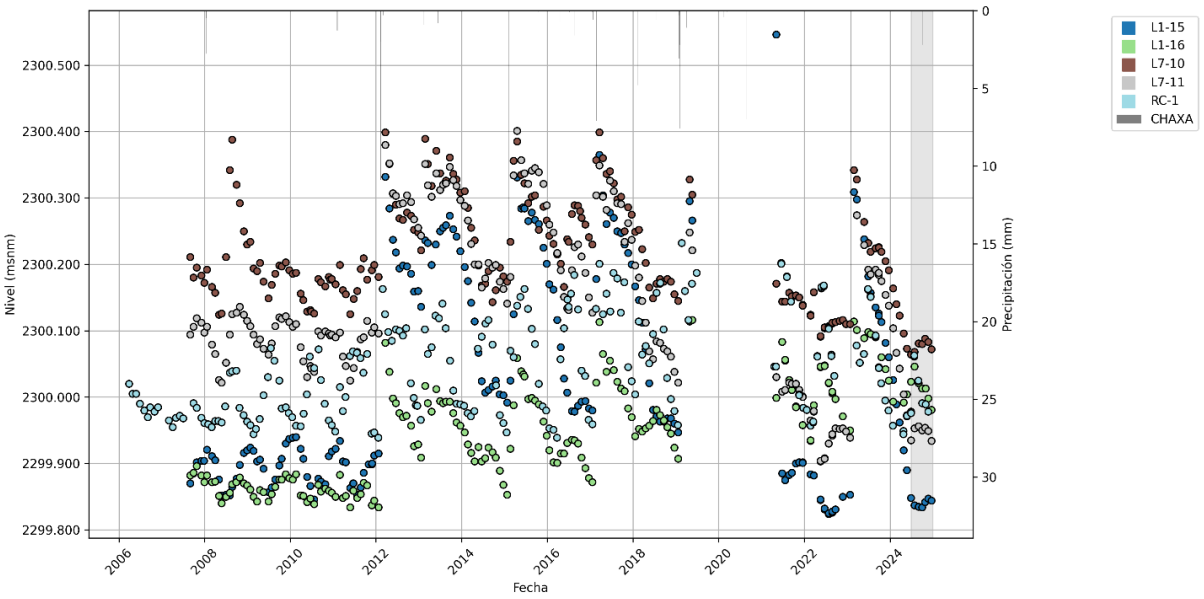
En términos generales se desprende que los valores mínimos estacionales se relacionan con la ausencia de precipitación durante ciertos años. Por ejemplo, en años secos (2008, 2009, 2010, 2014, 2016, 2018) se registraron los niveles a menores cotas, presentando oscilaciones de mayor amplitud. En efecto, 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 615), L1-9 y L1-10 (Figura 616) y, finalmente, L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5 (Figura 617). 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 y a 500 m del canal de Burro Muerto en dirección al borde este, respectivamente. Entre 2007 y 2011, un período caracterizado por condiciones secas, los niveles de ambos puntos se mantuvieron en cotas similares (Figura 615). Se observa que el punto L1-15 presenta una mayor sensibilidad a las precipitaciones, registrando aumentos más pronunciados en años con eventos pluviométricos. En el periodo 2012-2018, los niveles en L1-15 experimentan un ascenso significativo, situándose en promedio 20 cm por encima de los registrados en L1-16. A pesar de la respuesta a las precipitaciones, el punto L1-15 muestra una tasa de descenso de 3 mm/año, llegando a mínimos estacionales cada vez menores desde el año 2013. el punto L1-16, por el contrario, muestra un continuo ascenso desde esa misma fecha, con una tasa de 0,8 cm/año. Esto ha provocado que los niveles del punto L1-16 estén por encima de los niveles del L1-15 desde el año 2020 a la actualidad.

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)



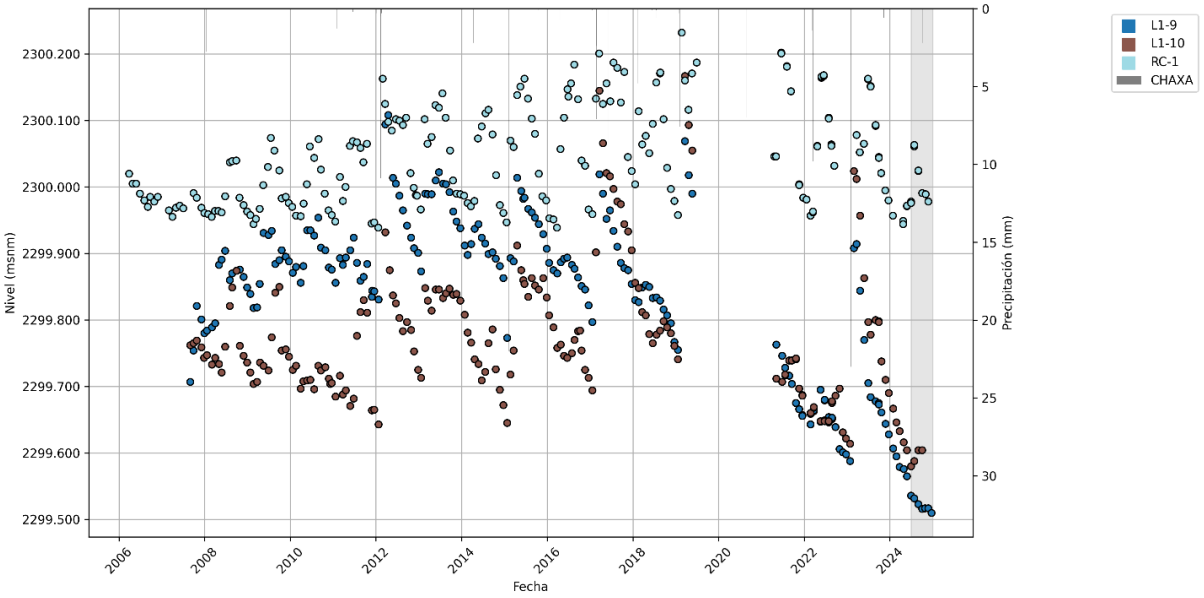
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 615). Entre 2012 y diciembre de 2024, en el punto L7-10 y L7-11 puntos se registró una tasa de descenso en torno a 1,4 cm/año y de 2,5 cm/año, respectivamente.

Por otro lado, los puntos L1-9 y L1-10 se encuentran a ~1 km del cuerpo principal de Barros Negros y sus niveles se presentan junto al punto RC-1 en la Figura 616, dado que este último punto de agua superficial permite identificar 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, tendencia que en el año 2012 se revierte mostrando un marcado descenso con una tasade 3,3 cm/año a pesar de las respuestas a los eventos de precipitación de 2017, 2019 y 2023,

ubicándose actualmente bajo los niveles del L1-10. El L1-10 también muestra tendencia al descenso de 4 cm/año desde el año 2017 hasta diciembre de 2024.

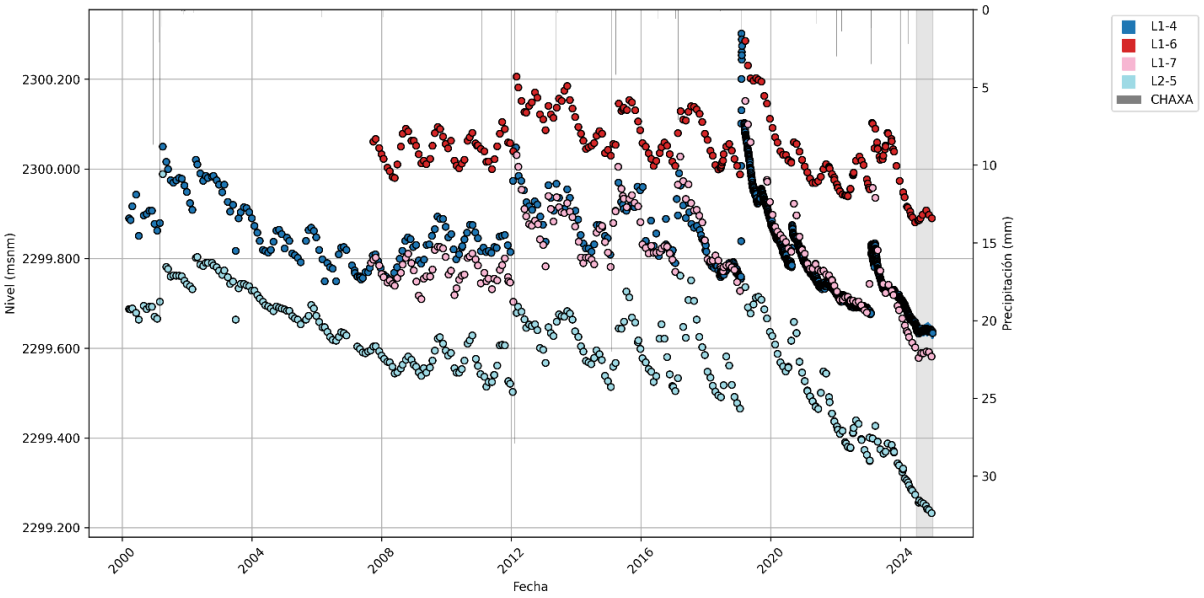
Figura 6-16: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10)



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 617). 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 un rápido descenso 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)

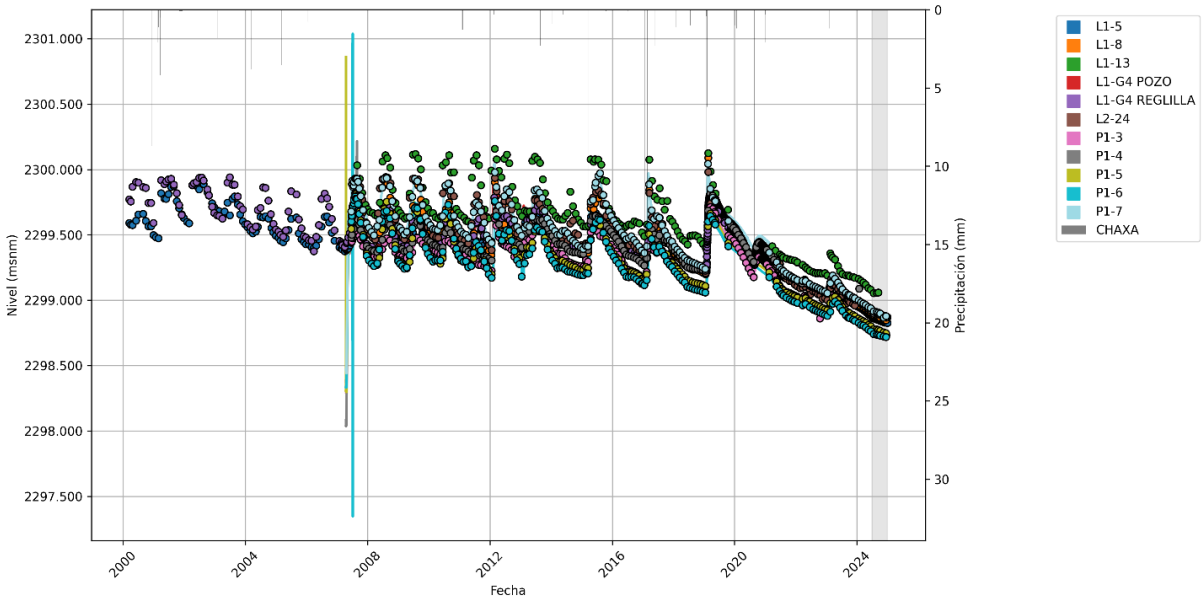


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 618) 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 619), debido a su ubicación aguas abajo, recibió recargas desde los desbordes por infiltración, mostrando *peak* de menor amplitud y más tardíos.

Los puntos que reciben aportes por recarga directa desde los desbordes 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 618). 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.

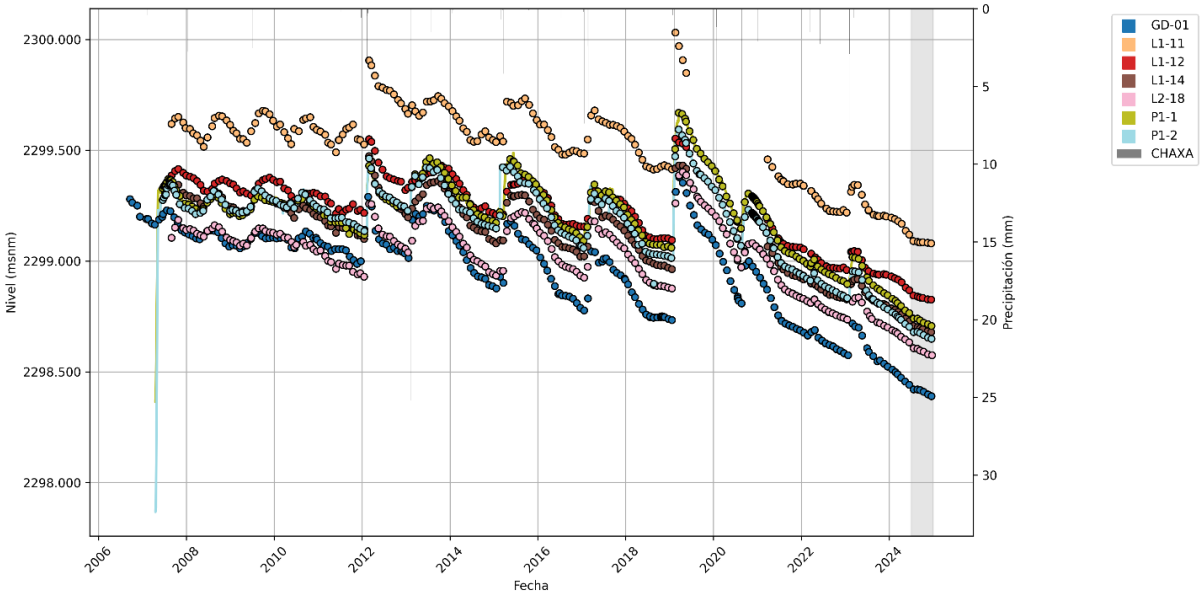
A partir de las lluvias intensas de 2012 (38,8 mm en dos días, según la estación de Chaxa), cambió la dinámica de desbordes de Barros Negros (IDAEA-CSIC, 2018)[38]. En términos generales, los niveles de agua han mostrado respuestas más evidentes a los eventos de precipitación. Sin embargo, en los años secos posteriores (2014, 2016 y 2018), estos pulsos fueron cada vez más tenues, produciendo cada vez menos desbordes hacia este sector. Actualmente, los puntos de monitoreo reflejan exclusivamente los niveles del acuífero, sin el aporte superficial que antes provenía de 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 de forma manual durante la pandemia por COVID-19 (desde octubre 2019 y hasta febrero 2021). teníaNo obstante, todos los puntos, considerando el segundo semestre de 2024, muestran la misma tendencia de descenso, de unos 4 cm/año, a pesar de 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 619). 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 un rápido descenso hacia su nivel base previo a la precipitación. 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 cambio en la dinámica tras las lluvias de 2012 también ha afectado al grupo de puntos conformado por L2-9, L2-10, L2-15, L2-16, L2-21, L2-23, P2-1, P2-2, P2-3, P2-4 y P2-5, influenciados históricamente por el Desborde Sur de la Laguna Barros Negros. Desde 2012, la frecuencia y magnitud de los desbordes hacia el sector Cola de Pez han disminuido, desplazando la descarga hacia el sur de Barros Negros (IDAEA-CSIC, 2018). 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.

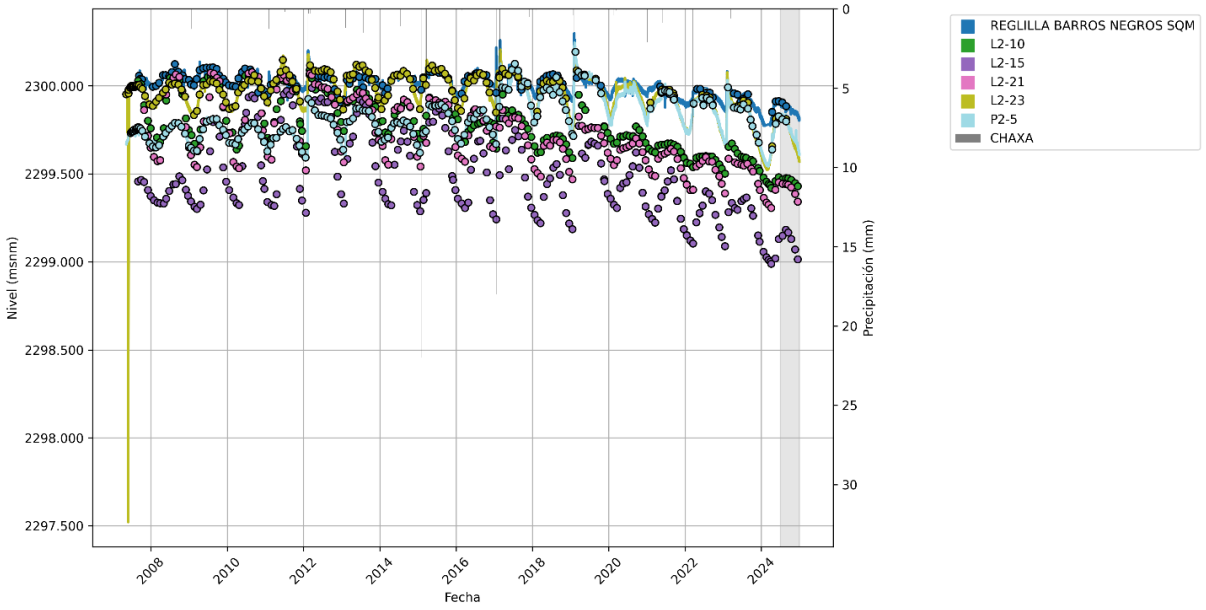
El primer grupo (L2-23, P2-5, L2-21, L2-10 y L2-15) se caracteriza por vincularse estrechamente al nivel de la reglilla de Barros Negros (Figura 620). Inicialmente el punto L2-23 presentaba diferencias con respecto a la reglilla, pero a partir de 2010, alcanzó una cota y una amplitud de oscilación similares, lo que sugiere una expansión hidráulica de la laguna hacia este sector. Un comportamiento análogo se observa en el punto P2-5. Entre 2007 y 2017, sus niveles oscilaron por debajo de la cota de la laguna, pero a partir de 2017 comenzaron a coincidir con los máximos estacionales y, desde 2018, han fluctuado en torno a la misma cota. Esto indica que la lámina de agua de la laguna Barros Negros ha mantenido un perfil prácticamente horizontal, desde la Reglilla Barros Negros hasta el punto P2-5. Estos dos puntos mantienen un descenso sostenido desde 2018, alcanzando mínimos y máximos estacionales cada vez menores.

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)

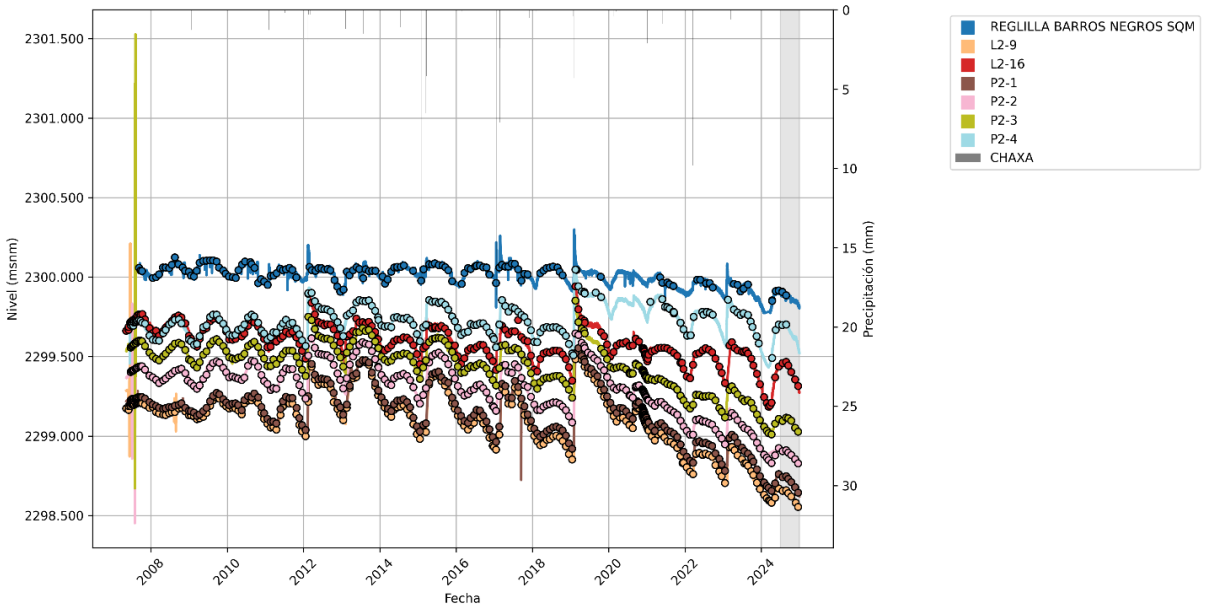


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 621). 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 diciembre 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)

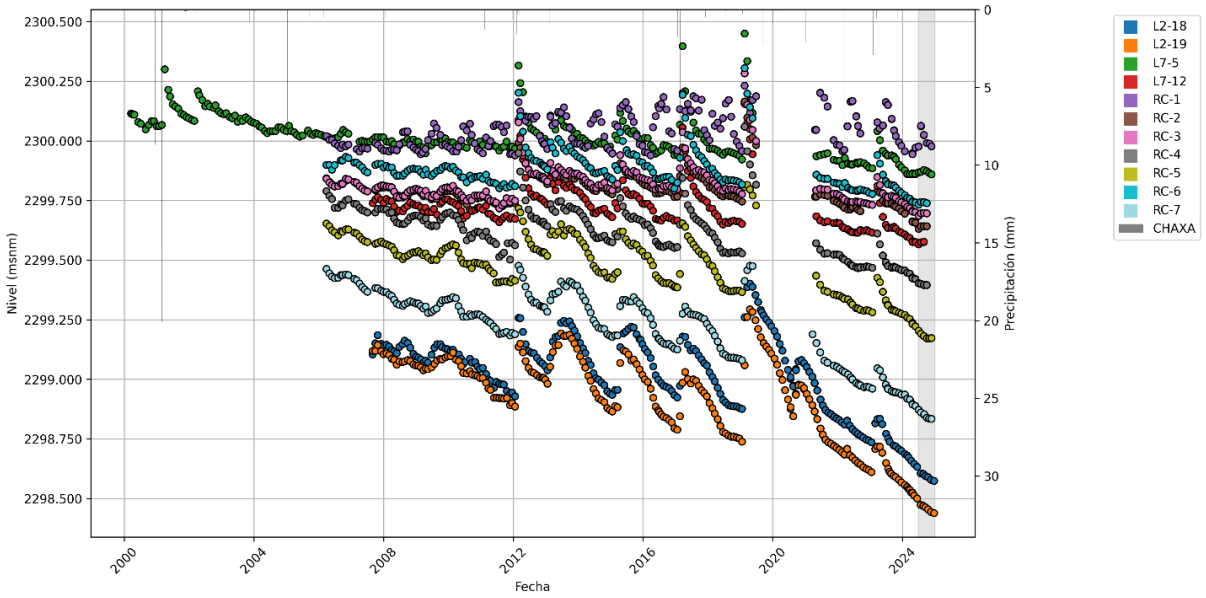


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 622 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 tendencia descendente en sus niveles mínimos, pendiente que aumenta en los puntos más cercanos 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 segundo 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 6.1.10 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

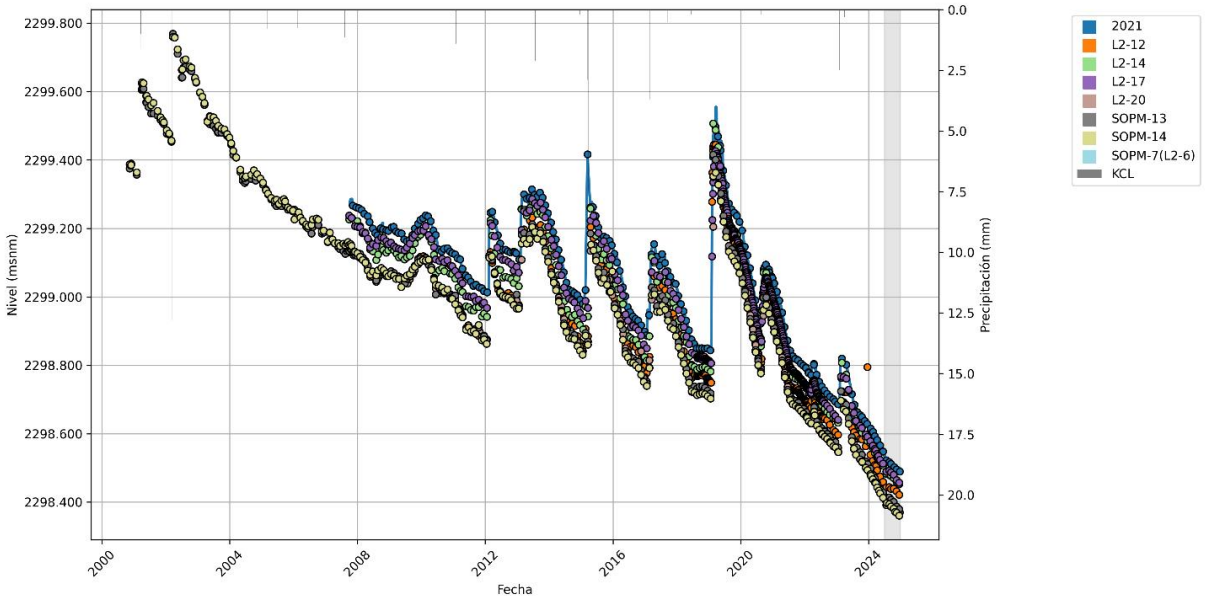
En el Núcleo del Salar se encuentran los puntos de monitoreo SOPM-7 (L2-6), SOPM-13, SOPM-14, L2-14, L2-12, L2-17, L2-20 y 2021. La Figura 623 muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos.

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 resultado de los episodios de precipitación. Adicionalmente, a la tendencia preoperacional de descenso que 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 lacustre

El conjunto de superficies lacustres del sistema Soncor está compuesto por las lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros , junto con sus respectivos desbordes. 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 624 muestra la evolución temporal de la superficie lacustre de Puilar. Los datos satelitales correspondientes al segundo semestre de 2024 indican un aumento del 0,6% en el área del cuerpo principal de Puilar entre julio y octubre de 2024. Al comparar la medición de julio de 2023 con la de julio de 2024, se registra una disminución de 0,9% en el área, mientras que la comparación de octubre de 2023 con la de octubre 2024 revela una disminución de 0,2% 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 m^2. Posteriormente, se observa una disminución hasta alrededor de 62.000 m^2 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.

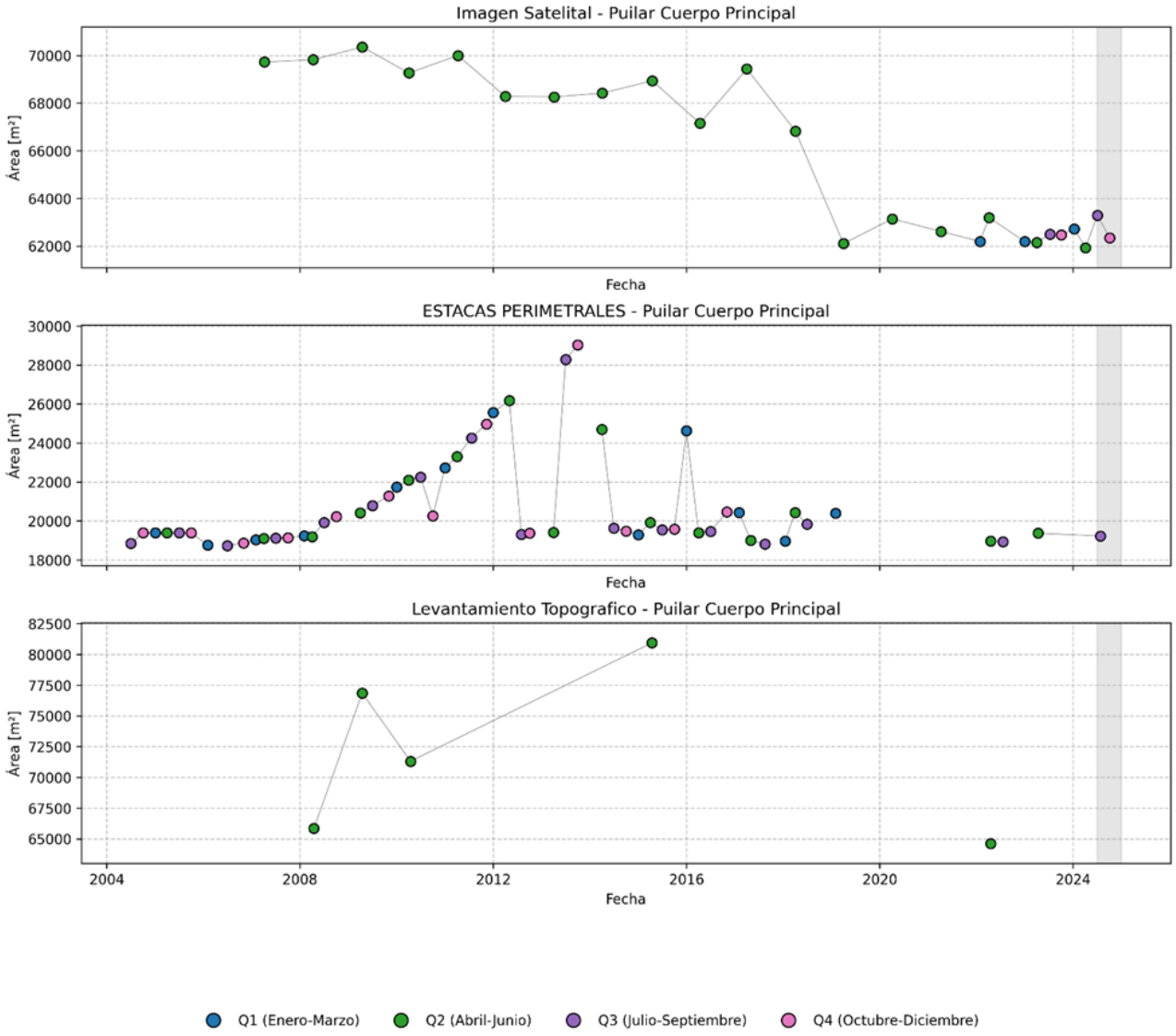
La Figura 625 presenta la evolución temporal de la superficie lacustre del cuerpo principal de Barros Negros, donde se observa que entre los años 2007 y 2021, esta superficie se mantiene alrededor de

1.050.000 m^2. Los datos satelitales correspondientes al segundo semestre de 2024 indican un aumento del 0,8% en comparación con el último registro del semestre pasado. Al comparar la medición de julio de 2023 con julio de 2024, se registra una disminución del 5,9% en el área, mientras que la comparación de octubre de 2023 con octubre 2024 revela una disminución del 5,1% 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.

La Figura 626 muestra la evolución temporal de las zonas de inundación y desbordes de la laguna Barros Negros. Los datos satelitales del segundo semestre de 2024 indican una reducción del 20% en el área del Desborde Sur entre julio de 2023 y julio de 2024, y una disminución del 22% entre octubre de 2023 y octubre de 2024. En cuanto a las zonas de inundación, la denominada "Cola de Pez" registra un aumento del 8% entre julio de 2023 y julio de 2024, mientras que en octubre de 2024 se observa una disminución respecto a octubre de 2023. La zona Inundación II experimenta una reducción del 94% en julio de 2024 en comparación con el mismo mes de 2023. Por otro lado, la zona Inundación III tenía una superficie de 648 m^2 en julio de 2023, aumentando a 15.107 m^2 en julio de 2024; sin embargo, en octubre, se evidencia una disminución del 98% respecto al año anterior. Desde 2022, las mediciones se realizan con una frecuencia trimestral, permitiendo identificar un patrón estacional en las zonas de desbordes, con las mayores superficies generalmente observadas en el segundo y tercer trimestre del año. La única excepción a esta tendencia es la zona "Cola de Pez", que no sigue este comportamiento estacional.

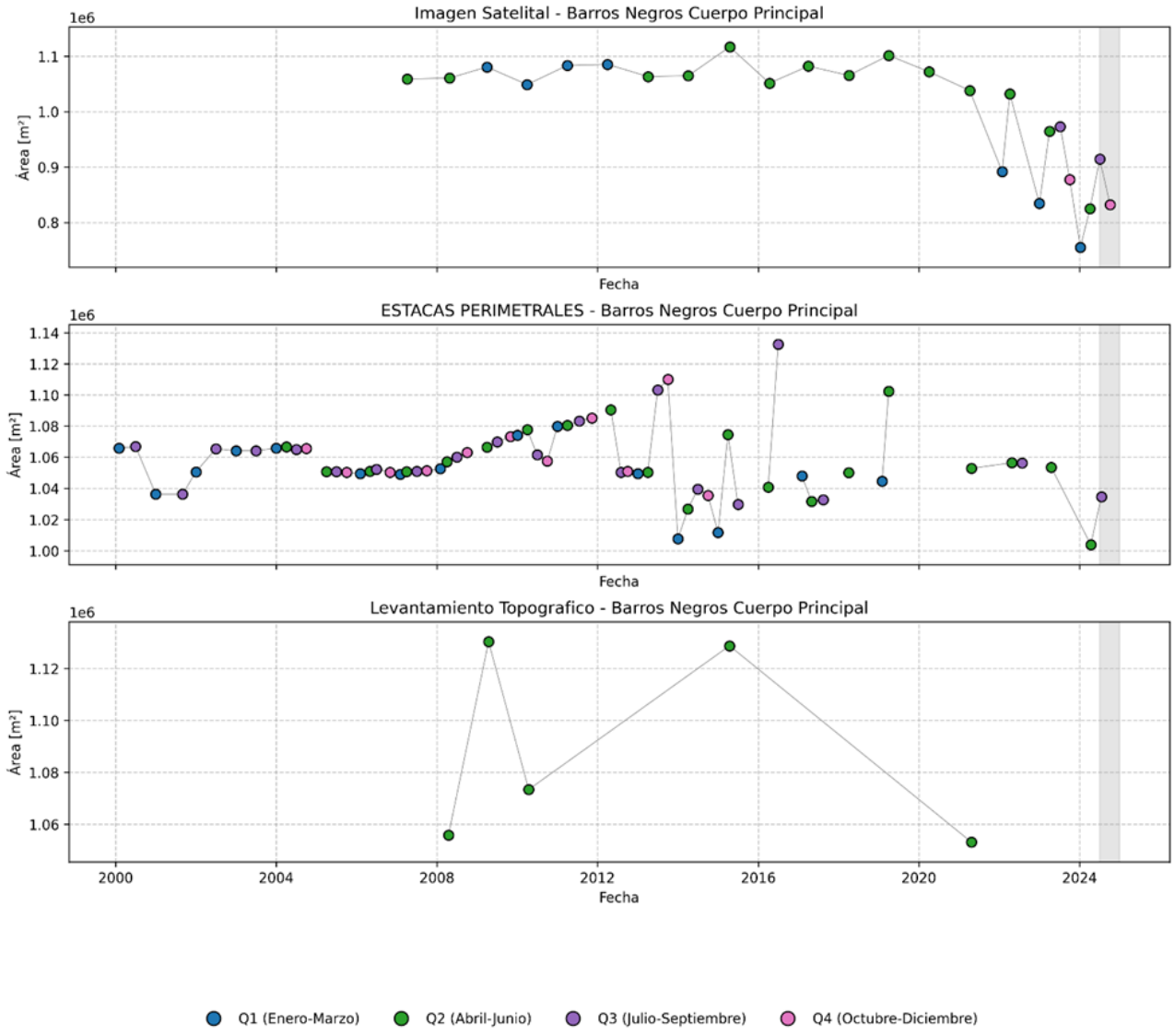
La Figura 627 muestra la evolución temporal de la superficie de laguna Chaxa. Los datos satelitales indican que existió una disminución del 2,4% en la superficie de la laguna Chaxa entre julio y octubre de 2024. Al comparar la medición de julio de 2023 con la de julio de 2024, se registra un aumento del 0,1% en el área, mientras que la comparación de octubre 2023 con octubre de 2024 revela un incremento del 1,8% 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 6-24: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar



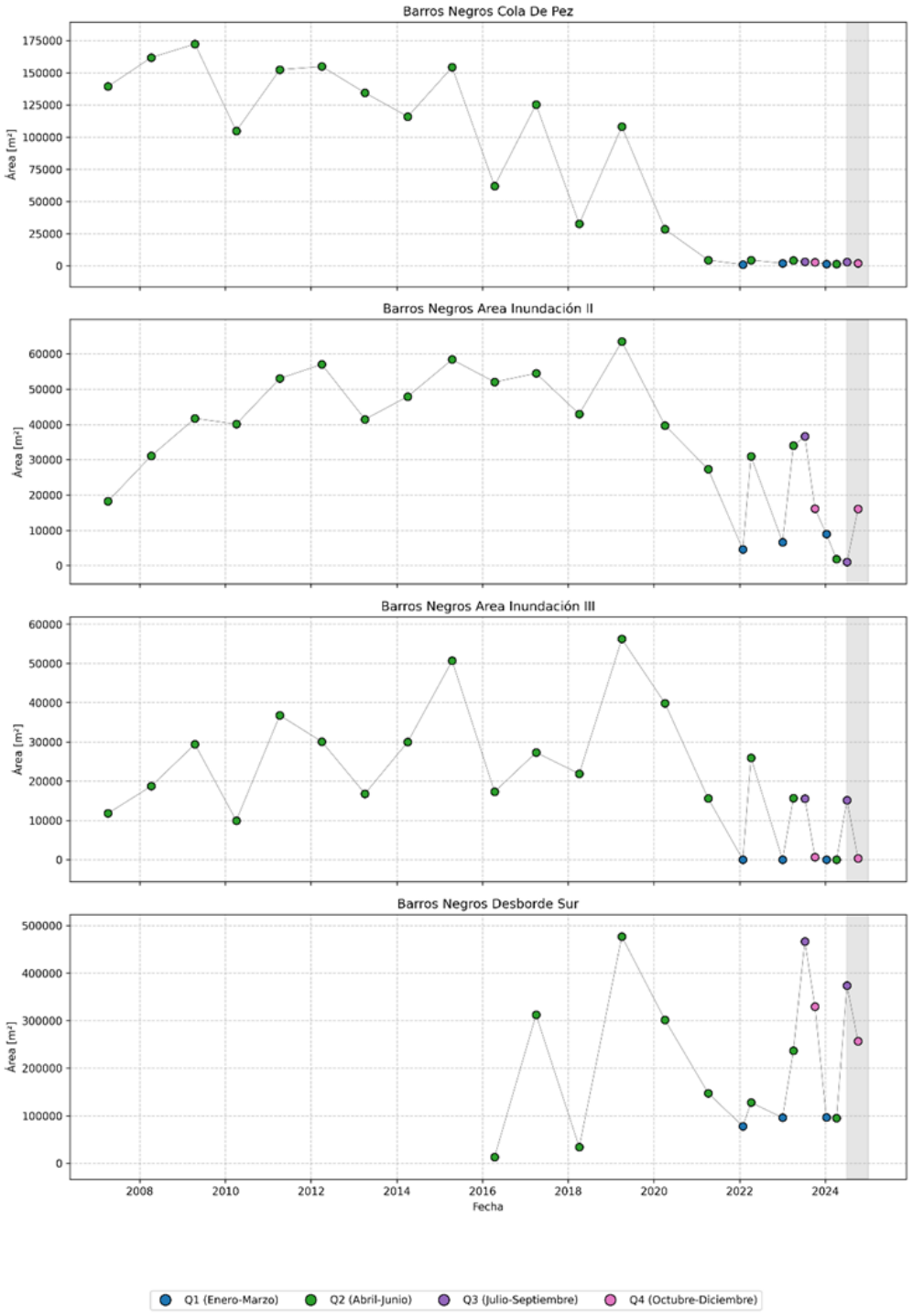
Fuente: Elaboración propia

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



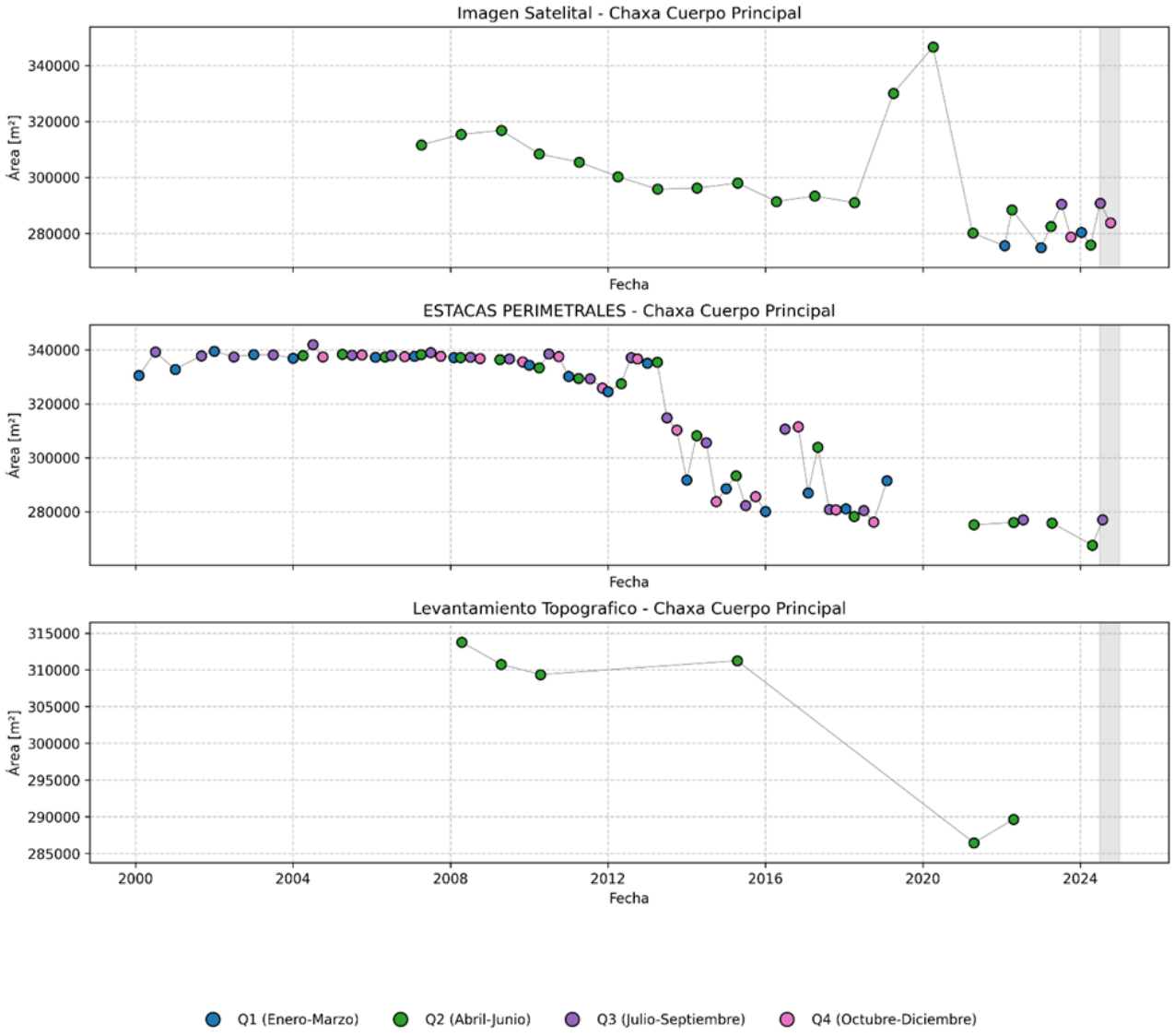
Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia

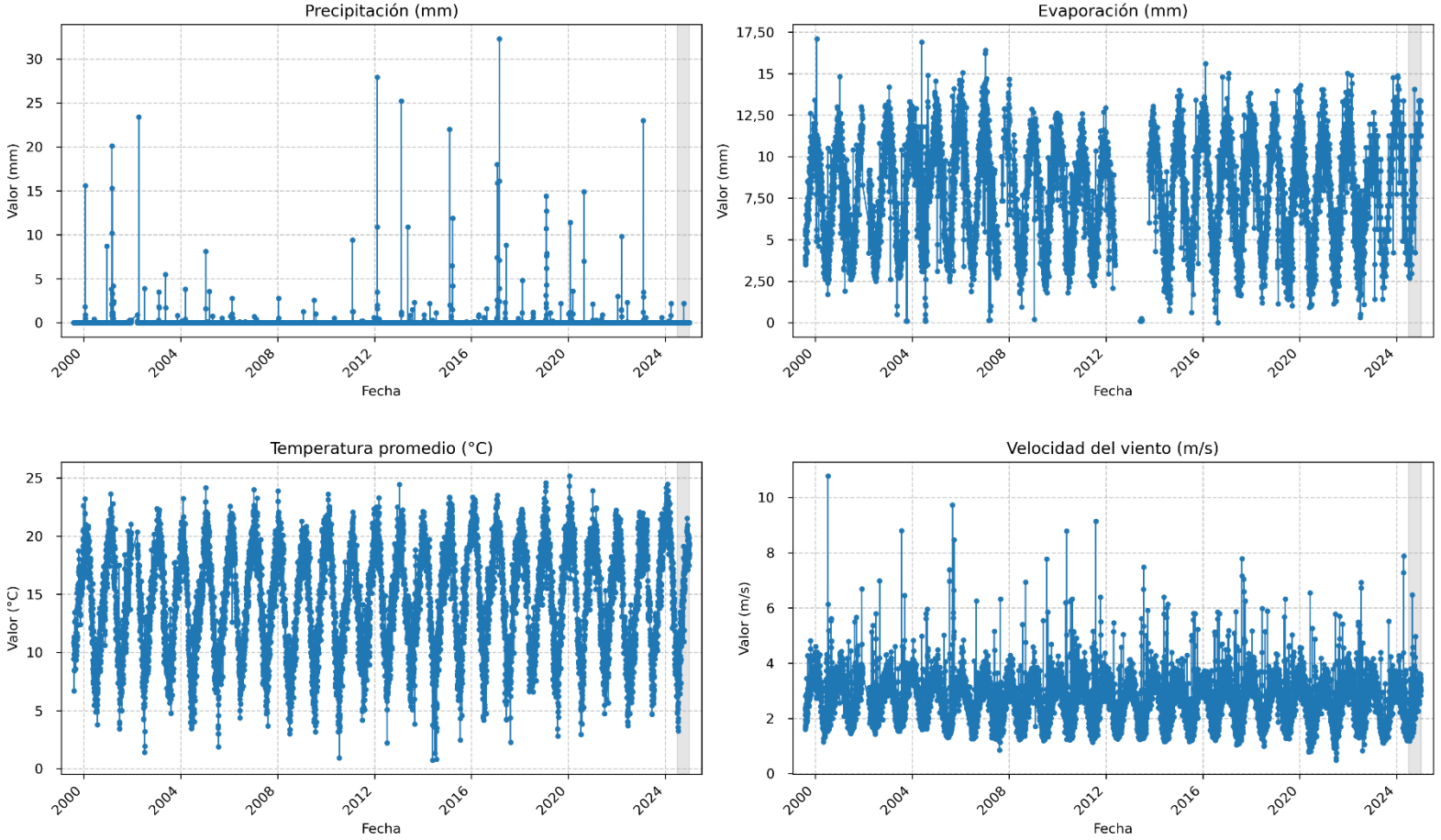
6.1.1.3 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación Chaxa considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, evaporación promedio, velocidad del viento promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, dirección del viento promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, cuyas series históricas se presentan en la Figura 628 y Figura 629. 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 acumulada histórica muestra un cambio de tendencias, diferenciándose en dos épocas según eventos de precipitación. El primero, entre mayo 2007 y diciembre 2011, puede considerarse una época seca. Esto dado que se registraron pocos eventos de precipitación, con un máximo de 9,40 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 32,30 mm/día el día 25 de febrero de 2017. Durante el segundo semestre del 2024 se observaron solo un evento de precipitación con un total acumulado de 2,20 mm.

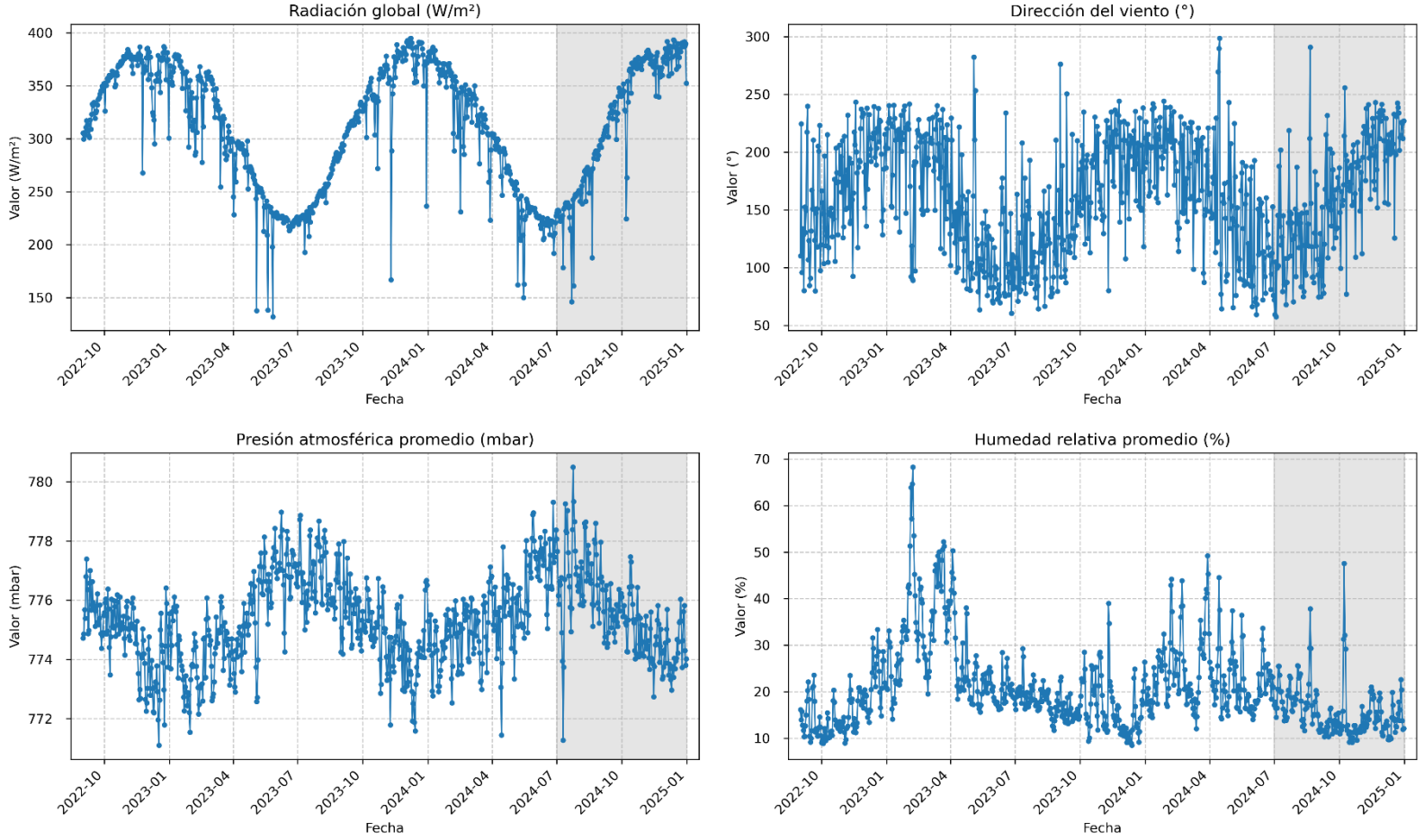
A nivel histórico, la evaporación, la temperatura y la dirección del viento presentan una oscilación anual, con máximos en verano. Cabe señalar que aquellos pozos que tienen una periodicidad anual en sus niveles se encontrarían influenciado por la evaporación y la temperatura del sector. La temperatura promedio para el segundo semestre de 2024 fue de 14,31 °C, que corresponde a 0,10°C bajo al promedio histórico (14,44°C) hasta el 30 de junio de 2024. Por otra parte, la evaporación promedio durante el primer semestre de 2024 fue de 8,90 mm/día en la bandeja de evaporación de Chaxa. Esto equivale a 1,10 mm/día por sobre del promedio histórico (7,80 mm/día). Respecto a la velocidad del viento el promedio durante el segundo semestre de 2024 fue 2,50 m/s, que corresponde a 0,20 m/s menos que el promedio histórico de hasta junio del 2024 (2,70 m/s). La humedad relativa a nivel histórico presenta una oscilación anual marcada, con un promedio histórico de 18,8% hasta junio de 2024, mayor que el promedio durante el segundo semestre de 2024, que fue de 15,6%. La presión atmosférica promedio durante el segundo semestre de 2024 fue de 775,5mbar, que corresponde a 0,7mbar más que el promedio histórico de 774,8mbar hasta junio de 2024. La radiación global en el segundo semestre de 2024 registró un valor promedio de 319,4 W/m2, mayor en comparación al promedio histórico bajo los 50 W/m2.

Figura 6-28: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-29: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación Chaxa



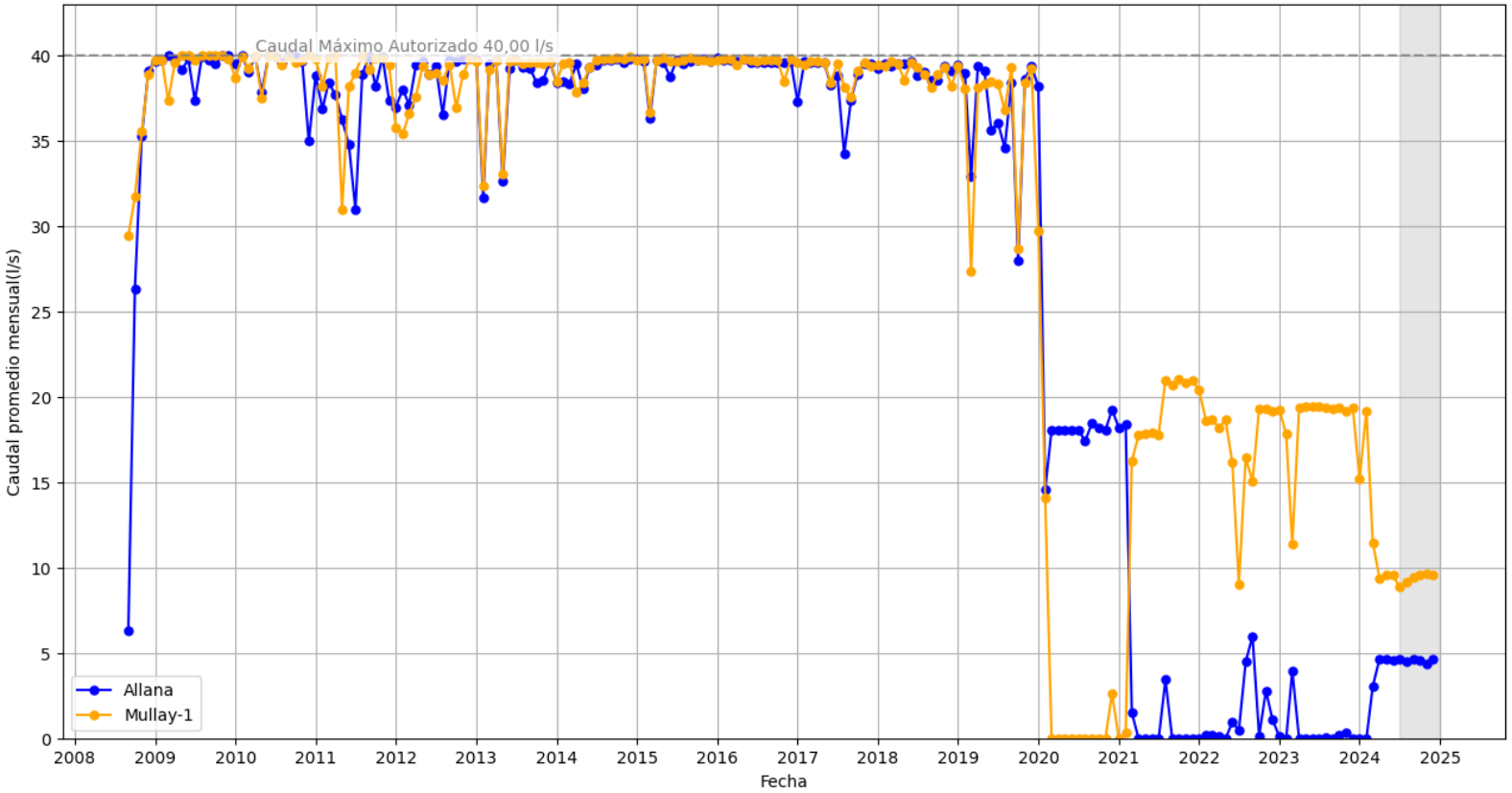
Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4 Caudal bombeado agua

El registro de los caudales históricos extraídos desde los pozos Mullay-1 y Allana se muestran en la Figura 630. 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. En marzo de 2020, tras decisiones operacionales, el pozo Mullay-1 cesó su bombeo, mientras que el Allana 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. 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 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 continuó con una extracción reducida, alcanzando un caudal máximo de 3,9 L/s.

Durante el segundo semestre de 2024, los caudales extraídos por Mullay-1 y Allana han permanecido por debajo del límite máximo aprobado, con flujos promedios semestrales de 9,5 L/s y 4,95 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 segundo semestre de 2024 en el Sistema Soncor, tanto en aguas superficiales como subterráneas en comparación con su registro histórico.

El modelo conceptual del 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 Límites Detección o Límites de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico los puntos de monitoreo, 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, L2-5, L1-4, L1-5, L1-6, L2-3, L7-3, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla y L7-G1[8,9], y corresponden a: conductividad eléctrica terreno, densidad terreno, pH terreno, conductividad eléctrica, densidad, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales (Figura 631, Figura 632 y Figura 633).

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 µS/cm en el pozo L2-4, mientras que los pozos L2-3 y L7-3 presentan valores máximos de 4.300 µS/cm y 10.510 µS/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 6,84 a 8,63 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

[8] En el informe Nº5 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 breve análisis.

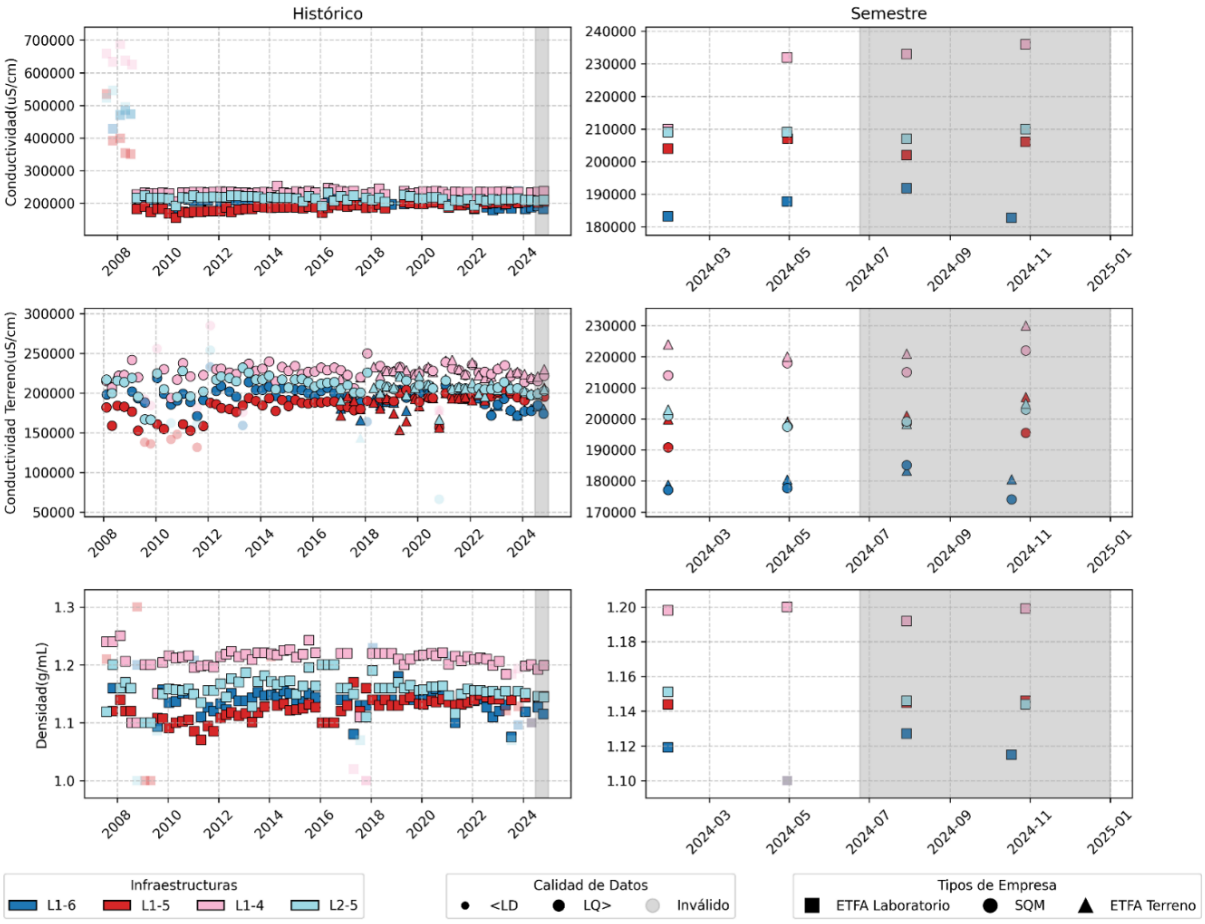
[9] En el informe Nº 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Life Sciences S.A hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado 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 Nº26).

atribuirse a los mayores eventos de precipitación ocurridos 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 de conductividad eléctrica 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 µS/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 227.354 mg/L y 243.393 mg/L, respectivamente, en los puntos más cercanos al núcleo. El pH de terreno y laboratorio se encuentran en el rango de 6,82 – 8,37. Se ha observado desde enero 2022 a la fecha que el pH de laboratorio presenta una leve tendencia al alza, no así el de terreno. El pH válido para este análisis es el de terreno, ya que las mediciones de pH de laboratorio se hacen después del Holding Time del laboratorio.. La densidad presentó valores en el rango entre 1,00 – 1,26 g/mL. 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. Los valores de 2024-1 y 2024-2 continúan con dicha baja, pero no fueron validados.

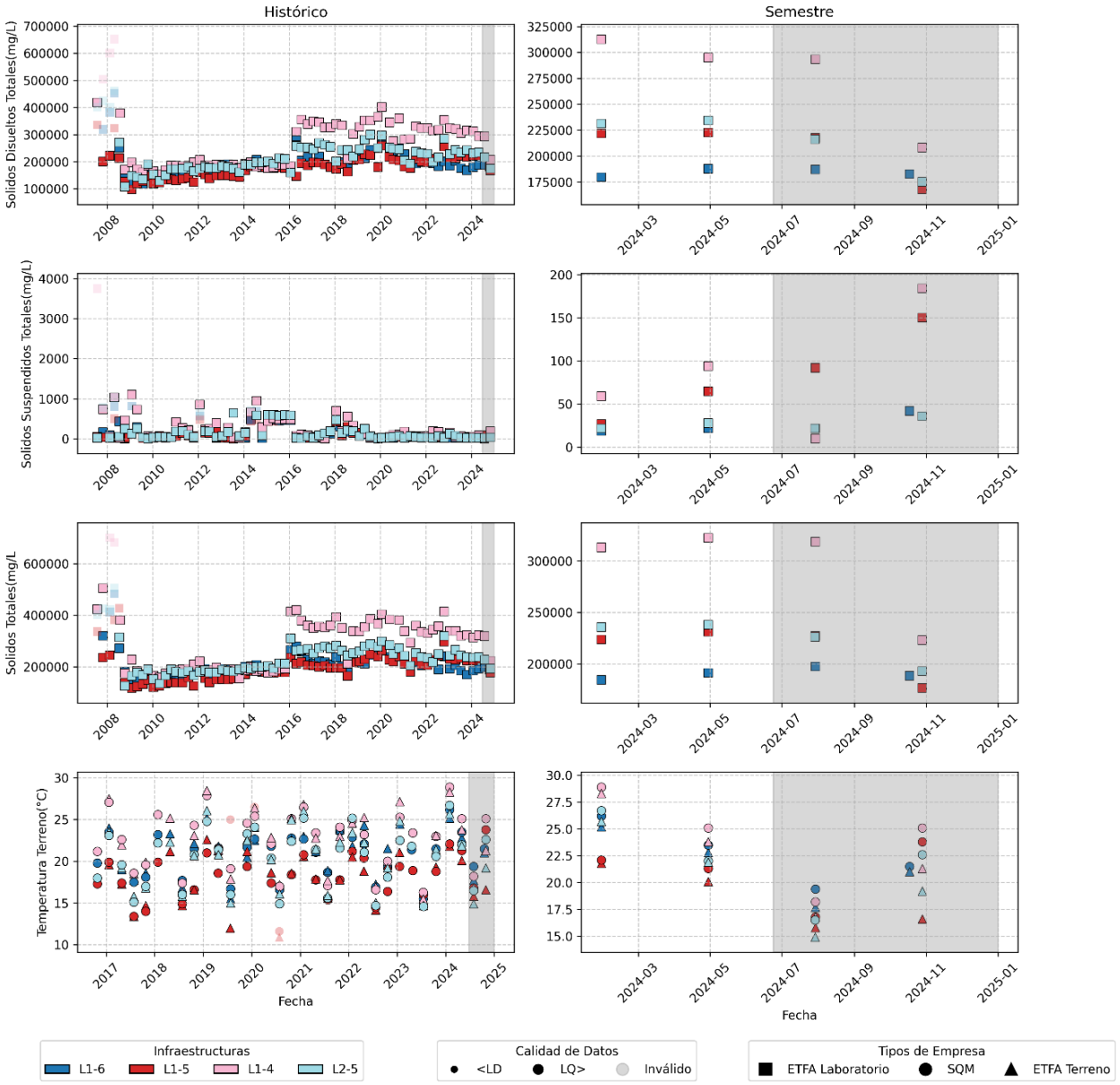
El punto L1-4 presenta características de salmuera (densidad de terreno >1,20 g/mL, sólidos disueltos totales laboratorio >200.000 mg/L y conductividad eléctrica terreno > 200.000 µS/cm). Los puntos L2-5 y L1-6 presentan registros de conductividad eléctrica de terreno promedio del orden de 200.000 µS/cm y densidad de terreno un poco menor que el L1-4 (1,11 – 1,20 g/mL). Eso se debe a que se encuentran 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



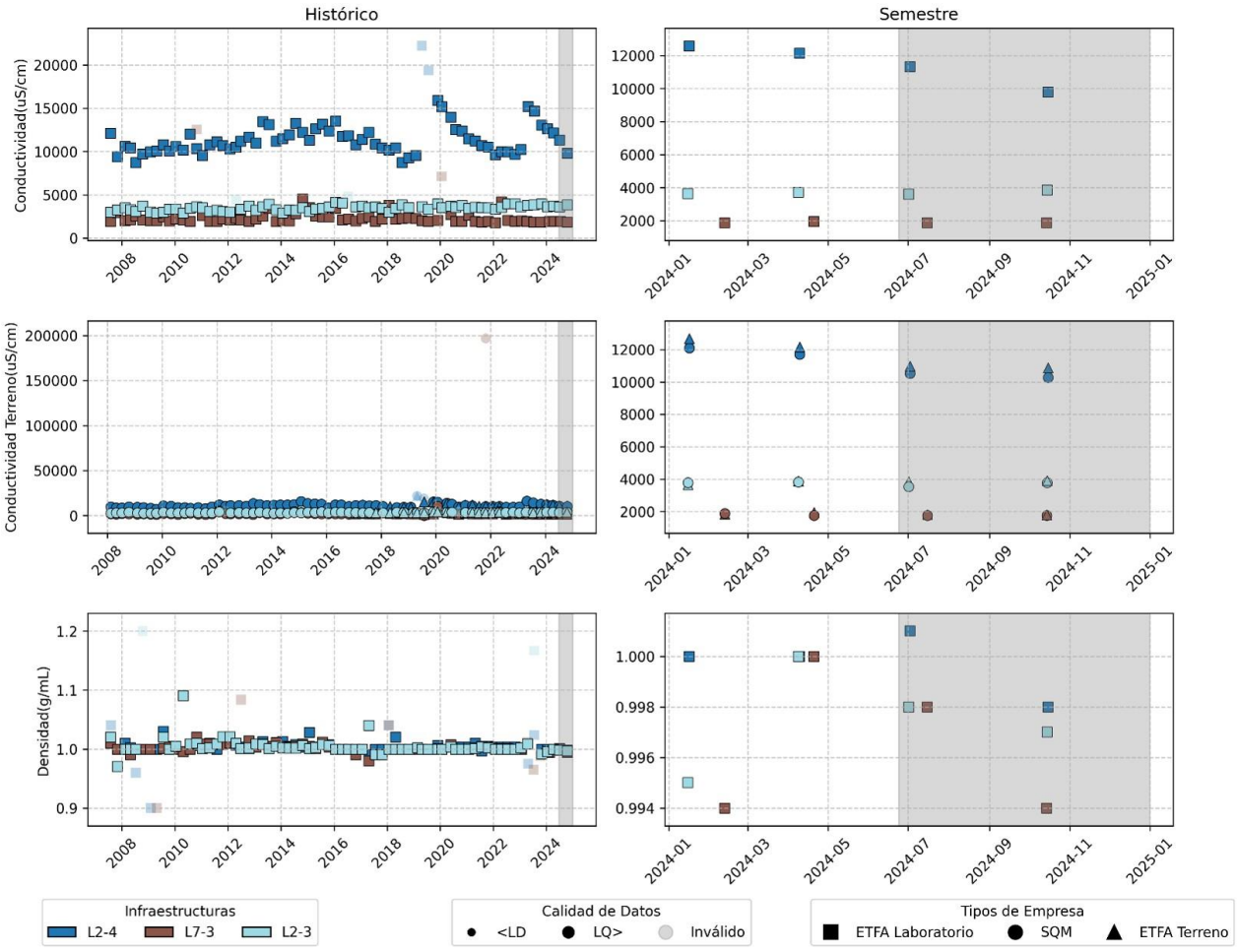
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 631: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L1-4, L1-5, L1-6 y L2-5 (continuación)



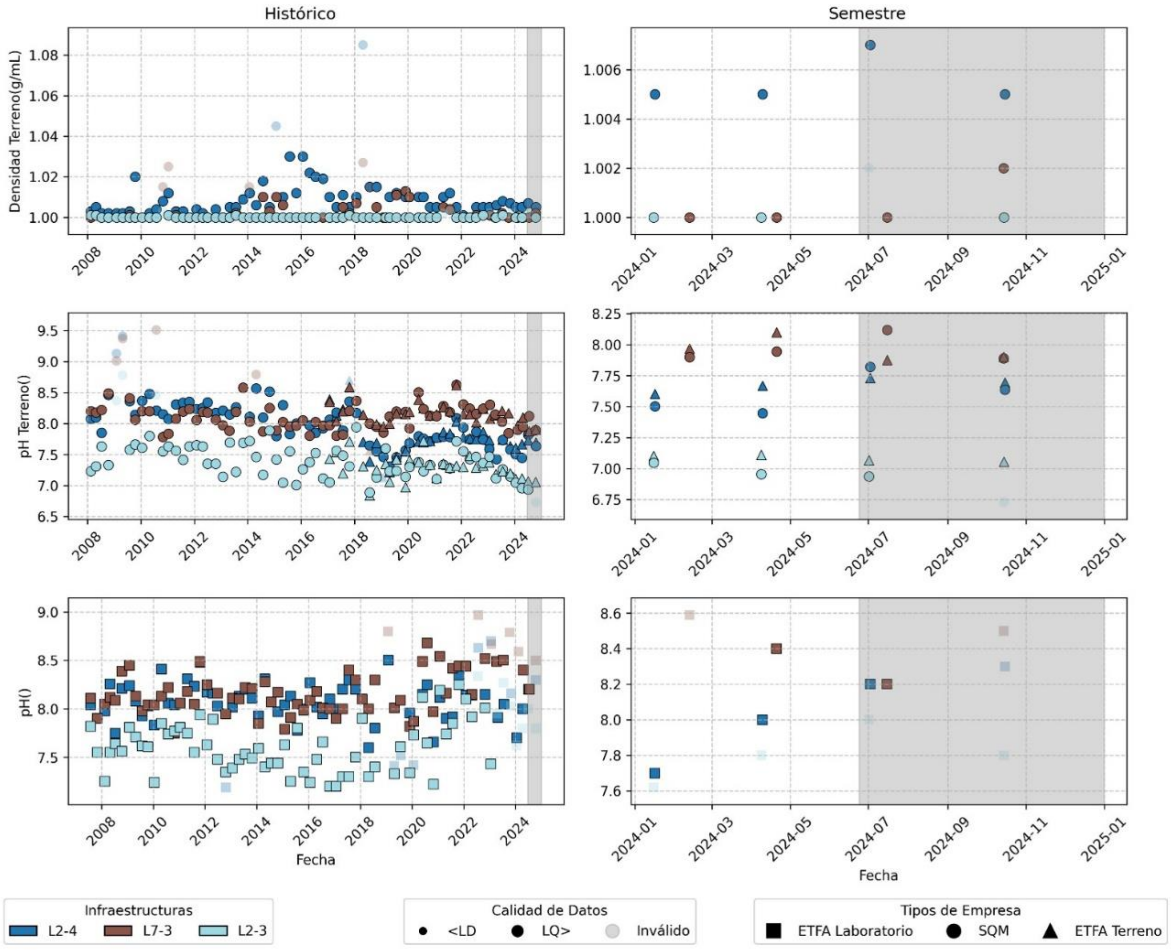
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

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



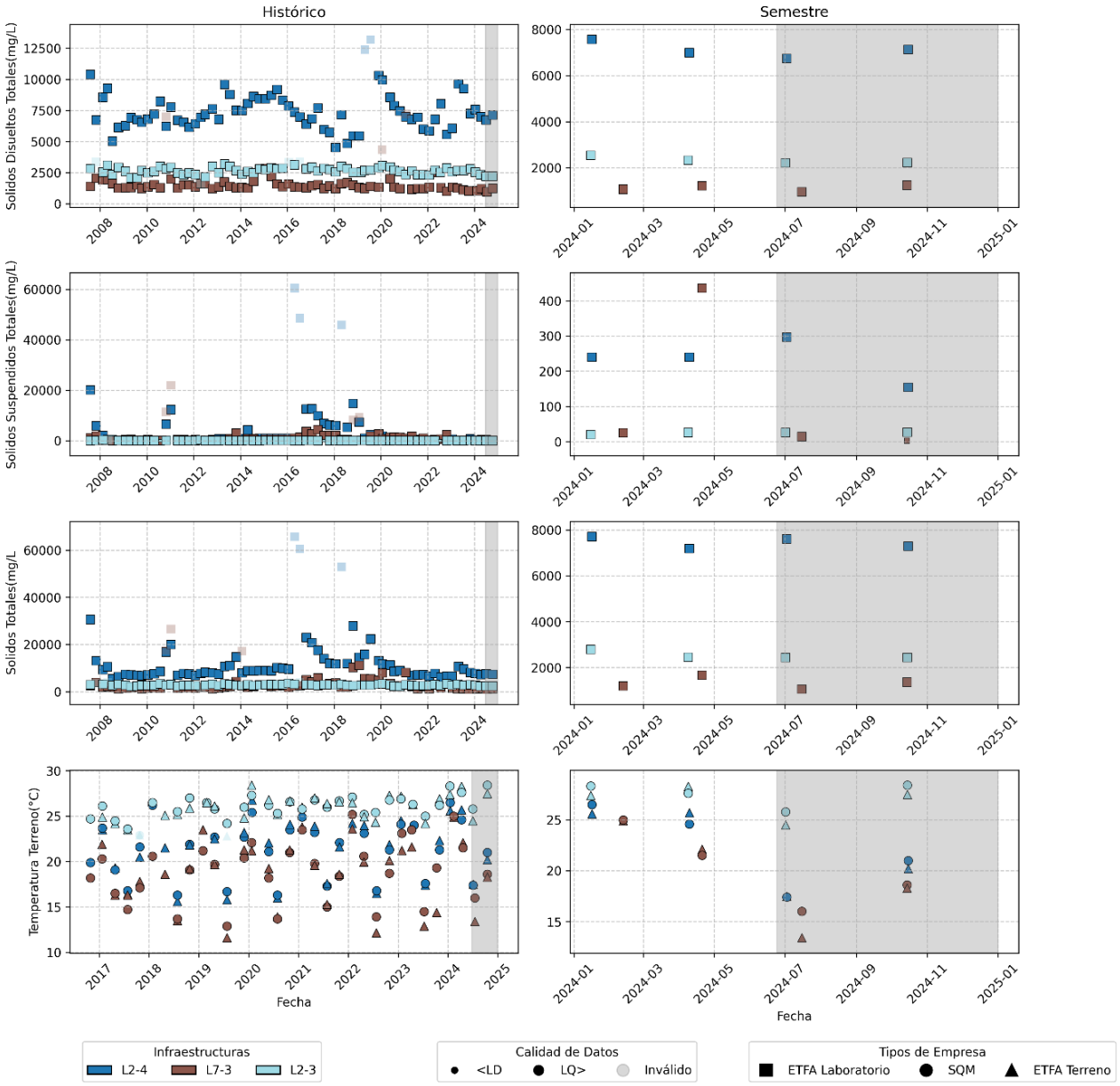
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 632: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L2-4, L2-3 y L7-3 (continuación)



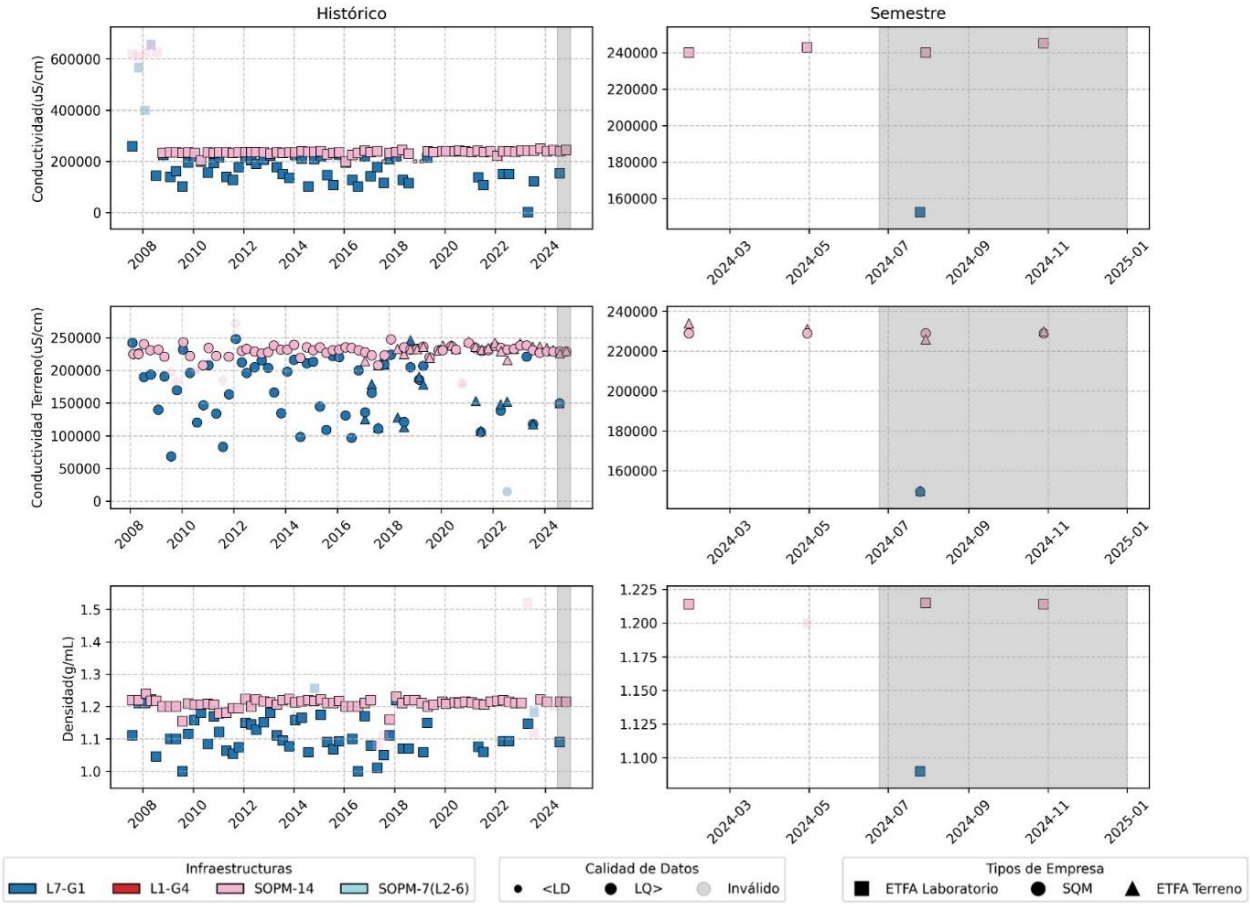
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 632: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L2-4, L2-3 y L7-3 (continuación)



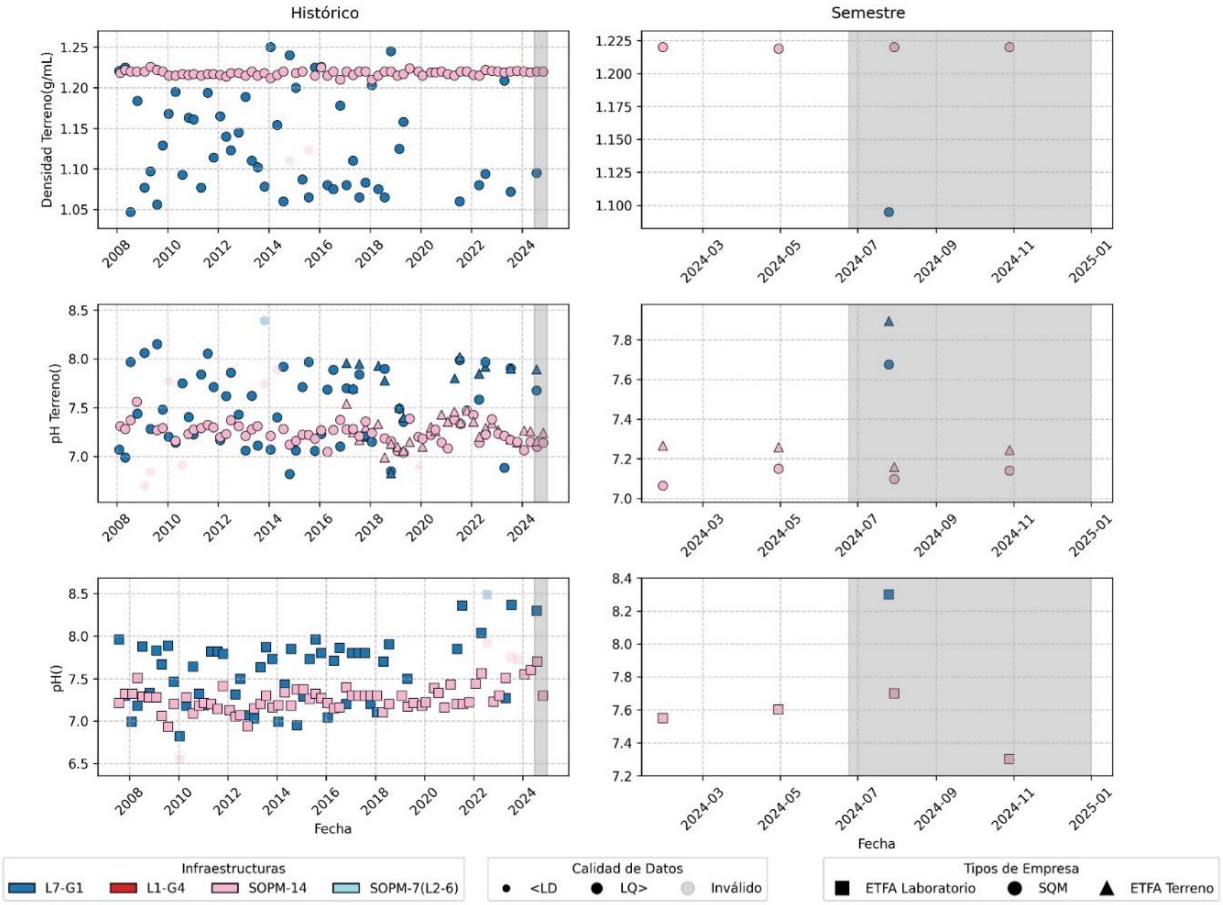
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

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



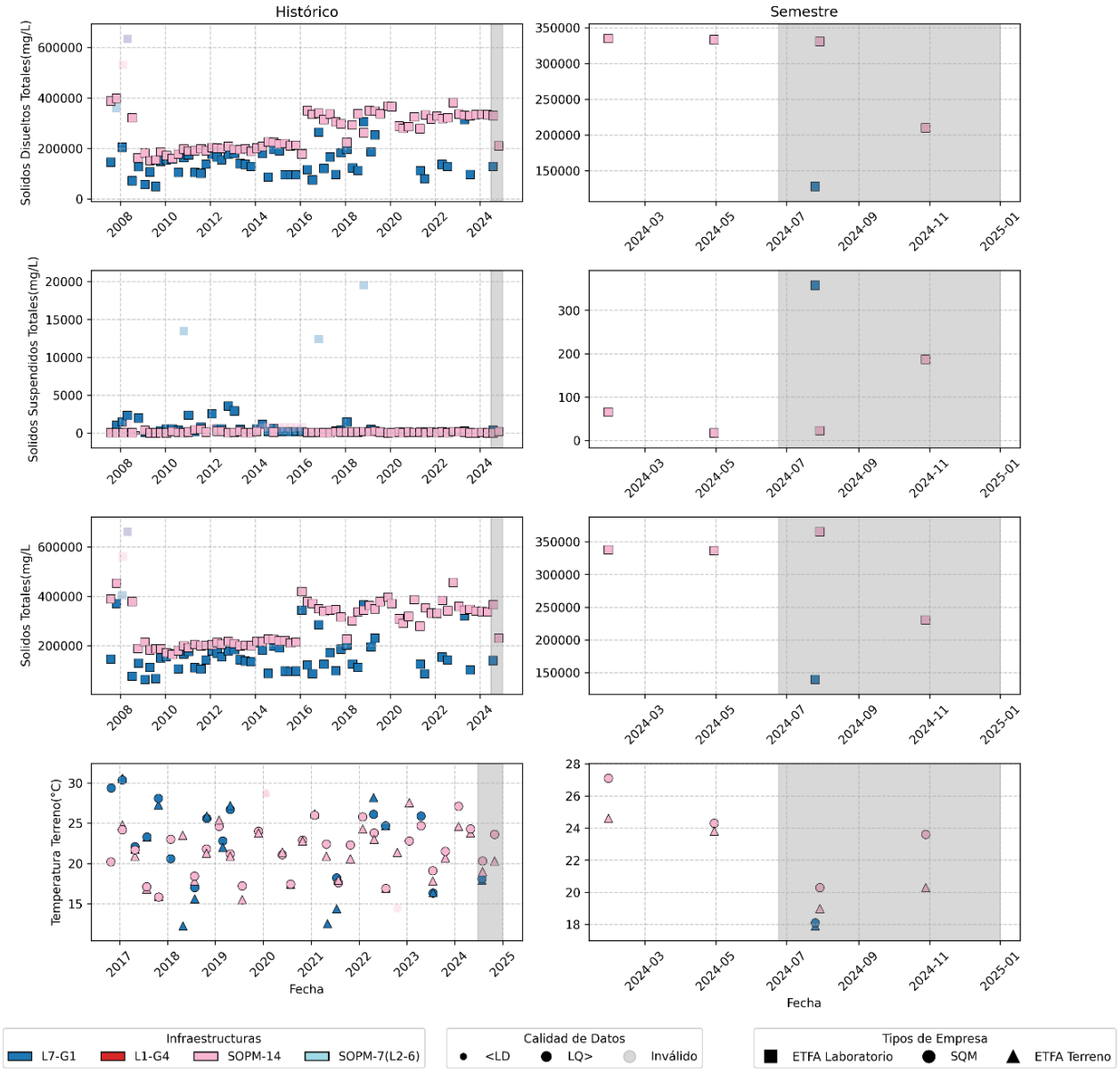
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 633: 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.

Figura 633: 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 segundo semestre de 2024 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- Valores bajos de densidad de terreno en el tercer y cuarto trimestre del 2024 de los pozos L1-4, L1-6 y L2-5, que no se corresponde con la tendencia histórica ni con las mediciones de terreno, mientras que en el pozo L1-5 fueron superiores al histórico. Por lo tanto, puede asociarse a un error de medición (outlier).
- En los dos últimos trimestres del 2024, todos los pozos presentaron valores de pH de laboratorio mayores en relación con los valores de pH de terreno, además de ser superiores a las respectivas tendencias históricas. Por esta razón fueron invalidados en su mayoría. 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, con la excepción de sólidos disueltos totales y sólidos totales que presentaron valores más bajos a la tendencia histórica en el cuarto trimestre de 2024. 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 II[10].

- 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 -con la ya mencionada excepción del último trimestre- 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 Nº26 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 634 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.

Los resultados del segundo 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 µS/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, a excepción de la conductividad eléctrica en octubre 2024, que mostró un valor ligeramente por sobre la tendencia previa. De acuerdo con el contenido promedio de sólidos disueltos totales los fluidos

[10] 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.

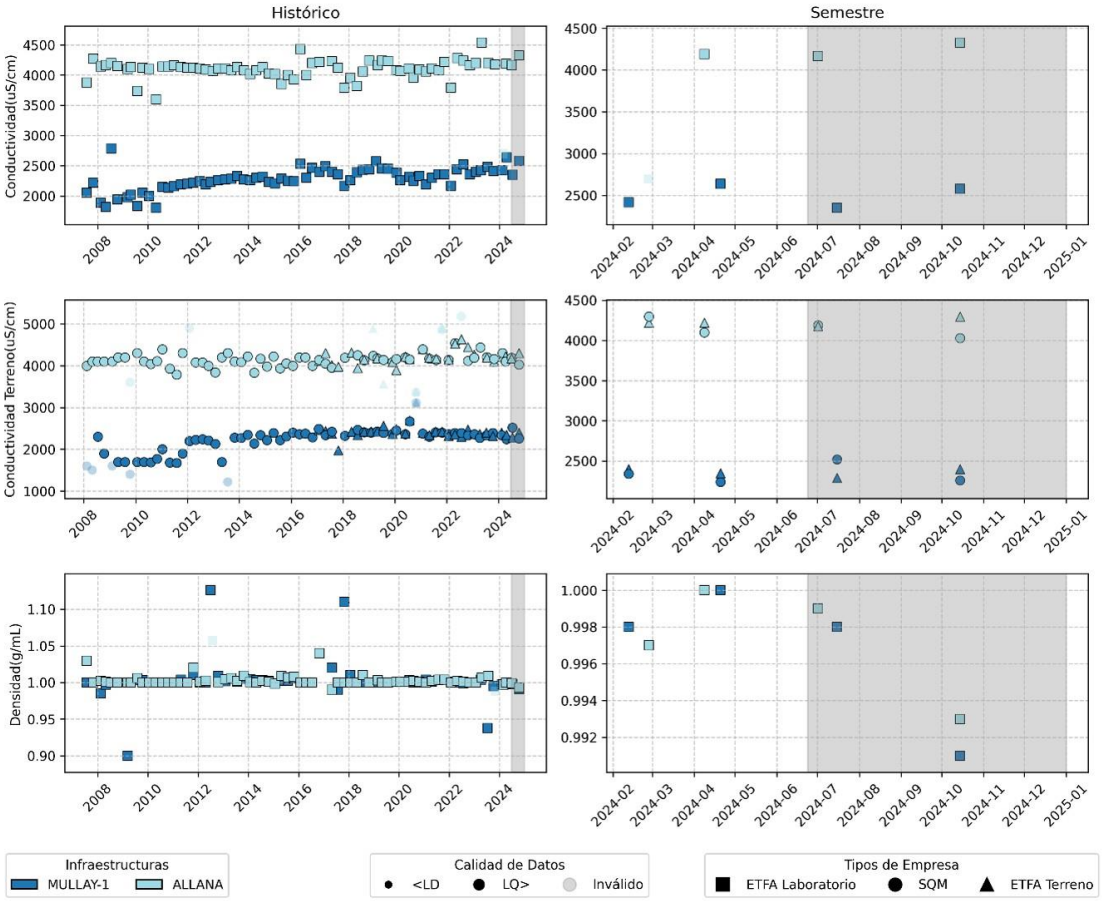
de Mullay-1 y Allana clasifican como agua dulce y agua tipo de transición, respectivamente. Al considerar los valores promedio de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y densidad, ambos fluidos clasifican como agua dulce. Esta condición se mantuvo para el segundo semestre de 2024.

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, mientras que en el tercer y cuarto semestre de 2024 presentó valores dentro del rango histórico.

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 semestre de 2024 para la medición de laboratorio, mientras las mediciones en terreno mostraron valores superiores al periodo histórico y fueron invalidadas. El pozo Allana mantuvo sus valores dentro del rango histórico para el tercer y cuarto trimestre, con algunas excepciones. La densidad de terreno en julio 2024 mostró un valor superior al rango histórico y fue invalidado, mientras que conductividad de laboratorio, sólidos totales y sulfato estuvieron por sobre la tendencia histórica en octubre 2024.

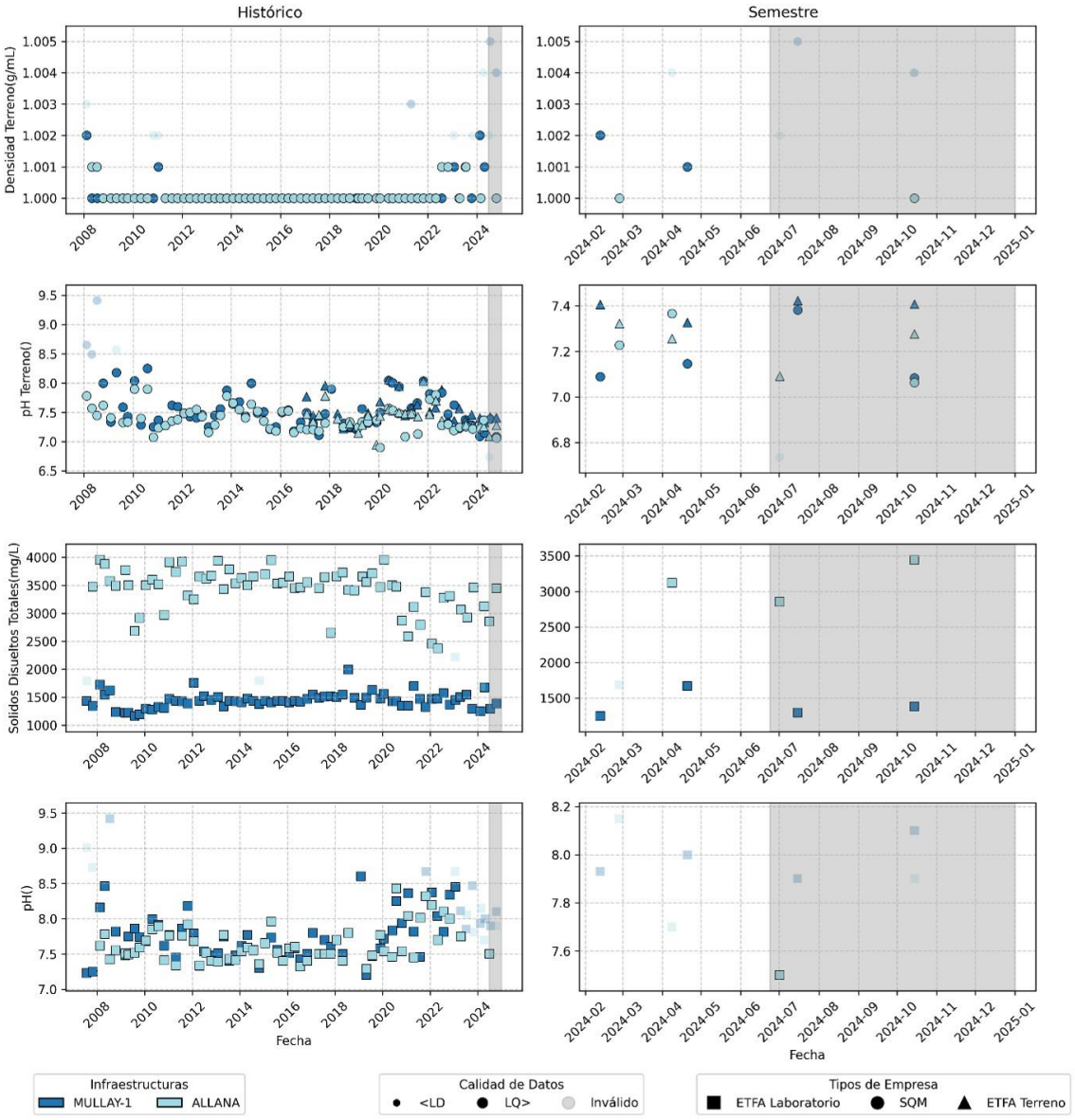
El resto de los parámetros analizados: arsénico, calcio, cloruro, magnesio, potasio, sodio, sulfato, sodio, hierro, manganeso, alcalinidad total, alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, sólidos suspendidos totales, nitrógeno nitrato y nitrógeno nitrito presentan concentraciones en los análisis validados del segundo 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



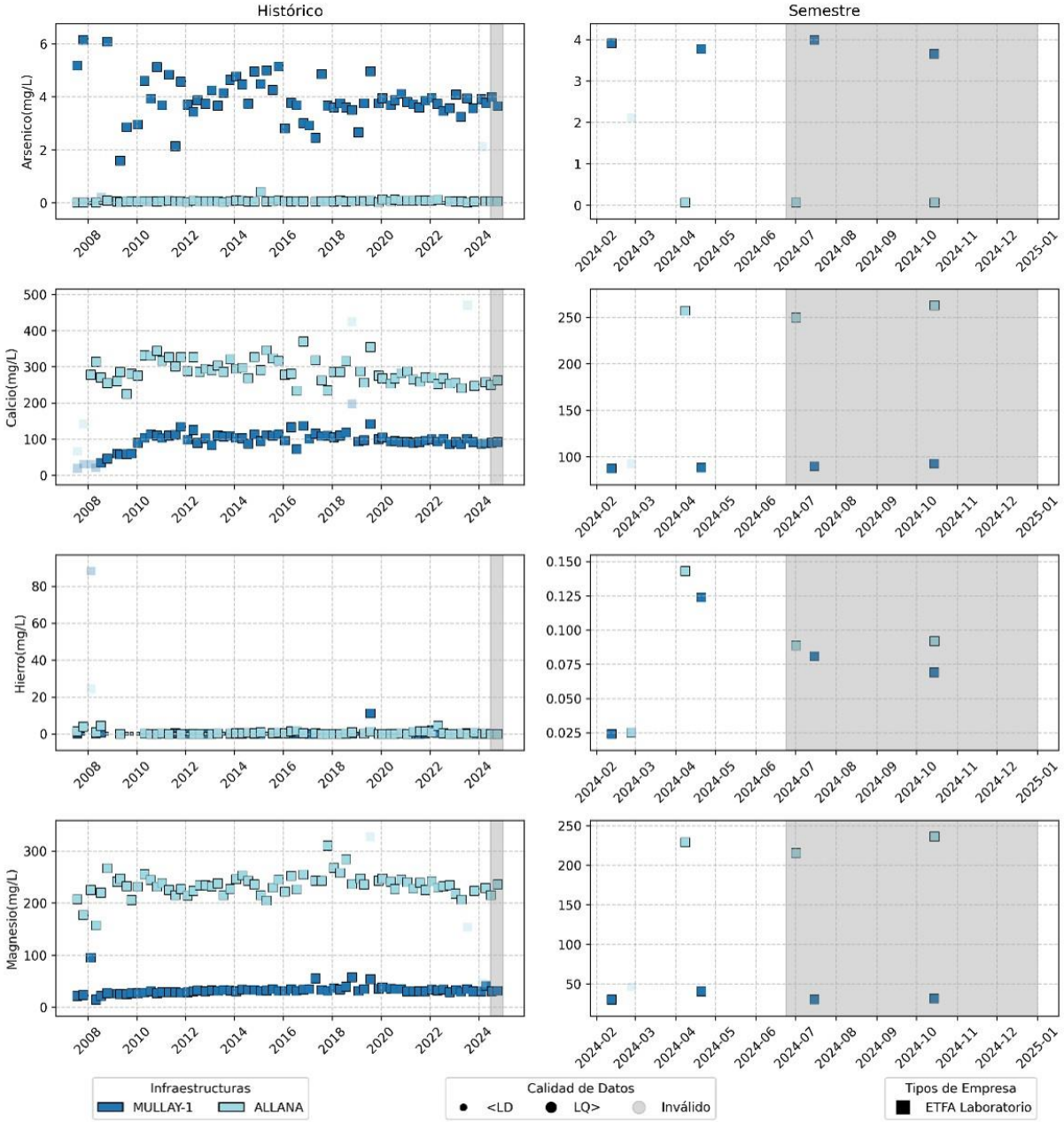
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 634: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 (continuación)



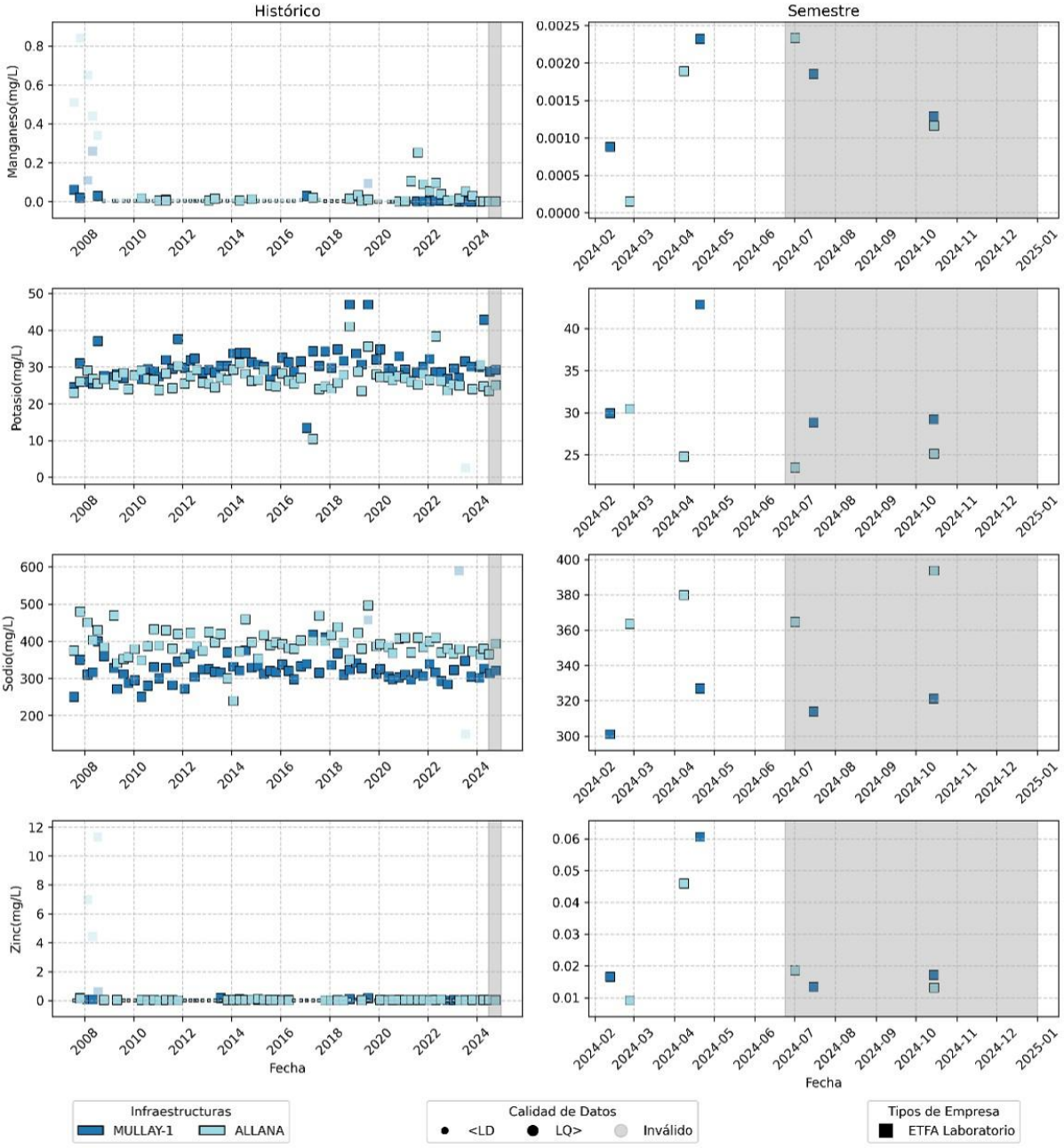
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 634: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 (continuación)



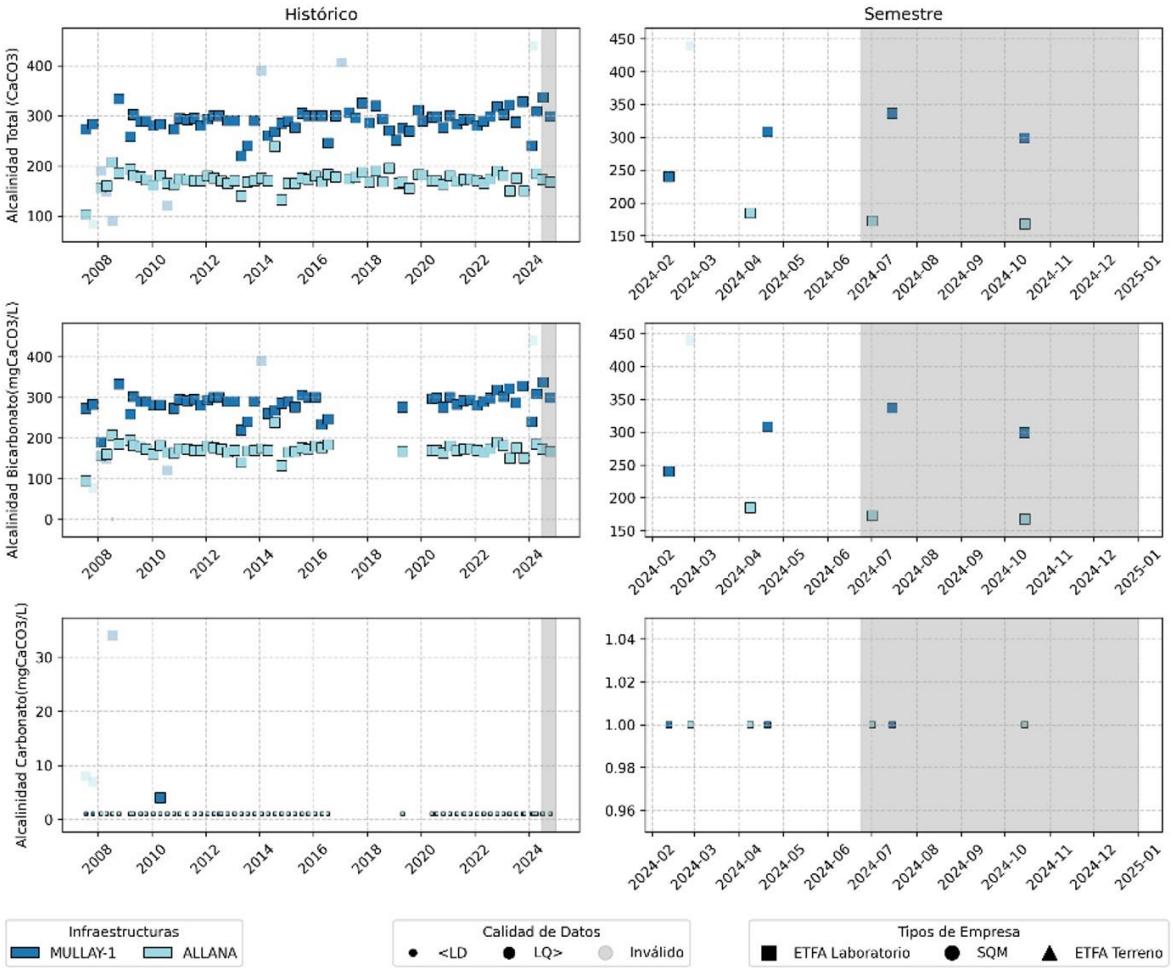
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 634: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 (continuación)



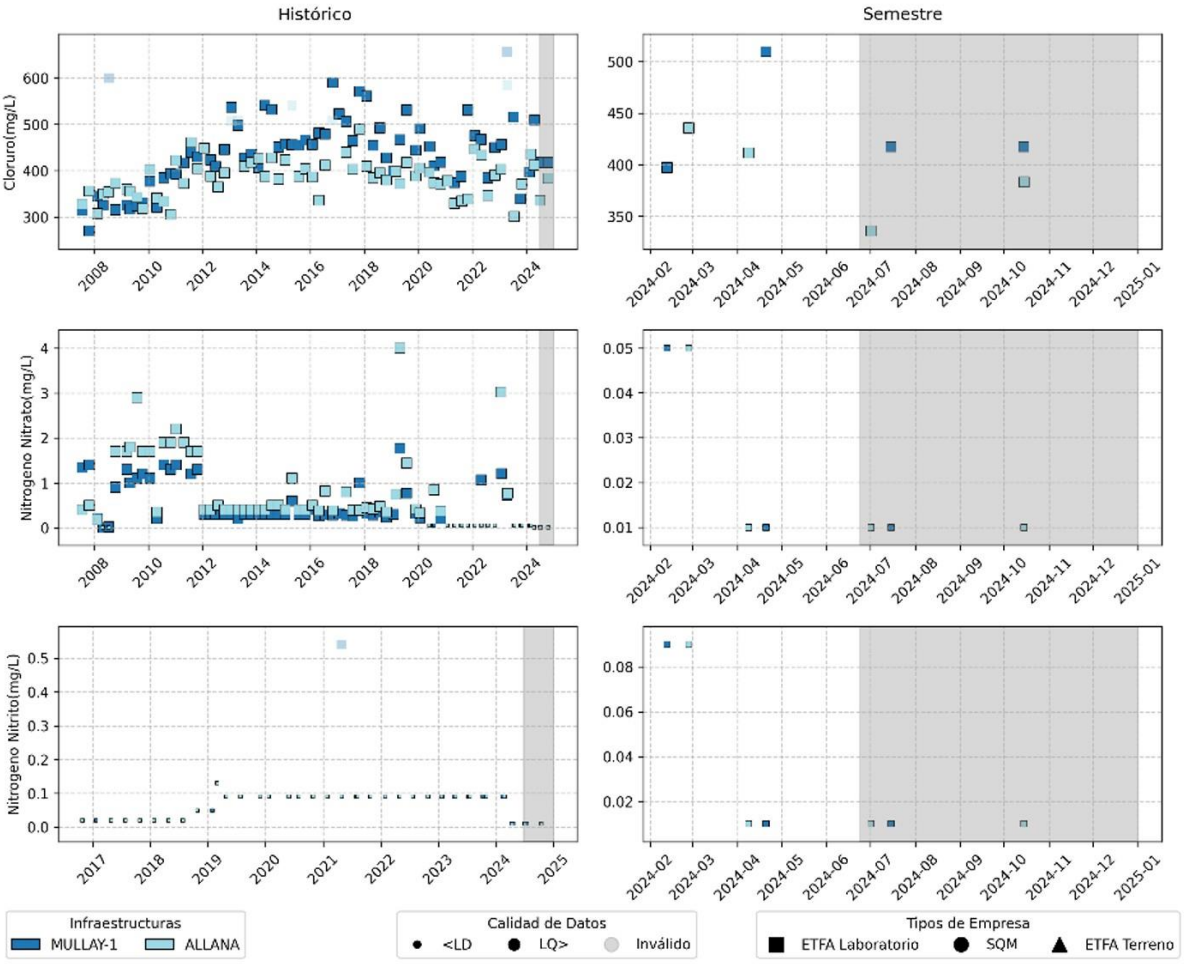
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 634: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 (continuación)



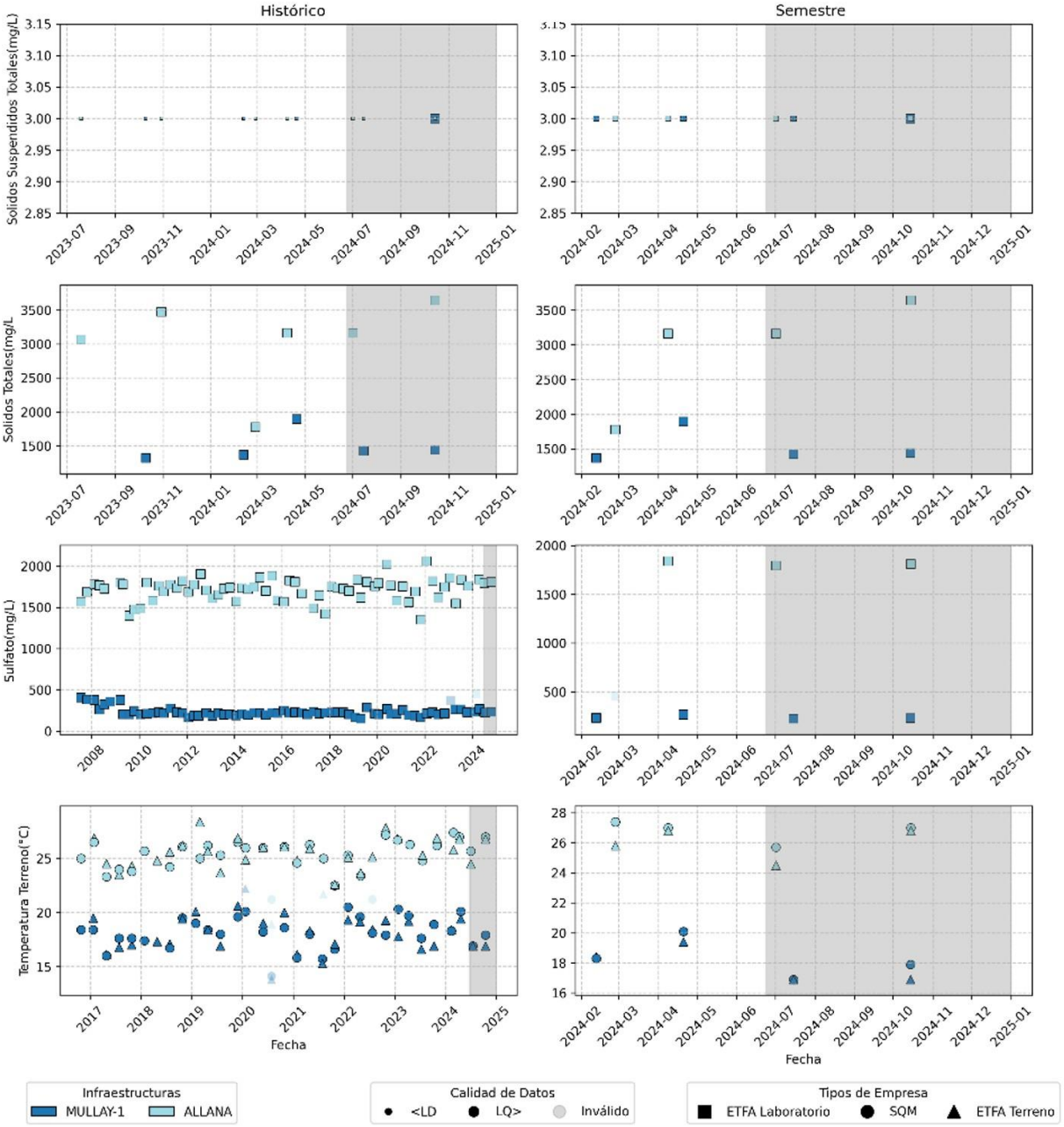
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 634: 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.

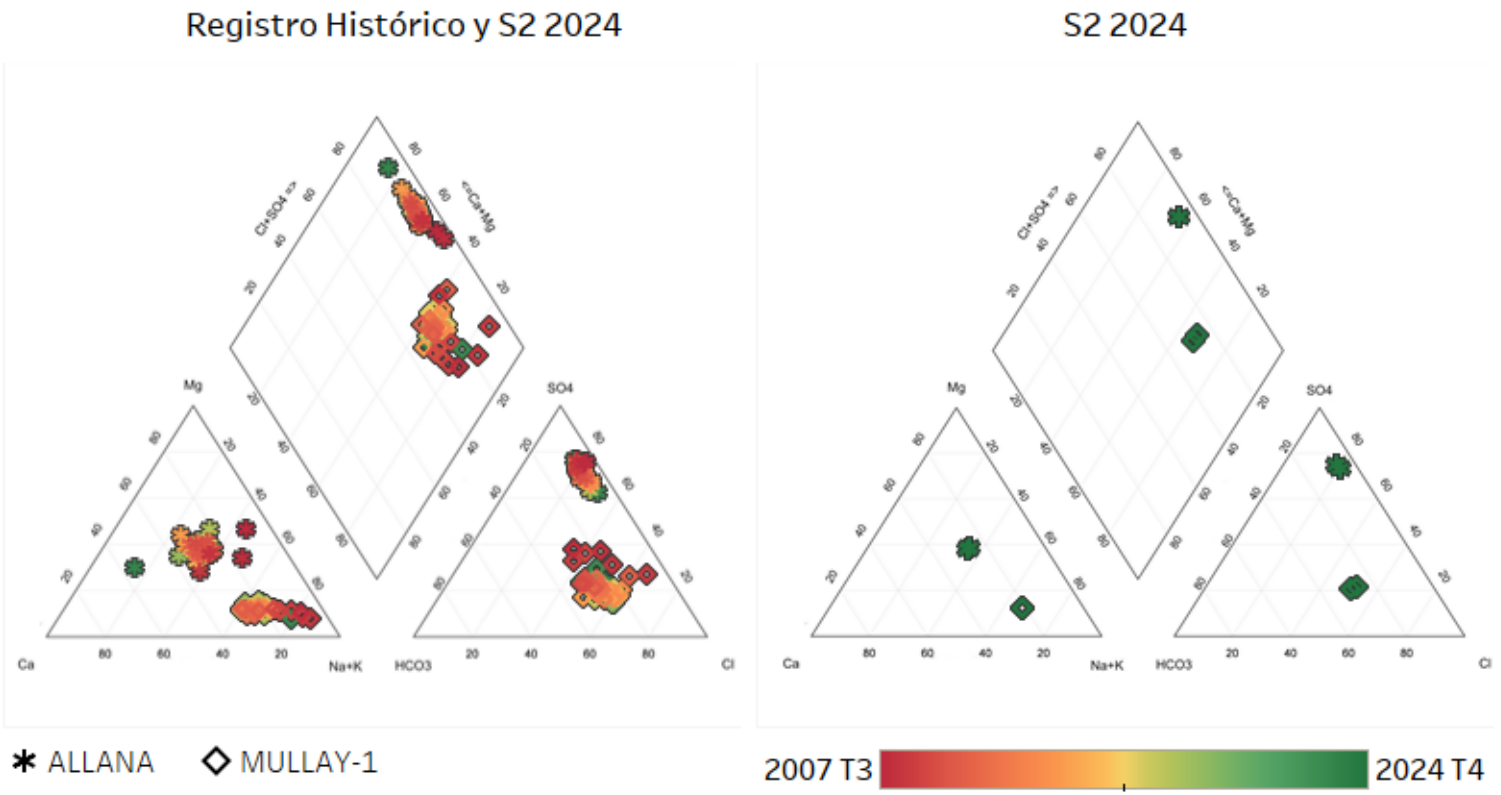
Figura 634: Evolución histórica calidad del agua en pozos de extracción Allana y Mullay-1 (continuación)



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

La Figura 635 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en estos puntos durante el segundo 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 segundo 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). En el caso de la alcalinidad total y de bicarbonato los valores de julio 2024 en el pozo Allana fueron superiores a la tendencia de los últimos años, aun así, se mantiene dentro de la facies geoquímica histórica.

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 cuarto trimestre solo fue posible acceder a monitorear un punto de control de los sistemas lacustres, correspondiente a Burro Muerto, mientras que el tercer trimestre se logró monitorear los 4 puntos (Chaxa, Barros Negros, Burro Muerto y Puilar). La Figura 636 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 Nº226/2006 (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.

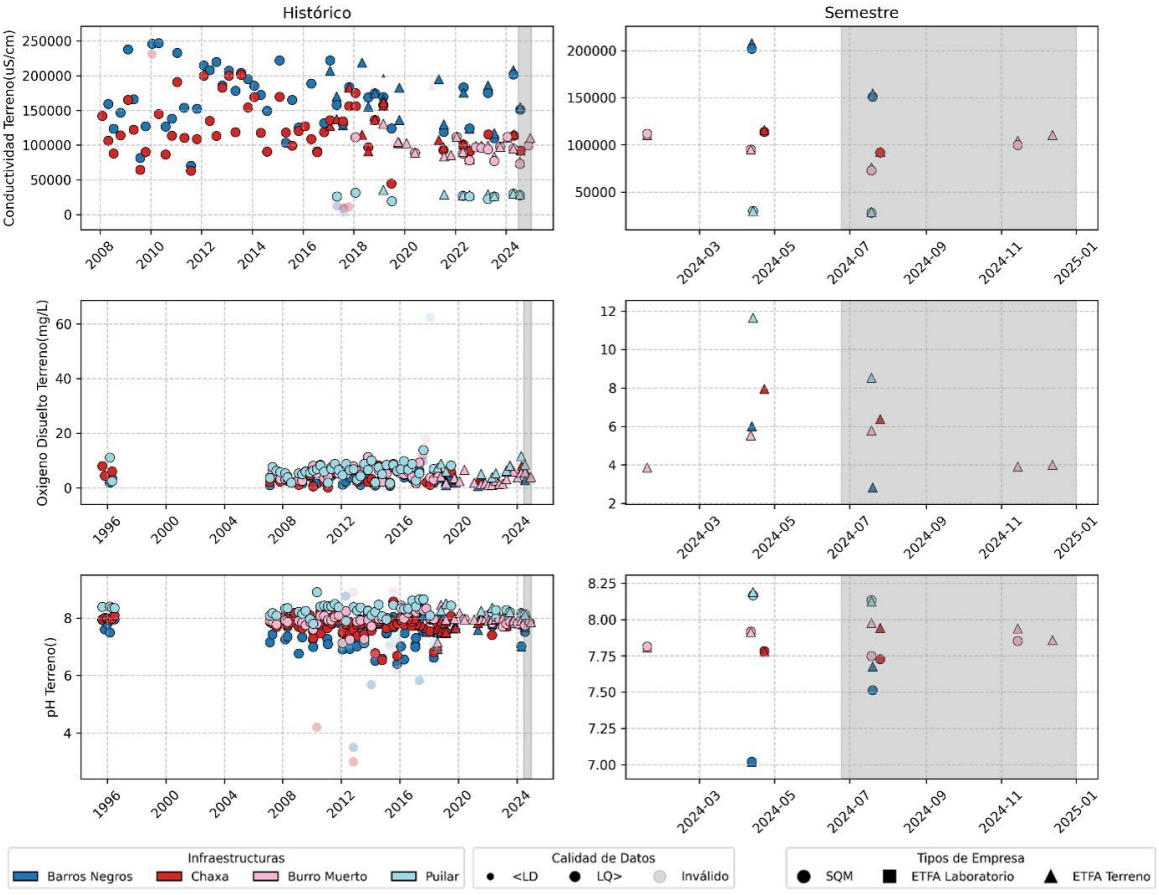
Respecto al tipo de agua presente en los cuerpos lagunares, se observa que los puntos de control de Chaxa y Canal Burro Muerto presentan concentraciones de sólidos disueltos totales promedio del orden de

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%, aunque varias mediciones recientes se encuentran con valores sobre el límite máximo de cuantificación (>42%). 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 el segundo semestre de 2024, Barros Negros no presentó valores por fuera del rango histórico medido o inconsistentes con la tendencia de los últimos años. Por otro lado, el punto Burro Muerto presentó en julio 2024 valores de conductividad de terreno (78.600 µS/cm), conductividad de laboratorio (76.100 µS/cm), sólidos disueltos totales (50.617 mg/L) y sólidos totales (55.933 mg/L) levemente menores a sus respectivos rangos históricos (81.200-11.8700 mg/L, 80.000-130.900 mg/L, 56.900-114.208 mg/L, 56.140-115.595 mg/L). En el cuarto trimestre de 2024 (octubre, noviembre y diciembre) los valores de dichos parámetros fueron consistentes con el registro histórico, salvo la conductividad de terreno y laboratorio que se encontraron levemente sobre la tendencia.

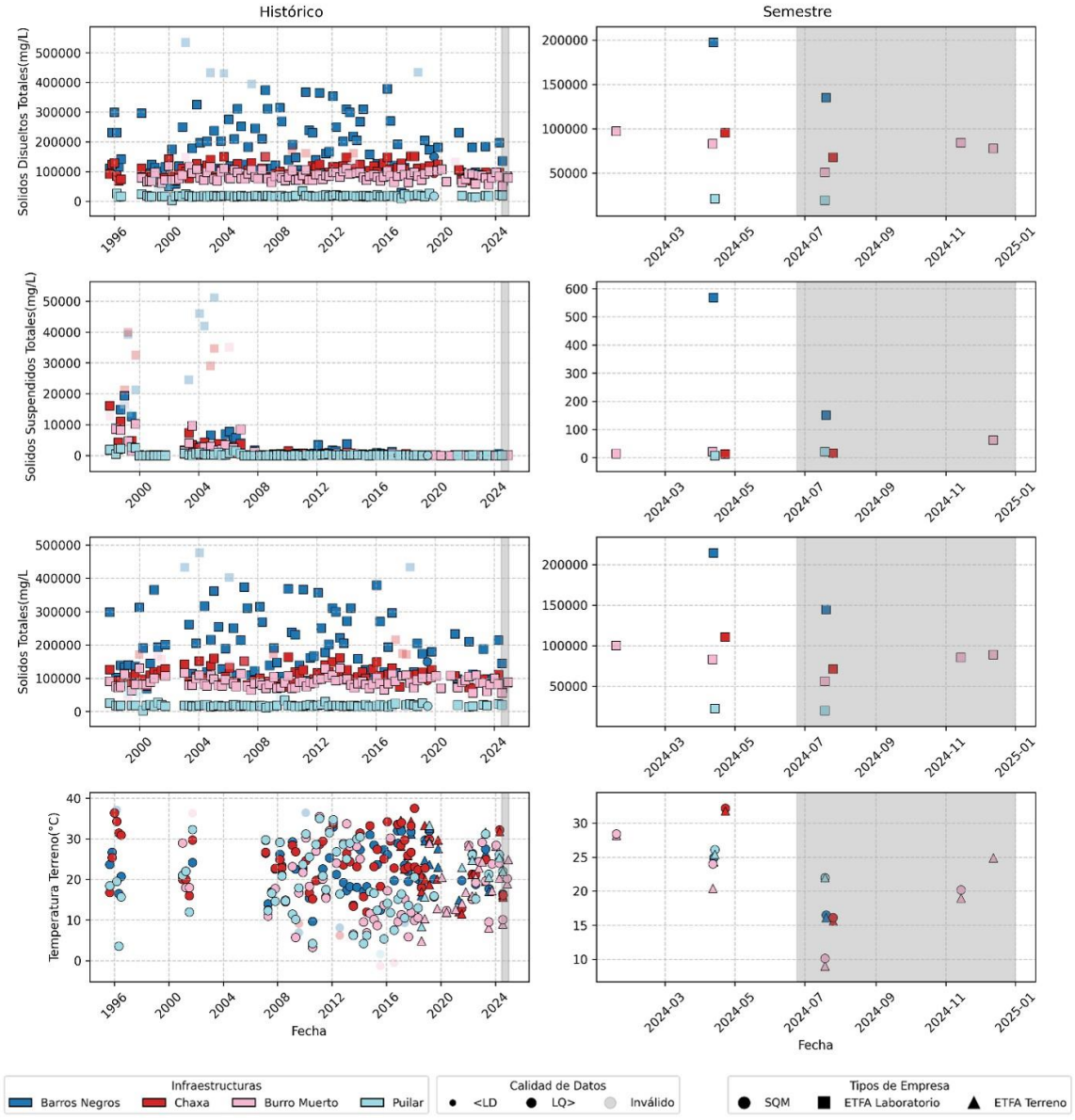
El resto de los parámetros analizados: arsénico, calcio, fósforo, cloruro, magnesio, potasio, sílice, sodio, sulfato, calcio disuelto, magnesio disuelto, sodio disuelto, potasio disuelto, coliformes fecales, coliformes totales, dureza, hidrocarburos totales, hidrocarburos fijos, nitrógeno amoniacal, nitrato, sodio y sólidos suspendidos totales, presentan concentraciones en los análisis validados del segundo semestre de 2024 relativamente estable con respecto al periodo anterior y dentro del rango histórico.

Figura 6-36: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto



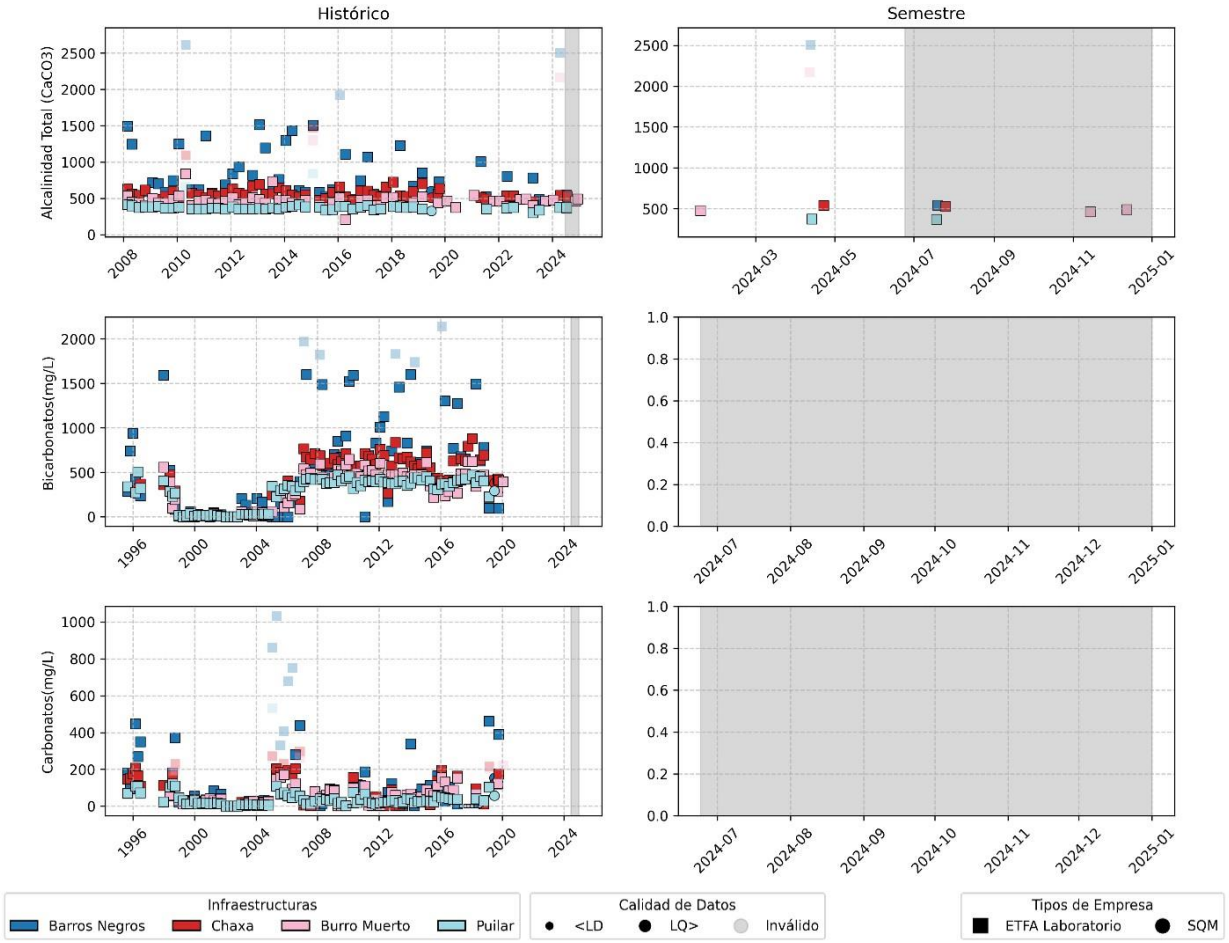
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



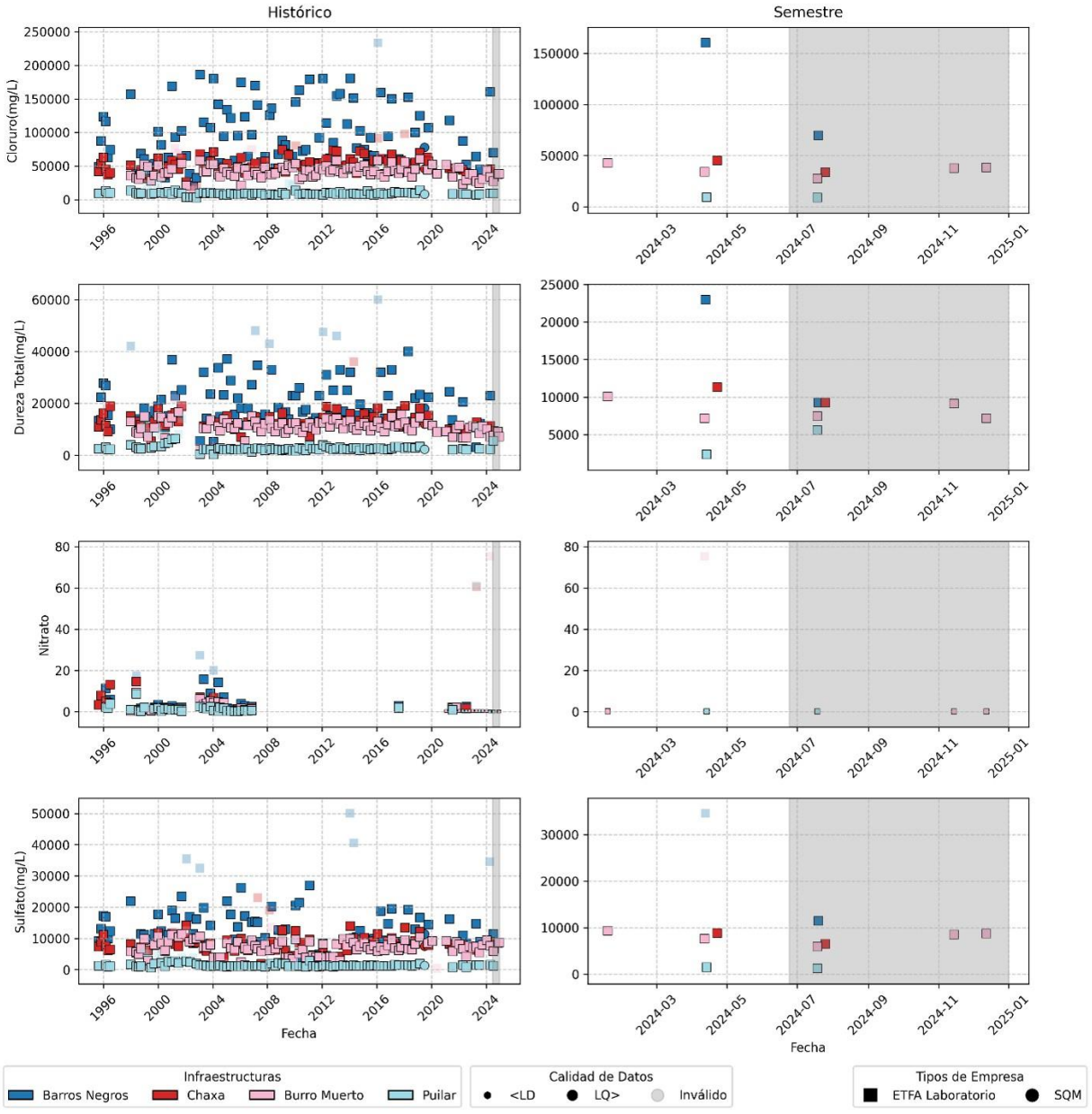
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



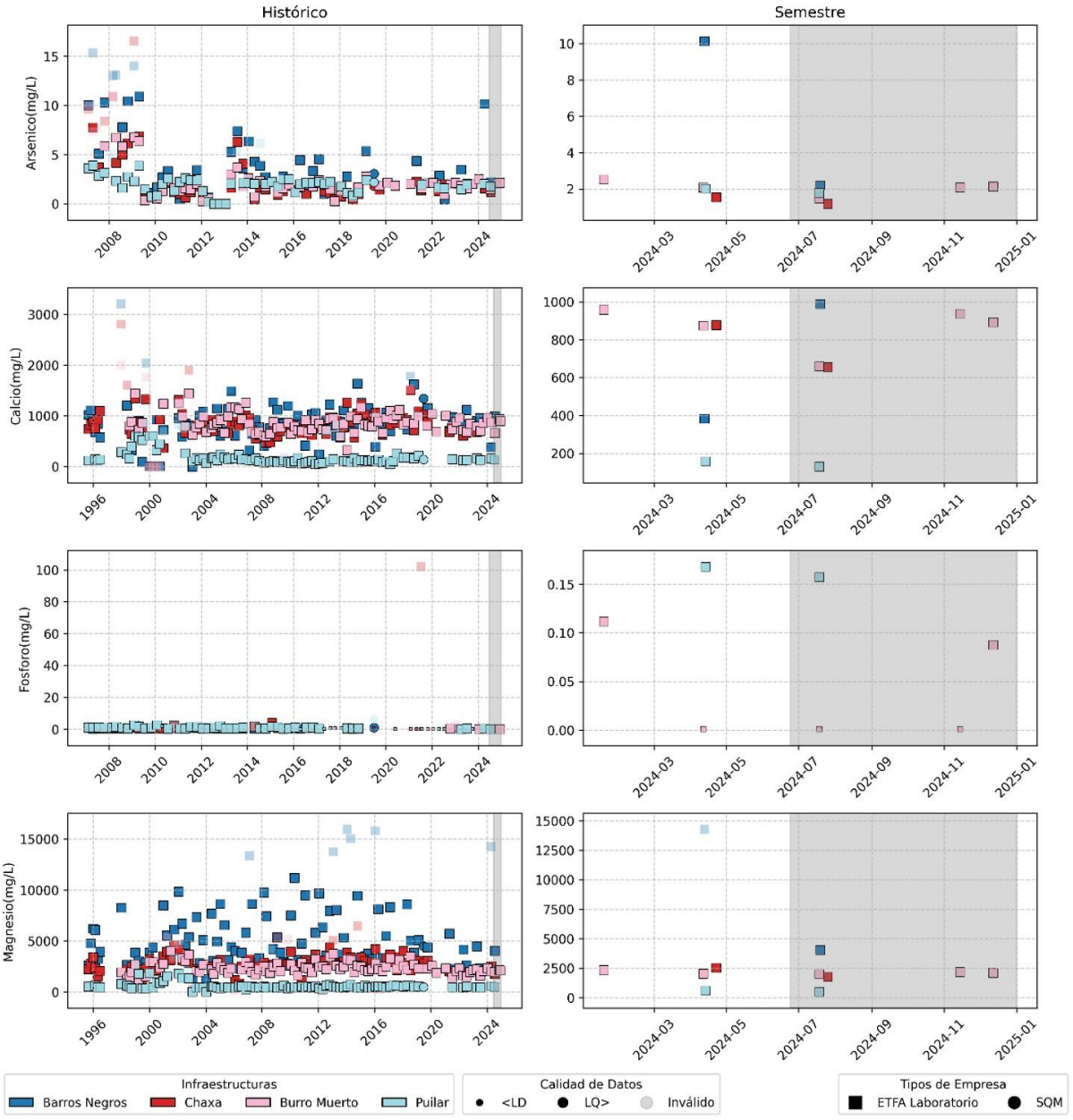
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



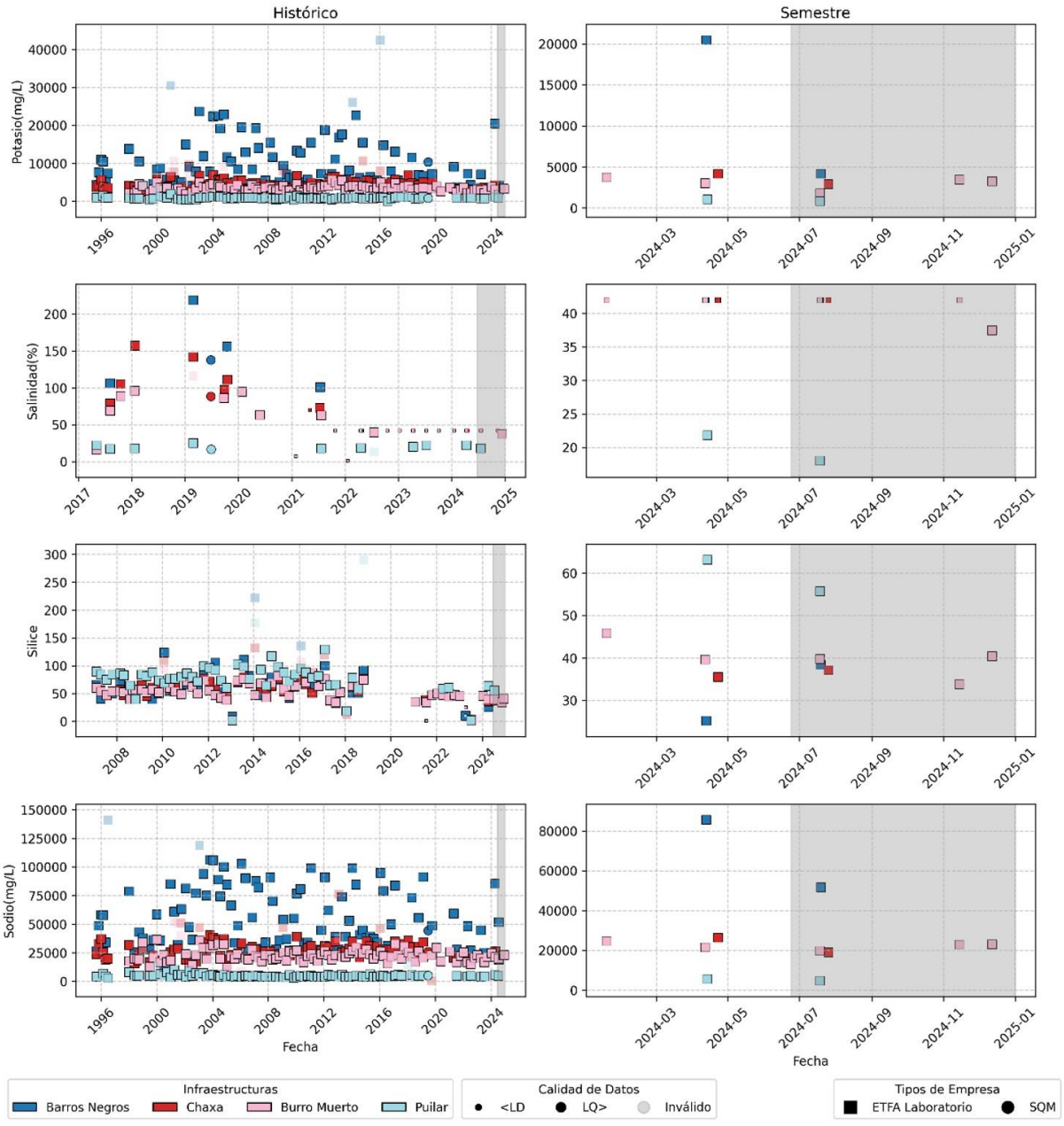
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



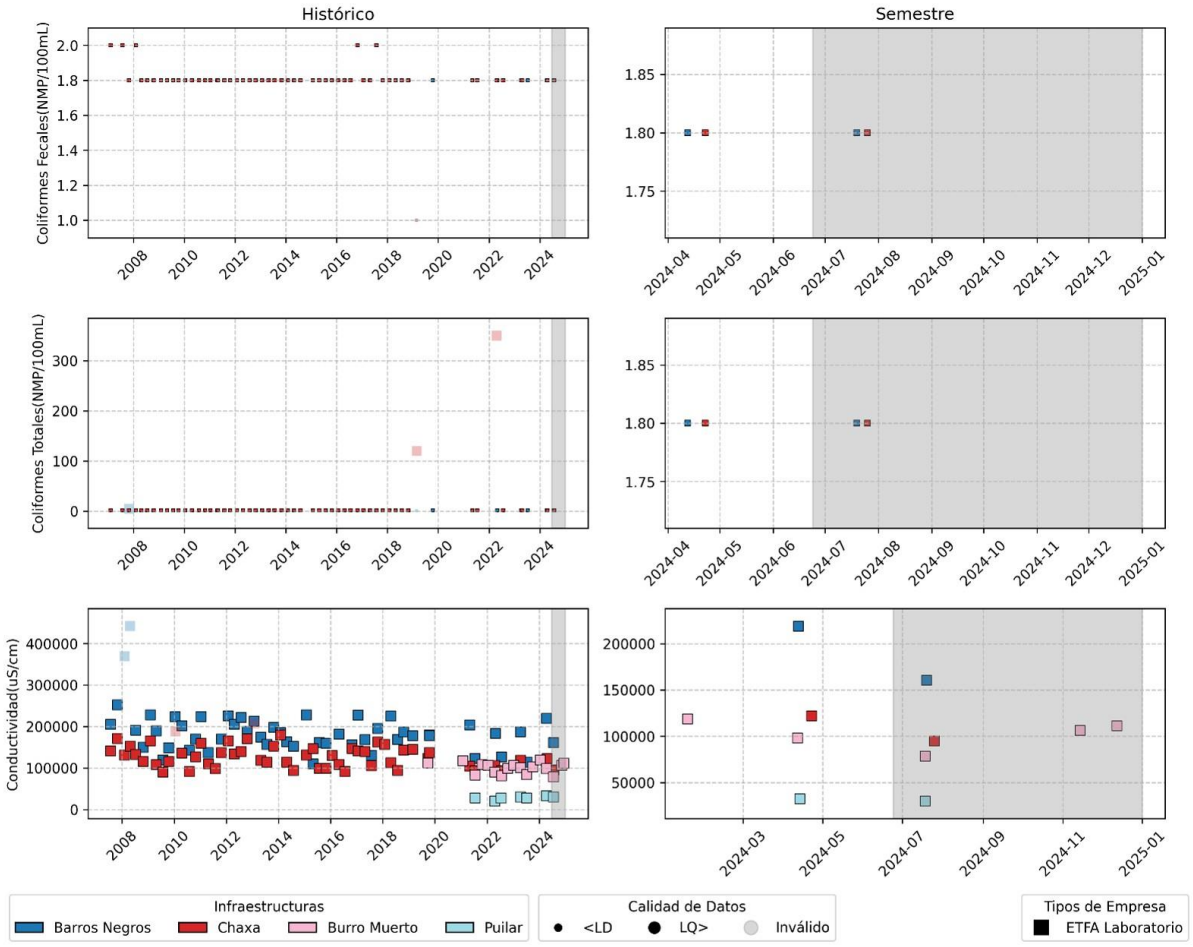
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



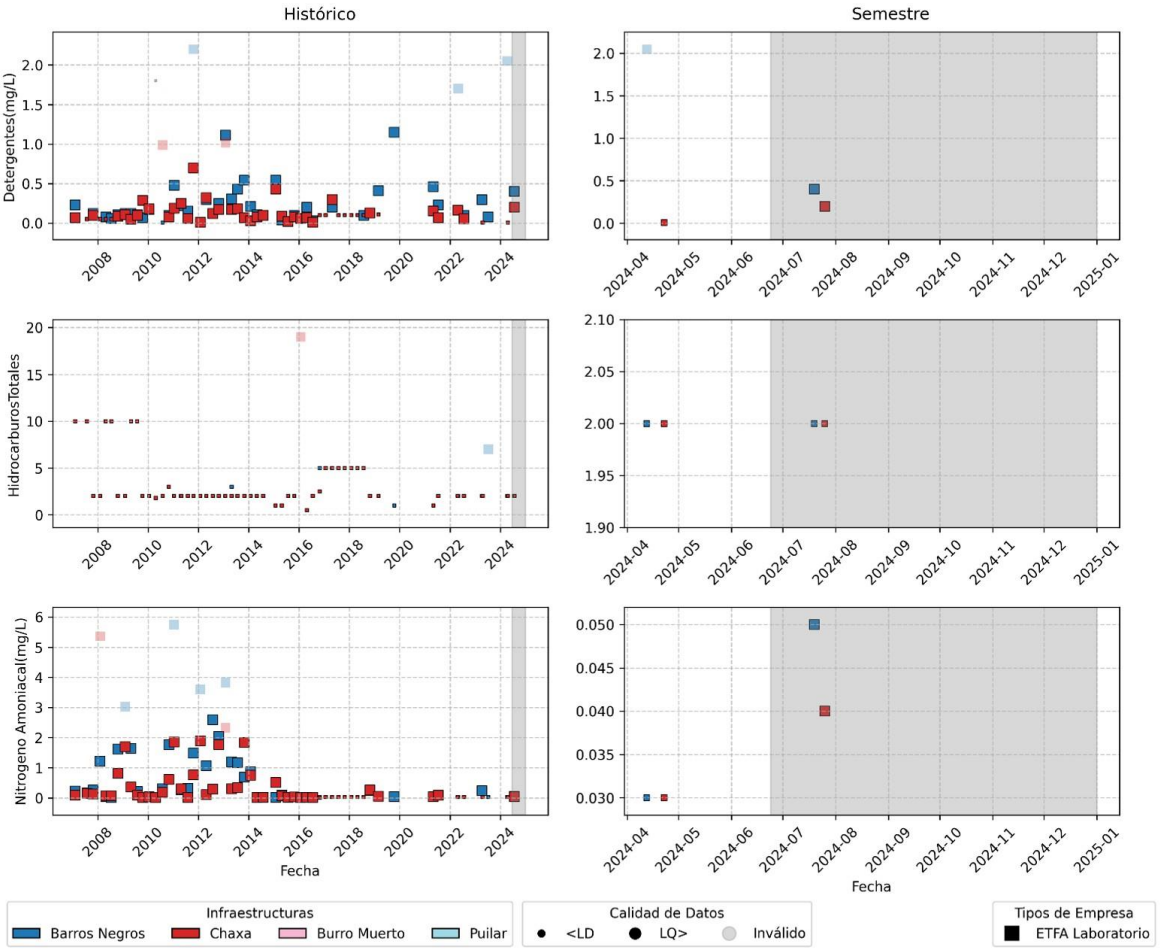
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



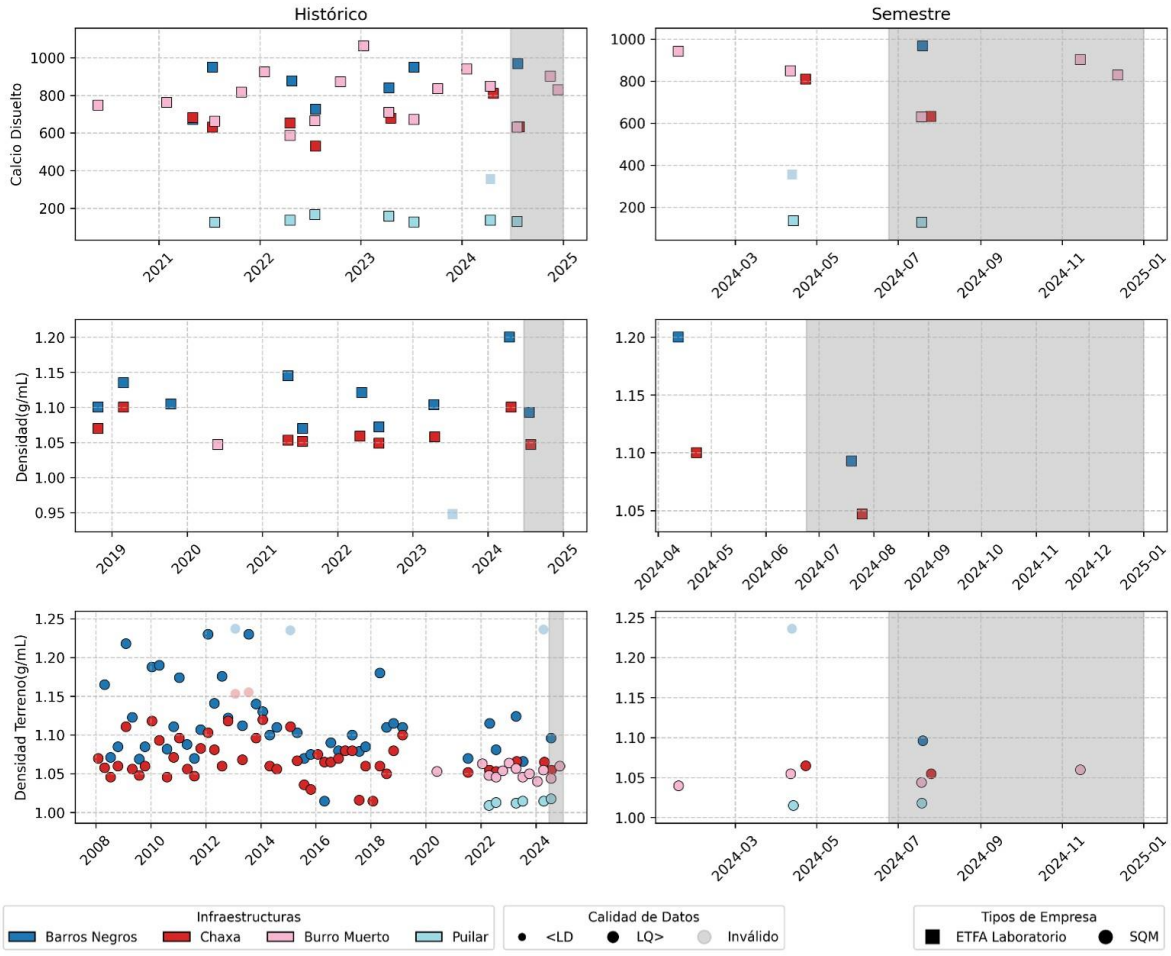
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



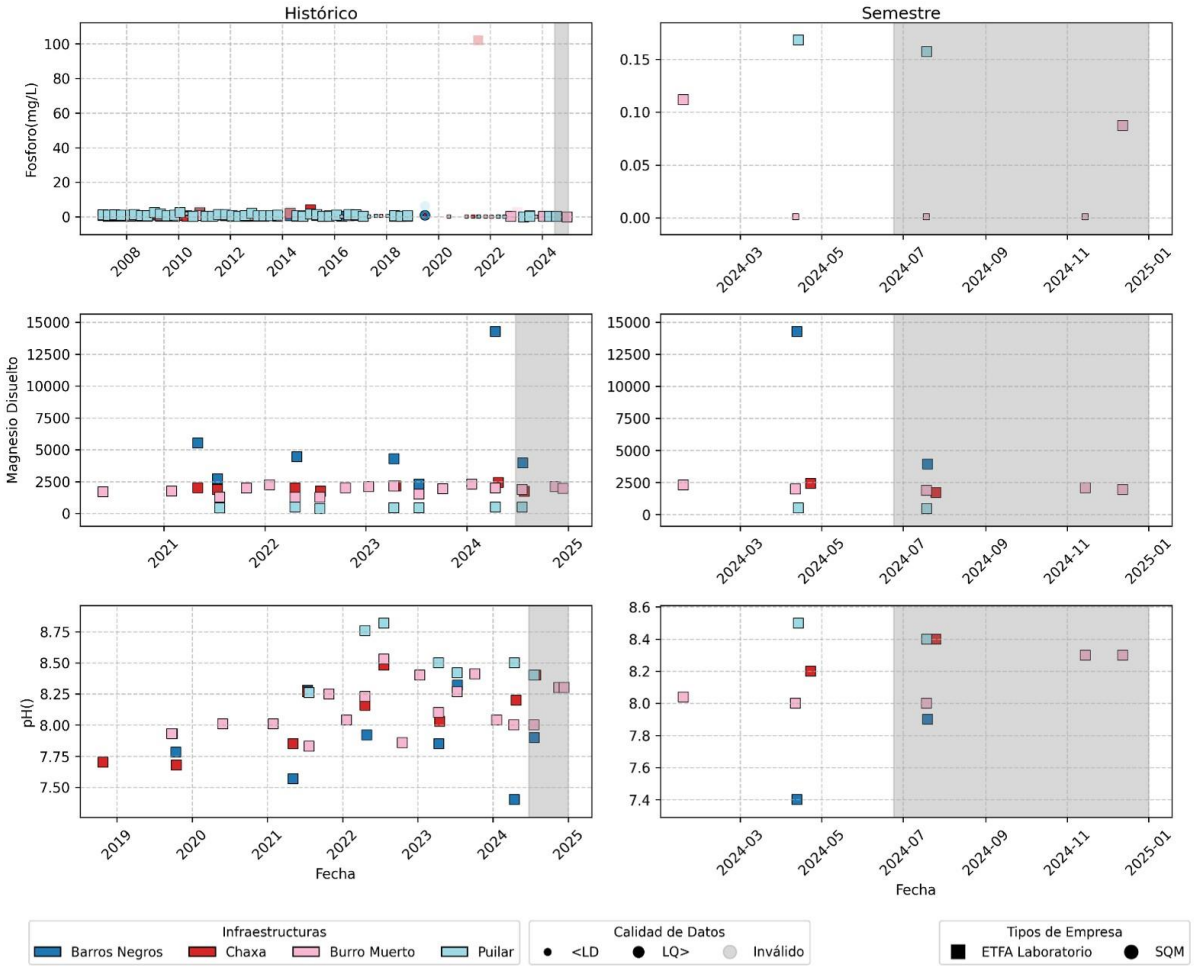
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)



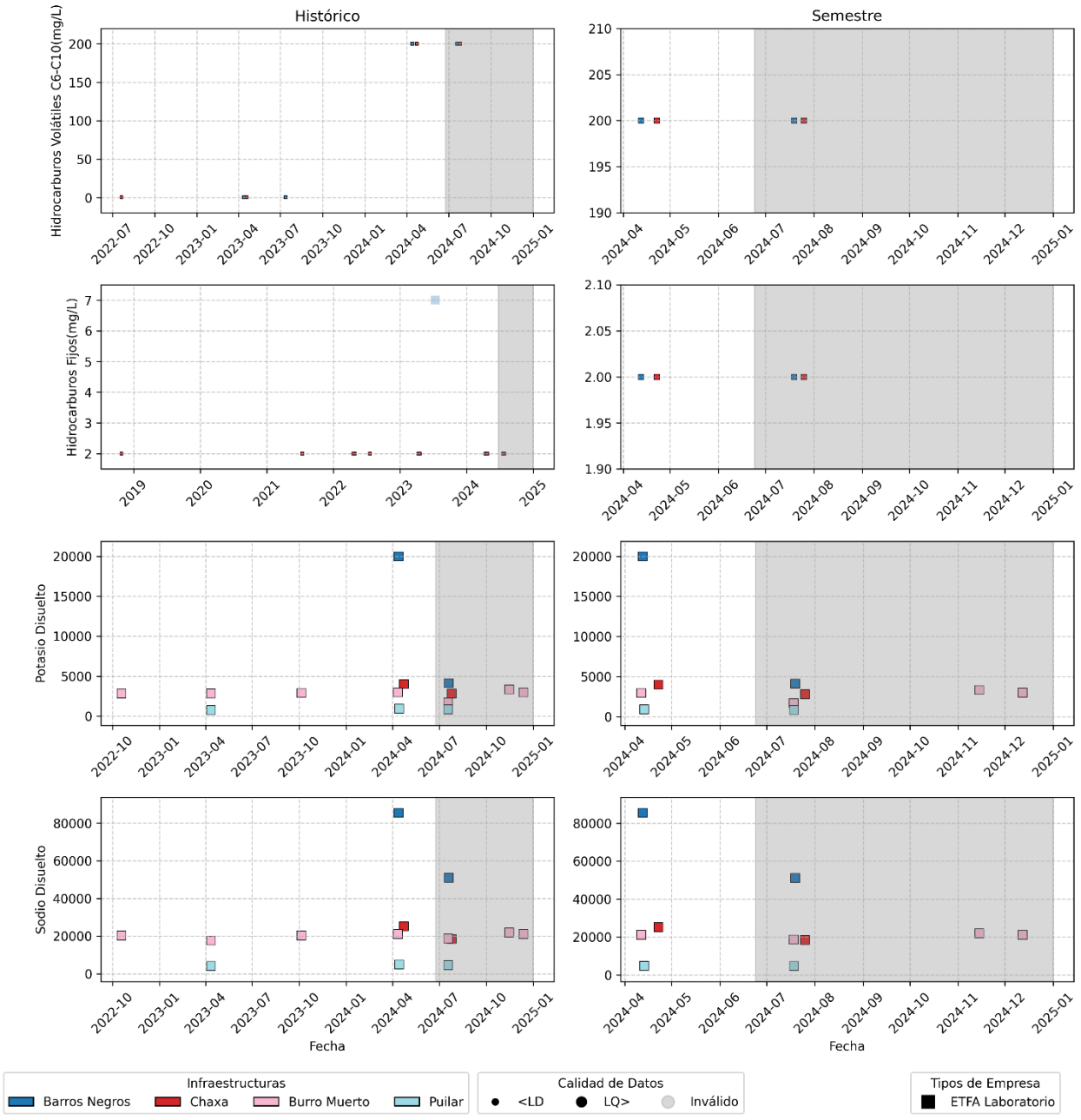
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 636: 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 636: Evolución histórica calidad del agua en lagunas Chaxa, Barros Negros, Puilar y canal Burro Muerto (continuación)

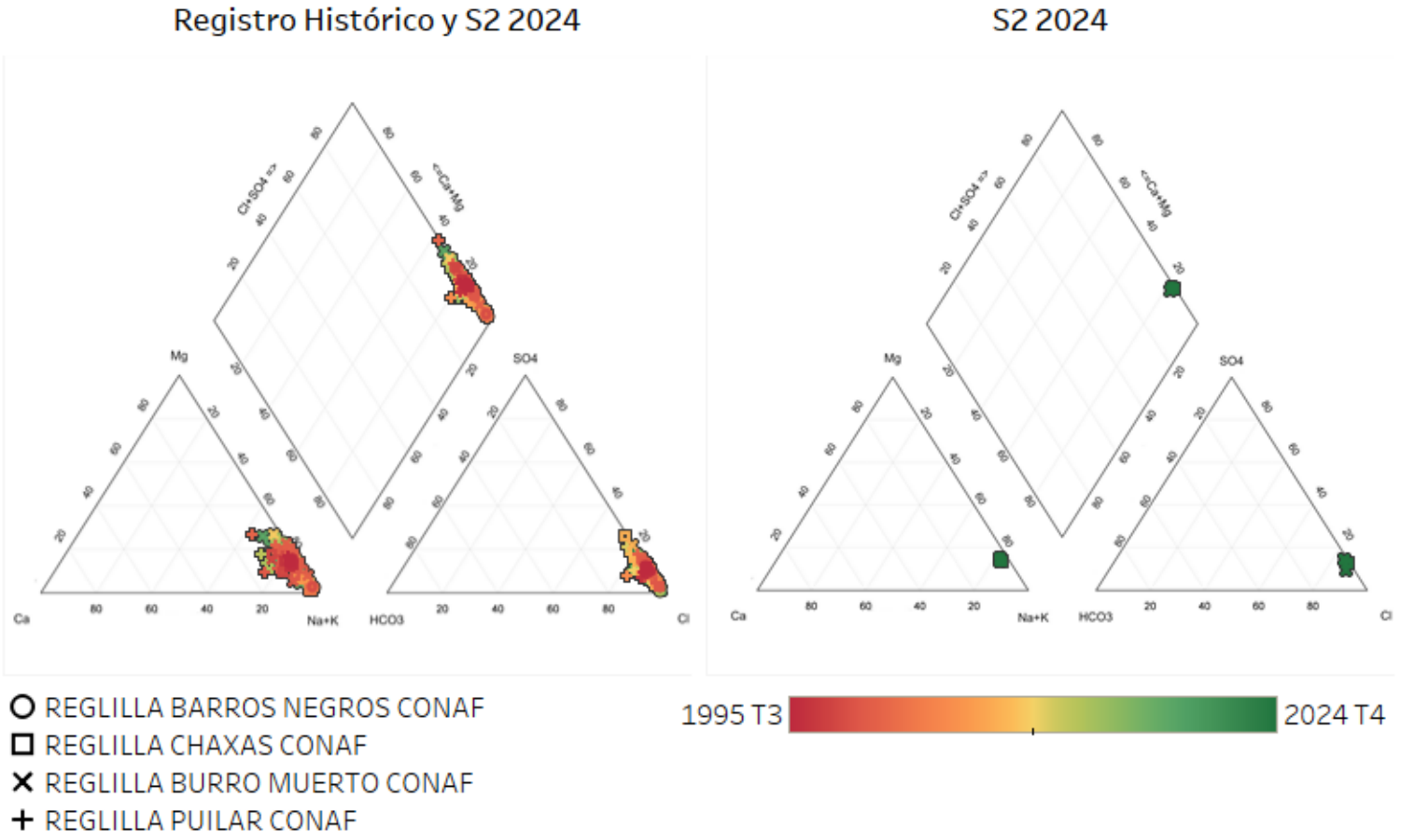


Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

En cuanto a las características generales, en la Figura 637 se observa el diagrama de Piper para los cuatro puntos de agua superficial en sistema Soncor para el segundo semestre 2024 y registro histórico. Se encuentran representadas todas las muestras que entregaron resultados de balance iónico (BI) menor que 10% (considerando para el cálculo de metales totales). Nótese que todas las lagunas se clasifican como cloruradas sódicas, con un leve aumento relativo en el contenido de magnesio en la Reglilla de Barros Negro y Burro Muerto.

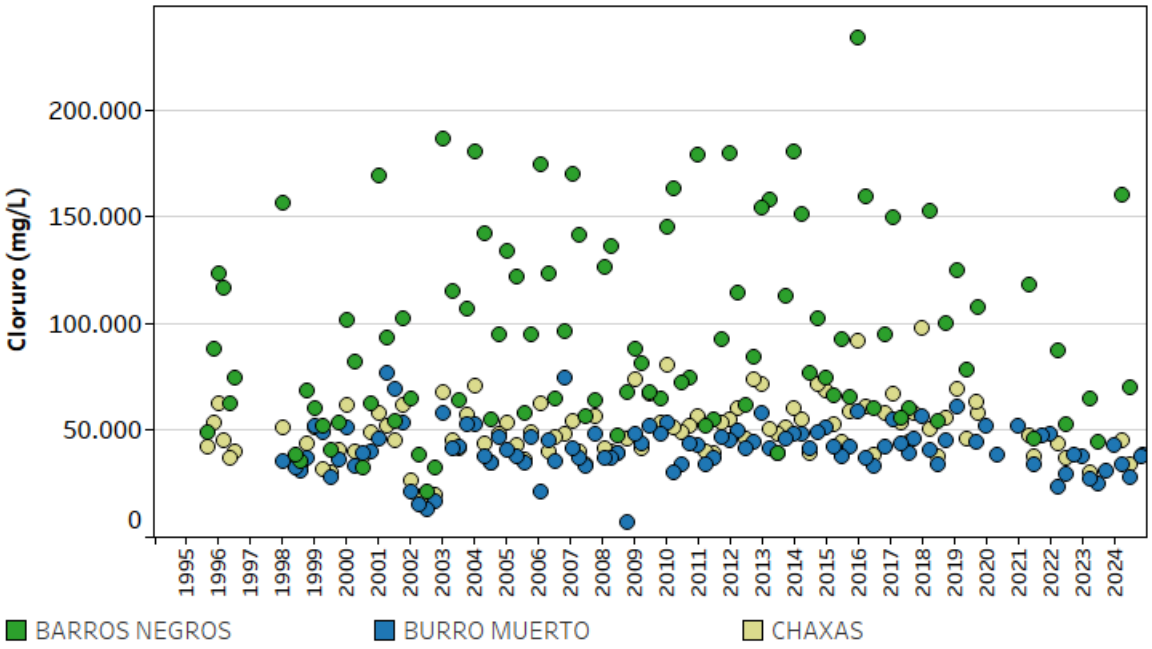
Además, dado que en el canal de Burro Muerto el flujo es de norte a sur, se produce un enriquecimiento en las concentraciones de cloruro en este mismo sentido (Figura 638), debido fundamentalmente a la evaporación, y en menor medida a aportes locales desde el Borde Este al canal del Burro Muerto. De esta manera, las mayores concentraciones del sistema Soncor, conforme a lo esperado de acuerdo con el funcionamiento del sistema, se registran en la laguna Barros Negros, cuerpo terminal.

Figura 6-37: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-38: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, laguna Chaxa y laguna Barros Negros



Fuente: Elaboración propia.

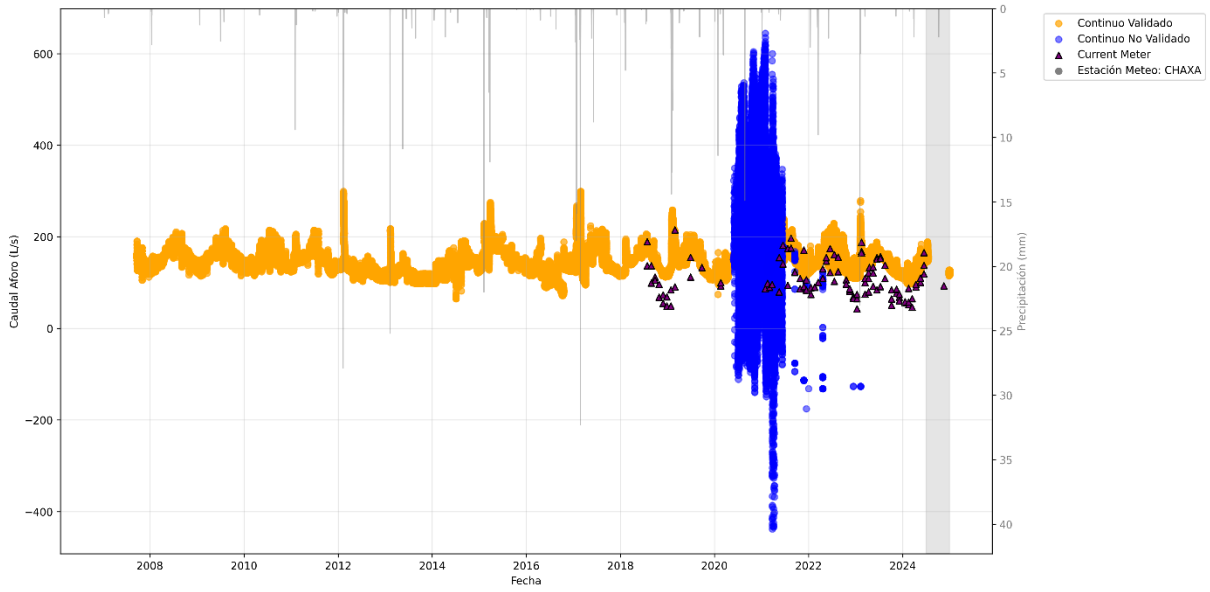
6.1.1.6 Caudal de agua superficial (aforos)

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 Nº226/2006 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 639 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.

Solo existen medidas puntuales para el punto de aforo Puente San Luis en el segundo semestre del 2024. En particular se tiene información en el mes de julio, noviembre y diciembre. En general se observa una disminución de caudal en el periodo, lo que corresponde con el comportamiento estacional de época seca.

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.

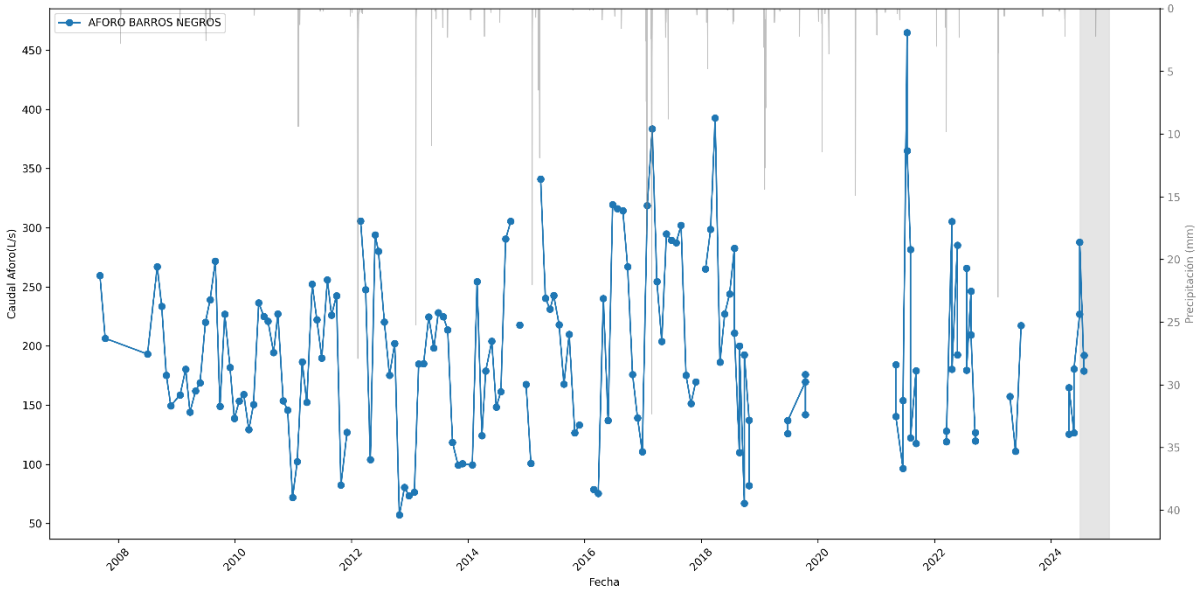
Figura 6-39: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís



Fuente: Elaboración propia

Por su parte, en la Figura 640 se muestra el caudal histórico para el punto Barros Negros, junto a la precipitación medida en la estación meteorológica Chaxa. Solo se tiene un punto de registro en este semestre, el cual corresponde a un caudal del orden de 190 L/s.

Figura 6-40: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros



Fuente: Elaboración propia

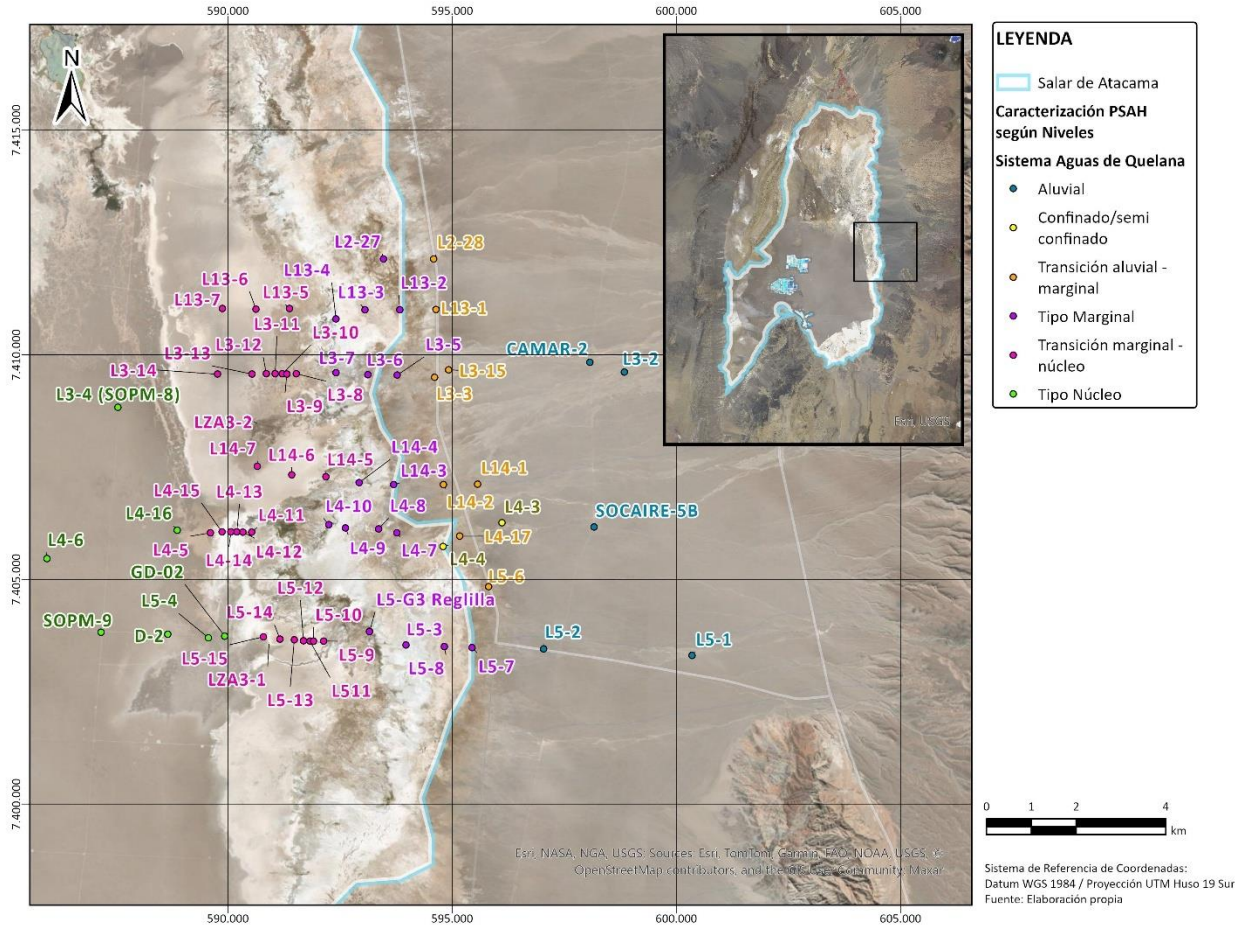
6.1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA – VEGETACIÓN BORDE ESTE

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 641). 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 segundo 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-5B.

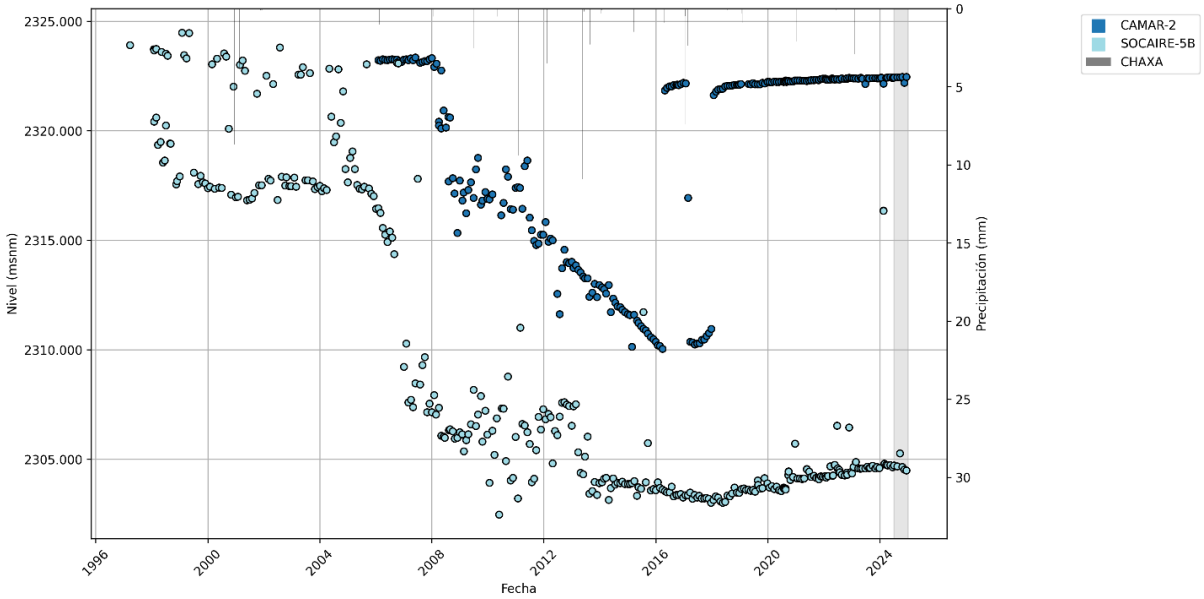
En el análisis de este sistema se han identificado varios comportamientos con características hidrogeológicas determinadas, que también se presentan en el Sistema Soncor. En concreto, se reconocen comportamientos asociados al acuífero aluvial, el transicional entre el aluvial y el marginal, el propio 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-5B. En la Figura 642 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos.

En general, los pozos Camar-2 y Socaire-5B mostraron descensos continuos desde el inicio de su operación. En el período entre 2008 y 2018, el pozo Socaire-5B 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 segundo 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 mayormente estables sobre la cota 2.322 m s.n.m., con una tasa de ascenso en torno a los 8 cm/año, calculada hasta diciembre de 2024.

Figura 6-42: Niveles en los pozos de agua industrial del Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

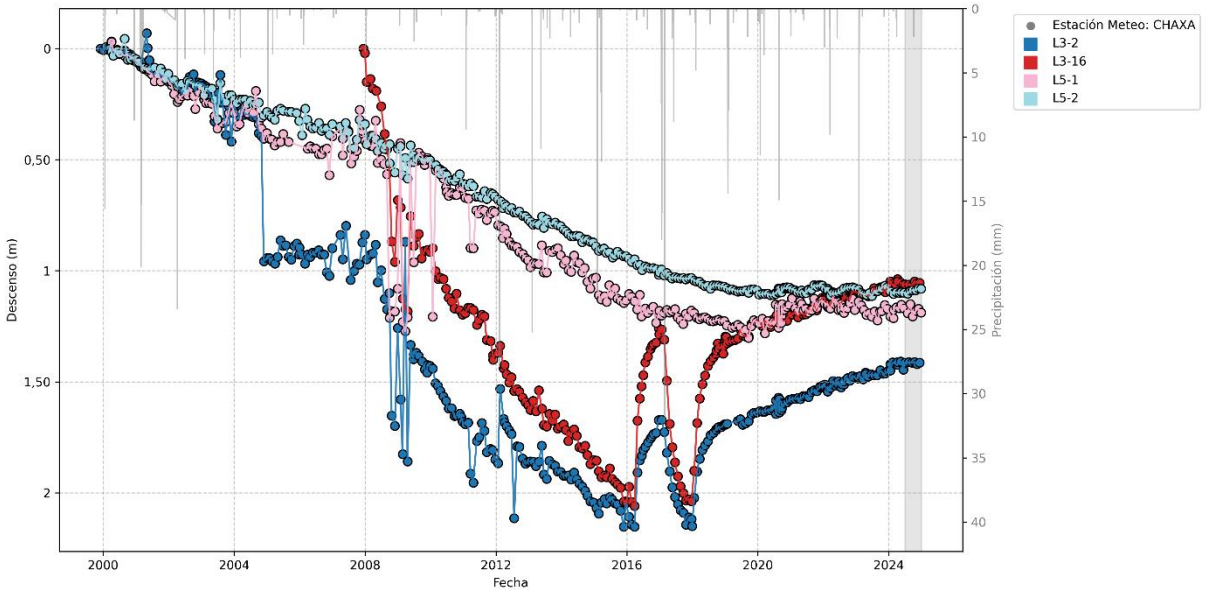
6.1.2.1.2 Pozos en Zona Aluvial

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 de sus niveles en un solo gráfico, en la Figura 643 se muestran los descensos calculados para cada uno de ellos.

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. Posteriormente, a partir de la detención del pozo Camar-2 en 2016 y en 2018, se observó un evidente y rápido ascenso de los niveles con una tasa aproximada de 5 cm/año. Finalmente, desde inicio 2024, se aprecia una estabilización de los niveles de ambos puntos.

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, mostrando una estabilización del nivel que se mantiene hasta el segundo semestre de 2024.

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. Sistema referencia WGS-84.

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 644 se presentan los descensos calculados para este grupo.

De este grupo, el ubicado más norte, el punto L2-28, ha mostrado históricamente 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 una tendencia general ascendente de aproximadamente 1 cm/año, 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.

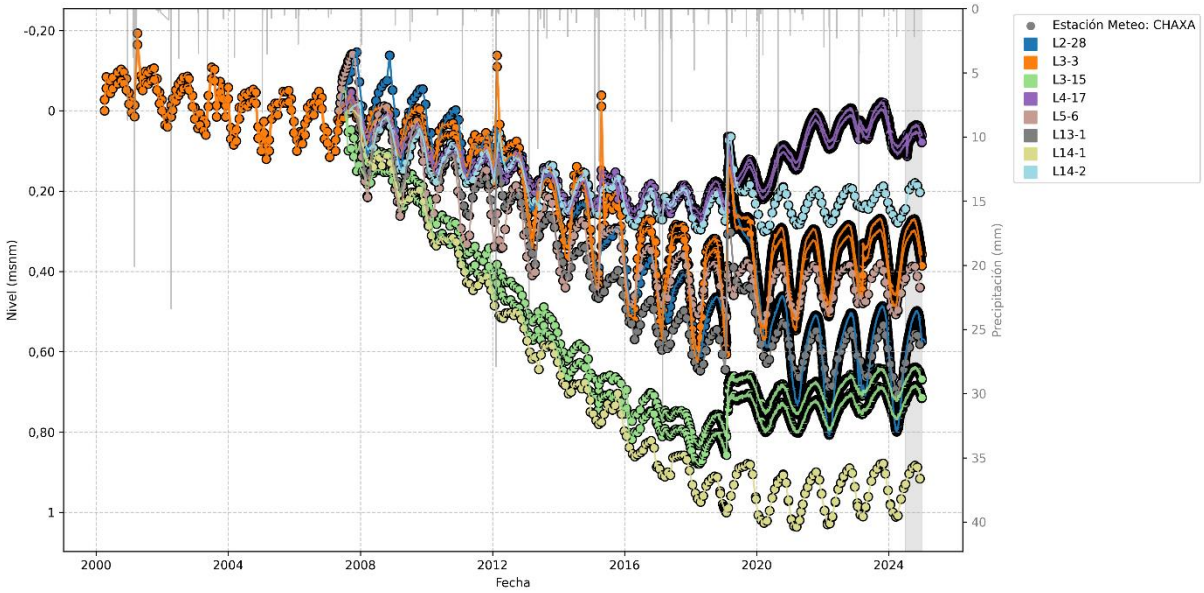
El punto L13-1 se encuentra inmediatamente al sur del L2-28 y muestra un comportamiento análogo a este pozo. En el período entre 2007 y 2019, el L13-1 mostró una tasa de descenso de 5,5 cm/año y posterior a las precipitaciones de febrero de 2019, han reflejado un comportamiento de aparente ascenso y 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 ascenso 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-5B. 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 diciembre de 2024, el nivel muestra una tendencia principalmente ascendente con una tasa aproximada en 4 cm/año. Cabe mencionar que, este punto se encuentra más cercano a Socaire-5B, pero este último 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 2024). 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. Sistema referencia WGS-84.

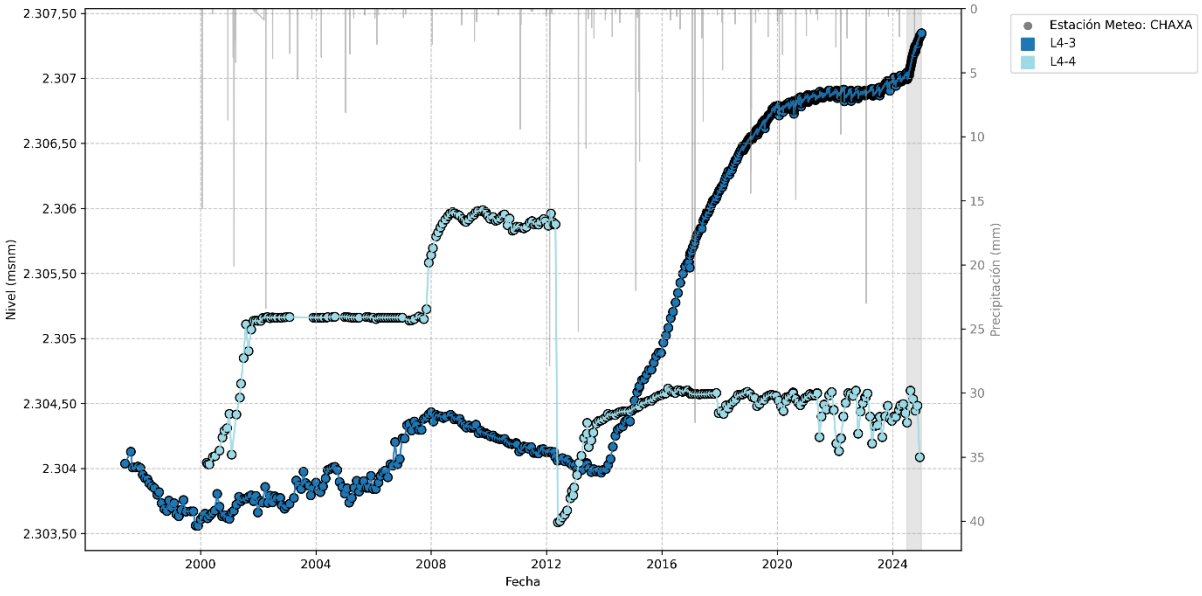
6.1.2.1.3.2 Pozos singulares: L4-3 y L4-4

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 645 se muestran los niveles de estos puntos. El año 2012 el pozo L4-4 sufrió un golpe por terceros, hecho reportado en el Informe Nº11 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 un ascenso del nivel hasta alcanzar, en 2016, aproximado la cota 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, lo cual se mantiene hasta diciembre de 2024. 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 del nivel, con una tasa del orden de 30 cm/año hasta el 2020, posterior a ello su tasa de ascenso disminuyó a unos aproximadamente 5 cm/año, para volver a aumentar durante el segundo semestre 2024, a una tasa actual de 75 cm/año.

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 646
- Serie L3 (L3-5, L3-6 y L3-7) en la Figura 647.
- Serie L14 (L14-3 y L14-4) en la Figura 648.
- Serie L4 (L4-7, L4-8, L4-9 y L4-10) en la Figura 649.
- Serie L5 (L5-3, L5-7, L5-8 y L5-G3 Reglilla y Pozo) en la Figura 650.

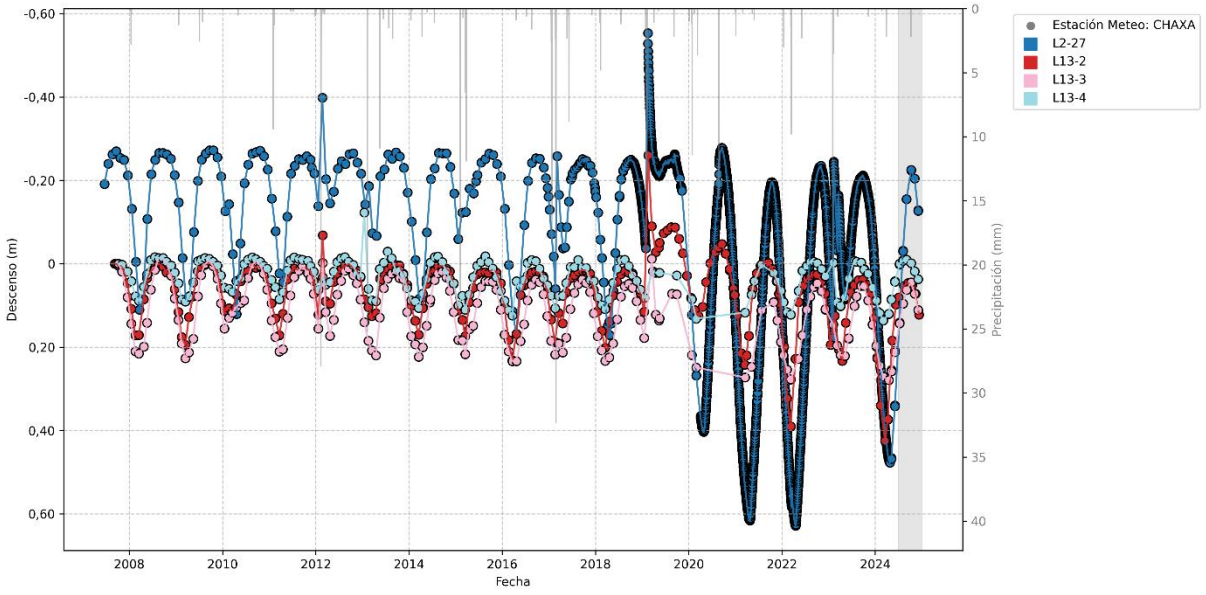
Puede notarse que, en esta agrupación de puntos, con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana, se encuentran las reglillas pertenecientes al monitoreo de agua superficial de este sector: L13-4, L14-4, L3-7, L4-10 y L5-G3 Reglilla y Pozo. Como puede verse en las figuras, 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 646 destaca el punto L2-27. Este punto muestra un comportamiento muy similar al punto L1-17 (Sistema Soncor, sección 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)



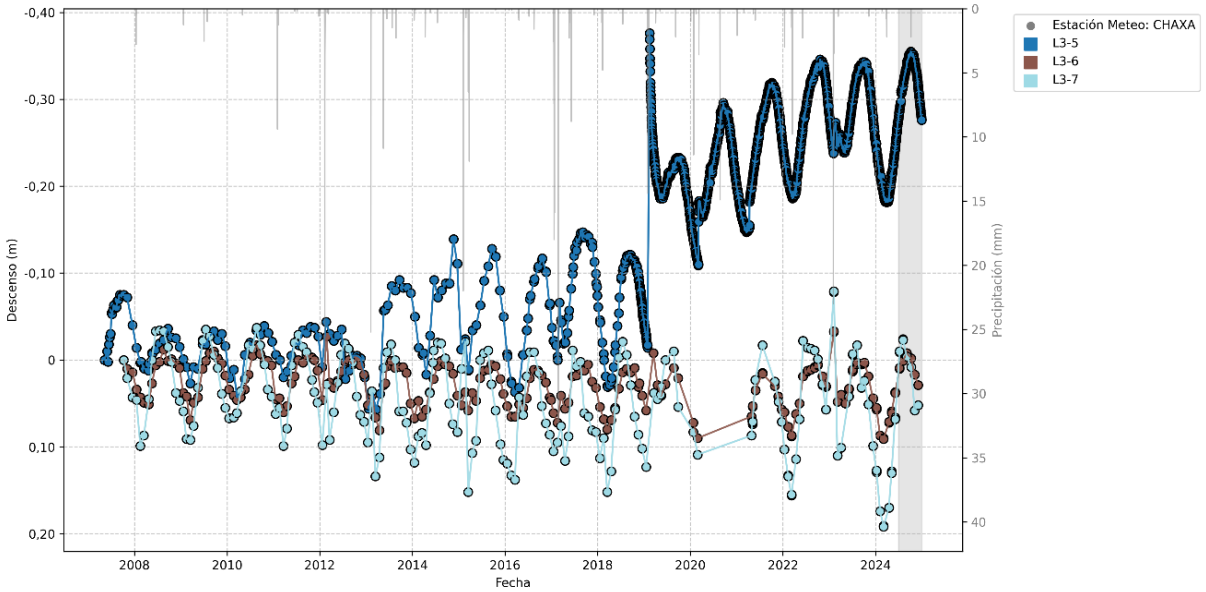
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Respecto del siguiente subgrupo, se inicia el análisis con el pozo L3-5 (serie L3 en la Figura 647), 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 segundo 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 hasta el segundo semestre 2024, en el caso de L3-7 se registró, ha inicio del 2024, un 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)

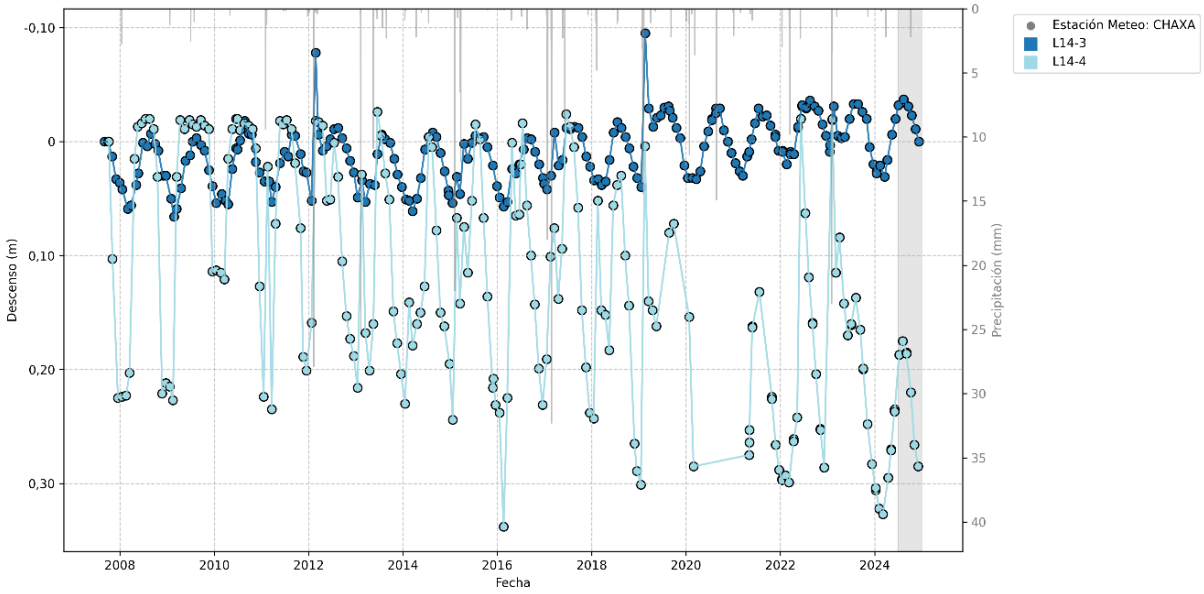


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Sobre la transecta L14 (Figura 648) 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 segundo 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)

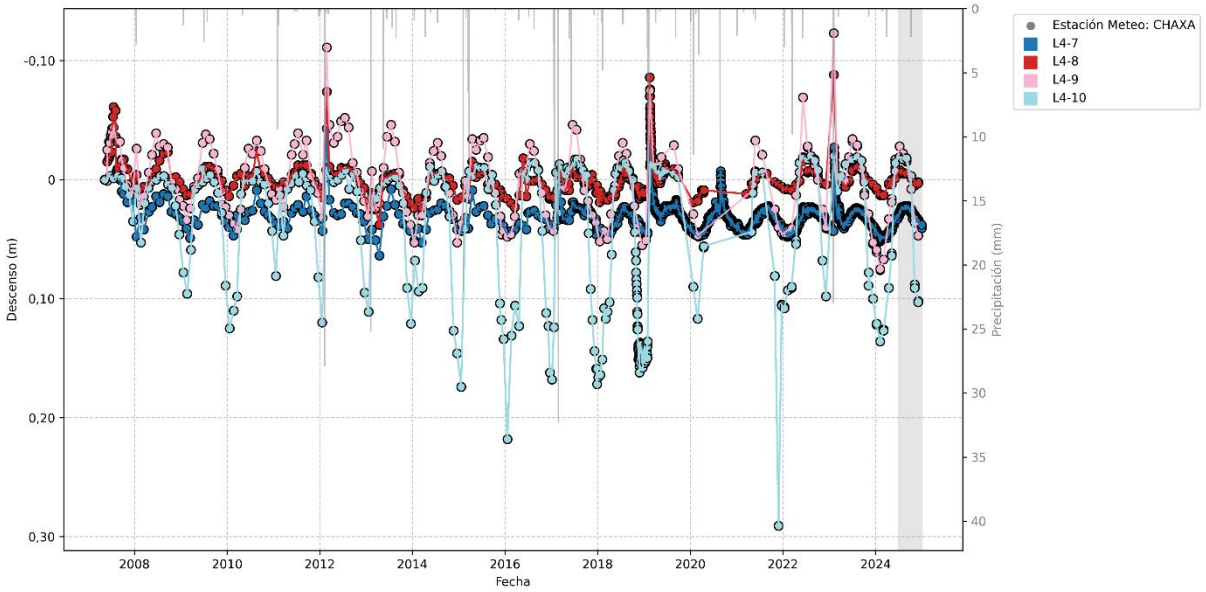


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

En la se Figura 649 se muestran los puntos de la transecta L4, que se encuentran aguas abajo del pozo Socaire-5B. 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 segundo 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. Sistema referencia WGS-84

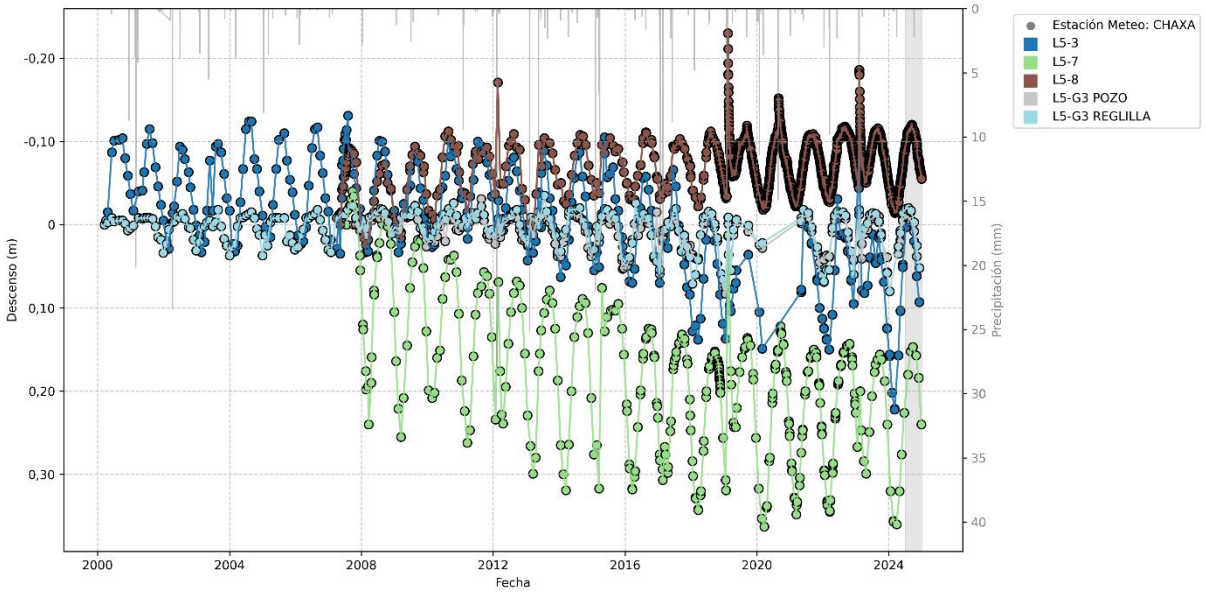
En la Figura 650 se muestran los descensos de los puntos de la transecta L5, que se ubica al sur del pozo Socaire-5B. El punto más cercano al acuífero aluvial es el L5-7 y muestra un comportamiento oscilante con tendencia de descenso desde el inicio de los registros (2007) y hasta 2018 (tasa de 1,5 cm/año). 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 ascenso, más evidente en los mínimos estacionales. Desde el año 2018 hasta el segundo semestre del 2024 muestra una tendencia estable, con mínimos estacionales similares (por ejemplo 2020 y 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 hasta el segundo 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. Cabe destacar, que a pesar de que dicha tendencia estable se mantiene hasta el segundo semestre del 2024, durante el primer semestre 2024 se reconoce un mínimo estacional histórico, en torno a 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. A continuación, desde febrero 2020 y hasta mayo 2021 no se tiene registro de los descensos. Posterior a ello los datos muestran mínimos estacionales con una tendencia estable hasta el segundo semestre de 2024.

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. Sistema referencia WGS-84

6.1.2.1.3.4 Pozos de comportamiento transicional marginal – núcleo

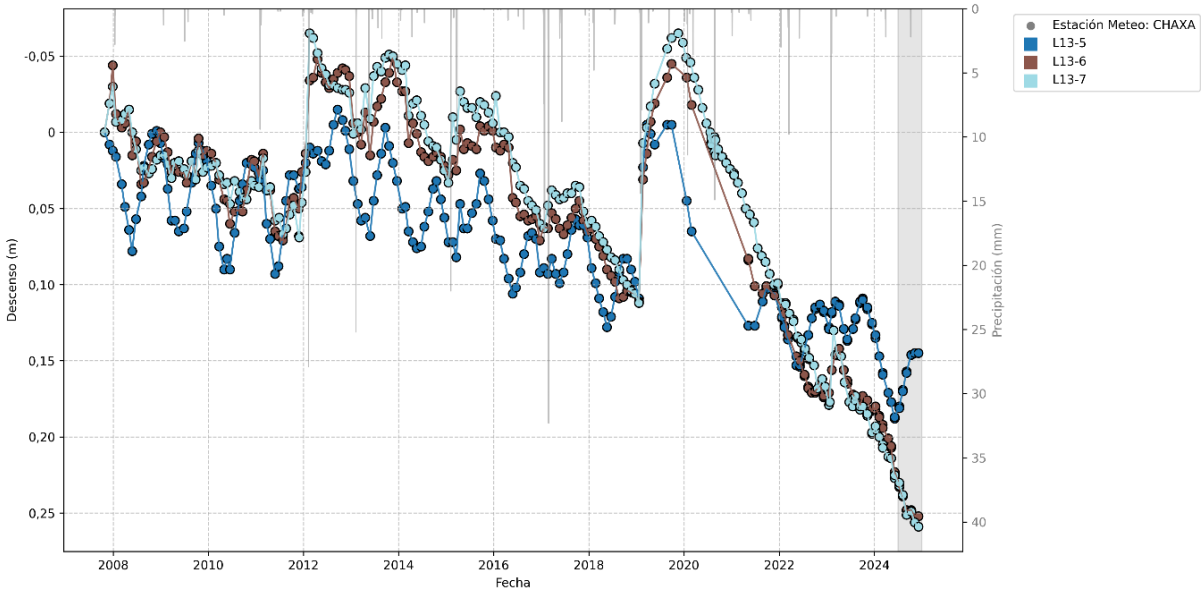
El siguiente grupo abarca desde los cuerpos de agua en superficie y en dirección al oeste. Estos pozos presentan un comportamiento transicional entre lo observado en la Zona Marginal y el Núcleo (que se describe en la sección 6.1.6). Se trata de un gran número de puntos, por lo que se muestra el descenso calculado distribuido en varios gráficos, de manera que permita identificar mejor las respuestas norte- sur:

- Serie L13 (L13-5, L13-6, L13-7) en Figura 651
- Serie L3 (L3-8, L3-9, L3-10, L3-11, L3-12, L3-13, L3-14) en la Figura 652
- Serie L14 (L14-5, L14-6, L14-7) en la Figura 653.
- Serie L4 (L4-5, L4-11, L4-12, L4-13, L4-14, L4-15) en la Figura 654.
- Serie L5 (L5-9, L5-10, L5-11, L5-12, L5-13, L5-14, L5-15) en la Figura 655.

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 aumente 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).

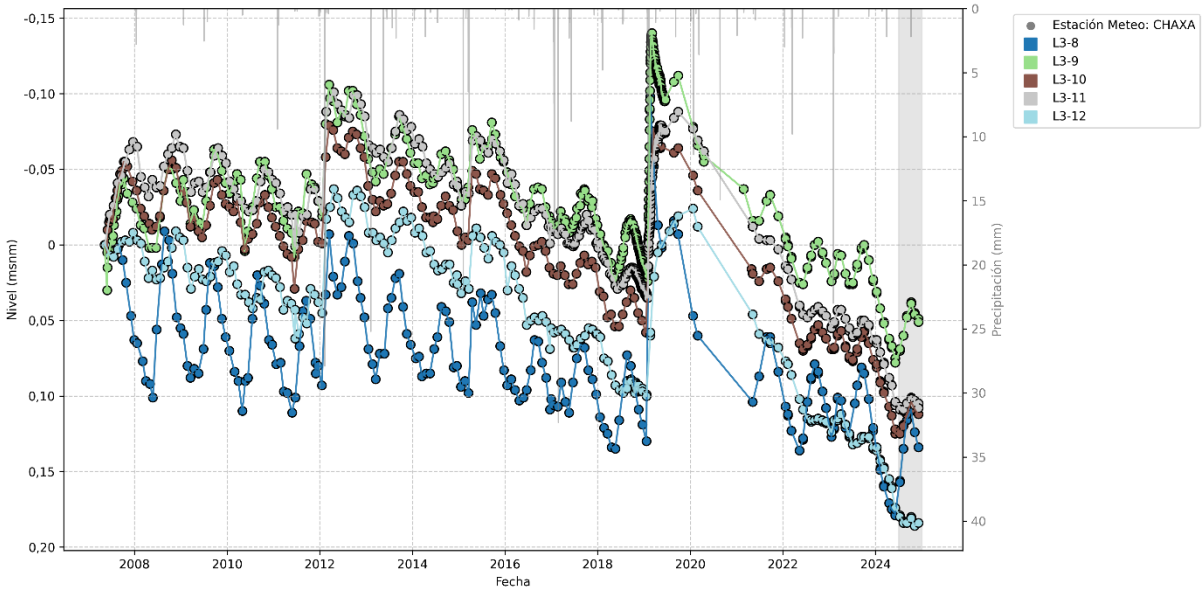
Según los registros obtenidos, todos los puntos reaccionan a los eventos de lluvia. Aquellos que muestran una mayor respuesta de ascenso son los pozos L4-5 y L5-9. Por ejemplo, durante las lluvias de febrero de 2023, el punto L4-5 registró un ascenso de 43 cm, mientras que el pozo L5-9, mostró un ascenso de 40 cm, siendo este último el único de su serie que registró 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)



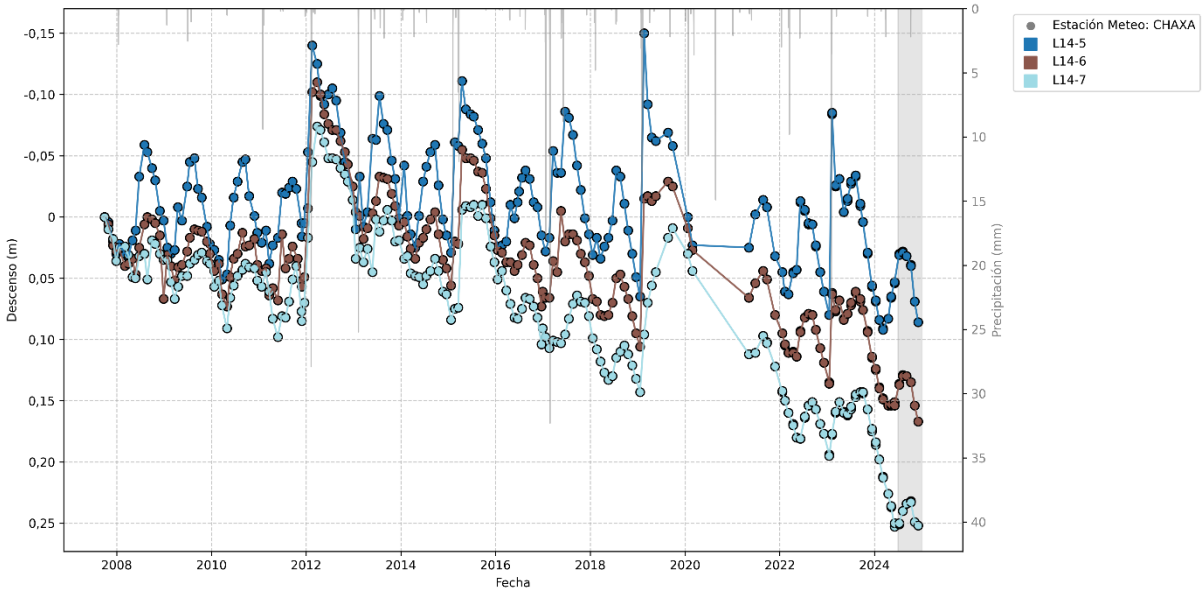
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Figura 6-52: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L3)



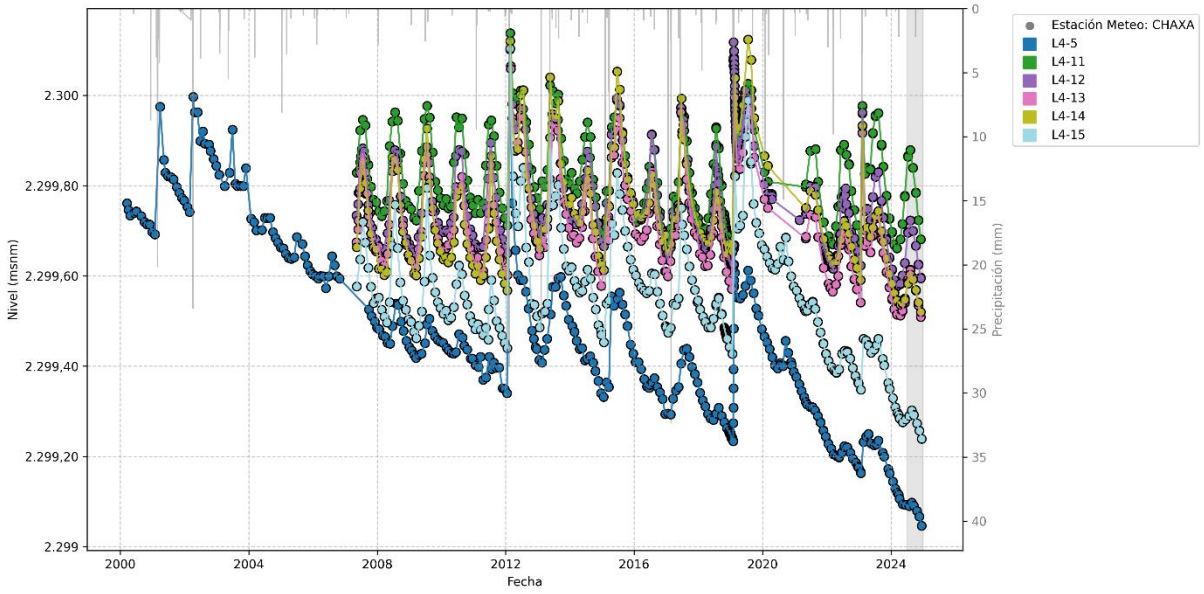
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Figura 6-53: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre Zona Marginal y Núcleo del Sistema Aguas de Quelana (serie L14)



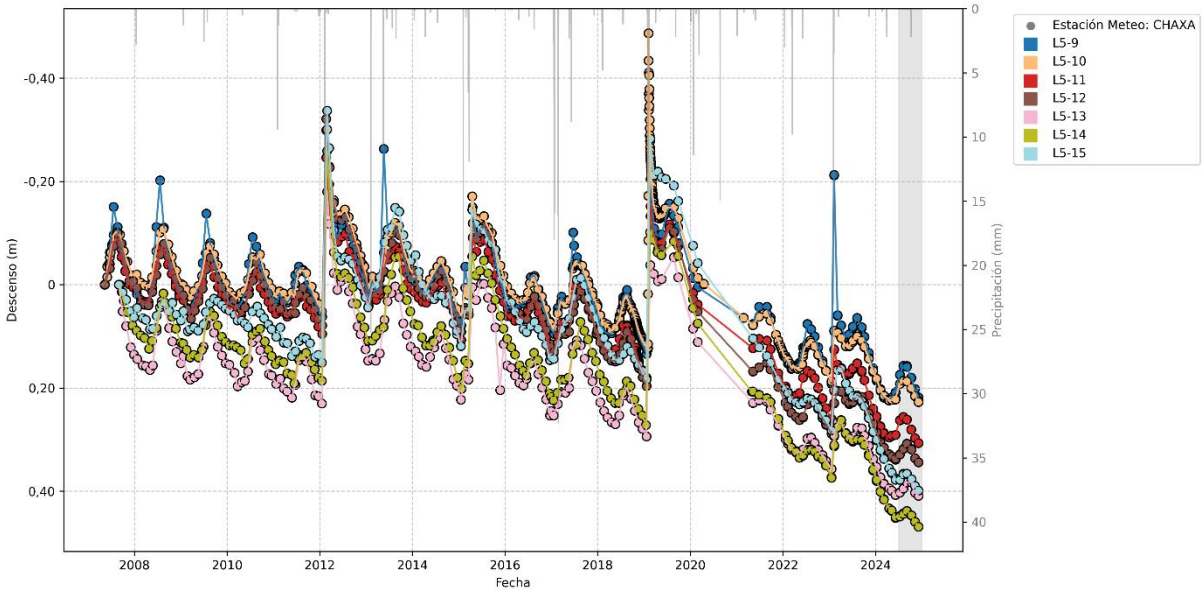
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Figura 6-54: Nivel 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. Sistema referencia WGS-84

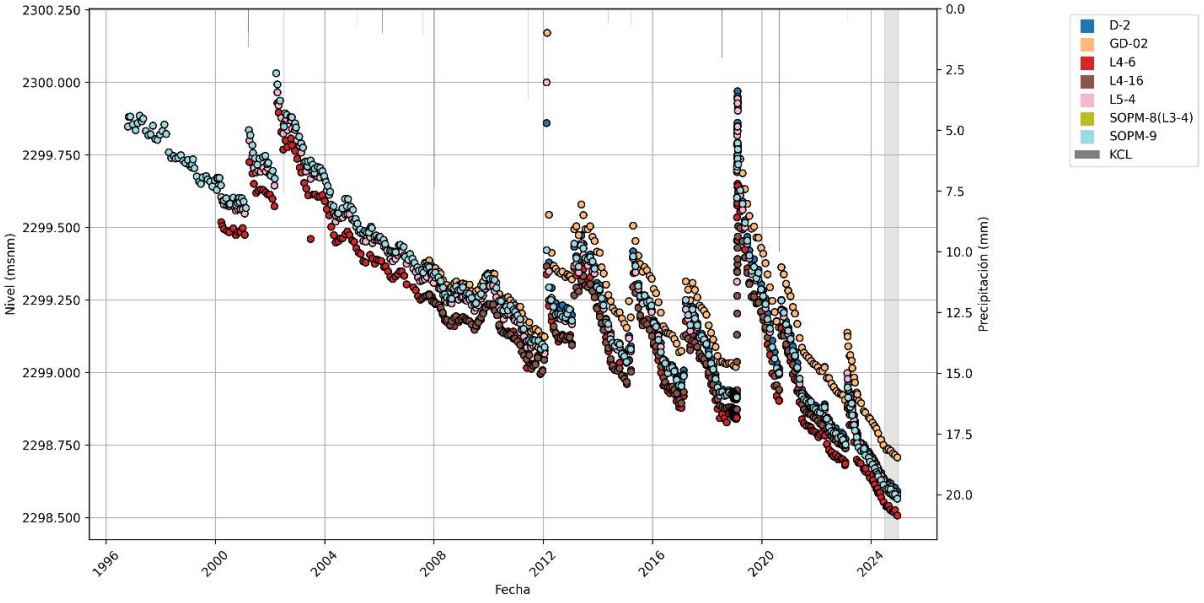
En definitiva, los niveles históricos junto con la data registrada durante el segundo semestre de 2024 permiten concluir que el sistema permanece con las variaciones esperadas según el tipo de comportamiento. La detención del Camar-2 supuso el ascenso del nivel en diversos puntos, no solo cercanos al arco de éste, sino que también en sectores más al sur del pozo Socaire-5B. 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.

6.1.2.1.3.5 Pozos de comportamiento de tipo núcleo

Estos pozos presentan un comportamiento observado en los pozos del Núcleo (que se describe en la sección 6.1.6). Se trata de siete pozos ubicados en el extremo oeste del sistema Aguas de Quelana.

Como puede observarse en la Figura 656, 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, desde el inicio del registro hasta el segundo semestre del 2024, 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 lacustre

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 agua dulce 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.

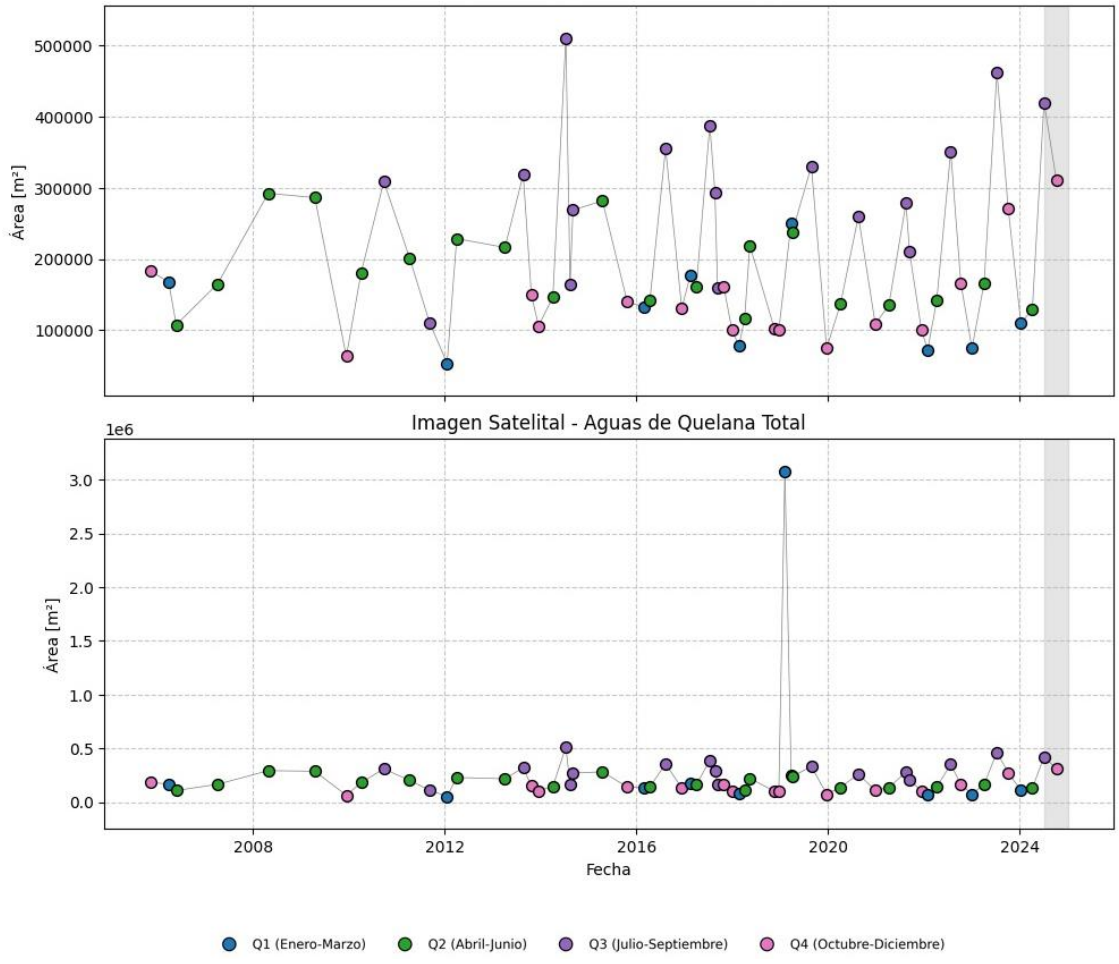
Para este sistema las mediciones de superficie lacustre se realizaron mediante imágenes satelitales, y no se considera el uso de técnicas como las estacas y levantamiento perimetral debido a la dispersión, reducido tamaño y alta variación espacial en los cuerpos de agua. Además, estas últimas técnicas no forman parte del compromiso definido en el PdC.

La Figura 657 muestra los resultados de esta serie de tiempo actualizada hasta el segundo semestre de 2024. Se aprecia que la superficie lacustre de este sistema muestra una disminución del 9.1% si se comparan los registros de julio de 2023 y 2024. En cambio, se observa un aumento de 14,9% al comparar las superficies de los meses de octubre de 2023 y 2024. Por otra parte, se observa una disminución de 26,0% entre julio y octubre de 2024.

El gráfico superior de la Figura 657 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. Este comportamiento se ha mantenido a lo largo del tiempo, evidenciando la influencia de la evaporación y los aportes hídricos estacionales en la

variabilidad de la superficie lacustre. La superficie promedio en período analizado es de aproximadamente 220.000 m^2.

Figura 6-57: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial.



Nota: El gráfico superior no incluye el dato del 5 de febrero de 2019. Fuente: elaboración propia

6.1.2.3 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación LZA3-1 y LZA3-2, considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, velocidad del viento promedio, evaporación promedio y temperatura promedio, desde aproximadamente del mes octubre del año 2022 a la fecha, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 658 y Figura 659 Los parámetros de evaporación promedio, velocidad

y dirección del viento promedio, radiación global promedio y presión atmosférica solo se registran en la estación meteorológica LZA3-1.

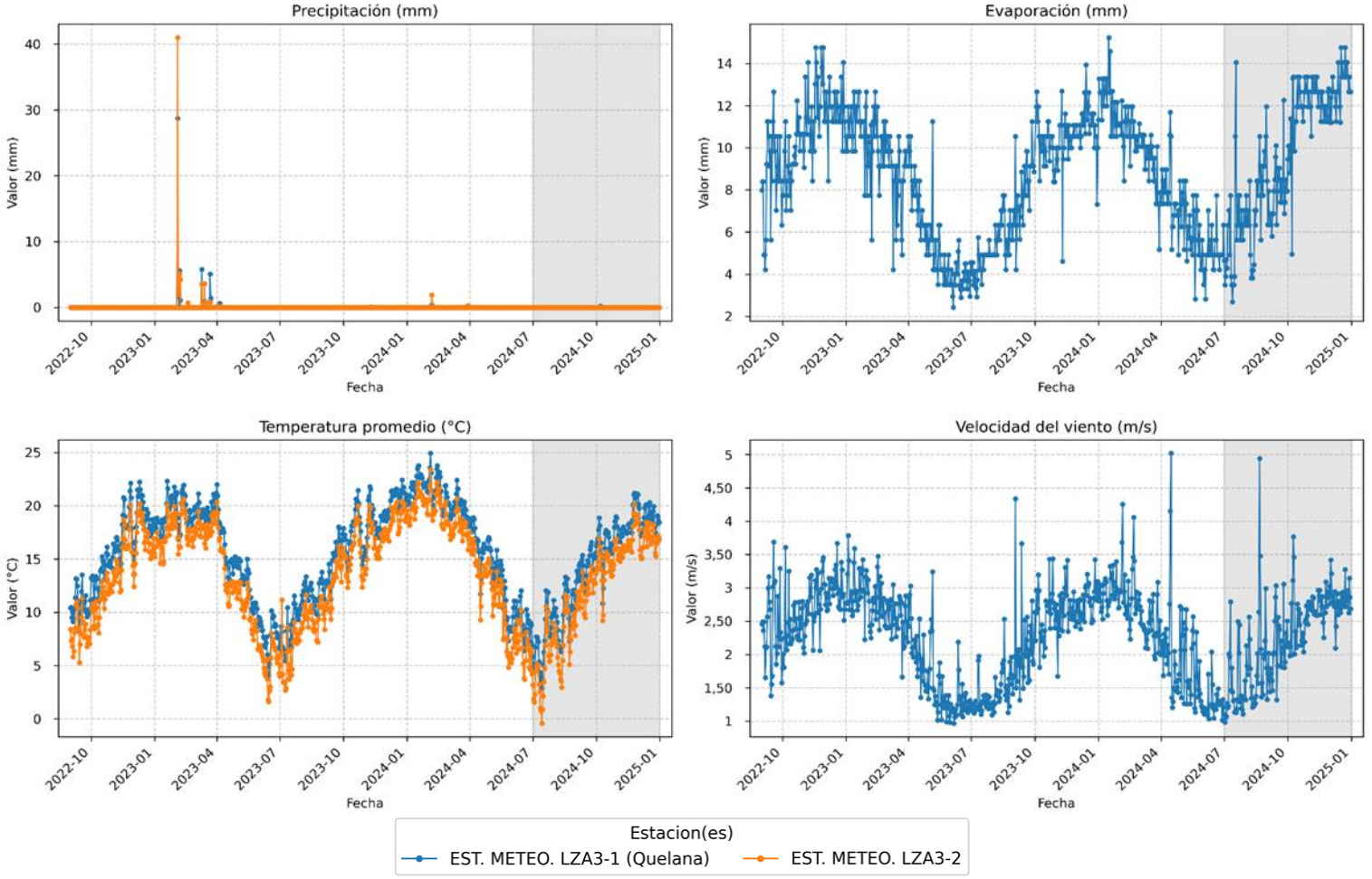
Las series de precipitación histórica en las estaciones meteorológicas mostraron que el período con mayor cantidad de eventos fue el primer semestre del año 2023. Por otro lado, la máxima precipitación diaria que se registró fue en el primer semestre del año 2023 en la estación meteorológica LZA3-2. Este evento meteorológico alcanzó una magnitud del orden de 43,00 mm de agua caída. Por su parte, durante el segundo semestre del año 2024, solo se registró un evento de precipitación, en la estación LZA3-1, que ocurrió en el mes de octubre con una magnitud de 0,20 mm.

Respecto a la temperatura, evaporación y radiación global, estas variables presentan una oscilación estacional muy marcada, con valores máximos en los meses de verano (enero, febrero y marzo), y mínimos en los meses de invierno (julio, agosto y septiembre). La temperatura promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 14,20 y 12,00 °C para las estaciones meteorológicas LZA3-1 y LZA3-2, respectivamente. El promedio histórico de temperatura en la estación meteorológica LZA3-1 es del orden de 14,00°C, por otro lado, el promedio histórico de la estación meteorológica LZA3-2 es del orden de 12,00 °C. Por otra parte, la evaporación promedio durante el segundo semestre del año 2024 fue de 9,60 mm/día en la bandeja de evaporación de LZA3-1, esto equivale a 1,60 mm/día por sobre del promedio histórico del orden de 8,00 mm/día, mientras que la radiación global promedio durante el segundo semestre del año 2024 fue de 323,10 W/m2, sobre el promedio histórico de 318,40 W/m2.

La humedad relativa presenta valores máximos en los meses de febrero, marzo y abril, en donde el valor promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 13,59% y 9,48% para las estaciones meteorológicas LZA3-1 y LZA3-2 respectivamente, con un promedio histórico del orden de 14,90% y 11,58% para las estaciones mencionadas anteriormente.

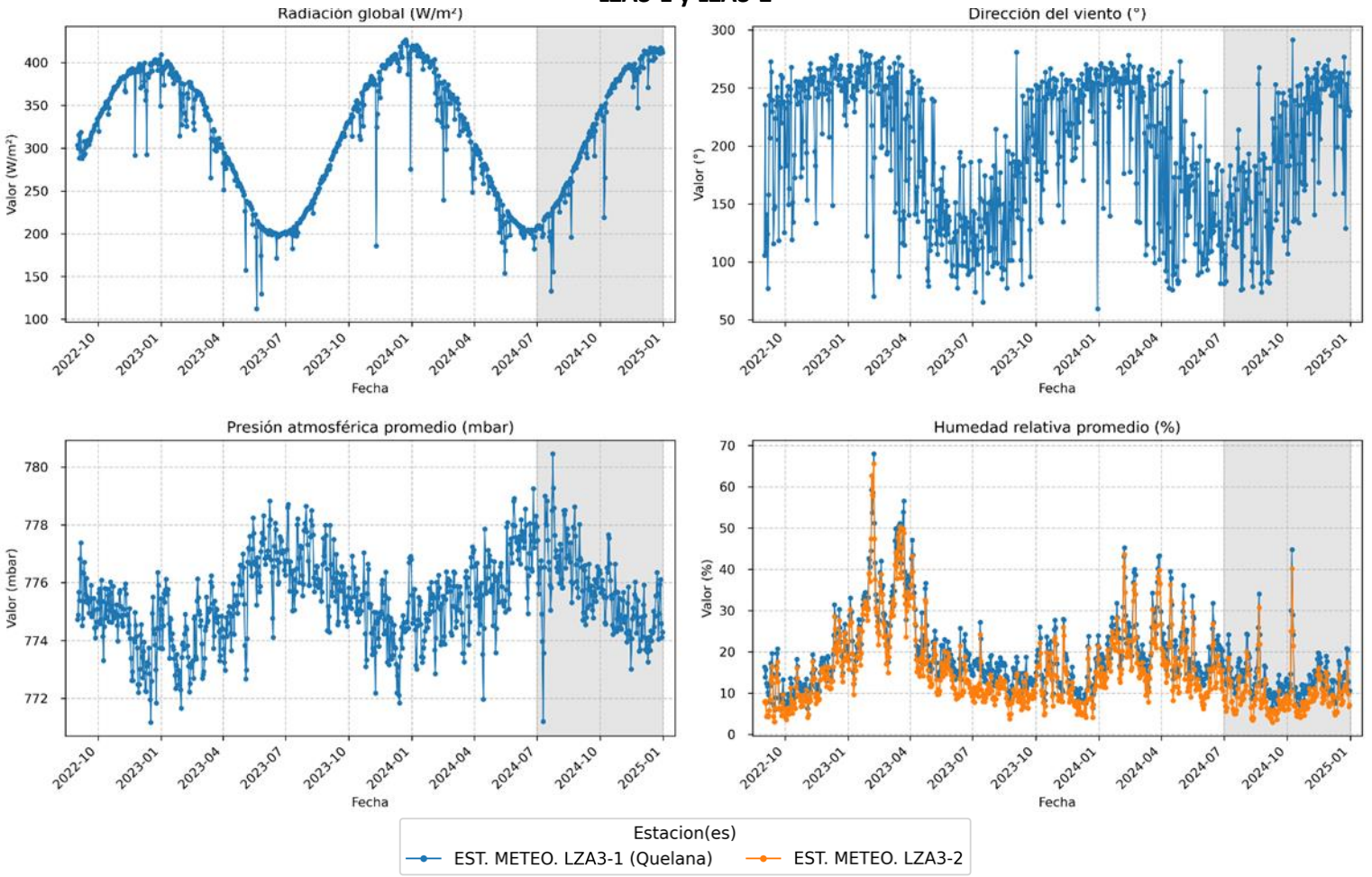
Respecto a la velocidad del viento el promedio durante el segundo semestre del año 2024 fue 2,20 m/s, que corresponde a 0,20 m/s menos que el promedio histórico del orden de 2,00 m/s, mientras que la dirección del viento el promedio durante el segundo semestre del año 2024 fue de 190,98. Por último, la presión atmosférica promedio durante el segundo semestre de 2024 fue de 775,73 mbar, que corresponde a 0,5 mbar más que el promedio histórico de 775,23 mbar hasta junio de 2024.

Figura 6-58: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación LZA3-1 y LZA3-2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-59: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación LZA3-1 y LZA3-2



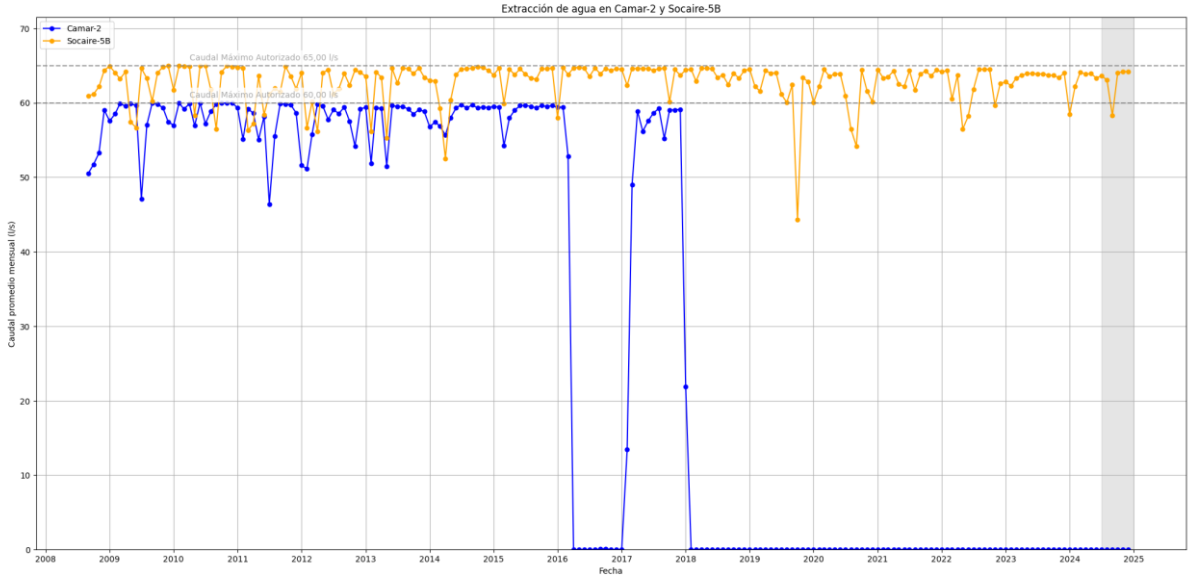
Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.4 Caudal bombeado agua

Los flujos de agua extraídos históricamente desde los pozos Camar-2 y Socaire-5B se muestran en la Figura 660. El pozo Camar-2 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-5B, 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 históricamente la operación del pozo Socaire-5B se mantiene por debajo del umbral autorizado, con un caudal promedio semestral de 61,8L/s al segundo semestre de 2024.

Figura 6-60: Caudal bombeado del sistema Aguas de Quelana (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.5 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado durante el segundo 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 Límites Detección o Límites 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.

6.1.2.5.1 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 661,

Figura 662 y Figura 663)[11, 12].

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 µS/cm. Además, presenta un pH terreno con valores entre 7,31 y 8,19 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 µS/cm, aumentando hacia la zona marginal (L4-8 y L4-9) con registros promedio en torno a 85.126 µS/cm en el pozo L4-8 y 119.194 µS/cm en el pozo L4-9. Adicionalmente, la conductividad eléctrica aumenta a medida que se avanza al oeste, con un valor de 148.670 µS/cm promedio en el punto L4-12, hasta valores cercanos a 236.312 µS/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 los puntos L4-6, L4-8, L4-9 y L4-12 presenta valores entre 6,84 y 8,46. Por otra parte, el pozo L4-3, ubicado en la zona aluvial, presenta valores de pH de terreno entre 5,03-7,27.

[11] En el informe Nº 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.

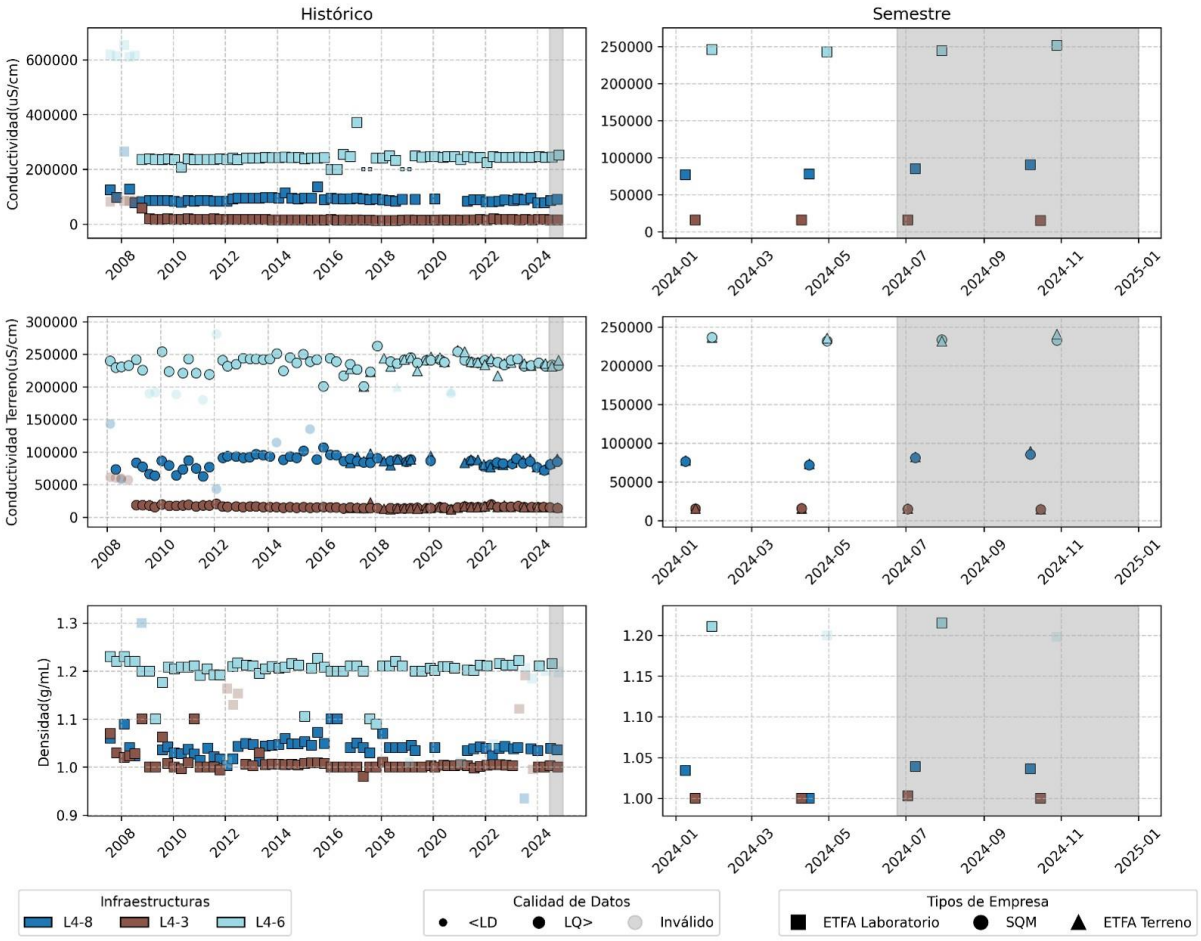
[12] En el informe Nº 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del 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).

Adicionalmente, presenta un contenido de sólidos totales y sólidos disueltos totales en general inferior a 37.120 mg/L y 12.760 mg/L, respectivamente, y una densidad de terreno y laboratorio en torno 0,98-1,10 g/mL.

El pozo L4-6, ubicado en el núcleo, muestra una alta conductividad eléctrica de terreno (promedio 236.000 µS/cm), contenido de sólidos disueltos totales (promedio 261.086 mg/L) y sólidos totales (promedio 275.749 mg/L) y densidad promedio del orden de 1,20 g/mL, correspondiente a un agua tipo salmuera.

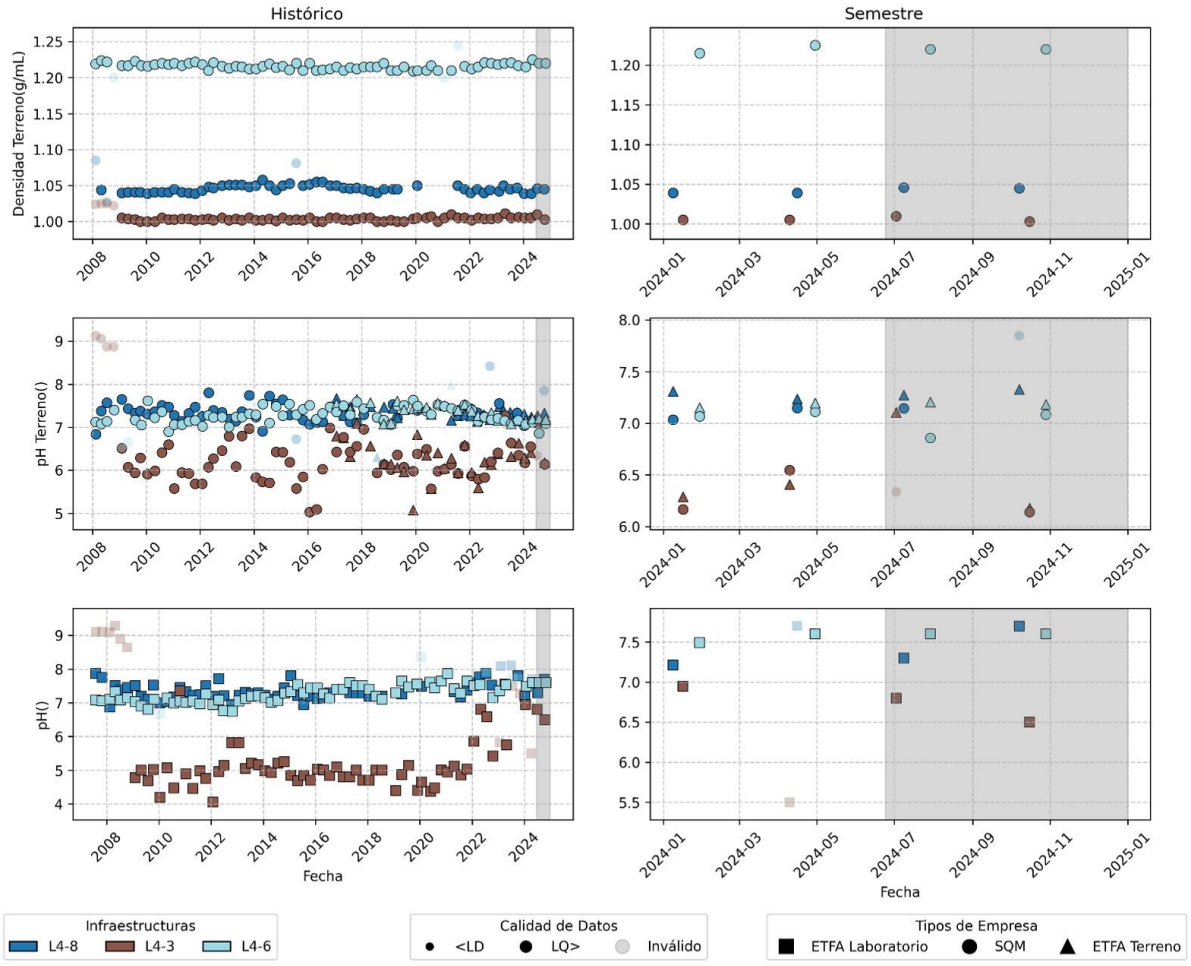
La Reglilla L4-10 presenta como principal característica una marcada estacionalidad, como consecuencia de la evaporación, oscilando su conductividad eléctrica entre valores en torno a 20.000 y 240.000 µS/cm, entre invierno y verano, respectivamente. Respecto a los parámetros adicionales que se reportan del punto L4-10 (alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, dureza, arsénico, calcio, cloruro, magnesio, N-nitrato, oxígeno disuelto, oxígeno disuelto terreno, potasio, salinidad, sodio, sulfato, calcio disuelto, sodio disuelto, potasio disuelto, y magnesio disuelto se muestran estables respecto al promedio histórico observado.

Figura 6-61: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8



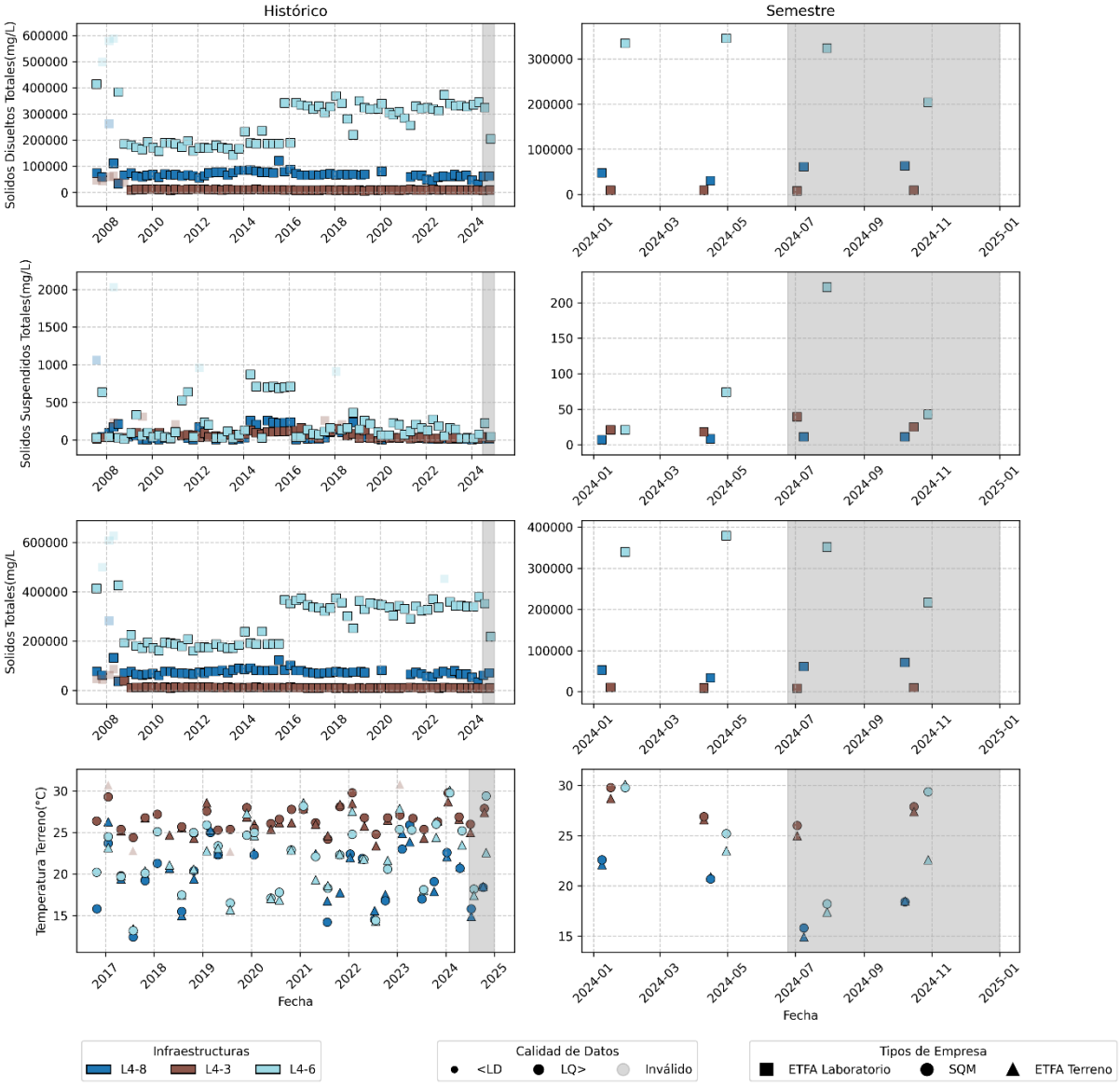
Fuente: Elaboración propia. Los valores >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 661: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8 (continuación)



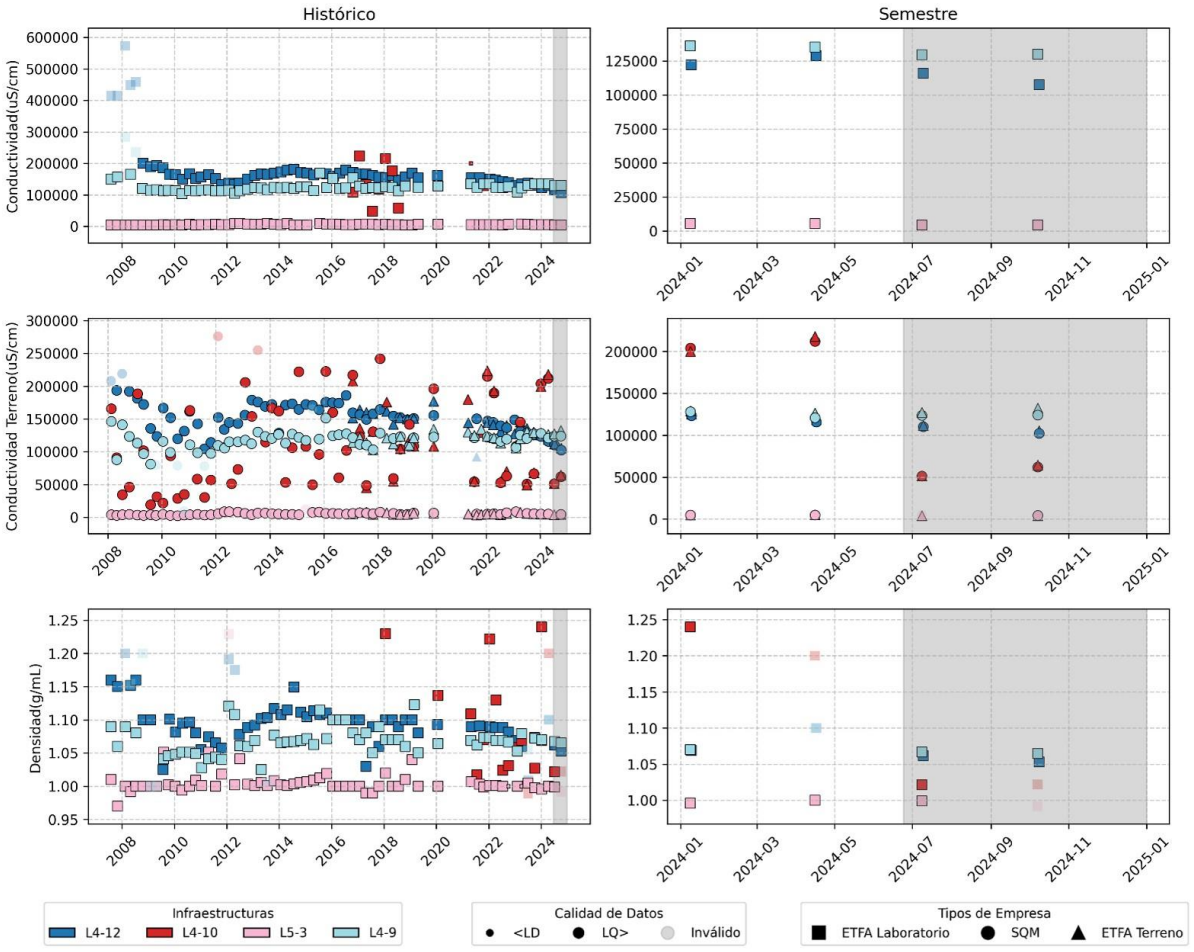
Fuente: Elaboración propia. Los valores >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 661: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos L4-3, L4-6 y L4-8 (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-62: 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 662: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L4-12, L4-10, L5-3 y L4-9 (continuación)

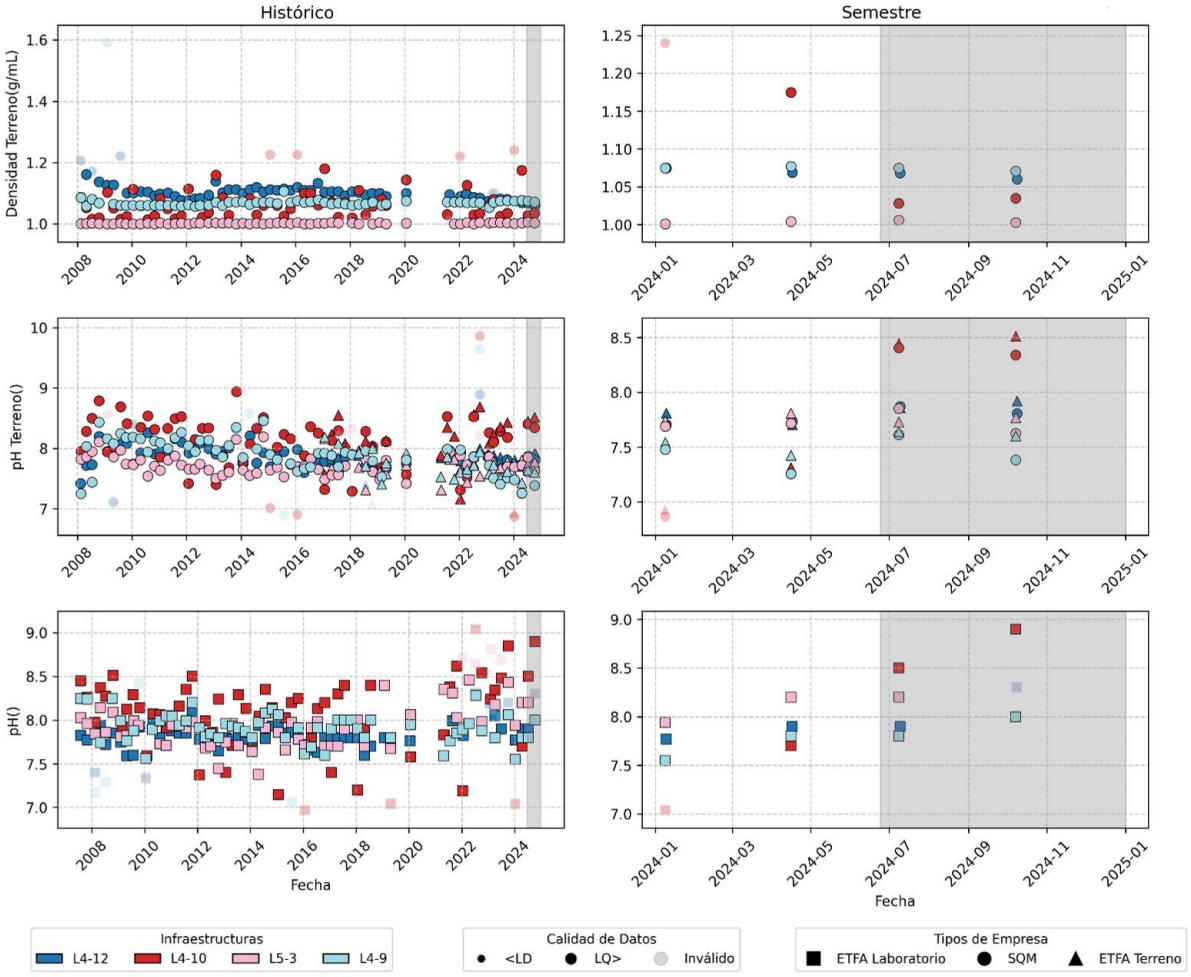


Figura 662: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L4-12, L4-10, L5-3 y L4-9 (continuación)

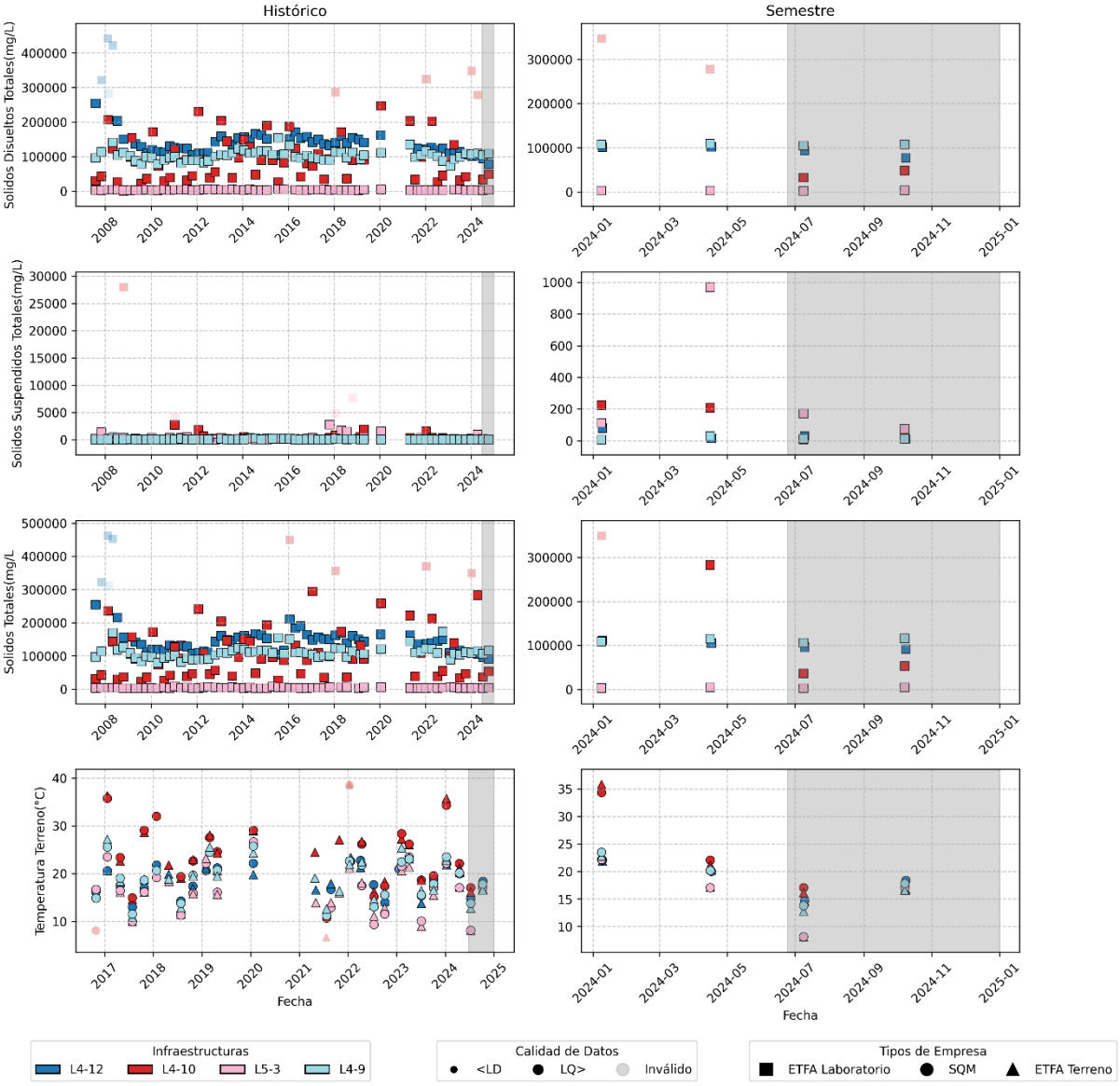
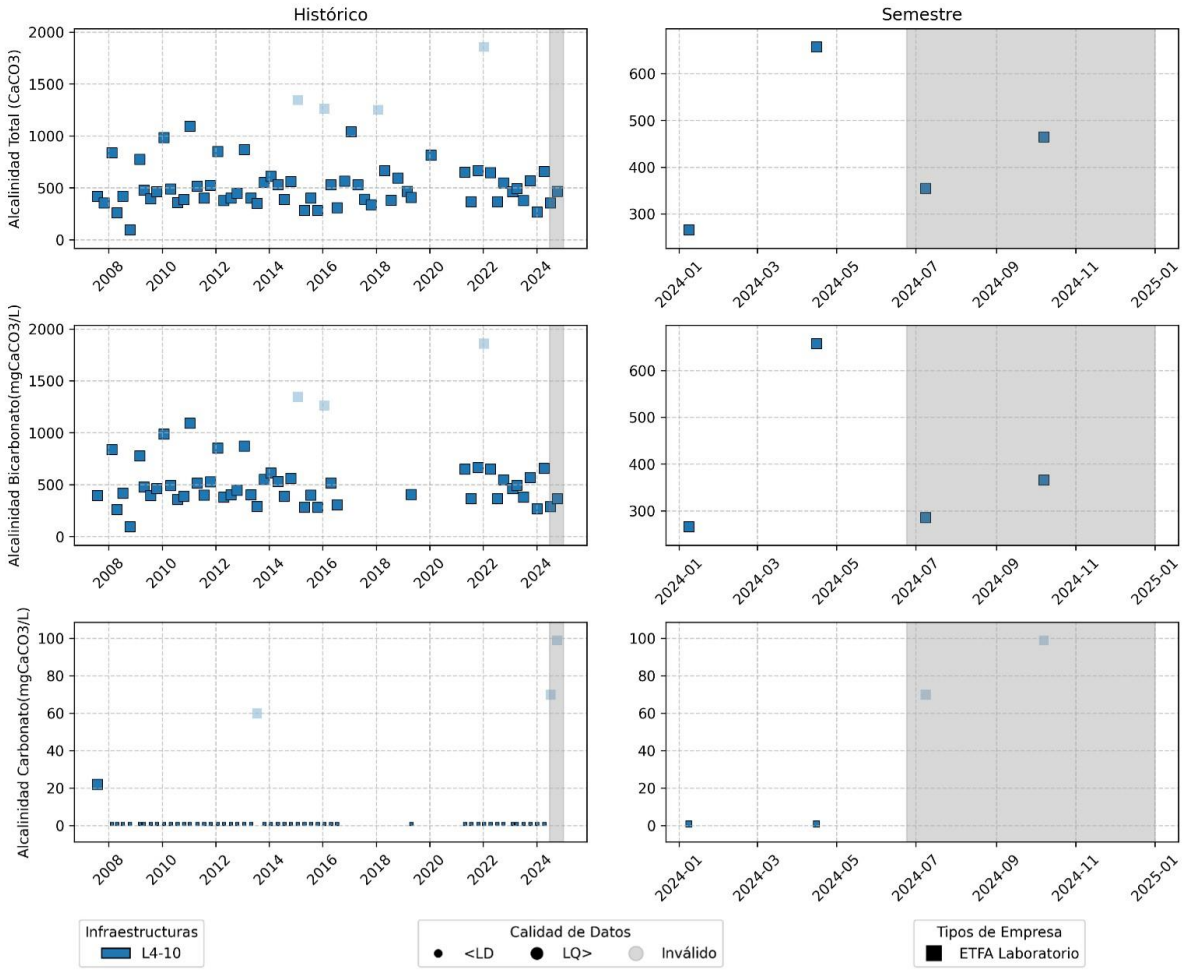
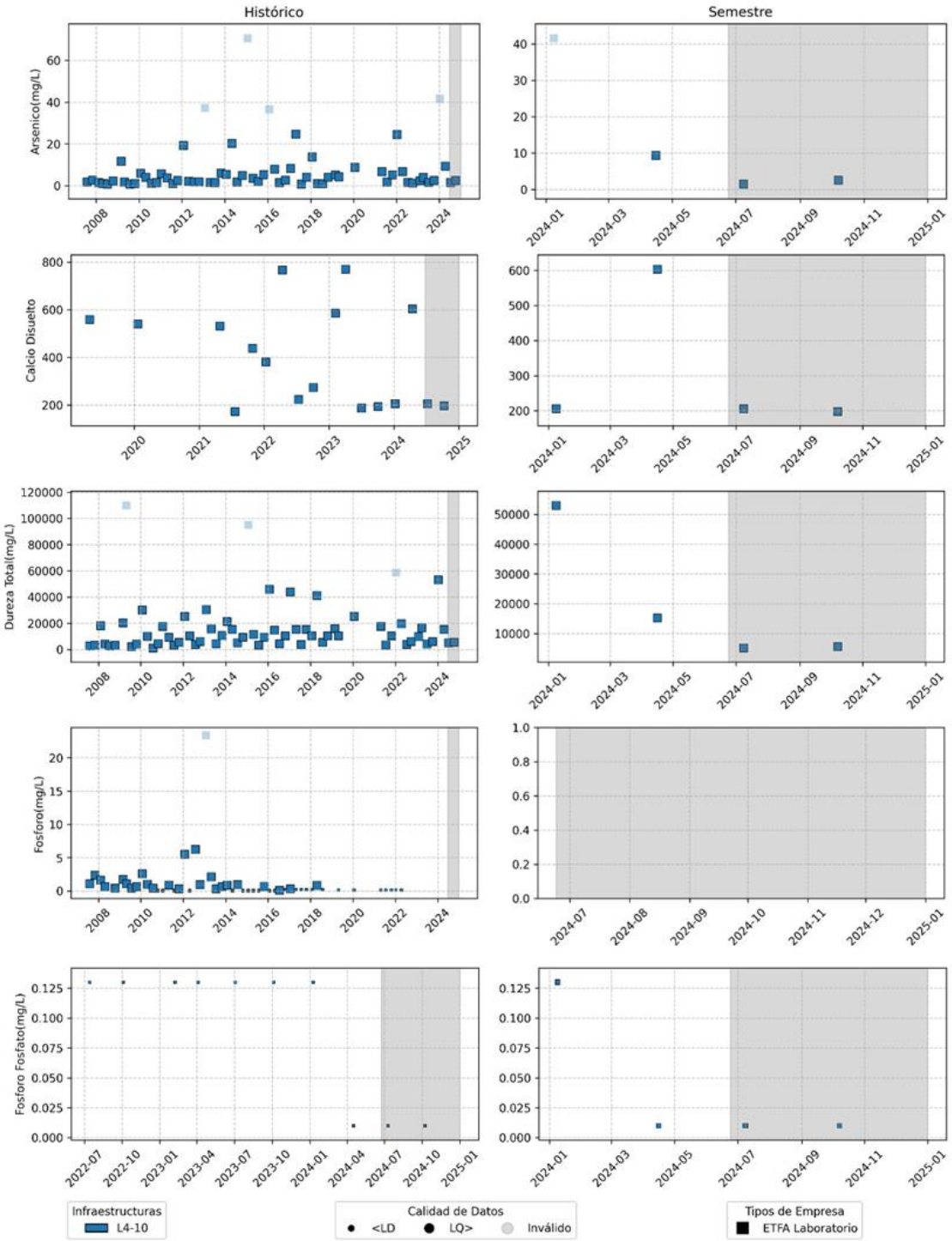


Figura 6-63: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10



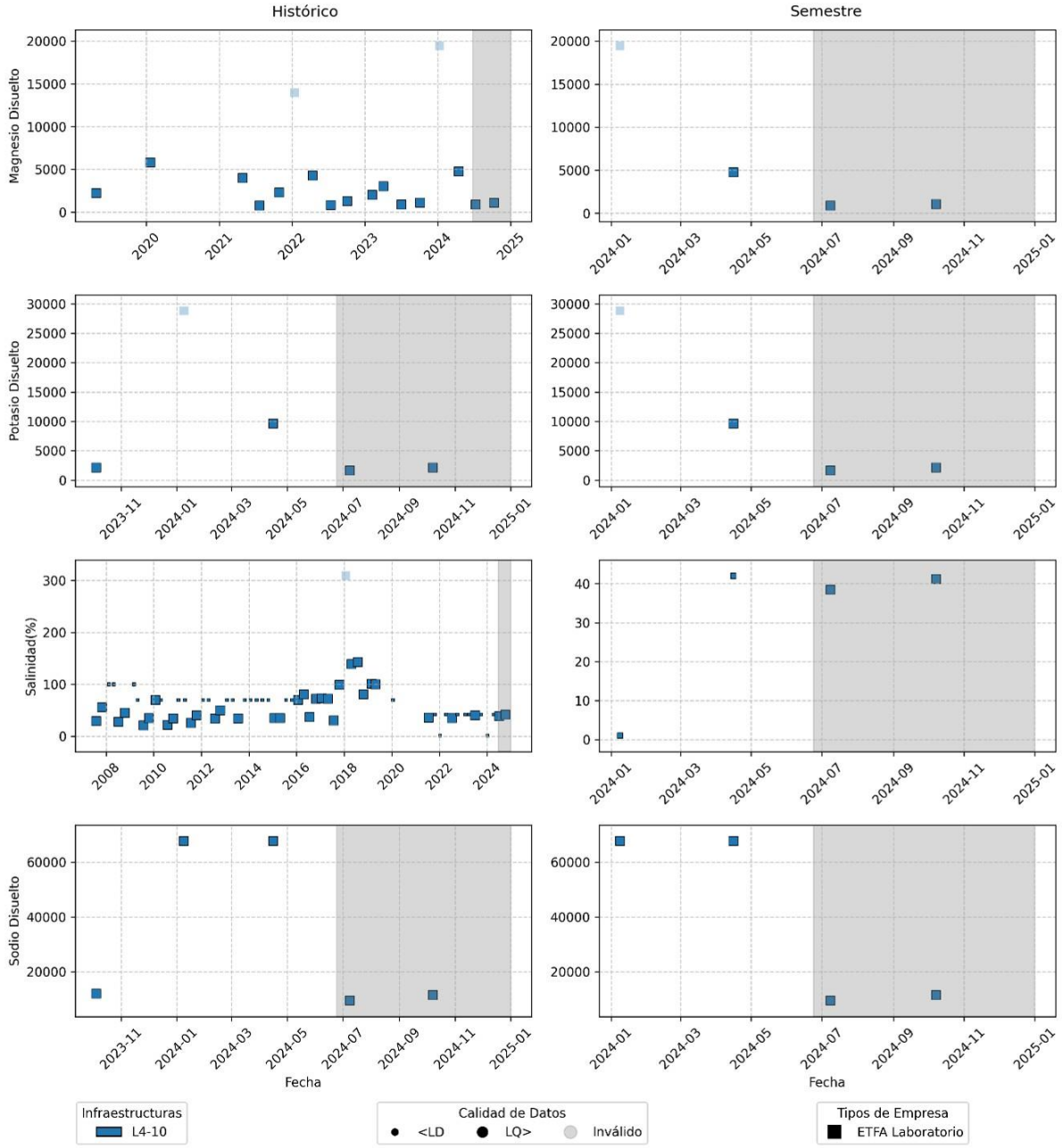
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD y >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-63: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10 (continuación)



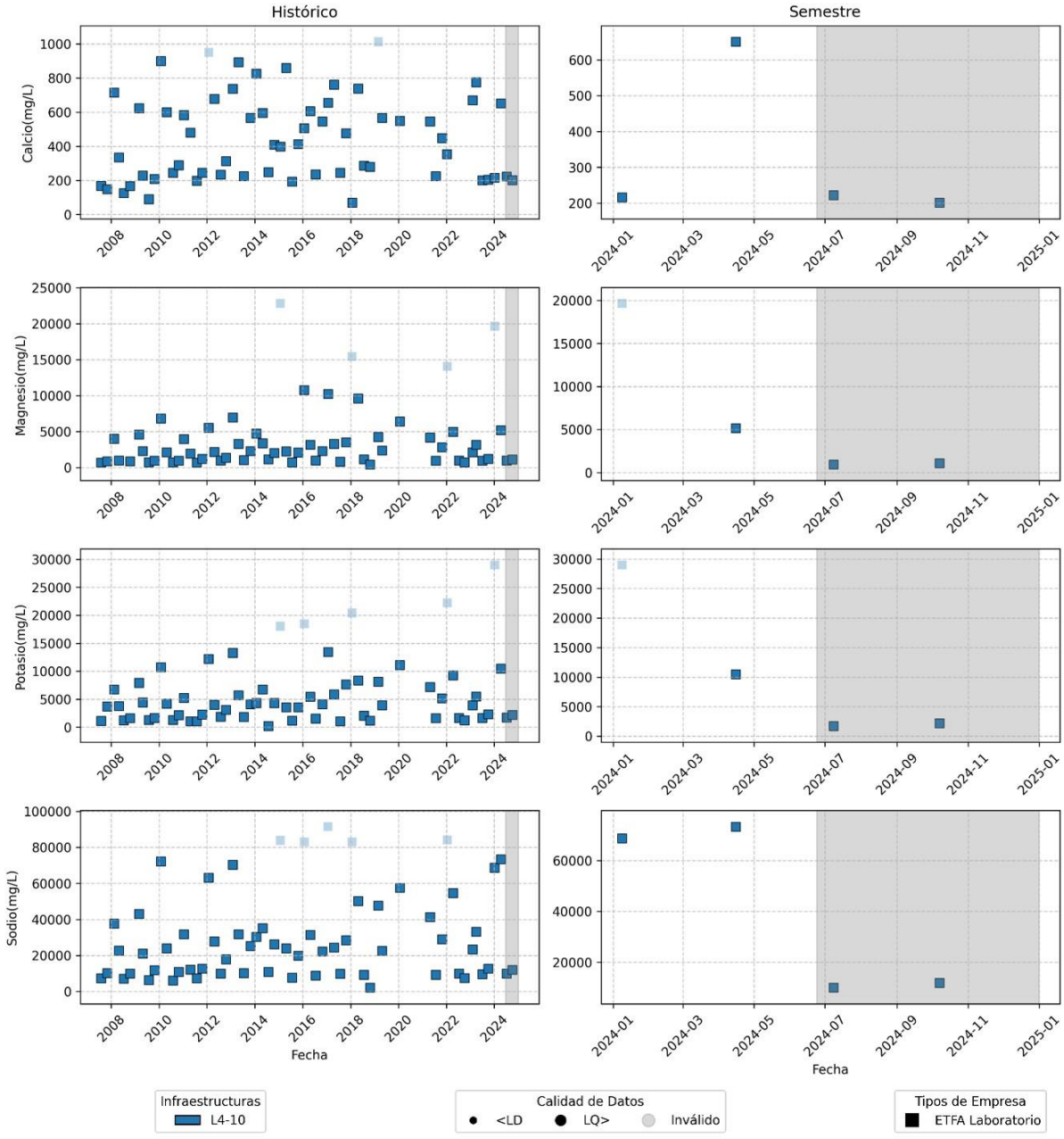
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD y >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6-63: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10 (continuación)



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

Figura 6-63: Evolución histórica calidad del agua en pozo L4-10 (continuación)



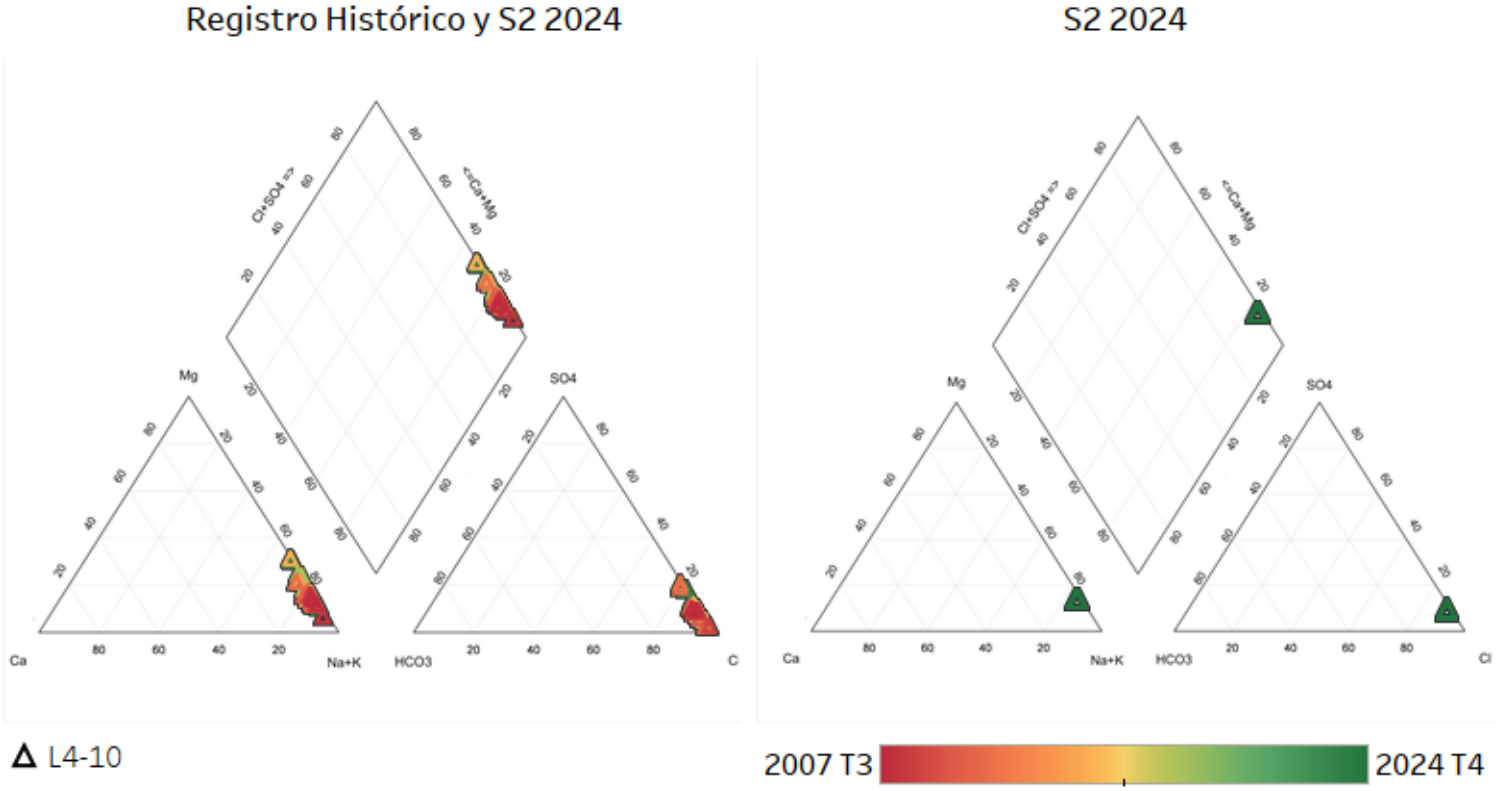
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD y >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

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

- En el punto L4-10 se observaron valores de pH de terreno (8,43 en dos ocasiones) y laboratorio (8,5 y 8,9) por sobre la tendencia histórica, en las mediciones realizadas en julio y octubre de 2024. Adicionalmente, se observó en octubre 2024 para este punto un valor bajo de densidad de laboratorio de 1,022 g/mL que fue invalidado. También fueron invalidados los valores de Alcalinidad de carbonato en ambas campañas por mostrar valores excepcionalmente altos (70 y 99 mg$CaCO_3$/L). Por lo tanto, podría atribuirse a errores en las mediciones, toma de muestra o contaminación de esta.
- Para el punto de muestreo L4-6, el aumento en sólidos disueltos totales que se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha -con la excepción de la muestra de octubre 2024 que mostró valores bajos- 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 la muestra en los laboratorios de ALS, como se indica en PSAH Nº26/2019.

En la Figura 664 se observa el diagrama de Piper para las muestras de la reglilla L4-10 con valores de BI < 10% y correspondientes al segundo semestre de 2024 y registro histórico. Puede observarse que todas las muestras son cloruradas sódicas no mostrando ninguna tendencia temporal marcada.

Figura 6-64: Diagrama Piper para las muestras con balance de cargas <10% en L4-10



Fuente: Elaboración propia

6.1.2.5.2 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 665, respectivamente. Los parámetros monitoreados en estos pozos corresponden a Calidad 4. Los resultados del segundo 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 7,0). 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 8,0, lo que se asocia al cambio de las condiciones geoquímicas dadas por su detención y el estancamiento del agua en su interior. 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 los valores promedio de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y densidad, los fluidos de Camar-2 y Socaire-5B 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 µS/cm, lo que no cambia su clasificación del tipo de agua. Esta clasificación se mantuvo para el segundo semestre de 2024.

El resto de los parámetros analizados (alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, magnesio, manganeso, N-nitrato, N-nitrito, potasio, sodio, zinc, sulfato, cloruro) presentan concentraciones en el segundo semestre de 2024 dentro del rango histórico registrado.

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

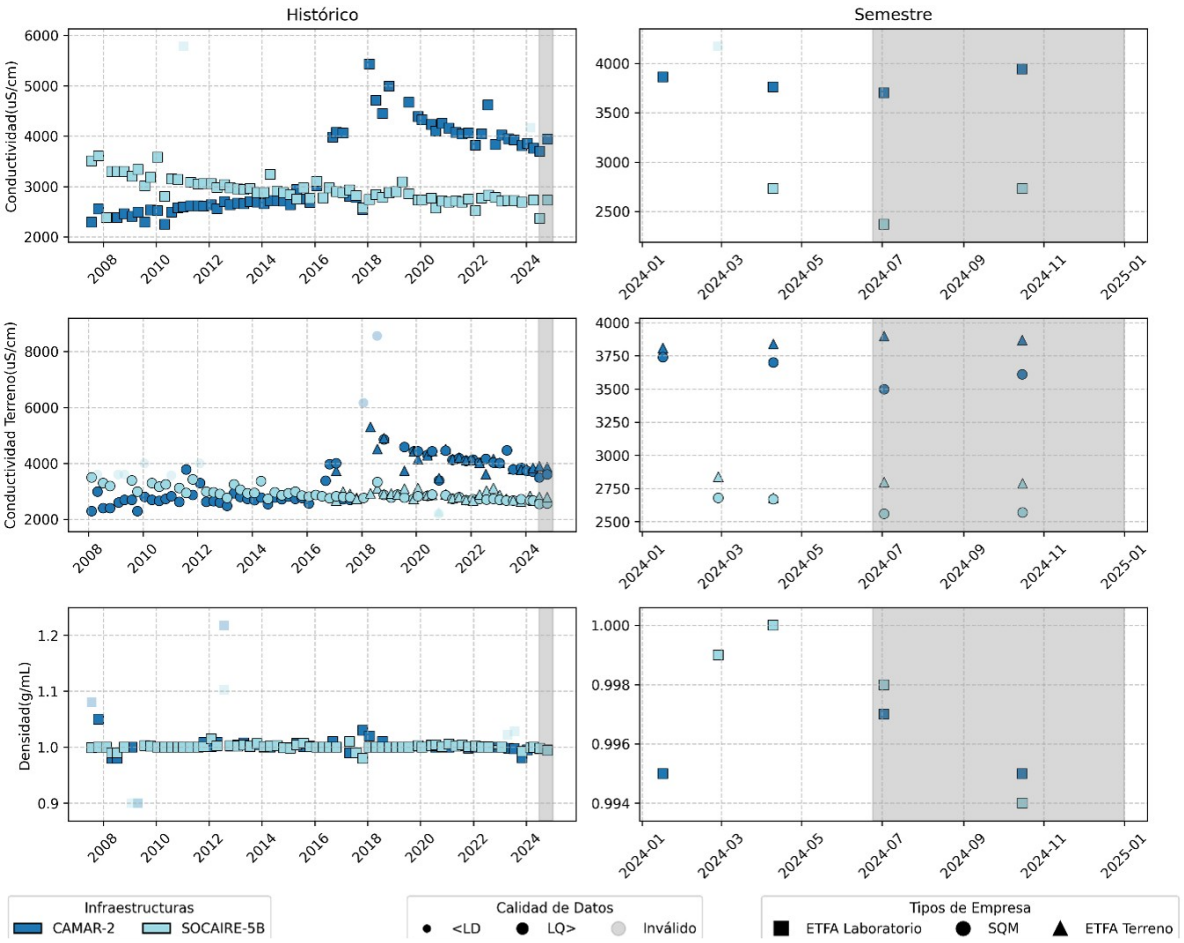
- Se observó una ligera diferencia en los valores de densidad en las muestras tomadas en julio y octubre de 2024 respecto a la tendencia histórica (promedio 1,000 g/mL), para los pozos Socaire-5B (0,994 g/mL) y Camar-2 (1,005 g/mL), respectivamente, que podrían asociarse a errores en la medición.

- El pozo CAMAR-2 mostró valores de alcalinidad total, alcalinidad bicarbonato muy por debajo del rango histórico en octubre 2024, y lo mismo para sólidos disueltos totales en julio 2024. En cambio, en octubre 2024 los parámetros de Sólidos suspendidos, sólidos totales disueltos y sulfato mostraron valores un tanto superiores a la tendencia histórica.
- Los valores de Hierro en el pozo Camar-2 estuvieron en la tendencia de los últimos años, excepto el valor de julio 2024 fue invalidado.

Respecto a las tendencias identificadas:

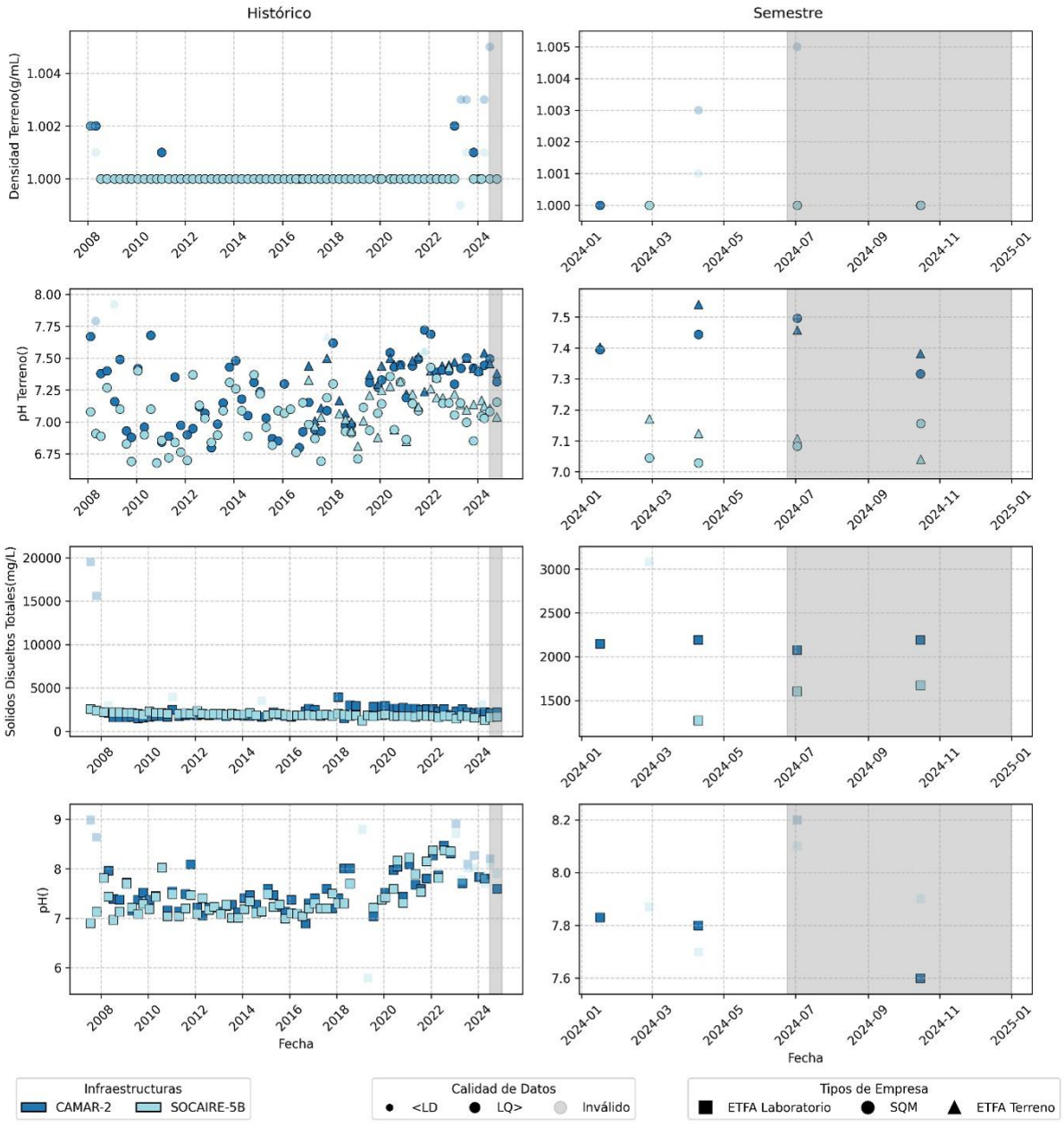
- Desde 2018, en ambos pozos (Camar-2 y Socaire 5-B) se observa en promedio un leve aumento del pH, dentro del rango 7 a 8.
- El hierro y el manganeso hasta inicios de 2018 para ambos pozos no muestra cambios respecto al histórico observado. Sin embargo, posterior a esta fecha y, coincidente con su detención (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. En cambio, en los últimos años se ha observado una disminución en la conductividad eléctrica, cloruro, y sodio. En el pozo Socaire-5B también se observa un efecto a la baja en la misma fecha y con tendencia a recuperar su nivel previo.

Figura 6-65: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B



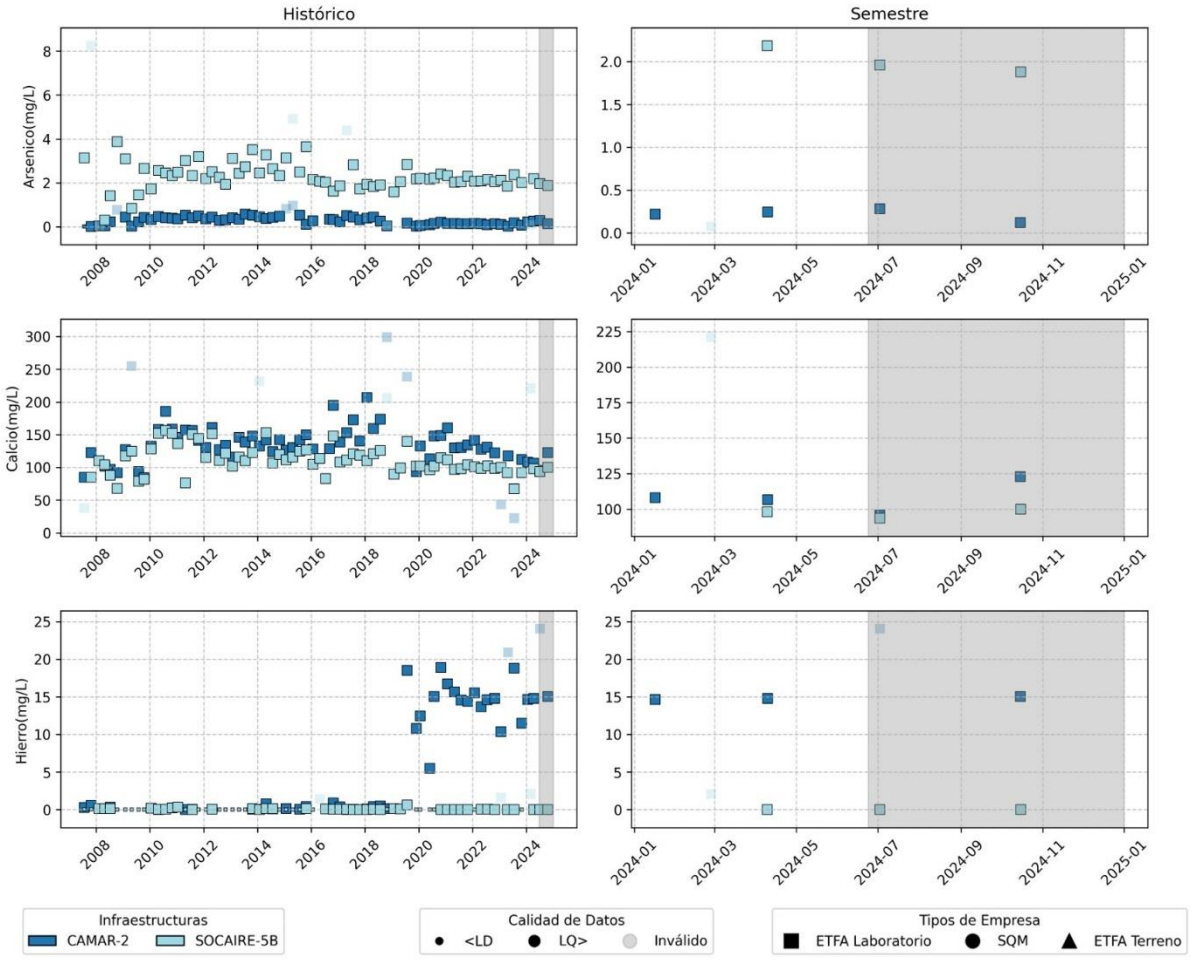
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

Figura 665: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B (continuación)



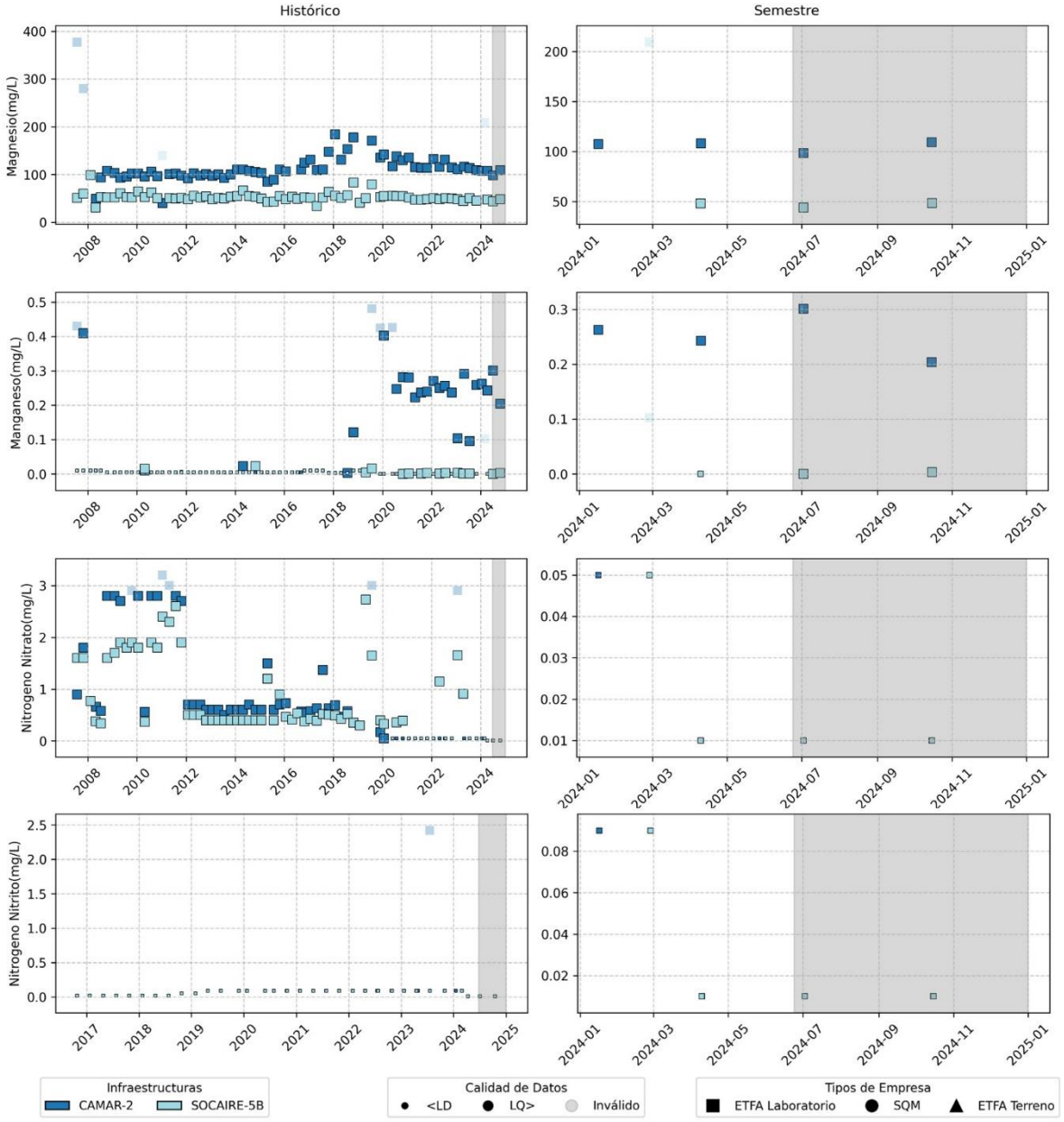
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

Figura 665: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B (continuación)



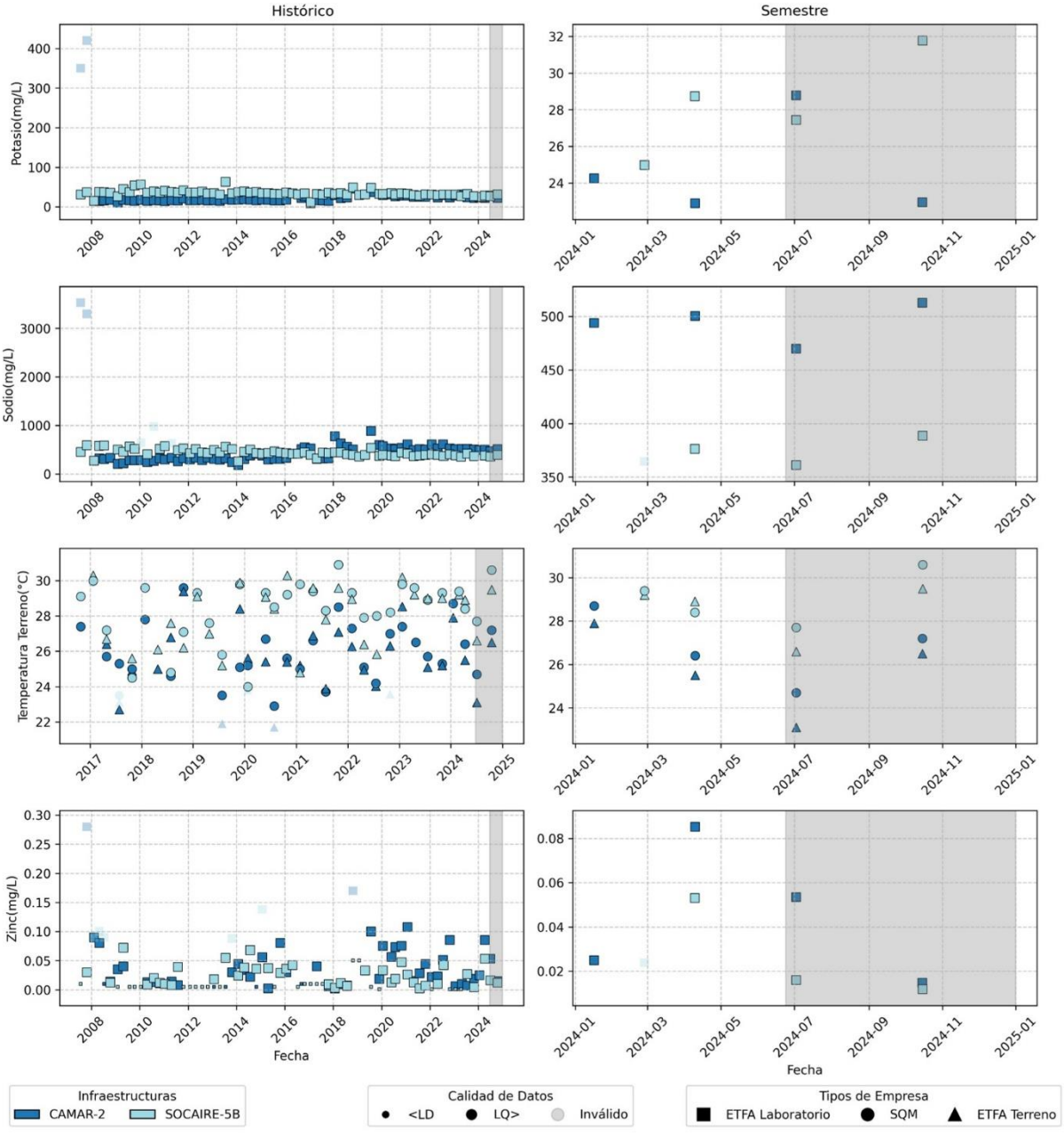
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

Figura 665: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B (continuación)



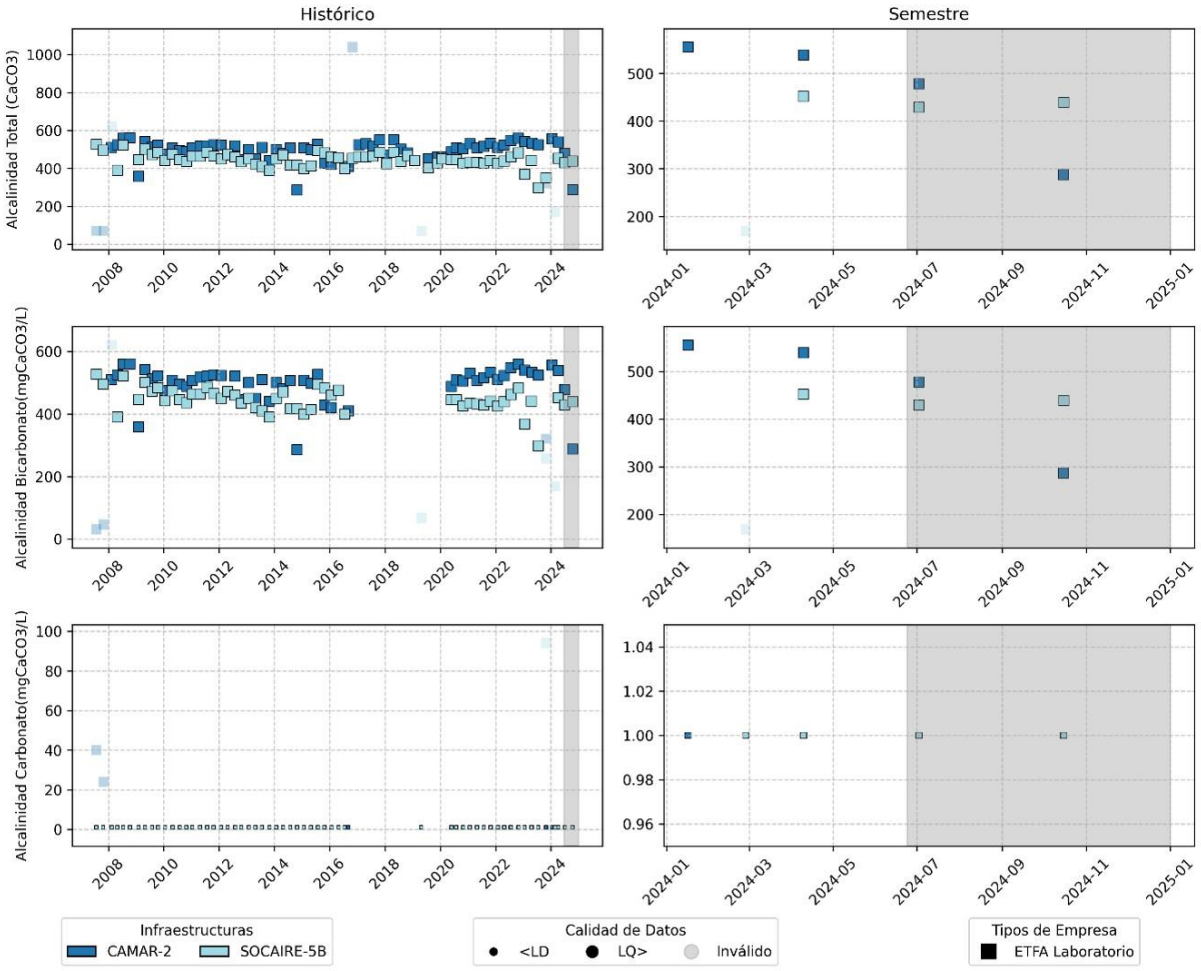
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

Figura 665: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B (continuación)



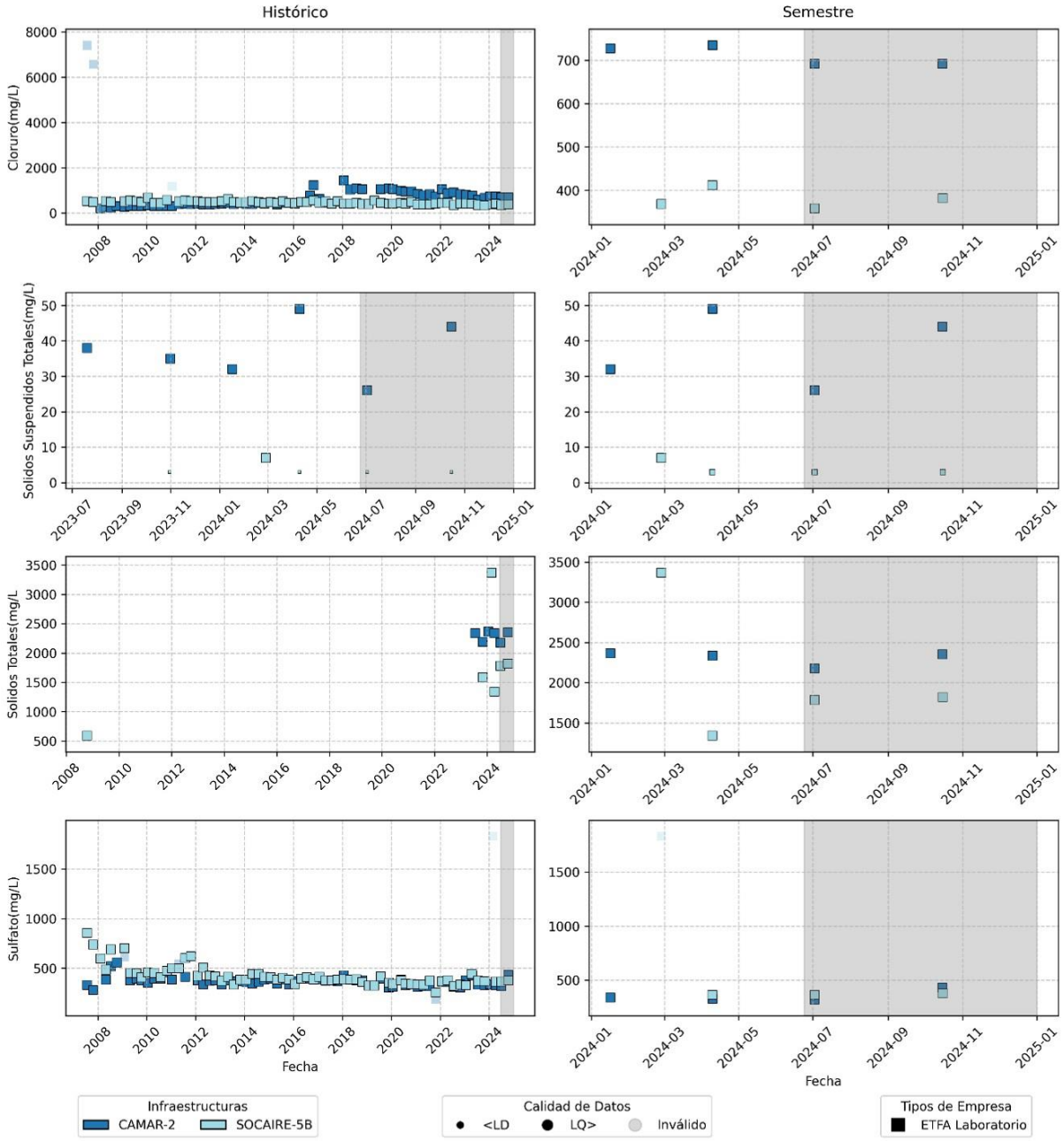
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

Figura 665: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

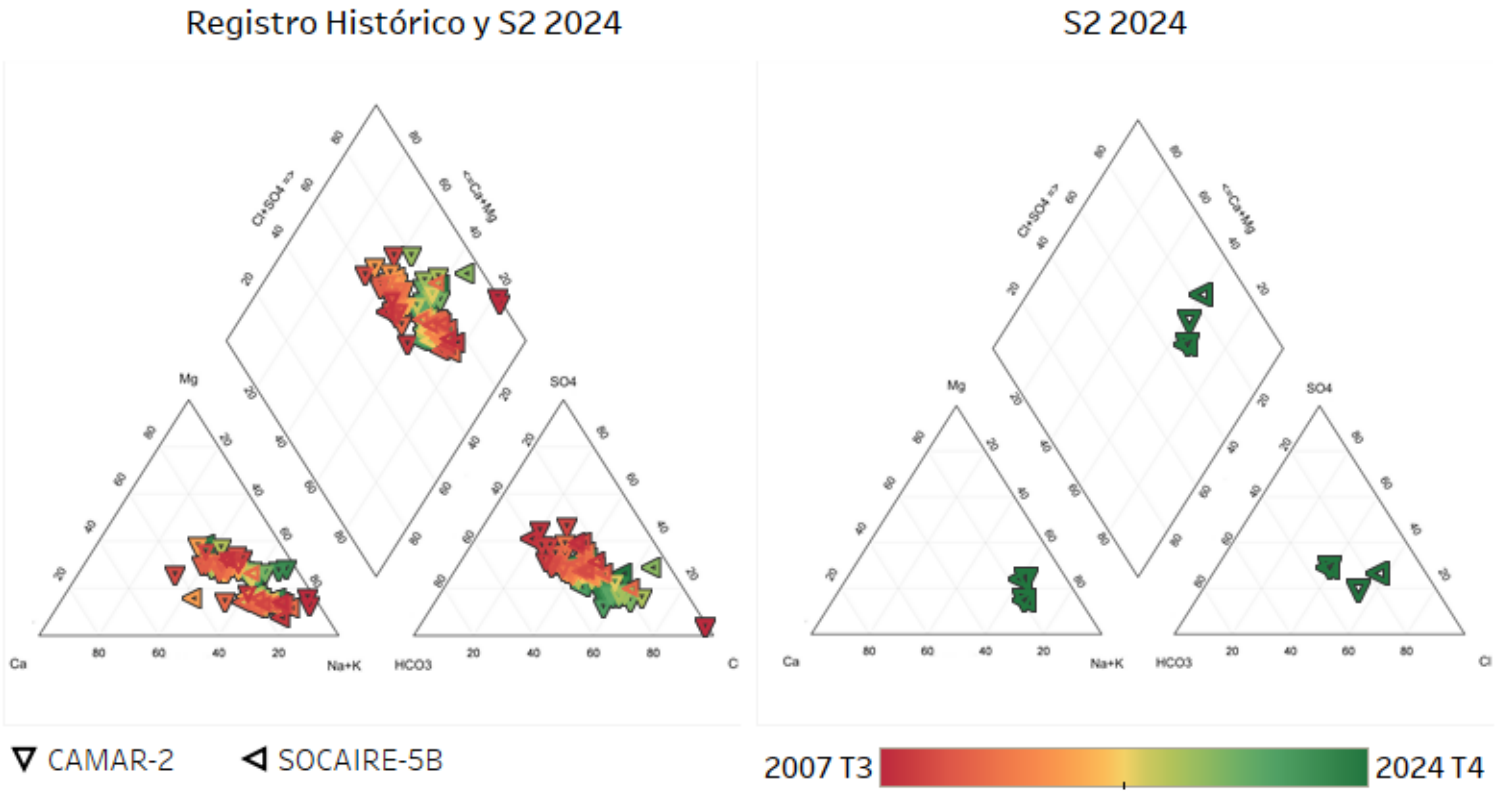
Figura 665: Evolución histórica calidad del agua pozos de extracción Camar-2 y Socaire-5B (continuación)



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

En la Figura 666 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, con la excepción de la muestra del cuarto trimestre de 2024, y los de Socaire-5B conservan su característica geoquímica sulfatada-clorurada sódica, y que también presenta una marca geoquímica distinta para la última muestra. 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 6-66: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B

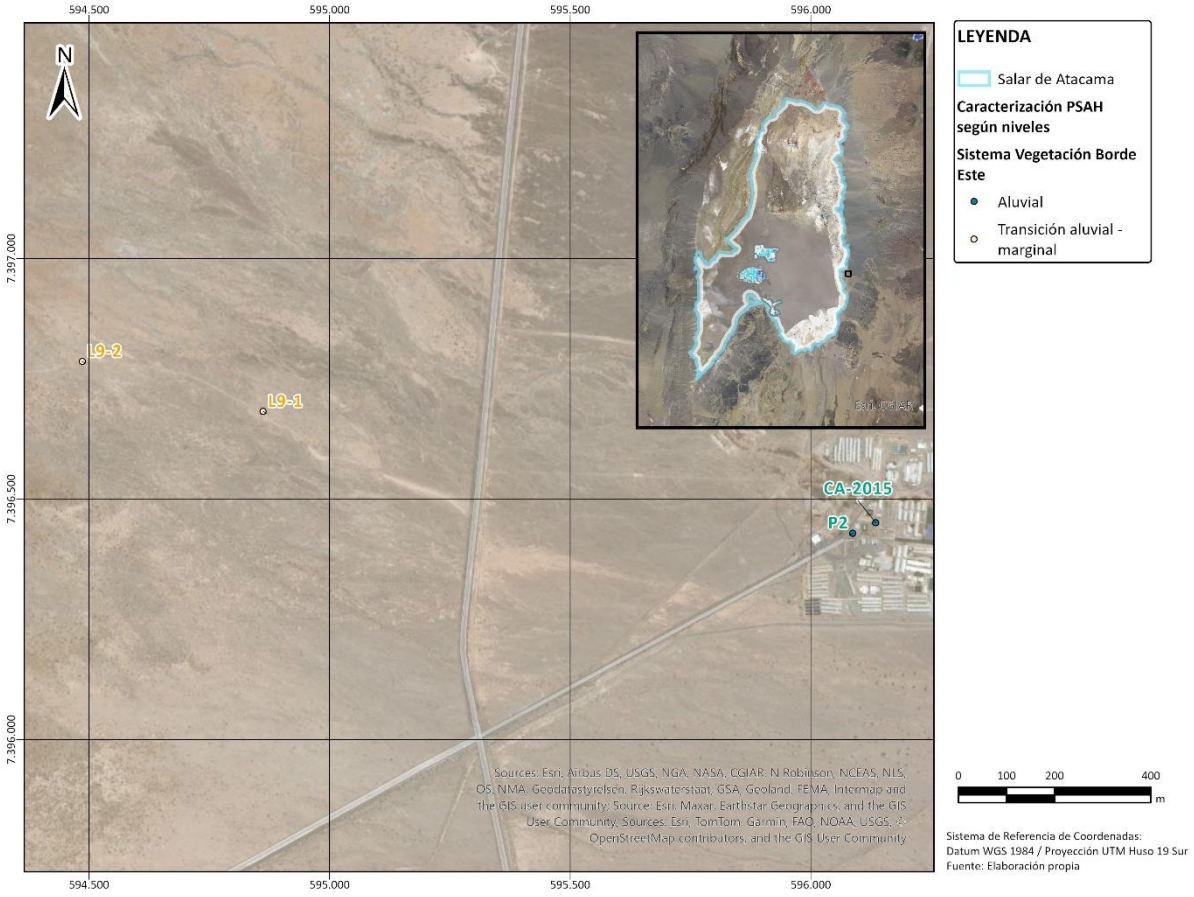


Fuente: Elaboración propia

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 667). 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 6-67: 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 segundo semestre de 2024 respecto al registro histórico.

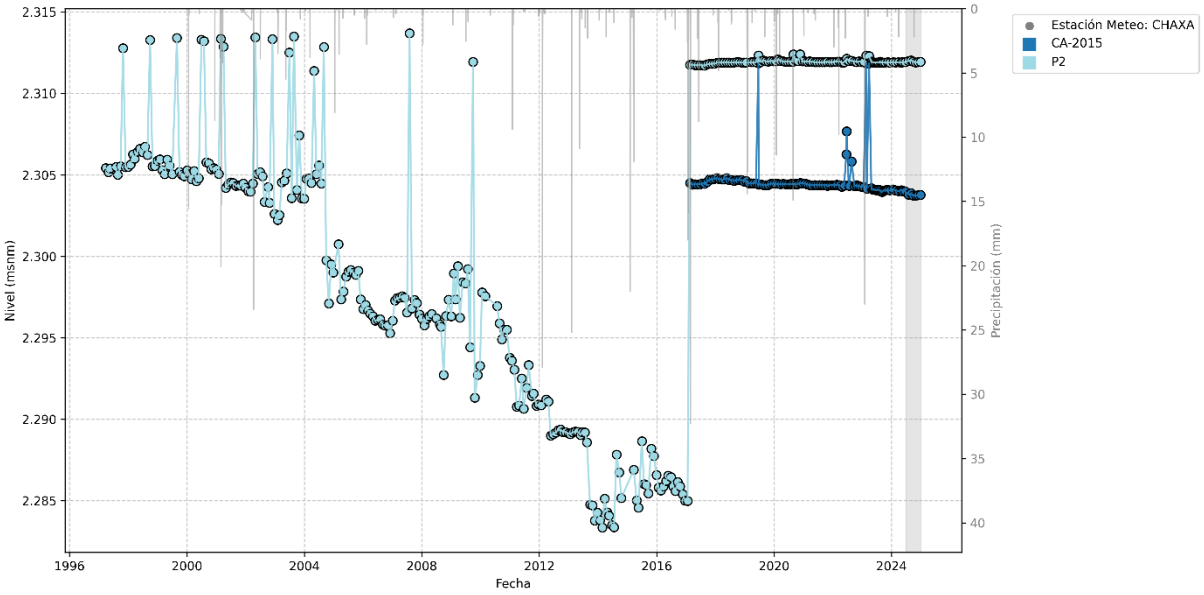
6.1.3.1.1 Nivel en pozo de bombeo de agua industrial

El Sistema Vegetación Borde Este cuenta con el pozo de agua industrial CA-2015, que remplazó al pozo P2 a partir de febrero de 2017 (según Resolución Exenta Nº296/2016 de la DGA). En la Figura 668 se muestran los niveles de ambas infraestructuras, mientras que en la Figura 669 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 668. 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 diciembre de 2024.

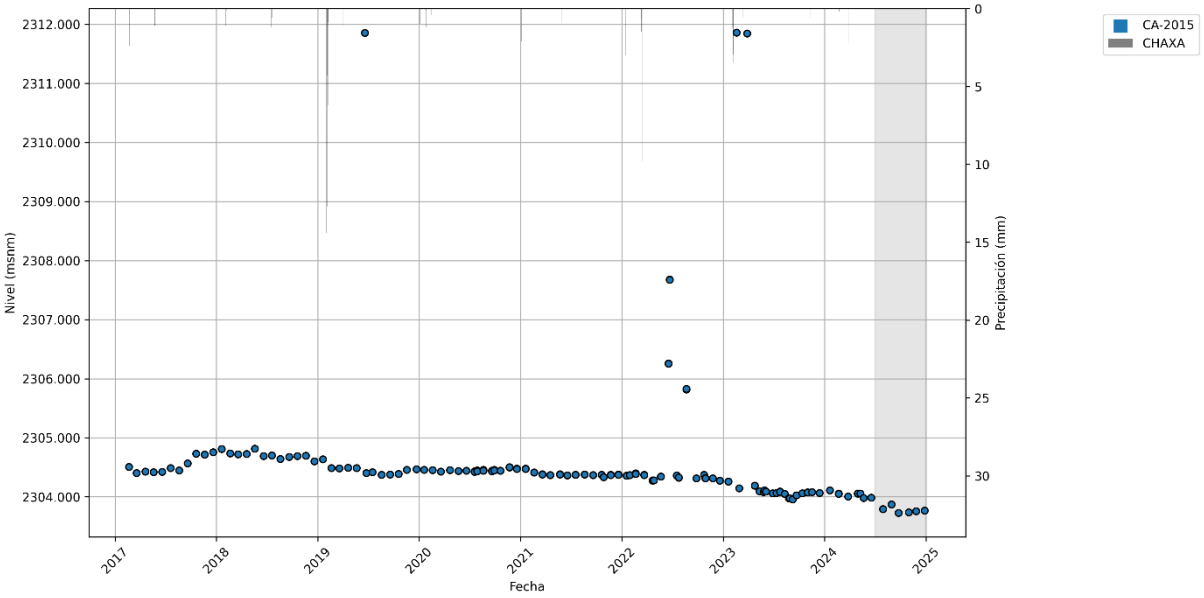
Por otro lado, el pozo CA-2015 se ha mantenido con una tendencia de descenso con una tasa de 10 cm/año. Este ha mantenido su extracción por debajo del caudal autorizado (35 L/s), con un promedio de 31,1 L/s. A diciembre de 2024 el nivel se encuentra en 2303,77 m.s.n.m. A pesar de este comportamiento, se observaron algunos picos en los niveles, asociados al manejo operacional y al régimen de extracción de los pozos.

Figura 6-68: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al Sistema de Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-69: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al Sistema de Vegetación Borde Este



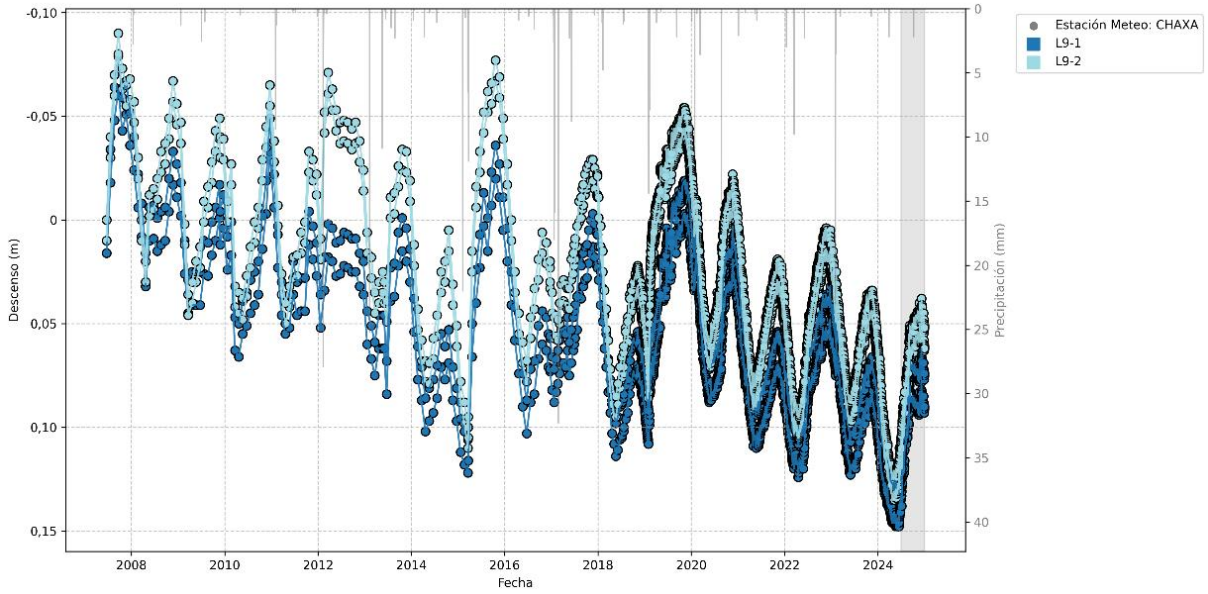
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 (Figura 670) muestran un comportamiento definido en los sistemas anteriores como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, ya que muestra una oscilación estacional además de un descenso sostenido, con mínimos estacionales cada año menor. Estos puntos se miden diariamente desde 2018, permitiendo una mejor observación de la regularidad del efecto estacional en la variación de sus niveles. La tasa de descenso solo desde esta fecha hasta diciembre de 2024 es de aproximadamente 1,6 cm/año en promedio.

Figura 6-70: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del Sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.3.2 Meteorología

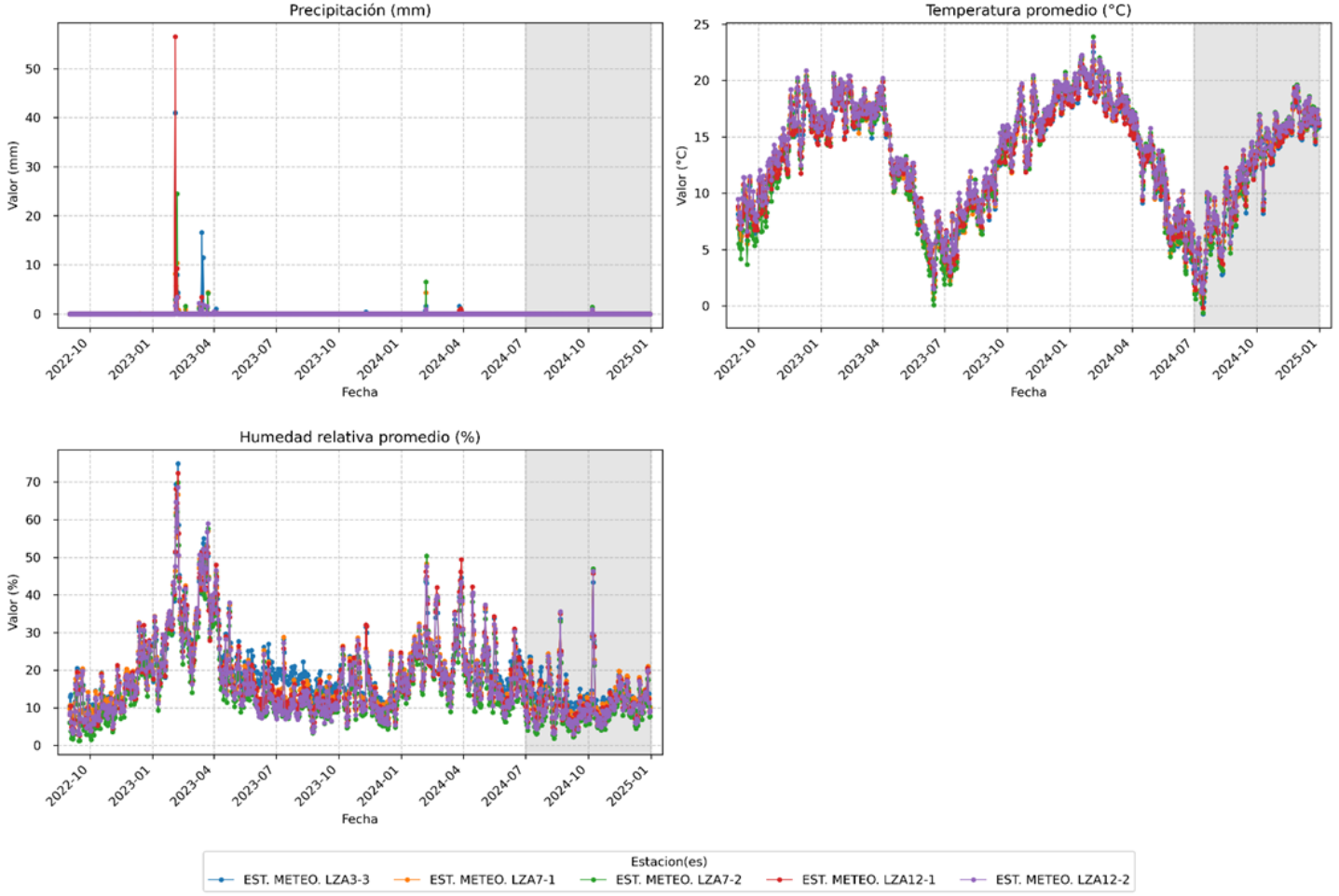
El análisis histórico de meteorología de la Estación LZA3-3, LZA7-1, LZA7-2, LZA12-1 Y LZA12-2, considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, temperatura promedio y humedad relativa promedio desde aproximadamente el mes octubre del año 2022, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 671.

La serie de precipitación histórica en la estación meteorológica muestra que el período con mayor cantidad de eventos de precipitación fue el primer semestre del año 2023. Por otro lado, la máxima precipitación diaria que se registró fue en el primer semestre del año 2024, la cual alcanzó una magnitud del orden de 57,00 mm de agua caída en la estación LZA7-1. Ahora bien, durante el segundo semestre del 2024 se observó solo un evento de precipitación en el mes de octubre, de magnitud 0,30 mm en la estación LZA3-3, 0,60 mm en la estación LZA7-1, 1,40 mm en la estación LZA7-2, 0,40 mm en la estación LZA12-1 y 0,90 mm en la estación LZA12-2.

Respecto a la temperatura, esta variable presenta una oscilación estacional muy marcada, con valores máximos en los meses de verano (enero, febrero y marzo), y mínimos en los meses de invierno (julio, agosto y septiembre). La temperatura promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 11,36°C en la estación LZA3-3, 11,76 °C en la estación LZA7-1, 11,78°C en la estación LZA7-2, 11,79°C en la estación LZA12-1 y 12,22°C en la estación LZA12-2.

La humedad relativa promedio histórica muestra que el periodo con mayores valores fue durante el primer semestre de 2023, con una máxima de 78,00%. Durante el segundo semestre del 2024 se observaron valores promedio de entre 9,51% y 13,72% para todas las estaciones estudiadas

Figura 6-71: Series históricas de precipitación, temperatura y humedad en la estación meteorológica LZA3-3, LZA7-1, LZA7-2, LZA12-1, LZA12-2.



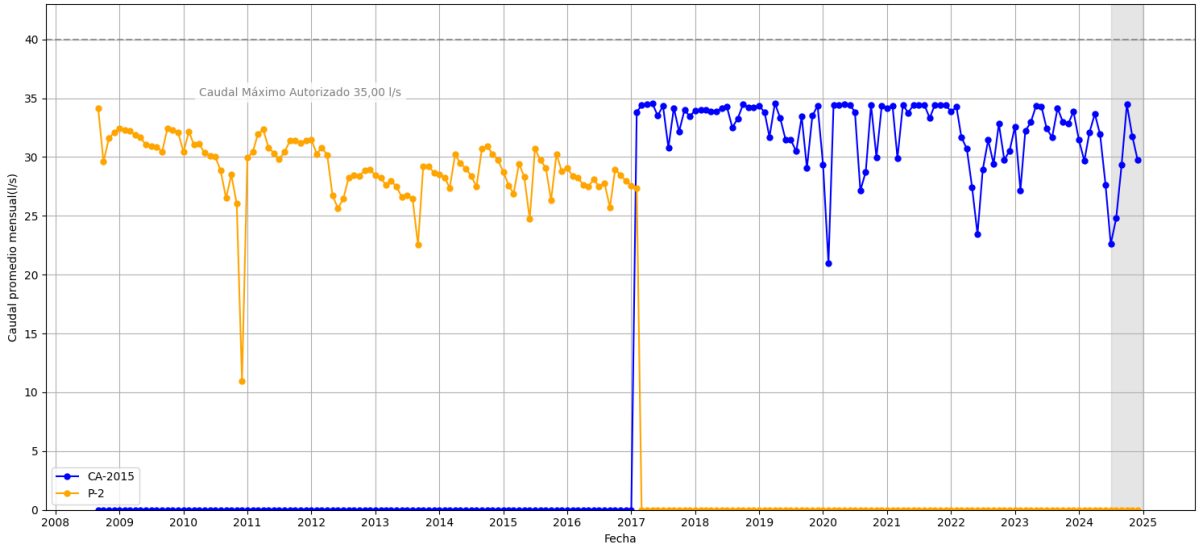
Fuente: Elaboración propia

6.1.3.3 Caudal bombeado agua

El registro de los caudales históricos extraídos desde el pozo P2 (posteriormente reemplazado por el pozo CA-2015) se presenta en la Figura 672. 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 del segundo semestre de 2024, el caudal de extracción promedio fue de 28,4 L/s, manteniendo el régimen de extracción regular de los últimos meses.

Figura 6-72: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.4 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado el segundo 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 673).

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, N-nitrito, 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 segundo 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 µS/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 13.120 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.

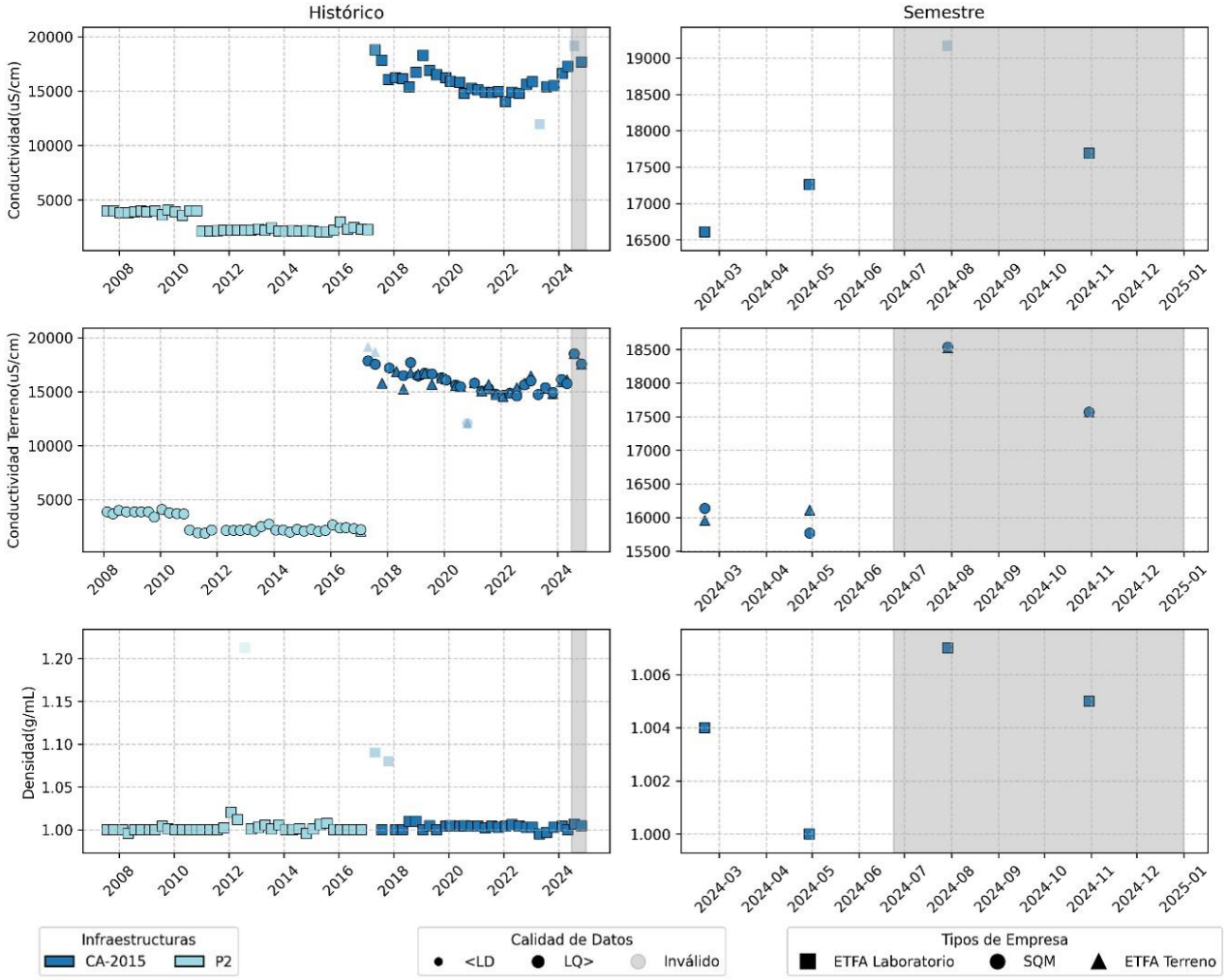
Se observa que el valor para el zinc obtenido en abril 2024 se escapa del comportamiento del último año, siendo similar al valor obtenido en julio de 2022, mientras que en julio y octubre de 2024 vuelve a valores dentro del rango histórico.

El resto de los parámetros analizados: alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato,N-nitrito, potasio, y sodio, presentan concentraciones en los análisis del segundo semestre de 2024 dentro del rango histórico observado. Se observó en julio 2024 valores de alcalinidad bicarbonato, conductividad de terreno, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sulfato levemente por fuera de la tendencia de los últimos años. Además, los valores de conductividad y pH de laboratorio de dicha campaña se encontraron fuera del rango histórico y fueron invalidados, al igual que la densidad de terreno en octubre 2024.

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

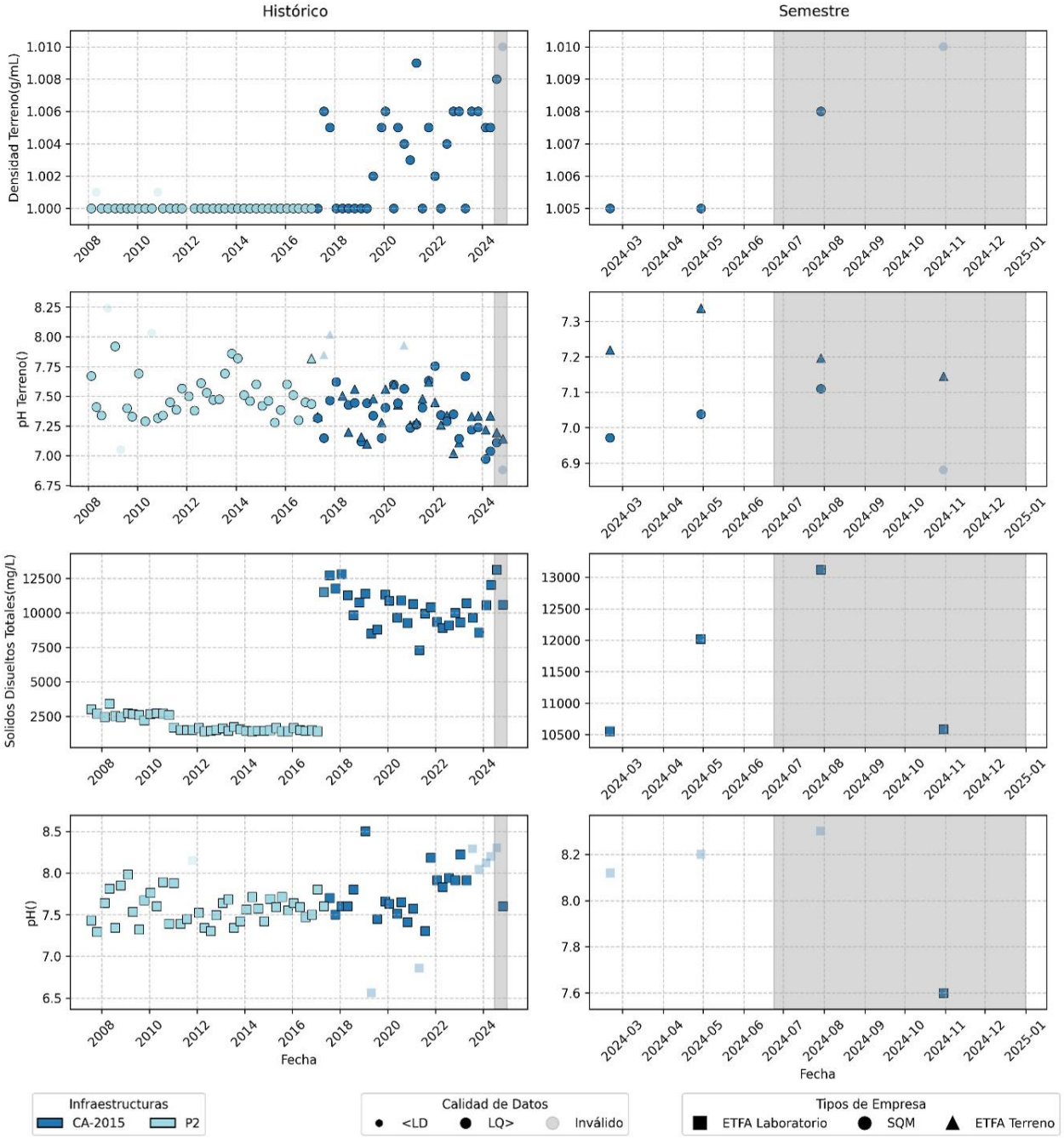
1. Los valores de los Límites Detección o Límites de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran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

Figura 6-73: 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)



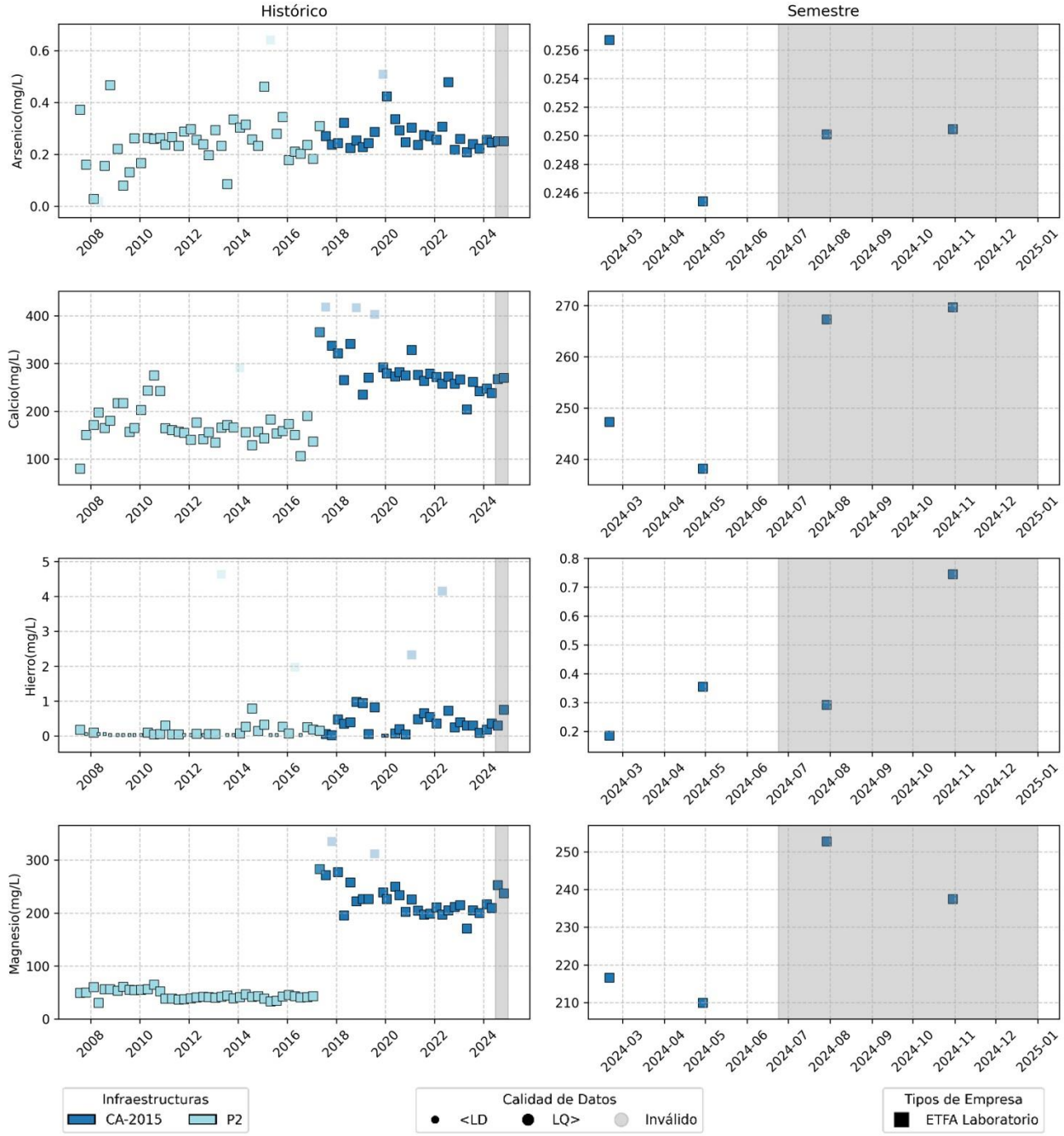
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 673: 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)



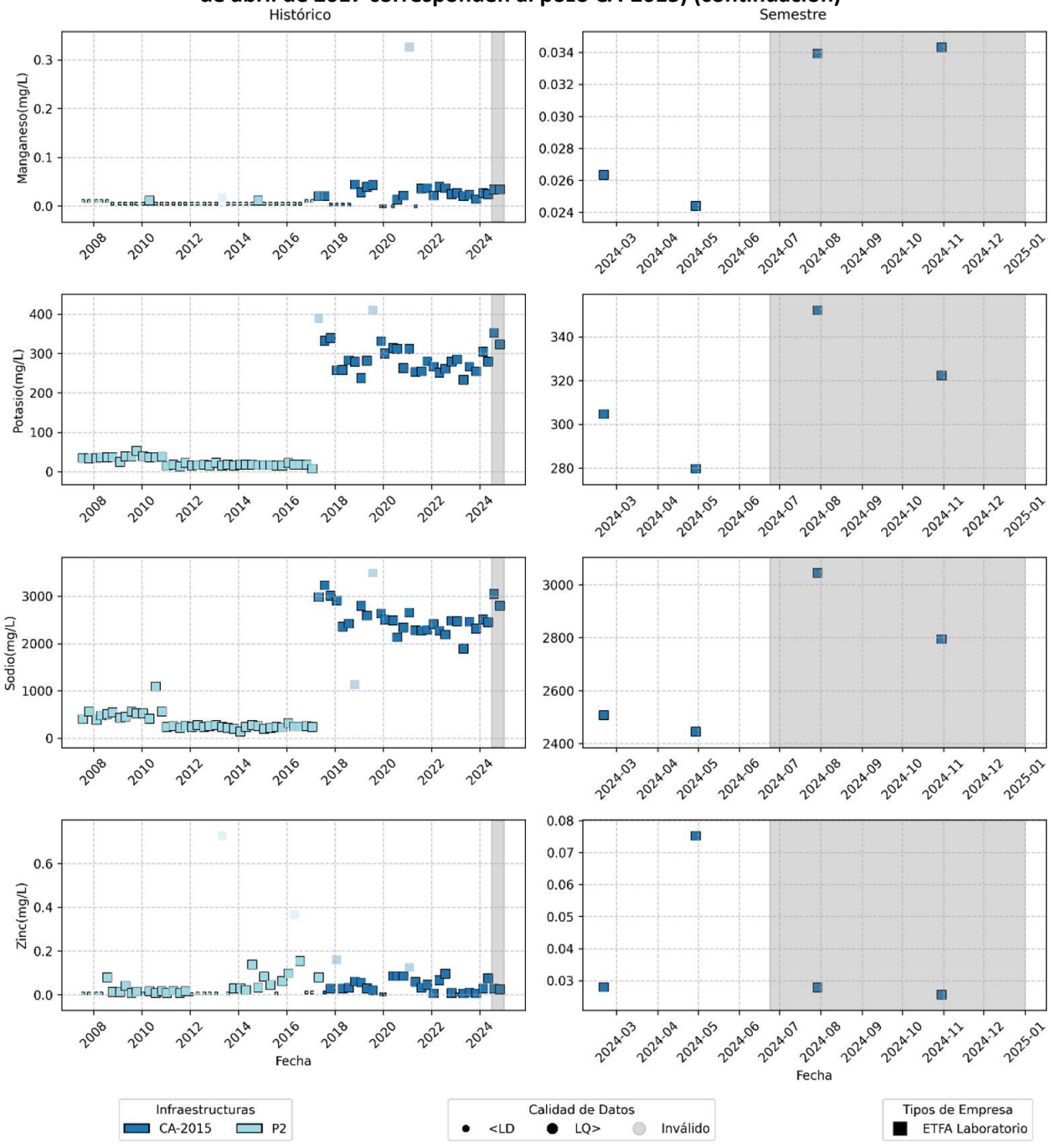
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 673: 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)



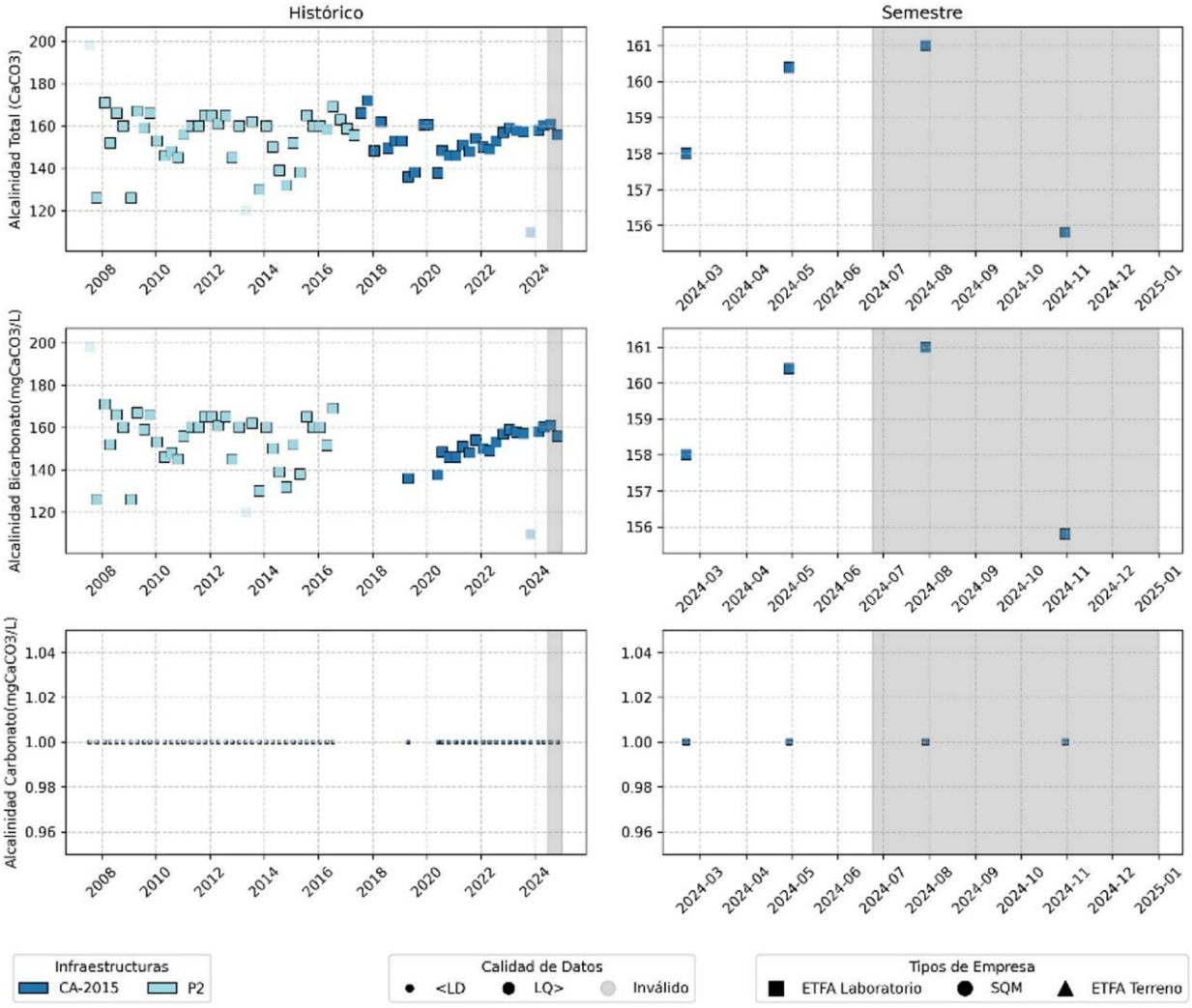
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 673: 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)



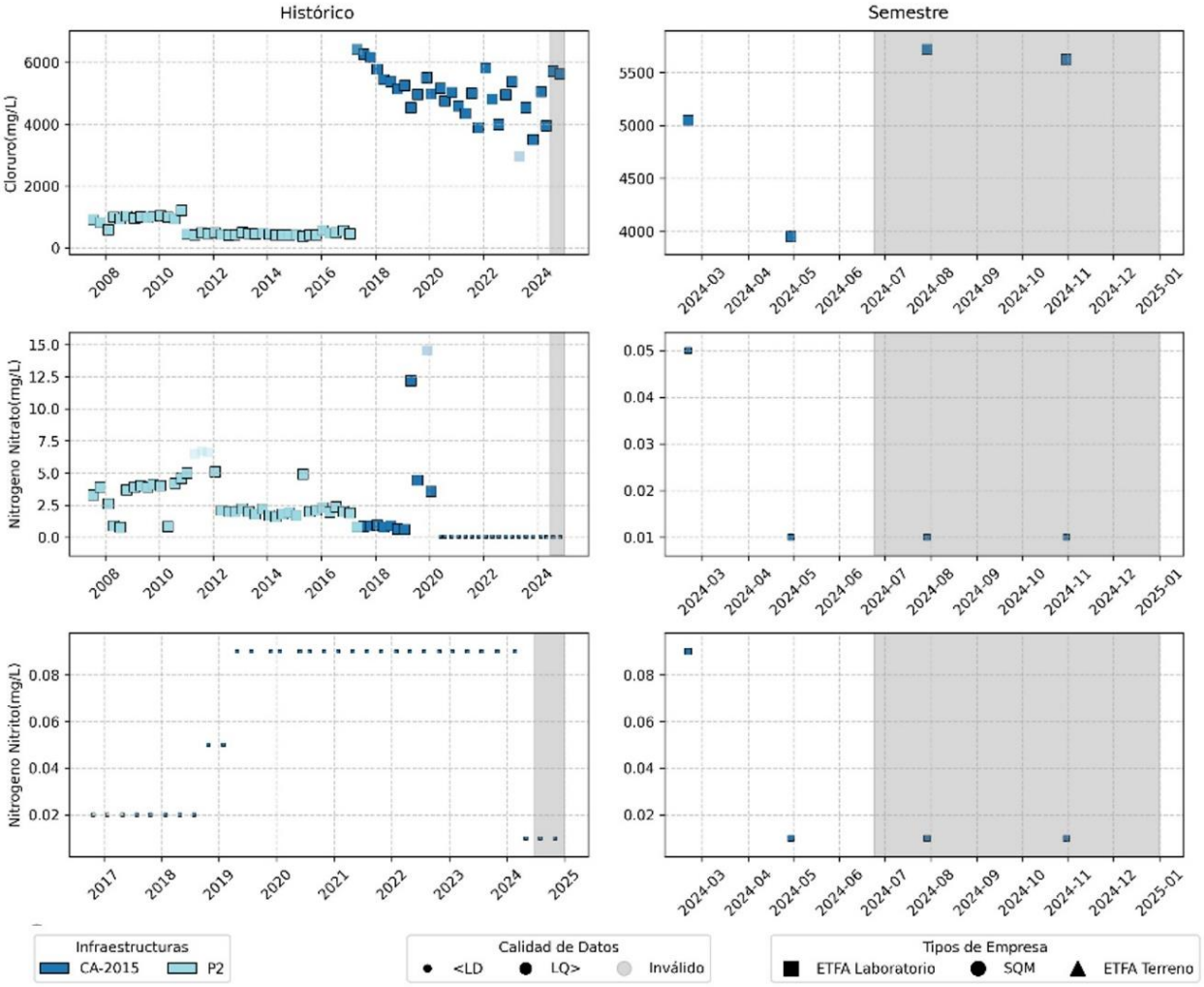
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 673: 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)



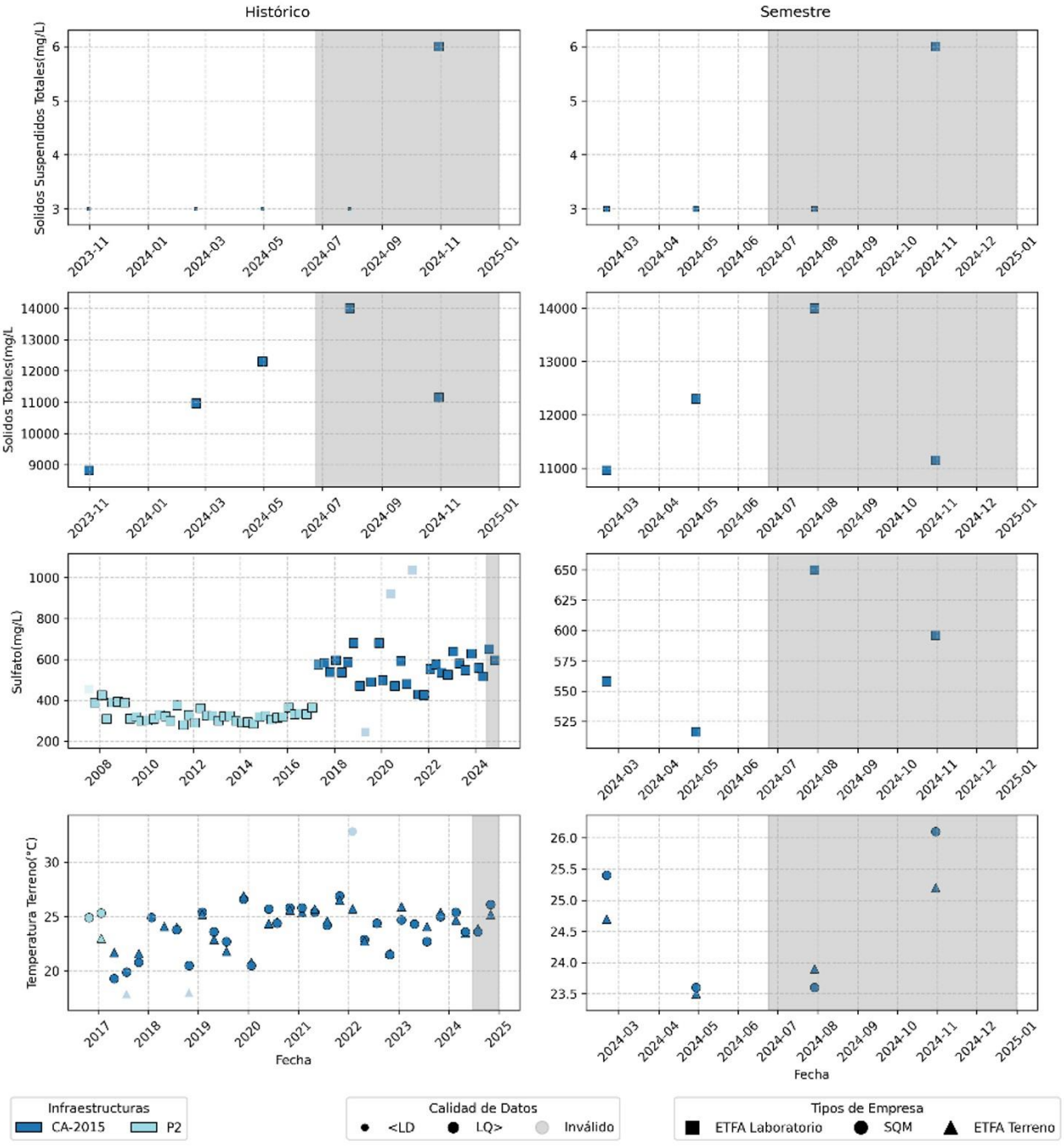
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 673: 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 673: 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)

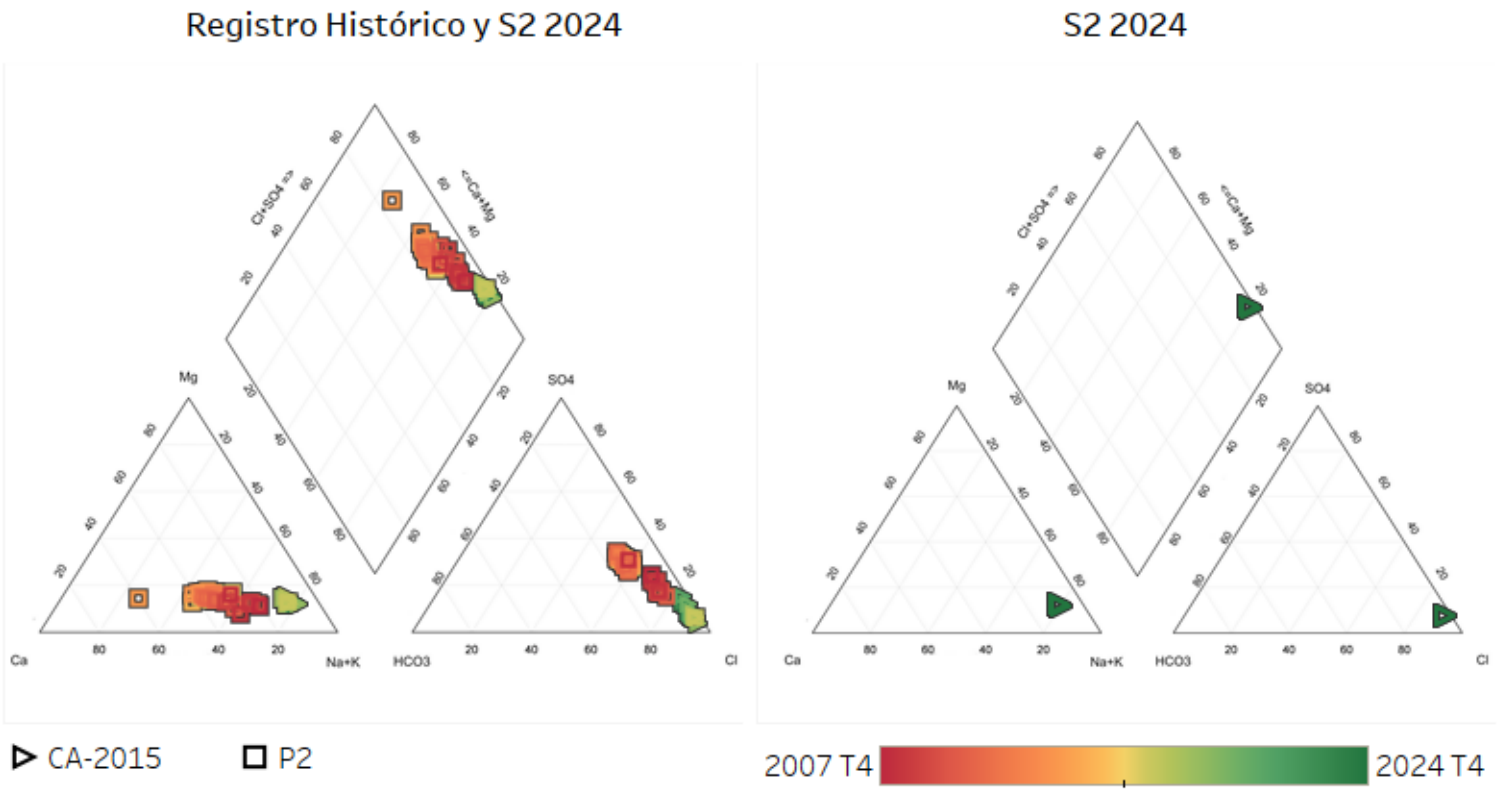


Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se describen en la leyenda. Los valores validados se muestran con resalte.

La Figura 674 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en CA-2015 y punto P2 (presenta registro hasta enero 2017) con un balance iónico inferior al 10%, para el segundo 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. En ese sentido, en las muestras del del segundo semestre de 2024, y especialmente del tercer trimestre, los parámetros conductividad eléctrica de terreno, sólidos disueltos totales y cloruro mostraron valores más altos que la tendencia de los últimos años.

Figura 6-74: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para CA-2015 y P2



Fuente: Elaboración propia.

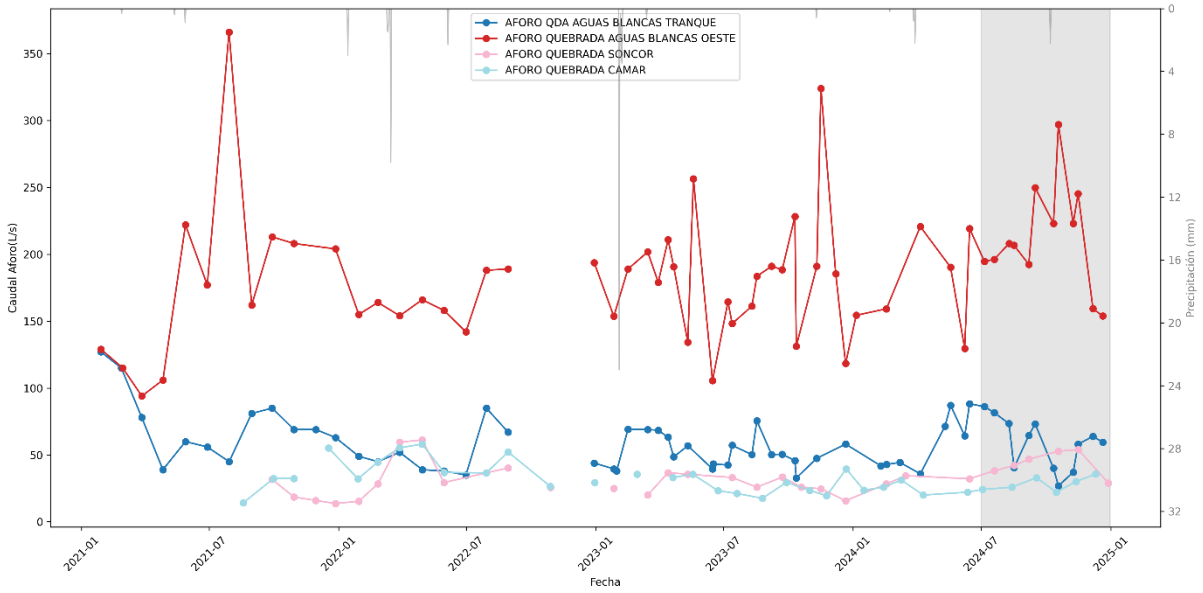
6.1.3.5 Caudal de agua superficial (aforos)

En el sistema Vegetación Borde Este, se dispone de cuatro puntos de aforo de caudal de agua superficial. El primer punto es Quebrada Aguas Blancas Tranque, el segundo Quebrada Aguas Blancas Oeste y el tercero y el cuarto son Quebrada Camar y Quebrada Soncor respectivamente.

En la Figura 675 se muestra el registro histórico del punto de los aforos en el sector Vegetación Borde Este, junto con la precipitación. Se observa que los puntos de aforo comenzaron su funcionamiento en aproximadamente en el mes de enero del año 2021.

Dentro de las cuatro estaciones, la que lleva mayor caudal es Quebrada Aguas Blancas Oeste (del orden de 200 L/s), por otro lado, las estaciones Quebrada Aguas Blancas Tranque, Quebrada Soncor y Quebrada Camar son de ordenes de magnitud de alrededor de 50 L/s. Se aprecia además que los caudales máximos no necesariamente van acompañados por un evento de precipitación previo, cómo por ejemplo en el punto de aforo “Quebradas Aguas Blanca Oeste” en julio del 2021 y noviembre del 2024. En general, los máximos caudales se dan en a principios del segundo semestre de cada año.

Figura 6-75 Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Vegetación Borde Este

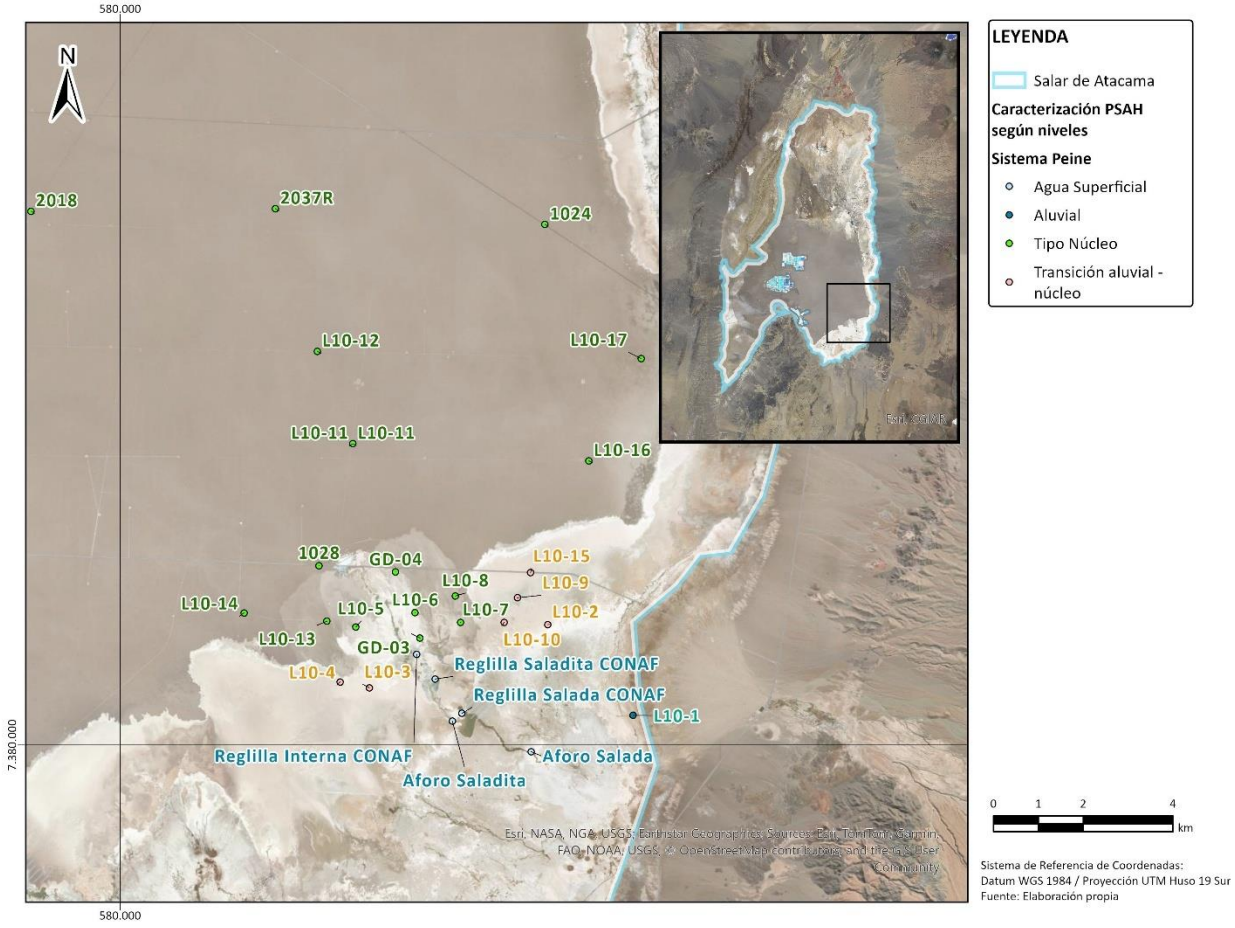


Fuente: Elaboración propia.

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 676). 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 6-76: 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

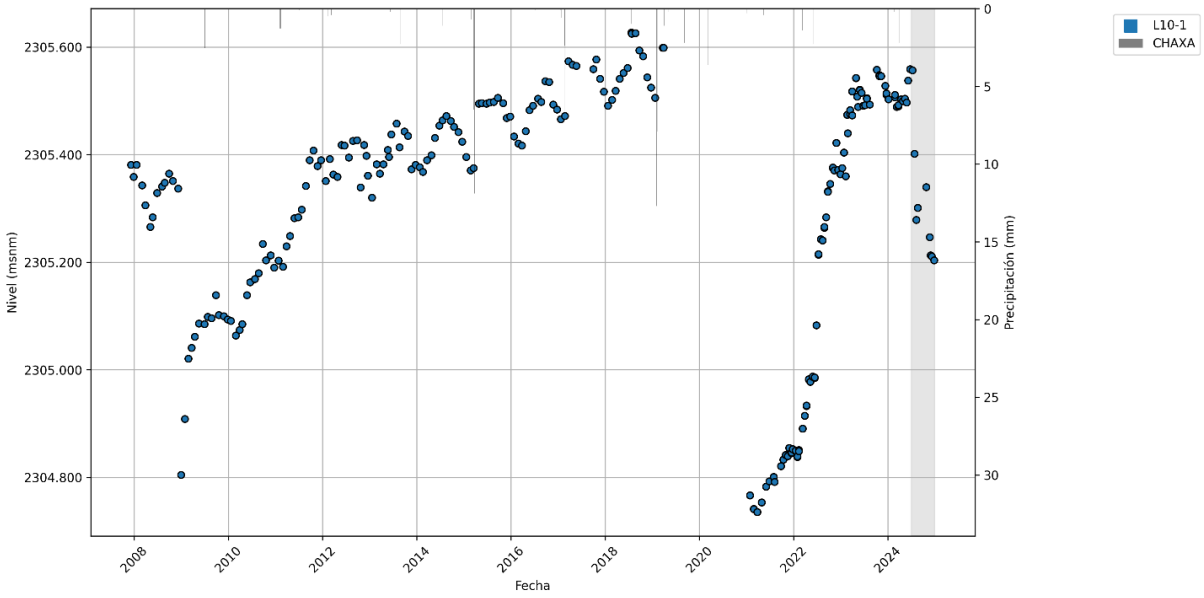
En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sistema Peine, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el segundo semestre de 2024 respecto al registro histórico.

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 es singular con lo que se esperaría para dicha zona, ya que muestra una estrecha relación con los ciclos de evaporación estacionales.

La Figura 677 presenta los niveles históricos. 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). Al retomar las mediciones en enero de 2021, el nivel se situaba en una cota mínima histórica, 83 cm por debajo de la última medición de 2019. Lo anterior, estaría probablemente ligado con el manejo operacional de las extracciones en el aluvial. Un aspecto destacable es la nula respuesta a los eventos de precipitación. Los registros del segundo semestre muestran niveles en descenso desde junio de 2024, en diciembre de 2024 se encuentra en 2305,2 m.s.n.m.

Figura 6-77: Niveles medidos en la Zona Aluvial del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

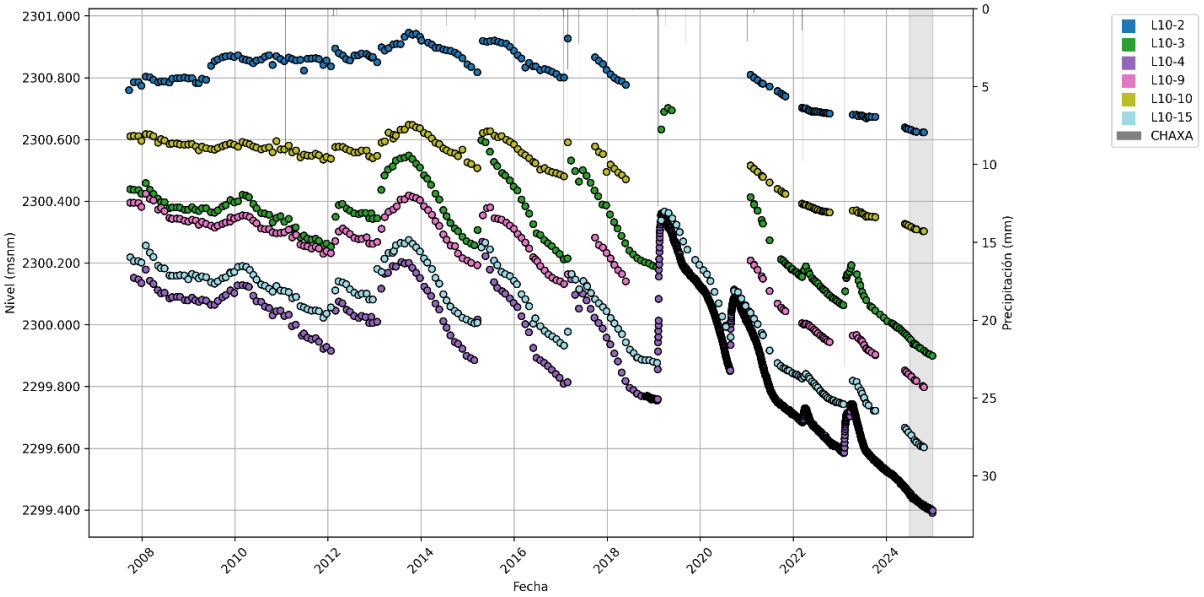
6.1.4.1.2 Pozos en Zona Marginal

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 678.

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 segunda mitad de 2024 continúa la tendencia de descenso en los niveles producto de la poca recarga y producción de salmuera. 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 3,3 cm/año, mientras que los puntos más cercanos al núcleo la pendiente es de 10,5 cm/año, en el caso del L10-4.

Figura 6-78: 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 discurra 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 de la sección 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 Nº226/2006. 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.

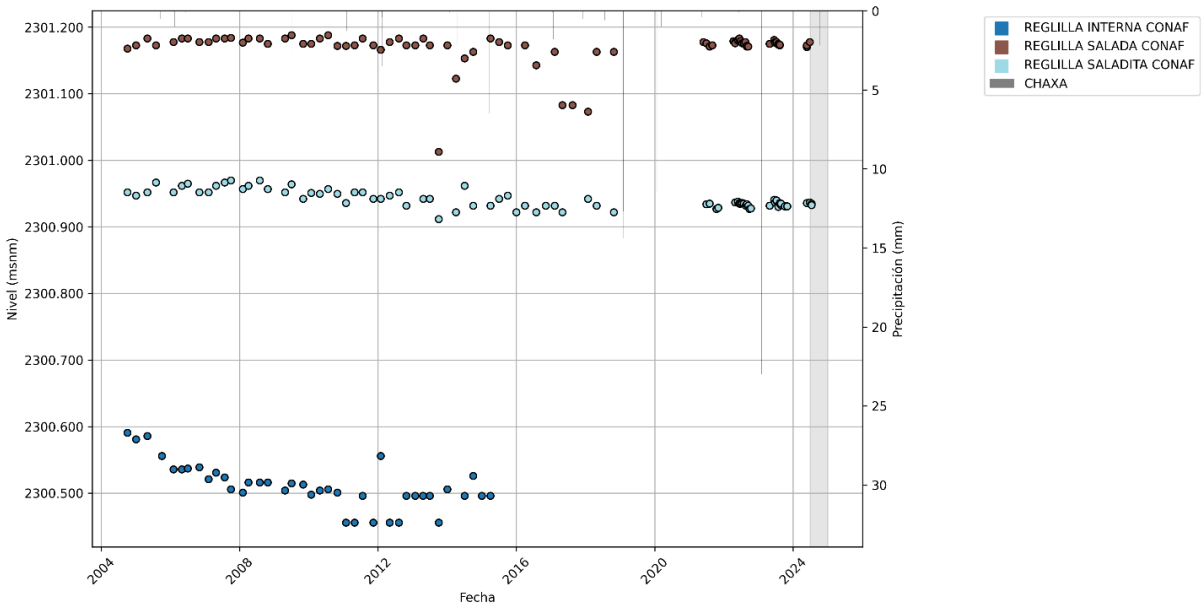
Los niveles medidos hasta la fecha se muestran en la Figura 679. Como se observa, la frecuencia de medición trimestral ofrece menos detalle respecto las variaciones estacionales, aunque se aprecia cierta oscilación, sobre todo en las reglillas de Salada y Saladita.

En términos generales, la Reglilla Salada muestra registros estables durante todo el período de mediciones, incluyendo los registros de julio de 2024 (Figura 679). 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 el mes de julio.

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 6-79: Niveles en las reglillas de agua superficial del Sistema Peine



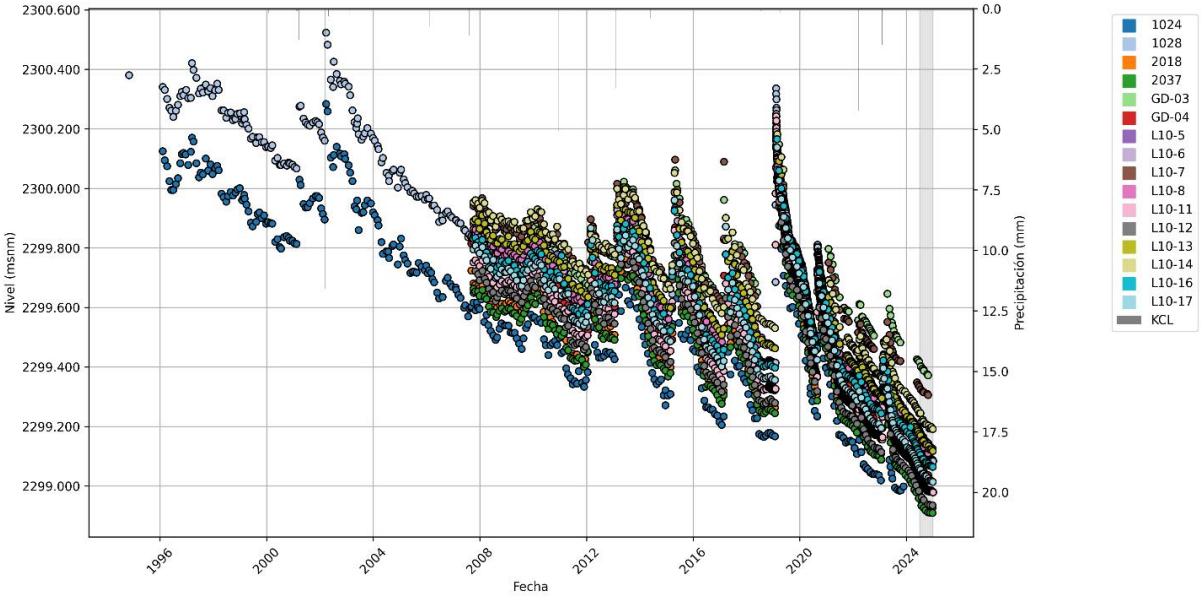
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 680, 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 10 cm/año en promedio entre 2012 y diciembre de 2024.

Figura 6-80: 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 lacustre

Los sistemas lacustres de Peine son alimentados por un canal que es el resultado de afloramientos naturales de agua subterránea ubicados 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

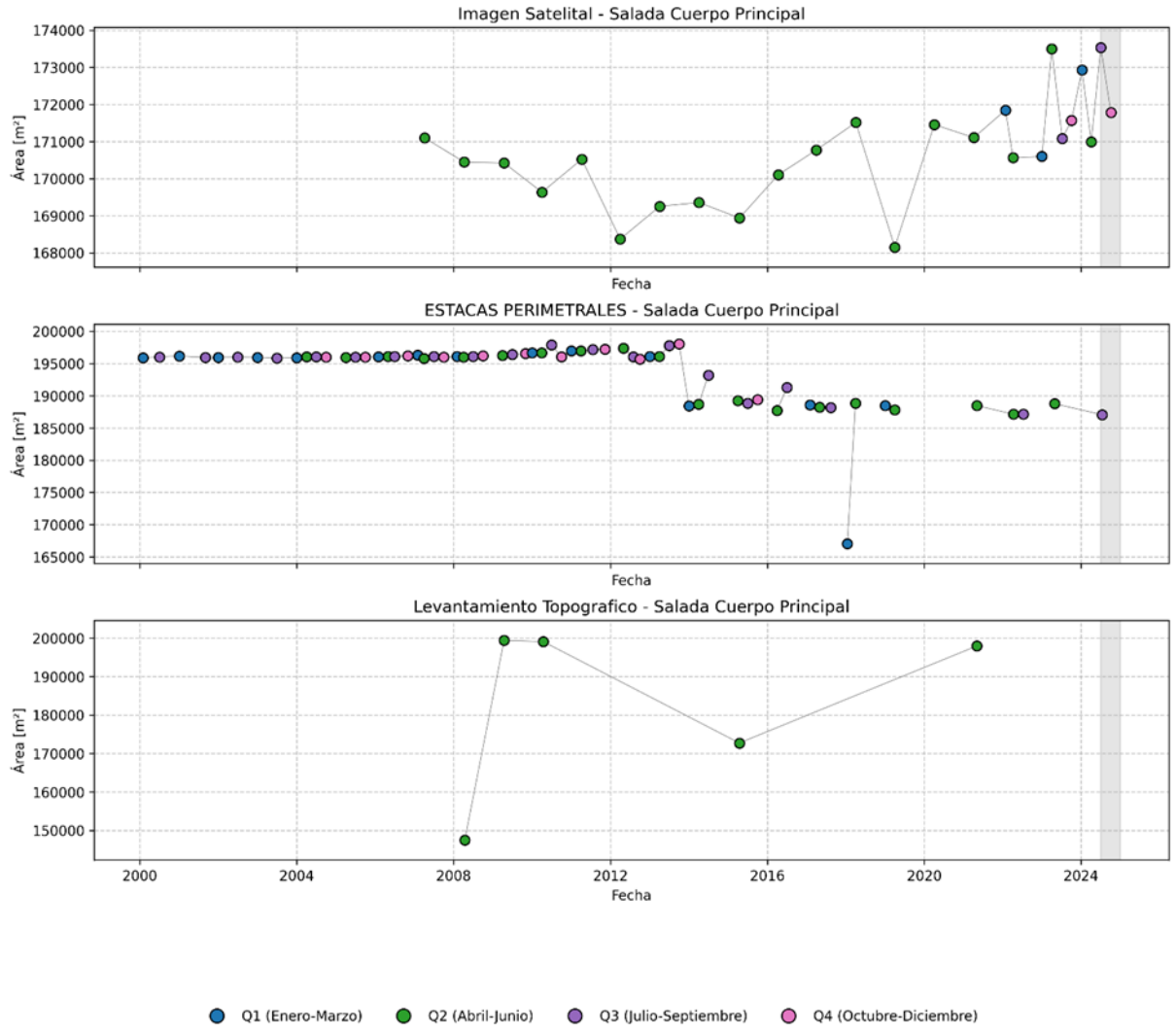
Figura 681, Figura 682 y Figura 683 presentan las series de tiempo de área para cada una de las lagunas de Salada, Saladita y Laguna Interna, respectivamente. Es necesario destacar que, la medición de estacas perimetrales no aplica para el caso de Desborde Laguna Interna.

Los datos satelitales correspondientes al segundo semestre de 2024 indican una disminución del 1,0% en el área del cuerpo principal de Salada entre julio y octubre de 2024. Al comparar la medición de julio de 2023 con la de julio de 2024, se registra un aumento de 1,4% en el área, mientras que la comparación de octubre de 2023 con la de octubre 2024 revela un aumento de 0,1% en el área.

Por otro lado, se observa una disminución del 0,01% en el área del cuerpo principal de Saladita entre julio y octubre de 2024. Al comparar la medición de julio de 2023 con la de julio de 2024, se registra un aumento de 2,8% en el área, mientras que la comparación de octubre de 2023 con la de octubre 2024 revela una disminución de 0,6% en el área.

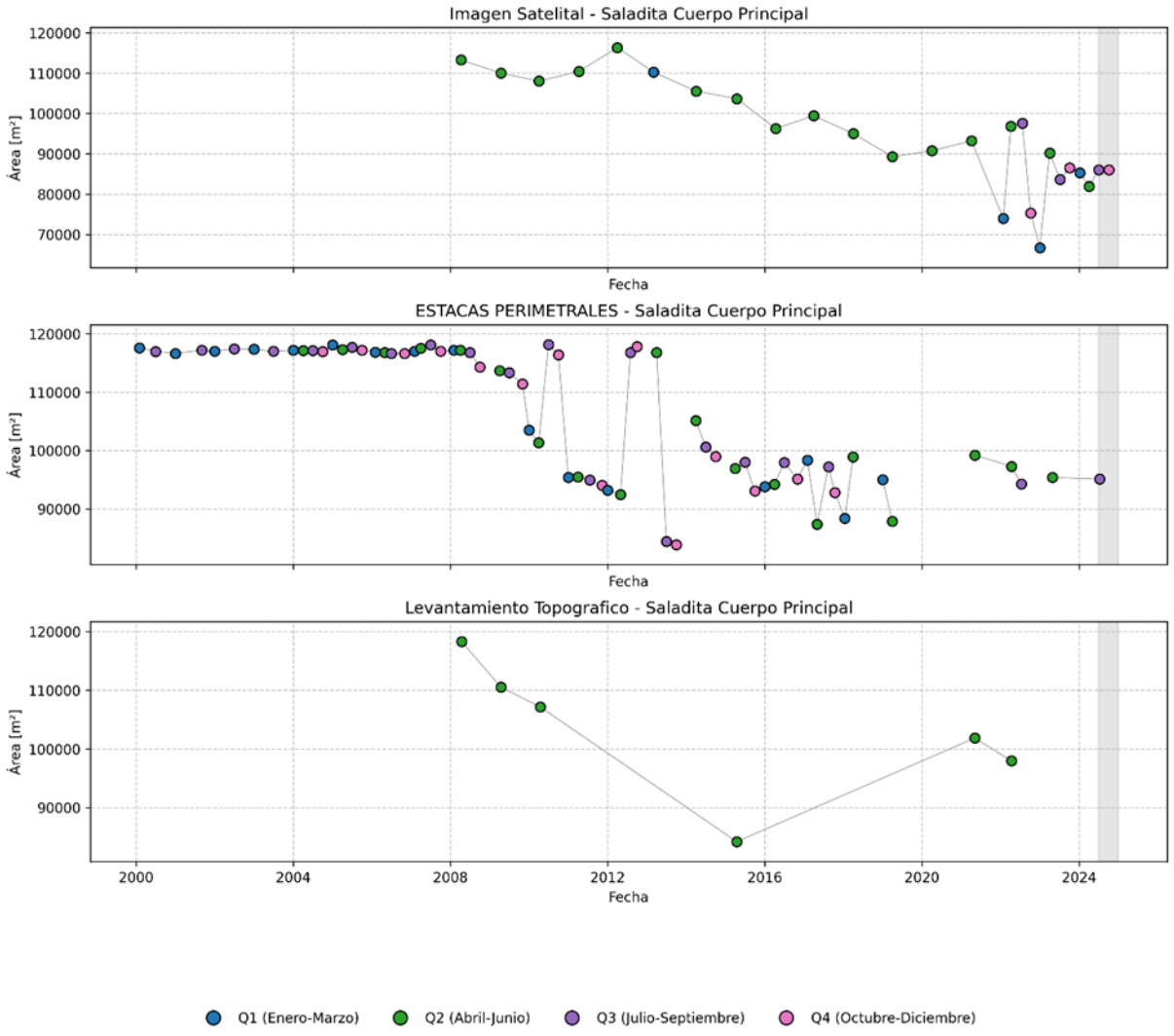
Finalmente, se puede observar un aumento del 7,8% en el área del cuerpo principal en laguna interna entre julio y octubre de 2024. Al comparar la medición de julio de 2023 con la de julio de 2024, se registra una disminución de 48,0% en el área, mientras que la comparación de octubre de 2023 con la de octubre 2024 revela una disminución de 28,4% en el área.

Figura 6-81: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada.



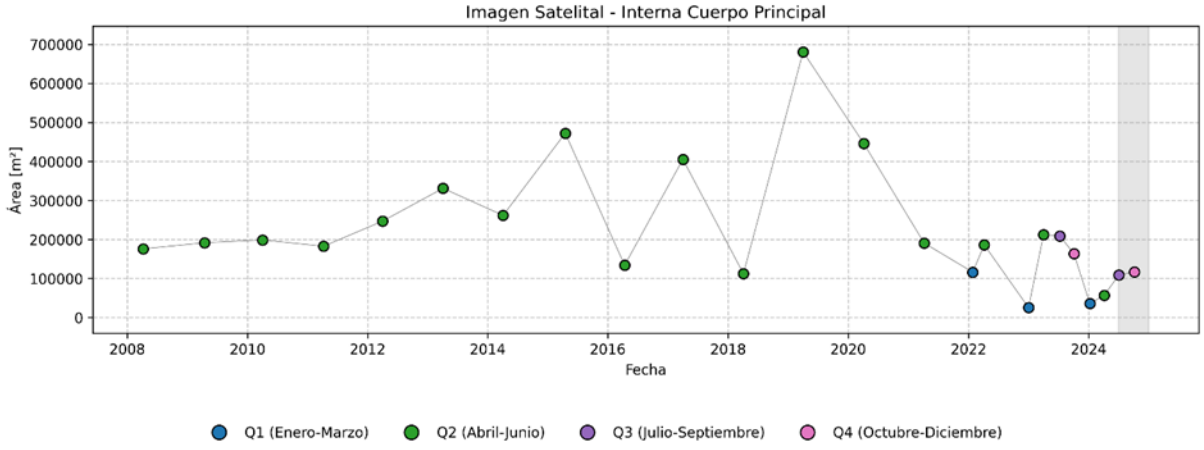
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-82: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-83: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.3 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación LZA9-1 considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, evaporación promedio, velocidad promedio y dirección del viento promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio desde aproximadamente del mes octubre del año 2022, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 684 y Figura 685.

La precipitación histórica muestra un cambio de tendencias, diferenciándose en dos épocas según los eventos de precipitación. El primer periodo, entre enero y abril del año 2023, puede considerarse una época húmeda. Esto dado que se registraron muchos eventos de precipitación, con un máximo del orden de 14,00 mm. Posterior a esta fecha, se observa pocos eventos de precipitación. Durante el segundo semestre del 2024 se observó solo un evento de precipitación con total acumulado 0,70 mm.

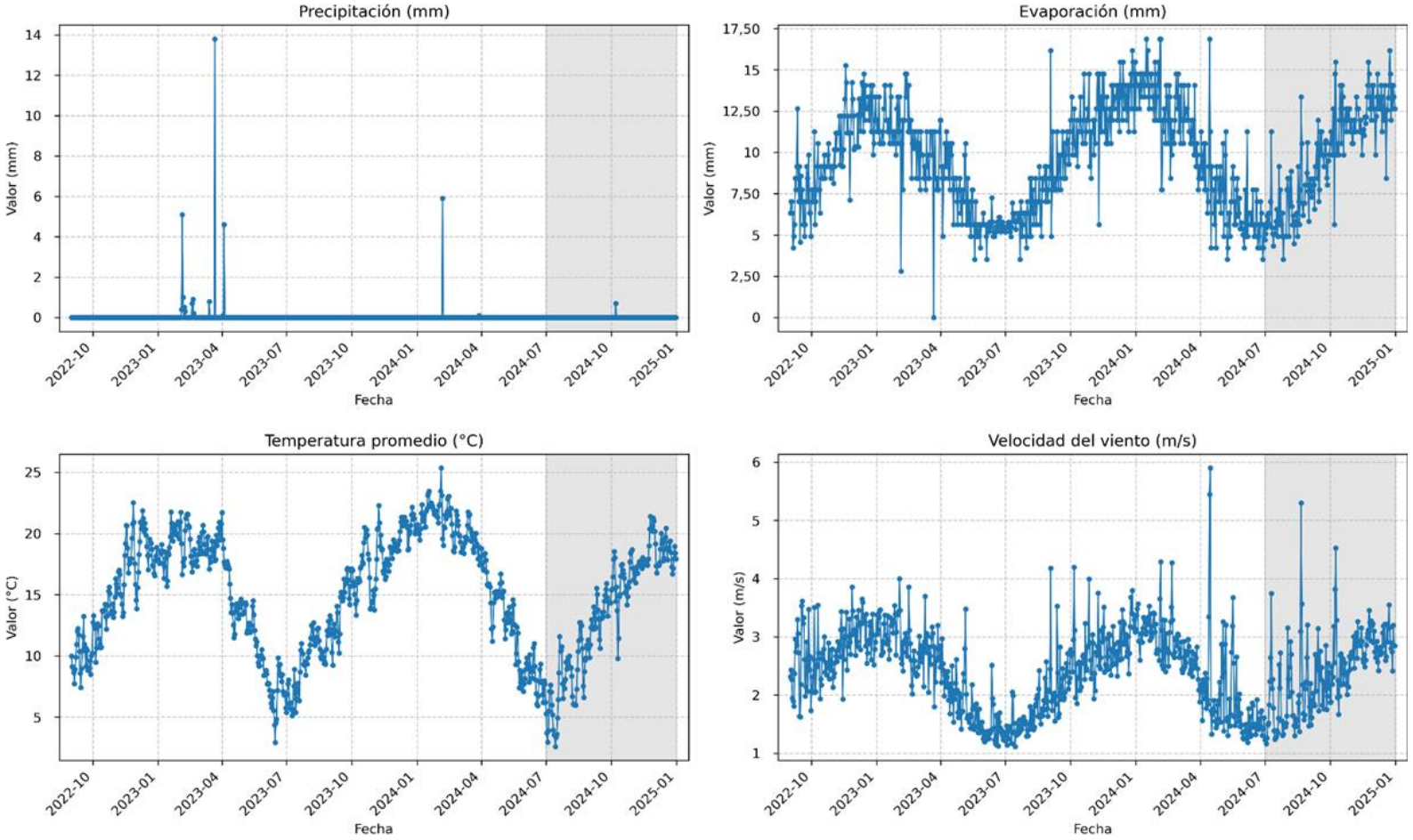
Respecto a la radiación global, temperatura y la evaporación, estas variables presentan una oscilación estacional muy marcada, con valores máximos en los meses de verano (enero, febrero y marzo), y mínimos en los meses de invierno (julio, agosto y septiembre). La radiación global promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 318,28 W/m^2, que se encuentran por sobre los 315,00 W/m^2 del valor promedio histórico. La temperatura promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 13,60 °C, que

está por sobre 1,10 °C bajo al promedio histórico del orden de 12,50 °C. Por otra parte, la evaporación promedio durante el segundo semestre del año 2024 fue de 9,80 mm/día en la bandeja de evaporación de LZA9-1 (Interna), esto equivale a 1,10 mm/día por sobre del promedio histórico (8,70 mm/día).

Respecto a la velocidad y dirección del viento, estos presentan sus mayores valores durante los meses de verano, con el promedio durante el segundo semestre del año 2024 fue 2,30 m/s, que corresponde a 0,10 m/s menos que el promedio histórico del orden de 2,40 m/s.

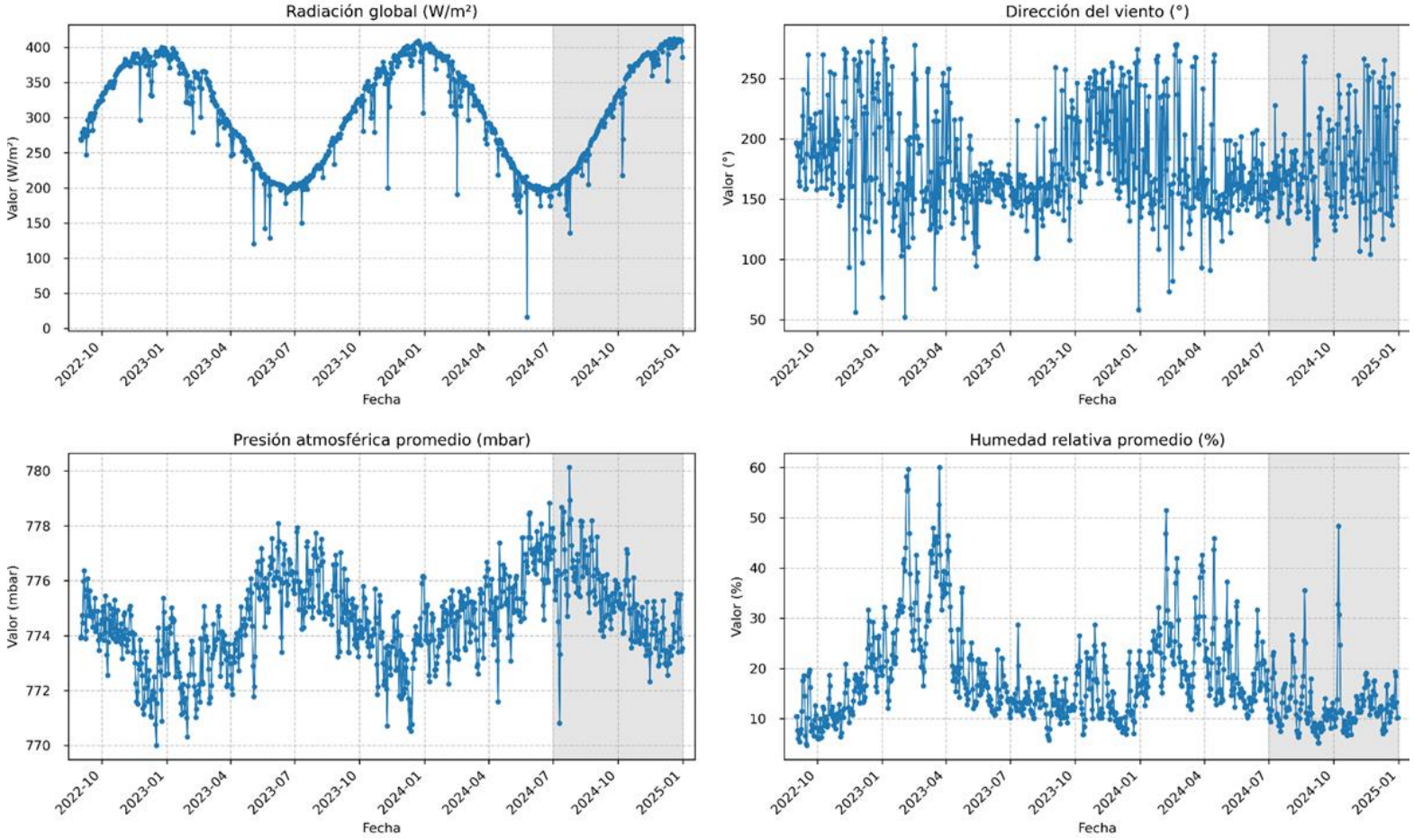
La humedad relativa a nivel histórico presenta una oscilación anual marcada, con un promedio histórico de 18,8% hasta junio de 2024, mayor que el promedio durante el segundo semestre de 2024, que fue de 12,75%. La presión atmosférica promedio durante el segundo semestre de 2024 fue de 775,21 mbar, que corresponde a 0,6 mbar más que el promedio histórico de 774,6 mbar hasta junio de 2024.

Figura 6-84: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación LZA9-1



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-85: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación LZA9-1



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.4 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado en el segundo 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 Nº28 de 2020), no se pudo acceder a algunos puntos de control de este sistema con la frecuencia adecuada en el periodo 2018 a 2020[13]. 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 Límites Detección o Límites 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.

[13] 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 Nº56/2019 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 Nº162/2020. Esta restricción se ha mantenido hasta el final del periodo reportado, impactando significativamente los compromisos de monitoreo del PSAH (PSAH Nº28 de 2020, p.30).

6.1.4.4.1 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 6-86[14,15], 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 segundo 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 12.814 µS/cm, una densidad promedio de 1,00 g/mL y valores de pH terreno entre 6,59 - 8,77. Este pozo se caracteriza por presentar aguas salobres (promedio SDT 9.825 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 108.000-197.300 µS/cm y densidad promedio de 1,10 g/mL, con pH terreno entre 7,04-7,85. Se observa desde mediados de 2015 un incremento

[14] En el informe Nº5 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.

[15] En el informe PSAH Nº 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 Nº 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 235.333 µS/cm consistente con un agua de tipo salmuera y densidad promedio de 1,20 g/mL, y un pH de terreno en el rango de 6,74-7,29. 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 solidos totales y sólidos disueltos totales. Mientras que los valores de sólidos suspendidos totales en promedio se han mantenido estables en torno a los 168 mg/L en el último periodo.

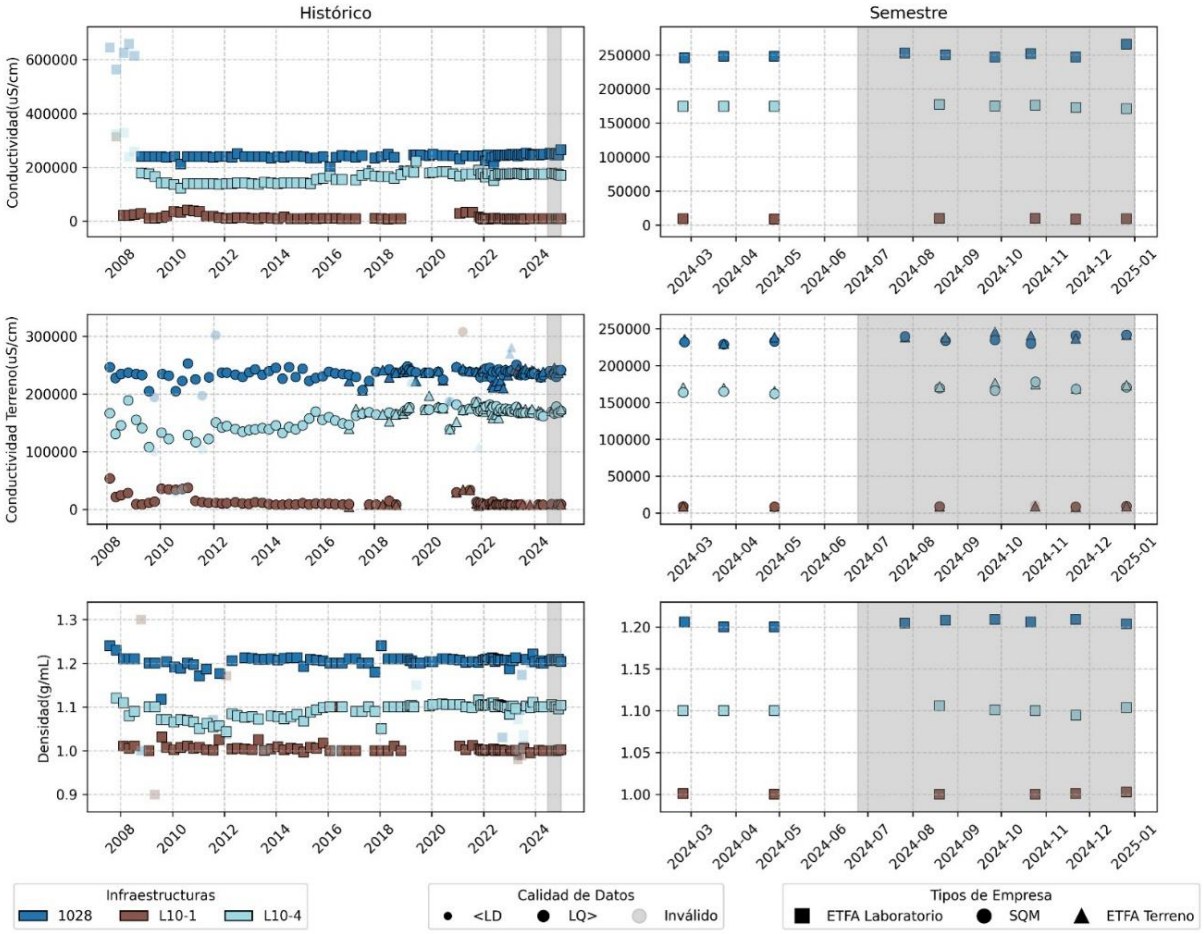
En la mayoría de los pozos las mediciones realizadas el segundo semestre de 2024 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- El pozo 1028 presentó valores de pH de laboratorio de 6,5, 7,6 y 7,7 durante septiembre, octubre y noviembre de 2024, los cuales son ligeramente inferiores y superiores, respectivamente a las muestras reportadas históricamente. Lo cual podría atribuirse a posibles errores en la medición, y por lo cual fueron invalidadas. El pozo L10-4 también mostró valores de pH de laboratorio fuera de los rangos históricos en las muestras mensuales del segundo semestre de 2024, por lo que todas fueron invalidadas. Para el pozo L10-1 también fueron invalidadas las muestras mensuales de este parámetro en dicho semestre a excepción de la muestra de diciembre.
- Del parámetro sólidos suspendidos totales se encontraron cuatro excepciones; un valor en el pozo L10-4 en octubre de 2024 ampliamente superior (178 mg/L) al rango histórico, por lo que fue invalidado. Además, se observaron algunos valores bajo el límite detección en dicho pozo y en L10-4 en septiembre-octubre y septiembre, respectivamente, lo cual se observa de forma excepcional el registro histórico.

Respecto a las tendencias identificadas:

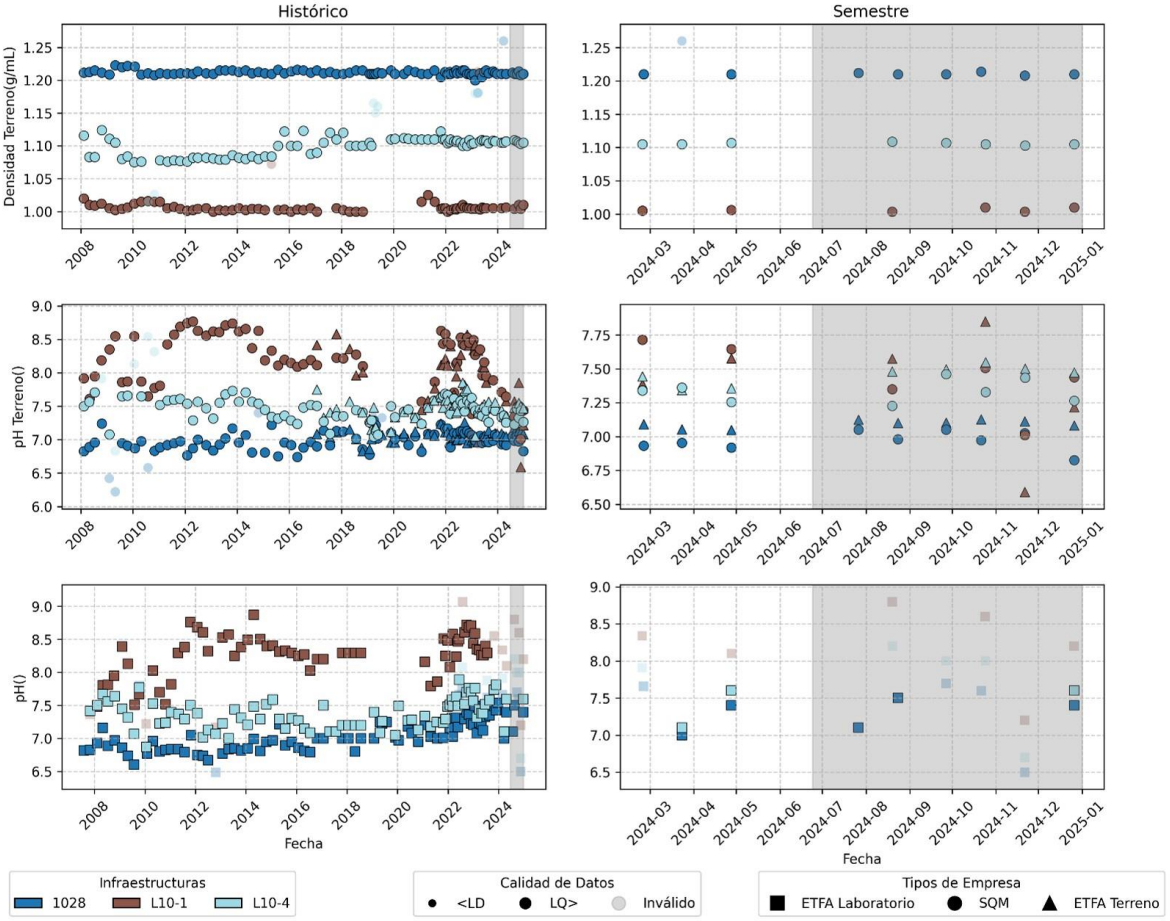
- El pozo L10-1 no presenta variaciones en las tendencias históricas para ninguno de los parámetros analizados.
- El pozo L10-4 presenta una tendencia histórica ascendente para conductividad eléctrica y densidad de terreno y laboratorio y para sólidos disueltos y totales.
- La tendencia histórica creciente 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 muestran en los laboratorios de ALS, como se indica en PSAH Nº 26 del año 2019.

Figura 6-86: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1



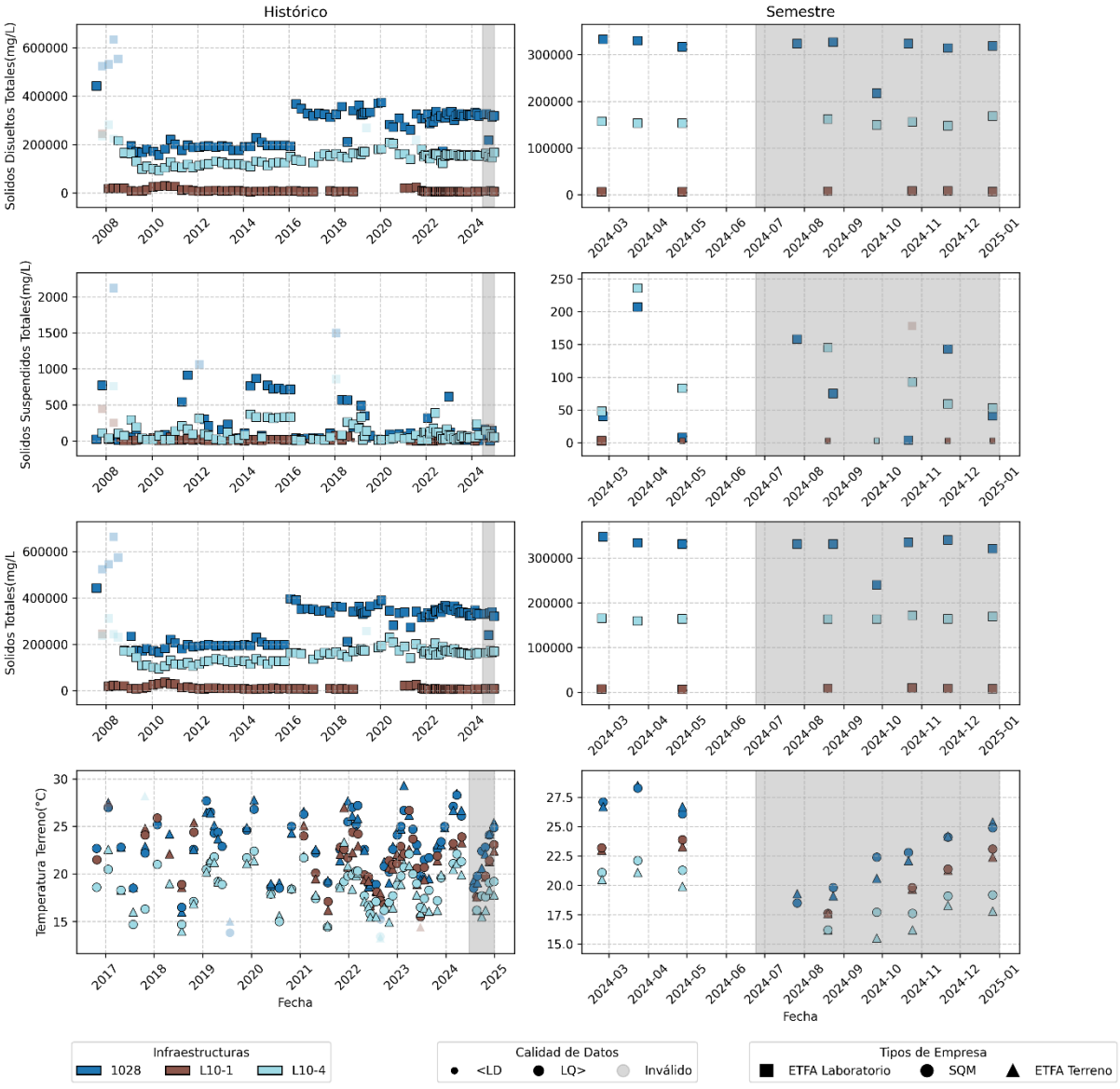
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 686: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1 **(continuación)**



Fuente: Elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 686: Evolución histórica de la calidad del agua en pozos L10-4, 1028 y L10-1 **(continuación)**



Fuente: Elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

6.1.4.4.2 Calidad del agua en sistemas lacustres

Durante el segundo semestre del año 2024 solo fue posible acceder a monitorear la laguna Interna en el tercer trimestre, no así con de las otras dos lagunas objeto de este análisis, las cuales son las lagunas 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 687 presenta la evolución histórica de los parámetros analizados, 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 segundo 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 39.177 µS/cm en desborde Interna (característico de agua salada), y en torno a los 38.604 µS/cm en la laguna Saladita y 33.851 µS/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).

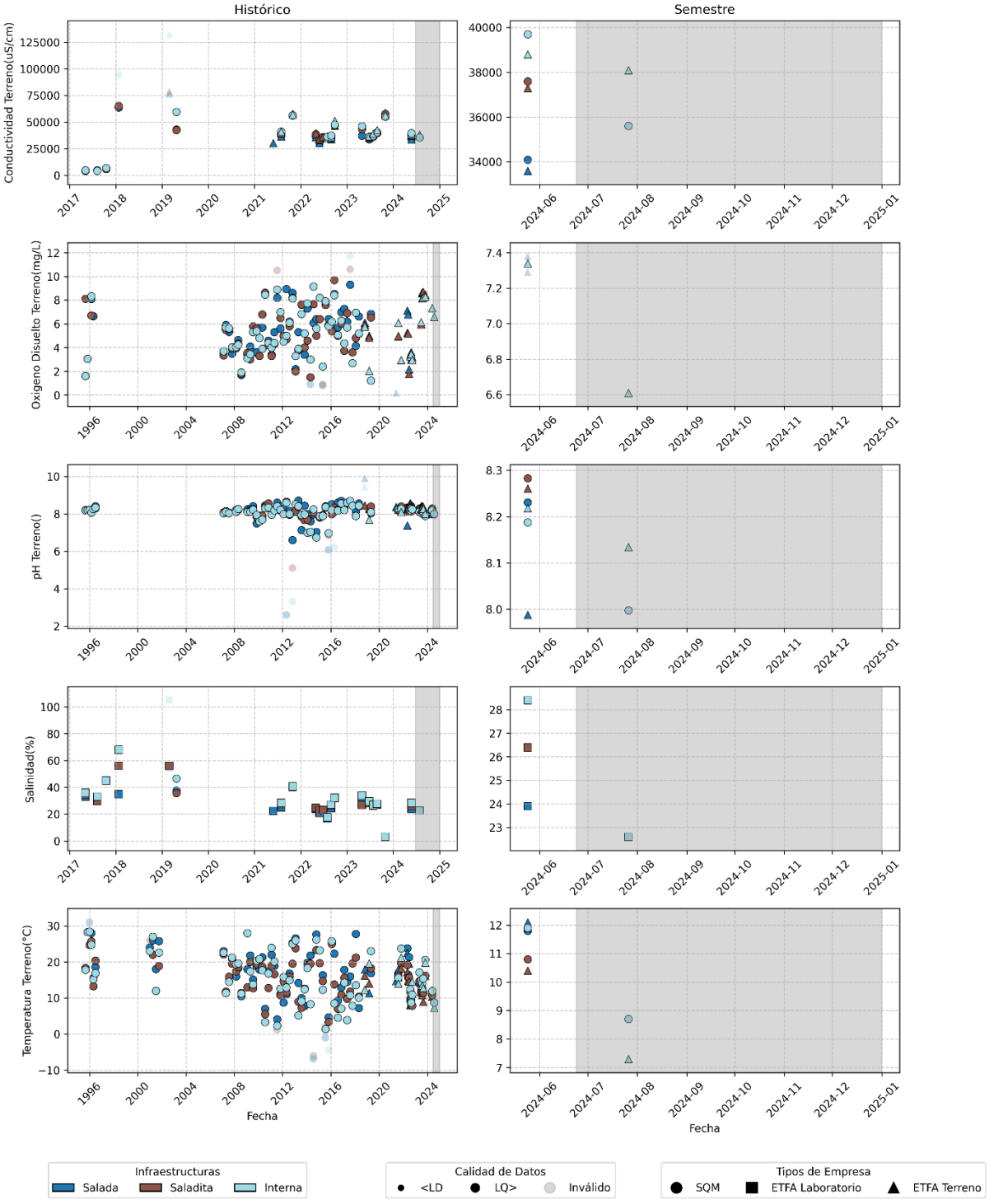
Para la salinidad, se observa la laguna Interna con registros promedio en el segundo semestre de 2024 en torno a 28%, y las lagunas Saladita y Salada en torno a 26% y 24%, respectivamente, mostrando el mismo comportamiento descrito previamente. Para los valores a contar de 2021 en delante, los

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 segundo semestre de 2024 solo se cuenta con un registro de este parámetro, en julio en laguna Saladita (6,61 mg/L). 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.

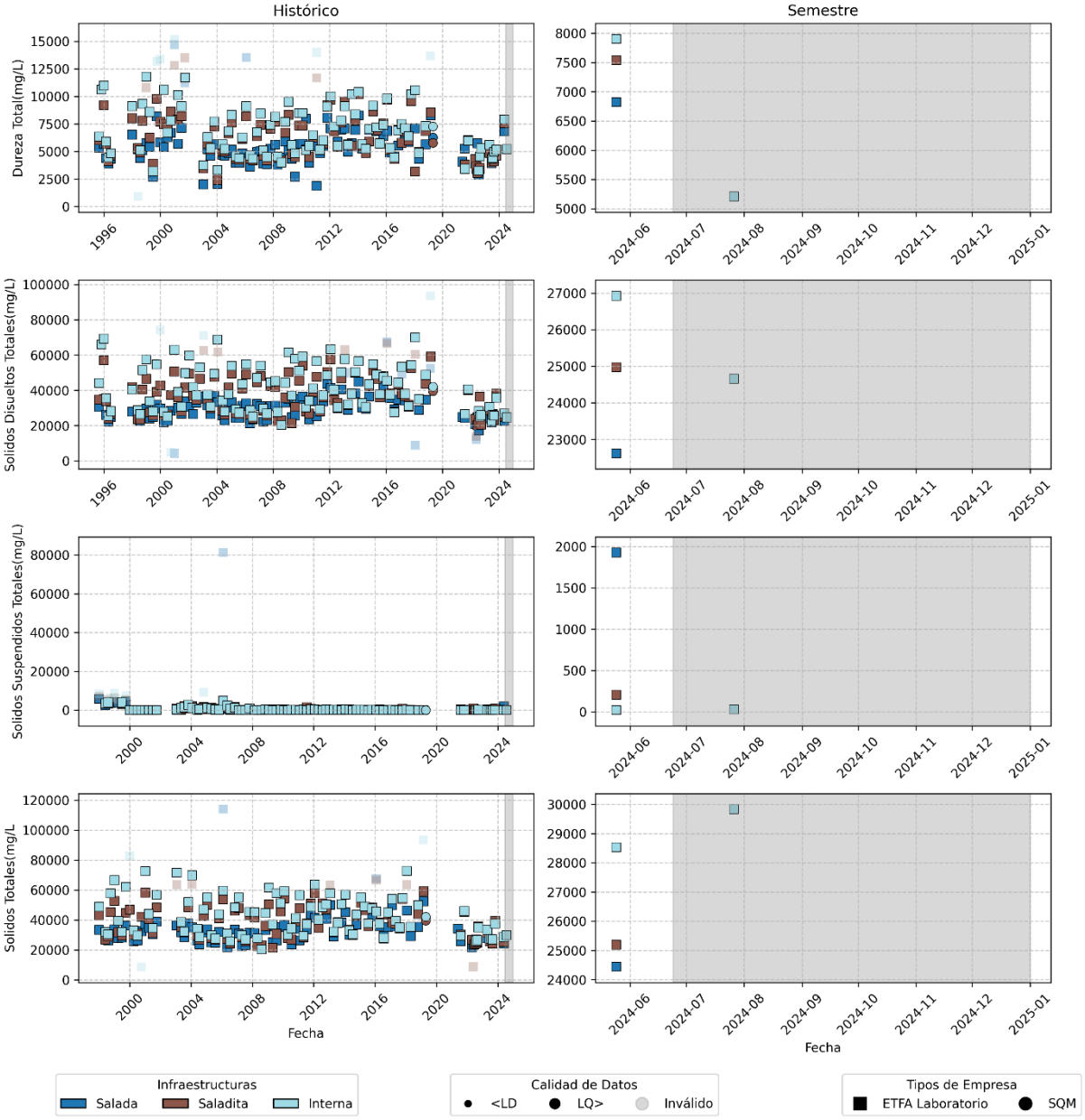
Los parámetros alcalinidad total ($CaCO_3$), arsénico, calcio, cloruro, fósforo, magnesio, N-nitrato, potasio, sílice, sodio y sulfato en promedio histórico se comportan de forma estable con variación estacional propia de puntos de agua superficial, siendo el punto con mayores concentraciones siempre 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. Lo mismo ocurre en julio 2024 en Interna, dado que disminuye a 543,9 mg/L de calcio. 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 6-87: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna



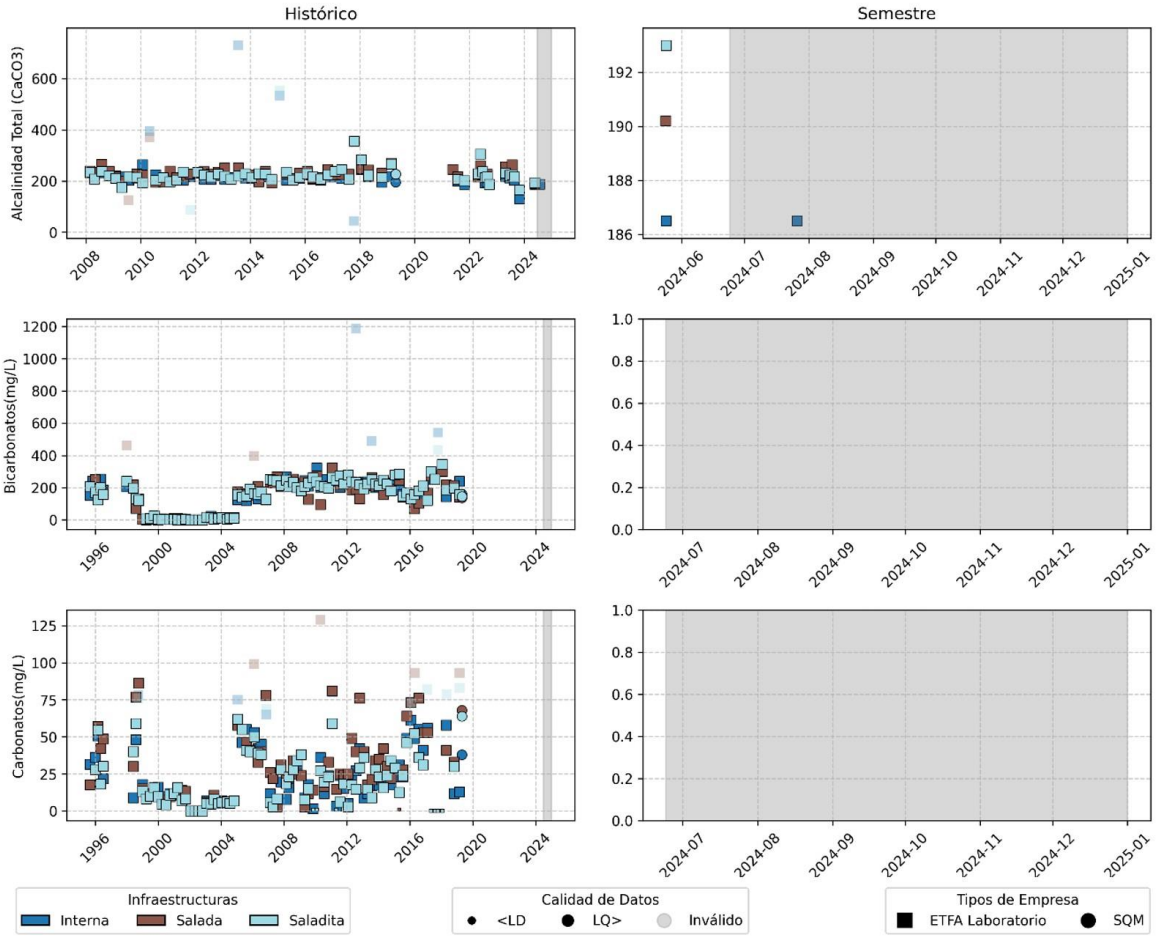
Fuente: elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados

Figura 687: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



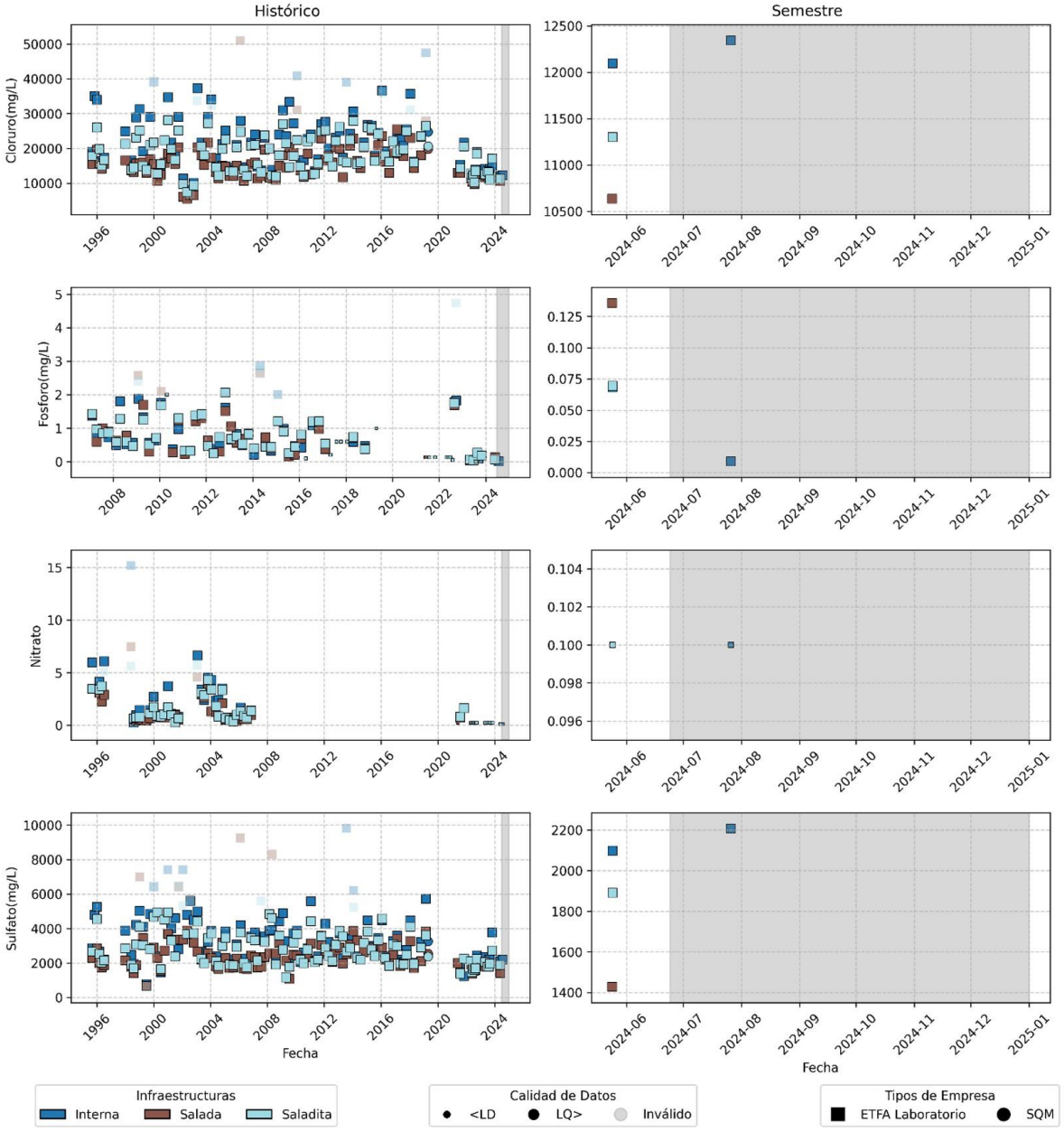
Fuente: elaboración propia. Para efectos de la escala, se ha omitido del gráfico el valor de Sólidos Suspendidos Totales (81.260mg/L) correspondiente a febrero de 2006. Los valores < LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 687: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



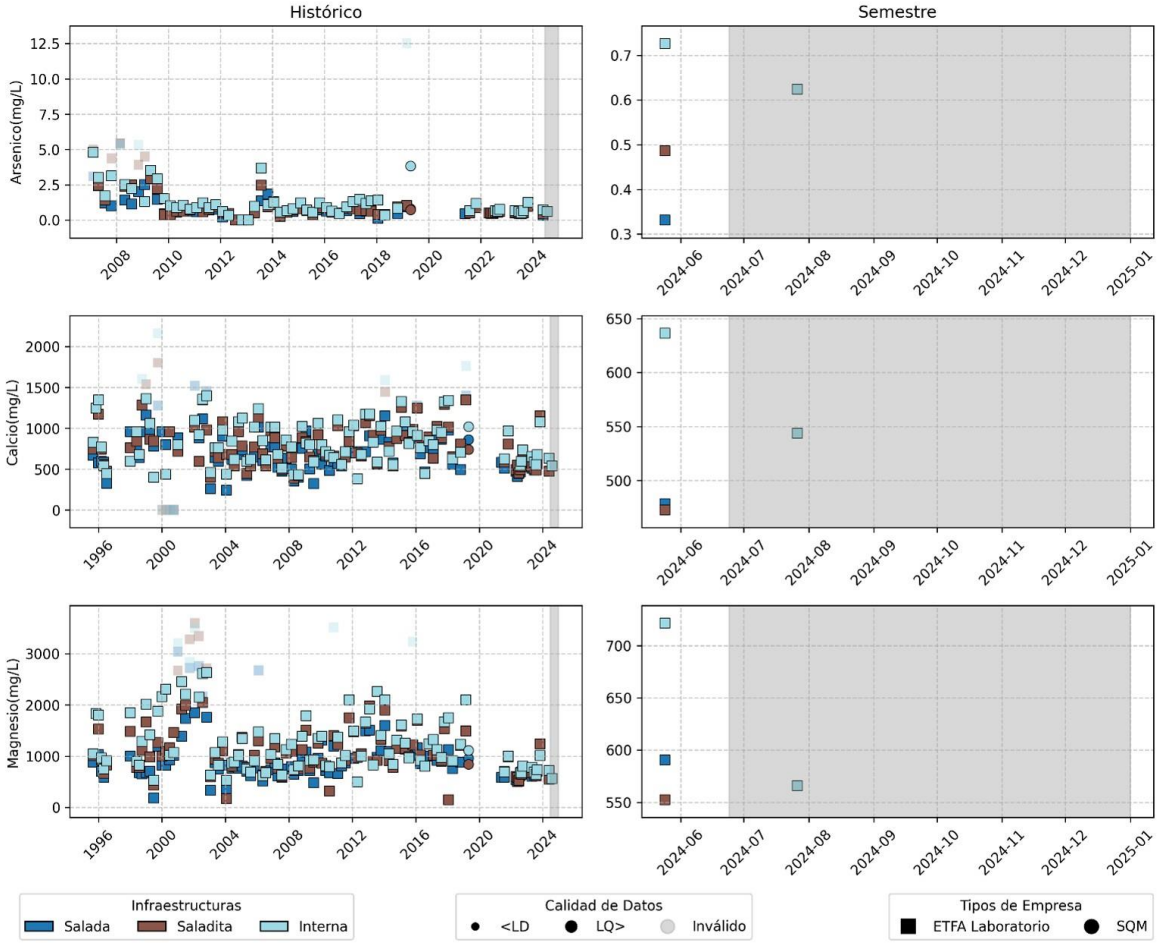
Fuente: Elaboración propia. Para efectos de la escala, se han omitido del gráfico los valores de N-Nitrato para febrero de 2019 de la laguna Salada (657mg/L), Saladita (493 mg/L) e Interna (1.062 mg/L). Los valores < LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 687: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



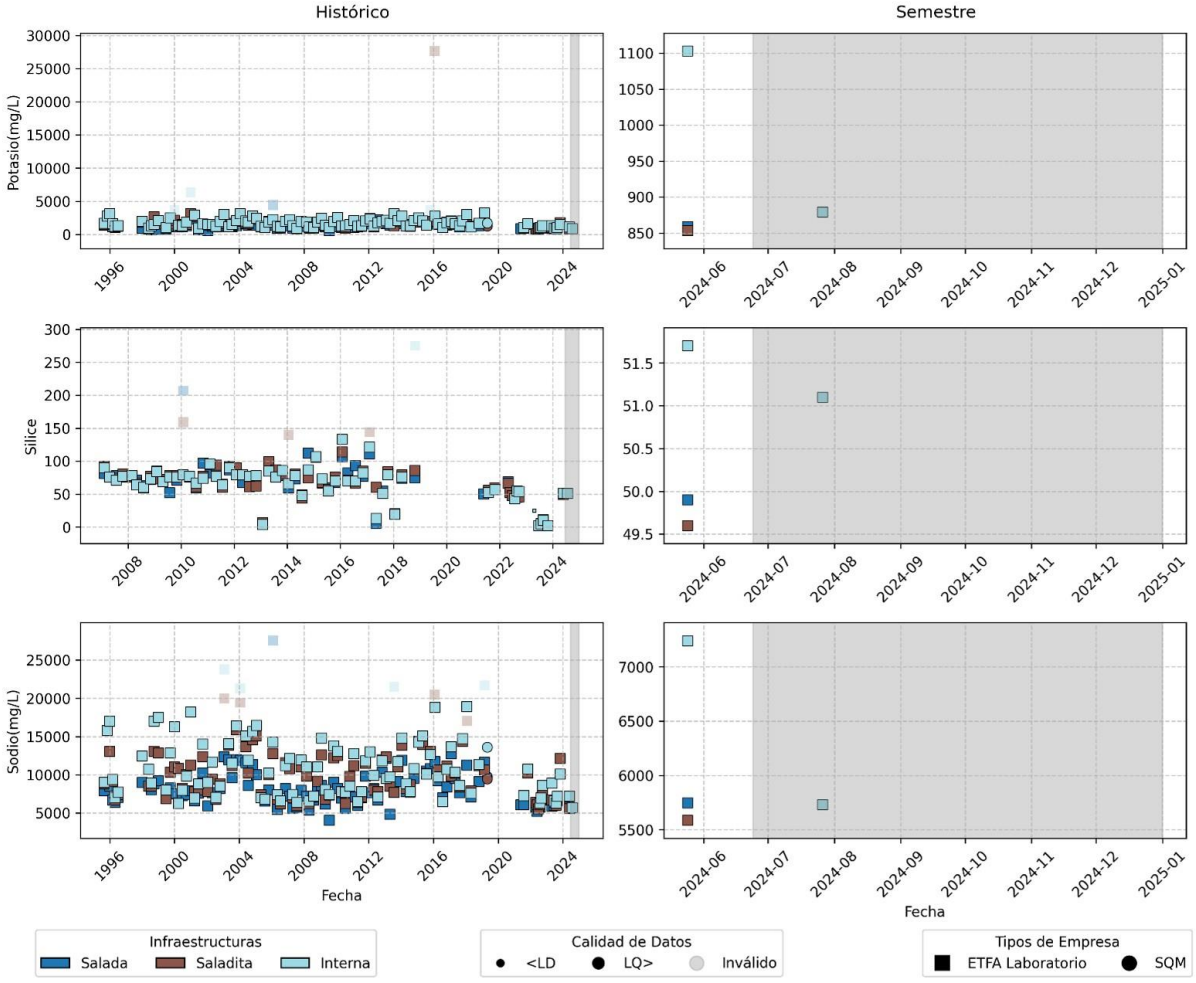
Fuente: Elaboración propia. Para efectos de la escala, se han omitido del gráfico los valores de N-Nitrato para febrero de 2019 de la laguna Salada (657mg/L), Saladita (493 mg/L) e Interna (1.062 mg/L). Los valores < LD se describen en la leyenda. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 687: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



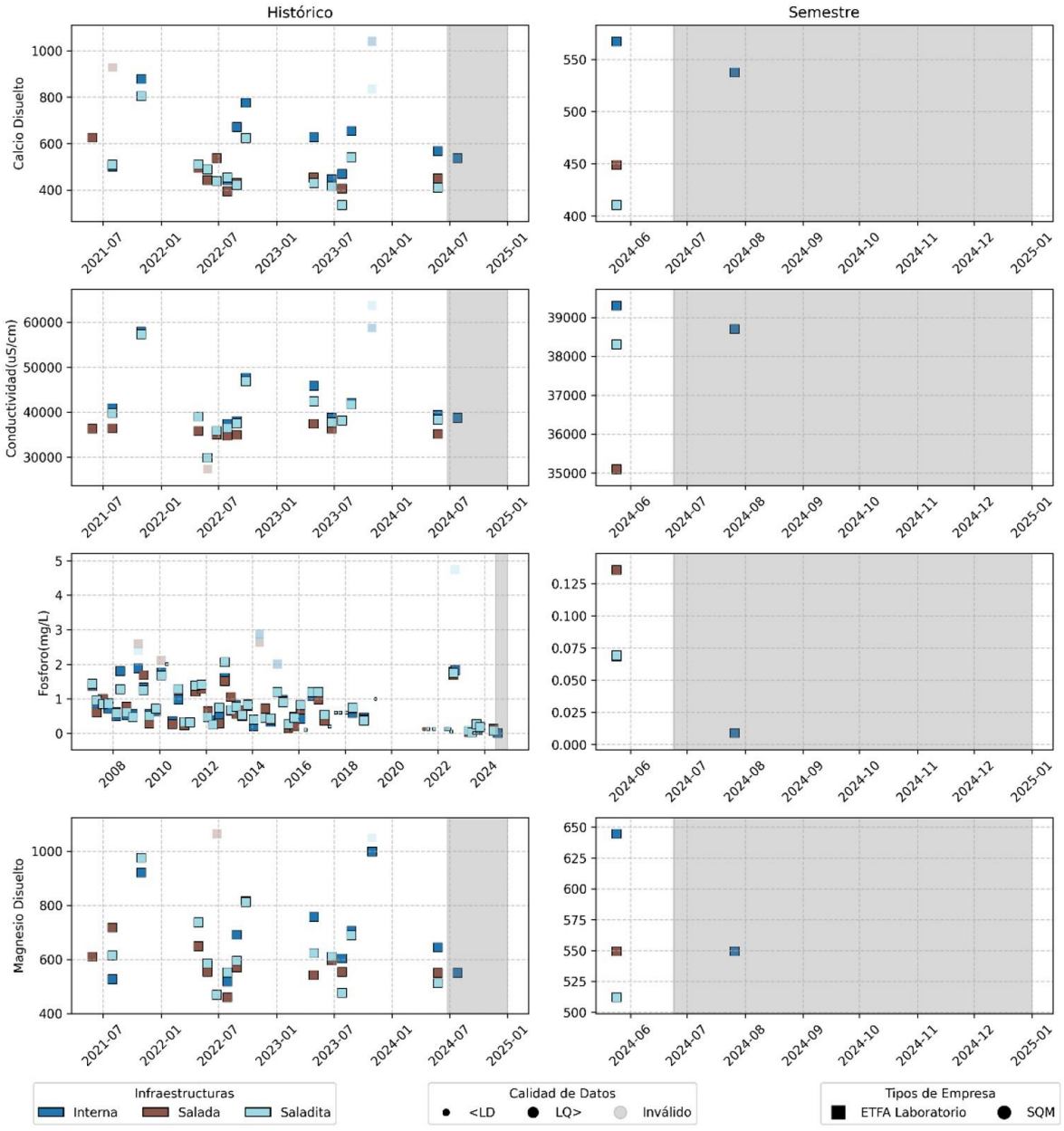
Fuente: elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 687: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



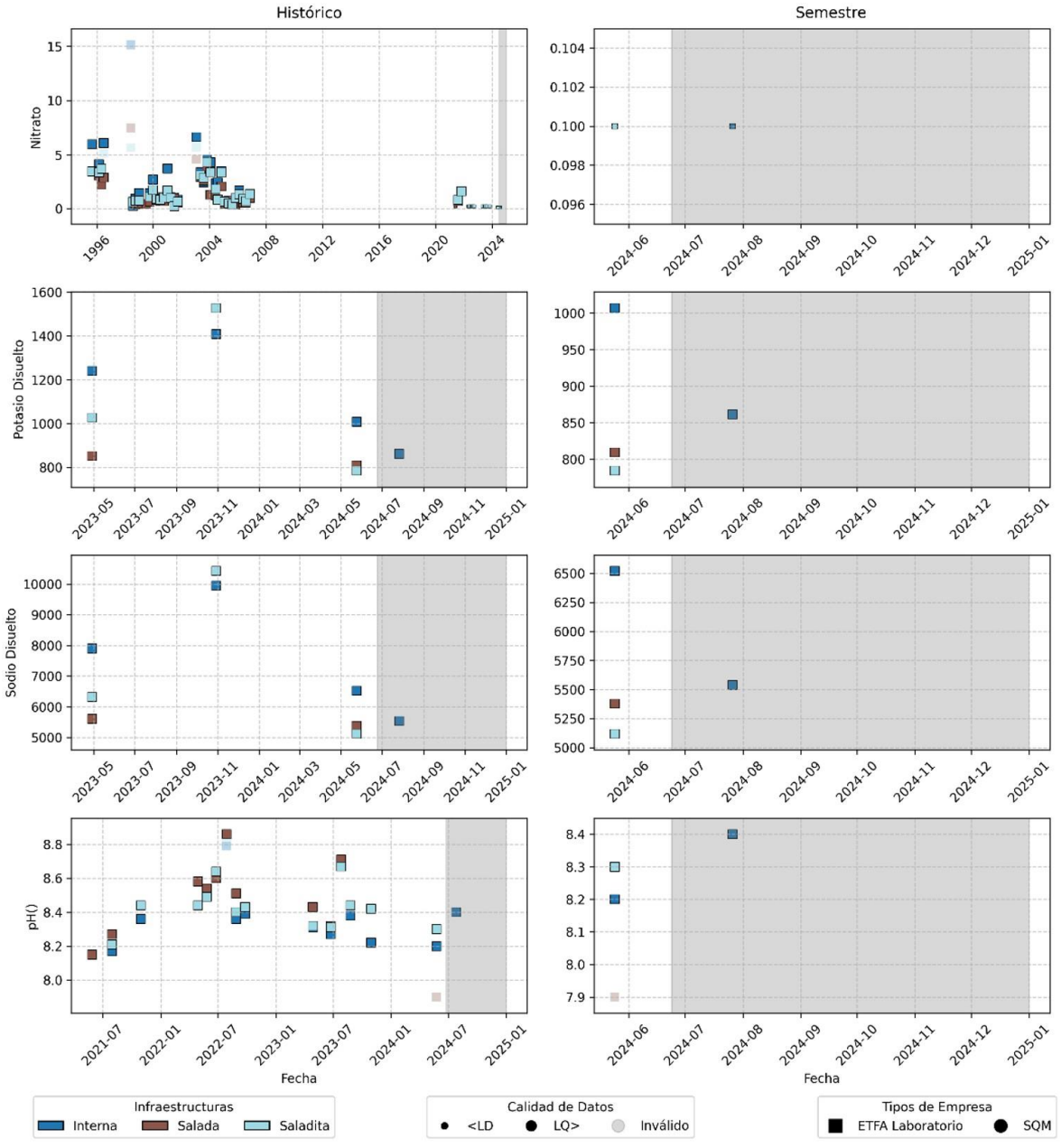
Fuente: elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 687: 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.

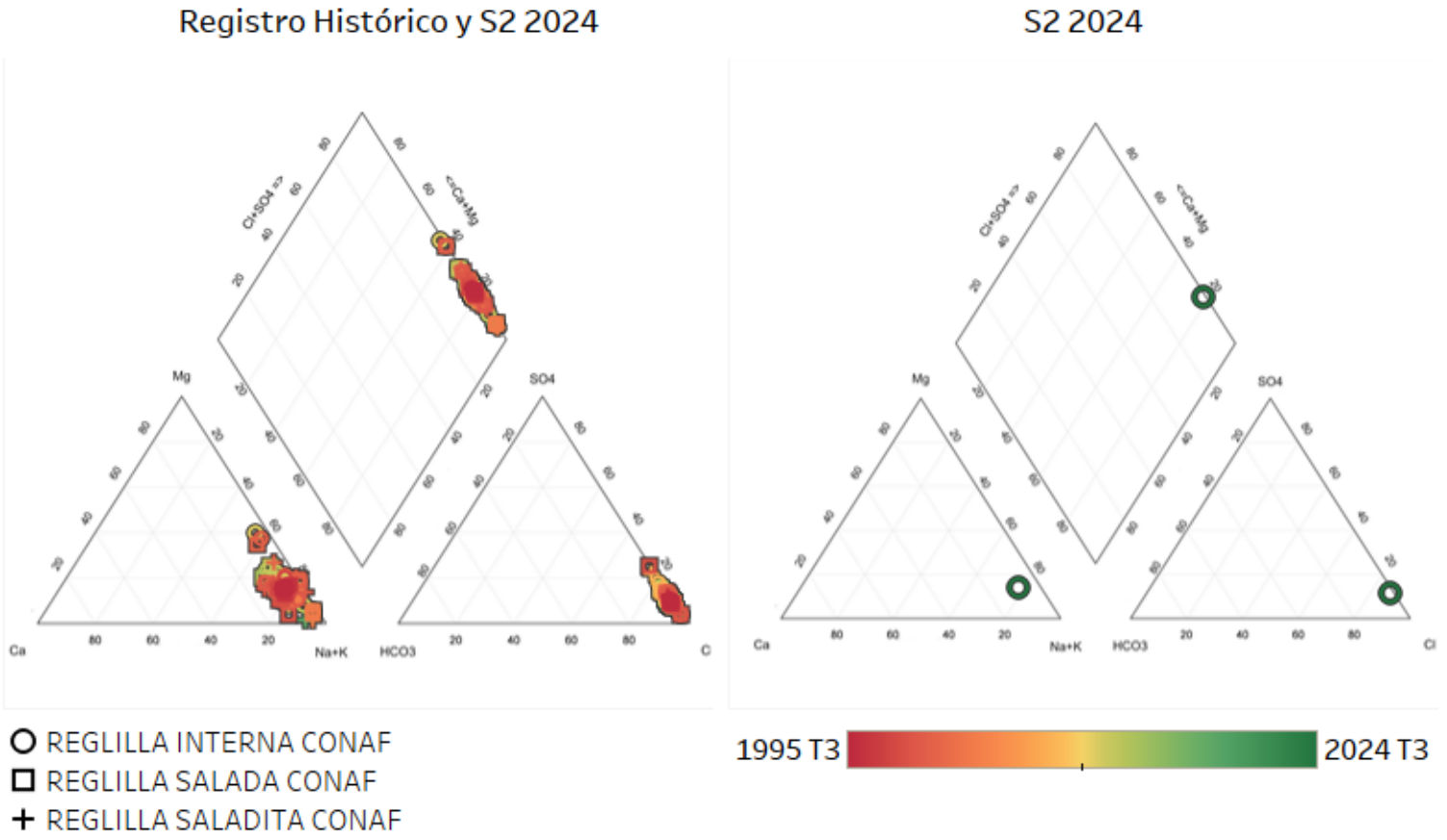
Figura 687: Evolución histórica de la calidad del agua en las lagunas Saladita, Salada e Interna (continuación)



Fuente: elaboración propia. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

En cuanto a las características generales, en la Figura 688 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.

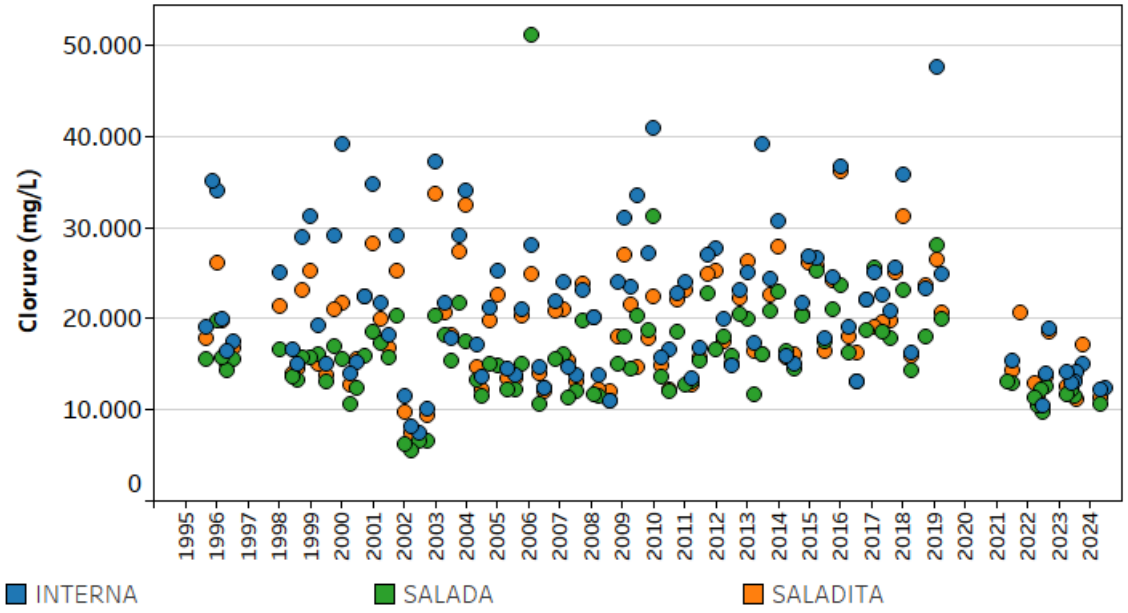
Figura 6-88: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine con un BI>10%



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 689), 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 hacía el núcleo con extensión muy variable. Las menores concentraciones se registran en la laguna Salada.

Figura 6-89: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.5 Caudal de agua 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 690 se muestran las mediciones realizadas hasta el final del segundo semestre 2024. Cabe destacar que en el segundo semestre 2024, no hay mediciones por restricción de acceso, para más información referirse a la sección 5.1.1.

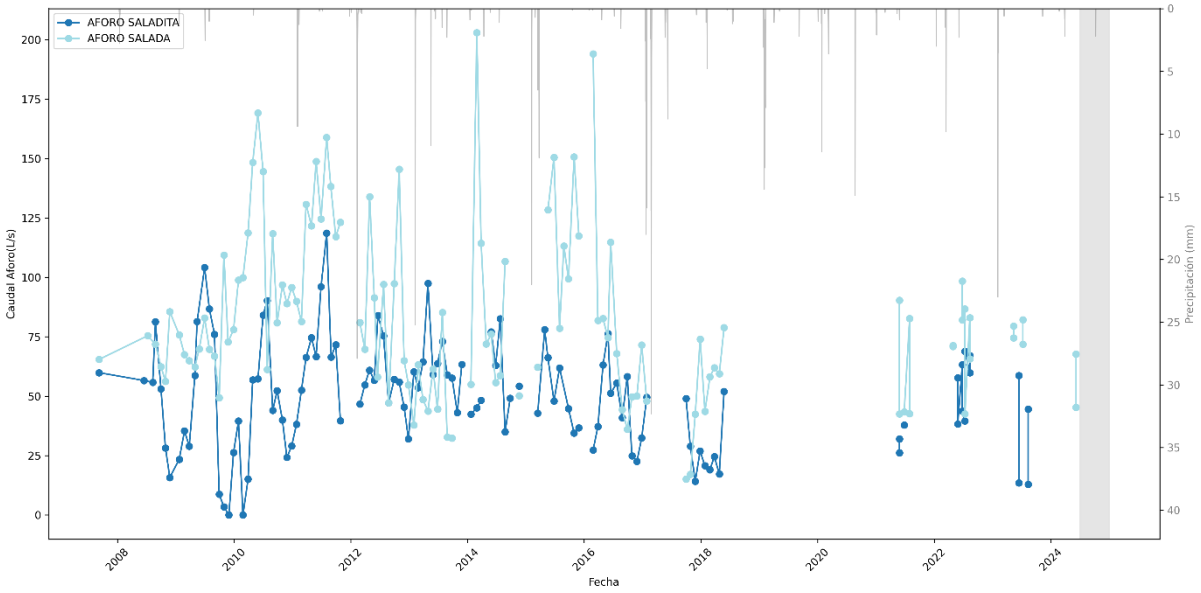
Respecto del registro histórico (ver Figura 690), se observa que el aforo de Salada muestra una oscilación con una frecuencia mayor a la anual, no asociada eventos estacionales. Se observa la

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 segundo semestre de 2024 no se reportaron mediciones en este punto, por lo que será necesario revisar los datos de los próximos meses.

Figura 6-90: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine

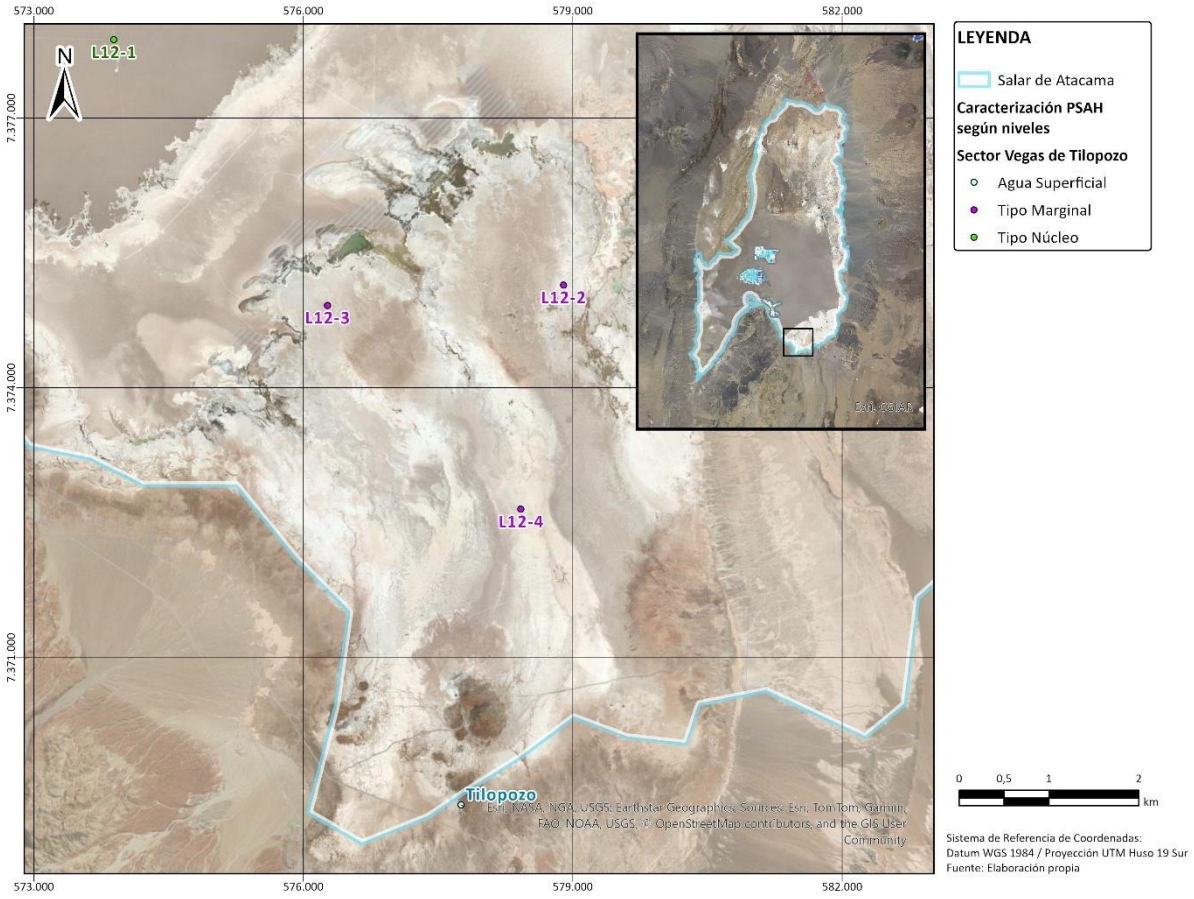


Fuente: Elaboración propia.

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 691).

Figura 6-91: 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

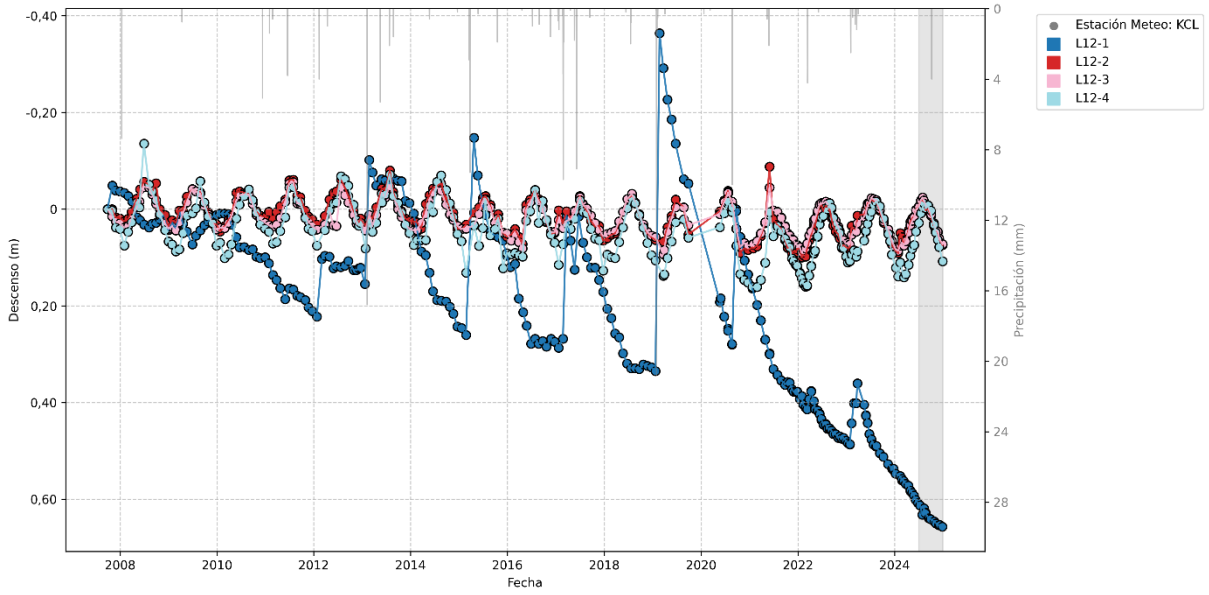
En esta sección se presenta un análisis de los niveles registrados en el Sector Vegas de Tilopozo, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el segundo semestre de 2024 respecto al registro histórico.

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 692 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 692). Previo a 2014, los niveles se mantuvieron estables, sin tendencias aparentes dentro del patrón oscilatorio estacional. 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, 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 en cotas más elevadas.

Figura 6-92: Descensos calculados en los puntos de la Zona Marginal y el núcleo del Sector Vegas de Tilopozo



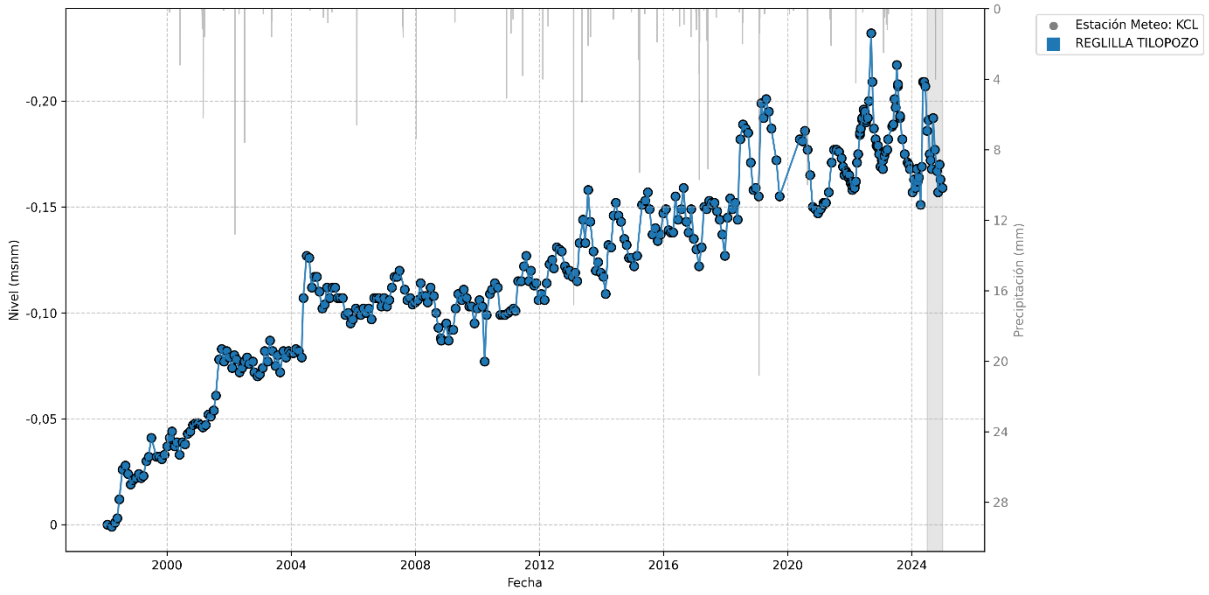
Fuente: Elaboración propia.

El punto L12-1, a su vez, muestra un comportamiento diferenciado al resto, reflejando el comportamiento esperado en el núcleo; sin oscilación estacional, con respuesta inmediata a los eventos de lluvia y una tasa característica de descenso, que en este caso es de unos 4,5 cm/año entre 2012 y 2024. 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 8 cm/año, posiblemente influenciada por el aumento de extracción de Albemarle. En el segundo semestre 2024 se observa una tendencia similar en los descensos.

6.1.5.1.2 Nivel de agua superficial

En este apartad0 se analiza el único punto de monitoreo que mide los niveles de los cuerpos de agua superficial, correspondiente a la Reglilla Tilopozo (Figura 693). 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 2022, se tiene una tasa de aumento aproximada de 0,5 cm/año. Desde 2022 existe una leve tendencia al descenso que puede verse en los máximos y mínimos estacionales.

Figura 6-93: Niveles medidos en la reglilla del Sector Vegas de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia.

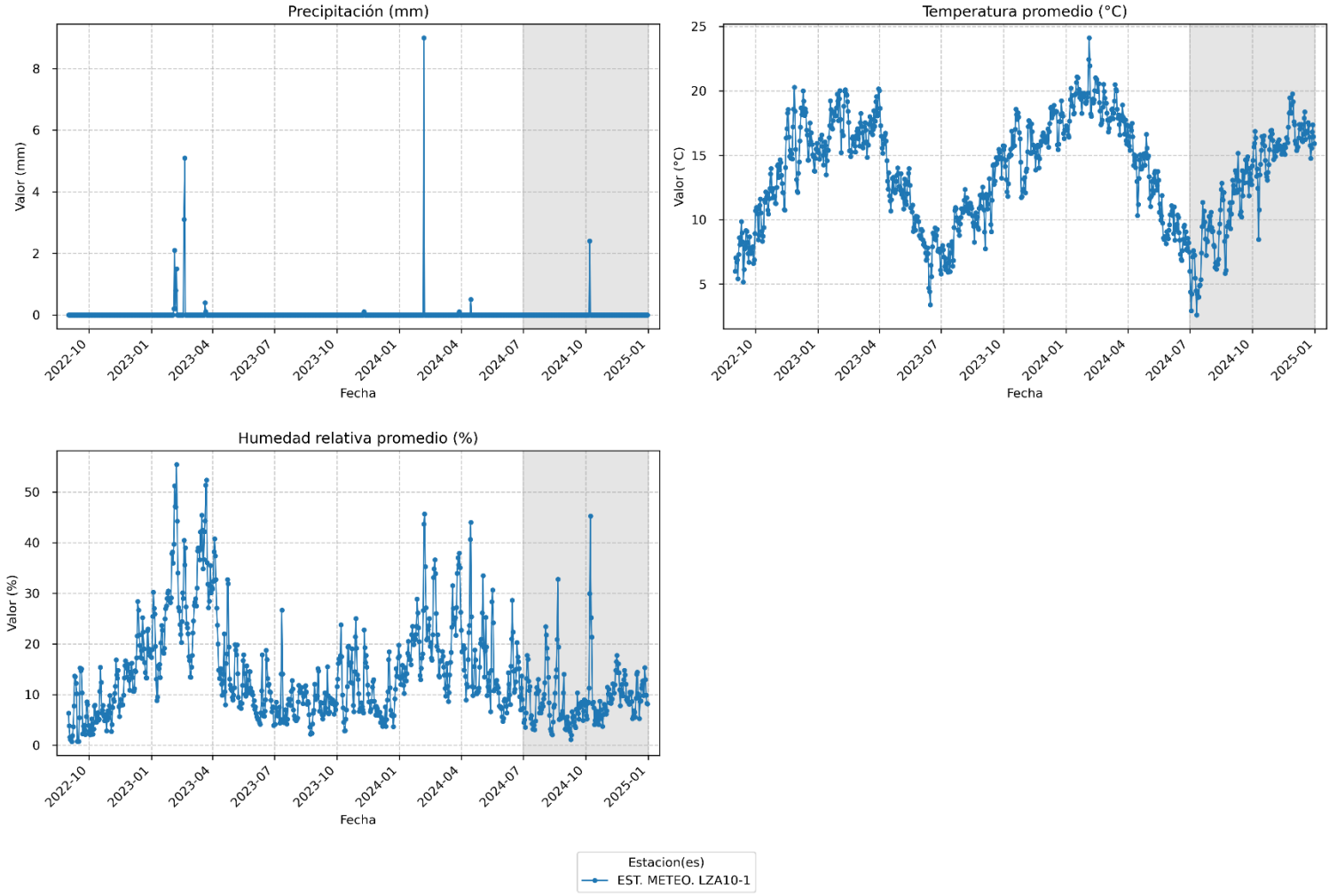
6.1.5.2 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación LZA10-1 considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, temperatura promedio y humedad relativa promedio desde aproximadamente el mes octubre de 2022, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 694.

La serie de precipitación histórica en la estación meteorológica muestra que el período con mayor cantidad de eventos de precipitación fue el primer semestre del año 2023. Por otro lado, la máxima precipitación diaria que se registró fue en el primer semestre del año 2024, la cual alcanzó una magnitud del orden de 9,30 mm de agua caída. Ahora bien, durante el segundo semestre del 2024 se observó solo un evento de precipitación en el mes de octubre de 2,40 mm.

Respecto a la temperatura y humedad relativa promedio, estas variables presentan una oscilación estacional muy marcada, con valores máximos en los meses de verano (enero, febrero y marzo), y mínimos en los meses de invierno (julio, agosto y septiembre). La temperatura promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 12,70 °C, que está por sobre 0,20 °C por encima del promedio histórico del orden de 12,50°C. Mientras que la humedad relativa promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 9,28%, que está por bajo 2,6% debajo del promedio histórico del orden de 11,80%.

Figura 6-94: Series históricas de precipitación, temperatura y humedad relativa en la estación meteorológica LZA10-1



Fuente: Elaboración propia

6.1.6 SECTOR NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

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 segundo semestre de 2024 respecto al registro histórico.

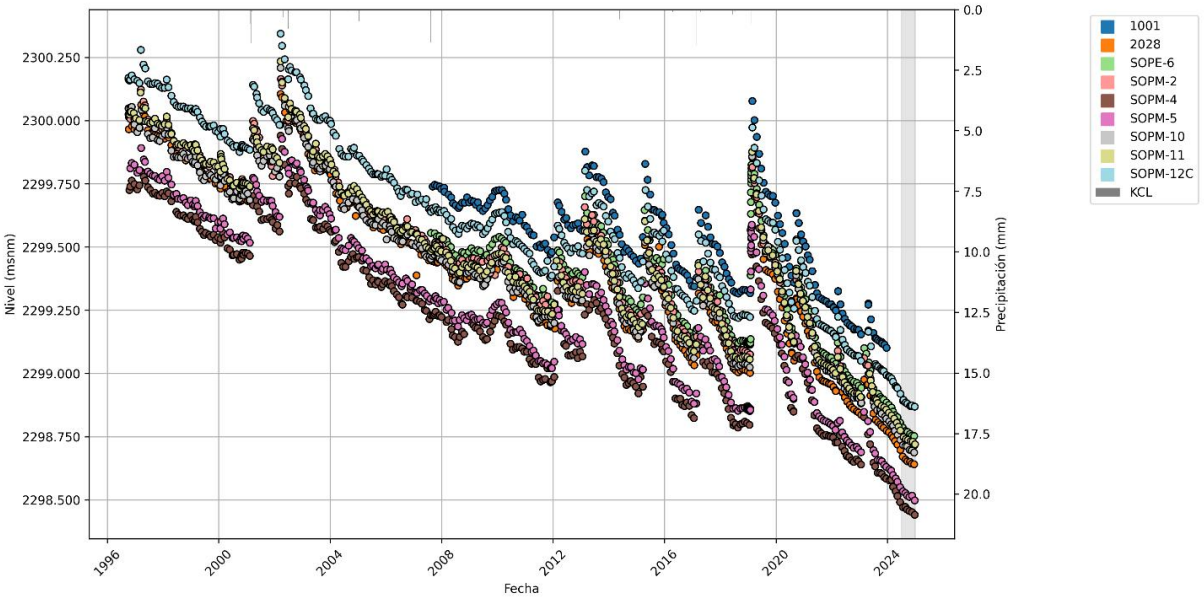
Los pozos que se encuentran ubicados en el sector del núcleo se han clasificado en grupos según su ubicación:

- 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 695.
- Pozos ubicados entre las pozas de SQM y de Albemarle: M7, E-324, E-101, 2040, M1-C. Sus niveles se muestran en Figura 696, y detalle para los pozos E-101, 2040, M1-C en Figura 696.
- Pozos ubicados al Oeste del Salar: M2-C, Zar-C-S y Sample-4 (Figura 697).
- Pozos ubicados al Norte del Salar: EIA-5, 1906 y C4-B. Sus niveles se muestran en la Figura 698, y sus respectivos descensos calculados en la Figura 698.

Respecto los puntos que se encuentran en el borde Este del Núcleo del Salar, en la Figura 695 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 descenso progresivo), 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 un rápido descenso.

La tasa de descenso de este grupo es de 5 cm/año en promedio entre 2008 y 2024. A partir de 2020 esta tasa aumenta a 10 cm/año.

Figura 6-95: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del Núcleo del Salar



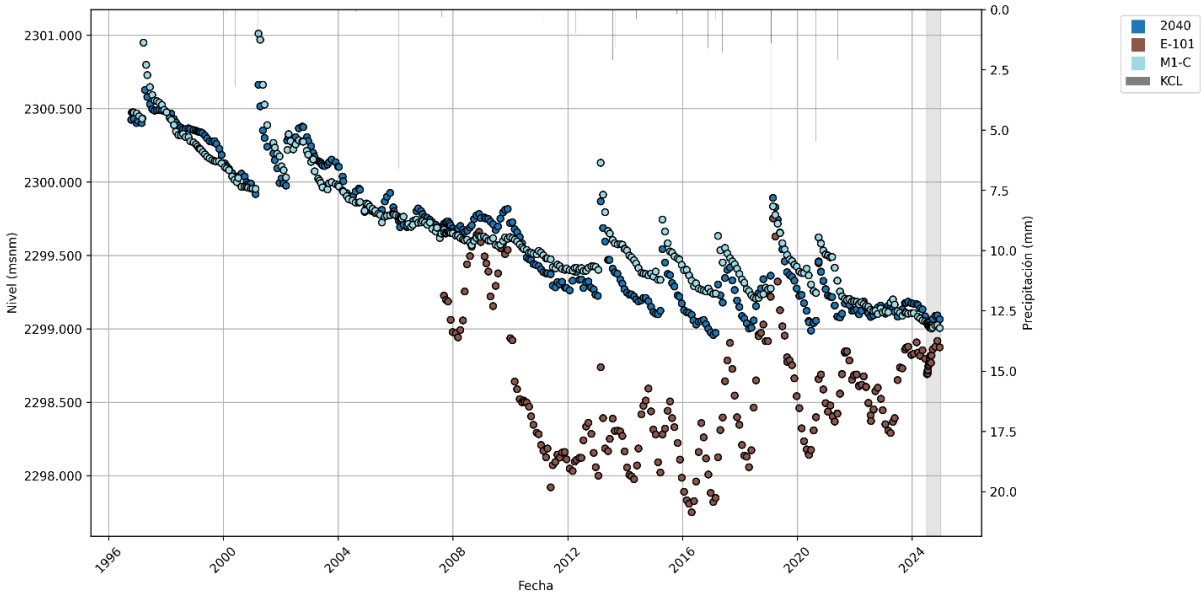
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

El siguiente grupo de puntos se sitúa sobre la transecta definida entre las pozas de SQM y las de Albemarle, 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 696, muestran oscilaciones irregulares y están sujetos al manejo operativo de los pozos productivos. A pesar de esto, al menos desde mayo de 2018 hasta diciembre 2024, se observa una tendencia de ascenso, diferenciada más claramente en los registros mínimos. A diciembre de 2024 estos pozos muestran máximos que no se alcanzaban desde 1019.

El 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. Los niveles de E-101 oscilan de forma similar a los puntos 2040 y E-324, pero con amplitudes menores, 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 696.

Figura 6-96: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle



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. El M2-C es el que se encuentra más cercano al campo de pozos.

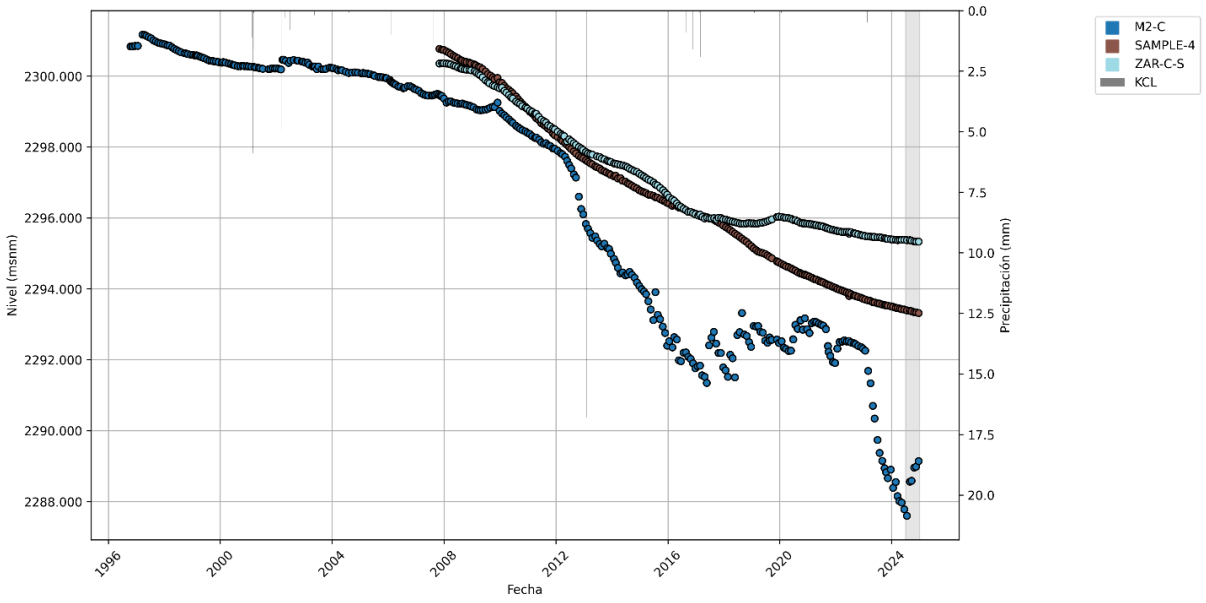
Según la Figura 697, el pozo M2-C mostró una fuerte pendiente de descenso en sus niveles (112 cm/año de tasa promedio, medido entre abril de 2012 y mayo de 2017). A partir de esta última fecha, cambia drásticamente hacia una tendencia ascendente (21 cm/año de tasa promedio, medido entre mayo de 2017 y diciembre de 2020), para volver a descender a partir de enero de 2023, alcanzando una cota mínima histórica registrada durante el primer semestre de 2024. Desde julio a diciembre de 2024, los niveles han ascendido 1,5 m. Lo anterior conduce a inferir que este punto se ve influenciado por el manejo operacional del campo de pozos.

El punto Sample-4 se encuentra al sur, próximo al límite rocoso, mientras que el pozo Zar-C-S está ubicado al oeste del sector. De acuerdo con la Figura 697, ambos pozos muestran una tendencia de descenso, aunque con variaciones graduales en sus pendientes a lo largo del registro histórico. Desde mayo de 2017 hasta diciembre de 2019, el pozo Zar-C-S ha reduce su tasa de descenso, para volver a aumentar a

comienzos del año 2020. A diciembre de 2024, los pozos Zar-C-S y Sample-4 muestran mínimos históricos de 2295,33 y 2293,322 m.s.n.m, respectivamente.

Este comportamiento indica que sus niveles responden, aunque de manera residual, al manejo operacional del campo de pozos. Los cambios de tendencia observados sugieren la transmisión de pulsos a través del acuífero del núcleo, evidenciada por la forma suavizada de dichas variaciones.

Figura 6-97: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde Oeste del Núcleo del Salar



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

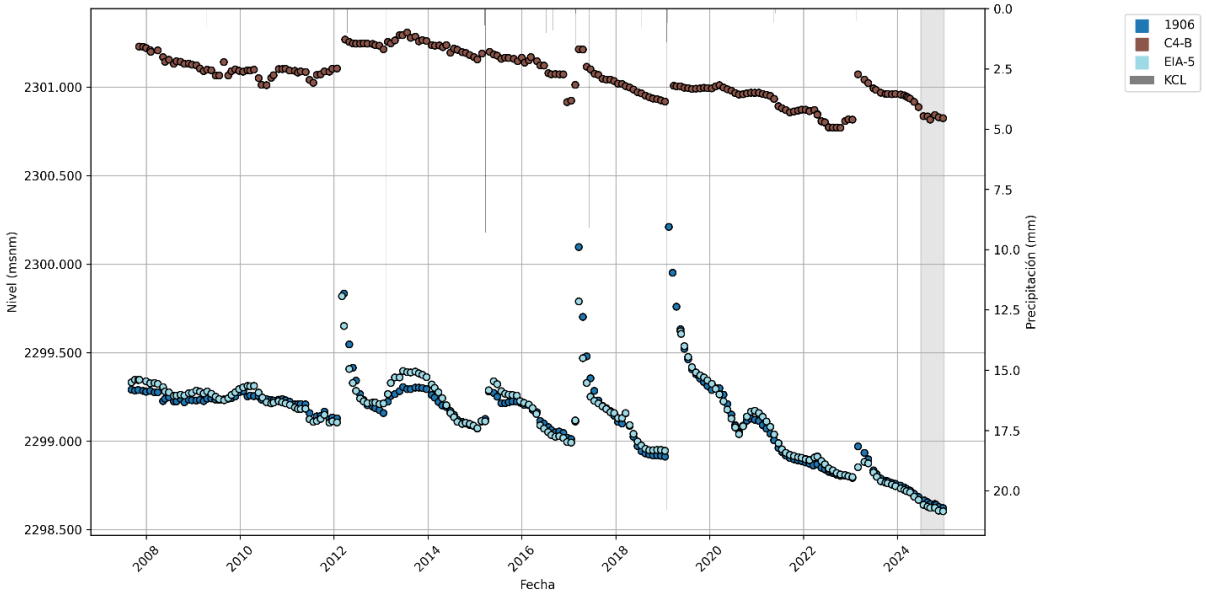
Finalmente, los pozos restantes que se encuentran al norte del Núcleo del Salar son el 1906, EIA-5 (ambos al sur del delta de San Pedro) y el C4-B (más cercano a la estación de Chaxa).

En la Figura 698 puede verse que la tendencia promedio de los tres puntos es similar al comportamiento descrito para los pozos Tipo Núcleo descritos en todos los sistemas.

Durante el segundo semestre de 2024, los niveles en EIA-5 han mantenido una tendencia acorde con el comportamiento histórico, caracterizado por descensos continuos tras el incremento registrado luego del evento de lluvias de 2023. Por su parte, el pozo C4-B ha permanecido estable entre julio y diciembre de

2024, con niveles en torno a los 2.300,8 m.s.n.m. Es importante señalar que este pozo se ubica completamente al norte del Núcleo del Salar, dentro de la Zona Marginal.

Figura 6-98: Niveles medidos en el sector Norte del Núcleo del Salar



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.6.2 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación KCL y SOP considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, evaporación promedio, temperatura promedio, velocidad y dirección del viento promedio, radiación global promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio desde aproximadamente del año 2000 y el mes octubre del año 2022, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 699 y Figura 6100.

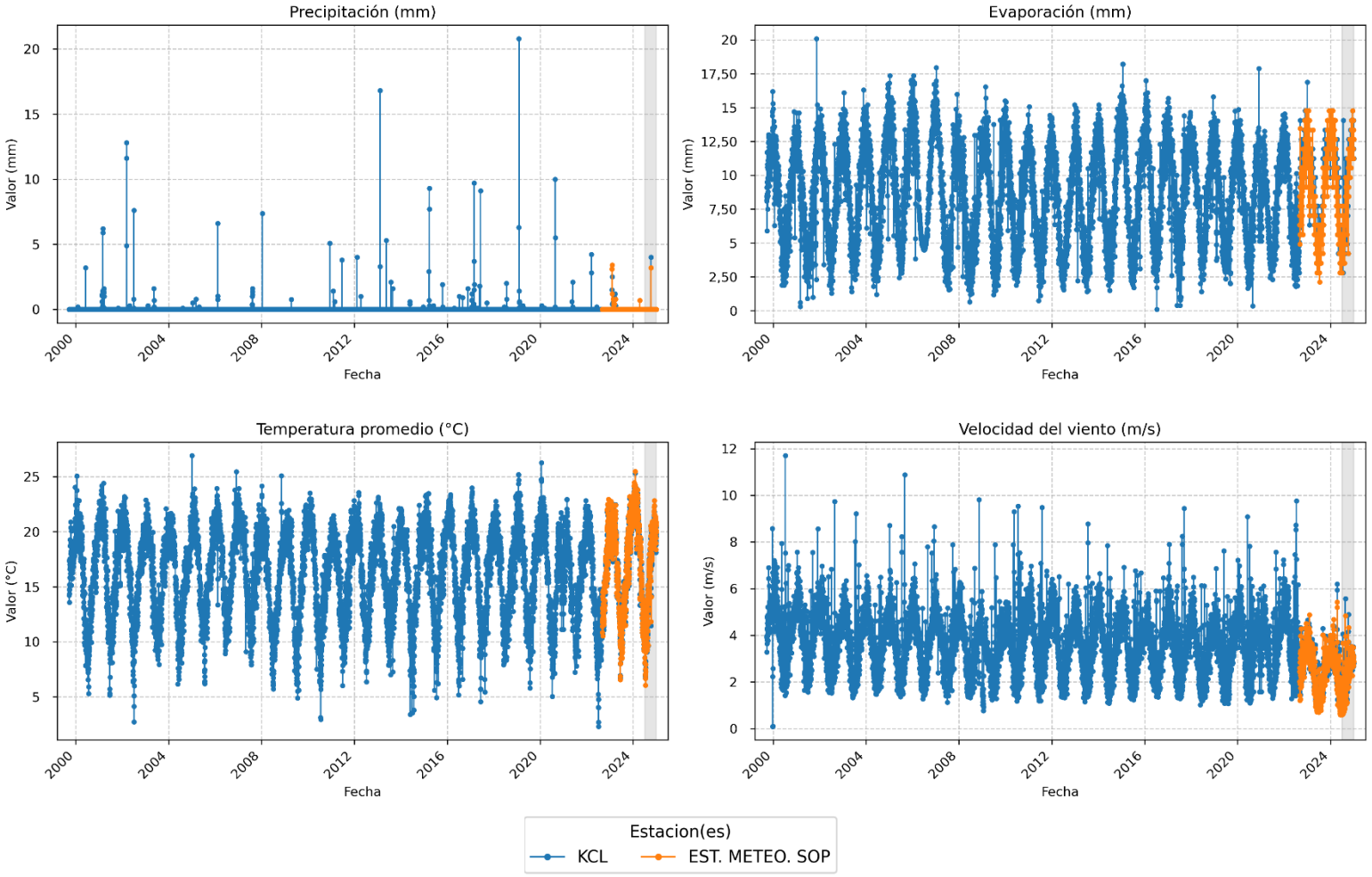
Históricamente, la evaporación y la temperatura promedio, presentan una oscilación estacional, con incrementos durante el verano. La precipitación histórica, en cambio, muestra un cambio de tendencia a lo largo del tiempo, diferenciándose en dos periodos según los eventos registrados. En el primer periodo, 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, mientras que la dirección del viento, con una oscilación estacional, con incrementos durante el verano, presentó en el primer semestre de 2024 un valor promedio de 206,59, manteniéndose en el rango de valores históricos. 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.

La humedad relativa a nivel histórico presenta una oscilación anual marcada, con un promedio histórico de 17,99% hasta junio de 2024, mayor que el promedio durante el segundo semestre de 2024, que fue de 13,65%. La presión atmosférica promedio durante el segundo semestre de 2024 fue de 774,80 mbar, que corresponde a 0,6 mbar más que el promedio histórico de 774,27 mbar hasta junio de 2024. La radiación global en el segundo semestre de 2024 registró un valor promedio de 316,43 W/m^2, mayor en comparación al promedio histórico bajo los 50 W/m^2.

Figura 6-99: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación KCL y SOP



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-100: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación KCL y SOP



Fuente: Elaboración propia

6.1.6.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad de agua realizado el segundo 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 6101), respectivamente[16, 17]. Para los parámetros calcio disuelto, magnesio disuelto, alcalinidad total, alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, calcio, cloruro, magnesio, N-nitrato, potasio, potasio disuelto, sodio, sodio disuelto y sulfato no existe registro previo al segundo semestre de 2024.

Para los puntos del Sistema Núcleo, durante todo el periodo de monitoreo se ha registrado una alta conductividad eléctrica en torno a 230.000 µS/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 hasta 2022 se observó para el pozo 1001 un aumento paulatino del pH de terreno llegando a valores máximos de 7,66.

Ambos pozos muestran en promedio una densidad de laboratorio en torno a 1,20 g/mL. Sin embargo, la densidad de terreno desde el año 2016 hasta el 2024 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

[16] En el informe Nº5 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.

[17] En el informe Nº 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).

densidad, pH y contenido de sólidos disueltos totales. Lo que indica que probablemente las variaciones 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 Nº26/2019. En el pozo SOPM-12C la mayoría de las mediciones realizadas el segundo semestre de 2024 se encontró dentro del rango registrado históricamente. La única excepción corresponde a:

- En el tercer trimestre un valor de pH de terreno por debajo de la tendencia histórica.

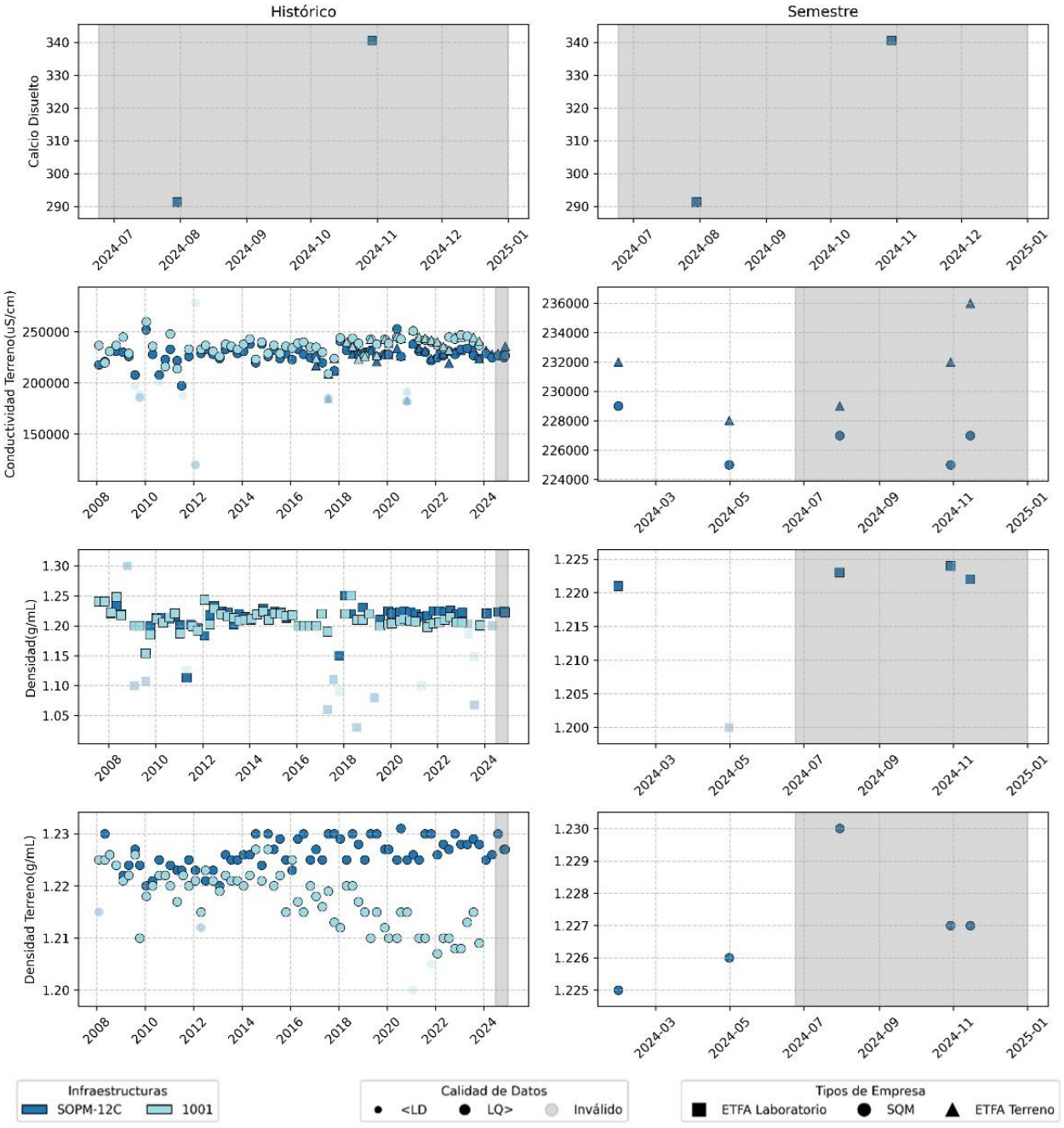
Respecto a tendencias identificadas:

- 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 el punto SOMP-12C se observó el aumento en sólidos disueltos totales hasta octubre 2024, pero luego disminuyó a 167.170 mg/L, el menor valor registrado en los últimos años. 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 Nº26/2019. En el caso del pozo 1001, la falta de datos en el segundo semestre de 2024 impide hacer seguimiento a las tendencias de aumento de pH y descenso de la densidad que se produjo desde 2016 hasta el último registro.

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

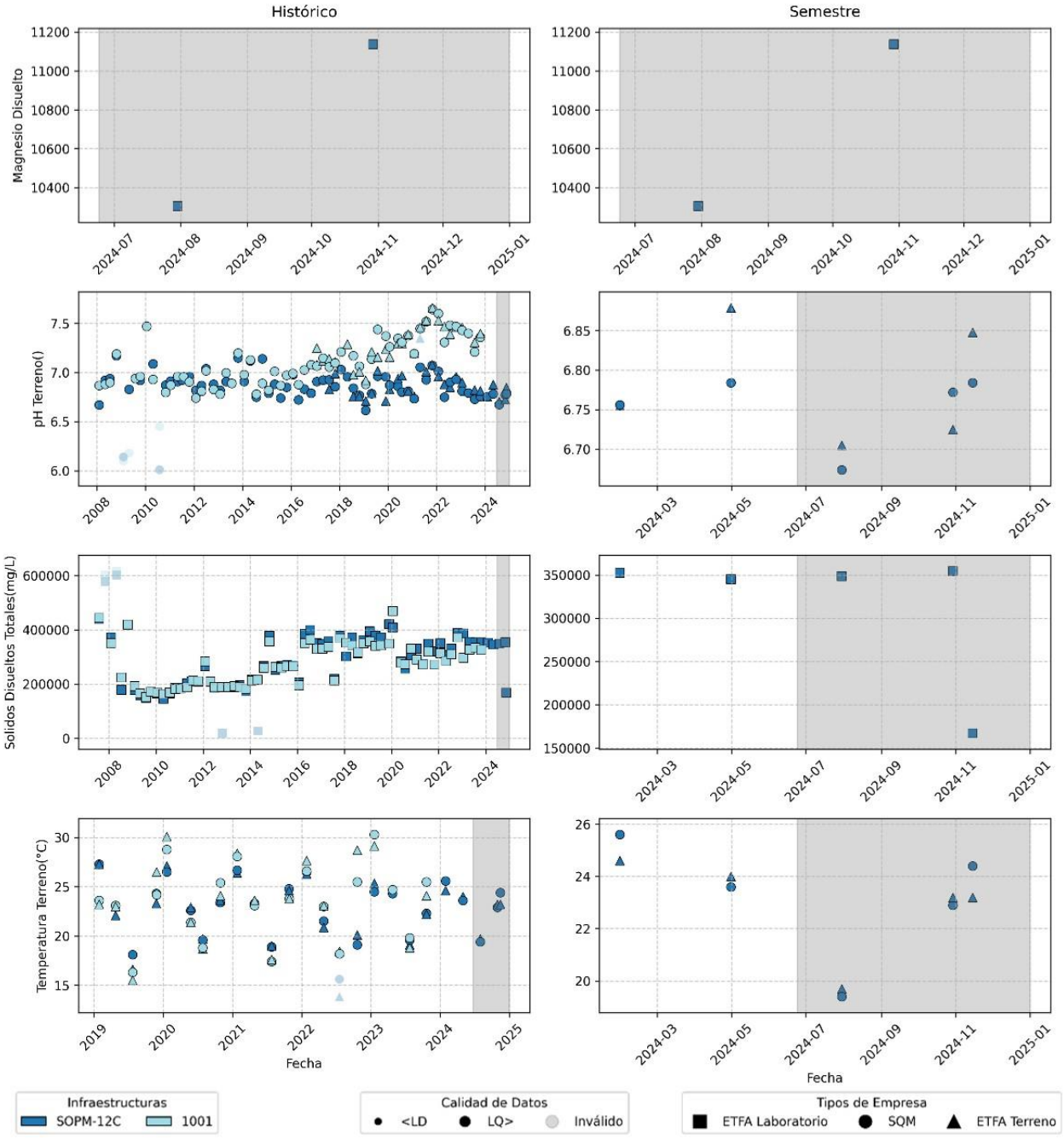
1. Los valores de los Límites Detección o Límites de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ.
2. Para cada sector se agrupan en un mismo gráfico puntos de monitoreos, con la finalidad de facilitar la visualización de las tendencias de los parámetros.
3. Los valores validados se muestran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

Figura 6-101: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001



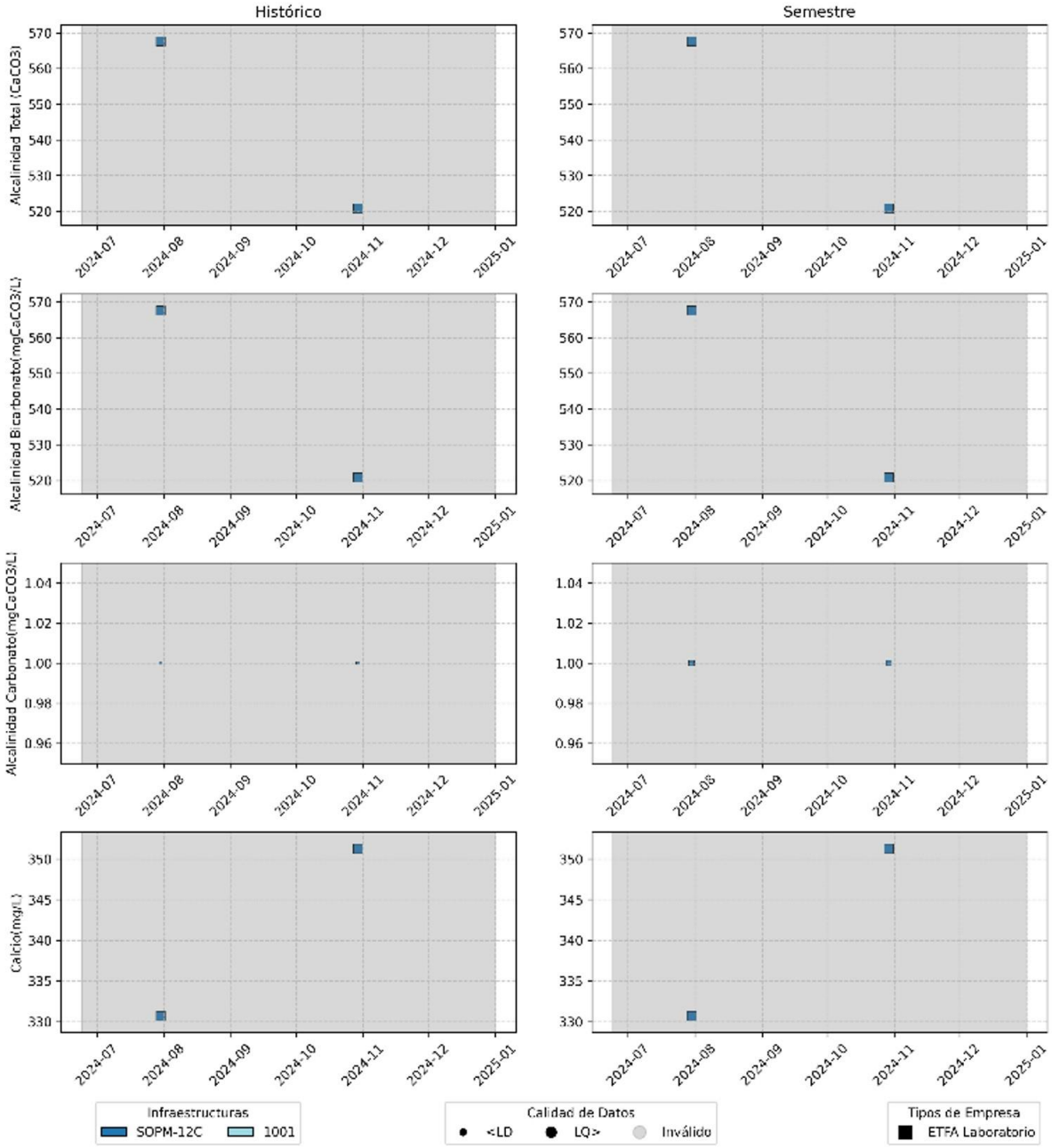
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6101: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001 (continuación)



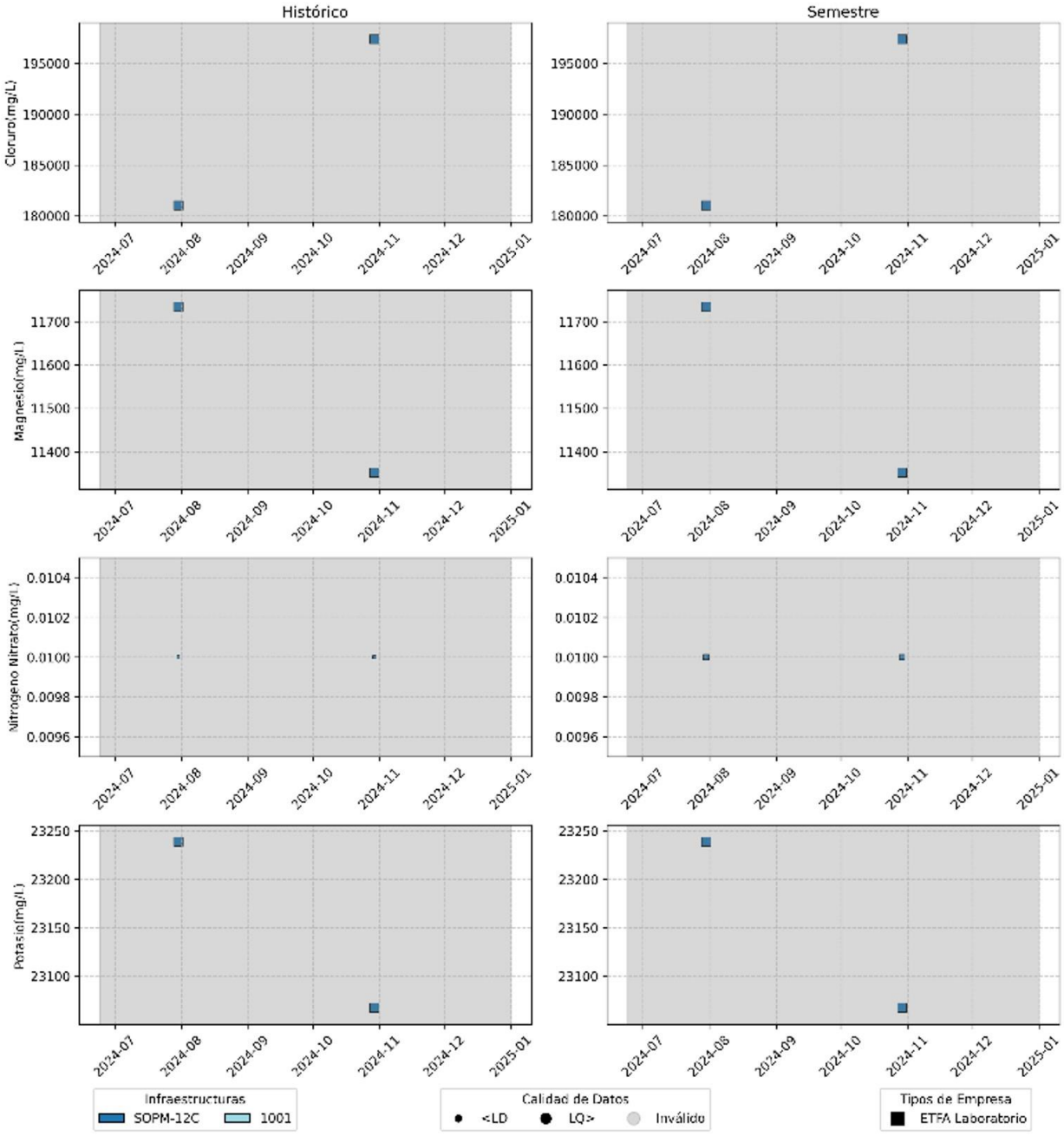
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte.

Figura 6101: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001 (continuación)



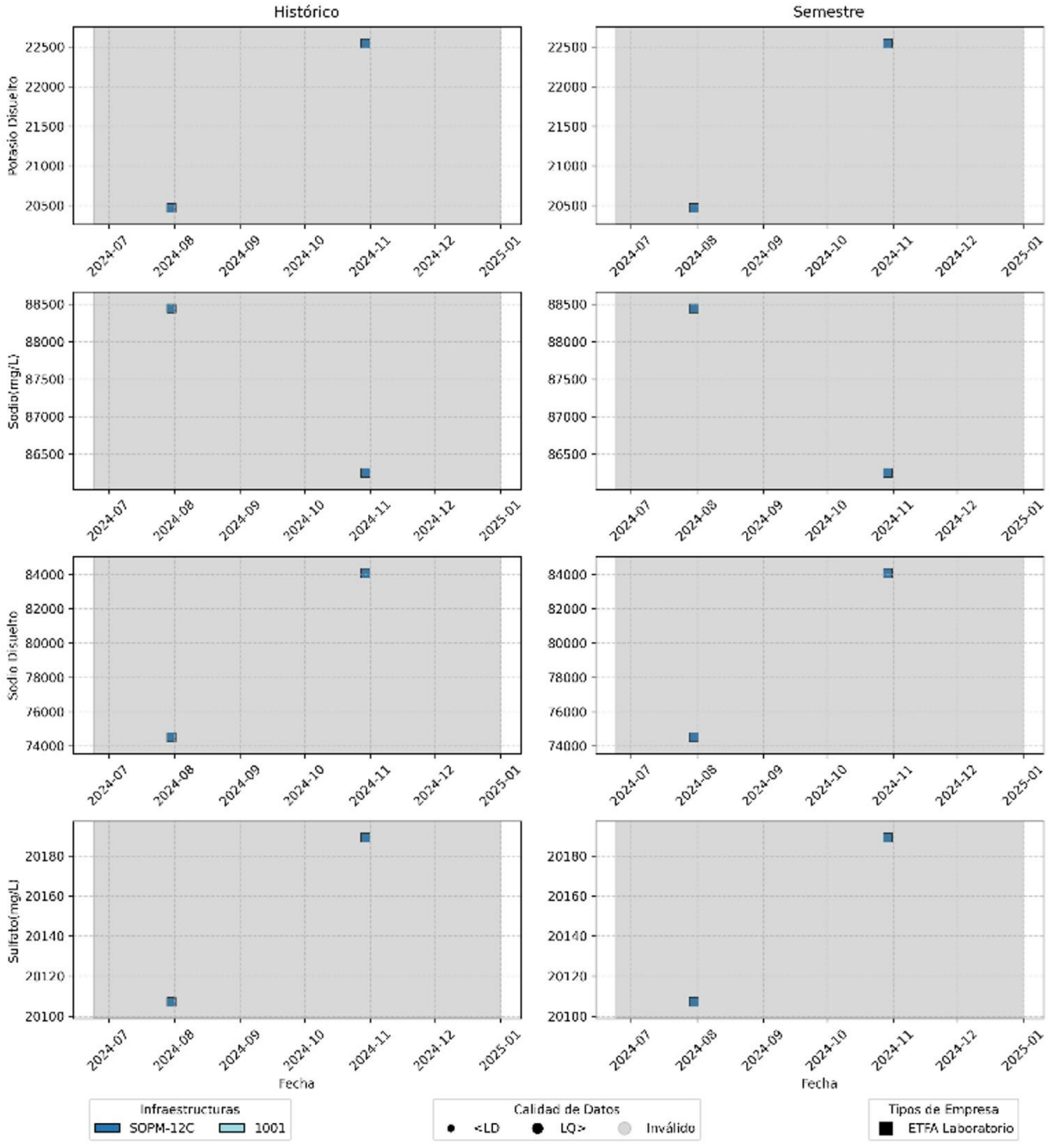
Fuente: Elaboración propia. Los valores validados se muestran con resalte

Figura 6101: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001 (continuación)



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

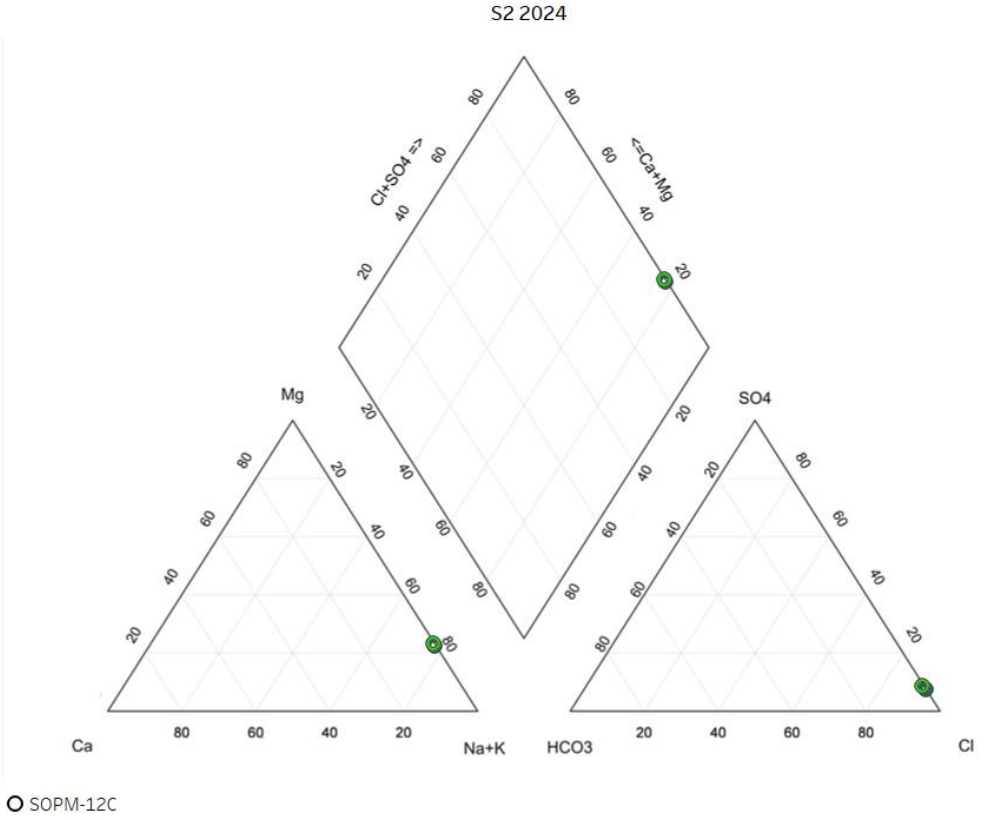
Figura 6101: Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos SOPM-12C y 1001 (continuación)



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

Para el segundo semestre 2024 se cuenta con el primer registro de los parámetros alcalinidad total, alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, calcio, cloruro, magnesio, nitrógeno de nitrato, potasio, sodio y sulfato. Por ende, se puede obtener el diagrama de Piper de la Figura 6102, que muestra que las aguas son cloruradas sódicas.

Figura 6-102: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Núcleo con un BI>10%



Fuente: Elaboración propia.

6.1.7 SECTOR 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 y monitoreo 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 sitúan 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 (Figura 6103). Por otro lado, en la Figura 6104 se muestran nuevamente los descensos calculados, exceptuando el punto Cuña 4, puesto que en los años 2009 y 2017 reprodujo un fuerte descenso que se aleja 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 estacional 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 al descenso y con respuestas inmediatas a eventos de precipitación, como el ocurrido en febrero de 2019, donde se produjo un segundo máximo histórico. Seguido a este evento, se registra un descenso constante de unos 9 cm/año. Para el segundo semestre de 2024 continúa la tendencia de descenso, registrándose un mínimo histórico para este indicador en los 2299,75 m.s.n.m en el mes de diciembre.

El pozo Cuña 2 ha presentado un patrón oscilatorio en sus niveles desde el inicio de los registros, con una tasa de descenso promedio de 1,6 cm/año entre 2013 y 2024. Tras las respuestas a las precipitaciones de

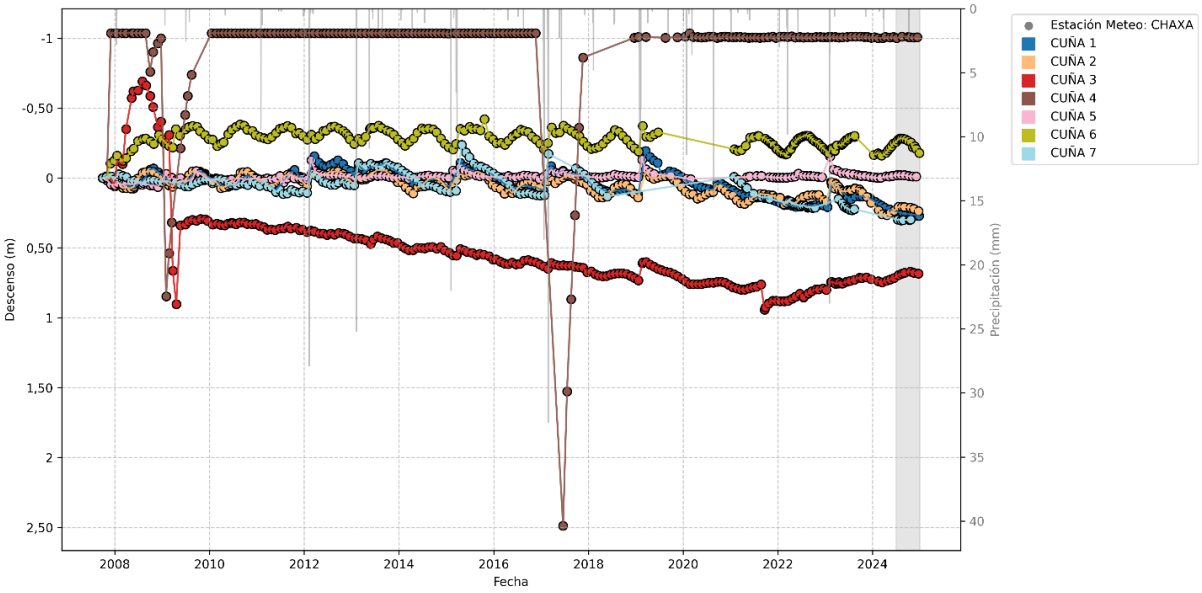
2019 y 2023, los niveles continuaron disminuyendo, alcanzando un mínimo histórico en abril de 2024 (mínimo estacional), seguido de un aumento de 5 cm asociado a la oscilación estacional.

El pozo Cuña 3, que se encuentra sobre el acuífero aluvial, no muestra reactividad a los eventos de precipitación. La tasa de descenso en el periodo período entre 2009 y 2021 la tasa de descenso es de 2,4 cm/año en promedio. Después de un mínimo histórico registrado en agosto de 2021, el pozo cambió su tendencia a ascenso, con una tasa aproximada de 8 cm/año hasta la actualidad. Se desconoce el motivo de estos cambios de tendencia, no obstante, dada su ubicación (sobre el acuífero aluvial), se esperaría que en parte se vincule 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 ubicados en el borde oeste del acuífero aluvial, próximos a la Zona Marginal. El pozo Cuña 4 ha mostrado un comportamiento anómalo en sus niveles a lo largo de su registro histórico. Sin embargo, a partir de la primera medición realizada en diciembre de 2018, se obtiene un registro más representativo del medio. Su evolución y comportamiento se visualizan con mayor claridad en la Figura 6100. Desde 2018 hasta 2024, este pozo ha mantenido niveles sin una tendencia definida de ascenso o descenso, incluyendo el segundo semestre de 2024, y no ha mostrado respuesta ante eventos de precipitación. Por su parte, el pozo Cuña 5 presentó una leve tendencia ascendente entre 2009 y 2014, tras lo cual se estabilizó en un rango de 2.301,15 a 2.301,17 m.s.n.m. A diferencia de Cuña 4, este pozo ha registrado ligeras respuestas a episodios de precipitación, como lo evidencia el máximo histórico alcanzado en febrero de 2023.

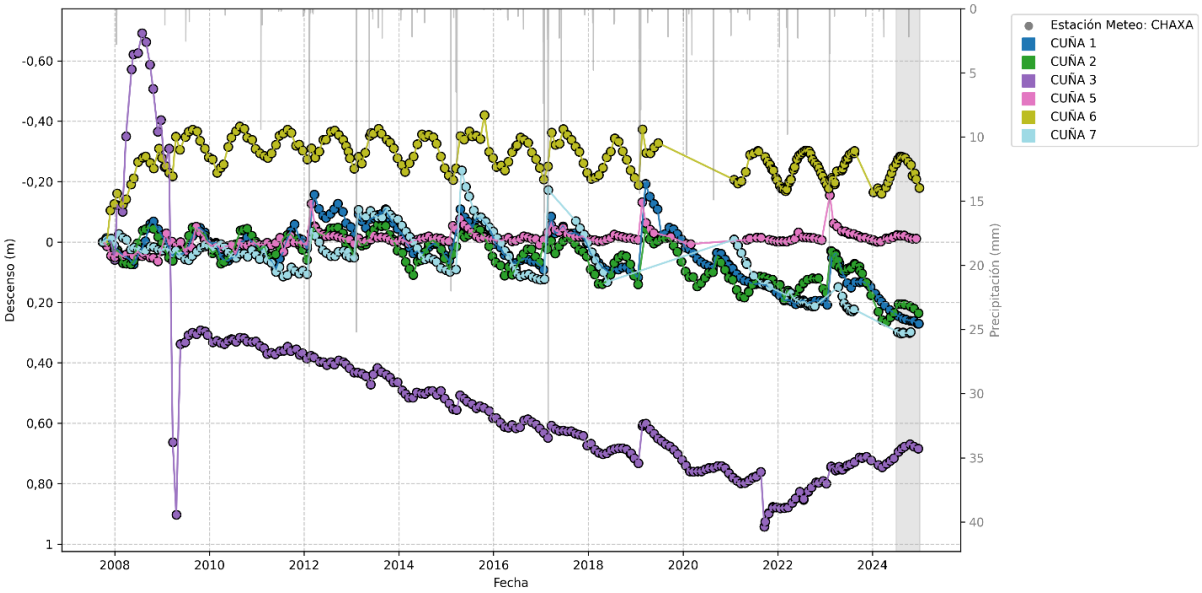
En el Sistema Peine los pozos presentes son el Cuña 6 y Cuña 7. El primero, se encuentra al borde este del acuífero aluvial, muy próximo a la Zona Marginal. En este pozo los niveles muestran oscilaciones estacionales de 12 a 15 cm de amplitud, con una tendencia de descenso de 0,7 cm/año entre 2011 y 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.

Figura 6-103: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-104: Descensos calculados en los pozos que miden la Cuña Salina (Parte 2)



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2 Perfiles de conductividad

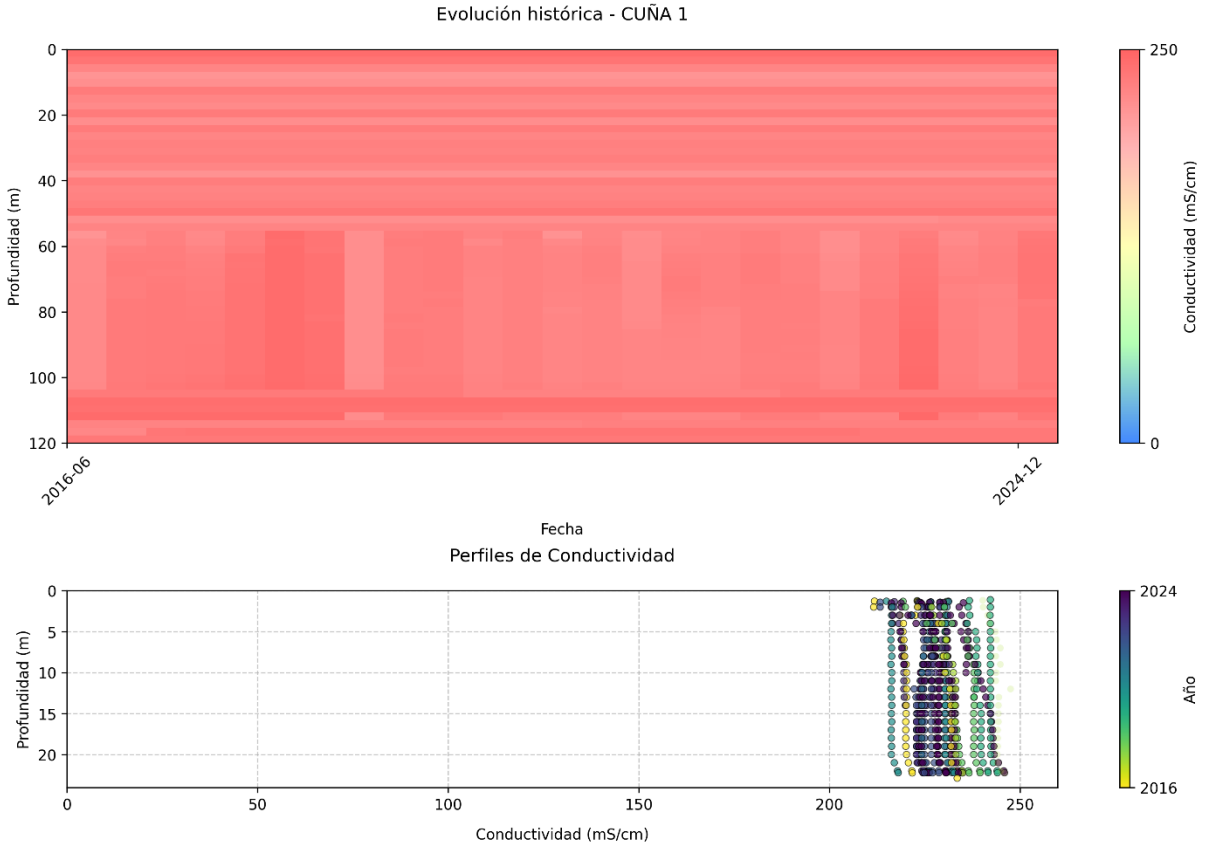
Los perfiles de conductividad eléctrica (CE) permiten identificar la posición de la interfaz salina originada por la mezcla entre los acuíferos del núcleo y el aluvial. Estos perfiles se monitorean en los pozos de la Cuña Salina y, adicionalmente, se cuenta con mediciones de perfiles de CE en el pozo L10-1 (ubicado en la Zona Aluvial del Sistema Peine). Para efectuar el análisis los pozos se agrupan según su ubicación en cada sistema de la siguiente manera:

- Pozos Soncor: Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3.
- Pozos Aguas de Quelana: Cuña 4, Cuña 5 y L4-3.
- Pozos Peine: Cuña 6, Cuña 7 y L10-1.

La Figura 6105 muestra la evolución histórica de los pozos del borde norte. En ella se observa que los puntos Cuña 1 (ranurado entre 2-22 m) y Cuña 2 (ranurado entre 4-22 m), localizados al oeste de la zona de afloramiento de la interfaz salina, presentan valores de conductividad superiores a 200 mS/cm. Lo anterior, sugiere que los flujos subterráneos en el área provienen del núcleo del salar y no tienen interacción con el acuífero de agua dulce-salobre del margen este. Durante el período de registro, la CE en ambos pozos se mantuvo superior a 200 mS/cm, a excepción de diciembre de 2013. Sin embargo, se interpreta que la interfaz salina no se posiciona en la profundidad de habilitación de estos pozos, predominando el afloramiento de la interfaz al este de la Cuña 2.

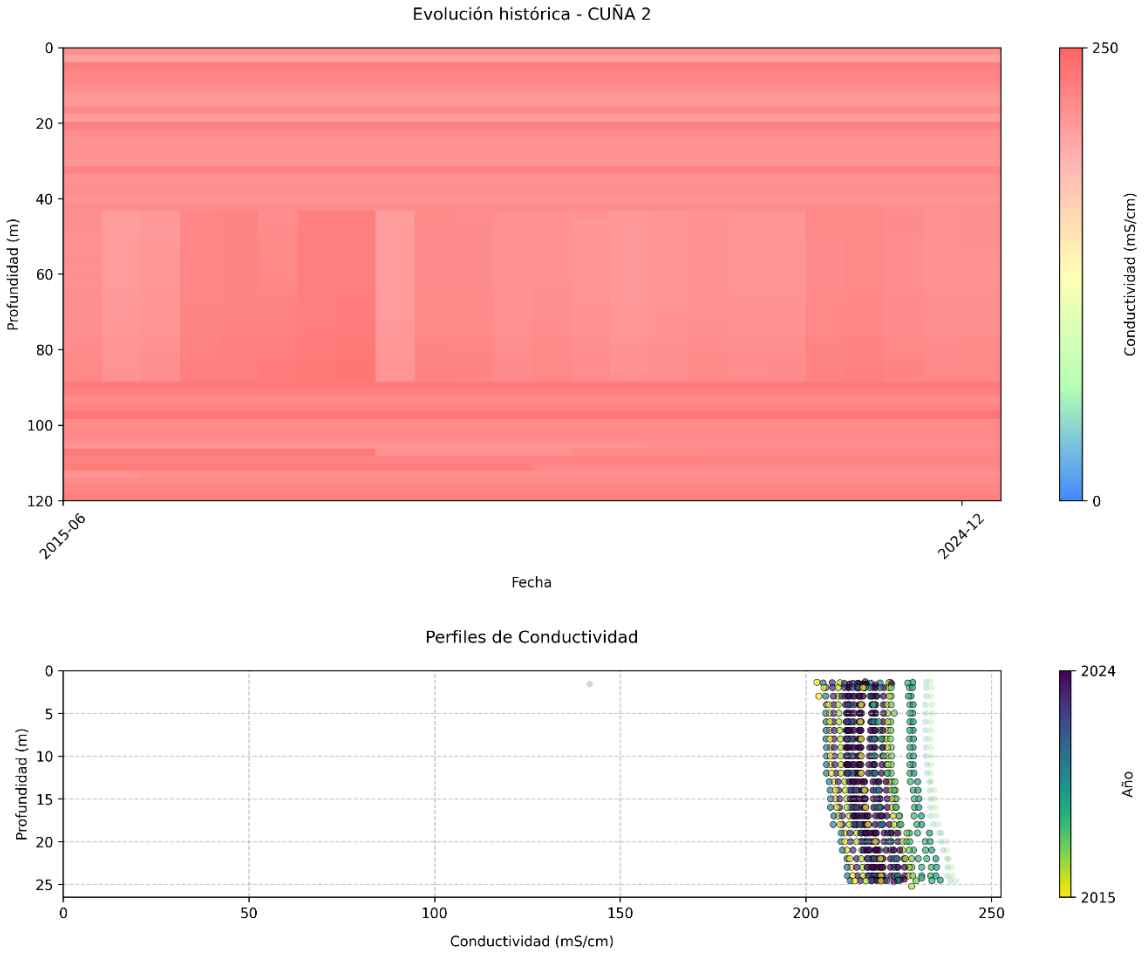
En el punto Cuña 3, se observan aguas de baja CE, lo que sugiere que el inicio de la interfaz salina se encuentra entre los puntos Cuña 2 y Cuña 3. En cuanto a su evolución temporal, no se reconocen variaciones significativas durante el período de monitoreo, salvo en el primer semestre de 2009, dado que se produjo una disminución del estrato de menor CE debido al bombeo para toma de muestra. Así también, se registró un ascenso a valores cercanos a 125 mS/cm entre 2014 y 2020, seguido de un descenso en las últimas mediciones a cotas similares a las precedentes al año 2014. Se destaca que, a lo largo de gran parte del período de monitoreo, este pozo ha mostrado surgencia, lo que dificulta la interpretación de los resultados. En general, la profundidad donde se han medido valores de CE cercanos a 150-200 mS/cm se ha encontrado en torno a los 130 m, con oscilaciones al alza y a la baja, sin tendencia sostenida.

Figura 6-105: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



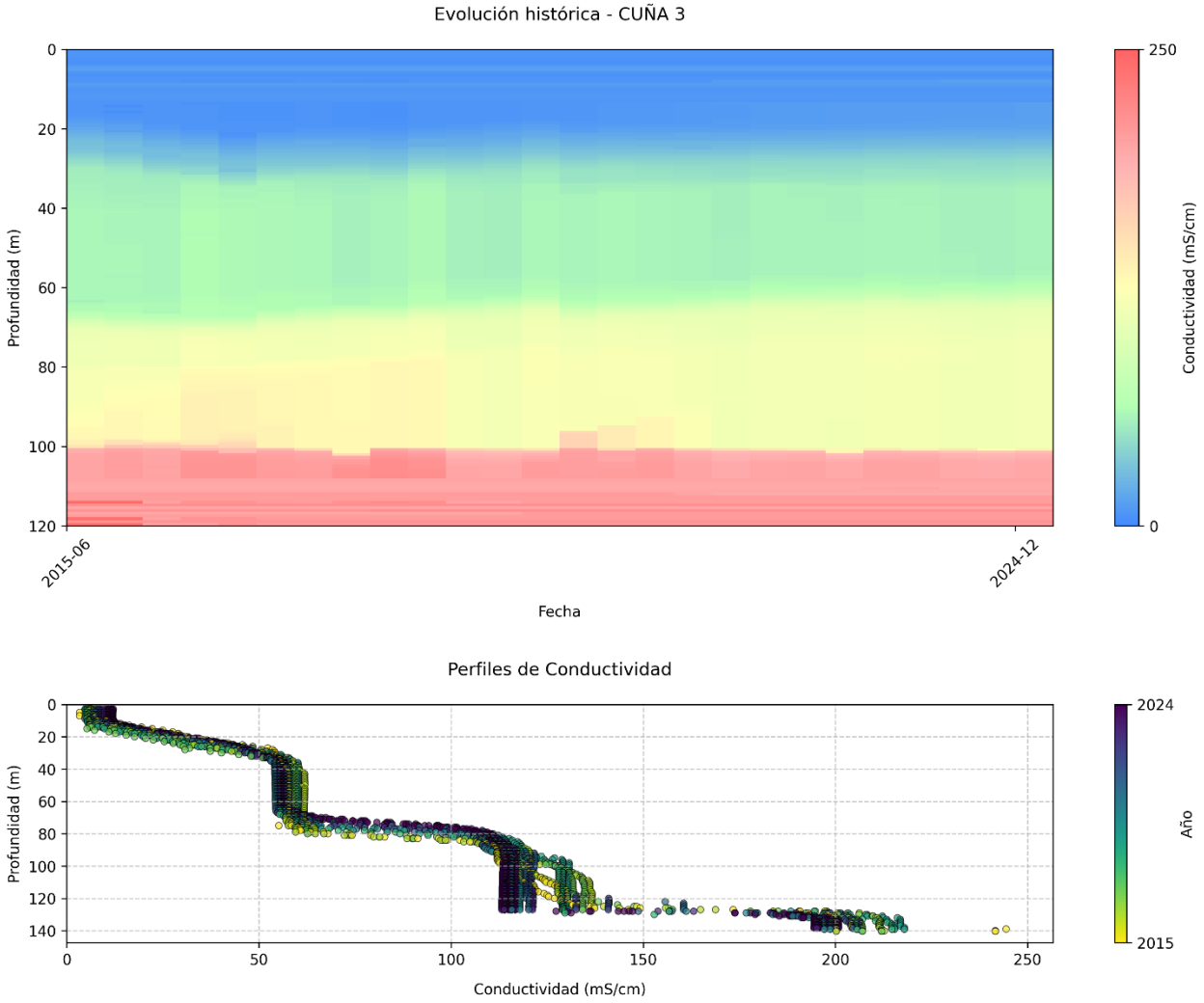
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-106: 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 6-107: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) (continuación)



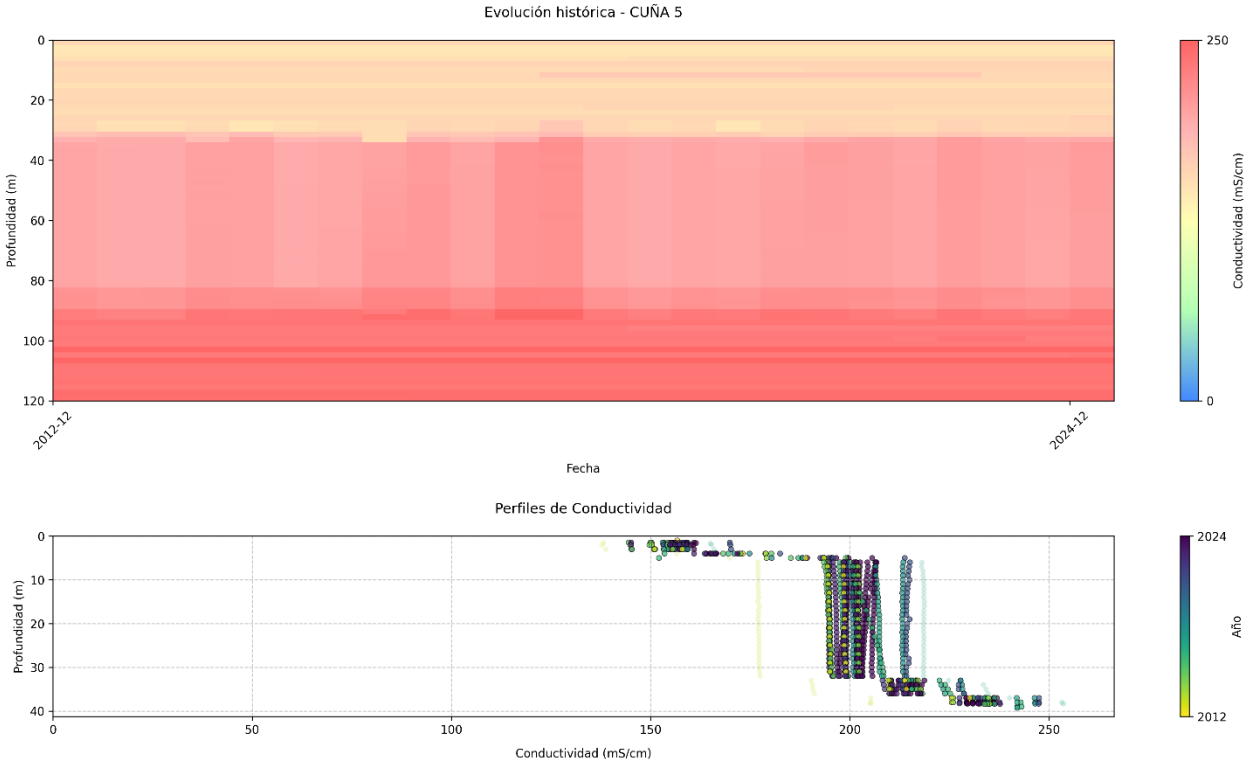
Fuente: Elaboración propia

La Figura 6108 ilustra la evolución histórica de los pozos en el sector de Aguas de Quelana. En ella se observa que en el pozo Cuña 5, las aguas más cercanas a la superficie presentan una menor conductividad eléctrica en comparación con las más profundas. De todos modos, esta última también presenta valores de CE altos, lo que señala que la interfaz comienza a aflorar más hacia el este, puesto que sus valores son más representativos de salmuera.

En el pozo Cuña 4 (Figura 6109), ubicado al este, se observan menores valores de CE que en el pozo Cuña 5 en el fluido más cercano a la superficie. Este punto presenta un comportamiento surgente y su tramo ranurado comienza a los 64 m. Se distingue que la zona de transición a mayores valores de CE ha permanecido estable en torno a los 55 m, sin mostrar variaciones significativas ni tendencia.

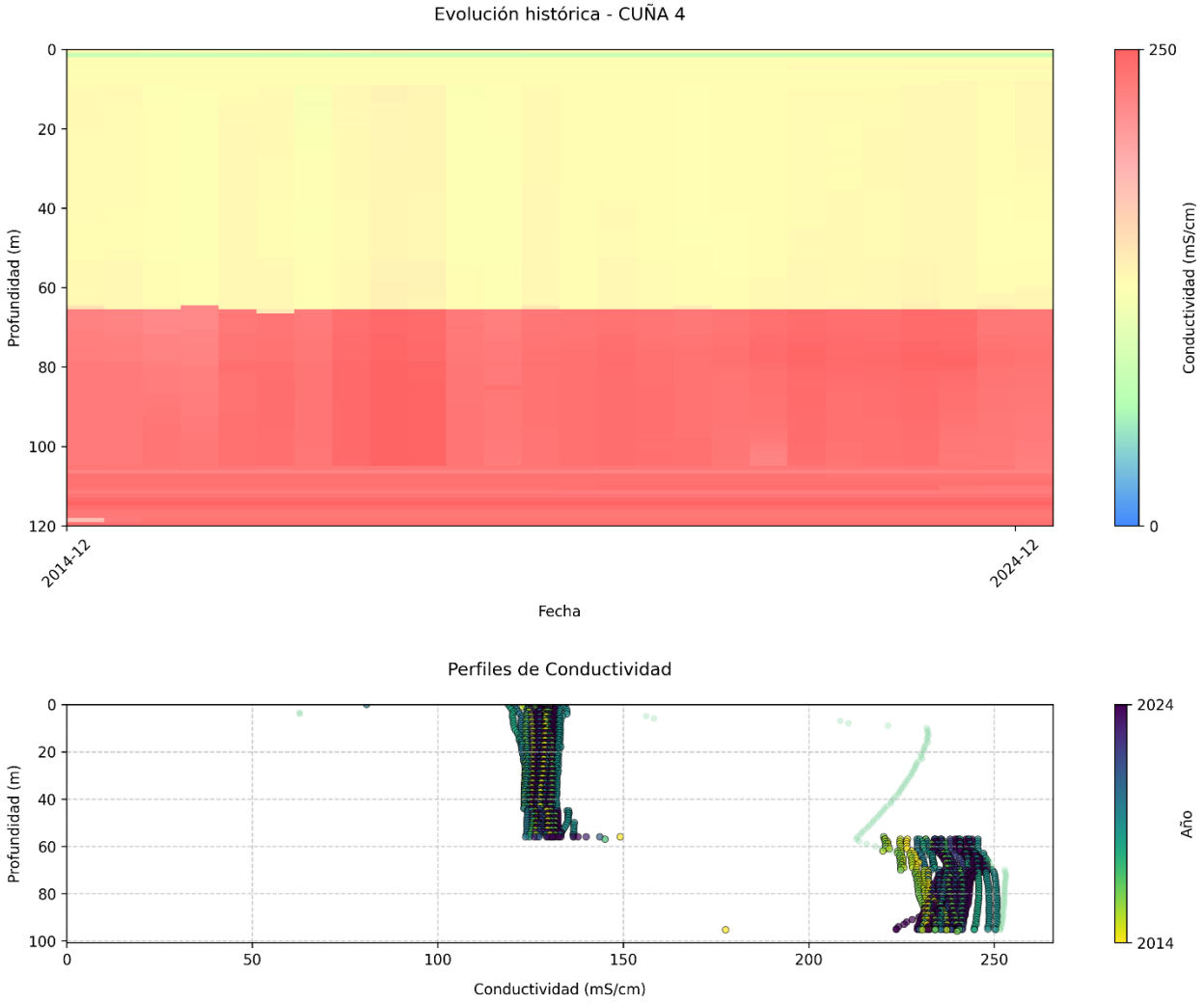
En el punto situado más al este de Aguas de Quelana, correspondiente al L4-3 (Figura 6110), existe una interfaz definida, ubicada a una profundidad aproximada de 40 m. El equilibrio de la interfaz se mantiene en el tiempo, con ligeras oscilaciones entre campañas, pero sin evidenciar un comportamiento de tendencia claro.

Figura 6-108: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este)



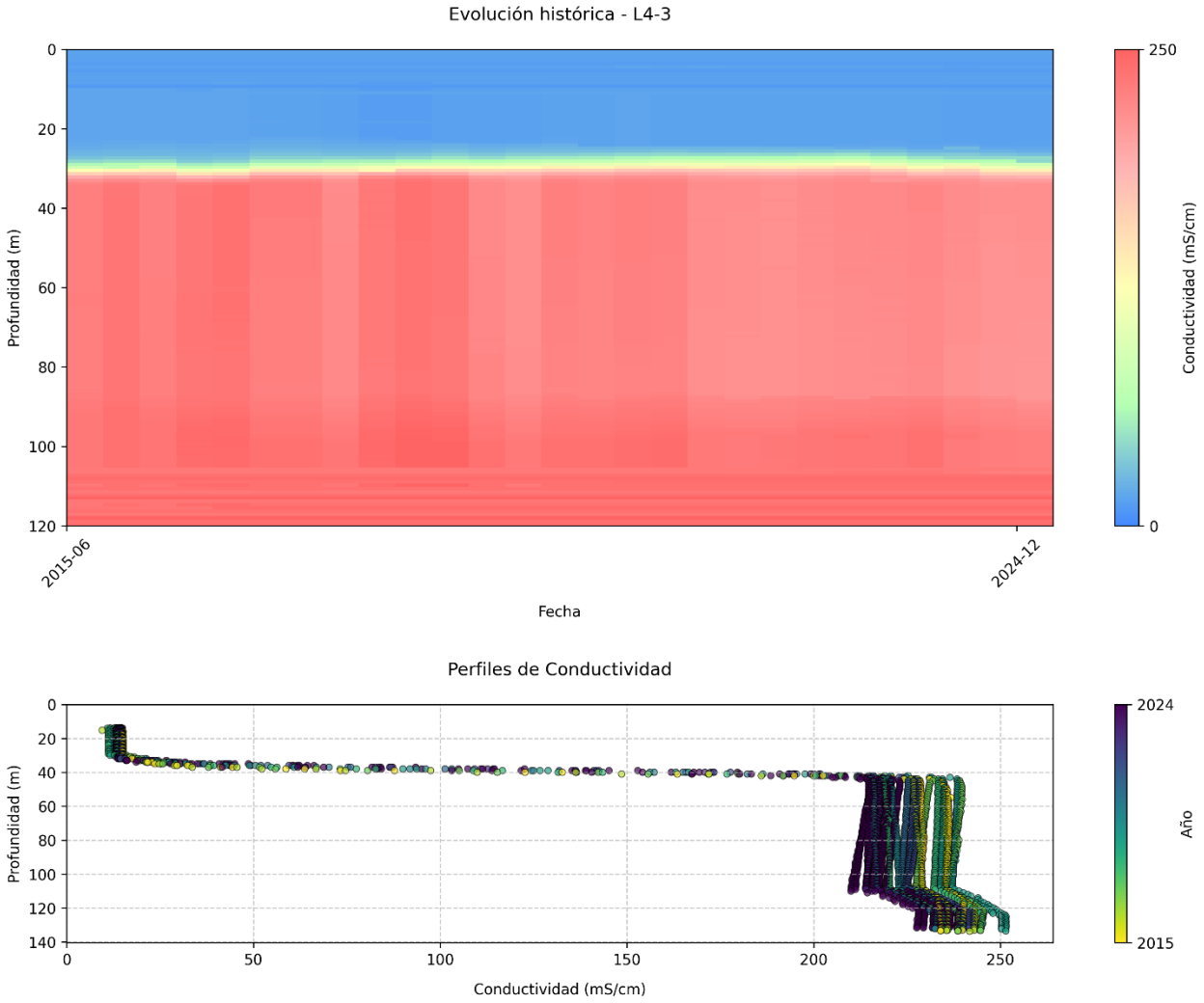
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-109: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este) (continuación)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-110: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (arriba a abajo ordenados oeste - este) (continuación)

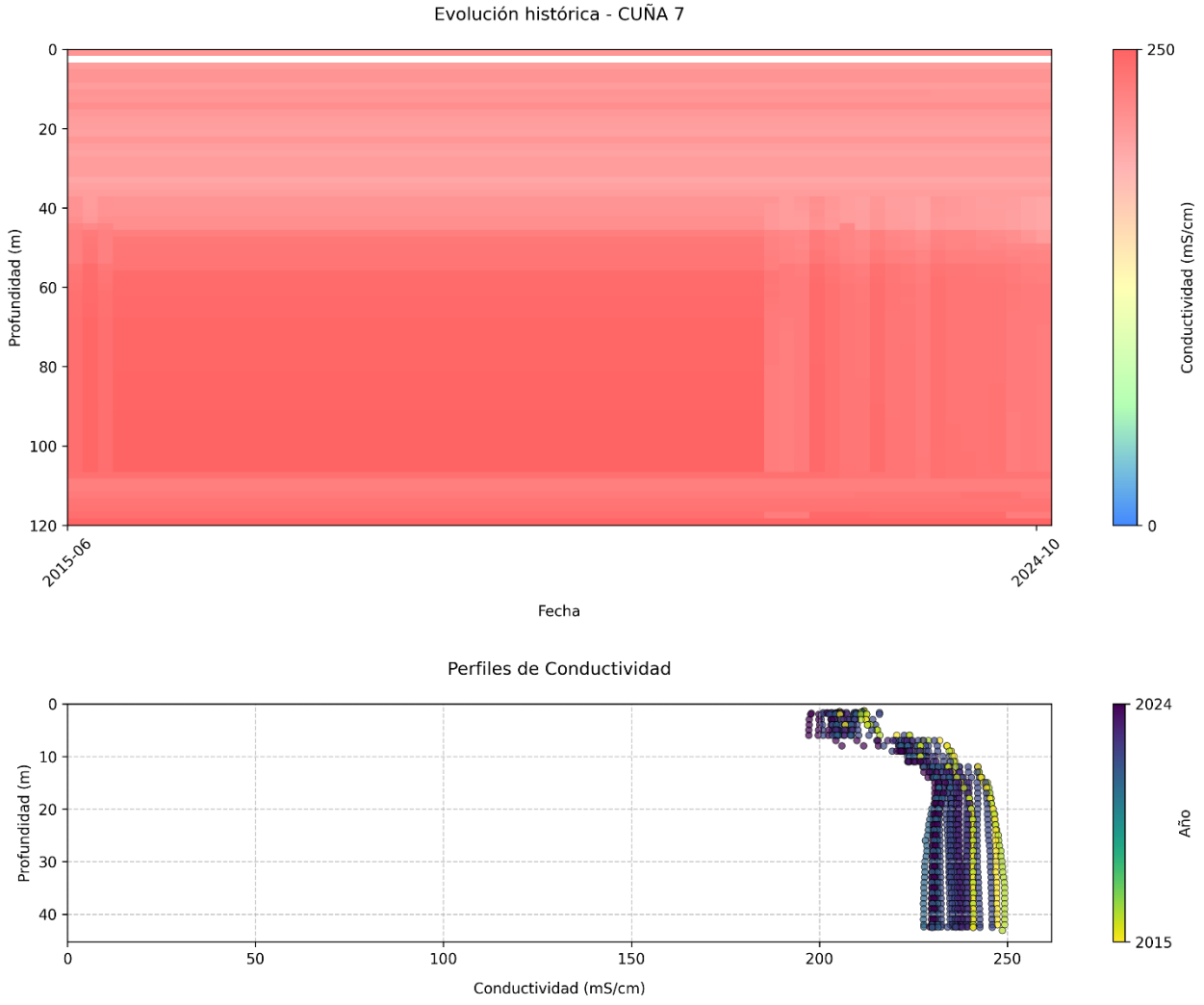


Fuente: Elaboración propia. Se quitan del gráfico algunos valores *outliers* y el perfil de junio 2008 por presentar anomalía en todo su desarrollo en L4-3.

Por último, la Figura 6111, Figura 6112 y Figura 6113 muestra la evolución histórica de los pozos del sector sur. En ella se observa que en el pozo Cuña 7 el punto de quiebre de conductividad se encuentra cercano a la superficie. Más hacia el sureste, el pozo L10-1 (que ha presentado un comportamiento surgente en ocasiones anteriores, con un ranurado que comienza a los 74 m), muestra una interfaz marcada hacia los 50 m que se ha mantenido estable en el tiempo.

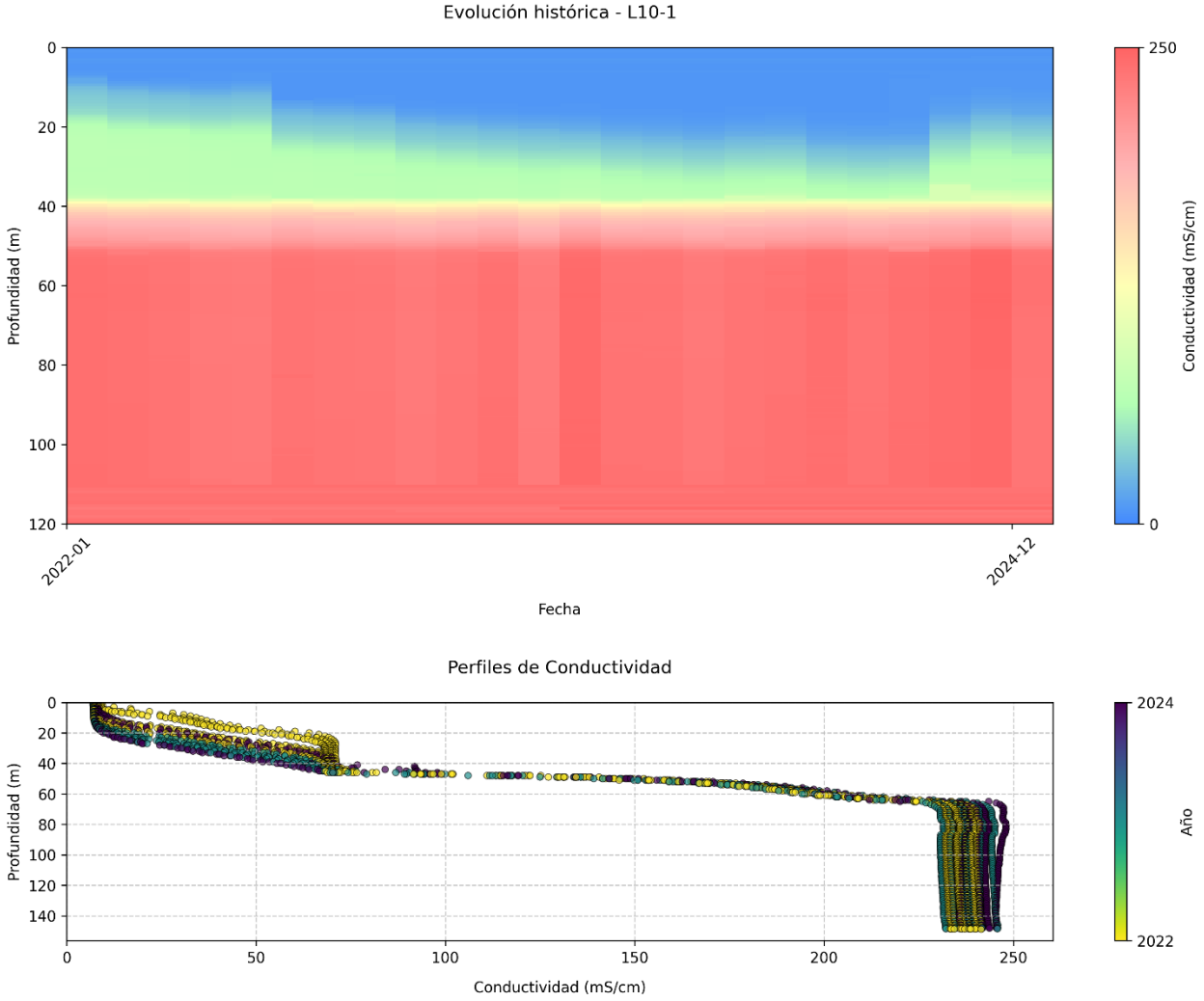
En Cuña 6, se muestra un predominio del acuífero marginal. El mayor quiebre en los valores de CE se registra a una mayor profundidad, aproximada en 70 m. El equilibrio descrito no ha denotado cambios en el tiempo, sin presentar variaciones importantes en los perfiles de CE.

Figura 6-111: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste)



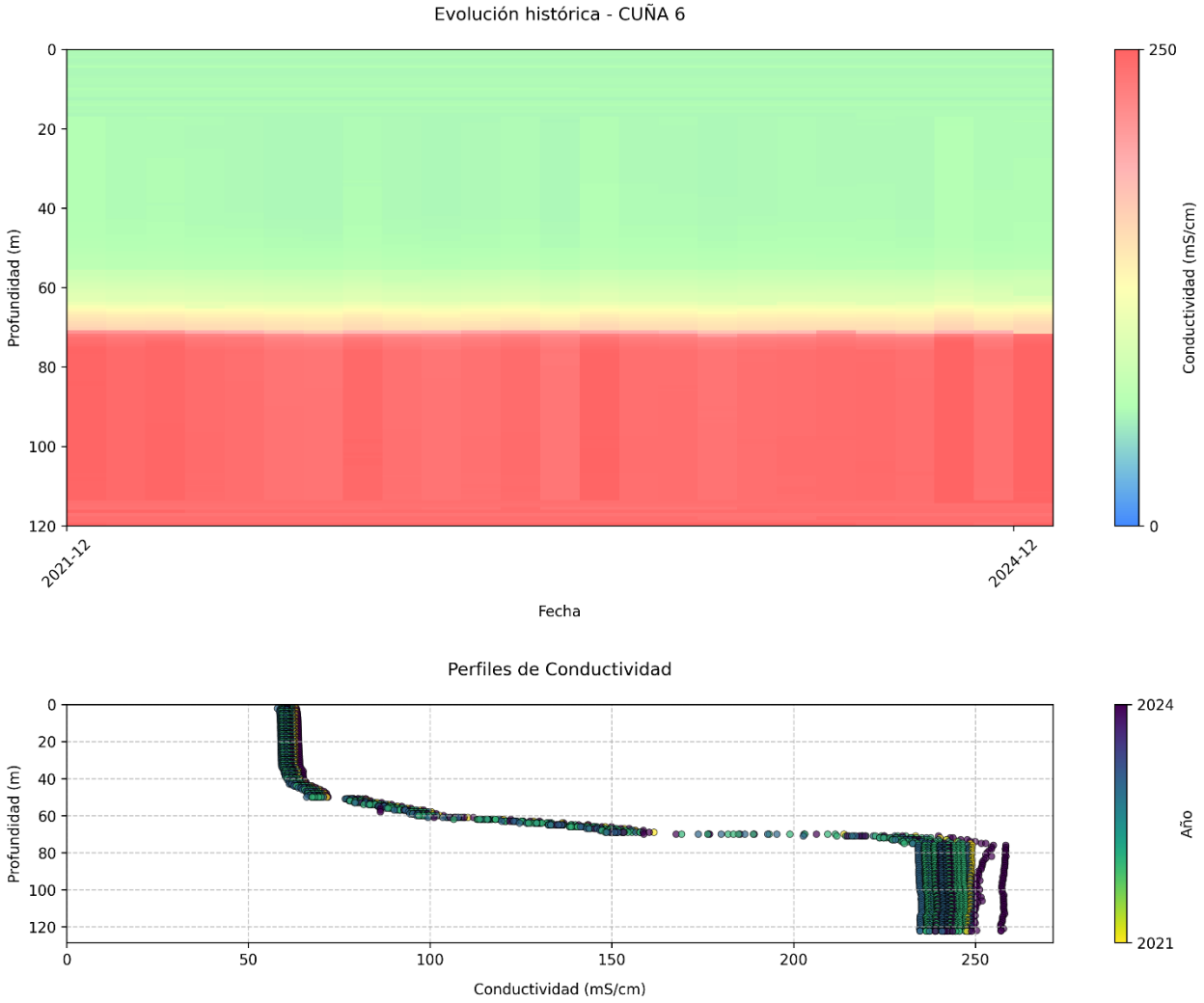
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-112: 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 6-113: 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 mostrado que la profundidad a la que se producen los quiebres de CE se ha mantenido estable a lo largo del tiempo, con ligeras variaciones que no reflejan tendencias al alza o a la baja para los distintos puntos monitoreados. En consecuencia, podría inferirse que la posición de la interfaz salina no ha experimentado cambios importantes en el período analizado.

6.1.8 SECTOR CUENCA SALAR DE ATACAMA

Las observaciones que se realizan en este sistema son de carácter voluntario y tienen por objetivo monitorear variables meteorológicas del sistema Cuenca Salar de Atacama.

6.1.8.1 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3, considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, velocidad y dirección del viento promedio, evaporación promedio, temperatura promedio, radiación global promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, desde aproximadamente del mes octubre del año 2023 a la fecha, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 6114 y Figura 6115.

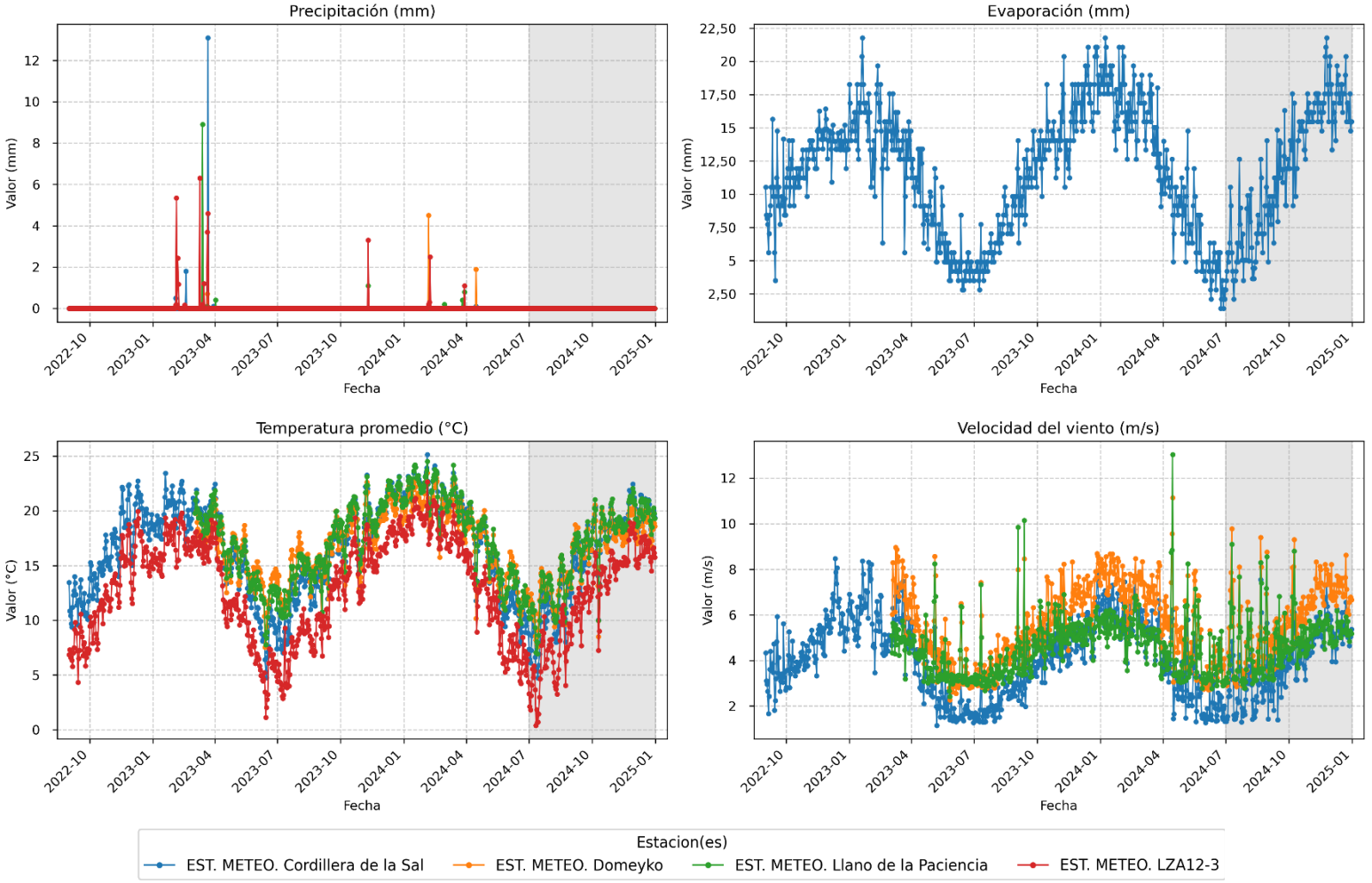
Los datos de precipitación históricas en las estaciones meteorológicas muestran que el período con mayor cantidad de eventos de precipitación fue el primer semestre del año 2023, siendo la máxima precipitación del orden de 13,00 mm en la estación meteorológica Cordillera de la Sal. Este evento corresponde además al máximo registro histórico que se tiene en las estaciones de este sector. Por otra parte, durante el segundo semestre del 2024 no se observó ningún evento de precipitación.

Respecto a la radiación global, temperatura y la evaporación, estas variables presentan una oscilación estacional muy marcada, con valores máximos en los meses de verano (enero, febrero y marzo), y mínimos en los meses de invierno (julio, agosto y septiembre). La radiación global promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 306,64 W/m^2, 317,67 W/m^2 y 308,69 W/m^2 para las estaciones meteorológicas Cordillera de la Sal, Domeyko y Llano de la Paciencia respectivamente. El promedio histórico de radiación global diaria para las estaciones anteriormente mencionadas es del orden de 310,68 W/m^2. La temperatura promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 15,40 °C, 15,90 °C, 16,30 °C y 11,60 °C para las estaciones meteorológicas Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3 respectivamente. El promedio histórico de temperatura diaria para las estaciones anteriormente mencionadas es del orden de 12,50 °C.

La estación meteorológica Cordillera de Sal, es la única que cuenta con registro de evaporación. En el segundo semestre el promedio fue de 11,80 mm, y a nivel histórico se tiene un promedio del orden de 11,00 mm.

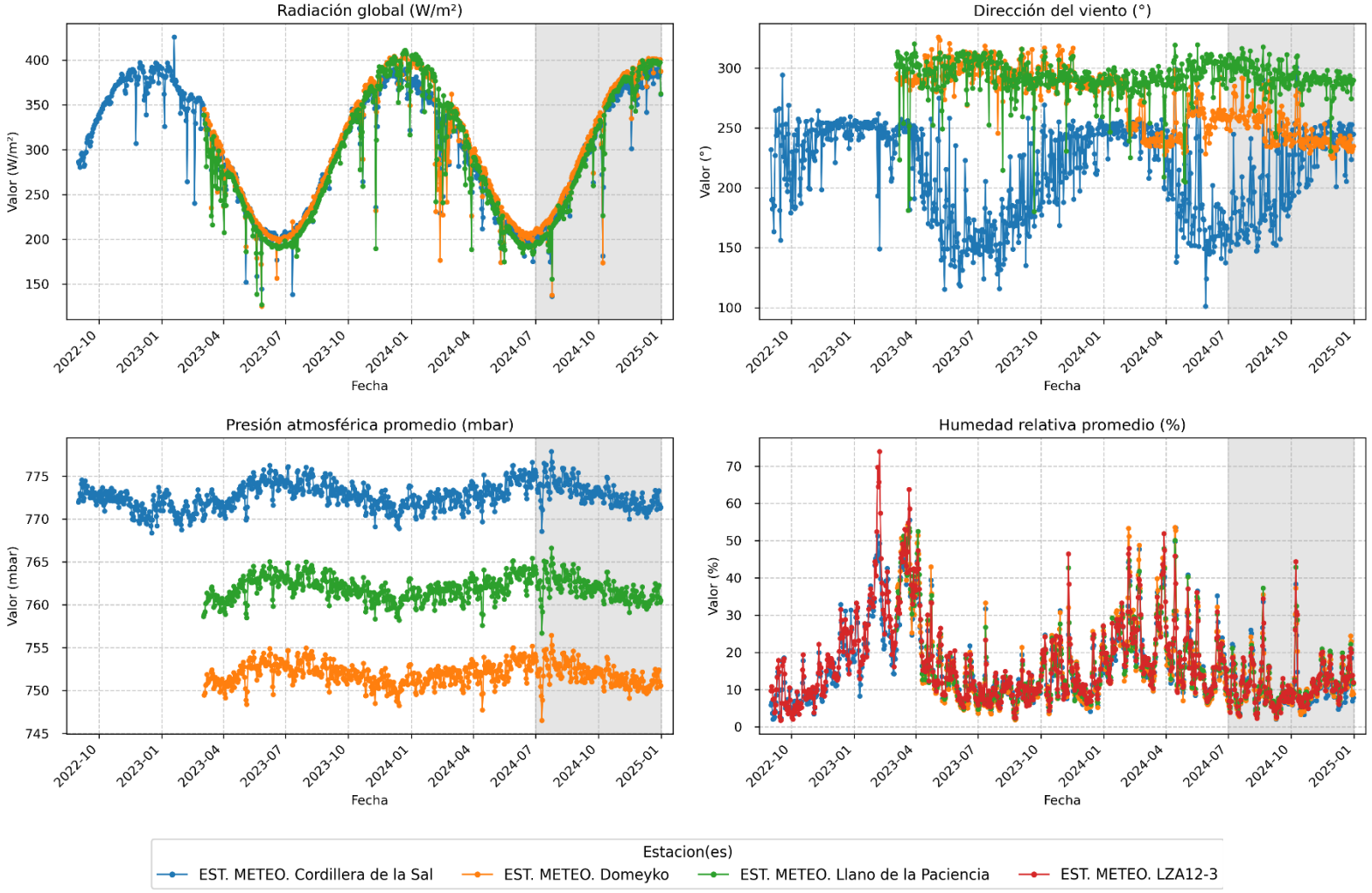
Respecto a la velocidad del viento, el promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 3,90 m/s, 5,80 m/s °C y 4,80 m/s para las estaciones meteorológicas Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia, respectivamente. El promedio histórico de la velocidad del viento para las tres estaciones meteorológicas anteriormente mencionadas es del orden de 4,00 m/s. Por otra parte, para la dirección del viento, el promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 212,68, 248,34 y 292,04 para las estaciones meteorológicas Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia, respectivamente. El promedio histórico de la dirección del viento para las tres estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente es del orden de 259,37. La presión atmosférica presenta valores promedios diarios para el segundo semestre del año 2024 de 772,96 mbar, 751,84 mbar y 761,86 mbar para las estaciones meteorológicas Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia, respectivamente. El promedio histórico de la presión atmosférica promedio para las tres estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente es del orden de 772,66 mbar, 751,90 mbar y 761,88 respectivamente. Por último, la humedad relativa promedio para el segundo semestre del año 2024 registró valores de 10,15%, 10,80%, 11,44% y 11,18% para las estaciones meteorológicas Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3 respectivamente. El promedio histórico de humedad relativa promedio diario para las estaciones anteriormente mencionadas es del orden de 15,44%.

Figura 6-114: Series históricas de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento en la estación Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-115: Series históricas de radiación global, dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia y LZA12-3



Fuente: Elaboración propia.

6.1.9 SECTOR ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE ALTA MONTAÑA

Las observaciones que se realizan en este sector son de carácter voluntario y tienen por objetivo monitorear variables meteorológicas del Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña.

6.1.9.1 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación Cerro Cosor y el Tatio SQM, considera la medición de los parámetros de precipitación acumulada, velocidad y dirección del viento promedio, temperatura promedio, presión atmosférica promedio y humedad relativa promedio, desde aproximadamente del mes febrero del año 2023 la estación Cerro Cosor y mayo la estación El Tatio, hasta a la fecha, y cuyas series históricas se presentan en la Figura 6116 y Figura 6117.

La precipitación máxima diaria histórica es del orden de 30,00 mm en la estación meteorológica El Tatio Cosor en el año 2023. Durante el segundo semestre del 2024 se observaron pocos eventos de precipitación con un valor máximo promedio diario de 8,50 mm en Cerro Cosor y 0,50 mm en El Tatio SQM.

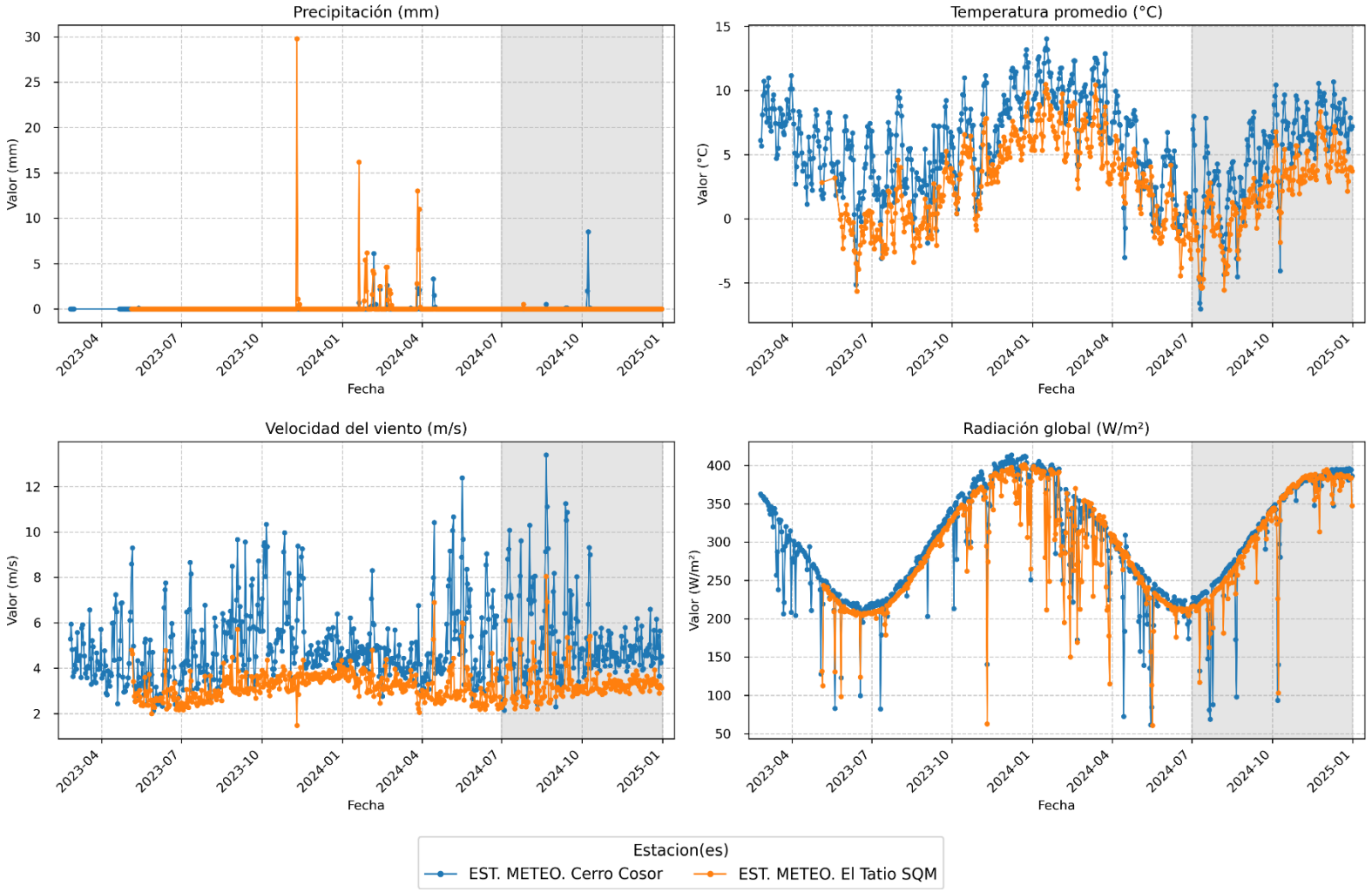
Respecto a la radiación global y temperatura, estas variables presentan una oscilación estacional muy marcada, con valores máximos en los meses de verano (enero, febrero y marzo), y mínimos en los meses de invierno (julio, agosto y septiembre). La radiación global promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 316,51 W/m^2 y 314,96 W/m^2 para las estaciones meteorológicas de Cerro Cosor y el Tatio SQM respectivamente. El promedio histórico de radiación global en las estaciones anteriormente mencionadas es del orden de 298,41 W/m^2 y 291,42 W/m^2 respectivamente. La temperatura promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 4,70 °C y 1,90 °C para la estación meteorológica Cerro Cosor y el Tatio SQM respectivamente. El promedio histórico de temperatura en la estación meteorológica Cerro Cosor es del orden de 4,00°C. Por otro lado, el promedio histórico de la estación meteorológica El Tatio SQM es del orden de 2,50°C.

Respecto a la velocidad del viento, el promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 5,40 m/s y 8,00 m/s para la estación meteorológica Cerro Cosor y el Tatio SQM respectivamente. El promedio histórico de la velocidad del viento en la estación meteorológica Cerro Cosor es del orden de 5,00 m/s, por otro lado, el promedio histórico de la estación meteorológica El Tatio SQM es del orden de 3,00 m/s. Por otra parte, la dirección del viento, el promedio para el segundo semestre del año 2024 fue de 293,38 y

214,99 para las estaciones meteorológicas Cerro Cosor y el Tatio SQM respectivamente. El promedio histórico de la dirección del viento en ambas estaciones es de 222,63 y 160,07 respectivamente.

Respecto a la presión atmosférica, el promedio diario para el segundo semestre del año 2024 fue de 622,48 mbar y 610,04 mbar para las estaciones meteorológicas Cerro Cosor y el Tatio SQM respectivamente, mientras que el promedio histórico diario de la presión atmosférica es de 622,60 mbar y 610,59 mbar respectivamente. Por último, para la humedad relativa, el promedio diario para el segundo semestre del año 2024 registro valores de 18,11% y 21,66% para las estaciones meteorológicas Cerro Cosor y el Tatio SQM respectivamente, mientras que el promedio histórico diario de la humedad relativa fue de 24,83% y 28,54%, valores mayores a los reportados el segundo semestre del año 2024.

Figura 6-116: Series históricas de precipitación, temperatura, velocidad del viento y radiación global en la estación Cerro Cosor y El Tatio SQM



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-117: Series históricas de dirección del viento, presión atmosférica y humedad relativa en la estación Cerro Cosor y El Tatio SQM



Fuente: Elaboración propia.

6.1.10 NIVELES EN POZOS SECOS Y PUNTOS DE MONITOREO COMPLEMENTARIOS

22

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 Nº226/2006 (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, 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 6122) y L1-5 (Figura 6123), según lo descrito en la sección 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.

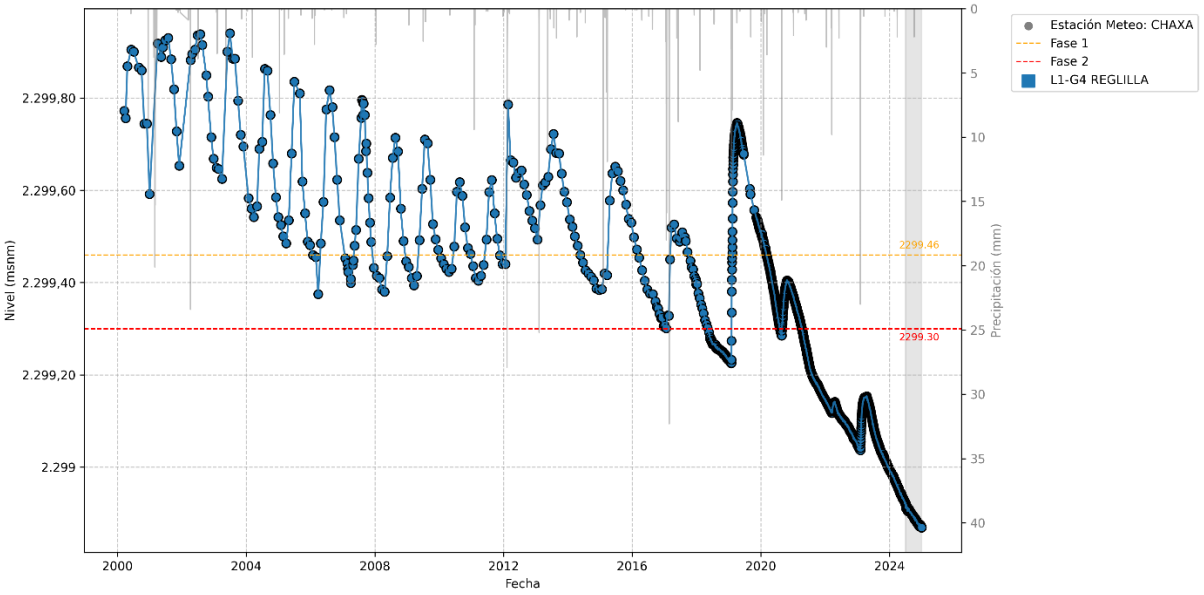
El Desborde Cola de Pez, que infiltraba recargando a estos puntos, fue sustituido por otro desborde hacia el sur de la laguna Barros Negros, lo que se evidencia con claridad en las imágenes satelitales históricas, que ilustran la migración entre ambos sectores. Estos puntos, durante el período de registro 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 Nº23), en agosto de 2020 (Informe PSAH Nº28), y finalmente abril de 2021 (Informe PSAH Nº29). Durante el segundo semestre del 2024 ambos indicadores se

mantuvieron con la Fase II activada, y no es previsible que puedan llegar a desactivase, 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 Nº226/2006, ya que se preveía que estos pozos reproducían la dinámica propia de la recarga del cuerpo lagunar.

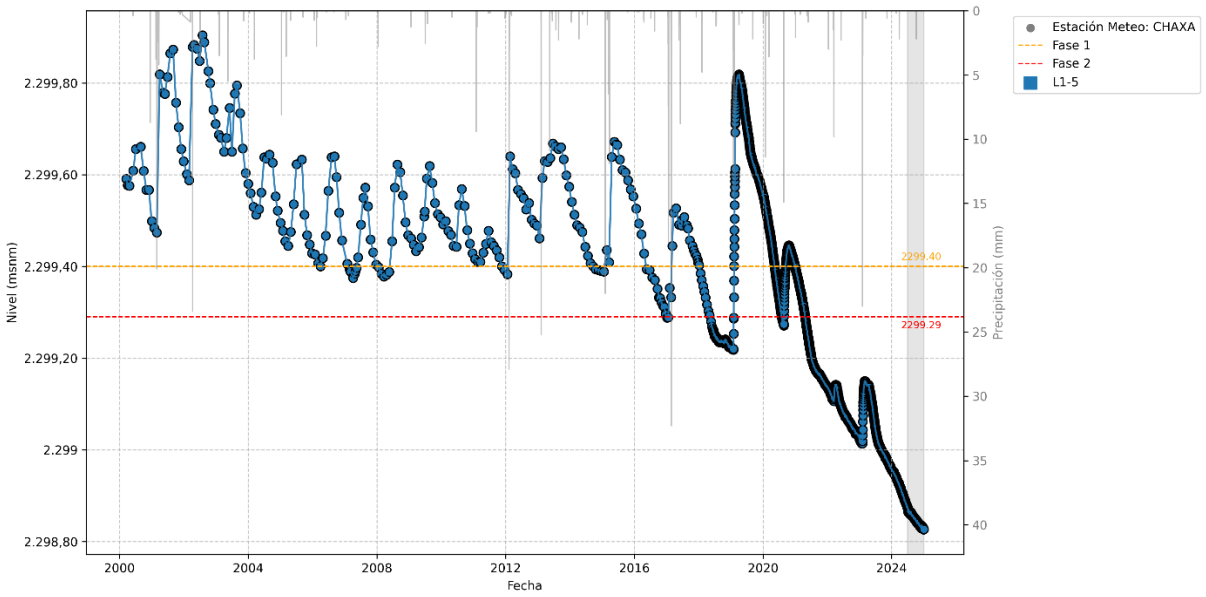
De esta forma, dados los resultados de los análisis y simulaciones implementadas durante la etapa de investigación, efectuada con motivo de la activación de Fase II en mayo de 2018 de estos puntos (IDAEA-CSIC, 2018), se concluyó que la causa principal de activación correspondió al cambio en la dinámica 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 6-118: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-119: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

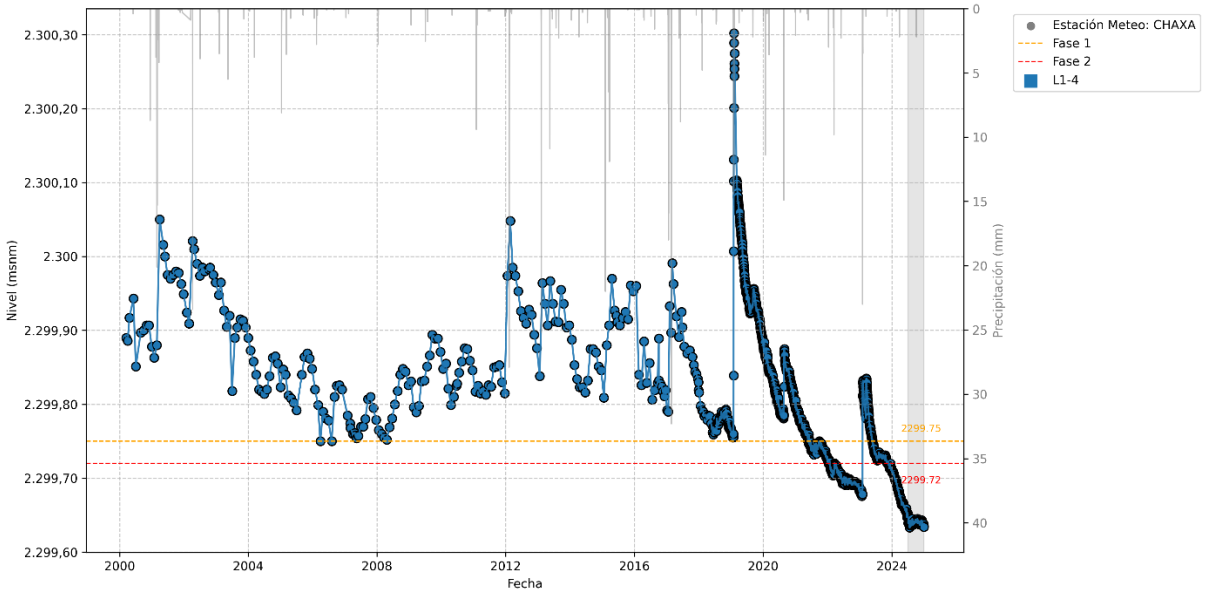
Por su parte, el punto L1-4 (Figura 6124) se ha analizado en la sección 6.1.1 (Análisis y discusión de los resultados del Sistema Soncor) y se ha podido comprobar que los niveles en este punto muestran un comportamiento propio de la Zona Marginal (relacionado con la interfaz salina y los ciclos de evaporación), 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, e indicador mostró un descenso de nivel que activó la Fase II nuevamente. Desde entonces, y durante todo el 2024, se ha mantenido activo en Fase II, debido a la ausencia de precipitaciones.

En cuanto a L7-4 (Figura 6125), indicador de estado de la Laguna Puilar, se ha podido comprobar, tal como se menciona en la sección 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 período actual evidencian

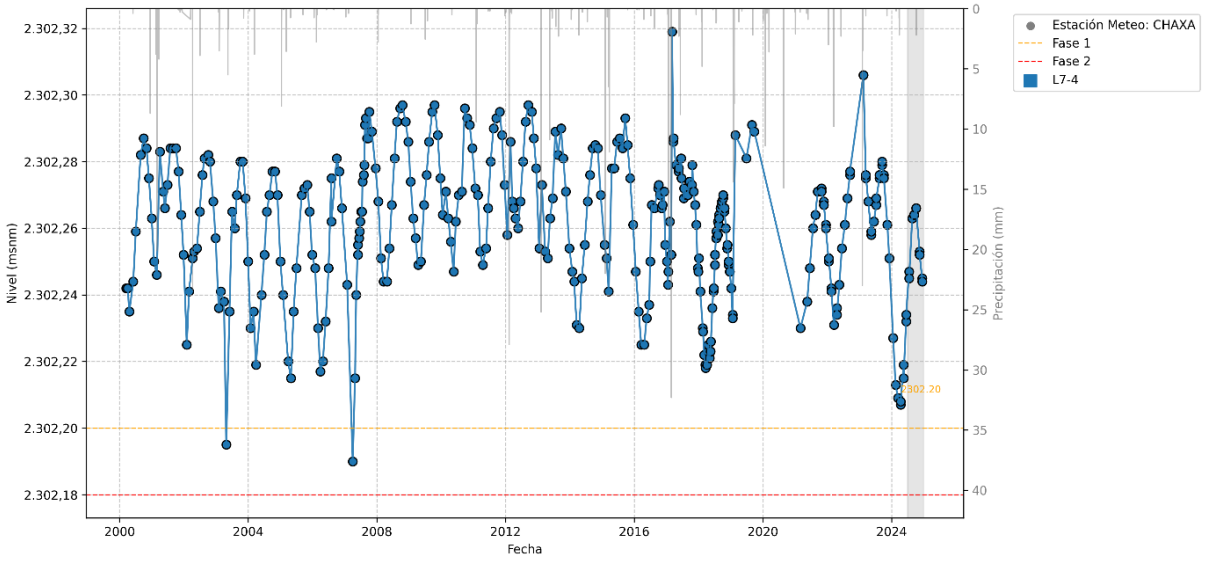
una oscilación estacional, con un incremento durante la primera mitad del semestre seguido de un descenso. Este descenso no ha alcanzado los umbrales de activación de la Fase I del PC.

Figura 6-120: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-121: 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 Nº226/2006 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-5B. 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 calculados[18] 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 6126 junto a los umbrales correspondientes. En el análisis efectuado en la sección 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.

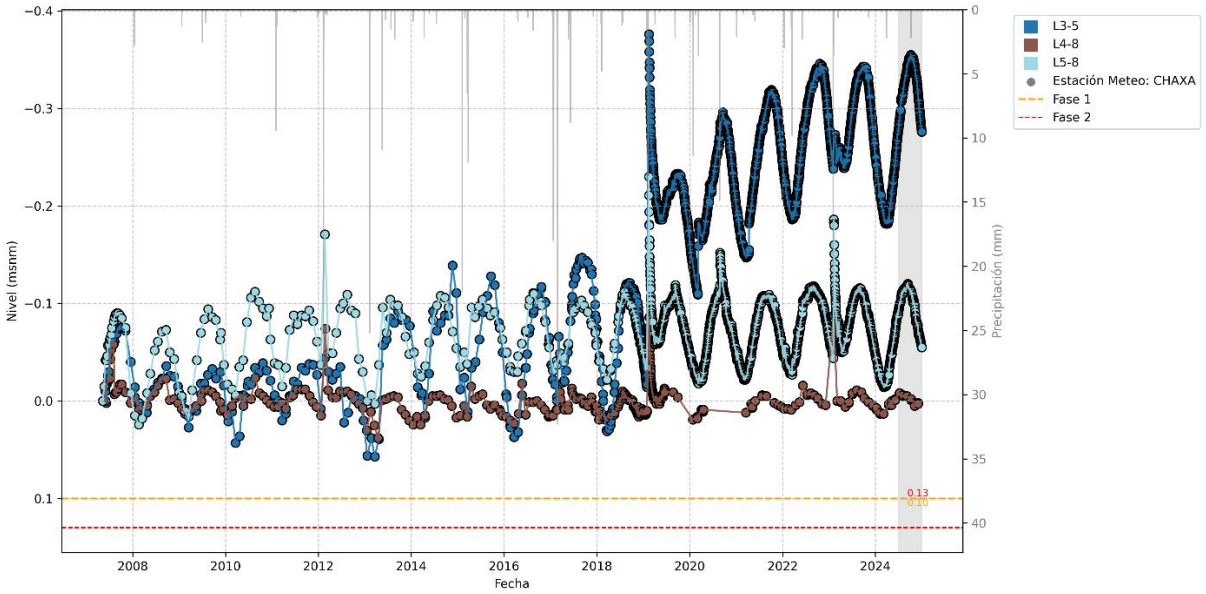
El pozo L3-5, que se sitúa sobre la transecta L3 inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2, permite observar el ascenso que se ha generado en el nivel, motivo de la respuesta al evento de lluvia ocurrido durante el primer semestre de 2019. Desde entonces el pozo presentó un cambio en el patrón y empezó a registrar un ascenso continuado y a la vez senoidal. Se destaca que en el entorno de este punto los

[18] Para este apartado, la fecha de inicio que permite el cálculo del descenso se basa en lo estipulado según la RCA Nº 226/2006.

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 segundo semestre 2024, se observa que se alcanza el máximo estacional histórico, incluso mayor al del primer semestre del 2022, seguido de una tendencia ascendente que se mantiene hasta finales del período 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 la sección 6.1.2, los niveles en estos sectores han mostrado un 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.

Figura 6-122: 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

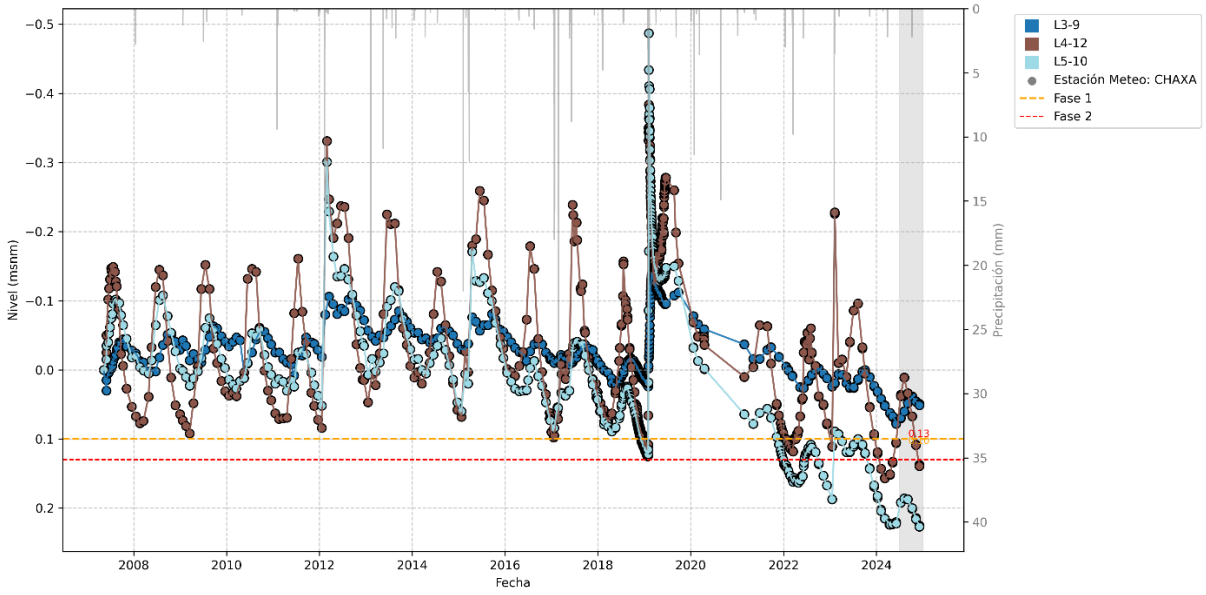
Los indicadores de estado para determinar la influencia de las extracciones del núcleo (L3-9, L4-12 y L5-10) se muestran en la Figura 6127 junto con los umbrales de la Fase I y Fase II. En la sección 6.1.2 se determinó que estos puntos muestran un comportamiento mixto entre la Zona Marginal (zona de 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 todo el 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 durante el 2024. El indicador L4-12 se activó por primera vez, desde el inicio de sus registros, el 21 de enero de 2024, manteniéndose bajo el umbral de activación de Fase II del PC, hasta mayo de 2024. El 20 de mayo de 2024 el nivel se recuperó elevándose por encima del umbral de activación de Fase II y el 9 de julio el nivel ya se encontraba por encima del umbral de activación de Fase I del PC. El 24 de noviembre fue informada la segunda activación de la Fase II del PC del indicador L4-12. Según se detalla en la carta GMAL 516/2024, 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 registran 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 descenso constante, cercano a 0,1 m, pero manteniéndose siempre por debajo del umbral de Fase I, durante el segundo semestre de 2024, el pozo comienza a recuperar su nivel, manteniéndose desactivada.

Figura 6-123: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del PC



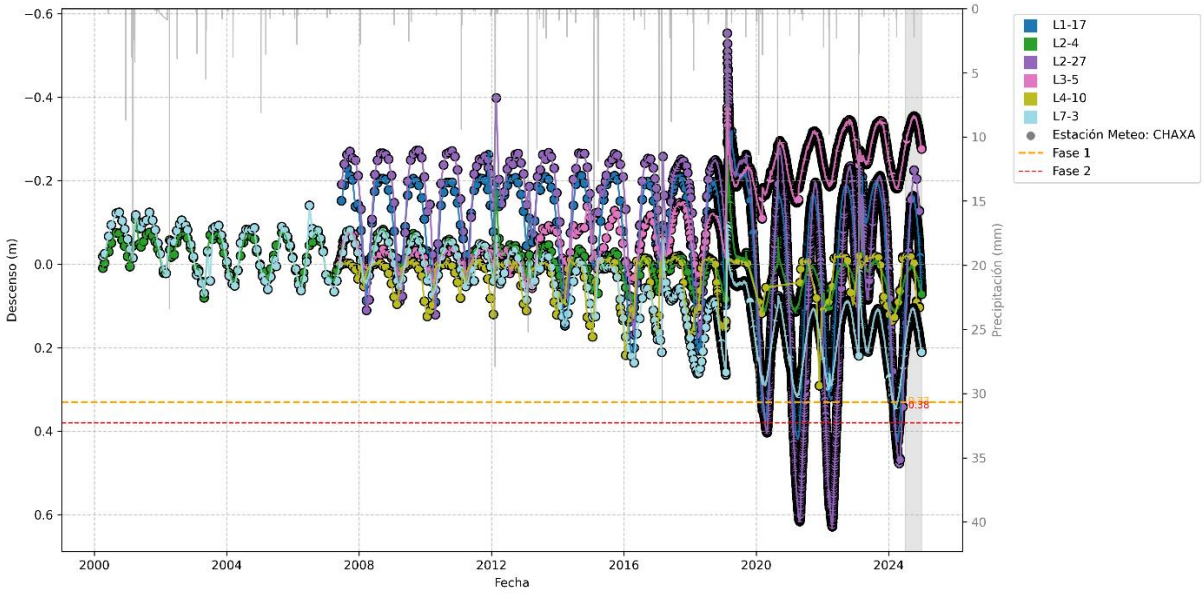
Fuente: Elaboración propia

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 (sección 6.1.1) y el punto L3-5 y la reglilla L4-10 en el Sistema de Aguas de Quelana (sección 6.1.2). Los descensos calculados para estos puntos con respecto los umbrales se muestran en la Figura 6128.

Figura 6-124: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia

Los indicadores L1-17 y L2-27 activaron las Fases I y II en tres ocasiones entre 2020 y 2022, en respuesta a un cambio en el patrón de comportamiento en estas zonas, ubicadas en proximidad a las vegas de Carvajal y Quelana. Durante este período, los mínimos estacionales alcanzaron cotas históricas, un fenómeno documentado en los informes PSAH N°27, 29 y 31, así como en los informes de investigación.

Una de las causas de estas activaciones se asocia a los descensos vinculados a la extracción de los pozos de agua industrial. Sin embargo, se plantea la posible influencia de otros factores en este reciente cambio de patrón. En 2024, ambos indicadores activaron la Fase I en febrero y la Fase II en marzo. No obstante, desde mayo de 2024, han mostrado una tendencia de ascenso en los niveles, lo que llevó a la desactivación de la Fase II en mayo para L1-17 y en junio para L2-27, manteniéndose fuera de activación el resto del año.

El indicador L7-3, ubicado al norte del Sistema Soncor, mostró un descenso sostenido en sus niveles hasta 2021, momento en el cual la tendencia se estabilizó. Esta estabilidad es particularmente evidente en los máximos estacionales, que han mantenido valores relativamente constantes desde entonces. Sin embargo, los niveles mínimos han presentado mayor variabilidad, registrándose en marzo de 2024 un mínimo estacional histórico que activó la Fase I en febrero 2024 y desactivó en abril 2024, estado en el cual se mantiene en el segundo semestre de 2024. El cambio de tendencia en este punto está

probablemente relacionado con la operación del pozo Allana, cuyo caudal se redujo a la mitad en 2020 y, desde 2021, ha permanecido prácticamente inactivo.

Por otro lado, el indicador L3-5 experimentó un cambio en la tendencia de sus niveles a partir de las precipitaciones de 2019, adoptando una trayectoria ascendente. Desde entonces, los mínimos estacionales han mostrado un alejamiento progresivo de los umbrales de activación del PC. Durante 2024, esta tendencia se ha mantenido. Las causas de este cambio de patrón aún no han sido determinadas, aunque se considera probable que se deba a un efecto local, dado que no se ha observado un comportamiento similar en puntos de monitoreo cercanos.

Por su parte, el punto L2-4, ubicado en el extremo sur de las vegas de Carvajal, ha mostrado un comportamiento estacional acorde con lo esperado para un pozo en la zona marginal, manteniendo una amplitud de oscilación estable a lo largo del tiempo. En cuanto a su tendencia, entre 2007 y 2010, los niveles permanecieron estables, sin registrar ascensos ni descensos significativos. Posteriormente, entre 2011 y 2019, se observó una tendencia descendente con una tasa promedio de 0,6 cm/año. Sin embargo, desde entonces y hasta el segundo semestre de 2024, los niveles han recuperado estabilidad, sin una tendencia definida y manteniéndose alejados del umbral de activación 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 segundo 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).

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 Nº226/2006.

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 (sección 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 (sección 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 Nº1/Rol F-041-2016, SQM retoma el monitoreo de dicho pozo como parte del PC del Sistema Vegetación Borde Este.

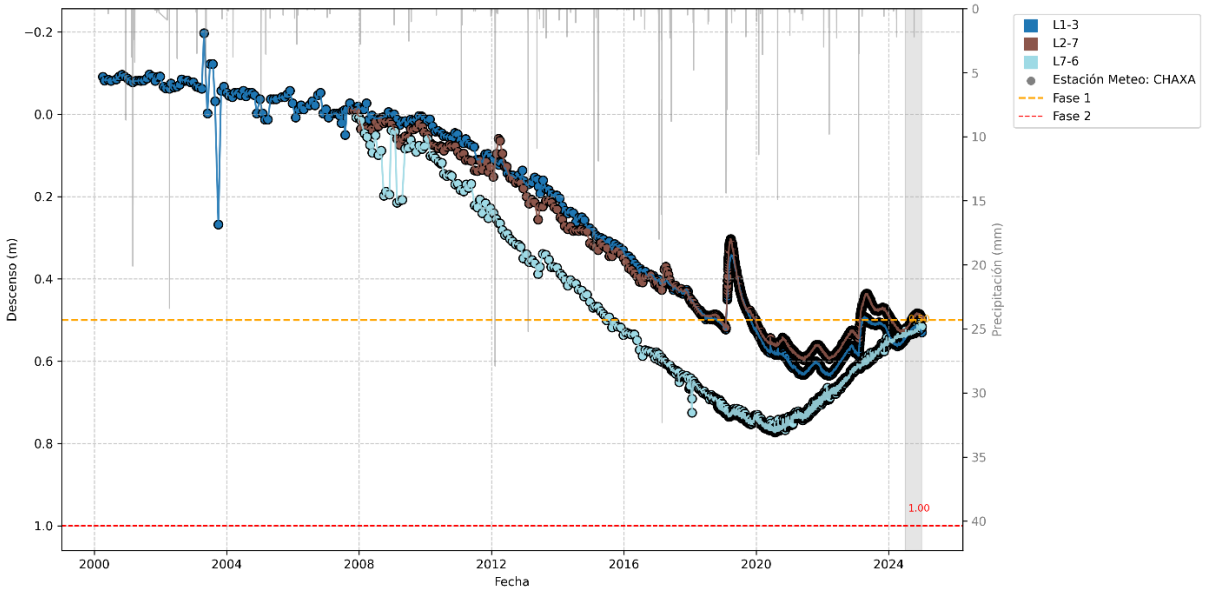
Por otro lado, hay que recordar que el pozo L1-3 se reconstruyó durante el año 2012, producto de que el original fue tapado por un aluvión. Esta situación fue informada a través del Informe PSAH Nº11/2012. Dado que el nuevo pozo supone una pequeña variación de las coordenadas y de la cota del punto de 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 6129.

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 cambió en 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. En febrero de 2024, el pozo L2-7 volvió a activar la Fase I, manteniéndose en este estado hasta agosto del mismo año, cuando recuperó su nivel, lo que permitió la desactivación de la Fase II, según lo indicado en el PC. A partir de entonces, esta condición se mantuvo durante lo que restó del 2024. 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 6-125: 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 6130). 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, 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 de 2023, la Fase I se desactivó durante el ascenso hacia el máximo estacional registrado. Sin embargo, en noviembre del mismo año, se reactivó y permaneció activa hasta noviembre de 2024, cuando se produjo una breve desactivación de una semana. Posteriormente, la Fase I volvió a activarse, manteniéndose en ese estado hasta el cierre del año.

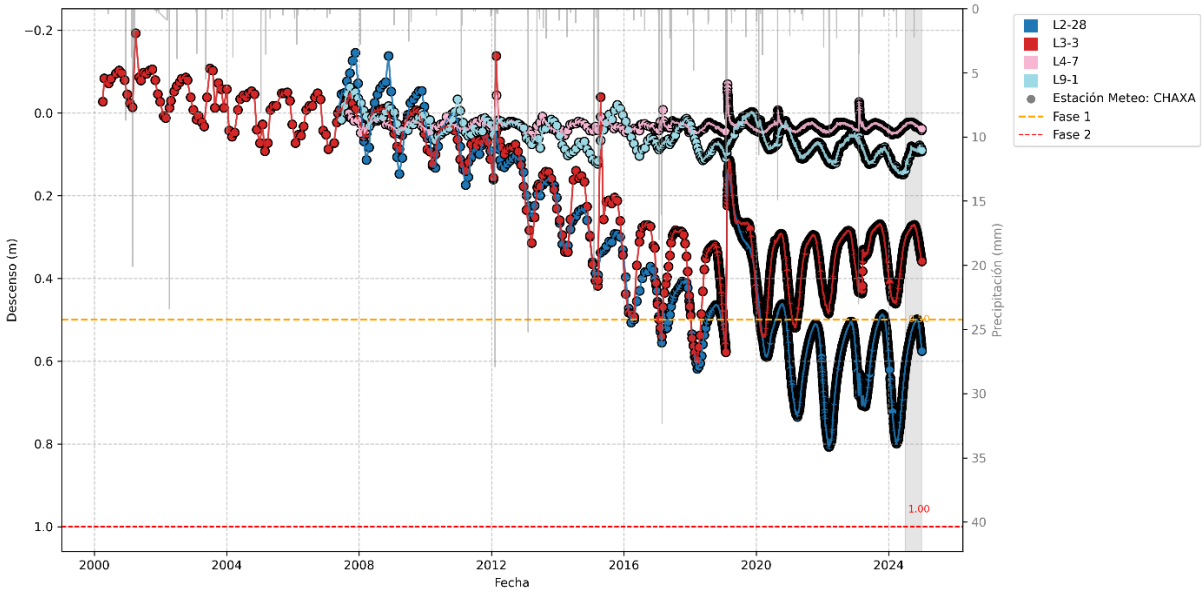
Por su parte, el L3-3 se sitúa sobre la transecta L3, inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto ha mostrado históricamente un comportamiento transicional entre el aluvial y el de la zona marginal, con una pendiente de descenso y una oscilación propia de la estacionalidad. No obstante, a partir de 2018 y más evidentemente, después de 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-5B. 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, siendo en junio del 2024 su descenso histórico más alto.

Figura 6-126: 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 – ALERA 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 ha mantenido durante todo el 2024 tal como se observa en la Figura 6131. Este comportamiento es considerado anómalo al ser comparado con el resto de los pozos vecinos.

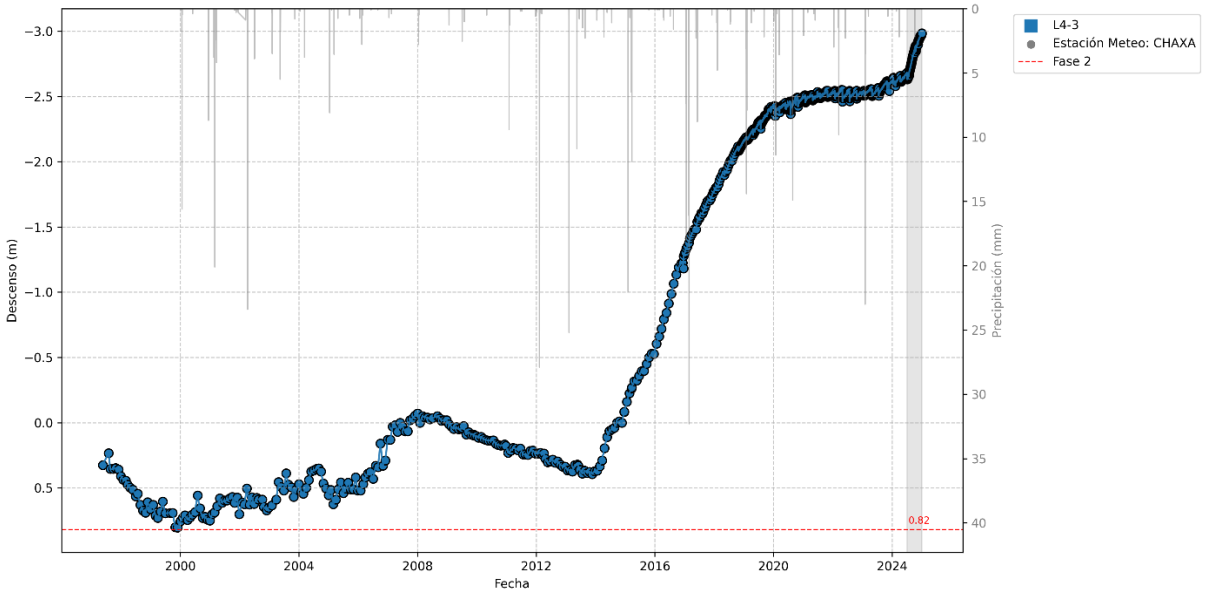
Respecto al punto L2-25, ubicado en el extremo oeste del acuífero aluvial, presenta un comportamiento transicional entre la Zona Aluvial y la Zona Marginal (Figura 6132). Concretamente, en su serie histórica este punto muestra un ascenso continuo y estable del nivel. Al cierre de este reporte, el indicador L2-25 se mantiene alrededor de 0,95 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 0,88 m.

En cuanto al punto L7-13 (Figura 6133), 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 6133). El análisis del registro histórico indica que el pozo mostró un descenso constante hasta 2020. Sin embargo, a mediados de 2021, la pendiente de descenso se redujo y el nivel presentó una aparente estabilización. A partir de esta fecha, el L7-13 comenzó a mostrar una tendencia ascendente más evidente, posiblemente vinculada a la disminución en la extracción del acuífero aluvial. Durante el primer semestre de 2024, esta tendencia se revirtió temporalmente, registrándose un leve descenso en el nivel. No obstante, en el segundo semestre, el nivel comenzó a ascender de nuevo, situándose 0,84 m por encima del umbral establecido. Cabe destacar que, en el marco del PC, únicamente se define el límite para la activación de la Fase II, correspondiente 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 6134). 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 segundo semestre de 2024, el indicador se mantiene en torno a unos 0,77 m por debajo del

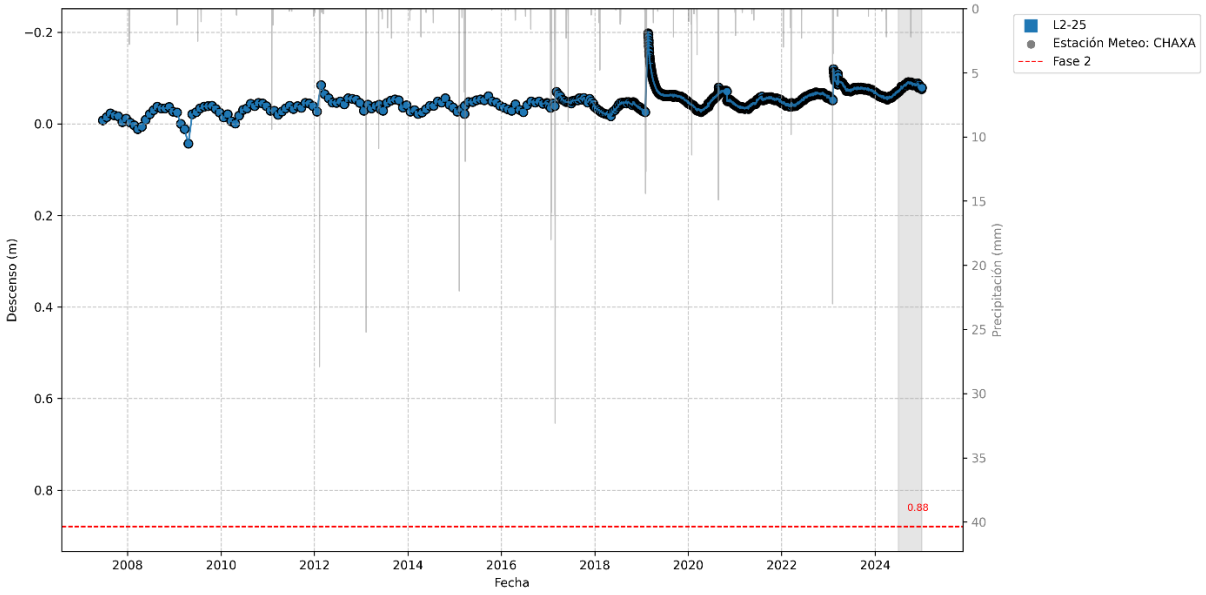
umbral de activación. Cabe mencionar que, en el marco del PC se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso 0,88 m.

Figura 6-127: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC



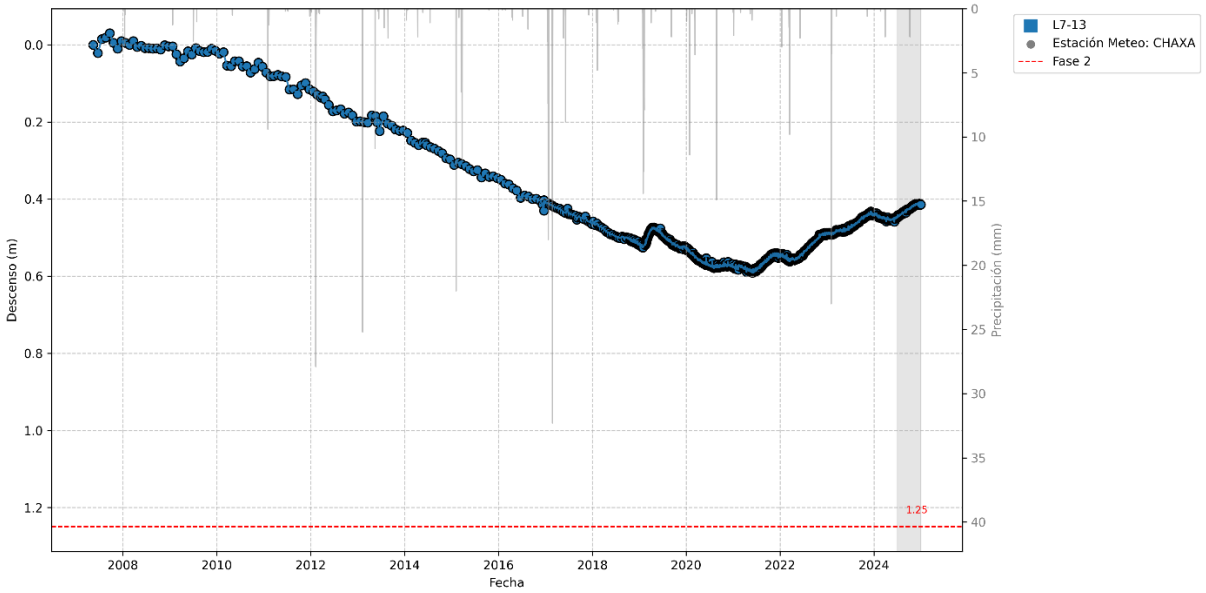
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-128: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC



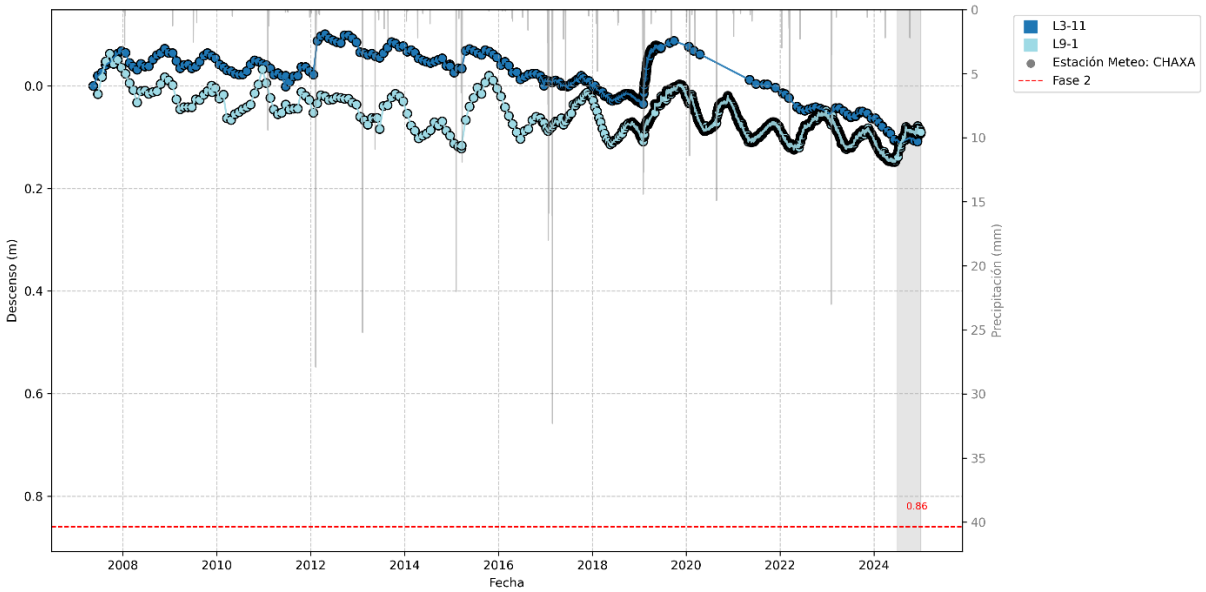
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-129: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral del subsistema Alerta Temprana del PC



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-130: 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 PC presentado a la SMA, se comprometió aplicar los umbrales de activación de Fase I y/o Fase II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto aprobado por la RCA Nº226/2006 (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 Nº21/16[19].

Para los pozos pertenecientes al plan de seguimiento contemplado en la RCA Nº226/2006 (pozos 1028, L10-11 y L10-4), el PC 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 Nº21/16, la adopción de medidas de control se condiciona al aviso 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, este semestre muestra el 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). En mayo de 2023, el indicador superó el umbral de la Fase I, evidenciando una marcada tendencia al descenso. Como resultado, en agosto de 2024 se activó la Fase II. Posteriormente, en octubre, se actualizó

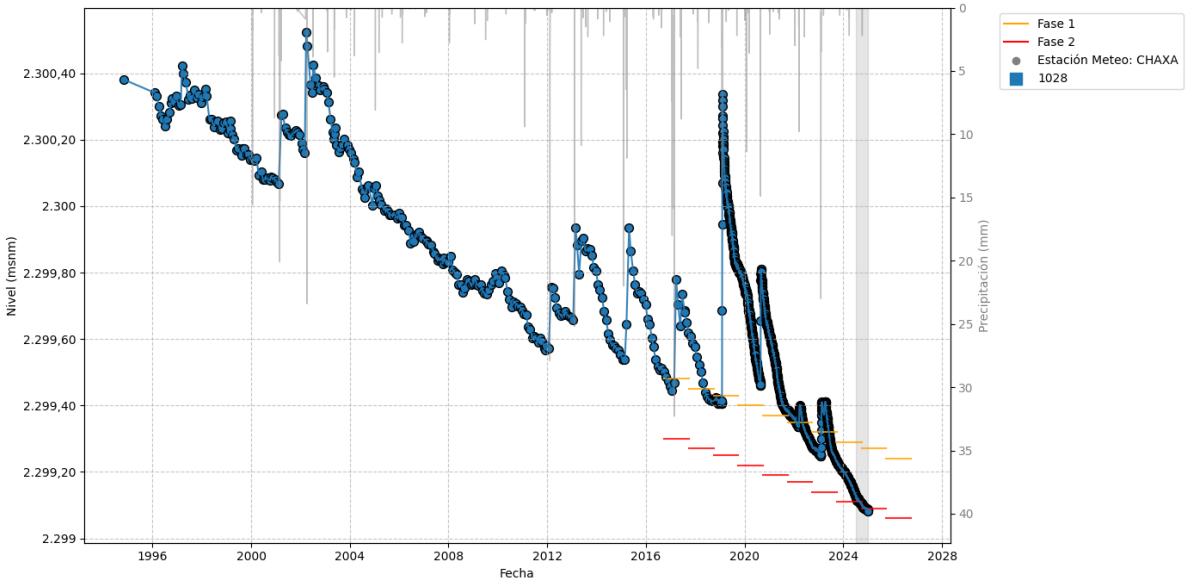
[19] Asimismo, mediante Resolución Exenta 1367/2020, de 6 de agosto de 2020, la aplicación de estos umbrales de activación para los indicadores de estado mencionados fue ordenada como medida provisional por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente, medida que fue renovada mediante Resolución Exenta 2141/2020, de 28 de octubre de 2020 y Resolución Exenta Nº 962/2021, de 30 de abril de 2021.

el escalón de Fase II, lo que llevó a su desactivación. Sin embargo, debido al continuo descenso, la Fase II se reactivó en noviembre del mismo año, manteniéndose en ese estado hasta el cierre del semestre (Figura 6135).

El indicador L10-11 (Figura 6136) ubicado en el núcleo, presenta un patrón de comportamiento de nivel similar al del pozo 1028. Su evolución ha seguido tendencias comparables, con variaciones influenciadas por eventos de precipitación y descensos sostenidos en el tiempo. El L10-11 sobrepasó el umbral de activación de la Fase I en septiembre de 2021 y abril de 2022. A partir de esta última fecha, permaneció en estado de activación hasta que, entre febrero y mayo de 2023, se produjo una desactivación temporal debido al ascenso de nivel asociado a las lluvias registradas en ese período. Posteriormente, en mayo de 2023, el pozo volvió a activar la Fase I, manteniendo una tendencia descendente desde entonces. En junio de 2024, L10-11 sobrepasó por primera vez el umbral de la Fase II, permaneciendo en este estado hasta finales de 2024.

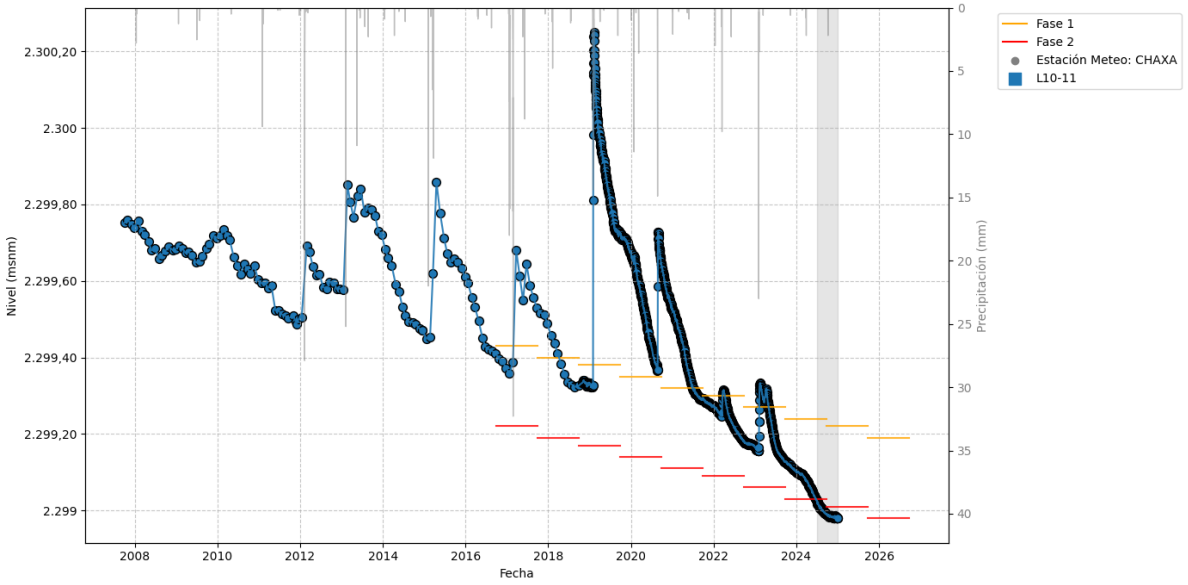
Por su parte, el L10-4 (Figura 6137) se encuentra en el extremo de la zona marginal, cercano al núcleo, por lo que, a partir del análisis de niveles, se ha podido ver que este punto muestra un comportamiento transicional entre la zona marginal y el núcleo, aunque dada su proximidad al núcleo, se registran 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. En junio de 2023 el nivel sobrepasó nuevamente el umbral de activación de la Fase I y debido al constante descenso del nivel, en julio del 2024, se activa Fase II en este indicador, manteniéndose en este estado hasta el término del semestre.

Figura 6-131: Niveles medidos en 1028 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine



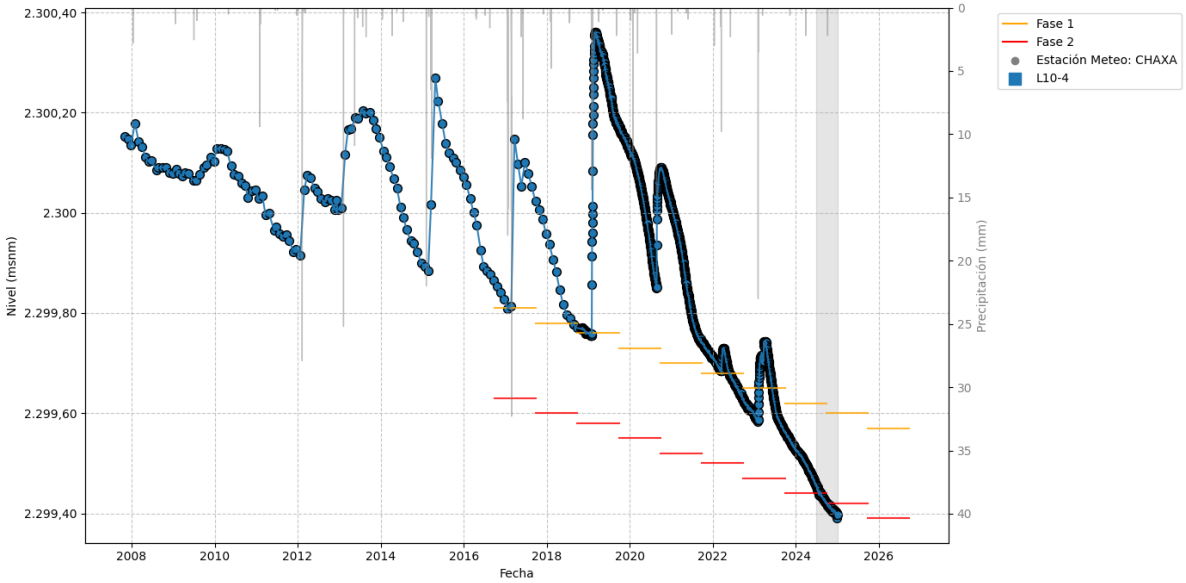
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-132: Niveles medidos en L10-11 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-133: Niveles medidos en L10-4 junto con umbrales, pertenecientes al PC del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

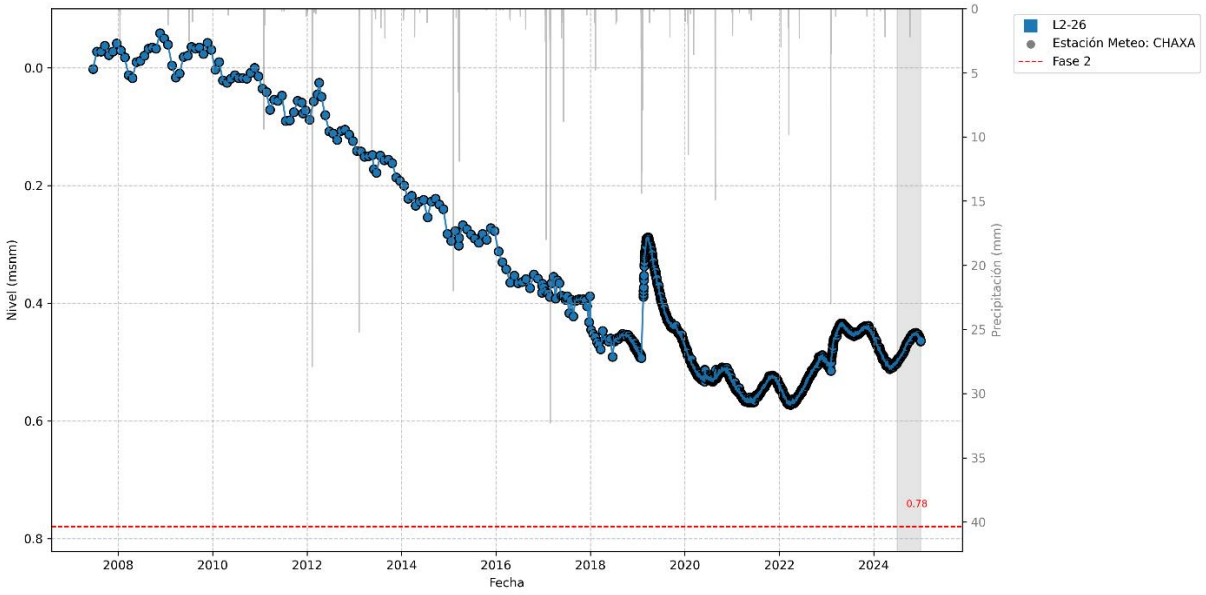
6.2.7 POZOS ADICIONALES AL PLAN DE CONTIGENCIA

Tal como se mencionó en la sección 5.2, 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 Nº226/2006. 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 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 6138), 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 segundo 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 6-134: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC

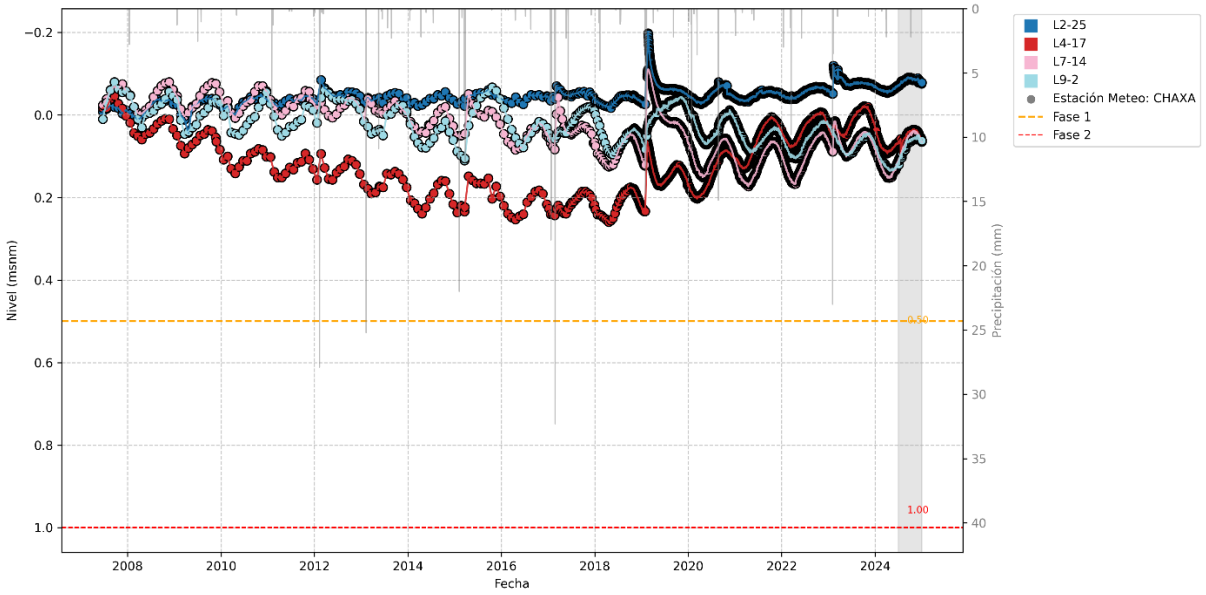


Fuente: Elaboración propia

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 6139 se grafican los descensos históricos del L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 y en la Figura 6140 el L3-15.

Respecto al primer grupo (Figura 6139), 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 2024, mostrando una leve tendencia al descenso durante el segundo semestre de 2024.

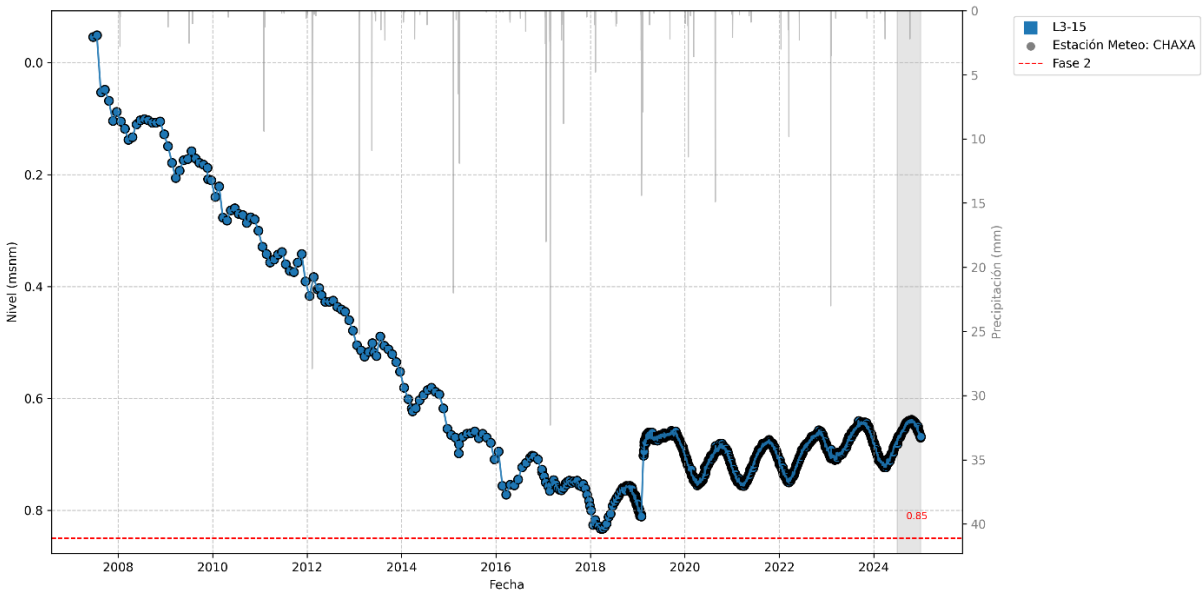
Figura 6-135: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia

El indicador L3-15 (Figura 6140) 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 2024, el nivel se ha encontrado al menos a 13 cm debajo del umbral (desactivado), y si se mantiene el comportamiento ascendente esta distancia seguirá en aumento.

Figura 6-136: 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 Nº226/2006 cubre una amplia extensión espacial, consta de 225 puntos de monitoreo en los diferentes seguimientos, a lo que se incluye los 23 puntos adicionales de carácter voluntario, completando un total de 248 puntos (Tabla 1-1). En estos puntos de monitoreo en los que se registran 45 parámetros diferentes, con diversas frecuencias de medición en función del punto, variable y parámetro objeto de control (desde medición continua a frecuencia semestral). A partir de esta actualización correspondiente al segundo semestre de 2024 se incluyen 21 puntos de monitoreo adicionales en respuesta a la Acción 16 del PdC, correspondientes a estaciones para meteorología (incorporando además 4 parámetros nuevos respecto de los 4 obligatorios según RCA Nº226/2006), aforos y nivel de agua subterránea; y con ello la incorporación de dos sectores nuevos correspondientes a Sector Cuenca Salar de Atacama y Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña. Además, se incluyen 3 pozos complementarios a los pozos obturados: MSW-252, MSW-282 y MSW-284.

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 Nº226/2006.

Durante el período semestral reportado, comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre 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, y la falta de autorización de ingreso a las zonas sensibles de Sector Peine y Sector Cuña Salina.

A continuación, se describen las principales conclusiones de las variables de seguimiento específicas y del estado del Plan de Contingencias.

7.1 DE LOS NIVELES DE AGUA/SALMUERA SUBTERRÁNEA

Durante el semestre analizado, los niveles de agua subterránea en los distintos pozos han mantenido un comportamiento hidrogeológico coherente con su ubicación, reflejando patrones característicos de las zonas Núcleo, Marginal y Aluvial, así como influencias de agua superficial y dinámicas transicionales entre zonas. Cabe mencionar que, como respuesta a la Acción 16 del Programa de Cumplimiento en este semestre se incorpora el pozo CAMAR-2015 a la red de monitoreo.

Los pozos que se encuentran en la Zona Aluvial presentan un patrón histórico de descenso. Sus niveles no responden significativamente a eventos de lluvias, pero sí se ven influenciados por los conos de descenso generados durante el bombeo de agua industrial. Tras el cese del bombeo en el pozo Camar-2 en el año 2018 y la reducción de extracción en los pozos Mullay-1 y Allana en 2020, los registros muestran una recuperación o estabilización de los niveles en prácticamente todos puntos de acuífero aluvial. En la Zona Marginal más cercana al acuífero aluvial, también se identifican los efectos de la reducción en la extracción de caudal de agua industrial, lo que confirma la extensión lateral del acuífero aluvial.

Es importante señalar que los tiempos y la magnitud de la respuesta a los cambios en la operación de los pozos de agua industrial no ha sido uniforme en toda la parte distal del acuífero aluvial y al inicio de la zona marginal. Las diferencias en los tiempos y magnitudes de recuperación reflejan la heterogeneidad en las propiedades hidráulicas del subsuelo, influenciadas por la interdigitación de depósitos sedimentarios de distinta granulometría, que incluyen materiales finos y gruesos, clásticos y evaporíticos. Esta compleja configuración del medio condiciona la propagación de los cambios en los niveles, generando variaciones espaciales en la estabilización y recuperación del acuífero.

En la Zona Marginal, los pozos muestran, en términos generales, oscilaciones estacionales y una respuesta a eventos de precipitación, aunque la magnitud de esta respuesta varía según su ubicación y las condiciones hidrogeológicas del sector. Los pozos más cercanos al acuífero aluvial han sido influenciados por la extracción de agua industrial, lo que ha generado descensos históricos en sus niveles y una recuperación o estabilización producto de la reducción en el caudal de extracción. En contraste, los pozos ubicados en las cercanías de los sistemas lagunares y la cuña salina han mostrado una relación más estrecha con la variabilidad de los cuerpos de agua superficiales, reflejando fluctuaciones en sus niveles

dependiendo de la dinámica de estos sistemas. Finalmente, los pozos de la zona marginal situados al oeste de los sistemas lagunares, también exhiben un descenso progresivo y sostenido. En la Zona Marginal, la recarga ocurre tanto de manera directa como lateral, a partir de flujos subterráneos provenientes de los sectores aluviales.

En el Sector Núcleo del salar, donde la influencia de la extracción de salmuera es más evidente y la recarga es más limitada, el patrón de niveles ha mantenido una tendencia de descenso continuo, sin estacionalidad, pero con alta sensibilidad a eventos de precipitación, que generan aumentos centimétricos seguidos por descensos graduales. En los pozos cercanos a las zonas de producción de salmuera han registrado tasas de descenso que se han acelerado en los últimos años, especialmente desde 2020.

2, ya que presentan niveles similares y un comportamiento tipo núcleo

7.2 DE LOS NIVELES DE AGUA SUPERFICIAL

En términos generales, los niveles de agua superficial en los distintos sistemas muestran un comportamiento oscilatorio influenciado por la estacionalidad, con variaciones asociadas a la dinámica de los cuerpos lagunares y la recarga del sistema. La tendencia observada podría responder a factores como la movilidad de los flujos superficiales, la proximidad a surgencias de agua y la extensión de la superficie lacustre, condicionando su estabilidad a lo largo del tiempo.

En el **Sistema Soncor**, los niveles de agua superficial han mantenido un patrón global relativamente estable en el tiempo, con oscilaciones estacionales. En la Reglilla Puilar (SQM y CONAF), se ha observado un comportamiento oscilatorio de largo período, con fases sucesivas de ascenso y descenso en ciclos de hasta 10 años. Desde el mínimo registrado en 2017, se ha evidenciado una tendencia general ascendente.

En el sector del Puente San Luis y la Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF), los registros muestran el mismo patrón oscilatorio. Desde 2013 hasta 2017, los niveles han presentado una tendencia de aumento continuo, para después mantenerse estables hasta la actualidad dentro del patrón oscilatorio . Cabe mencionar que se ha observado un aumento en el área de represamiento en el puente San Luis, evidenciado en imágenes satelitales, lo que sugiere una posible alteración en la distribución del flujo. En la Reglilla Chaxa, el patrón general se mantuvo estable hasta 2023, sin embargo, en el verano 2023-2024

y en diciembre de 2024 se llevan registrando mínimos estacionales históricos.. Por otro lado, en la Reglilla Barros Negros (SQM y CONAF), desde 2021 se ha registrado un comportamiento descendente, probablemente relacionado con la expansión de la extensión lacustre hacia el Desborde Sur. Por último, entre las lagunas Chaxa y Barros Negros existe una diferencia de nivel que ha aumentado constantemente a partir del año 2020, favoreciendo el flujo de agua mediante el canal de Burro Muerto y influyendo en el descenso de los niveles de la laguna Chaxa

En el **Sistema Peine**, la Reglilla Salada ha mostrado registros estables a lo largo del período de monitoreo. No obstante, se han identificado mediciones puntuales con valores anómalos por debajo de lo esperado, lo que podría estar asociado a variaciones en los bordes del cuerpo lagunar por precipitados de sales o sedimentación. En la Reglilla Saladita, los niveles han oscilado alrededor de una cota estable desde 2015, sin presentar una tendencia clara de ascenso o descenso. En la Reglilla Interna, las mediciones cesaron en 2015 debido a la falta de cobertura del área de descarga.

Finalmente, en el **Sector Vegas de Tilopozo**, el único punto de monitoreo (Reglilla Tilopozo) ha presentado históricamente un patrón oscilatorio estacional con una marcada tendencia ascendente. Sin embargo, desde 2022 se ha registrado una leve tendencia al descenso, evidenciada en la disminución de los máximos y mínimos estacionales.

7.3 DEL PLAN DE CONTINGENCIAS

En el Sistema Soncor, los indicadores L1-5, L1-G4 Pozo y L1-G4 Reglilla han permanecido en Fase II desde su activación en abril de 2021 y a lo largo del segundo semestre de 2024. El Desborde Cola de Pez, que solía generar encharcamientos por desborde cerca de estos indicadores, ha modificado su patrón de descarga hacia el sur, dejando de aportar a estos puntos. 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). Estos pozos presentan un comportamiento Tipo Núcleo, por lo que su tendencia es al descenso con respuestas rápidas a eventos de precipitación.

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 hasta el segundo semestre de 2024 debido a la ausencia de precipitaciones significativas. Se reafirma que este pozo, al estar desconectado hidráulicamente del acuífero aluvial, no es un indicador representativo del estado del sistema, sino más bien una referencia a los eventos de desborde desde el sistema lagunar. Por otro lado, el indicador L7-4 no ha sobrepasado ninguno de los umbrales del PC y ha mostrado oscilaciones típicas de la evaporación y recarga estacional.

En el Sistema Aguas de Quelana, los indicadores de salmuera, L5-10 y L4-12 han registrado variaciones en sus activaciones. El pozo L5-10 muestra 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). Sin embargo, desde octubre de 2023, mantiene la Fase II activa. Por su parte, el pozo L4-12, activó la Fase II en noviembre de 2024

En el Sistema Vegetación Borde Este, los pozos L1-17 y L2-27 activaron sus Fases I y II en tres ocasiones 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. Sin embargo, el L1-17 desactivó la Fase en mayo y el L2-27 en junio de 2024, manteniéndose fuera de activación el resto del año. 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, en consecuencia, sus niveles han tendido a estabilizarse y/o a ascender.

En el Sistema Peine, los indicadores 1028, L10-11 y L10-4 han mantenido activaciones sucesivas en los últimos años. El indicador 1028 superó el umbral de Fase I en mayo de 2023 y activó Fase II en agosto de

2024, desactivándola temporalmente en octubre por un descenso del umbral, pero reactivándola nuevamente en noviembre debido al continuo descenso de niveles. De manera similar, L10-11 activó la Fase II en junio de 2024 y L10-4 en julio de 2024, manteniéndose en este estado hasta el cierre del semestre. Estas oscilaciones en torno a los umbrales, que en este caso son escalonados, evidencian la sensibilidad de estos puntos a los eventos de precipitación, lo que explica la variabilidad en sus activaciones y desactivaciones.

En relación con los indicadores de estado PN-05B y PN-08A del PAT Sector Alerta Núcleo de Albemarle, según aviso recibido mediante la carta de activación GMAL 397/2024, el indicador PN-08A activó Fase II el día 15 de julio de 2024.

7.4 DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

El análisis histórico de las variables meteorológicas asociado a la RCA Nº226/2006 correspondientes a precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, y las variables adicionales incorporadas a corresponden a dirección del viento, humedad relativa, presión atmosférica, y radiación global (Acción 16 del Programa de Cumplimiento (PdC) F-041-2016). Estas variables presentan periodo histórico desde fines desde 2022. Además de las estaciones meteorológicas Chaxa y KCL consideradas en los reportes anteriores, se agregan LZA 3-1, LZA 3-2, LZA 12-1, LZA 12-2, LZA 7-1, LZA 7-2, LZA 3-3, LZA 9-1, LZA 10-1, SOP, Cordillera de la Sal, Domeyko, Llano de la Paciencia, LZA 12-3, Cerro Cosor y El Tatio, reportando todas las variables.

La precipitación muestra un cambio de tendencias en el tiempo, diferenciándose dos períodos. Entre 2007 y 2011 se registraron pocos eventos, mientras que posteriormente se observa un aumento en la frecuencia, aunque en forma de lluvias intensas (2012, 2015, 2017 y 2019). En el período reportado, se han registrado eventos de precipitación superiores a 1 mm/día en las estaciones Chaxa (2,2 mm), KCL (4,0 mm), LZA 10-1 (2,4 mm), LZA 7-2 (1,4 mm), SOP (3,2 mm) y Cerro Cosor (2,2 mm) el 7 de octubre de 2024. Además, el día 8 de octubre, la estación Cerro Cosor registró 8,5 mm como el evento de mayor magnitud del período reportado. De manera general, las estaciones añadidas muestran registros de precipitación en rangos similares, especialmente aquellas ubicadas a altitudes comparables. Esto se traduce en diferencias

en los volúmenes de lluvia entre las estaciones meteorológicas reportadas, evidenciando un patrón caracterizado por eventos esporádicos y de corta duración.

La evaporación mantiene una marcada oscilación estacional, con valores más elevados en los meses de verano. En la estación Chaxa, la evaporación alcanzó 8,90 mm/día, superando el promedio histórico de 7,8 mm/día. En KCL, se registró un valor de 9,3 mm/día, reflejando un incremento respecto a valores previos. Otras estaciones como Domeyko y Llano de la Paciencia muestran tendencias similares, con valores que reflejan una alta demanda evaporativa en la zona, influenciada por la radiación solar y la baja humedad relativa.

La temperatura media diaria mantiene su patrón estacional, con máximos en los meses de diciembre y enero. Durante el período analizado, la temperatura media en la estación Chaxa fue de 14,3 °C, mientras que en KCL se registró un promedio de 16,0 °C, ambos dentro de los rangos históricos. En estaciones como Cerro Cosor y Llano de la Paciencia, se detectan valores similares, con pequeñas variaciones respecto a registros previos.

La velocidad del viento mostró variabilidad estacional, con una ligera tendencia a la disminución respecto de los registros históricos recientes. En la estación Chaxa, la velocidad media del viento fue de 2,58 m/s, mientras que en KCL se registró un valor de 2,44 m/s. No obstante, se detectaron episodios de vientos intensos en agosto, con ráfagas que superaron los 9,1 m/s. Otras estaciones como El Tatio y Cordillera de la Sal presentaron velocidades en rangos similares, manteniendo la misma variabilidad observada en Chaxa y KCL.

La dirección del viento ha mostrado valores promedio en el segundo semestre de 2024 de 293,38° en Cerro Cosor y 214,99° en El Tatio. Estas direcciones concuerdan con patrones históricos, aunque en algunas estaciones se ha registrado un leve cambio respecto a las tendencias previas.

La presión atmosférica en el segundo semestre de 2024 fue de 774,37 mbar en KCL y 761,86 mbar en Llano de la Paciencia, valores que se encuentran dentro del rango histórico, con variaciones menores respecto de los registros previos.

La radiación global ha mantenido su oscilación estacional, con valores máximos en los meses de verano y mínimos en invierno. Durante el segundo semestre del 2024, la radiación global promedio registrada va desde los 328,41 W/m² en SOP, 319,45 W/m² en Chaxa, de 316,51 W/m² en Cerro Cosor y 314,96 W/m² en El Tatio, valores superiores al promedio histórico.

La humedad relativa presentó una ligera disminución respecto a los valores históricos. En el segundo semestre de 2024, los valores promedio fueron de 11,44 % en Llano de la Paciencia y 21,66 % en El Tatio, lo que refleja una tendencia a condiciones más secas en la región.

7.5 DE LA EXTENSIÓN LAGUNAR

Durante el segundo semestre de 2024, se realizó la medición de la superficie lagunar en el Sistema Soncor (Laguna Puilar, Barros Negros y Laguna Chaxa) mediante imágenes satelitales de alta resolución, de acuerdo con la frecuencia trimestral establecida en el Programa de Cumplimiento (PdC). Esta metodología se complementó con datos de puntos de control en terreno tomados cercanos a la captura satelital, lapso en el cual se realizó la medición de extensión lagunar vía estacas perimetrales.

En la Laguna Puilar, los datos obtenidos muestran un leve incremento de la superficie lagunar en el transcurso del semestre, pasando de 61.931 m² en julio a 62.344 m² en octubre, lo que representa un aumento del 0,7%. En términos históricos, para los mismos meses de 2023, la variación fue mínima, con una reducción de menos de 30 m², mientras que en 2022 se registró un incremento del 3,2%. En general, la extensión de la laguna ha mostrado una tendencia decreciente desde 2019, cuando alcanzaba aproximadamente 62.000 m², aunque con pequeñas fluctuaciones estacionales detectadas desde la implementación de mediciones trimestrales en 2022.

En el caso del cuerpo principal de Barros Negros, la superficie lagunar experimentó un aumento significativo al inicio del semestre, con un valor de 914.646 m² en julio, seguido de una reducción a 831.981 m² en octubre, lo que equivale a una disminución del 9%. En términos históricos, para el mismo periodo en 2023, la superficie se redujo en un 9,8%, mientras que en 2022 la disminución fue del 7,2%.

Para la Laguna Chaxa, se registró un incremento en comparación con el primer semestre, con una superficie de 290.781 m² en julio y 283.784 m² en octubre, representando una disminución del 2,4%. En términos históricos, para el mismo periodo en 2023, la superficie se redujo en un 4,0%, mientras que en 2022 la disminución fue del 2,3%. Desde el inicio de las mediciones trimestrales en 2022, se ha observado una estacionalidad en la laguna, con los valores más altos ocurriendo típicamente en el segundo y tercer trimestre del año.

En el Sistema Aguas de Quelana, la medición satelital indicó una superficie de 420.188 m² en julio, reduciéndose a 310.768 m² en octubre, lo que corresponde a una disminución del 26%. Esta variabilidad estacional es consistente con el comportamiento observado en años anteriores, donde los valores más altos suelen registrarse en el segundo semestre antes de disminuir en los meses finales del año.

Para el Sistema Peine, la Laguna Salada mostró una reducción leve de su superficie, pasando de 173.536 m² en julio a 171.783 m² en octubre, lo que representa una disminución del 1%. Laguna Saladita presentó una variación mínima, con valores de 86.003 m² en julio y 85.992 m² en octubre, equivalente a una disminución menor al 0,01%. En Desborde Laguna Interna, en contraste con la tendencia de otras lagunas, la superficie aumentó de 108.596 m² en julio a 117.104 m² en octubre, reflejando un incremento del 7,8%, lo que sugiere una mayor disponibilidad de agua en este sector en comparación con el semestre anterior.

7.6 DE LOS CAUDALES DE AGUA SUPERFICIAL

En el segundo semestre de 2024, para el Sistema Soncor se mantuvieron mediciones continuas y manuales en el Puente San Luis, ubicado aguas arriba de la Laguna Chaxa. En el punto Barros Negros, solo se realizó una medición en julio, 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 Nº56/2019 de CONAF y comunidades de cada sector ambiental. Además, en este semestre se incorporaron mediciones en nuevas estaciones de aforo en el Sistema Vegetación Borde Este (Acción 16 del Programa de Cumplimiento (PdC) F-041-2016) en la Quebrada Aguas Blancas Tranque, Quebrada Aguas Blancas Oeste, Quebrada Camar y Quebrada Soncor, permitiendo ampliar el monitoreo y mejorar la comprensión de la dinámica de los caudales en la región.

En Puente San Luis, los caudales observados fueron mayores en comparación con el primer semestre del año 2024, alcanzando un valor máximo de 155,3 L/s en julio y disminuyendo progresivamente a 120,79 L/s en diciembre. Se mantiene la variabilidad estacional observada en períodos previos, con máximos en la primera parte del semestre y una disminución progresiva hacia los últimos meses del año. En períodos secos, como los comprendidos entre 2008 y 2012, se ha observado que los caudales superficiales responden a una recarga estacional con mínimos en verano y máximos en invierno, mientras que, en años más húmedos, entre 2012 y 2019, los eventos de precipitación han generado incrementos bruscos en el caudal pasante, enmascarando levemente la evolución estacional de los caudales superficiales.

En Barros Negros, el caudal medido en julio fue de 192,17 L/s. No se realizaron mediciones en los meses siguientes debido a restricciones de acceso. Comparando con el primer semestre, los caudales fueron menores en julio, lo cual es esperable, ya que en general, los caudales en el segundo semestre tienden a ser más bajos que en el primero. Esto se debe principalmente al aumento de la evaporación debido a temperaturas más altas

En el Sistema Borde Este, los caudales observados presentan variaciones a lo largo del semestre en los distintos puntos de monitoreo. En Quebrada Aguas Blancas Tranque, los caudales registrados fueron de 83,84 L/s en julio, 56,9 L/s en agosto, 68,9 L/s en septiembre, 33,45 L/s en octubre, 47,6 L/s en noviembre y 61,7 L/s en diciembres, mostrando una tendencia general a la disminución. En Quebrada Aguas Blancas Oeste, los valores oscilaron entre 195,40 L/s en julio, 207,35 L/s en agosto, 222,1 L/s en septiembre, alcanzando un máximo de 259,9 L/s en octubre, seguido de una reducción a 234,1 L/s en noviembre y 156,55 L/s en diciembre. En Quebrada Camar, los caudales registrados fueron de 24,2 L/s en julio, 25,9 L/s en agosto, 33,0 L/s en septiembre, con una disminución a 22,2 L/s en octubre, para luego aumentar a 30,1 L/s en noviembre y 35,7 L/s en diciembre, lo que sugiere la influencia de recargas locales. En Quebrada Soncor, el caudal mostró un incremento progresivo desde 38,2 L/s en julio hasta un máximo de 54,0 L/s en noviembre, para luego descender a 29,0 L/s en diciembre, evidenciando una variabilidad estacional similar a la observada en los otros puntos de monitoreo.

En el Sistema Peine, los puntos de aforo en Salada y Saladita no contaron con mediciones en este semestre debido a la falta de acceso autorizado por parte de la comunidad de Peine. En años previos, los registros en estos puntos han mostrado oscilaciones con una frecuencia mayor a la anual, no necesariamente

asociadas a eventos estacionales. En el caso del aforo de Saladita, los datos históricos muestran ciclos estacionales con tendencias ascendentes entre 2009 y 2012, seguidos de descensos entre 2013 y 2018. Sin embargo, debido a la discontinuidad en los registros de monitoreo, no es posible confirmar con certeza estos patrones en la actualidad.

7.7 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 del Salar de Atacama. 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 segundo 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, salvo la medición de pH en laboratorio, ya que parte importante de los valores en las campañas de dicho semestre fueron invalidados.

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, a excepción de los pozos de bombeo de aguas industrial, que se han reducido los valores en los últimos años o se han mantenido en el rango histórico. El aumento de sólidos disueltos totales en los demás puntos de monitoreo fue estudiado oportunamente (PSAH Nº26/2019), 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 muestran en los laboratorios.

7.8 DE LOS CAUDALES BOMBEADO DE AGUA

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. Se ha reducido en un 50% la extracción de agua industrial, es decir, a 120 (l/s) en el marco del PdC (Acción N°8), y la totalidad de los pozos de bombeo de agua contemplados en el PSAH han extraído caudales inferiores a lo autorizado a la RCA 226/2006.

Al Este del Sistema Soncor, los pozos Mullay-1 y Allana, que tienen un derecho ambiental de 40 L/s cada uno, han operado con un caudal promedio semestral de 7,93 L/s y 4,55 L/s, respectivamente. En la Zona aluvial, aledaño al Sistema Aguas de Quelana, la extracción de agua industrial se concentra en el pozo Socaire-5B, debido a que Camar-2 fue desmantelado. Durante el segundo semestre de 2024, los caudales extraídos oscilaron entre 58 y 64,21 L/s, con un promedio de 61,86 L/s, manteniéndose bajo el umbral permitido de 65 L/s. En el Sistema Vegetación Borde Este, el pozo CA-2015 ha mantenido su operación dentro del límite autorizado de 35 L/s, con un caudal promedio de 31,1 L/s durante el segundo semestre de 2024. Este pozo reemplazó al antiguo P2 en 2017.

7.9 DE LA POSICIÓN DE LA CUÑA SALINA

La cuña salina, que representa la transición entre el agua dulce del acuífero aluvial y la salmuera del acuífero del núcleo, ha mantenido su posición estable en los distintos sistemas monitoreados, manteniendo un equilibrio en la transición entre el acuífero aluvial y el núcleo del salar.

En el Sistema Soncor, los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 muestran valores de CE superiores a 200 mS/cm, lo que indica que los flujos subterráneos provienen del núcleo del salar sin interacción con el acuífero de agua dulce-salobre del margen este. A lo largo del período de monitoreo, los valores de CE en estos pozos se han mantenido estables, salvo oscilaciones puntuales, sin evidencia de desplazamiento de la interfaz salina.

En el Sistema Aguas de Quelana, los pozos Cuña 4, Cuña 5 y L4-3 han mostrado un comportamiento estable en la profundidad de la interfaz salina. En el pozo Cuña 4, ubicado más al este, se han registrado menores valores de CE en los niveles superficiales, con una zona de transición bien definida a 55 m de profundidad, la cual no ha presentado variaciones significativas a lo largo del tiempo. En el punto más al este del sistema,

el pozo L4-3, la interfaz salina se encuentra a 40 m de profundidad, manteniéndose en equilibrio con ligeras oscilaciones entre campañas, pero sin una tendencia clara de avance o retroceso.

En el Sistema Peine, los perfiles de conductividad en los pozos Cuña 6, Cuña 7 y L10-1 indican estabilidad en la ubicación de la cuña salina. En el pozo Cuña 7, la interfaz se encuentra muy próxima a la superficie, mientras que en L10-1, la zona de transición se ha mantenido en torno a los 50 m de profundidad, sin cambios significativos en los registros históricos. En el pozo Cuña 6, el mayor quiebre de CE se encuentra a 70 m, con una tendencia estable a lo largo de los años.

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 (21-25ºS): 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 Nº 19 DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO 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 Nº1 y Nº2 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.

Limnímetro: Reglilla graduada para medición de nivel.

Nivel freático: Termino hidrológico referente a la superficie superior de la zona de saturación en un acuífero.

Remedición: 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.

Sistemas ambientales: Sectores con valor ambiental, donde se encuentran los objetos de protección ambiental obligatorios estipulados en la RCA 226/2006 para el Salar de Atacama. En específico estos sistemas son 4 y corresponden a Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este y Sistema Peine.

Sector: Lugar o zona geográfica con valor hidrogeológico o ambiental. En específico estos sectores son 5 y corresponden a Sector Vegas de Tilopozo, Sector Núcleo del Salar de Atacama, Sector Cuña Salina (como parte de los compromisos de la RCA), Sector Cuenca Salar de Atacama, y Sector Estaciones Meteorológicas de Alta Montaña.

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.

Zonas de Interés Ambiental: En la zona marginal del Salar de Atacama se han identificado cuatro sectores con valor ambiental, donde se encuentran los objetos de protección ambiental según lo estipulado tanto en la RCA N°226 del año 2006 como en estudios de terceros en la zona de estudio. Las zonas de interés ambiental corresponden a sectores con un valor ambiental y ecológico en el área de estudio. Dichos sectores corresponden, de norte a sur, a: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación borde Este, Sistema Peine y Sistema Tilopozo, todos los cuales se ubican principalmente en la zona marginal del Salar de Atacama

Zona marginal: La zona marginal del salar se ubica a elevaciones entre 2.300 y 2.320 m.s.n.m., en el margen sureste, este y noreste del núcleo. Se caracteriza por presentar gradientes topográficos muy bajos, sin escorrentía superficial durante todo el año, salvo por el Canal de Burro Muerto originado por la surgencia de agua subterránea. La litología de esta zona es fundamentalmente de tipo carbonatada, sulfatada, clorurada y detrítica tipo arena fina, limo y arcilla más material orgánica, con contenidos de humedad perceptibles en una imagen satelital producto de niveles someros de agua subterránea, lo que en algunos sectores puede justificar la presencia de cuerpos lagunares debido a la dinámica con la interfaz agua-salmuera.

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. Zona intermedia entre la Zona Marginal al este y el núcleo al oeste.

Zona Núcleo: Se caracteriza por presentar poca variación altitudinal, siendo prácticamente una superficie totalmente plana, sin escorrentía superficial durante todo el año. La litología de esta zona es prácticamente costra salina de Cloruro de Sodio. Se considera que esta superficie representa la cota más baja de la cuenca.

Zona Aluvial: Se caracteriza por presentar gradientes topográficos bajos a medios, sin escorrentía superficial durante la mayor parte del año, salvo durante eventos de crecidas. La litología de esta zona es de tipo detrítico aluvial y en pequeñas proporciones de tipo eólico. En esta zona, la escorrentía proveniente de las subcuencas se infiltra recargando los acuíferos asociados.

9.2 ABREVIACIONES

C.: Registros Continuos de nivel.

BM: Balance de masa, corresponde a un criterio de validación analítica que evalúa la relación matemática que existe entre sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos totales

EBI: Error de Balance Iónico, corresponde a un criterio de validación analítica que evalúa si la suma de las concentraciones de cationes y aniones en una muestra acuosa está en equilibrio, según el principio de neutralidad eléctrica

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