SQM SALAR S.A.

INFORME Nº34 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 2023

ÍNDICE

1 RESUMEN 24

2 INTRODUCCIÓN 32

3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (PSAH) 36

4 MATERIALES Y MÉTODOS 37

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 37

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS OBJETO DEL PSAH 37

4.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS O ÁREAS DE MONITOREO 43

4.3.1 Sistema Soncor 45

4.3.2 Sistema Aguas de Quelana 49

4.3.3 Sistema Vegetación Borde Este 52

4.3.4 Sistema Peine 54

4.3.5 Sector Vegas de Tilopozo 56

4.3.6 Núcleo del Salar de Atacama 57

4.3.7 Cuña Salina 59

4.3.8 Plan de Contingencias (PC) 60

4.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES 66

4.5 MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍAS DE MONITOREO 68

4.5.1 Monitoreo manual de nivel de agua y salmuera subterránea en piezómetros y pozos 68

4.5.2 Monitoreo manual de nivel de agua superficial 71

4.5.3 Monitoreo continuo de nivel de agua subterránea 72

4.5.4 Medición de superficie lacustre 76

4.5.5 Monitoreo de caudal de pozos de bombeo de agua industrial 82

4.5.6 Monitoreo manual de caudal superficial (aforos) 84

4.5.7 Monitoreo continuo de caudal superficial (aforos) 85

4.5.8 Monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas 86

4.5.9 Perfilaje de conductividad eléctrica en pozos 96

4.5.10 Medición Meteorología 96

4.6 FECHA DE MEDICIÓN, MUESTREO Y/O ANÁLISIS 97

4.7 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS 97

5 RESULTADOS DEL SEGUNDO SEMESTRE 2023 102

5.1 MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO 104

5.1.1 Resumen de puntos no visitados 107

5.1.2 Sistema Soncor 112

5.1.3 Sistema Aguas de Quelana 172

5.1.4 Sistema Vegetación Borde Este 207

5.1.5 Sistema Peine 220

5.1.6 Sector Vegas de Tilopozo 250

5.1.7 Núcleo del Salar de Atacama 254

5.1.8 Cuña Salina 268

5.2 MONITOREO Y ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 276

5.2.1 Sistema Soncor 279

5.2.2 Sistema Aguas de Quelana 283

5.2.3 Sistema Vegetación Borde Este: Vegetación Hidromorfa 286

5.2.4 Sistema Vegetación Borde Este: Vegetación Brea-Atriplex 289

5.2.5 Sistema Vegetación Borde Este: Alerta Temprana 293

5.2.6 Sistema Peine 298

5.2.7 Pozos adicionales al Plan de Contingencias 302

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 307

6.1 ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL 307

6.1.1 Sistema Soncor – Vegetación Borde Este 310

6.1.2 Sistema Aguas de Quelana – Vegetación Borde Este 395

6.1.3 Sistema Vegetación Borde Este 443

6.1.4 Sistema Peine 455

6.1.5 Sector Vegas de Tilopozo 487

6.1.6 Núcleo del Salar de Atacama 490

6.1.7 Cuña Salina 504

6.2 ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 521

6.2.1 Sistema Soncor 521

6.2.2 Sistema Aguas de Quelana 526

6.2.3 Sistema Borde Este - Vegetación Hidromorfa 530

6.2.4 Sistema Borde Este - Vegetación Brea-Atriplex 533

6.2.5 Indicadores de estado Sistema Peine 538

6.2.6 Sistema Borde Este - Alerta Temprana 542

6.2.7 Pozos Adicionales al Plan de Contingencia 546

7 CONCLUSIONES 550

8 REFERENCIAS 558

9 GLOSARIO Y ABREVIACIONES 559

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1: Ubicación esquemática de los sistemas y sectores ambientales del PSA Hidrogeológico 40
Figura 4-2: Zonificación del Salar de Atacama basado en la delimitación de las unidades hidrogeológicas (UH) 42
Figura 4-3: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH 44
Figura 4-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Soncor 46
Figura 4-5: Representación gráfica de las reglillas cercanas al puente San Luis 48
Figura 4-6: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana 50
Figura 4-7: Registro Fotográfico de Reglilla L5-G3 51
Figura 4-8: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este 53
Figura 4-9: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Peine 55
Figura 4-10: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo 57
Figura 4-11: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama 58
Figura 4-12: Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina 60
Figura 4-13: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este 64
Figura 4-14: Ubicación Indicadores de Estado Sistema Peine 65
Figura 4-15: Esquema conceptual de pozos de monitoreo 70
Figura 4-16: Metodología para recuperación de extensión lacustre mediante imágenes satelitales de alta resolución 80
Figura 4-17: Correlaciones CE-SDT, Densidad – CE y Densidad -SDT para las muestras colectadas desde 2016 95
Figura 5-1: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona aluvial del Sistema Soncor 116
Figura 5-2: Nivel dinámico observado (m.s.n.m.) en zona aluvial de Sistema Soncor – Pozos de extracción de agua industrial 117
Figura 5-3: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar 120
Figura 5-4: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros 124
Figura 5-5: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector oeste y sur de la laguna Chaxa 126

Figura 5-6: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros 132
Figura 5-7: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros 136
Figura 5-8: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona aluvial Sistema Soncor 139
Figura 5-9: Nivel observado (m.s.n.m.) en las reglillas del Sistema Soncor 142
Figura 5-10: Nivel observado (m.s.n.m.) del Sistema Soncor – sector Puente San Luis 145
Figura 5-11: Nivel observado (m.s.n.m.) del Sistema Soncor – niveles en las lagunas 148
Figura 5-12: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de Chaxa 150
Figura 5-13: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor 153
Figura 5-14: Resultados de calidad de agua Sistema Soncor 156
Figura 5-15: Resultados de calidad del agua en pozos de extracción Mullay-1 y Allana 158
Figura 5-16 Resultados de calidad del agua en agua superficial 161
Figura 5-17: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor 165
Figura 5-18: Caudales medidos en el punto Puente San Luis Aforo, del sistema Soncor 167
Figura 5-19: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar. 169
Figura 5-20: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa. 170
Figura 5-21: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros. 171
Figura 5-22: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona aluvial del sistema Aguas de Quelana 175
Figura 5-23: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 178
Figura 5-24: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5 182
Figura 5-25: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua 186
Figura 5-26: 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 190

Figura 5-27: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona núcleo del sistema Aguas de Quelana 192
Figura 5-28: Nivel observado (m.s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana 195
Figura 5-29: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana. 197
Figura 5-30: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana.....199
Figura 5-31: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana 202
Figura 5-32: Resultados del análisis fisicoquímico en Camar- 2, L4-10 y Socaire-5B 204
Figura 5-33: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana 206
Figura 5-34: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este 211
Figura 5-35: Nivel observado (m.s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este 214
Figura 5-36: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este 215
Figura 5-37: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo CA-2015.....218
Figura 5-38: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Vegetación Borde Este 220
Figura 5-39: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine.....223
Figura 5-40: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine 226
Figura 5-41: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine.....229
Figura 5-42: Resultados de calidad del agua en pozos del Sistema Peine 233
Figura 5-43: Resultados de calidad del agua en cuerpos lagunares del Sistema Peine 237
Figura 5-44: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine 242
Figura 5-44 (Continuación) : Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine.....243
Figura 5-45: Mapa delimitación lacustre, laguna Salada, sector Peine.....247
Figura 5-46: Mapa delimitación lacustre, laguna Saladita, sector Peine. 248
Figura 5-47: Mapa delimitación lacustre, laguna Interna, sector Peine 249
Figura 5-49: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo 252
Figura 5-50: Nivel observado (m.s.n.m.) de la reglilla del sector Vegas de Tilopozo 254
Figura 5-51: Nivel observado (m.s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo 257

Figura 5-52: Nivel observado (m.s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo 261
Figura 5-53: Nivel observado (m.s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo.....263
Figura 5-54: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de KCL 265
Figura 5-54: Resultados calidad del agua Sistema Núcleo del Salar de Atacama 267
Figura 5-56: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Núcleo 268
Figura 5-57: Nivel observado (m.s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina 271
Figura 5-58: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 a diciembre de 2023 273
Figura 5-59: Registro de CE para los pozos L4-3 y Cuña 4 a diciembre de 2023 274
Figura 5-60: Registro de CE para los pozos L10-1, Cuña 6 y Cuña 7 a diciembre 2023 275
Figura 5-61: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 281
Figura 5-62: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 281
Figura 5-63: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 282
Figura 5-64: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L1-G4 Reglilla del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 282
Figura 5-65: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes 286
Figura 5-66: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa 289
Figura 5-67: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex 293
Figura 5-67: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente.....296
Figura 5-68: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente.....296

Figura 5-69: Descensos observados (m) en el indicador de estado L7-13 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 297
Figura 5-70: 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 297
Figura 5-72: Niveles observados (m.s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine 301
Figura 5-73: Niveles observados (m.s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine 301
Figura 5-74: Niveles observados (m.s.n.m.) en el indicador de estado 1028 del Sistema Peine 302
Figura 5-75: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex 305
Figura 5-76: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana 305
Figura 5-77: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana 306
Figura 6-1: Infraestructura englobada en el sistema Soncor – Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles 311
Figura 6-2: Niveles medidos en los puntos del sector Tambillo 313
Figura 6-3: Descensos calculados de los puntos del sector de Tambillo 314
Figura 6-4: Niveles dinámicos medidos en los pozos de agua industrial del sistema Soncor 315
Figura 6-5: Descensos calculados de los puntos del sistema Soncor que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial 318
Figura 6-6: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la laguna Puilar 320
Figura 6-7 Niveles medidos en las reglillas Puilar SQM y CONAF 321
Figura 6-8 Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la laguna Puilar 322
Figura 6-9: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de medición del aforo Puente San Luis 323
Figura 6-10: Niveles medidos en las reglillas en la salida de la laguna de Chaxa 324
Figura 6-11: Niveles medidos en las reglillas del cuerpo principal de la laguna Barros Negros 325
Figura 6-12: Niveles medidos en las reglillas que se encuentran entre la laguna de Chaxa y la de Barros Negros 327

Figura 6-13: Descensos calculados en los pozos ubicados en la zona marginal más cercanos al acuífero aluvial 329
Figura 6-14: Descensos calculados en los pozos asociados al comportamiento marginal 331
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) 333
Figura 6-16: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10).....334
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) 335
Figura 6-18: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga directa del desborde de Cola de Pez 337
Figura 6-19: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga de forma indirecta del desborde de Cola de Pez 338
Figura 6-20: Niveles medidos en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 1) 340
Figura 6-21: Niveles medidos en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 2) 341
Figura 6-22: Niveles medidos en los pozos ubicados al oeste del sistema de lagunas de Soncor 343
Figura 6-23: Niveles medidos en el núcleo del sistema Soncor 345
Figura 6-24: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar 347
Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022). 348
Figura 6-26: Series de tiempo históricas de superficie lacustre zonas de desbordes de Laguna Barros Negros – Soncor. 349
Figura 6-27: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR. 350
Figura 6-28: Superficie histórica de superficie lacustre en laguna Puilar – SONCOR. Notar diferencia entre metodología de estacas perimetrales e imagen satelital o levantamiento perimetral RTK. 351
Figura 6-30: Meteorología Estación Chaxa 353
Figura 6-30: Caudal histórico de los pozos de Agua Industrial del Sistema Soncor (Zona Aluvial) 355
Figura 6-31: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-4 359

Figura 6-32: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-4 360
Figura 6-33: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-5 361
Figura 6-34: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-6 362
Figura 6-35: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-3 363
Figura 6-36: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-5 364
Figura 6-37: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L7-3 365
Figura 6-38: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-7 (L2-6) 366
Figura 6-39: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-14 367
Figura 6-40: Evolución histórica de la calidad del agua en el L1-G4 Reglilla 368
Figura 6-41: Evolución histórica de la calidad del agua en L7-G1 369
Figura 6-42: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Mullay-1 373
Figura 6-43: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana 376
Figura 6-44: Diagrama de Piper para los puntos Mullay-1 y Allana 379
Figura 6-45: Evolución histórica de la calidad del agua en canal de Burro Muerto 381
Figura 6-46: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa 384
Figura 6-47: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros 387
Figura 6-48: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Puilar 390
Figura 6-49: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor 392
Figura 6-50: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, lagunas Chaxa y Barros Negros 393
Figura 6-51: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís 394
Figura 6-52: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros 395
Figura 6-53: Infraestructura englobada en el sistema Aguas de Quelana y clasificada según comportamiento de los niveles 396
Figura 6-54: Niveles en los pozos de agua industrial del sistema Aguas de Quelana 398
Figura 6-55: Descensos calculados a partir de 2008 de los puntos del sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial 400
Figura 6-56: Descensos calculados de los puntos del sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento de transición entre la zona marginal y el acuífero aluvial 402
Figura 6-57: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del sistema Aguas de Quelana 404

Figura 6-58: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13) 406
Figura 6-59: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L3) 407
Figura 6-60: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L14) 408
Figura 6-61: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L4) 409
Figura 6-62: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L5) 411
Figura 6-63: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L13) 413
Figura 6-64: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L3) 414
Figura 6-65: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L14) 415
Figura 6-66: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L4) 416
Figura 6-67: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L5) 417
Figura 6-68: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al núcleo en el sistema Aguas de Quelana 419
Figura 6-69: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial. 420
Figura 6-70: Comportamiento anual típico de extensión lagunar entre el 2006 y 2023 empleando imágenes satelitales de alta resolución espacial. 421
Figura 6-71: Caudal bombeado del sistema Aguas de Quelana (Zona Aluvial) 422
Figura 6-72: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-3 426
Figura 6-73: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-6 427

Figura 6-74: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-8 428
Figura 6-75: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-9 429
Figura 6-76: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-12 430
Figura 6-77: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L5-3 431
Figura 6-78: Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10 432
Figura 6-79: Diagrama Piper para las muestras con balance de cargas <10% en L4-10.....435
Figura 6-80: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Camar-2 437
Figura 6-81: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Socaire-5B.....440
Figura 6-82: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B.....443
Figura 6-83: Infraestructura englobada en el sistema Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles 444
Figura 6-84: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al sistema de Vegetación Borde Este 446
Figura 6-85: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al sistema de Vegetación Borde Este 447
Figura 6-86: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del sistema Vegetación Borde Este 448
Figura 6-87: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial).....449
Figura 6-88: 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) 452
Figura 6-89: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para los puntos P2 (hasta enero de 2017) y CA-2015 (desde abril de 2017).....455
Figura 6-90: Infraestructura englobada en el sistema Peine y clasificada según comportamiento de los niveles 456
Figura 6-91: Niveles medidos en la zona aluvial del sistema Peine 458
Figura 6-92: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el núcleo 459
Figura 6-93: Niveles en las reglillas de agua superficial del sistema Peine 461
Figura 6-94: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el núcleo, para el sistema Peine 462

Figura 6-95: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022). 463
Figura 6-96: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022). 464
Figura 6-97: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022). 464
Figura 6-98: Comparación satelital de Salada (Cuerpo principal) entre 2007 y 2023 en los meses de abril. Notar expansión lagunar en dirección noroeste. 465
Figura 6-99: Comparación satelital de Saladita y Desborde Laguna Interna entre 2007 y 2023 en los meses de abril. Notar expansión lagunar en dirección noroeste, así como una reducción lagunar de Desborde Interna hacia el oeste. 467
Figura 6-100: Comparación satelital de cambios observados en sector de Saladita entre año 2007 y 2023 (meses de abril). Notar bordes difusos o límites no definidos en sector suroeste de laguna, así como zonas de expansiones discretas de superficie lacustre (líneas amarillas). 468
Figura 6-101: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-1 472
Figura 6-102: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-4 473
Figura 6-103: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1028 474
Figura 6-105: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada 477
Figura 6-106: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Saladita 480
Figura 6-107: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Interna 482
Figura 6-107: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine, con un BI>10% 484
Figura 6-108: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna 485
Figura 6-109: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine 486
Figura 6-110: Infraestructura en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de niveles 487
Figura 6-111: Descensos calculados en los puntos de la zona marginal y núcleo del sector Vegas de Tilopozo 489
Figura 6-112: Niveles medidos en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo 490
Figura 6-113: Infraestructura englobada en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles 491

Figura 6-114: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del núcleo del salar....493
Figura 6-115: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle.....494
Figura 6-116: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle. Detalle para los puntos 2040, E-101 y M1-C.....495
Figura 6-117: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde oeste del núcleo del salar 496
Figura 6-118: Niveles medidos en el sector norte del núcleo del salar 497
Figura 6-119: Descensos calculados para los puntos ubicados en el sector norte del núcleo del salar....498
Figura 6-120: Estación meteorológica KCL 6-500
Figura 6-121: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-12C.....503
Figura 6-122: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1001 504
Figura 6-123: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 1).....507
Figura 6-124: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 2).....508
Figura 6-125: Evolución histórica de perfiles de conductividad eléctrica en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) 510
Figura 6-126: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este) 514
Figura 6-127: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste).....518
Figura 6-128: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 523
Figura 6-129: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia.....524
Figura 6-130: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia.....525
Figura 6-131: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia.....526
Figura 6-132: 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.....528
Figura 6-133: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del Plan de Contingencia.....530
Figura 6-134: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del Plan de Contingencia 532

Figura 6-135: Descensos de los indicadores de Vegetación Brea-Atriplex con comportamiento asociado al acuífero aluvial, junto con sus umbrales del PC 535
Figura 6-136: Descensos de los indicadores L2-28, L3-3, L9-1 y L4-7, junto con sus umbrales del PC.....537
Figura 6-137: Niveles medidos en el 1028 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine 540
Figura 6-138: Niveles medidos en el L10-11 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine 541
Figura 6-139: Niveles medidos en el L10-4 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine 542
Figura 6-140: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia 544
Figura 6-141: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia 544
Figura 6-142: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia 545
Figura 6-143: Descenso de los indicadores L3-11 y L9-1 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del PC 545
Figura 6-144: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC 547
Figura 6-145: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC..548
Figura 6-146: Descenso del indicador L3-15, junto con sus umbrales del PC 549

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe 34
Tabla 2-2: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia 35
Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección 41
Tabla 4-2: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua 47
Tabla 4-3: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua 59
Tabla 4-4: Indicadores de Estado del Plan de Contingencia 62
Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH.....67
Tabla 4-6: Resumen de las metodologías de medición de nivel de agua subterránea 69
Tabla 4-7: Resumen de las metodologías de medición de nivel de agua superficial 72
Tabla 4-8: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura y el periodo instalado 74
Tabla 4-9: Métodos y frecuencias para la medición de la superficie lagunar en el PSAH 76
Tabla 4-10: Características generales de imágenes satelitales de alta resolución, utilizadas en los informes PSAH.....77
Tabla 4-11: Relación número serial del flujómetro con el nombre de infraestructura y el periodo instalado 83
Tabla 4-12: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura y el periodo instalado 86
Tabla 4-13: Materiales y equipos para llevar a cabo el muestreo de aguas superficiales y subterráneas ..87
Tabla 4-14: Normativas de referencia para el muestreo de aguas superficiales y subterráneas.....87
Tabla 4-15: Etapas de muestreo en puntos subterráneos y superficiales 88
Tabla 4-16: Rangos según SDT para definición de agua dulce, transición y salmuera. 94
Tabla 4-17 Clasificación de tipos fluidos en base a TSD, CE y Densidad. 95
Tabla 5-1: Detalle de la frecuencia y el responsable de las mediciones según éstas sean comprometidas o tomadas de forma voluntaria.....103
Tabla 5-2: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de ingreso a RNF.....109
Tabla 5-3: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de las comunidades ...111

Tabla 5-4: Registro de niveles zona aluvial Sistema Soncor 114
Tabla 5-5: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 116
Tabla 5-6: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar 119
Tabla 5-7: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 120
Tabla 5-8: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector este de las lagunas Chaxa y Barros Negros 122
Tabla 5-9: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 123
Tabla 5-10: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector Oeste y Sur de la Laguna Chaxa 125
Tabla 5-11: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 126
Tabla 5-12: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga Cola de Pez 128
Tabla 5-13: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 131
Tabla 5-14: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros 134
Tabla 5-15: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 135
Tabla 5-16: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector norte 137
Tabla 5-17: Registro de niveles zona núcleo Sistema Soncor 138
Tabla 5-18: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 139
Tabla 5-19: Registro de niveles en reglillas del sector Soncor 141
Tabla 5-20: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 142
Tabla 5-21: Registro de niveles en reglillas del Sistema Soncor – subsector del Puente San Luis 144
Tabla 5-22: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 145
Tabla 5-23: Registro de niveles para las lagunas del sector Soncor 147
Tabla 5-24: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 148
Tabla 5-25: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura de la estación meteorológica de Chaxa 149
Tabla 5-26: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor 152
Tabla 5-27: Resultados calidad del agua Sistema Soncor 155
Tabla 5-28: Resultados calidad del agua en pozos de extracción 157
Tabla 5-29 Resultados calidad del agua en agua superficial 160

Tabla 5-30: Resultados validación Soncor 164
Tabla 5-31: Resultados aforos manuales en el punto de Aforo Barros Negros y Puente San Luis 166
Tabla 5-32. Superficies lacustres segundo semestre 2023. 168
Tabla 5-33: Registro de niveles zona aluvial del sistema Aguas de Quelana 174
Tabla 5-34: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 175
Tabla 5-35: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2.177
Tabla 5-36: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 178
Tabla 5-37: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B 180
Tabla 5-38: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 181
Tabla 5-39: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua 184
Tabla 5-40: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 185
Tabla 5-41: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B al oeste de las lagunas difusas 188
Tabla 5-42: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 190
Tabla 5-43: Registro de niveles zona núcleo del sistema Aguas de Quelana 191
Tabla 5-44: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 192
Tabla 5-45: Registro de niveles en reglillas del sector Aguas de Quelana 194
Tabla 5-46: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 195
Tabla 5-47: Superficie lacustre para el segundo semestre del 2023 en Aguas de Quelana. 196
Tabla 5-48: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana 199
Tabla 5-49: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana 201
Tabla 5-50: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo SOCAIRE-5B, Camar-2 y L4-10.....203
Tabla 5-51: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana 205
Tabla 5-52: Registro de niveles zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este 209
Tabla 5-53: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 210
Tabla 5-54: Registro de niveles zona marginal del sistema Vegetación Borde Este 212
Tabla 5-55: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 213

Tabla 5-56: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este.....215
Tabla 5-57: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015.....217
Tabla 5-58 Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este. 219
Tabla 5-59: Registro de niveles zona marginal del Sistema Peine 222
Tabla 5-60: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 223
Tabla 5-61: Registro de niveles zona núcleo del Sistema Peine.....225
Tabla 5-62: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 226
Tabla 5-63: Registro de niveles para las lagunas del sector Peine 228
Tabla 5-64: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 228
Tabla 5-65: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine.....231
Tabla 5-66: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine. 235
Tabla 5-67 Resultados de la validación en el sistema Peine. 240
Tabla 5-68: Resultados aforos manuales Saladita y Salada 244
Tabla 5-69: Resultados aforos manuales en el punto de Aforo Barros Negros y Puente San Luis.....245
Tabla 5-70: Superficies Lacustres segundo semestre 2023 Peine.....246
Tabla 5-71: Registro de niveles zona marginal del sector Vegas de Tilopozo 251
Tabla 5-72: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 252
Tabla 5-73: Registro de niveles en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo 253
Tabla 5-74: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 253
Tabla 5-75: Registro de niveles alejado de la zona productiva del núcleo 256
Tabla 5-76: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 257
Tabla 5-77: Registro de niveles próximos a la zona productiva del núcleo 259
Tabla 5-78: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 260
Tabla 5-79: Registro de niveles al norte de la zona productiva del núcleo.....262
Tabla 5-80: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 262
Tabla 5-81: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura en la estación meteorológica de KCL 264
Tabla 5-82: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama.....266
Tabla 5-83: Registro de niveles en pozos para el seguimiento la cuña salina.....270

Tabla 5-84: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 271
Tabla 5-85: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno 276
Tabla 5-86: Estado del Plan de Contingencias 278
Tabla 5-87: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 280
Tabla 5-88: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes 285
Tabla 5-89: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del 288
Tabla 5-90: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este-Vegetación Brea-Atriplex 291
Tabla 5-91: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con los umbrales correspondientes 295
Tabla 5-92: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado del Sistema Peine 300
Tabla 5-93: Indicadores de estado adicionales al Plan de Contingencias 303
Tabla 5-94: Descenso observado (m) en pozos adicionales de contingencia del PC Sistema Borde Este .304

LISTADO DE E ANEXOS

Nombre Anexo		Tipo documento
Anexo 1	RESPONSABLES Y PARTICIPANTES	pdf
Anexo 2	CATASTRO INFRAESTRUCTURAS	pdf
Anexo 3	METODOLOGIAS	
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 4	COMUNICACIONES, ORDINARIOS Y RESOLUCIONES	pdf
Anexo 4.1	Ingreso a Reserva Nacional Los Flamencos	
Anexo 4.2	Gestión ingreso a Sistema Peine	
Anexo 4.3	Gestión de ingreso a Tambillo	
Anexo 4.4	Cartas de activación de fases	
Anexo 4.5	Comunicaciones varias	
Anexo 5	NIVEL AGUA SUBTERRÁNEA y SUPERFICIAL	
Anexo 5.1	Informes ETFAS	pdf
Anexo 5.2	Niveles formato RES.894	.xls
Anexo 6	CALIDAD QUÍMICA	

Anexo 6.1	Informes ETFA	pdf
Anexo 6.2	Calidad de Agua resultante formato RES. 894	pdf
Anexo 7	CAUDAL AGUA INDUSTRIAL *(formato RES. 894)*	.xls
Anexo 8	CAUDAL AGUA SUPERFICIAL *(formato RES. 894)*	.xls
Anexo 9	VARIABLES METEOROLOGICAS	
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	ESTRATIGRAFIA Y HABILITACIÓN DE PIEZÓMETROS Y POZOS	pdf
Anexo 12	INDICADORES, UMBRALES Y MEDIDAS APLICABLES AL SISTEMA PEINE	pdf
Anexo 13	WORKSPACE PROYECTO GIS	.gis

1 RESUMEN

El presente informe expone y reporta los resultados del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) que se realiza en el Salar de Atacama, para el período de julio a diciembre de 2023, de acuerdo con los compromisos establecidos en el proyecto "Cambios y Mejoras de la operación Minera en el Salar de Atacama" calificado favorablemente mediante la Resolución Exenta Nº226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta (en adelante RCA N°226/2006), cuyo titular es SQM Salar S.A. Dichos compromisos han sido actualizados y ampliados en el Programa de Cumplimiento (PdC) en el marco del procedimiento sancionatorio Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) [1]. Dicho documento fue aprobado el 29 de agosto de 2022, mediante la Res. Ex. Nº38/ROL F-041-2016.

En este informe se presentan tanto los registros obtenidos en el semestre antes referido del PSAH, así como un análisis de las tendencias históricas para cada uno de los sistemas ambientales objeto del seguimiento ambiental hidrogeológico a partir de la información levantada. En particular, se presentan los registros y análisis de los parámetros hidrogeológicos observados, correspondientes a: nivel de la napa de salmuera y de agua dulce, nivel y superficies lacustres, parámetros meteorológicos (precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura), características fisicoquímicas de las aguas, mencionadas desde ahora por su variable de calidad química permitiendo definir los parámetros fisicoquímicos en términos generales. Además, se presentan los registros y análisis de caudal bombeado de agua dulce y caudal de recarga superficial a sistemas lacustres, los cuales quedaron establecidos en el considerando 10.2 de la RCA N°226/2006. De acuerdo con el considerando 10.2.7 de la RCA Nº226/2006, los resultados del caudal bombeado de salmuera se entregan a la autoridad ambiental en un informe anual independiente.

[1] Asimismo, a la fecha de presentación de este informe, la Superintendencia del Medio Ambiente alzo las medidas provisionales a través de Resolución Exenta N°187/2022, de 25 octubre de 2022.

Las mediciones y acciones consideradas en el PSAH están orientadas 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. Además, toda la información recopilada en el marco del PSAH sirve para nutrir las actualizaciones bienales del Modelo Numérico Hidrogeológico mediante el cual se evaluó el proyecto.

Los sistemas y sectores considerados en el PSAH del titular son los siguientes:

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

Adicionalmente, y según lo comprometido en la RCA de referencia, se ha realizado el monitoreo de la Cuña Salina.

El PSAH está constituido por 225 puntos de monitoreo, que se desglosan de la siguiente manera:

- 196 pozos para el seguimiento de las aguas subterráneas;
- 5 pozos de bombeo de agua industrial[2];
- 18 reglillas para el seguimiento de agua superficial;
- 4 estaciones de aforo de agua superficiales;
- 2 estaciones meteorológicas.

[2] Cabe decir que, de entre los 5 pozos de bombeo mencionados, el pozo Camar-2 fue deshabilitado en junio de 2021, conforme a lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar y lo comprometido en la propuesta de programa de cumplimiento formulada con fecha 29 de septiembre de 2021, en el proceso rol F-041-2016. No obstante, se mantiene este pozo como punto de medición de nivel y calidad, asociado al PSAH para el Sistema Aguas de Quelana, conforme a la Tabla 6 de la RCA 226/2006.

La dinámica de los sistemas hidrogeológicos del Salar de Atacama depende principalmente del balance hídrico y de la actividad antrópica en las distintas unidades acuíferas presentes en el sector donde se ubica el proyecto. Sin desmedro de lo anterior, esta dinámica también puede verse influenciada por fenómenos locales identificados en la cuenca.

Las estructuras hidrogeológicas asociadas al proyecto de SQM en la cuenca de Salar de Atacama son las siguientes:

- Acuífero aluvial del Borde Este del Salar
- Reservorio de salmuera del Núcleo

En la zona marginal del Salar de Atacama convergen los flujos subterráneos provenientes de las zonas altas de la cuenca que fluyen a través del acuífero aluvial hasta llegar al límite del núcleo del Salar. El contacto entre los dos tipos de fluido se da en la zona marginal del Salar debido al contraste de densidades entre la salmuera y el agua dulce/salobre; esta última asciende produciendo una somerización de los niveles freáticos hasta la superficie del terreno y originando la formación de distintos sistemas lagunares y/o humedales, potenciando así la descarga por evaporación.

Cabe señalar que la mayoría de los puntos de medición del PSAH se ubican en la zona marginal, justamente donde se encuentran los sistemas ambientales que son objeto de protección. Por otra parte, los caudales de bombeo de salmuera asociados al proyecto se diseñaron de manera que las extracciones no afectaran a los sistemas objeto de protección.

Como se señaló anteriormente, uno de los objetivos del PSAH es proveer información para operar el PC, el cual está orientado a dar una respuesta pronta y oportuna frente a desviaciones no previstas según lo definido originalmente. El PC establecido con motivo del EIA del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, se sustenta en los resultados de más de 15 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 2007) a la fecha.

El PC tiene como objetivo establecer un área de control alrededor de los sistemas de lagunas y en los sectores de vegetación en el Borde Este, que consta de piezómetros o reglillas indicadores de estado, ubicados a cierta distancia de estos sistemas objeto de protección. Estos indicadores tienen asociada la activación del PC en una o dos fases, cada una con sus respectivas acciones de control principales:

Fase I: Alerta Temprana → aumento de la frecuencia de medición

Fase II: Medidas de Contingencia → reducción de extracción de agua/salmuera

En las secciones 5.2 y 6.2 se evalúan los resultados obtenidos y se describen las acciones implementadas en el periodo reportado en cumplimiento del Plan de Contingencia. Este análisis se presenta para cada uno de los sistemas que se busca proteger. Para ello, se identifican los elementos a proteger, el tipo de seguimiento y el comportamiento para cada uno de los sistemas y sectores que conforman el PSAH.

Cabe señalar que, de acuerdo con los compromisos propuestos en el PdC, a partir de diciembre de 2018 la frecuencia de medición de los indicadores de estado del PC pasó de mensual a diaria, salvo respecto de los indicadores ubicados dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (sectores Aguas de Quelana y Sistema Hidrológico de Soncor[3]). Para el caso de los indicadores que están dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos, la frecuencia de monitoreo se ajusta a lo indicado en el Protocolo de ingreso aprobado por la Resolución N.º 56/2019 de CONAF y comunidades de cada sector ambiental.

Cabe señalar que desde el segundo semestre de 2022 y, por tanto, lo que aplica al presente semestre a reportar (segundo semestre de 2023) se han empezado a establecer restricciones de ingreso a otros sectores de la cuenca por parte de las comunidades que reclaman el control de ciertas áreas del territorio. Actualmente se tiene que las comunidades Camar, Coyo, Socaire, Soncor, Solor, Peine, Talabre y Toconao que, sumado a los polígonos RNF, llevan a disponer de acceso restringido entre todas a la totalidad de la

[3] Acción 5 del PdC Refundido, aprobado el 29 de agosto de 2022, según RES. EX. Nº38/ROL F-041-2016. La disminución de caudal responde a activaciones en Peine y Aguas de Quelana

superficie de los sistemas (Soncor, Aguas de Quelana, Borde Este, Peine y Tilopozo), incluso, incluyendo zonas de Núcleo.

Así, SQM ha mantenido canales de comunicación con cada uno de estos actores con el objetivo de solicitar los permisos necesarios que permitan el monitoreo ambiental de los sistemas. Se remarca que esta nueva dinámica ha reducido las opciones de SQM para poder alcanzar a realizar las acciones necesarias para el cumplimiento de los distintos compromisos ambientales.

Finalmente, conforme a lo establecido en el PdC, a partir de octubre de 2018, SQM incluye en el PC provisorio del Sistema Peine 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", aprobado mediante RCA N°21/2016, junto con los indicadores de estado de SQM, 1028, L10-11 y L10-4. La consideración de los dos primeros indicadores en los informes del PSAH está condicionado al aviso de activación por parte de la SMA a SQM. Así, para el actual periodo reportado, se ha producido el aviso de activación de Fase I del indicador PN-08A a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-051 con fecha de notificación a SQM el dia 20 de diciembre de 2023. Esto implica, que el informe de Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico (HVES) por umbral de Fase I será entregada 6 meses posterior al aviso de activación, vale decir, sus resultados podrán ser discutidos en el siguiente PSAH N°35, el que, actualiza el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico durante el primer semestre 2024.

A modo de resumen, para el presente periodo reportado (julio a diciembre de 2023) se registró activación de Fase II durante noviembre en los indicadores L1-4 y L5-10 y activación de Fase I del indicador L2-28, durante noviembre 2023.

Durante el inicio del primer semestre de 2023 se verificó la desactivación de Fase II del indicador del L1-4, estado que perduro hasta mayo de 2023, ya que, en noviembre de 2023, periodo de este reporte, se vuelve a activar Fase II, manteniéndose en esta condición hasta el final del año 2023. Cabe decir que este indicador se definió como alerta de la actividad extractiva de agua en el acuífero aluvial, pero según la ubicación de este punto, éste se encuentra desconectado hidráulicamente del acuífero aluvial.

En el Sistema Aguas de Quelana se produjo la activación de Fase I del indicador L5-10 durante marzo de 2023, desactivando esta fase temporalmente durante julio. La estabilización de su pendiente de descensos permitió la activación de Fase I a finales de agosto de 2023, activando finalmente Fase II durante octubre de 2023. Esta tendencia de descensos continua hasta el final del semestre reportado.

En el mismo sistema, el indicador L4-12 ha activado Fase I durante diciembre de 2023, situación comunicada a través de la carta GMAL 503/2023, en la que se detalla que, a partir del día 12 de diciembre de 2023 han sucedido diversas alertas generadas por los datos de niveles continuos y manual, las cuales reflejan la situación de activación y desactivación de la Fase I ocurridas durante el mismo día.

En el sistema Vegetación Borde Este - Vegetación Brea-Atriplex se contabilizan 2 indicadores de estado que se han mantenido con la Fase I activada de forma continua durante los últimos años y durante el periodo a reportar, sin embargo, en ningún caso se logra alcanzar la Fase II, estos indicadores, corresponden a L7-6 y L2-28. Ahora bien, durante abril de 2023 el pozo L1-3 activa Fase I, manteniendo este estado hasta el periodo reportado.

Por otro lado, todos los indicadores de estado del sistema Vegetación Borde Este-Hidromorfa y los indicadores de Alerta Temprana se han mantenido sobre el umbral de Fase I, vale decir, estos indicadores se encuentran sin activación de Fase.

Respecto del sistema Peine, durante este semestre se mantiene la activación de Fase I de los tres indicadores ocurrida en mayo de 2023 de 1028 y L10-11 y en junio de 2023 del indicador L10-4. Según el PdC, se requiere la elaboración de un informe a los seis meses de cada activación que aplique la Herramienta de Verificación de Efecto Sinérgico (HVES). De estos informes resultantes, se ha obtenido que la mayor parte de la contribución de los descensos que han generado dichas activaciones vendría por parte de la extracción de SQM, alrededor del 80% y el 20% restante (aproximadamente) sería producto de la extracción de Albermale.

A continuación, se detalla de forma resumida la situación de cada indicador mencionado:

i. **L1-5 (Sistema Soncor):** Produjo la activación de Fase II en abril de 2021 y se ha mantenido en la misma situación durante el periodo en reporte.

ii. **Reglilla L1-G4 (Sistema Soncor):** Produjo la activación de Fase II en abril de 2021 y se ha mantenido en la misma situación durante el periodo en reporte.

iii. **L1-4 (Sistema Soncor):** Se produce la activación de Fase I durante mayo 23 manteniendo su descenso hasta activar Fase II durante noviembre de 2023.

iv. **L5-10 (Sistema Aguas de Quelana):** Se produjo la activación de Fase I en marzo de 2023, desactivando dicha fase durante julio para volver a activar durante agosto de 2023. Luego, en octubre de 2023 se activa Fase II manteniendo su activación hasta el final del periodo en reporte.

v. **L4-12 (Sistema Aguas de Quelana):** Activa Fase I durante enero de 2023 y se produce su desactivación durante febrero 2023 permaneciendo en este estado hasta el 12 de diciembre de 2023 donde se reactiva Fase I, niveles se han mantenido en Fase I hasta el final del periodo en reporte.

vi. **L7-6 (Sistema Borde Este – Vegetación Brea Atriplex):** Activó la Fase I en junio de 2015 y así se ha mantenido durante todo el periodo en reporte.

vii. **L1-3 (Sistema Borde Este – Vegetación Brea Atriplex)**: Activó la Fase I en noviembre de 2019, desactivando Fase I durante marzo de 2023. Este indicador volvió a activar Fase I durante abril de 2023 y así se ha mantenido hasta el cierre del semestre en reporte.

viii. **L2-7 (Sistema Borde Este – Vegetación Brea Atriplex)**: Activó la Fase I en diciembre de 2019 y ha salido de Fase I durante febrero de 2023, manteniéndose en este estado hasta el final del segundo semestre de 2023.

ix. **L2-28 (Sistema Borde Este – Vegetación Brea Atriplex)**: En noviembre de 2020 activó la Fase I y desactiva Fase I (temporalmente) a finales de septiembre 2023, sin embargo, vuelve a activar Fase I durante noviembre 2023, manteniéndose así hasta el cierre del semestre.

x. **L10-11 (Sistema Peine):** Mantiene Fase I activa desde mayo de 2023 y continua hasta el final del semestre en reporte.

xi. **1028 (Sistema Peine):** Mantiene Fase I activa desde mayo de 2023 y continua hasta el final del semestre en reporte.

xii. **L10-4 (Sistema Peine):** Mantiene Fase I activa desde junio de 2023 y continua hasta el final del semestre en reporte.

El resto de las variables monitoreadas (niveles en el resto de la red PSAH, calidad, caudal de agua superficial, extensión lagunar y cuña salina) muestra un comportamiento estable, sin presentar variaciones relevantes, salvo situaciones puntuales que no reflejarían un comportamiento de tendencia de largo plazo del sistema. Ello lleva a concluir que los objetos de protección se encuentran dentro de su variabilidad natural, dentro de lo esperado. Esto viene reforzado también por los análisis que se han realizado durante este periodo en respuesta a las activaciones del PC.

A continuación, se sintetizan los principales resultados, análisis y conclusiones obtenidas para los distintos sistemas y sectores que conforman el PSAH.

2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe N°34 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (en adelante PSAH) y tiene por objeto analizar y reportar la información recolectada durante el segundo semestre de 2023 (periodo entre julio - diciembre de 2023), de acuerdo a los compromisos ambientales derivados de la Resolución de Calificación Ambiental (en adelante RCA Nº226/2006), que calificó favorablemente el proyecto "Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama", cuyo titular es SQM Salar S.A. (en adelante e indistintamente, SQM o SQM Salar). El compromiso deriva específicamente de los considerandos 10.2 y 11.1 de la RCA Nº226/2006.

El presente PSAH considera la medición de las variables ambientales relativas a la componente ambiental agua, las cuales reflejan el comportamiento hidrogeológico del sistema, así como la variable meteorología. Entre los parámetros de medición se encuentran nivel del agua y salmuera subterránea, nivel de cuerpos de agua superficial, calidad química de los acuíferos y cuerpos superficiales, caudal de canales afluentes y/o efluentes de cuerpos de agua, superficies lacustres, caudales de bombeo de agua industrial y parámetros meteorológicos (precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura).

Tal y como establece la RCA Nº226/2006, se define el Plan de Contingencia (en adelante PC), que consta de un grupo de indicadores de estado, obtenidos de entre los puntos de la red de monitoreo de niveles subterráneos de los sistemas Soncor, Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este, en los que se han definido umbrales en forma de nivel o descenso máximos. El objetivo de este sistema de alarma es prevenir posibles efectos adversos sobre los sistemas ambientalmente sensibles producto de la actividad extractiva definida en el proyecto. 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 son los siguientes:

i. Definir y aplicar indicadores de estado, umbrales de activación y medidas de control a implementar 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 Planes de Contingencia de los sistemas Soncor, Aguas de Quelana, Vegetación Borde Este y Peine[4].

El Decreto Supremo N°38/2013 del Ministerio del Medio Ambiente establece que todas las actividades de muestreo, medición y/o análisis que reporten los Titulares de actividades o fuentes reguladas por la SMA, aquellas actividades con frecuencias menores a diarias deberán ser ejecutadas por una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (en adelante ETFA) con autorización vigente, y aquellas diarias o con mayor frecuencia corresponde medir por el mismo titular. Para dar cumplimiento al decreto mencionado, y de acuerdo con la Res. Ex. Nº 574 de 2022[5], para el período objeto del presente reporte (segundo semestre de 2023), las mediciones de nivel y caudal efectuadas con frecuencias menores a diarias han sido realizadas por la ETFA SEGEA y las mediciones diarias de nivel han sido realizadas por personal de SQM. Por su parte, los muestreos y medición de in-situ es realizada por la ETFA SEGEA, mientras que el análisis de calidad del agua en laboratorio fue realizado por la ETFA ALS Environmental.

Respecto a lo recién mencionado y a efectos de dar cumplimiento en particular a los nuevos requerimientos establecidos en la Res. Ex. N.º 573/2022 (ver sección 4.4), el principal cambio en que se traduce la aplicación de esta nueva normativa que resulta en la definición del responsable de la medición (entre el titular y la ETFA) en función de la variable y la frecuencia comprometida de cada caso. Dichos cambios se especifican en el Capítulo 4.4 del presente informe, referido a los parámetros para caracterizar las variables ambientales.

Por otro lado, tal y como ha sido reportado en informes anteriores, en diciembre de 2018 finalizó el convenio CONAF-SQM, establecido en la RCA N°226/2006, mediante el cual CONAF se comprometía a compartir información relativa a mediciones de nivel de agua superficial, extensión lacustre y calidad

[4] Para el caso de los indicadores que están dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (sectores Aguas de Quelana y Sistema Hidrológico de Soncor), la frecuencia de monitoreo se ajustará a lo indicado en el Protocolo de ingreso aprobado por la Resolución Nº 56 de junio de 2019 de CONAF.

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

química de las aguas en las lagunas Barros Negros, Chaxa, Puilar y canal de Burro Muerto. Las mediciones comprometidas en el marco de dicho convenio fueron asumidas por SQM, mediante la contratación de la una entidad ETFA para el caso de calidad. Para el segundo semestre del 2023 se contrató a la empresa SEGEA para el muestreo de dichas lagunas.

Un antecedente relevante asociado a la ejecución del PSAH y que condiciona el resultado del monitoreo es la restricción de acceso a las zonas que forman parte de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF). Precisamente mediante Resolución N°56/2019, CONAF[6] 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. A pesar de haber contado con autorizaciones en todos los meses del periodo reportado, 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.

En la Tabla 2-1 se presentan los responsables de las actividades ejecutadas durante el segundo semestre de 2023 y que se reportan a través del presente informe. Adicionalmente en el Anexo 1, se listan las personas participantes e involucradas en cada actividad.

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

Responsable y participantes	Actividad realizada
SQM Salar S.A.	Mediciones continuas de nivel freático y superficial, caudales continuos de pozos de agua industrial y perfiles de conductividad eléctrica. Mediciones en campo de parámetros fisicoquímicos[7] Mantención y descarga de datos de estaciones meteorológicas
SEGEA	Mediciones de nivel freático y nivel de agua superficial (incluidos los puntos del ex convenio CONAF-SQM). Caudales superficiales. Muestreo de aguas, medición de parámetros de campo

[6] 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.

[7] Mediciones complementarias a las efectuadas por las ETFAS.

Responsable y participantes	Actividad realizada
ALS Environmental S.A.	Análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio
SRGIS	Procesamiento de imágenes satelitales y cálculo de extensión lagunar derivado
ATYGEO	Levantamiento de puntos de control para procesamiento de imágenes satelitales. Actividades en terreno para obtención RTK y cálculo extensión lagunar derivado. Actividades en terreno para levantamiento de estacas perimetrales y cálculo extensión lagunar derivado, en el marco de ex convenio CONAF-SQM.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo requerido por la SMA mediante el Ord. MZN N°418/2016, en la Tabla 2-2 se indican las fechas aproximadas de entrega de los siguientes informes del PSAH indicándose, además, el número del informe en que correspondía realizar la revisión del Plan de Contingencia, 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, en el presente anterior (PSAH N°33) y el actual no contienen una revisión del Plan de Contingencias. Esta accion l se efectuará en profundidad en el marco de la evaluación del EIA.

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

Número de Informe	Actualizado a:	Fecha de entrega	Observaciones
Informe PSAH N° 33	Jun-23	oct-23	Revisión del Plan de Contingencia, según el Cons. 11.1 de RCA Nº226/2006. Sin embargo, se efectuara en el marco EIA 2022.
Informe PSAH N° 34	dic-23	abr-24	Actual informe
Informe PSAH N° 35	Jun-24	oct-24	Puede sufrir modificaciones en fecha de entrega propuesta
Informe PSAH N° 36	dic-24	abr-25	Puede sufrir modificaciones en fecha de entrega propuesta

Fuente: Elaboración propia.

3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (PSAH)

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

El PSAH posee las siguientes características:

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

En particular, el presente informe tiene como objetivo presentar y analizar los resultados del PSAH durante el periodo julio a diciembre de 2023.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se presenta la descripción de la zona de estudio, la ubicación de las infraestructuras de monitoreo y de los puntos de muestreo, los parámetros que se miden para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales, las metodologías y materiales utilizados en las labores de muestreo, medición y/o análisis de cada parámetro, 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

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el PSAH contempla mediciones en siete sistemas y/o sectores del salar de Atacama; en la Figura 4-1 se ubican respecto la cuenca del Salar de Atacama y se describen con más detalle a continuación:

- **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. Esta última laguna mencionada es la laguna terminal del sistema, y los excedentes que recibe son vertidos en zonas de desbordes

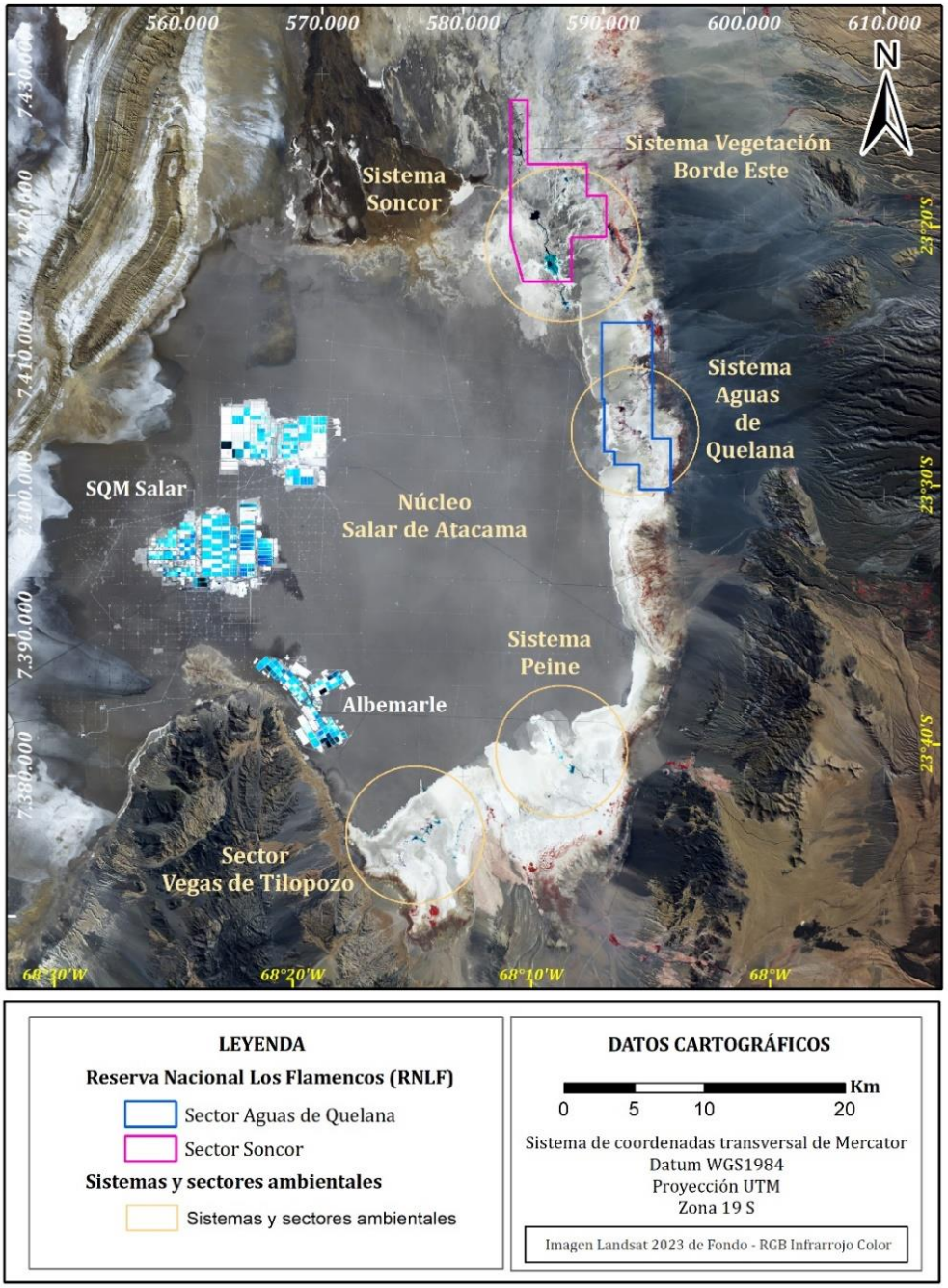
colindantes a la laguna a través de 2 puntos principales: uno ubicado al oeste de la laguna (conocido como Cola de Pez) y el otro al extremo sur de la misma (conocido como Desborde sur).

- **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 hacia el oeste, alcanzando incluso el límite con el núcleo del Salar.
- **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 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 (ambos definidos como objeto de protección en la RCA). 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 núcleo del Salar de Atacama** corresponde al punto más bajo de la cuenca del Salar de Atacama, compuesto principalmente por materiales evaporíticos donde se ha desarrollado un acuífero salino del cual SQM y otros titulares extraen salmuera.

- **Cuña salina** se define a partir de una zona de mezcla entre fluidos que presentan contraste de densidad, esta se debe a la interacción que ocurre entre el agua que fluye hacia el Núcleo del Salar desde la zona aluvial con la salmuera que se encuentra almacenada en las unidades hidrogeológicas del núcleo, el contacto entre estos tipos de fluido ocurre en la unidad hidrogeológica zona marginal. Asimismo, la red de monitoreo de la cuña salina consta de 9 puntos de monitoreo, distribuidos en tres perfiles. En cada sector, los puntos de monitoreo se distribuyen formando una línea en el sentido del gradiente de concentraciones y a una distancia aproximada de 1.500 m entre uno y otro, con la finalidad de observar las posibles variaciones de la profundidad, pendiente y forma de la cuña salina[8].

[8] Este seguimiento 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 4-1.

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



Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de enero de 2022

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

Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección

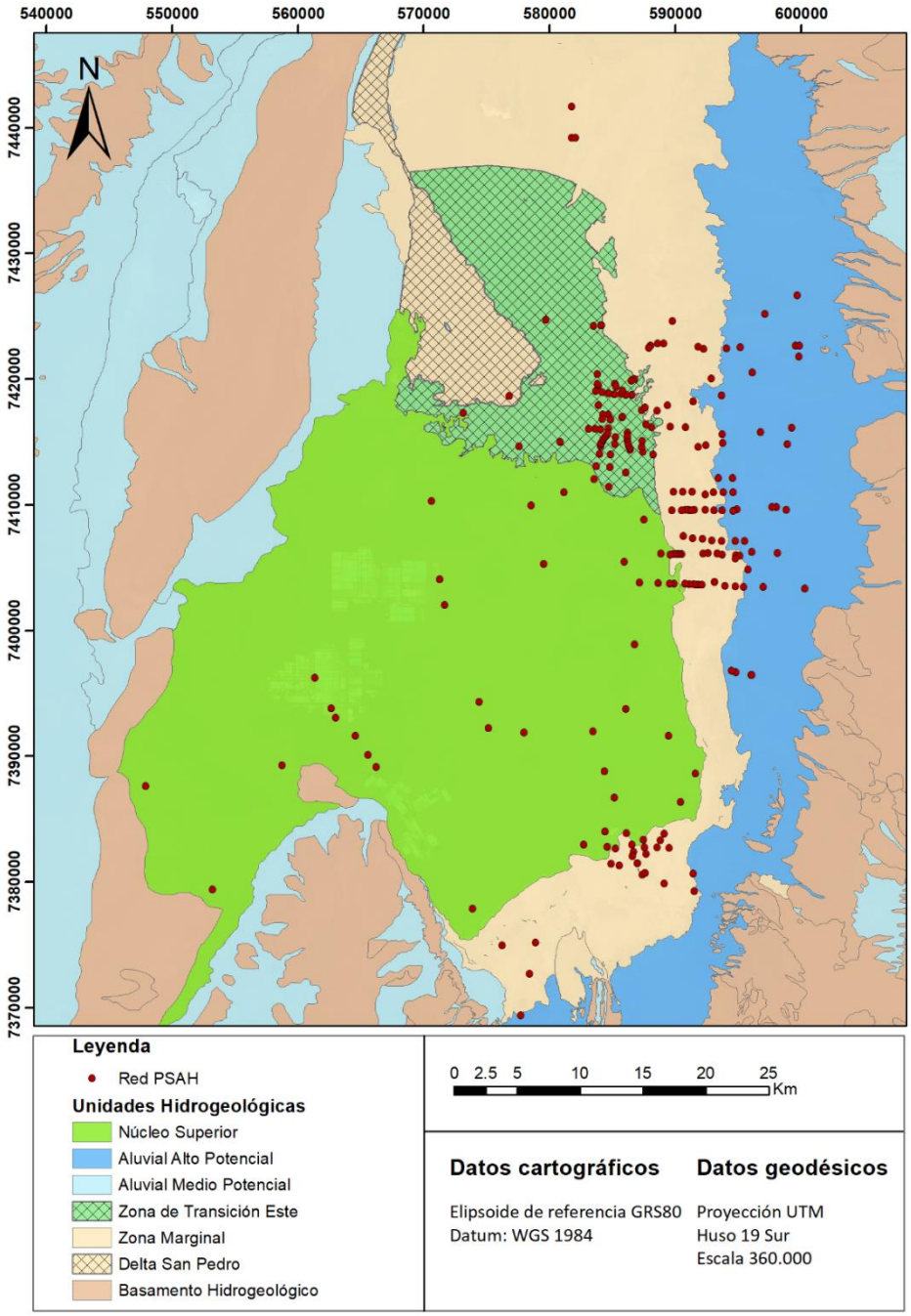
Sistema	Objetos de protección
Soncor	Lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros
Aguas de Quelana	Cuerpos lacustres dispersos y de dimensiones variables
Peine	Lagunas Salada, Saladita y Desborde Interna
Vegetación Borde Este	Zona de Vegetación hidromorfa Zona de vegetación Brea-Atriplex conectada con el acuífero

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-1 se muestran los polígonos que delimitan en la zona marginal la Reserva Nacional Los Flamencos, sectores Soncor y Aguas de Quelana.

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

Figura 4-2: Zonificación del Salar de Atacama basado en la delimitación de las unidades hidrogeológicas (UH)



Fuente: Elaboración propia

4.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS O ÁREAS DE MONITOREO

El PSAH contempla un total de 225 puntos de monitoreo, de los cuales 73 corresponden a puntos de monitoreo existentes y con registros previos a la RCA 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. 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[9] de los límites de las lagunas son variable en el tiempo a escala de años y, en algunos casos, estos puntos forman parte de más de uno de los sistemas objeto de protección.

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

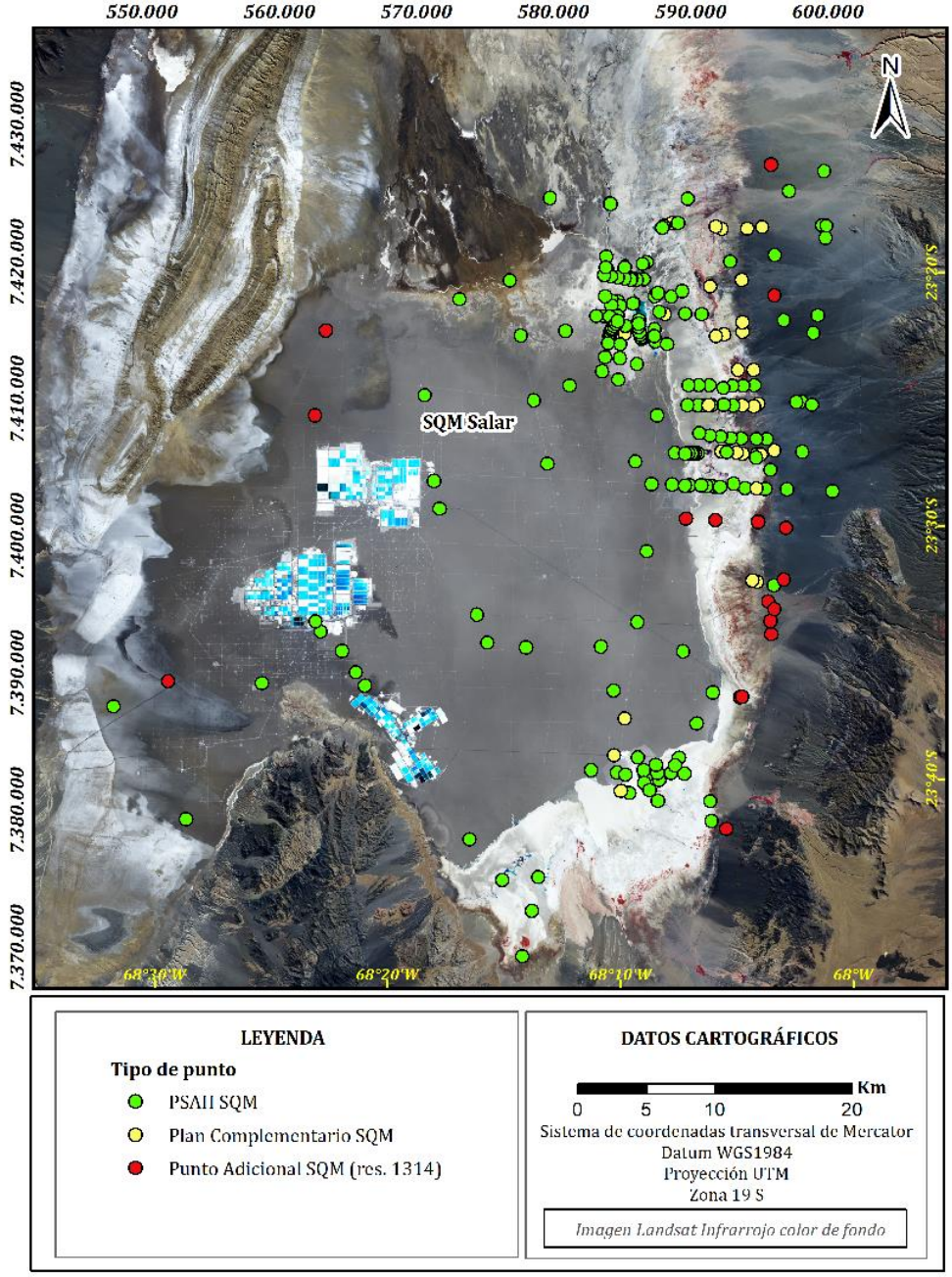
- 196 pozos de monitoreo de nivel de agua/salmuera subterránea
- 5 pozos de bombeo de agua industrial[10]
- 18 reglillas para la medición del nivel de agua superficial
- 4 estaciones de aforo de flujos de agua superficiales
- 2 estaciones meteorológicas

La ubicación de los puntos de monitoreo que conforman el PSAH se muestran en el mapa de la Figura 4-3, donde se diferencia por color los sistemas objeto del PSAH del proyecto. Las coordenadas presentadas corresponden a las obtenidas en la campaña de levantamiento topográfico de detalle realizada el año 2007, de acuerdo con el considerando 10.2.1 de RCA Nº226/2006. Dichas coordenadas se levantaron en proyección UTM Huso 19S, considerando datum WGS 1984 y elipsoide de referencia GRS80.

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

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

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



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

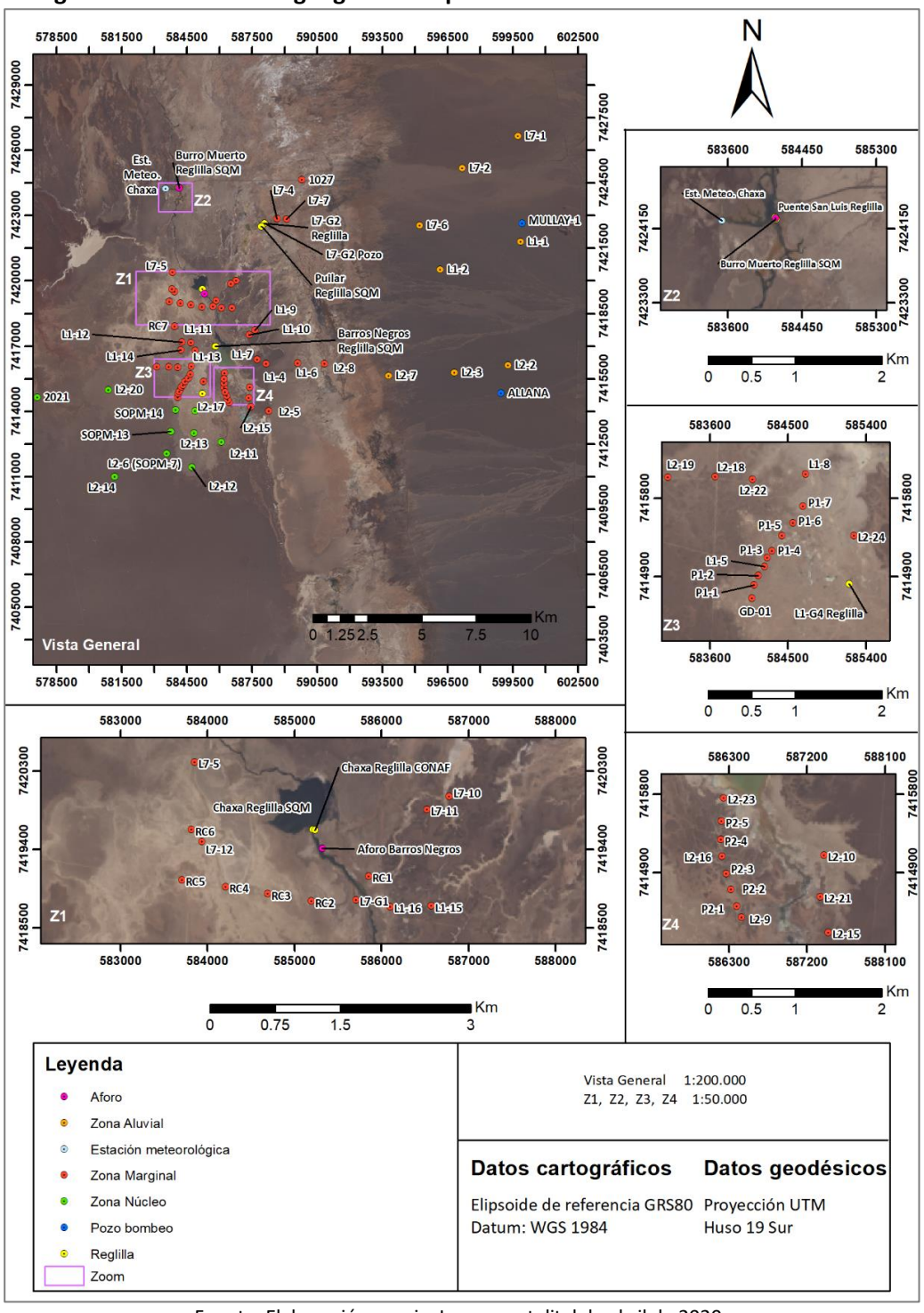
4.3.1 SISTEMA SONCOR

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

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

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

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



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

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

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

Nombre grupo parámetros	Parámetros incluidos
Calidad 1	Densidad, Sólidos Totales, Sólidos 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

Fuente: Elaboración propia.

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

A modo explicativo, en la

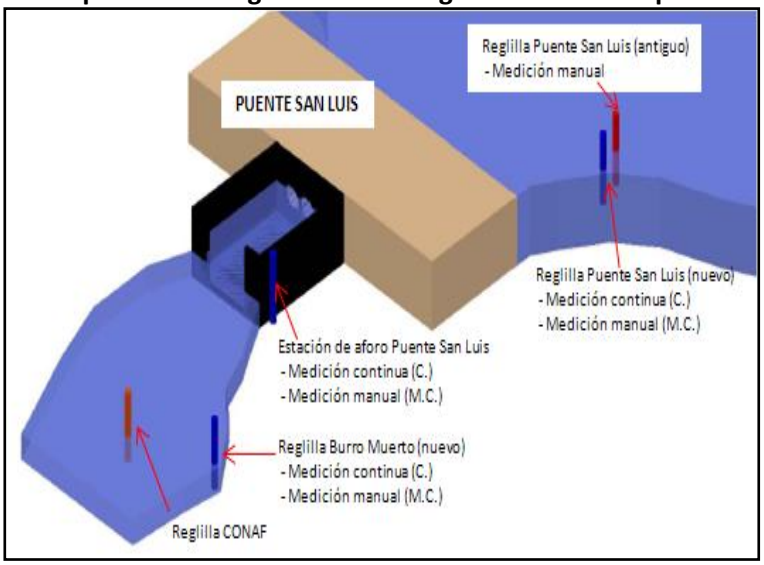
Figura 4-5 se presentan las reglillas y aforos instalados en el entorno del puente San Luis (

Figura 4-5):

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 actualmente para soportar el transductor de presión que registra niveles de manera continua (se realizan además mediciones manuales en este punto), desde septiembre de 2007 hasta la actualidad.
ii. **Aforo puente San Luis**: corresponde a la medición que se realiza en la estación de aforo (estación de aforo Puente San Luis) y que presenta mediciones manuales y continuas que se realizan 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 SALAR S.A. 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. Este informe, detallado en el Anexo 4.5, destaca los cambios naturales en la descarga de la Laguna Barros Negros y su influencia en las mediciones en la reglilla L1-G4. Inicialmente, la instalación de la reglilla tenía como objetivo registrar la profundidad de un encharcamiento aislado, pero ha dejado de ser un indicador eficaz debido a las variaciones en la descarga de la laguna. El informe explica cómo han evolucionado las mediciones en el punto Reglilla L1-G4 desde marzo de 2000 hasta la fecha, identificando cinco períodos caracterizados por fluctuaciones en los niveles de agua. Las reducciones en la amplitud de estas fluctuaciones señalan posibles cambios en el equilibrio hídrico del sistema Soncor, influenciados por factores naturales y no necesariamente vinculados con las extracciones de salmuera de SQM.

Es importante mencionar que la Reglilla L1-G4, originalmente establecida como indicador del estado del sistema Soncor según RCA 226/2006 para medir el agua superficial en la zona de desborde de Barros Negros, enfrenta un nuevo desafío debido al descenso de los niveles de salmuera en el área circundante. Ante la disminución del nivel de agua superficial, se ha decidido excavar el punto para permitir que la reglilla registre el nivel freático, ofreciendo así una alternativa para mantener el monitoreo de los niveles de agua. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que, a pesar de la excavación, el punto sigue estando seco en la superficie, lo que indica que la reglilla está midiendo agua subterránea, al igual que el pozo que lleva el mismo nombre. Este ajuste garantiza la continuidad en la medición de los niveles como indicador del estado del sistema, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno.

En respuesta a estos cambios, SQM ha modificado su estrategia de monitoreo, reemplazando la reglilla por un piezómetro que mide la profundidad del nivel de salmuera subterránea. Este cambio subraya el compromiso de SQM con un monitoreo preciso y la preservación del ecosistema del Salar de Atacama, ajustándose a los cambios ambientales para cumplir con sus compromisos medioambientales.

En resumen, el memorándum revela cómo los cambios naturales en la descarga de la laguna han motivado ajustes en las prácticas de monitoreo de SQM.

4.3.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

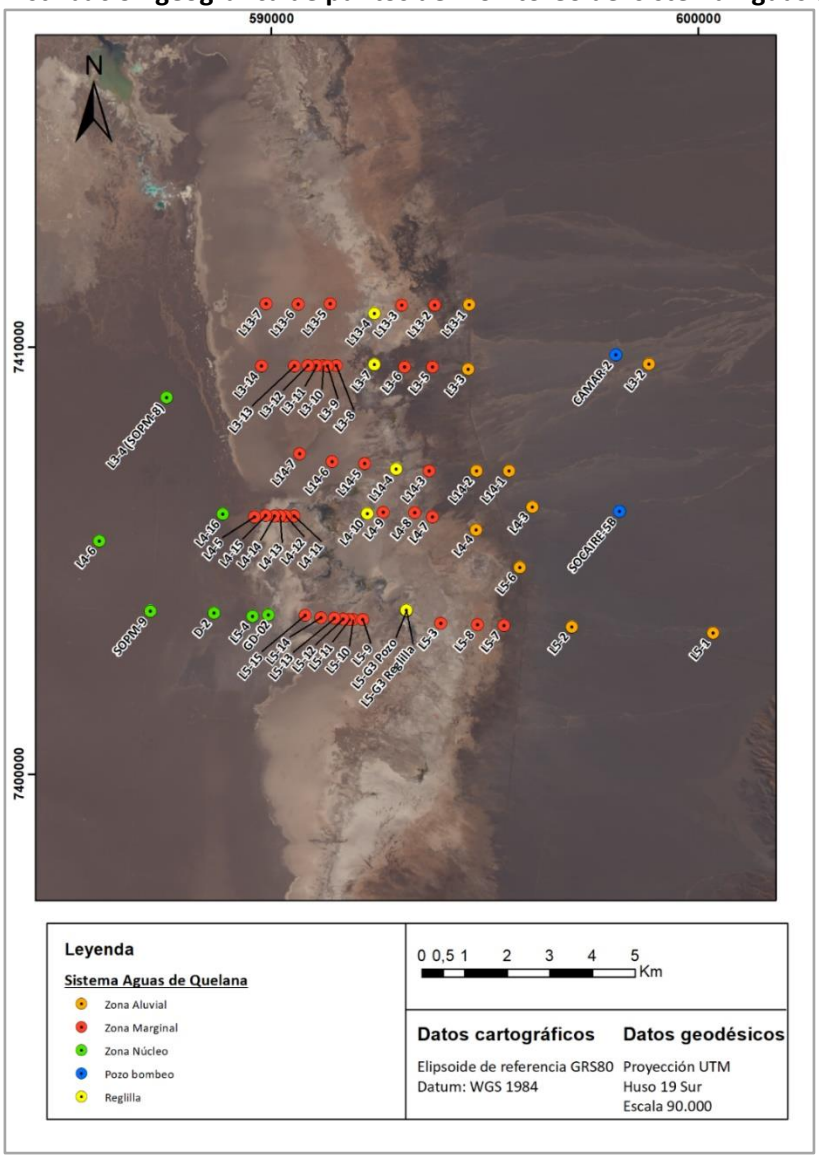
Los puntos que conforman la red de monitoreo del PSAH del Sistema Aguas de Quelana se ubica entre las coordenadas UTM 7.415.000 a 7.400.000 norte y 585.000 a 602.000 este aproximadamente.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-6. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

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

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

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



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

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

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

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

<table>
<tr>
<td>  </td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td>Registro fotográfico de la visita a la reglilla en que se realizó la última medición (Fuente: SEGEA)</td>
<td>Registro fotográfico del estado en que se encontró la reglilla caída (Fuente: SEGEA)</td>
</tr>
</table>

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

2301,137 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), y los detalles de la metodología utilizada se encuentran adjuntos en el Anexo 4.

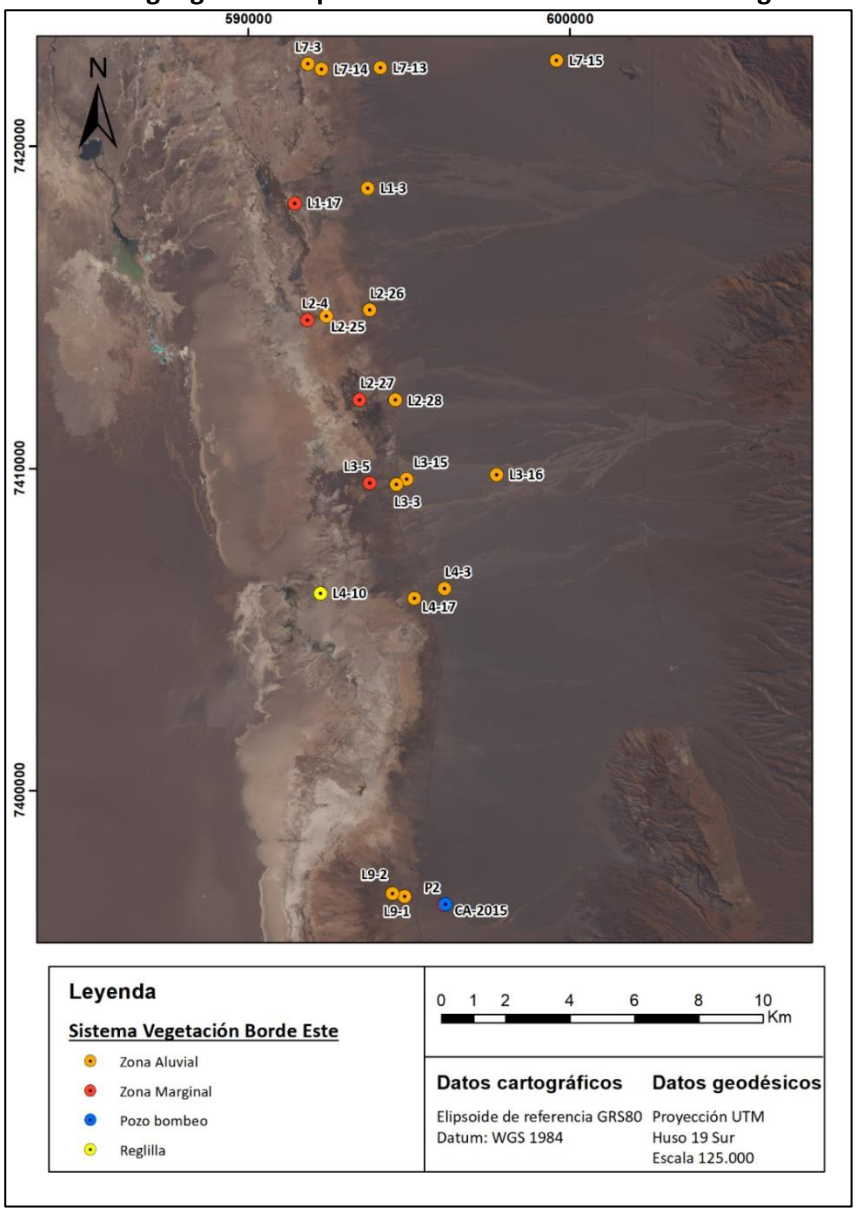
4.3.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

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

En la siguiente Figura 4-8 se muestra la distribución geográfica de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema. A continuación, en el Anexo 2 se detallan las coordenadas de ubicación de dichos puntos y su simbología asociada 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).

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



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

Como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, es posible diferenciar los grupos de puntos de control denominados Calidad 1, 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, la medición mensual de nivel en este punto se ha mantenido y se incluye en el presente reporte de forma complementaria.

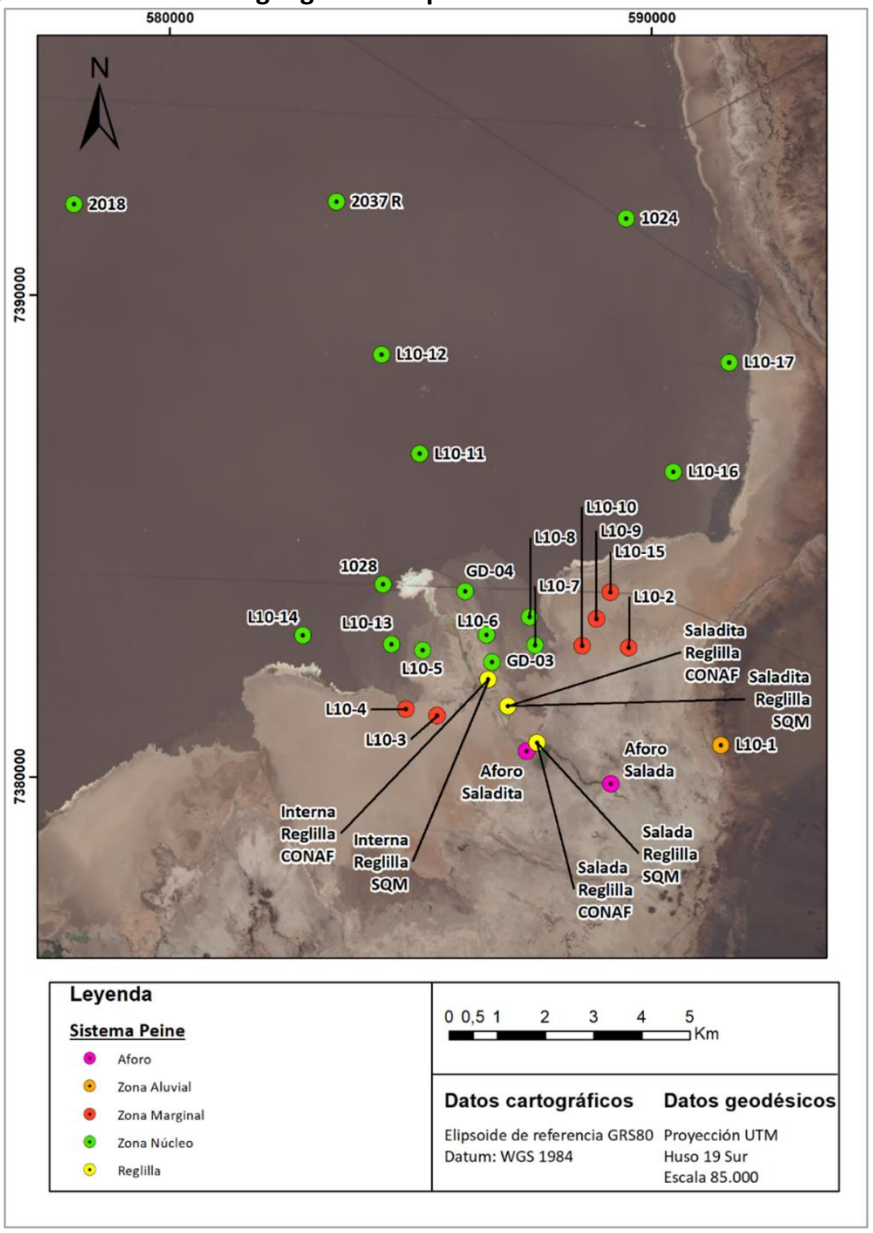
4.3.4 SISTEMA PEINE

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 de Salada, Saladita e Interna, donde se incluyen las secciones de aforo de las lagunas Salada y Saladita, además de la medición de la extensión lagunar en los tres cuerpos de agua y también el muestreo de calidad para todos ellos. Entre este grupo de pozos, tres también son muestreados para calidad. En el Sistema Peine no se contemplan pozos de agua industrial ni tampoco estaciones meteorológicas.

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

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

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



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

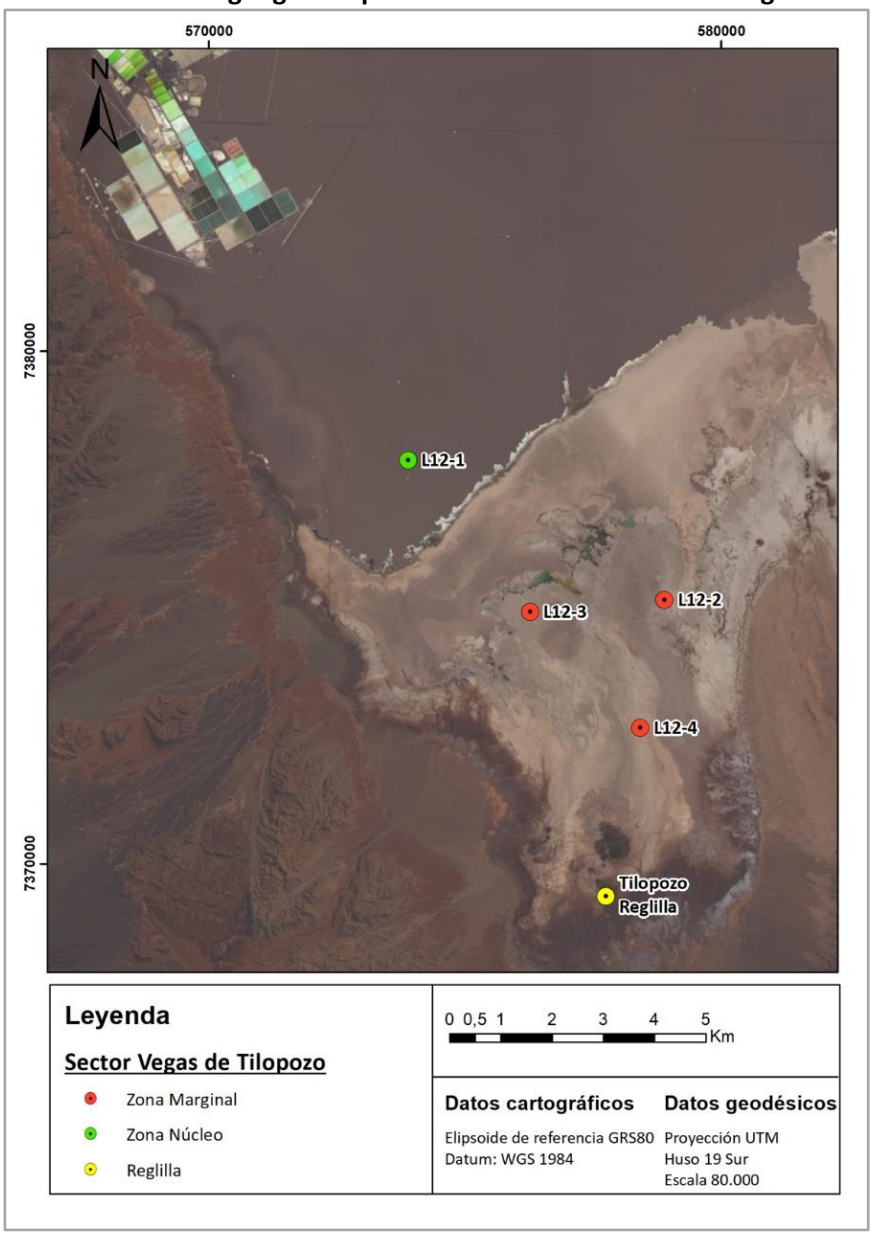
Como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, es posible diferenciar los grupos de puntos de control denominados Calidad 1 y Calidad 3 (en la Tabla 4-2, del apartado del Sistema Soncor, se detallan los analitos medidos en cada grupo).

4.3.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

Los puntos de monitoreo del Sector Vegas de Tilopozo se ubican entre las coordenadas UTM (WGS84) 7.378.000 a 7.370.000 norte y 573.000 a 580.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de nivel y reglilla.

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

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



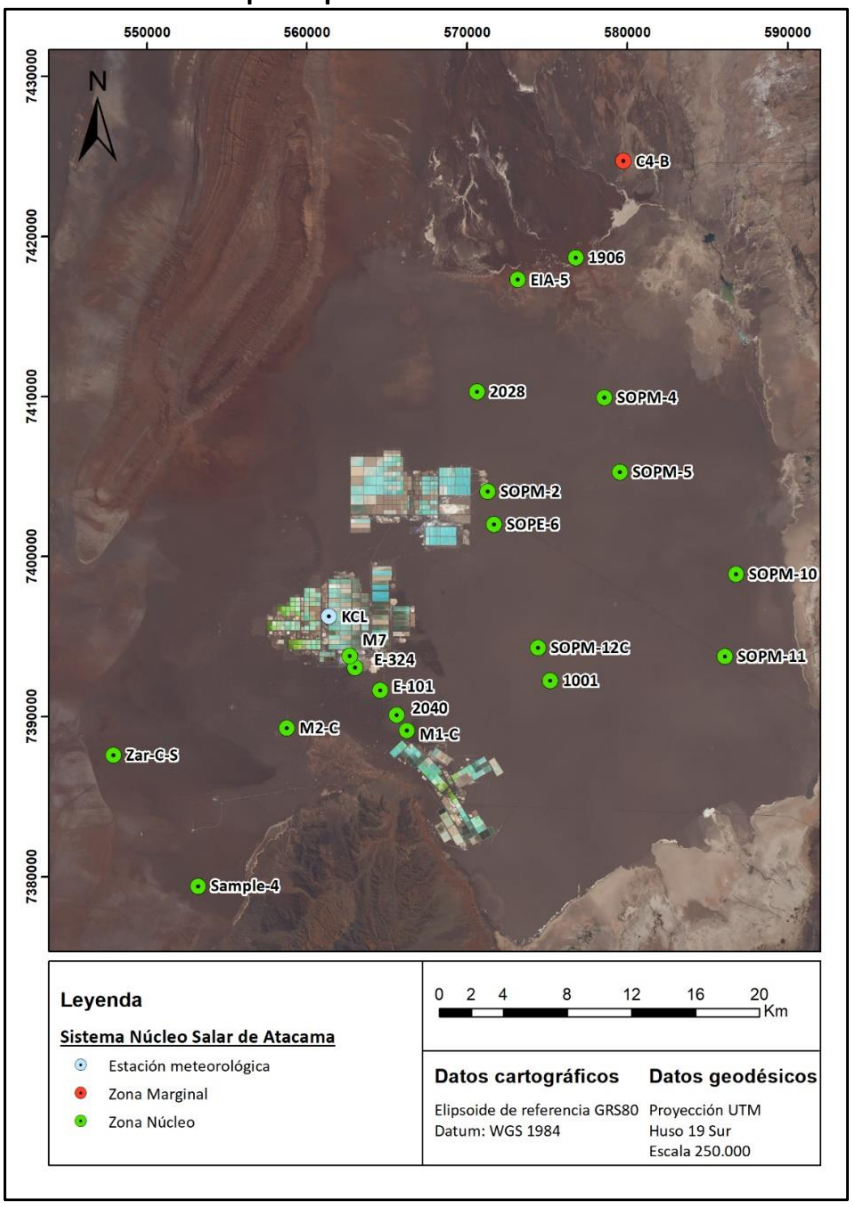
Fuente: Elaboración propia. Imagen satelital de abril de 2020.

4.3.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

Los puntos de monitoreo del Núcleo del Salar de Atacama se encuentran entre las coordenadas UTM (WGS 1984) 7.425.000 a 7.379.000 norte y 57.000 a 588.000 este aproximadamente. La totalidad de ellos corresponde a pozos de monitoreo de nivel y una estación meteorológica (estación KCL). Además, dos de

los pozos son también muestreados para calidad. La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-11. En el Anexo 2 se detallan las coordenadas UTM y tipología de los puntos de monitoreo, además de las variables que se miden en cada uno de ellos y la frecuencia de monitoreo respectiva.

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



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

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

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

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

Fuente: Elaboración propia.

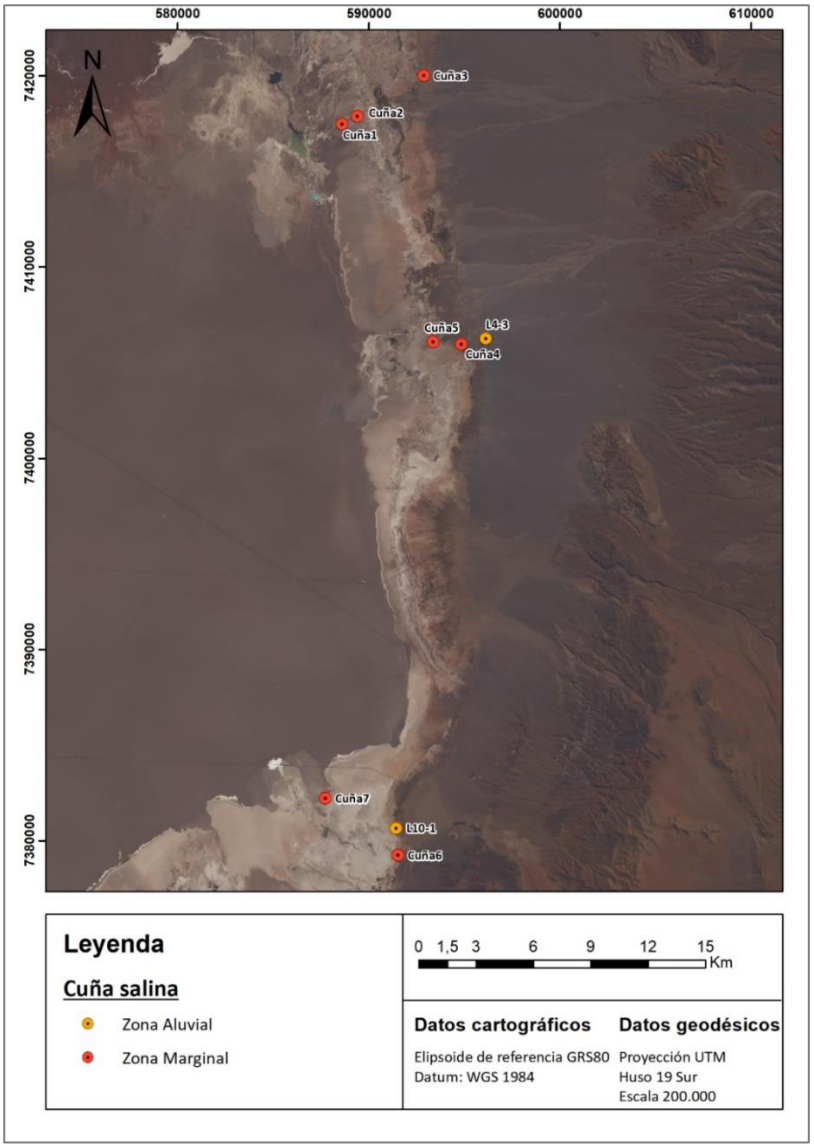
Para el caso de la Estación Meteorológica de KCL, se considera la medición de los parámetros Precipitación (mm/d), Evaporación (mm), Velocidad del Viento (m/s) y Temperatura (ºC).

4.3.7 CUÑA SALINA

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

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

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



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

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

4.3.8 PLAN DE CONTINGENCIAS (PC)

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

Según se indica en la RCA N° 226/2006 en su considerando 11.1, se contempla que cada dos años el Plan de Contingencia sea revisado con el fin de incorporar la nueva información que se obtiene del PSAH, dicha revisión corresponde ser realizada y presentada en el presente informe semestral. Esta revisión contempla los siguientes componentes:

- Revisión de los valores de activación en función de la información histórica recopilada (promedios, desviación estándar, descensos máximos).
- Revisión de los indicadores de estado, de manera de evaluar la necesidad de incluir o excluir algunos indicadores de estado de acuerdo a su relación con el comportamiento lacustre.

Cabe mencionar que sí bien es cierto que existe información recopilada que permitiría mejorar esta herramienta de control, la revisión se está desarrollando de forma profunda en el contexto del nuevo Estudio de Impacto Ambiental comprometido en el Programa de Cumplimiento rol F- 041-2016, este fue entregado en enero del año 2022 y que incluye una actualización del Plan de Seguimiento Ambiental y del Plan de Contingencias (“Planes de Alerta Temprana”).

Para efectos del presente informe, se ha tenido a la vista lo indicado en la Resolución N°1/Rol F-041-2016, y su rectificación contenida en la Resolución N°4/Rol F-041-2016. Conforme a lo anterior, el Plan de Contingencias se ajusta a lo indicado en los considerandos 11.2.1, 11.3.1 y 11.4.1 de la RCA N°226/2006.

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

Cabe mencionar que, adicionalmente, se ha asumido en forma provisoria, en el marco del PdC F-041-2016, la adopción de medidas de contingencia en caso de activación de los pozos PN-05B y PN-08A[12] del sector

[11] 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.

[12] Activación que se produjo durante el segundo semestre de 2023 y fue informada durante diciembre de 2023 a SQM.

Alerta Núcleo del Plan de Alerta Temprana del considerando 10.18 de la RCA Nº21/16, una vez que la Superintendencia del Medio Ambiente notifique a SQM Salar S.A. tal activación[13].

Además, 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 el sistema Alerta Temprana (L2-26 y L3-15). Para todos se definieron los umbrales respectivos bajo los mismos criterios que en la RCA 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 4-13

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

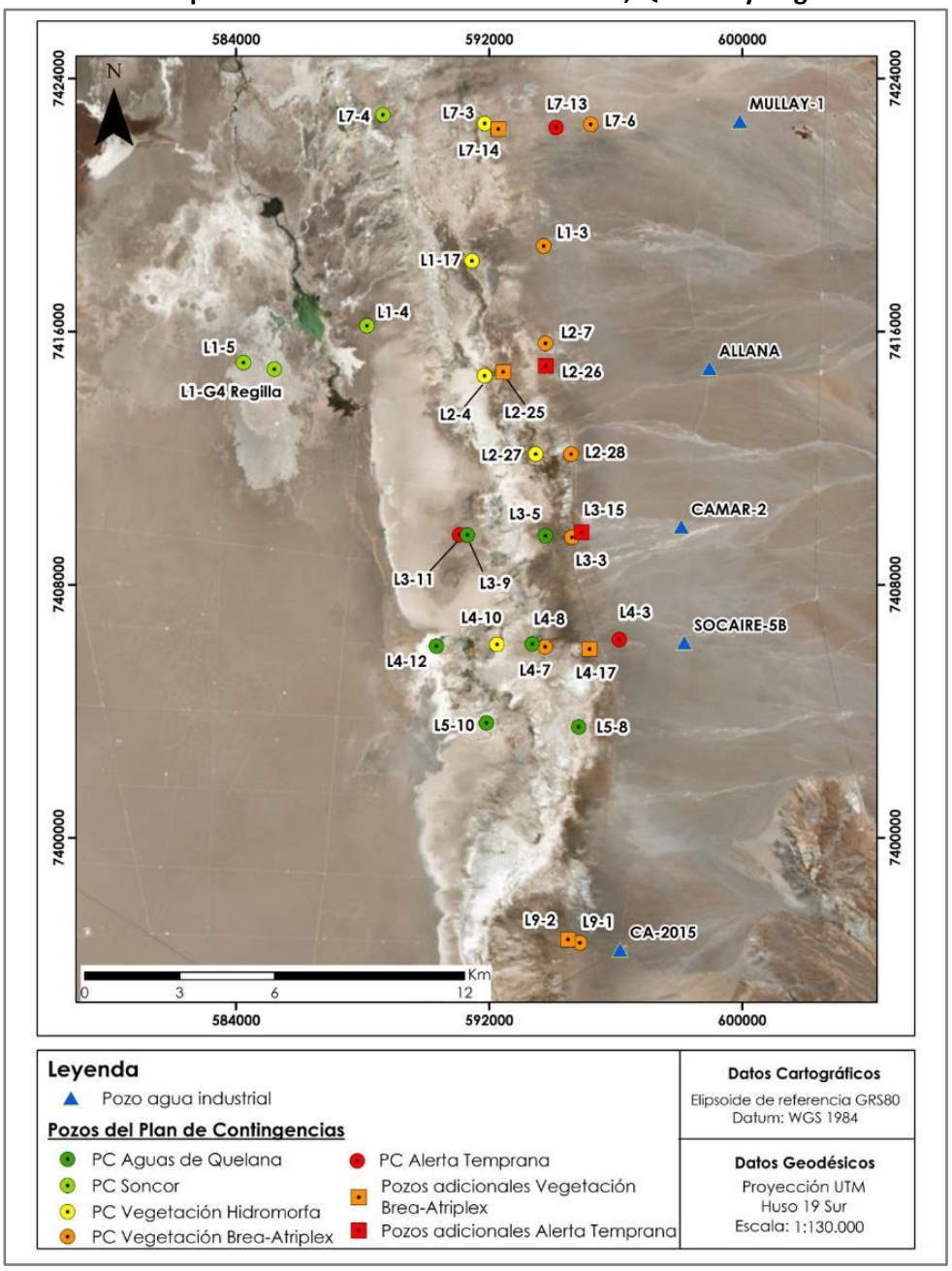
Sistema	Subsistema	Indicador de Estado	Origen
Soncor	-	L1-5 L1-4 L7-4 L1-G4 REGLILLA	RCA Nº 226/2006
Aguas de Quelana	-	L5-8 L4-8 L3-5 L3-9 L5-10 L4-12	
Vegetación Borde Este	Vegetación Hidromorfa	L7-3 L2-4 L3-5 L4-10 L1-17 L2-27	
		L7-6 L2-7	

[13] Como se indicó anteriormente, propuestos en el marco del programa de cumplimiento presentado a la SMA en el proceso F-041-2016, su aplicación ha sido ordenada por la institución fiscalizadora mediante la dictación de medidas provisionales, que dispone el cumplimiento de las principales medidas que contempla el programa de cumplimiento presentado.

Sistema	Subsistema	Indicador de Estado	Origen
	Vegetación Brea-Atriplex	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	

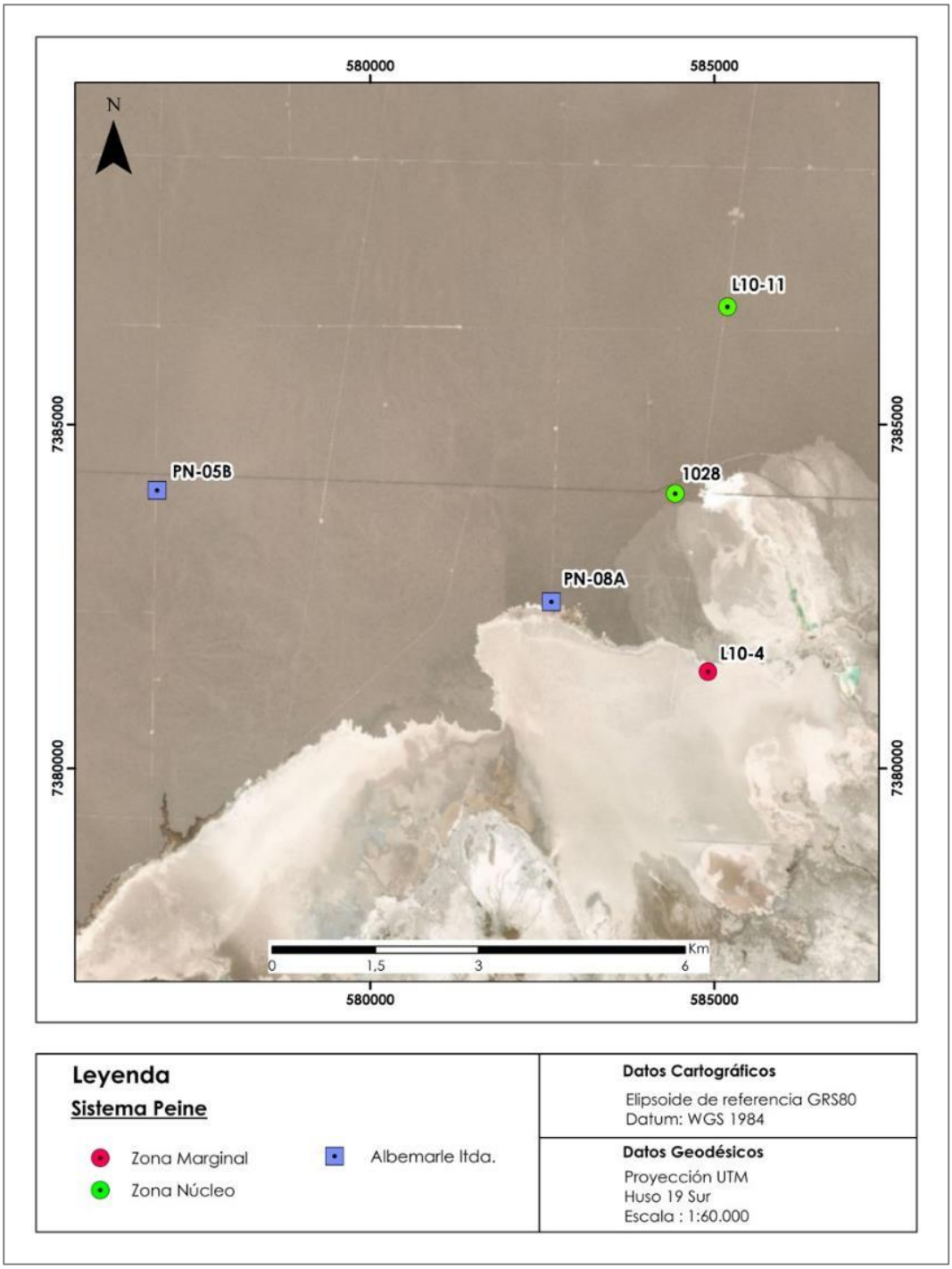
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Ubicación Indicadores de Estado Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

4.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES

El informe PSAH se basa en la normativa establecida por la RCA N°226/2006 y la Resolución Externa N° 223, las cuales definen las directrices para la elaboración del plan de seguimiento de variables ambientales. La inclusión de estos parámetros en los anexos sigue las instrucciones estipuladas en la Resolución Externa Nº 894/2019, la cual se enfoca en los informes de seguimiento del componente ambiental del agua. Sin embargo, en 2020, la SMA procedió a actualizar los formatos, extendiendo dichas actualizaciones a subcomponentes como el agua superficial y subterránea.

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

Asimismo, desde septiembre de 2020, la comunidad tiene 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 N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022) que actualizan los requisitos y operatividad para Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA), Inspectores/as Ambientales (IA) y titulares. La principal modificación, según la Resolución N.º 573/2022, es que SQM ya no necesita que las actividades de muestreo y/o medición de agua sean realizadas por una ETFA, bajo ciertas condiciones específicas. Estas condiciones incluyen que, para los parámetros de Nivel freático y Nivel de agua, cuando

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 de reportabilidad de la data	Método | Frecuencia | Responsable de la medición *Según normativa previa a la RES. EX. Nº 573/2022*	Método | Frecuencia | Responsable de la medición *Cambios derivados de la aplicación de la RES. EX. Nº 573/2022*
Agua	Agua subterránea	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. N° 894/2020	**Red PSAH:** Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM	**Red PSAH:** Manual | Mensual | SQM Continua | 1 min | SQM
					Red PC: Manual | Diaria | SQM Continua | 1 min | SQM[14]	**Red PC**: Manual | Diaria | ETFA Continua | 1 min | SQM
					Mediciones manuales voluntarias: Red PSAH | Mensual | SQM Red PC | Quincenal| ETFA	-
			Caudal bombeo	Res. Ex. N° 894/2020	Continua | Mensual | SQM	No aplica
		Calidad de agua	Físico y químicos	Res. Ex. N° 894/2020	Manual | Semestral | ETFA	No aplica
	Agua superficial	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. N° 894/2020[15]	Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM	Manual | Mensual | SQM Continua | 1 min | SQM

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

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

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Formato de reportabilidad de la data	Método | Frecuencia | Responsable de la medición *Según normativa previa a la RES. EX. Nº 573/2022*	Método | Frecuencia | Responsable de la medición *Cambios derivados de la aplicación de la RES. EX. Nº 573/2022*
			Superficie Lacustre[16]	Propio	RTK | 5 años | SQM Estacas | Trimestral | SQM Imágenes satelitales | Anual | SQM	No aplica
			Caudal	Res. Ex. N° 894/2020	Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM	No aplica
		Calidad de agua	Físico y químicos	Res. Ex. N° 894/2020	Manual | Trimestral | ETFA	No aplica
Aire	Aire	Meteorología	Precipitación Evaporación Velocidad del viento Temperatura	Propio	Continua | 5 min | SQM	No aplica

Fuente: Elaboración propia.

4.5 MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍAS DE MONITOREO

A continuación, se expone un listado general de las metodologías 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, en adición a los materiales y equipos utilizados. En el Anexo 3 se entrega un mayor detalle sobre los procedimientos e instructivos.

4.5.1 MONITOREO MANUAL DE NIVEL DE AGUA Y SALMUERA SUBTERRÁNEA EN PIEZÓMETROS Y POZOS

En este apartado se describen los equipos y las metodologías implementadas para la medida manual de los niveles en piezómetros y pozos.

Durante el presente semestre reportado, son dos las empresas que han participado en la medición manual de niveles de agua subterránea; por un lado, SQM es responsable de efectuar las mediciones manuales mensuales, por otro lado, la ETFA es quien debe realizar las mediciones con frecuencia diaria a los pozos

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

del Plan de Contingencia. En este sentido, para el semestre reportado la empresa encargada de estos monitoreos corresponde a la ETFA SEGEA (código 040-01).

A continuación, se detallan los materiales y equipos necesarios para llevar a término estas mediciones y que es general para las dos empresas y más adelante se describe de forma resumida el procedimiento según describe cada empresa. Los certificados de calibración de los equipos de SQM se entregan en el Anexo 3.2 y Anexo 3.3 y los correspondientes a las ETFA, en el Anexo 5.1.

4.5.1.1 Materiales y/o equipos

- Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 (o similar) de 30, 60 o 150 metros
- Nivel de burbuja o vástago para proyectar el punto de referencia al eje central del pozo
- Piseta con agua destilada
- Flexómetro
- Tablet y/o planilla de pozos a monitorear

4.5.1.2 Metodología de medición

El procedimiento para cada empresa se describe de forma resumida en la Tabla 4-6 ya que es un extracto de los instructivos que cada empresa dispone. No obstante, se aclara que existen diferencias en la forma de describir, pero que finalmente son todos procedimientos análogos y muy similares. Los procedimientos se encuentran detallados en el Anexo 3.1 para el caso de SQM y en el Anexo 5.1 para el caso de la ETFA SEGEA código 040-01.

Tabla 4-6: Resumen de las metodologías de medición de nivel de agua subterránea

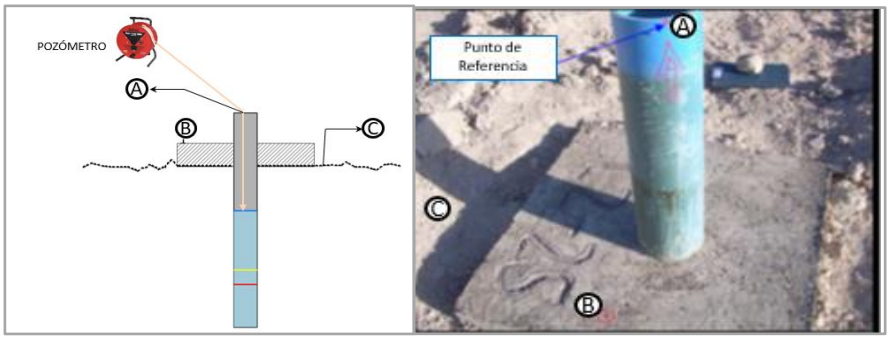
EMPRESA	Metodología de medición (resumen)
SQM	1) Verificar estado de pozómetro de acuerdo con el instructivo interno Operaciones I-009 (adjunto en Anexo 3.1). 2) Registrar fecha y hora de visita. 3) Medir con pozómetro el nivel (estático o dinámico) en el pozo desde el punto de referencia establecido o desde el centro del pozo a través de un vástago cruzado sobre la superficie del brocal. 4) Registrar el nivel estático o dinámico obtenido. 5) Realizar limpieza del pozómetro con agua destilada una vez realizada la medición. 6) Registrar observaciones (cuando corresponda).

SEGEA	1) Se posiciona el pozómetro en el collar del pozo y luego se ubica sobre el Punto de Referencia establecido. En caso de que el pozo cuente con Casing (tapapozo), utilizará un nivel de burbujas para proyectar el punto de referencia al centro del pozo. 2) Se enciende el pozómetro, se introduce la cinta al interior del pozo, evitando que roce con la tubería de habilitación del pozo. 3) La cinta debe descender hasta que la chicharra emita un sonido y encienda la señal luminosa. En ese momento, se afina la medición ascendiendo y descendiendo el sensor, hasta que la lectura sea precisa al milímetro[17]. Este procedimiento se repite a lo menos tres veces. 4) Se retira la cinta del pozómetro, evitando el contacto de ésta con el suelo y el brocal.

Con el objeto de facilitar el análisis de la información asociada a la medición del nivel en los pozos que conforman el PSAH (y en consecuencia aquellos que forman parte del plan de Contingencias), en la Figura 4-15 muestra la nomenclatura estandarizada para este informe de la siguiente forma:

- Punto A: Punto de referencia de la medición de nivel
- Punto B: Monolito
- Punto C: Terreno

Figura 4-15: Esquema conceptual de pozos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.

[17] Tal y como se menciona en el capítulo 4.7, el resultado final de la medición depende de la precisión del equipo (el pozómetro tiene ± 5 mm) y de la observación de la medida por parte del monitor (± 1 mm), así como también depende de la precisión con la que se haya medido la cota del punto de referencia (± 1 cm).

Así, para la determinación del nivel freático, tanto en los pozos que componen el Plan de Contingencias, como en aquellos que forman parte del PSAH, a la cota (m.s.n.m.) del punto A, debe restarse la medición obtenida con el pozómetro.

4.5.2 MONITOREO MANUAL DE NIVEL DE AGUA SUPERFICIAL

En este apartado se describen los equipos y metodologías implementadas en la medición del nivel de aguas superficiales.

De la misma forma que ocurría en las mediciones de niveles de agua subterránea, durante el presente semestre reportado, son dos las empresas que han participado en la medición manual de niveles de agua subterránea; por un lado, por otro lado, la ETFA es quien debe realizar las mediciones con frecuencia menor a la diaria, que en este caso ha sido a cargo de SEGEA, entidad técnica autorizada código 040-01. Y adicionalmente, SQM realizar mediciones manuales para contrastar las mediciones realizadas por la ETFA.

A continuación, se detallan los materiales y equipos necesarios para llevar a término estas mediciones, general para las dos empresas, y más adelante se describe de forma resumida el procedimiento según describe cada una. Los certificados de calibración de los equipos de SQM se entregan en el Anexo 3.2 y los correspondientes a la ETFA, en el Anexo 5.1.

4.5.2.1 Materiales y/o equipos

- Pozómetro y/o flexómetro
- Piseta con agua destilada
- Tablet y/o planilla de pozos a monitorear

4.5.2.2 Metodología de medición

El procedimiento para cada empresa se describe de forma resumida en la Tabla 4-7 ya que es un extracto de los instructivos que cada empresa dispone. No obstante, se aclara que existen diferencias en la forma de describir, pero que finalmente son todos procedimientos análogos y muy similares. Los procedimientos se encuentran detallados en el Anexo 3.1 para el caso de SQM y en el Anexo 5.1 para el caso de la ETFA SEGEA.

Tabla 4-7: Resumen de las metodologías de medición de nivel de agua superficial

EMPRESA	Metodología de medición (resumen)
SQM	1) Registrar fecha y hora de visita. 2) Medir nivel de agua en la reglilla (m). 3) Registrar el nivel obtenido y las observaciones que correspondan. 4) Para la determinación del nivel del cuerpo de agua superficial, se debe restar a la cota del punto de referencia de la reglilla (m.s.n.m.) y el nivel obtenido (m).
SEGEA	1) Preparación del punto de muestreo 2) Registro visual del nivel: se debe visualizar la parte inferior de la regla, donde la superficie de la columna de agua tiene contacto con ella. 3) Se realizará con flexómetro o pozómetro, midiendo la altura desde el nivel de agua hasta el punto de referencia extremo superior de pozo o reglilla. La precisión debe ser centimétrica en el caso de medidores manuales, y de tres milímetros en el caso de estaciones de medición de registro continuo.

4.5.3 MONITOREO CONTINUO DE NIVEL DE AGUA SUBTERRÁNEA

De la red de seguimiento del PSAH, 49 puntos (pozos y reglillas) tienen equipados sistemas para la medición en continuo de nivel. A continuación, se describen los materiales y equipos, junto con la metodología empleada para su instalación y descarga de la data. Los certificados de calibración de los equipos se entregan en el Anexo 3.3.

4.5.3.1 Materiales y/o equipos

- Sensor de presión In Situ Level Troll 500 o similar
- Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 (o similar) de 30, 60 y 150 metros
- Palm o computador con software Win-Situ, cable conector RS232, cargador para camioneta (según corresponda)
- Piseta con agua destilada
- Flexómetro
- Densímetros
- Tablet y/o planilla de pozos a monitorear

4.5.3.2 Metodología de medición

Para el caso de puntos de control de nivel que se monitorean en forma continua, la metodología se encuentra descrita en procedimiento (adjunto en Anexo 3.1) y consiste en la realización de las siguientes actividades:

1) Instalación y configuración del sensor de presión.
2) Descarga de los datos en cada visita.
3) Medición de densidad en cada visita.
4) Medición manual del nivel con pozómetro (ver metodología en apartado 4.5.1).
5) Reinicio de transductor de presión y configuración para nuevo período de medición (según corresponda).
6) Registro de observaciones (cuando corresponda).

El transductor de presión permite medir la presión de la columna de agua existente sobre el sensor. Como en algunos casos de trata de salmuero o agua salobre y para obtener la altura de agua sobre el mismo, se debe conocer la densidad del medio, parámetro que es ingresado manualmente al sensor. Para lo anterior, SQM mide la densidad del agua en cada punto de medición continua y programa dicha densidad en el sensor de presión, valor que permanece fijo hasta la siguiente visita y reconfiguración del equipo.

Debido a lo anterior, es posible que registros obtenidos mediante los sensores de presión difieran de las mediciones manuales efectuadas con pozómetro, ya que, de existir variaciones de la densidad del agua, estas no serían reconocidas por el equipo continuo hasta el nuevo reinicio del mismo. De esta forma, se considera la medición manual como aquella representativa de la profundidad del nivel.

En la Tabla 4-8 se muestra la relación de los números de serial correspondiente al equipo de Level Troll, relacionado con la infraestructura en la que ha estado instalado durante el periodo reportado (segundo semestre 2023). Los certificados de calibración de cada Level Troll (identificado por el número se serial) está disponible en el Anexo 3.3. Solo en 2 infraestructuras (Reglilla Barros Negros SQM y Reglilla Chaxa SQM) no fue posible realizar la calibración recomendada según fabricante debido a restricción de acceso durante la fecha programada (ver Anexo 4.1), por lo que, se prevé realizar estas calibraciones durante el siguiente periodo a reportar.

Tabla 4-8: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura y el periodo instalado

Infraestructura	Periodo de instalación	Serial
2021	02/05/2022 12:01– 15/07/2023 12:00	650725
	15/07/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	651775
L13-1	09/02/2022 12:00 – 19/07/2023 12:00	685575
	19/07/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	650515
L13-2	09/02/2022 12:01 – 19/07/2023 10:00	685809
	19/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	650738
L13-3	16/03/2022 12:01 – 03/04/2023 12:00	637817
	03/04/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	998952
L13-4	09/03/2022 12:01 – 03/04/2023 10:00	871632
	03/04/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	998486
L14-4	06/09/2022 12:01 - Vigente al cierre del periodo	937999
L1-G4 POZO	07/11/2021 12:01 – 28/10/2023 12:00	713321
	28/10/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	637817
L2-16	15/07/2021 12:01 – 15/07/2023 12:00	680316
	15/07/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	833771
L2-23	13/09/2022 10:01 - Vigente al cierre del periodo	937869
L2-9	07/12/2021 12:01 – 14/07/2023 10:00	871606
	14/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	745315
L3-10	04/10/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	833787
L3-13	04/10/2022 12:01 – 08/08/2023 10:00	471042
	08/08/2023 – Vigente al cierre del periodo	833791
L3-5	06/02/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	746418
L3-6	03/10/2022 12:01 – 07/11/2023 12:00	937852
	07/11/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	1022693
L3-7	28/05/2022 12:00 – 04/10/2023 10:00	863758
	04/10/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	1022687
L3-9	04/04/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	1000346
L4-12	08/03/2022 12:02 – 08/08/2023 10:00	446778
	08/08/2023 10:00 –Vigente al cierre del periodo	1027076
L4-13	04/10/2021 12:00 - 03/10/2023 12:00	937053
	03/10/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	1021106
L4-7	17/04/2022 12:01 – 05/08/2023 10:00	830297
	05/08/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	863793
L4-8	06/02/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	865220
L4-9	27/04/2022 12:01 – 06/11/2023 10:00	685801
	06/11/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685809
L5-10	04/04/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	1000349
L5-14	23/02/2022 13:16 – 21/07/2023 10:00	685817
	21/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	593903
L5-3	06/09/2022 12:01 – 07/11/2023 12:00	937866
	07/11/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	937866
L5-6	13/04/2022 12:01 – 19/07/2023 10:00	833771

Infraestructura	Periodo de instalación	Serial
	19/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	651111
L5-7	13/04/2022 12:00– 29/10/2023 10:00	651111
	29/10/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	670606
L5-8	13/04/2022 12:01 – 29/10/2023 10:00	833791
	29/10/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685600
L5-G3 POZO	03/10/2022 12:01- Vigente al cierre del periodo	937858
L7-4	15/09/2021 12:01- 14/11/2023 10:00	865200
	14/11/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	890510
L7-G2 POZO	08/03/2022 00:01 – 16/08/2023 10:00	749163
	16/08/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	868645
P1-1	18/03/2022 00:01 – 28/10/2023 10:00	833773
	28/10/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	526499
P1-2	13/11/2022 12:01 – 28/10/2023 12:00	868647
	28/10/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	526921
P1-3	07/12/2021 12:01 – 11/07/2023 10:00	868644
	11/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	553243
P1-4	15/07/2021 12:00 – 11/07/2023 10:00	685815
	11/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685612
P1-5	19/05/2022 13:01 – 12/07/2023 10:00	863803
	12/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685803
P1-6	19/05/2022 14:01 –12/07/2023 11:00	865203
	12/07/2023 11:00 – Vigente al cierre del periodo	724984
P1-7	19/05/2022 12:01 – 12/07/2023 12:00	865207
	12/07/2023 12:00 – Vigente al cierre del periodo	724040
P2-1	17/04/2022 12:00 -14-07-2023 10:00	830293
	14/07/2023 10:00 - Vigente al cierre del periodo	792899
P2-2	17/04/2022 12:01 – 10/07/2023 10:00	685839
	10/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685723
P2-3	15/07/2021 12:00 – 11/07/2023 10:00	685355
	11/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685572
P2-4	22/03/2022 12:01 – 12/07/2023 10:00	868648
	12/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685489
P2-5	22/03/2022 12:02 – 12/07/2023 10:00	685485
	12/07/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685493
PUENTE SAN LUIS AFORO	17/05/2022 12:01 – 14/03/2023 10:00	593903
	14/03/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685839
PUENTE SAN LUIS POZO	17/05/2022 12:01 – 14/03/2023 10:00	685738
	14/03/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	724987
REGLILLA BARROS NEGROS SQM	06/05/2021 12:00 – Vigente al cierre del periodo	685744
REGLILLA BURRO MUERTO SQM	29/01/2021 13:59 – 05/10/2023 10:00	685352
	05/10/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	1021455

Infraestructura	Periodo de instalación	Serial
REGLILLA CHAXAS SQM	07/05/2021 12:01 – Vigente al cierre del periodo	670606
REGLILLA PUILAR SQM	21/07/2021 12:00 – 16/08/2023 10:00	685844
	16/08/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	1027080
Camar-2	20/11/2022 12:00- Vigente al cierre del periodo	890752

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 MEDICIÓN DE SUPERFICIE LACUSTRE

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. Para el presente informe Nº 34 corresponde la medición mediante dos de las tres metodologías previstas relativa a estacas perimetrales y medición vía imágenes satelitales de alta resolución (Tabla 4-9).

Tabla 4-9: Métodos y frecuencias para la medición de la superficie lagunar en el PSAH

Tipo de mediciones	Frecuencia de monitoreo según RCA Nº226/2006,Res. Ex. 244/2010. PdC 2022	Monitoreo a reportar en el presente informe PSAH	Próximo informe PSAH en que se reportará
Medición mediante imágenes satelitales	Trimestral	Si	Informe 35 (primer semestre 2024)
Medición mediante recorrido a pie (RTK)	Cada 5 años	No	Informe 37 (Primer semestre 2025)
Medición mediante estacas perimetrales	Trimestral	Sí	Informe 35 (primer semestre 2024)

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detallan los materiales necesarios y la metodología seguida para cada una de estas técnicas de análisis y/o medición.

4.5.4.1 Medición mediante imágenes satelitales

La medición de las superficies lagunares mediante imágenes satelitales de alta resolución consta de la captura de la imagen dentro de las primeras dos semanas del comienzo de cada trimestre (enero, abril, julio y octubre). Dicho producto es preprocesado (correcciones satelitales) y utilizado como base para

recuperación de cuerpos lagunares siguiendo la metodología establecida en la RES N°244/2010. La recuperación de estas superficies es rectificada mediante la toma de puntos de control efectuados sincrónicamente en el periodo de captura satelital.

4.5.4.1.1 Materiales y/o equipos

- Imágenes satelitales de alta resolución obtenidas de la constelación de MAXAR o similar para los meses de enero y abril (informe PSAH N°33) y julio y octubre (actual informe PSAH N°34). La Tabla 4-10 entrega las características espaciales y espectrales de los productos utilizados en la estimación de superficie lacustre.

Tabla 4-10: Características generales de imágenes satelitales de alta resolución, utilizadas en los informes PSAH

Satélite o sensor remoto	Rango espectral [mín - máx] (nm)	Resolución espacial (m)
Quickbird II	VIS-NIR [430 – 918]	2,44 (0.6 pan[18])
GeoEye-1	VIS-NIR [450 – 920]	2 (0.5 pan)
Worldview II	VIS-NIR [442 – 901]	2 (0.5 pan)
Worldview III	VIS-NIR [450 – 895]	1.4** (0.3 pan)

Fuente: Elaboración propia.

- Sistema Satelital de Navegación Global (siglas en ingles GNSS) modelo Trimble R4 o equivalente (base y móvil) para medición de puntos de control topográficos.
- Software de procesamiento de imágenes satelitales ENVI y Sistemas de información Geográfica (ArcGis o QGIS).

[18] pan = banda pancromática. Útil para mejorar aspecto visual de imagen satelital mediante el proceso de “pansharpening”, ayudando a la comparación final de resultados.

4.5.4.1.2 Metodología de medición

La metodología seguida para la medición de superficies lacustres a través de imágenes satelitales fue aprobada por la COREMA Región de Antofagasta, mediante la Resolución Exenta N°244/2010 y consta de las siguientes actividades:

- Obtención de las imágenes satelitales de alta resolución
- Georreferenciación de las imágenes satelitales.
- Fusión de imagen multiespectral con banda pancromática.
- Realización de las transformaciones digitales e índices espectrales para recuperación de píxeles con mayor probabilidad de agua.
- Toma de puntos de control en terreno sincrónicos a la captura satelital y enfocados en lugares en donde se ofrezca una difícil delimitación satelital.
- Delimitación de la superficie lacustre.
- Definición de límites de cada laguna, según los puntos establecidos por CONAF.

Es fundamental reconocer que la imagen multiespectral que nos suministra el proveedor viene en Niveles Digitales (DN, por sus siglas en inglés). Para llevar a cabo comparaciones precisas con las curvas espectrales de diferentes materiales como suelo, agua y vegetación, es esencial convertir estos valores DN en valores de reflectancia. Para ello, se aplican correcciones geométricas (cuando sean necesarias), radiométricas y atmosféricas tanto al producto multiespectral como al pancromático. Paralelamente, se elabora una imagen multiespectral mejorada mediante el proceso de pansharpening, la cual se emplea en composiciones de falso color para asegurar una comparación adecuada de los resultados[19].

Al producto multiespectral corregido se le calculan índices y transformaciones digitales para la recuperación de píxeles probables de agua.

[19] En caso de aplicarse el *pansharpening,* la corrección geométrica debe ser equivalente entre el producto multiespectral y pancromático.

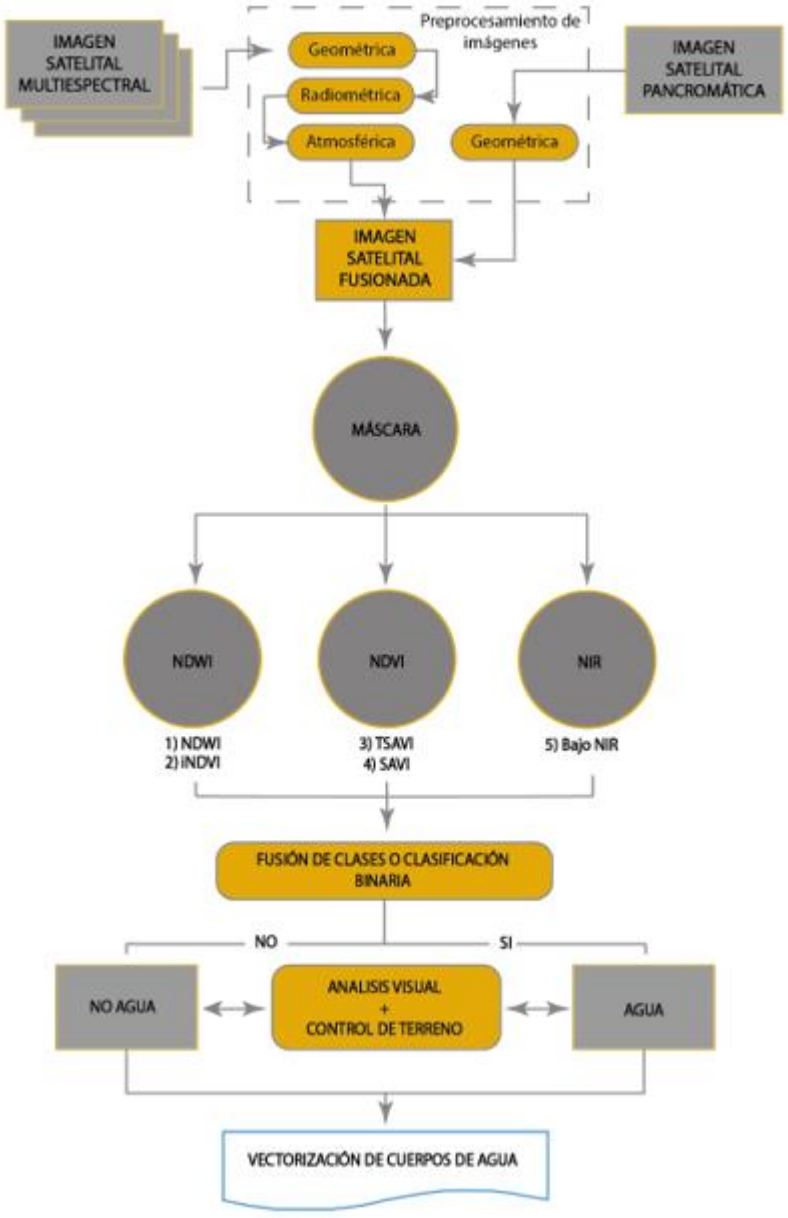
Es relevante mencionar, que la metodología empleada considera la utilización de índices especializados en la recuperación de cuerpos someros, los cuales son predominantes en zonas áridas (e.j Aguas de Quelana). También, se debe tener en cuenta la heterogeneidad de superficies que deben ser filtradas del mapeo, razón por la cual se tienen en consideración índices de vegetación y características espectrales asociadas. A continuación, se describen los índices en función del propósito en la recuperación de cuerpos de agua:

- El NDWI, contempla la recuperación en primer orden de cuerpos de agua presentes. Utiliza la consideración espectral del agua, es decir, alta reflectancia en el rango del visible y una absorción en el rango del infrarrojo cercano. Para ello, se emplea el uso de la banda verde (NDWI) o roja (NDWIr).
- Bajo NIR, utilizada para eliminar del mapeo zonas marcadas como agua que no lo son (e.j costras blancas). Estas superficies ofrecen similar respuesta espectral que el agua, aunque la reflectancia en el infrarrojo cercano es mayor en este caso, sentencia que es esencial para filtrar píxeles falsos positivos.
- Índices de vegetación, como el SAVI o TSAVI, son empleados para eliminar píxeles que ofrezcan una mayor probabilidad de ser vegetación y que, en consecuencia, deban ser eliminados del mapeo. El TSAVI (índice de vegetación transformado ajustado al suelo), requiere enmascarar cuerpos de agua principales para un ajuste al suelo, mientras que el SAVI (índice de vegetación ajustado al suelo) emplea parámetros definidos para ello. Ambos índices de vegetación emplean la característica espectral de alta reflectancia en el infrarrojo cercano y baja en el visible.

Finalmente, vía puntos de control de terreno (complementados con puntos de estacas perimetrales), inspección o análisis visual y el uso de la imagen multiespectral fusionada en falso color (e.j Infrarrojo color) se realiza una rectificación visual de resultados obtenidos de la metodología, el resultado final es vectorizado (transformación de archivo raster a vectorial) y se calcula el área.

La Figura 4-16, muestra un diagrama de flujo resumen de la metodología para la recuperación de superficie lacustre, empleando imágenes satelitales de alta resolución

Figura 4-16: Metodología para recuperación de extensión lacustre mediante imágenes satelitales de alta resolución.



Fuente: elaboración propia

4.5.4.2 Medición mediante recorrido a pie (RTK)

Para las mediciones de los perímetros y áreas de las lagunas se realiza un levantamiento topográfico con GPS o GNSS y con la técnica de levantamiento RTK, lo que permite obtener las coordenadas en tiempo real del límite de cada cuerpo lagunar.

Cabe señalar que el compromiso de las mediciones de topografía fue con frecuencia anual hasta el año 2010, ya que a través de la Resolución Exenta N°244/2010, se estableció que la nueva frecuencia sería cada 5 años.

4.5.4.2.1 Materiales y/o equipos

- GPS marca Trimble modelo R4 (base) o simimlar
- 1 receptor GNSS modelo Trimble R4 o equivalente (móvil)

4.5.4.2.2 Metodología de medición

1) Se fija la base del GPS en el hito de cada laguna
2) El receptor móvil se desplaza por el margen de la laguna registrando puntos
3) Posteriormente se procesa la información registrada con el GPS obteniendo un polígono lagunar, desde donde se obtiene el perímetro y área de cada laguna

4.5.4.3 Medición mediante estacas perimetrales

Para obtener los datos de área de superficie lacustre, se realizan mediciones en puntos demarcados por estacas (que indican el perímetro de referencia) ubicadas alrededor de cada laguna.

Cabe señalar que todos los datos y resultados obtenidos hasta octubre del 2013 fueron de responsabilidad del cuerpo técnico de CONAF. A partir de enero de 2014, la empresa consultora SEARCH, contratada por CONAF, implementó su metodología de cálculo de área lacustre mediante estacas perimetrales, metodología que SQM comenzó a implementar por sí mismo desde 2022. Así, en el presente periodo estas actividades están a cargo del consultor especializado en estos trabajos ATyGEO.

4.5.4.3.1 Materiales y/o equipos

- GPS cartográfico modelo Trimble® Nomad® 900G o equivalente

- Cinta métrica o Flexómetro
- Brújula azimutal o similar para cálculo de ángulo (azimut)

4.5.4.3.2 Metodología de medición

1) En terreno, desde cada estaca existente se mide la distancia menor entre esta infraestructura y el borde lagunar más próximo.
2) Se determina el azimut de la línea que une la estaca con el borde lagunar. El ángulo debe ser entre 0 y 359°, siendo 0° = 360° el norte de referencia.
3) Posteriormente, en post terreno, los datos son ingresados a software GIS donde se generan los nuevos polígonos de las lagunas y se calcula su área.

Esta metodología presenta imprecisiones y no representa la superficie real de la laguna (ejemplo Puilar), pero CONAF mantuvo su aplicación con el objeto de dar continuidad al seguimiento, dado que corresponde a la forma en que esa entidad ha realizado la estimación de superficies lacustres desde el inicio del convenio de monitoreo con SQM en 1997, estipulado en las RCA Nº 403/1995 y Nº 226/2006. Por otro lado, esta metodología tiene la ventaja de generar de manera paralela puntos de límites lagunares. Estos pueden ser utilizados para rectificar la delimitación lacustre vía imagen satelital de alta resolución, teniendo en cuenta la ejecución de estos trabajos lo más cercanamente posible con la captura satelital.

4.5.5 MONITOREO DE CAUDAL DE POZOS DE BOMBEO DE AGUA INDUSTRIAL

En los siguientes apartados se describe el equipo y metodología seguida para la obtención del parámetro de caudal de los pozos de agua industrial que se reporta en el presente informe.

En la Tabla 4-11 se muestra la relación de los números de serial correspondiente al flujómetro, relacionado con el pozo la infraestructura en la que ha estado instalado durante el periodo reportado (segundo semestre de 2023). Los certificados de calibración de cada flujómetro (identificado por el número se serial) está disponible en el Anexo 3.2.

Tabla 4-11: Relación número serial del flujómetro con el nombre de infraestructura y el periodo instalado

Infraestructura	Fecha de inicio del periodo o de instalación	Fecha de fin del periodo o de desinstalación	Serial
CA-2015	22-12-2022 10:27	Vigente al cierre del periodo	S5Y703946
Socaire-5	02-03-2023 12:05	Vigente al cierre del periodo	A22031949
Allana 1	03-03-2023 09:42	Vigente al cierre del periodo	A22031953
Mullay 1	08-03-2023 00:00	Vigente al cierre del periodo	A22031951

Fuente: Elaboración propia.

4.5.5.1 Materiales y/o equipos

- Flujómetro (Totalizadores): Endress+Hauser Flowtec o OPTIFLUX 5300 conectados vía API a la base de datos de SQM en Línea.

4.5.5.2 Metodología de medición

La determinación del volumen mensual se obtiene a partir de la lectura del flujómetro del primer día del mes (t) y de la lectura del primer día del mes siguiente (t_{+1}), la diferencia entre ambas lecturas corresponde al volumen total del mes t. Para obtener el caudal medio mensual del mes t, se divide el volumen total obtenido entre el número de días que conforma el mes t. Cuando se realiza cambio de flujómetro en algún pozo de agua industrial se visualiza el cambio generando intervalos de medición en un mismo.

Las lecturas de los flujómetros se están enviando de forma automática vía API a un sistema receptor de datos, la que reporta directamente a las distintas autoridades ambientales y pone a disposición esta misma información al público general a través del sitio web https://www.sqmsenlinea.com/agua-industrial. Esta plataforma contiene además el cálculo directo del caudal promedio mensual (L/s) y el detalle de los cambios de flujómetro. Esto responde a la Acción 7 del aprobado PdC (2022) RES. EX. Nº38/ROL F-041-2016, en el cual fortalece el compromiso de SQM con la transparencia, incrementando la información publicada y/o frecuencia de disponibilidad de la misma.

4.5.6 MONITOREO MANUAL DE CAUDAL SUPERFICIAL (AFOROS)

En los siguientes apartados se describen los materiales, equipos y metodologías seguidas para la medición manual del parámetro de caudal de agua superficial, también conocido como aforos. En este caso, es la ETFA, la responsable de estas mediciones y en el presente semestre de reporte han sido llevadas a cabo por SEGEA cuyo procedimiento P-HIDRO-05, se encuentra descrito en el Anexo 5.1 de este reporte, así como también, los certificados de calibración de los equipos utilizados. A continuación, se resumen los materiales y la metodología.

4.5.6.1 Materiales y/o equipos

- Flujómetro
- Flexómetro
- Planillas de terreno
- Piseta con agua destilada - Toalla de papel
- Botas de agua y/o traje de agua
- Navegador GPS o mapa de ubicación (si fuese necesario).

4.5.6.2 Metodología de medición

La medición del caudal llevada a cabo por la ETFA SEGEA empleando la metodología denominada área-velocidad, para lo cual se efectúan las siguientes actividades:

- Para cada uno de los puntos del canal o cauce que se van a aforar, y que están preestablecidos, se define el número de secciones transversales en las que se harán las mediciones.

  Se deben realizar al menos 3 mediciones de velocidad en cada sección, asegurándose de que no haya una diferencia superior al 5% entre ellas. En caso de que este criterio no se cumpla, será necesario realizar mediciones adicionales hasta obtener 3 mediciones consistentes.
- Medición del ancho de cada sección (m) y la altura de agua en el centro (de cada sección) (m). Se obtiene el área de cada sección como la multiplicación de estas dos medidas (m^2).
- Medición de la velocidad del agua (m/s) en el centro de cada sección mediante flujómetro.

- Cálculo del flujo pasante en cada sección (m^3/s), obtenido mediante la multiplicación del área de la sección por la velocidad obtenida.
- Obtención del caudal de aforo del canal o cauce a partir de la suma del flujo pasante en cada sección.

Aunque no es compromiso por parte de SQM llevar a cabo mediciones, estas se realizan de manera voluntaria y complementaria. Los procedimientos que SQM ocupa se adjuntan en el presente reporte en el Anexo 3.1.

4.5.7 MONITOREO CONTINUO DE CAUDAL SUPERFICIAL (AFOROS)

En los siguientes apartados se describen los materiales, equipos y metodologías seguidas para la medición continua del parámetro de caudal de agua superficial, también conocido como aforo continuo.

4.5.7.1 Materiales y/o equipos

- Sensor de presión In Situ Level Troll 500 o similar

4.5.7.2 Metodología de medición

La medición continua del caudal se realiza mediante la instalación de un sensor de presión que registra la altura de la columna de agua en una sección de control conocida y que no cambia en el tiempo. Luego, se aplica una curva de descarga preestablecida para relacionar dicha altura con el caudal pasante. Los pasos indicados a continuación son un resumen de la metodología para realizar esta medición.

1) Instalación y configuración del sensor de presión.
2) Descarga de los datos.
3) Reinicio de transductor de presión y configuración para nuevo período de medición (si corresponde).
4) Determinación de caudal pasante a partir de los datos descargados mediante utilización de curva de descarga preestablecida.

En la Tabla 4-12 se muestra la relación de los números de serial correspondiente al equipo de Level Troll, relacionado con la infraestructura en la que ha estado instalado durante el periodo reportado (segundo

semestre de 2023). Los certificados de calibración de cada Level Troll (identificado por el número serial) está disponible en el Anexo 3.3.

Tabla 4-12: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura y el periodo instalado

Infraestructura	Periodo de instalación	Serial
PUENTE SAN LUIS AFORO	14/03/2023 10:00 – Vigente al cierre del periodo	685839

Fuente: Elaboración propia.

4.5.8 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

En este capítulo se describen los materiales, equipos y metodologías seguidas para el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Esto implica que en terreno se realiza la recolección de muestras (muestreo) tanto para agua superficial como subterránea (donde el procedimiento es similar) y la medición in situ de los parámetros fisicoquímicos. Las muestras recolectadas por SEGEA, ETFA 040-01 en terreno son luego enviadas a laboratorio. Las muestras son analizadas durante este semestre por ALS Life Sciences Chile código ETFA 029-01.

Los procedimientos seguidos son de acuerdo con las metodologías acreditadas para cada parámetro en particular, generalmente siguiendo las directrices de la serie Standard Methods, o aquellas que corresponda para cada punto de muestreo y parámetro. El detalle de las metodologías de los análisis se describe en los respectivos certificados de laboratorio que se encuentran adjunto en Anexo 6.

De toda la información recopilada en terreno y en laboratorio, se realiza un proceso de validación de los datos a partir de distintos criterios y que se describe en la última sección de este apartado.

4.5.8.1 Muestreo de aguas superficiales y subterráneas

El muestreo de aguas superficiales y subterráneas tienen similitudes, por lo que se tratan en el mismo apartado, ya que la única diferencia está en el método de la recolección de la muestra, el tratamiento y transporte posterior es el mismo dependiendo del parámetro a analizar.

4.5.8.1.1 Materiales y/o equipos

En la Tabla 4-13 se muestran los materiales necesarios para llevar a cabo el muestreo de aguas y se detalla el que corresponde a aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 4-13: Materiales y equipos para llevar a cabo el muestreo de aguas superficiales y subterráneas

	Agua subterránea	Agua superficial
Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 de 30, 60 o 150 metros o similar	•	•
Piseta con agua destilada	•	•
Flexómetro		•
Bomba para purga y muestreo (si corresponde)	•	
Bailer de muestreo (si corresponde)	•	
Guantes desechables	•	•
Envases plásticos/vidrio de distintos volúmenes.	•	•
Preservantes para las muestras	•	•
Etiquetas autoadhesivas (si corresponde)	•	•
Sistema de refrigeración (cooler y/o ice pack).	•	•
Ficha de información de muestreo, puntos y parámetros de terreno	•	•
Registro de actividades realizadas en cadena de custodia	•	•

Fuente: Elaboración propia.

4.5.8.1.2 Metodología de muestreo

El muestreo de agua, que es realizado por las ETFAs correspondientes, se hace de acuerdo con las normas de referencia principales que se muestran en la Tabla 4-14 según sea agua subterránea o superficial.

Tabla 4-14: Normativas de referencia para el muestreo de aguas superficiales y subterráneas

	Normativas de referencia
Agua subterránea	• Norma Chilena 411/3 2014 Calidad del agua. Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras. • Norma NCh 411/11: Guía para el muestreo de aguas subterráneas.
Agua superficial	• NCh-ISO 5667/4 Calidad del Agua. Parte 4: Guía para la toma de muestras de lagos naturales y artificiales. • NCh-ISO 5667/6 Calidad del Agua. Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.

	• Norma Chilena 411/3 2014 Calidad del agua. Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Aunque de forma genérica, el muestreo incluye las siguientes etapas:

Tabla 4-15: Etapas de muestreo en puntos subterráneos y superficiales

		Agua subterránea	Agua superficial
1	Medición del nivel freático, antes y después de tomar la muestra	•	
2	Purga de pozo (cuando corresponda [20])	•	
3	Selección del envase adecuado de acuerdo con el volumen de muestra necesario y tipo de análisis, que depende de cada analito	•	•
4	Homogeneización de la muestra, ambientación del envase y toma de la muestra	•	•
5	Adición con preservantes si se requiere en función del analito a analizar	•	•
6	Identificación de la muestra	•	•
7	Almacenamiento de la muestra	•	•
8	Transporte de la muestra	•	•
9	Entrega de la muestra en laboratorio	•	•
10	Registro de actividades realizadas en cadena de custodia	•	•

Fuente: Elaboración propia.

4.5.8.2 Medición de parámetros fisicoquímicos en terreno

4.5.8.2.1 Materiales y/o equipos

- Medidor multiparamétrico marca WTW, modelo pH_Cond 330-340i o similar
- Manuales correspondientes de los medidores usados, que deben ser llevados a terreno y ser consultados en caso de dudas o manipulaciones no rutinarias
- Soluciones de calibración para pH y conductividad eléctrica

[20] Existen puntos que se encuentran en áreas de baja permeabilidad y el purgado para el muestreo podría ser contraproducente, afectando a los niveles de áreas sensibles. Se han dado casos de purgados que han tardado años en recuperar el nivel anterior, como L10-1.

- Densímetros (rangos: 1,0-1.1; 1,1-1,2; 1,2-1,3; 1,3-1,4 g/ml) cuando se requiera
- Solución de mantención de electrodos, para el medidor multiparamétrico
- Papel “tissue” u otros no abrasivos, paños de algodón de poca pelusa
- Registros o ficha de información de muestreo y parámetros de terreno
- Guantes desechables (especialmente para medición de parámetros orgánicos)
- Agua destilada/desionizada

4.5.8.2.2 Metodología de medición

Para la correcta medición de parámetros fisicoquímicos en terreno, se deben efectuar las labores indicadas en la Tabla 4-15 que permitan contar con una muestra representativa del cuerpo de agua. Cabe señalar que las mediciones en terreno son realizadas en forma paralela tanto por la ETFA (código 029-01) como por SQM. La metodología que se sigue en terreno para la medición de los parámetros fisicoquímicos se detalla a continuación:

- Calibración de equipos (sonda multiparámetro).
- Purgado de pozos en caso de aguas subterráneas (cuando corresponda).
- Toma de muestra (Tabla 4-15).
- Vaciar muestra en probeta u otro recipiente (volumen según sea el caso) para medición de parámetros de terreno.
- Medición con equipo multiparámetro y posterior registro de datos.
- Registrar caudal de la bomba (cuando corresponda).
- Registrar datos, condiciones ambientales y observaciones.
- Limpieza del material utilizado con agua destilada.

4.5.8.3 Validación de los datos de calidad del agua

Para asegurar la calidad de los datos químicos se elaboró un protocolo de validación química (Flow Hydro Consulting, 2023) con el propósito de estandarizar la validación y el seguimiento de las diferentes etapas del monitoreo del análisis de muestras químicas ambientales, permitiendo la detección de desviaciones importantes en los resultados reportados. En esta sección se realiza un breve resumen de los cinco niveles o subetapas de validación.

Nivel 1: Integridad de datos previo al análisis

Este nivel contempla la revisión de la información ingresada a la base de datos. Se busca garantizar que la información registrada durante el muestreo y la reportada por los laboratorios sea ingresada sin modificaciones de parámetros o unidades a la base de datos, además de verificar que los análisis contemplen los parámetros solicitados a los laboratorios considerando el holding time respectivo.

Nivel 2: Control de parámetros de campo

El nivel 2 evalúa los resultados de las mediciones de parámetros de control capturados durante el muestreo entre la ETFA y SQM. Ante el escenario de encontrar desviaciones en las mediciones de conductividad eléctrica, temperatura y/o pH se debe solicitar a los participantes de la campaña:

- Recalibración de equipos de terreno
- Remplazo de sensores de sondas paramétricas
- Nueva medición de parámetros *in-situ* para control interno

Los métodos estadísticos para verificar si las mediciones son consistentes se detallan a continuación

Mediciones de conductividad eléctrica y temperatura de ETFA versus SQM

La precisión es evaluada calculando el Error Relativo (ER) entre el parámetro medido en terreno por la ETFA y por SQM. El criterio de aceptabilidad corresponde a un resultado de ER menor al 10%.

$$ER = \left| \frac{X_1 - X_2}{\frac{X_1 + X_2}{2}} \right|$$

Mediciones de pH de ETFA versus SQM

Para comparar las mediciones de pH capturadas por la ETFA y SQM durante el muestreo, se analiza la diferencia entre los resultados obtenidos, dado que el pH representa el logaritmo de la concentración y el promedio no sería adecuado. El criterio de aceptabilidad corresponde a una diferencia menor a 0,5.

$$Diferencia\, pH = |X_1 - X_2|$$

Nivel 3: Control de resultados de calidad de laboratorio

El nivel 3 busca verificar los resultados reportados por el laboratorio en cuanto al balance iónico y la comparación de los parámetros fisicoquímicos medidos en terreno y laboratorio.

Mediciones de terreno versus laboratorio

Los parámetros fisicoquímicos medidos por la ETFA serán comparados con los valores reportados por el laboratorio. Se aplicarán los mismos criterios de aceptabilidad que en el nivel 2 para la conductividad eléctrica y el pH. En cuanto a la densidad, el criterio de aceptabilidad corresponde a un resultado de ER menor al 1%.

En caso de existir diferencias notables entre ambos puede deberse a que la muestra se haya visto alterada en el tiempo que transcurre entre la medición en terreno y laboratorio. Los procesos que tienen lugar en este periodo son muy variados; precipitación o disolución química, evaporación, interacción con la atmósfera, contaminación o incluso cambio de muestras en el etiquetado. Estos resultados no se muestran en los apartados siguientes, salvo en el caso concreto de que exista alguna desviación que sea importante hacer notar.

Error de balance iónico reportado por el laboratorio

Como una medida de control adicional, se les ha solicitado a los laboratorios reportar el error de balance iónico (EBI) con el propósito de optimizar la reanálisis de una muestra si es que el EBI no cumple el criterio de aceptabilidad. El EBI se calcula mediante la expresión:

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

Para aquellas muestras que se analizan los iones mayoritarios se verifica el error de cargas entre cationes totales (cat) y aniones (an). Por lo general se suele admitir un valor de 5% con cationes disueltos según la bibliografía existente (Custodio & Llamas, 2001), pero dadas las elevadas concentraciones que se encuentran en la salmuera, de acuerdo con la literatura disponible para el análisis de muestras de salmueras con elevadas concentraciones (Garcés et al, 1996), se ha definido un valor inferior a 7,5%, como valor recomendable, aceptándose algún valor máximo puntual del 10%.

Se destaca que conforme a los monitoreos comprometidos en la RCA N° 226/2006 se realizan análisis sobre las fracciones totales, por lo que los resultados deben ser considerados como orientativos, los que, junto a análisis complementarios de analitos permite calcular el balance iónico total y disuelto para puntos donde no se contemplan según RCA el total de compuestos que permitían el correcto cálculo. Esto comprende a acciones voluntarias de SQM para así, mejorar su análisis. De tal forma, en los casos que el BI ofrece resultados mayores de 10%, se solicita la revisión del análisis al laboratorio. Si después de la revisión por parte del laboratorio se mantiene el mismo valor o si no se ha podido efectuar un nuevo análisis de la muestra, se mantiene como no validado y se sugiere que para los futuros análisis no sea considerado.

Nivel 4: Control de calidad de datos químicos

En el nivel 4 se busca evaluar la calidad de la información reportada por los laboratorios y detectar desviaciones que requieren reanálisis. A continuación, se describen los criterios a utilizar.

Consistencia de balance de masa

Para aquellas muestras en que se analizan Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos (SS) y Sólidos totales (ST), debe cumplirse la siguiente expresión:

$$\frac{SDT + SS - ST}{ST} \cdot 100 \geq \pm 20\%$$

En el caso de encontrarse desviaciones importantes, mayores al 20%, se solicita un chequeo al laboratorio. En caso de no poder corregirse, se consideran los resultados de los parámetros afectados como no validados.

Comparación de metales totales y disueltos

Se verificará que las concentraciones de metales totales sean mayores que los metales disueltos. En caso de no cumplir esta condición se solicitará al laboratorio una revisión del informe y reanálisis de ser necesario.

Balance iónico calculado por SQM

Se calculará el EBI con los valores de los certificados para comparar los resultados obtenidos por el laboratorio. Si no se cumple el criterio de aceptabilidad se solicitará reanálisis. Los valores reportados en las tablas de validación de balances iónicos del capítulo 5 corresponde a los EBI calculados por SQM. Se debe destacar que existe un número de iones que no son compromiso RCA N° 226/2006, lo que restringe los cálculos. En las tablas de validación de balances iónicos del capítulo 5. Resultados del segundo semestre 2023, se entregan estos cálculos como “No aplica” (NA) refiriéndose a este concepto.

Consistencia de alcalinidad y pH

Se verificará que muestras de pH ácido (<4,5) no presenten valores de alcalinidad o bicarbonatos.

Nivel 5: Detección de outliers

El nivel 5 busca detectar valores extremos o atípicos. Para ello se utilizarán los siguientes criterios:

Series de tiempo

Se estudiará el registro histórico considerando como aceptables valores dentro los umbrales calculados en base al promedio ± 2 DE (desviaciones estándar). Los valores que superan este valor son revisados y si procede, se solicita la revisión del análisis al laboratorio. Si después de la revisión por parte del laboratorio se mantiene el mismo valor o si no se ha podido efectuar un nuevo análisis de la muestra, este dato se mantiene como no validado. Si las campañas posteriores confirman ese resultado, dejará de ser considerado valor anómalo y se investigará que ha podido producir ese cambio. Los resultados validados por esta condición aparecerán con resalte en los gráficos del capítulo 5.

Rango

La extensión de los valores puede ser analizado por el rango de los datos, el cual se define como la diferencia entre el máximo y mínimo valor de un analito. Al ser una medida extremadamente sensible se utilizará el rango intercuartil (IQR), en donde se calcula el tercer y primer cuartil, representando el 50% de la información central. Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IQR = 0{,}7413 \cdot (Q_3 - Q_1)$$

Así, finalmente el criterio de aceptabilidad considera los valores dentro del IQR.

4.5.8.4 Clasificación agua dulce, salobre y salmuera

La cuenca del Salar de Atacama presenta fluidos de distinta naturaleza y características, que son clasificados como agua dulce, agua salobre o salmuera. Esta clasificación se efectúa desde la clasificación de Fetter (2001) modificado, la cual puede verse en la Tabla 4-16. La definición de los valores o límites a partir de los cuales se clasifican los distintos fluidos presentes en el Salar de Atacama debe mantenerse actualizada en base a correlaciones entre los distintos parámetros, que permiten robustecer esta clasificación.

Tabla 4-16: Rangos según SDT para definición de agua dulce, transición y salmuera.

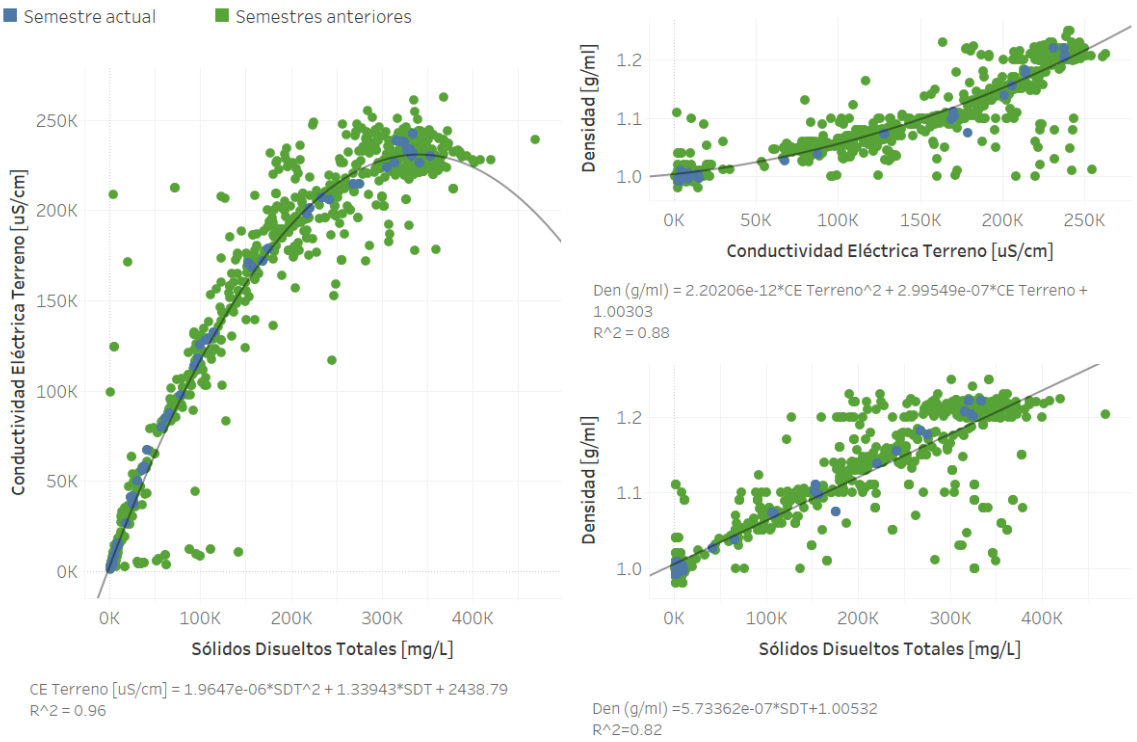
Fetter		Fetter modificado	
Categoría	Rango SDT (mg/L)	Categoría	Rango SDT (mg/L)
Agua fresca	0-1000	Agua fresca	0-3000
Aguas salobres	1000-10000	Zona de transición	3000-100000
Aguas Saladas	10000-100000		
Salmuera	>100000	Salmuera	>100000

Fuente: Fetter, C.W. 2001 Applied Hydrogeology 4th Edition. Prentice Hall

En la Figura 4-17 se presentan las correlaciones entre SDT vs CE y SDT vs densidad, obtenidas con los resultados de los distintos informes PSAH. Estas correlaciones y sus ecuaciones de ajuste serán empleadas para definir los límites ente agua dulce, zona de transición y salmuera en base a mediciones de conductividad y densidad. En la misma Figura 4-17 se presenta también la correlación entre CE y densidad que resulta útil conocer para otros potenciales estudios.

Los datos empleados en la Figura 4-17 son los adquiridos en forma posterior a 2016, debido a que para los datos anteriores existió un problema con las mediciones de SDT para los valores de salmuera (Anexo 10.3, Informe PSAH 26). Los resultados históricos se presentan en color verde mientras que los del semestre reportado en este informe se presentan en color azul. Para la elaboración de estas correlaciones se han empleado los resultados validados según el criterio de concentración histórica y que no presentan una diferencia entre los datos de CE de laboratorio y de terreno mayor a un 20%, ni una diferencia entre densidad de laboratorio y densidad de terreno mayor a un 1%. Puede verse que las correlaciones empíricas obtenidas presentan resultados buenos para la correlación entre SDT y CE y CE-Densidad, con valores R^2 de 0,96 y 0,88, respectivamente y aceptable para SDT – densidad con un R^2 de 0,82.

Figura 4-17: Correlaciones CE-SDT, Densidad – CE y Densidad -SDT para las muestras colectadas desde 2016



Fuente: Elaboración propia.

Considerando estas correlaciones y la definición para agua dulce, zona de transición y salmuera mostrada en la Figura 4-17, se obtienen los distintos rangos para SDT, CE y densidad, mostrados en la Tabla 4-17. No obstante, dado que estos valores calculados se encuentran sujetos a cierta incertidumbre asociada a toda medición de laboratorio, se puede considerar aplicar un ±10 % en los valores de CE calculados y un rango de ±2‰ g/mL para los valores de densidad calculados. Esta clasificación resulta de gran utilidad para la clasificación de fluidos en Salar de Atacama, pero no incide en los resultados obtenidos.

Tabla 4-17 Clasificación de tipos fluidos en base a TSD, CE y Densidad.

Tipo Agua	TSD (mg/L) (Fetter modificado, Tabla 4-16)	CE (mS/cm)	Densidad (g/mL)
Dulce Zona de Transición Salmuera	0 - 3.000 3.000-100.000 >100.000	0 a 5 ± 0,5 mS/cm 5 ± 0,5 a 126 ± 13 mS/cm >126 ± 13 mS/cm	1 a 1,003 ± 0,002 1,003 ± 0,002 a 1,065 ± 0,002 >1,064 ± 0,002

Fuente: Elaboración propia

4.5.9 PERFILAJE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN POZOS

Los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los perfiles de conductividad eléctrica se listan a continuación. Luego, se detalla la forma en que se realiza este tipo de monitoreo en terreno.

4.5.9.1 Materiales y/o equipos

- Sonda Conductividad KLL-Q-2 SEBA HYDROMETRIE o similar
- Piseta con agua dulce

4.5.9.2 Metodología de medición

La medición de la conductividad eléctrica en los pozos de cuña salina, mediante un proceso de perfilaje en profundidad, se realiza mediante el procedimiento GEOF-I-008 de SQM (adjunto en el Anexo 3.1). Pero a continuación, de forma genérica, los pasos seguidos son:

1) Verificación de estado de funcionamiento de sonda multiparamétrica
2) Ingreso de sonda en pozo hasta alcanzar el nivel freático
3) Descenso de sonda de forma gradual (cada 1 metro) y a una velocidad adecuada para la correcta medición de los parámetros.
4) Registro manual de los valores de conductividad y temperatura entregados por la sonda para cada 1 metro de profundidad.
5) Limpieza del material utilizado con agua dulce.
6) Descarga de los datos desde la sonda.

4.5.10 MEDICIÓN METEOROLOGÍA

La medición de los parámetros meteorológicos se realiza a partir de las estaciones que SQM dispone en el Salar (KCL y Chaxa). Para efectos del cumplimiento de la RCA 226/2006, las estaciones se encuentran equipados con los sensores que se detallan a continuación:

4.5.10.1 Materiales y/o equipos

- Evaporímetro: NOVALYNX 255-100
- Pluviómetro: Texas Electronics 525 M

- Temperatura del aire y velocidad del viento: Estación compacta LUFFT WS502-UMB

Toda actividad asociada a mantenimiento y descarga de datos de sensores de estaciones meteorológicas es presentada en el instructivo GEOF-I-010 presentado en el Anexo 3.1.

4.5.10.2 Metodología de medición

La recolección de información meteorológica se realiza mediante estaciones de monitoreo operadas por SQM. La medición se realiza automáticamente cada 5 minutos para precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, mediante los sensores que se encuentran instalados en las estaciones. Esta información es trasmitida satelitalmente a tiempo continuo (telemetría), información que es almacenada en servidores internos y publicada en tiempo real en https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/. Además, la validación de estos datos diarios es publicada los días 10 de cada mes.

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 2023, que comprende el período de entre el 01 de julio al 31 de diciembre de 2023.

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

En el capítulo 5 se exponen los resultados de las mediciones y/o muestreos que se han recogido entre el 01 de julio al 31 de diciembre de 2023.

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.

La definición de un procedimiento para realizar la medición y verificar su cumplimiento se realiza con el objetivo de minimizar y controlar las incertidumbres existentes.

En la obtención de la cota piezométrica las incertidumbres se concentran en la precisión de los equipos de medición como son el pozómetro (± 5 mm[21]), la observación de la medida por parte del monitor (± 1 mm) y la precisión con la que se haya medido la cota del punto de referencia (± 1 cm); esta última depende del equipo de medición topográfica usado, además de las condiciones climáticas, el tiempo transcurrido (minutos) durante los registros de la medición en el punto y la distancia a la estación base, aunque, en general, es del orden de centímetros.

Para el caso de los puntos de medición continua, el valor del nivel se obtiene mediante transductores de presión. El transductor registra la presión cada 1 minuto, tal y como establece la Res Ex. Nº 1314/2020 de la SMA; mediante un valor de densidad de referencia ingresado por el usuario, calcula y reporta el nivel de salmuera en profundidad desde el punto de referencia. Dado que, los valores de densidad de referencia para los cálculos son obtenidos por mediciones de terreno efectuadas con frecuencia mensual, los valores de nivel reportados por los transductores cada 1 minuto tienen una incertidumbre debida a no contar con medidas de densidad con la misma frecuencia. En general, en los puntos de control de nivel freático ya sea de agua o salmuera, los valores de densidad presentan oscilaciones de densidad pequeñas y la mayoría de los puntos de medición continua son de este tipo. Los valores de densidad pueden variar en mayor grado cuando los puntos de medición están ubicados en zonas de aguas aflorantes (reglillas) o cercanos a éstos, donde la salinidad y, por ende, la densidad puede aumentar sensiblemente durante largos períodos de evaporación o disminuir durante los eventos de precipitación. Los puntos de este tipo representan la

[21] De acuerdo a especificaciones técnicas del equipo, adjuntas en Anexo 3.1.

minoría de las mediciones continuas. Sin embargo, es de gran importancia realizar visitas de mantenimiento. La falta de visitas de mantenimiento, (en caso de no se contar con la autorización para estas visitas), puede impactar negativamente en la precisión de las mediciones continuas; un sensor descalibrado tiende a registrar mediciones fuera de tendencia, lo que implicaría estar registrando mediciones no validables.

Asimismo, el comportamiento de niveles continuos puede alertar de una posible activación o desactivación falsa de fase sobre algún indicador del plan de contingencia. Sin embargo, antes de notificar cualquier alerta, se debe esperar a una medición de nivel manual que confirme la acción. En el caso de no poder acceder al punto de medición (por restricción de acceso, por ejemplo), es importante evaluar la veracidad de la alerta analizando el comportamiento del nivel continuo del punto y/o de uno cercano. Las dos posibles circunstancias que pueden causar la perturbación del nivel continuo son, por un lado, los eventos de precipitación y por otro, las posibles descalibraciones de los sensores. Para confirmar la primera circunstancia, se debe revisar el registro de precipitaciones de las estaciones meteorológicas cercanas y el registro de niveles continuos de pozos aledaños al punto en cuestión. En caso de descartar la perturbación del nivel por precipitación, se debe considerar que el sensor está desconfigurado. En este sentido, se debe solicitar un permiso especial para que el Equipo de Instrumentación ingrese a realizar el respectivo mantenimiento. Para garantizar la fiabilidad y precisión del sistema de medición continuo y disminuir la incertidumbre, se debe realizar el mantenimiento preventivo y el reemplazo regular de los sensores. Los planes de reemplazo de sensores se realizan con una frecuencia de cada 18 meses.

En la medición de parámetros fisicoquímicos en terreno y los parámetros medidos en laboratorios externos, la incertidumbre recae en la representatividad de la muestra en la que se miden los parámetros, el estado de calibración y adecuación del rango de trabajo de los equipos de medición, además claro está del rango de precisión del mismo equipo. En el caso de la necesidad de procesos de preparación de la muestra, como diluciones u otras manipulaciones, se incrementan las incertidumbres. Seguir los procedimientos en el caso de la medición de parámetros “in situ”, muestreo y cumplimiento de los estándares de calidad por parte de los laboratorios, en adición a tomar muestras por duplicado, contribuye a minimizar y controlar las incertidumbres de los parámetros.

En la medición de caudales en cauces naturales, la incertidumbre recae en la medición del área de las secciones (± 0,1 m^2), la precisión de medición del molinete (± 0,1 m/s) y el régimen del flujo de agua (laminar-turbulento).

Para el caso de las mediciones de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento, la incertidumbre asociada está ligada a la precisión de los equipos utilizados en las estaciones meteorológicas, los que se deben mantener limpios y calibrados, además de fallas de sensor que pueden presentarse durante el transcurso de la transmisión, ello implica un gap de información de datos anómalos que posteriormente pasan por el proceso de validación y relleno tal como se indican en el Anexo 9.

En la obtención de la superficie de las lagunas mediante el procesamiento de imágenes satelitales, la incertidumbre se asocia a la resolución de dichas imágenes (lo que se mide en función del tamaño del píxel de la imagen) y las decisiones posteriores que se requieren para el procesamiento y el mismo cálculo de los índices, las que pueden ser disminuidas vía puntos de control de terreno.

Se debe mencionar que, a una mayor resolución espacial (menor dimensión del píxel) se minimiza el efecto de mezcla espectral (pixel que contiene información superpuesta de suelo y agua). El fenómeno anterior puede derivar en malas clasificaciones o determinaciones de superficies, razón por la cual se privilegia el uso de imágenes satelitales de alta resolución (Tabla 4-10). Otro factor que puede alterar la reflectancia superficial es la presencia de bruma, neblina o nubes dispersas de difícil identificación en la imagen satelital (corrección atmosférica no elimina estos cuerpos). Finalmente, se debe mencionar la restricción inherente al método para la estimación de cuerpos de dimensiones menores (centimétricos o decimétricos), así como la detección de cuerpos de agua someros (unos pocos centímetros) debido a que las características espectrales típicas del agua son obliteradas por las del suelo subyacente.

Cabe indicar que cada 5 años se mide topográficamente la superficie de las lagunas (RTK). El resultado es una medición directa de la superficie de las lagunas. De esta forma, la medición del mes de abril se compara con los resultados de la medición a partir de las imágenes satelitales a modo de validación de éstas. La incertidumbre de este método depende de la cantidad de puntos que se tomen en el perímetro de la laguna, el número de satélites disponibles durante la medición y si la laguna tiene o no barras o islas en el interior de su cuerpo principal. 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

Por otro lado, la superficie de las lagunas se mide mediante estacas perimetrales, en los meses de enero, abril, julio y octubre. Este método es aproximado ya que utiliza la presencia de agua en ciertos puntos prefijados (estacas) para generar polígonos y así estimar la superficie cubierta con agua, por lo que es menos exacto que el método de las imágenes satelitales y que la medición mediante topografía. No obstante, de esta metodología se pueden extraer puntos de borde lagunar, los que en conjunto con puntos de control contribuyen a minimizar errores en la delimitación lacustre satelital.

Referente a las mediciones de caudales de agua industrial estos son medidos mediante flujómetro Endress+Hauser Flowtec y 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 RNF, que fue establecida mediante Resolución N°56/2019 de CONAF[22], 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 Reserva. A pesar de haber contado autorizaciones en todos los meses del periodo reportado, 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 RNF (CONAF y la Comunidad de Toconao), han limitado los sectores y el tiempo efectivamente disponible de trabajo.

[22] 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.

5 RESULTADOS DEL SEGUNDO SEMESTRE 2023

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 2023.

Los resultados son presentados de acuerdo con los criterios en materia de seguimiento ambiental definidos por la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Res. Ex. 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 con 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 Res. Ex. N°29/Rol F-041-2016. Dichas acciones son:

- Aumento de frecuencia de monitoreo de indicadores de estado de los Planes de Contingencia y del Sector Peine de mensual a diaria, a partir del 1 de diciembre de 2018, salvo para el caso de los indicadores que están dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (sectores Aguas de Quelana y Sistema Hidrológico de Soncor), donde la frecuencia de monitoreo se ajustará a lo indicado en el Protocolo de ingreso aprobado por Resolución Nº 56/2019 de CONAF.
- Aplicación de los umbrales de activación de fase I y/o II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto calificado mediante RCA 226/2006, como en los pozos PN-05B y PN-08A del sector Alerta Núcleo del Plan de Alerta Temprana del considerando 10.18 de la RCA Nº21/16, y las correspondientes medidas de control, cuando corresponda.
- Robustecimiento del monitoreo de la superficie lagunar mediante imágenes satelitales de alta resolución de los sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana (Acción 19) que al mismo tiempo aumenta su frecuencia de monitoreo anual a trimestral. Tal acción y sus resultados han sido presentados en los PSAH previo a la aprobación del PdC y continua hasta el presente.
- Ajustar la aplicación de los Planes de Contingencia de modo que esta se adecúe estrictamente a los indicadores de estado (pozos y reglillas) definidos en los considerandos 11.2.1 (para el sistema

Soncor), 11.3.1 (para el sistema lacustre Aguas de Quelana) y 11.4.1 (para el sistema Vegetación Borde Este) de la RCA Nº 226/2006 (Acción 47).

- Aplicar los umbrales de activación incluidos en el considerando 11.2.1 “Indicadores de estado y valores de activación” (Sistema Soncor) de la RCA Nº226/2006 (Acción 48).

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.

Dicho todo lo anterior y junto con lo establecido en la RCA N° 226/2006, en la Tabla 5-1 se muestra la relación de cada parámetro con la frecuencia de medición comprometida y el detalle del responsable asociado, según deba ser una ETFA o SQM, quien realice las mediciones. Tal y como puede verse en la misma tabla, existen mediciones adicionales y voluntarias en el caso de los niveles y los aforos ya sean ejecutados por la ETFA o SQM en cada caso.

Cabe señalar que es SQM quien a partir del 06 de septiembre de 2022 es el responsable de las mediciones mensuales según lo descrito por las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022 de la SMA, y desde entonces se ajusta el contrato con la ETFA (ver “Medición comprometida en la Tabla 5-1”), quien pasa a realizar las mediciones diarias de los indicadores de estado comprometidos. Así, en las tablas que muestran los recuentos de mediciones tomadas durante el semestre se muestran ambas mediciones (comprometida y voluntaria) para todo el periodo (julio-diciembre), ya sea por parte de SQM y/o la ETFA. 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 la medición desde 06/09/2022	Frecuencia de medición	Responsable de la medición desde 06/09/2022
Punto del PSAH	Nivel	Mensual	SQM	Mensual	SQM
	Caudal de agua (aforos)	Mensual	ETFA	Mensual	SQM
	Calidad	Trimestral	ETFA	-	-

	Meteorología	5 minutos	SQM	-	-
	Superficie lacustre	5 años/ trimestral	SQM (mediante empresa especializada)	-	-
	Caudal bombeado	1 minuto	SQM	-	-
Indicador de estado	Nivel	Diaria	ETFA	Mensual	SQM

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 2023, agrupados según los siguientes sistemas y áreas de control (ver apartado 4.3 Ubicación de los puntos o áreas de Monitoreo):

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

Las variables monitoreadas en cada uno de estos sistemas, según corresponda, han sido agrupadas de la siguiente forma (ver apartado 4.1):

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

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

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

A modo de facilitar la visualización e interpretación conjunta del seguimiento ambiental y así el cumplimiento de la RES. 223/2015 de la SMA, se presenta mediante gráficos todos los resultados obtenidos en el período, ya sean éstos puntuales, continuos[23] o efectuados por alguna entidad externa (si fuere el caso), junto con las tablas que detallan el mes de medición y la medición puntual correspondiente. En el caso de los pozos pertenecientes al PC, que disponen de una medida diaria, en las tablas se exponen los máximos y mínimos mensuales a modo de referencia. No obstante, los datos diarios tabulados resultantes, se entregan en el anexo correspondiente a los niveles (Anexo 5.2).

En relación con la información entregada en los anexos, en el Anexo 4 se presentan todas las comunicaciones y resoluciones que se han realizado y/o se encuentran vigentes en el actual periodo reportado; en el Anexo 4.1 se agrupa todo lo referente a la gestión de ingreso a RNLF (cartas de SQM solicitando ingreso y resoluciones que informan sobre las condiciones de ingreso o cierre de la reserva). Luego, En el Anexo 4.2 se agrupa todo lo referente a la gestión de ingreso al sector del Sistema Peine que está controlado por la Comunidad de Peine (cartas de SQM solicitando ingreso y comunicaciones por parte de la comunidad). Por su parte, en el Anexo 4.3 se presentan las cartas que se han emitido a la Comunidad Coyo para la solicitud de ingreso al sector de Tambillo; en el Anexo 4.4 se presentan todas las cartas remitidas a la SMA para avisar sobre las activaciones y/o desactivaciones de fase de cada sistema e indicador asociado. Por último, en Anexo 4.5 se presentan otras comunicaciones relacionadas con incidencias u otros aspectos relacionados con el monitoreo semestral.

Respecto de las variables, y en el caso de los niveles, en el Anexo 5.2 se presenta en forma tabulada la información de todos los monitoreos efectuados para el período objeto del presente informe de agua

[23] Se han mostrado datos validados en algunos casos, dado que outliers puntuales de figuras de niveles no permiten visualizar la escala del resto de las mediciones. Los outliers corresponden a desconfiguraciones de sensor de medición continua que ocurren puntualmente.

subterránea y superficial, de acuerdo al formato establecido en la RES. 894/2019 de la SMA, que incluye las mediciones en metros por sobre el nivel medio del mar (msnm), metros bajo el punto de referencia (mbpr) y metros bajo el nivel del terreno (mbnt). En este registro tabulado, se está incluyendo también la información levantada tanto por la ETFA como por SQM.

En el Anexo 5.1 se adjuntan los informes elaborados por parte de la ETFA de niveles y medición de caudal de agua subterránea, donde además se respalda y justifica en el caso que los puntos no hayan podido ser visitados. El formato y el contenido mínimo de los informes se presentan en cumplimiento de lo estipulado en la RES. N°574/2022[24].

En el Anexo 6 se agrupa toda la información referente al monitoreo de calidad: en el Anexo 6.1 se entregan todos los informes entregados por las ETFAs, donde también se indican los puntos que no pudieron ser muestreados. El formato y el contenido mínimo de los informes se presentan en cumplimiento de lo estipulado en la RES. 574/2022. El Anexo 6.2 se entregan todos los resultados de calidad obtenidos para este segundo semestre de 2023 de acuerdo al formato establecido en la RES. EX. 894/2019 de la SMA, esto incluye también los perfiles de conductividad eléctrica.

El caudal medio mensual resultante de las extracciones de los pozos de agua industrial para este semestre se entrega en el Anexo 7. Los resultados de los aforos (caudal de agua superficial) se encuentra en el Anexo 8, de acuerdo con el formato establecido en la RES.EX. 894/2019. En el Anexo 9 se presenta todo lo relacionado con los datos meteorológicos; en el Anexo 9.1 se presentan las mediciones recopiladas y tabuladas de las estaciones meteorológicas y en el Anexo 9.2 los informes de respaldo conforme los rellenos de series que han sido necesarios realizar para el presente semestre reportado. Finalmente, la variable de extensión lagunar se entrega de forma tabulada en el Anexo 10.

En el Anexo 11 se entrega de forma tabulada el detalle de la estratigrafía y habilitación de los piezómetros y pozos que forman parte de la red del PSAH que se presentan en este reporte.

[24] Resolución que revoca la resolución exenta N°127/2019.

Asimismo, en el Anexo 12 se entregan las definiciones de umbrales, definición de medidas de control y protocolos de umbrales en caso de activación tanto de Fase I y Fase II para el sector de Peine.

Finalmente, en el Anexo 13 se entrega la información levantada durante el segundo semestre de 2023 en formato de sistema de información geográfica (SIG), donde se puede visualizar cada punto con las mediciones comprometidas y adicionales. De igual forma, esta información es entregada a partir de un basemap de acceso público en tiempo real en https://www.sqmsenlinea.com/.

5.1.1 RESUMEN DE PUNTOS NO VISITADOS

En la cuenca del Salar de Atacama existen varios sectores en donde no es posible acceder para hacer el seguimiento ambiental comprometido en el PSAH. Las razones del por qué no se han realizado todas las mediciones durante este semestre son las siguientes:

- Áreas con restricción de acceso a Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF)
- Áreas con restricción de acceso por parte de comunidades

A continuación, se define cada punto y como afecta cada uno de ellos a las mediciones comprometidas según RCA N°226/2006.

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

Actualmente el PSAH se caracteriza por contar con puntos de medición/muestreo en áreas con acceso restringido. En primer lugar, el “Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos” que limita el acceso a las zonas de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNF o RNLF) y que entró en vigencia el 14 de junio de 2019, según Resolución Nº 56/2019 de la Región de Antofagasta. Las reservas se ubican en el sistema Soncor y Aguas de Quelana y el detalle de los puntos que se encuentran dentro de estas áreas se muestra a continuación:

- En el área del Sistema Soncor se restringe el acceso al entorno de las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar, como también a la estación meteorológica de Chaxa. De entre la infraestructura habilitada en esta área, se incluyen los 2 puntos de aforo (Puente San Luis y Aforo Barros Negros) y 42 puntos de medición de nivel lo que equivale al 46% de la infraestructura del Sistema Soncor. Respecto de los muestreos de calidad trimestrales comprometidos en el PSAH, se encuentran 11 pozos y las 4

lagunas (las que su muestreo correspondía al efectuado por CONAF anteriormente por cada reglilla). De entre los indicadores de estado, el L7-4 (Subsector Puilar) se encuentra dentro de la Reserva. Cabe mencionar que existen dos pozos adicionales que no se encuentran dentro de la Reserva, pero sus accesos sí (1027 y L7-7), por lo que, si no existe permiso de ingreso en el subsector del centro turístico Chaxa, éstos tampoco pueden ser visitados.

- En el área del Sistema Aguas de Quelana la restricción limita el acceso a 33 puntos de medición de niveles y un punto para el seguimiento de la interfaz salina (53 % de la infraestructura del Sistema Aguas de Quelana queda dentro de la Reserva), de los cuales 17 cuentan con medición continua y 4 con muestreo de calidad. De éstos, 6 son indicadores de estado. Se hace notar que el indicador de estado L2-27 se ubica dentro de RNF, pero no se ha contabilizado en la anterior descripción, pues se encuentra a escasos metros del límite y debido a sus anteriores activaciones de fase, en este punto se ha mantenido su visita diaria.

En segundo lugar, el protocolo establecido mediante Resolución Nº 56/2019 de CONAF define que, para acceder a las distintas zonas de la RNF se requiere que SQM formalice primero una propuesta de monitoreo y posteriormente CONAF emita las autorizaciones pertinentes donde se fijan las áreas, las actividades y el número de días en que se autoriza el ingreso al área protegida. En la Tabla 5-2 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 RNF sectores Soncor y Aguas de Quelana, junto con la relación de cartas emitidas por CONAF conforme el detalle de los días y las actividades autorizadas en cada trimestre.

Como se ha descrito anteriormente, las autorizaciones emitidas por CONAF fijan las áreas, el número de días y también el tipo de actividades a realizar en cada caso. En muchas ocasiones esta limitación supone que no se disponga del tiempo suficiente para todas las actividades de medición, muestreo o mantención necesarias en cada área, por lo que, pese a contar con las autorizaciones para cada mes, en muchas ocasiones no se han podido ejecutar todas las actividades comprometidas en el PSAH; en los siguientes apartados, puede encontrarse el detalle de los puntos que no han sido visitados para cada sistema.

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

		Envió solicitud SQM		Respuesta autorización	
Entidad/Sistema	Mes	N° Carta	Fecha	N° Carta oficial	Fecha
CONAF-Sistema Soncor	jul-23	GMAL 248/2023	30-05-2023	CARTA OFICIAL 20/2023	23-06-2023
	ago-23				
	sept-23				
	oct-23	GMAL 346/2023	31-08-2023	CARTA OFICIAL 38/2023	27-09-2023
	nov-23				
	dic-23				
CONAF-Sistema Aguas de Quelana	jul-23	GMAL 244/2023	30-05-2023	CARTA OFICIAL 18/2023	23-06-2023
	ago-23				
	sept-23				
	oct-23	GMAL 342/2023	31-08-2023	CARTA OFICIAL 26/2023	29-09-2023
	nov-23				
	dic-23				

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Áreas restringidas por las comunidades

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

- Esta área dentro del Sistema Peine contiene 16 puntos de nivel mensual (no hay ningún punto del PC[25]), 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.

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

- La Comunidad de Peine controla el acceso sobre el Sector de Tilopozo, lo que implica la restricción de acceso a 4 pozos y 1 reglilla para su medición mensual de nivel.
- La Comunidad de Coyo controla el acceso en el área denominada Sector de Tambillo, situada al norte del Sistema Soncor, lo que implica la restricción de acceso a 2 pozos y 1 reglilla para su medición mensual de nivel.

Para solicitar la autorización de ingreso a estas áreas, durante el segundo semestre 2022 SQM ha enviado una serie de cartas dirigidas a cada comunidad, detallando la propuesta de actividades a realizar cada vez (ver relación de cartas en la Tabla 5-3). Cabe decir que, como respuesta a las cartas enviadas por SQM en todos los casos, la Comunidad de Peine ha transmitido las autorizaciones de forma verbal en las reuniones que ambas partes han efectuado, bien mediante correos electrónicos, o bien, en conversaciones telefónicas, por lo que no se cuenta con documentos formales para ello.

Cabe mencionar que la Comunidad decretó el cierre completo del sector de lagunas y puntos aledaños desde el día 03 de noviembre (2023) mediante la carta N°18/2023 del dia 02 de noviembre de 2023. Los motivos que llevaron al cierre fueron para preservar las tasas de reproducción de flamencos en el territorio. La restricción de acceso es continua hasta el final del periodo en reporte y se evaluara su acceso durante la primera quincena de abril de 2024.

Respecto a las campañas de terreno para medición de estacas perimetrales y puntos de control para rectificación de limites lacustres solo se pudo ingresar al sistema lacustre de Peine (Saladita e Interna), por otro lado, en julio se logró ingresar a los sistemas lacustres de Salada y Saladita. Puede verse más detalle en la sección 5.1.5.

Respecto del sector de Tilopozo, durante el presente semestre reportado sí se ha podido acceder para realizar las mediciones de nivel mensuales correspondientes.

Finalmente, los 3 puntos ubicados en el sector de Tambillo siguen sin poder ser visitados debido a la existencia de una barrera y un pretil que corta el camino de acceso e impiden llegar a los puntos; el acceso se encuentra controlado por la Comunidad de Coyo desde noviembre de 2019 y desde entonces se ha dado aviso a la SMA del impedimento de poder realizar el monitoreo. SQM ha ido emitiendo cartas mensuales conforme la solicitud de acceder a esta área, sin haber recibido ninguna respuesta (ver detalle

de cartas en Tabla 5-3. Por tanto, no se ha podido contar con el permiso de la comunidad para la visita a estas infraestructuras en ningún momento del segundo semestre de 2023.

Tabla 5-3: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de las comunidades

		Envió solicitud SQM		Respuesta autorización	
Entidad/Sistema	Mes	N° Carta	Fecha	N° Carta oficial	Fecha
Comunidad de Peine (Sector del Sistema Peine)	jul-23	GMAL 236/2023	30-05-2023	S/R	S/R
	ago-23				
	sept-23				
	oct-23	GMAL 344/2023	31-08-2023	S/R	S/R
	nov-23				
	dic-23				
Comunidad de Coyo (Sector Tambillo)	jul-23	GMAL 253/2023	30-05-2023	S/R	S/R
	ago-23				
	sept-23				
	oct-23	GMAL 349/2023	31-08-2023	S/R	S/R
	nov-23				
	dic-23				

Fuente: Elaboración propia. S/R: Sin Respuesta por parte de la comunidad.

5.1.2 SISTEMA SONCOR

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Soncor considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua superficial y subterránea (86 puntos), meteorología (1 estación), caudal bombeado (2 puntos), calidad química (17 puntos), aforos de caudal (2 puntos) y superficie lacustre (3 lagunas). Los resultados para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación.

5.1.2.1 Nivel del agua subterránea y superficial

Se presentan los niveles de todos los pozos y reglillas que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Soncor, tal como se muestra en la Figura 4-4. Los resultados de las mediciones del presente apartado no se contrastan con límites de control, ya que el PSAH solo define umbrales para aquellos puntos que pertenecen al PC y éstos se muestran junto con sus umbrales en el apartado 5.2. Adicionalmente, para todos los sistemas, tal como se ha mencionado en el apartado “4.3 Parámetros para caracterizar las variables ambientales”, las mediciones y/o monitoreos se han ajustado desde septiembre de 2022 bajo las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022, así, las mediciones que comprometen a pozos PSAH han sido realizadas por SQM Salar y los pozos PC con mediciones diarias han sido medidas por la entidad técnica de fiscalización ambiental SEGEA código 040-01.

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, pero para mayor claridad de su presentación, solo serán presentados en esta sección.

5.1.2.1.1 Pozos en zona aluvial

Esta zona consta de 11 puntos de control, de los cuales el L1-3, L2-7 y L7-6 resultan indicadores de estas. Por otro lado, ninguno se encuentra dentro de la reserva ni tampoco cuentan con mediciones continuas.

En la Tabla 5-4 se muestra el monitoreo comprometido resultante para el segundo semestre 2023, en la en la Tabla 5-5, se entrega el número de mediciones realizadas por cada empresa. Finalmente, en la Figura 5-1 se muestra gráficamente los niveles obtenidos en el monitoreo completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las complementarias.

Cabe recordar que el compromiso en caso de los indicadores de estado son mediciones diarias realizadas por SQM y para el resto de los puntos son mediciones mensuales realizadas por la ETFA de acuerdo con la RES. EX. Nº573, Nº57, Nº575/2022.

Tal y como puede verse, toda la infraestructura de este sector ha podido visitarse con regularidad y con la frecuencia comprometida en todos los casos.

Tabla 5-4: Registro de niveles zona aluvial Sistema Soncor

L1-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
6/7/23 10:14	2.328,673
10/7/23 12:00	2.328,674 *
9/8/23 12:37	2.328,683
14/8/23 10:49	2.328,665 *
6/9/23 12:58	2.328,693
20/9/23 11:43	2.328,682 *
4/10/23 14:11	2.328,702
10/10/23 11:12	2.328,676 *
9/11/23 13:19	2.328,750
14/11/23 10:38	2.328,698 *
6/12/23 17:37	2.328,740
19/12/23 11:01	2.328,694 *

L1-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
6/7/23 11:06	2.324,575
10/7/23 13:43	2.324,596 *
11/7/23 10:29	2.324,576 *
9/8/23 15:16	2.324,600
15/8/23 10:22	2.324,576 *
6/9/23 14:54	2.324,610
21/9/23 13:36	2.324,589 *
4/10/23 14:54	2.324,613
11/10/23 11:46	2.324,600 *
9/11/23 11:55	2.324,620
15/11/23 11:15	2.324,612 *
6/12/23 16:34	2.324,629
20/12/23 14:10	2.324,620 *

L2-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 13:24	2.323,863
10/8/23 13:16	2.323,875
23/8/23 13:18	2.323,868 *
27/9/23 12:01	2.323,892
30/10/23 15:49	2.323,909
23/11/23 11:07	2.323,872
21/12/23 14:29	2.323,905

L2-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 11:59	2.322,726
10/8/23 13:55	2.322,749
23/8/23 13:31	2.322,745 *
27/9/23 11:51	2.322,747
30/10/23 15:06	2.322,766
23/11/23 11:18	2.322,745
21/12/23 14:15	2.322,768

L7-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
6/7/23 12:11	2.333,419
10/7/23 12:36	2.333,413 *
9/8/23 13:35	2.333,418
14/8/23 11:32	2.333,400 *
6/9/23 13:32	2.333,424
20/9/23 12:17	2.333,409 *
4/10/23 12:21	2.333,417
10/10/23 11:49	2.333,409 *
9/11/23 12:55	2.333,482
14/11/23 11:24	2.333,424 *
6/12/23 14:11	2.333,429
19/12/23 11:27	2.333,414 *

L7-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
6/7/23 11:44	2.330,103
10/7/23 13:17	2.330,115 *
9/8/23 14:27	2.330,126
14/8/23 13:37	2.330,130 *
6/9/23 14:13	2.330,131
20/9/23 14:20	2.330,132 *
4/10/23 13:01	2.330,127
10/10/23 13:20	2.330,130 *
9/11/23 12:28	2.330,154
14/11/23 12:58	2.330,139 *
6/12/23 13:00	2.330,143
19/12/23 12:52	2.330,144 *

MULLAY-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
6/7/23 10:24	2.327,627
10/7/23 10:13	2.327,612 *
10/7/23 10:38	2.327,617 *
9/8/23 13:01	2.327,637
14/8/23 10:10	2.327,602 *
6/9/23 12:32	2.327,628
20/9/23 11:03	2.327,647 *
4/10/23 14:02	2.327,650
10/10/23 10:25	2.327,619 *
10/10/23 10:25	2.327,619 *
10/11/23 10:25	2.327,817
14/11/23 10:09	2.327,637 *
6/12/23 18:00	2.327,687
19/12/23 10:26	2.327,645 *

ALLANA	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 10:45	2.322,226
10/8/23 10:07	2.322,215
27/9/23 12:18	2.323,365
30/10/23 10:28	2.322,171
23/11/23 10:55	2.323,267
21/12/23 14:45	2.323,319

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) Corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

L1-3		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.319,914	2.319,917
Ago 2023	2.319,913	2.319,917
Sep 2023	2.319,914	2.319,920
Oct 2023	2.319,913	2.319,918
Nov 2023	2.319,906	2.319,913
Dic 2023	2.319,889	2.319,905

L7-6		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.325,555	2.325,566
Ago 2023	2.325,562	2.325,573
Sep 2023	2.325,566	2.325,580
Oct 2023	2.325,577	2.325,590
Nov 2023	2.325,573	2.325,592
Dic 2023	2.325,587	2.325,596

L2-7		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Min	Max
Jul 2023	2.318,877	2.318,889
Ago 2023	2.318,876	2.318,879
Sep 2023	2.318,875	2.318,880
Oct 2023	2.318,877	2.318,883
Nov 2023	2.318,873	2.318,880
Dic 2023	2.318,862	2.318,873

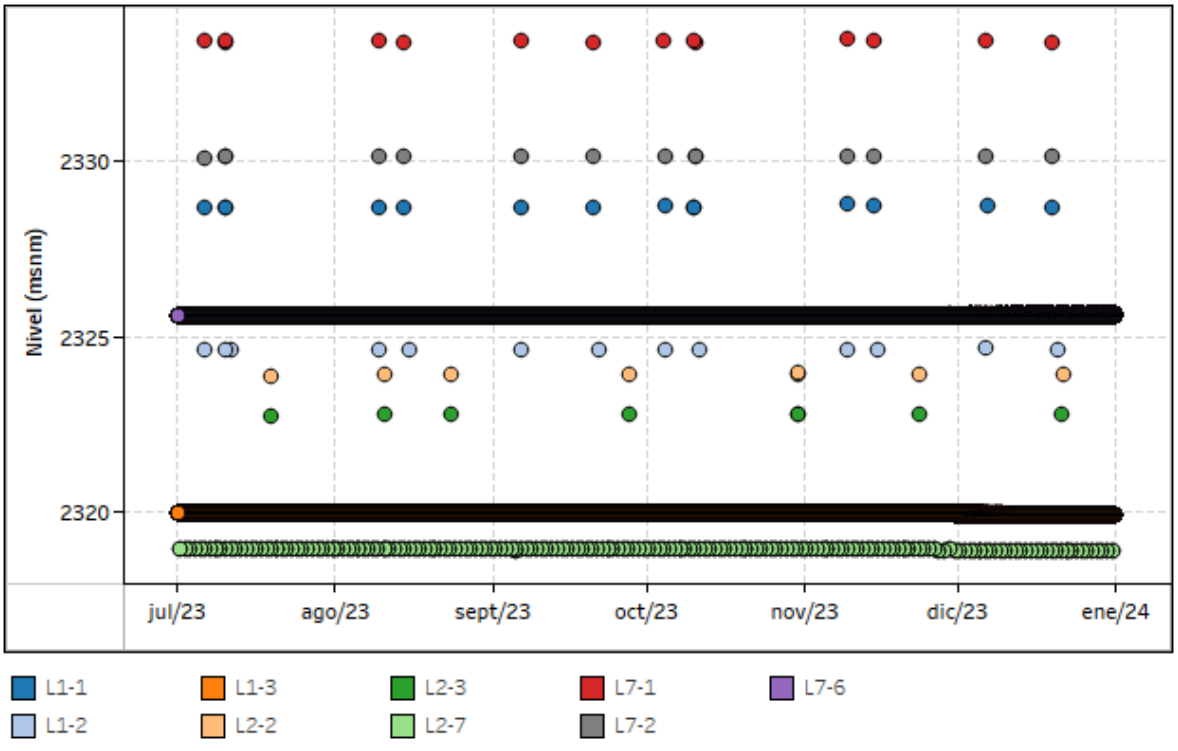
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-5: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
ALLANA				1			1	1	1	1	1	1
L1-1	1			1			2	2	2	2	2	2
L1-2							3	2	2	2	2	2
L1-3	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	3
L2-2				1			1	2	1	1	1	1
L2-3				1			1	2	1	1	1	1
L2-7	31	31	30	31	30	31	3	3	2	2	2	2
L7-1	1			1			2	2	2	2	2	2
L7-2	1			1			2	2	2	2	2	2
L7-6	31	31	30	31	30	31	5	3	3	3	3	3
MULLAY-1	1			1			2	2	2	2	2	2

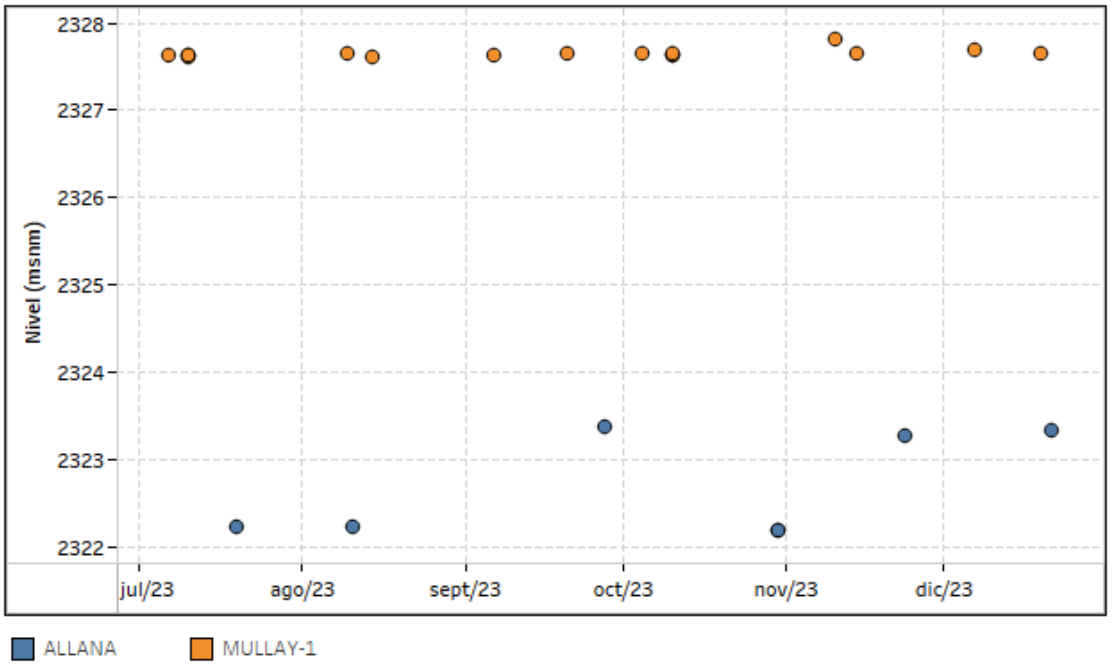
Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2 Pozos en zona marginal

En esta sección se presentan los resultados del monitoreo efectuado durante el segundo semestre del año 2023 en los 60 puntos de control de nivel ubicados en la zona marginal del Sistema Soncor, de los cuales 16 poseen medición continua.

Debido al número de puntos y a la extensión del Sistema Soncor se opta por subdividir la presentación de los resultados de acuerdo con la ubicación geográfica, dando como resultado seis subgrupos: subsector Puilar, subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros, subsector Oeste y Sur de la Laguna Chaxa, subsector Descarga Cola de Pez, subsector Desborde Sur de la Laguna Barros Negros y Sector Norte de Laguna Chaxa. A continuación, se muestran los resultados para cada grupo.

5.1.2.1.2.1 Subsector Puilar

En el subsector de Puilar se cuenta con 4 puntos de control (sin considerar las reglillas), de las cuales los pozos L7-3 y L7-4 corresponden a un indicador de estado. De estos, solo el L7-3 se encuentra dentro de la reserva, no obstante, los puntos L7-7 y 1027 no se encuentran dentro, pero, el acceso a estos puntos sí está supeditado a los permisos de ingreso a la reserva, en concreto a los permisos de traspaso de la barrera del centro turístico de Chaxa.

En la Tabla 5-6 se muestra el resultado de las mediciones comprometidas y en la Tabla 5-7 el recuento mensual para cada empresa. Finalmente, en la
Figura **5-3** se muestra gráficamente el resultado del monitoreo completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las adicionales.
Cabe recordar que el compromiso, en caso de los indicadores de estado, son mediciones diarias realizadas por SEGEA y para el resto de los puntos son mediciones mensuales realizadas por SQM Salar.

Durante el segundo semestre de 2023 se ha logrado mantener la visita estipulada todos los puntos comprometidos.

Tabla 5-6: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar

L7-4

Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.302,267	2.302,267
Ago 2023	2.302,275	2.302,275
Sep 2023	2.302,279	2.302,279
Oct 2023	2.302,276	2.302,276
Nov 2023	2.302,261	2.302,261
Dic 2023	2.302,251	2.302,251

1027

Fecha	Nivel (m s.n.m.)
6/7/23 11:27	2.307,932
10/7/23 13:39	2.307,940 *
9/8/23 14:42	2.307,962
14/8/23 14:15	2.307,964 *
6/9/23 15:34	2.307,971
21/9/23 10:18	2.307,974 *
4/10/23 13:24	2.307,963
10/10/23 13:37	2.307,960 *
9/11/23 11:16	2.307,927
14/11/23 12:31	2.307,923 *
6/12/23 16:08	2.307,886
19/12/23 13:11	2.307,864 *

L7-7

Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 12:58	2.304,200
16/8/23 13:17	2.304,244
13/9/23 15:05	2.304,257
5/10/23 10:28	2.304,241
14/11/23 12:41	2.304,176
5/12/23 13:08	2.304,116

L7-3

Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.313,501	2.313,533
Ago 2023	2.313,533	2.313,549
Sep 2023	2.313,535	2.313,550
Oct 2023	2.313,496	2.313,535
Nov 2023	2.313,451	2.313,497
Dic 2023	2.313,399	2.313,448

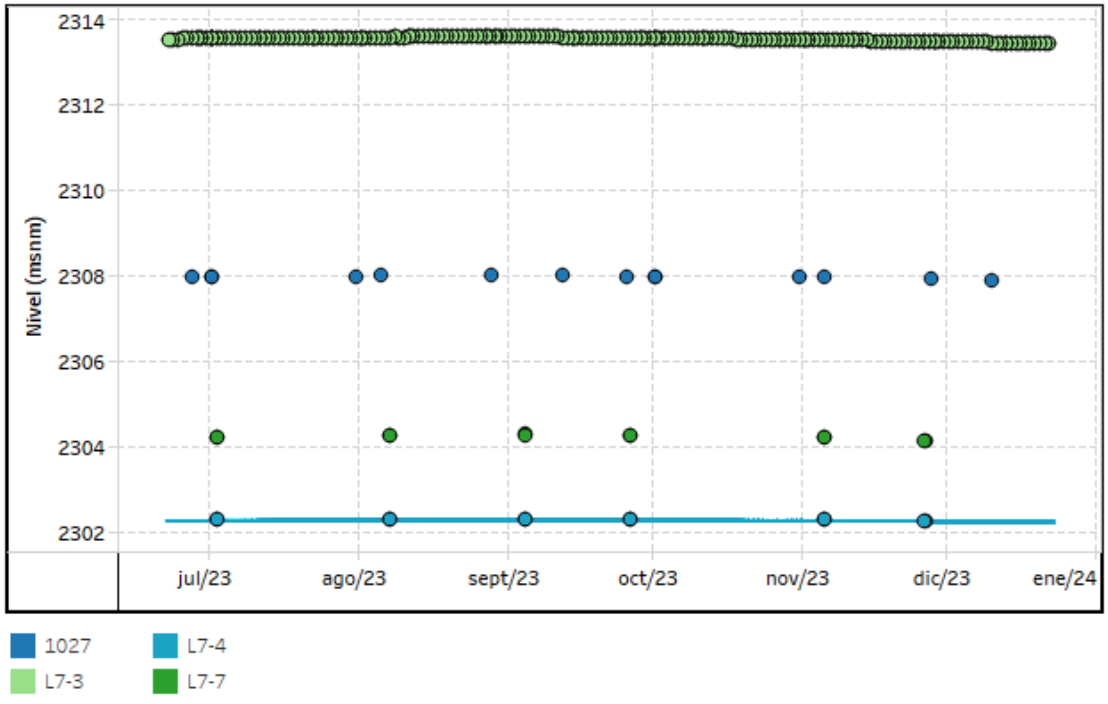
Fuente: Elaboración propia. (*) Corresponde a una remedición. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

Tabla 5-7: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
1027	1			1			2	2	2	2	2	2
L7-3	31	31	30	31	30	31	5	3	3	3	3	3
L7-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L7-7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.2 Subsector este de lagunas Chaxa y Barros Negros

Para el subsector ubicado al este de las lagunas de Chaxa y Barros Negros se disponen de 11 puntos de control, de éstos el L1-4 y L2-4 resultan ser indicadores de estado. Por otro lado, los pozos L1-10, L1-15, L1-16, L1-9 L7-10 y L7-11 se encuentran dentro de la reserva.

En la Tabla 5-9, se puede ver de forma clara el número de mediciones realizadas por cada empresa y para cada mes. Existen algunas mediciones, tales como las tomadas en octubre en los pozos L1-6 y L2-8 que responden más bien a mediciones voluntarias.

Finalmente, en la Figura 5-4 se muestra gráficamente los niveles obtenidos en el monitoreo completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las complementarias.

El pozo L1-16, que se encuentran dentro de la reserva, no logro visitarse únicamente durante septiembre (2023) por restricción de acceso a RNLF. El resto de los meses sí se ha mantenido la visita mensual comprometida en todos los pozos. Respecto de los dos indicadores de estado L1-4 y L2-4, en ambos casos las mediciones diarias se han podido mantener, junto con dos mediciones mensuales adicionales en estos puntos.

Tabla 5-8: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector este de las lagunas Chaxa y Barros Negros

L1-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 12:36	2.300,044
16/7/23 10:50	2.300,053 *
18/7/23 11:36	2.300,050 *
9/8/23 14:53	2.300,081
15/8/23 13:25	2.300,079 *
21/9/23 15:06	2.300,067
25/9/23 11:40	2.300,062 *
11/10/23 14:09	2.300,044
19/10/23 14:07	2.300,039 *
15/11/23 13:37	2.300,007
20/12/23 17:23	2.299,974

L1-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 11:49	2.299,724
19/8/23 12:25	2.299,742
25/9/23 11:55	2.299,728
13/10/23 12:42	2.299,719
29/11/23 14:17	2.299,695
15/12/23 14:44	2.299,685

L1-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 11:11	2.299,684
30/8/23 12:03	2.299,678
27/9/23 11:33	2.299,675
27/9/23 11:37	2.299,673 *
18/10/23 11:40	2.299,661
22/11/23 11:49	2.299,644
20/12/23 12:23	2.299,628

L1-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 11:18	2.299,778
30/8/23 12:09	2.299,800
27/9/23 11:48	2.299,798
27/9/23 11:50	2.299,797 *
18/10/23 11:45	2.299,738
22/11/23 11:59	2.299,710
20/12/23 12:34	2.299,690

L1-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 11:43	2.300,157
30/8/23 12:41	2.300,135
27/9/23 12:35	2.300,126
27/9/23 12:39	2.300,123 *
18/10/23 12:12	2.300,113
22/11/23 12:38	2.300,082
20/12/23 13:20	2.300,060

L1-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 11:36	2.300,095
30/8/23 12:33	2.300,090
27/9/23 12:00	S/I
18/10/23 12:04	2.300,060
22/11/23 12:29	2.300,042
20/12/23 13:09	2.300,025

L7-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 12:02	2.300,219
30/8/23 12:57	2.300,224
27/9/23 12:59	2.300,226
27/9/23 13:02	2.300,225 *
18/10/23 12:28	2.300,219
22/11/23 13:04	2.300,205
20/12/23 13:52	2.300,191

L7-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 11:53	2.300,185
30/8/23 12:52	2.300,192
27/9/23 12:51	2.300,184
27/9/23 12:52	2.300,187 *
18/10/23 12:22	2.300,175
22/11/23 12:53	2.300,154
20/12/23 13:41	2.300,138

L2-8	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 11:24	2.301,740
20/7/23 13:06	2.301,748 *
10/8/23 14:32	2.301,758
15/8/23 11:56	2.301,756 *
23/8/23 13:56	2.301,758 *
21/9/23 12:43	2.301,744
27/9/23 11:28	2.301,734 *
11/10/23 12:48	2.301,713
30/10/23 16:22	2.301,673 *
15/11/23 12:08	2.301,630
23/11/23 11:42	2.301,590 *
20/12/23 15:06	2.301,473
21/12/23 13:52	2.301,469 *

SQM

L1-4		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.299,724	2.299,733
Ago 2023	2.299,727	2.299,732
Sep 2023	2.299,726	2.299,732
Oct 2023	2.299,723	2.299,730
Nov 2023	2.299,718	2.299,723
Dic 2023	2.299,710	2.299,719

L2-4		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.303,474	2.303,485
Ago 2023	2.303,480	2.303,486
Sep 2023	2.303,469	2.303,482
Oct 2023	2.303,451	2.303,468
Nov 2023	2.303,433	2.303,452
Dic 2023	2.303,402	2.303,432

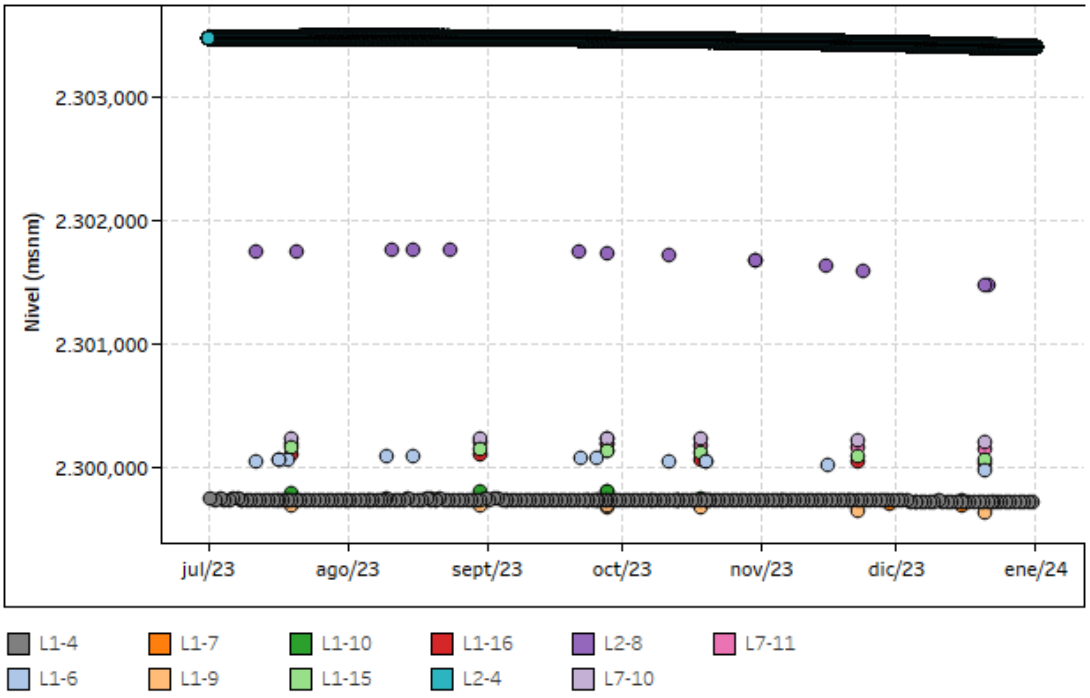
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) corresponde a una remedición.

Tabla 5-9: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L1-4	31	31	30	31	30	31	4	3	4	4	2	3
L1-6	1			1			3	2	2	2	1	1
L1-7							1	1	1	1	1	1
L1-9							1	1	1	1	1	1
L1-10							1	1	1	1	1	1
L1-15							1	1	1	1	1	1
L1-16							1	1		1	1	1
L2-4	31	31	30	31	30	31	4	2	2	3	2	3
L2-8				1			2	3	2	2	2	2
L7-10							1	1	1	1	1	1
L7-11							1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.3 *Subsector al oeste y sur de la laguna Chaxa*

Para el subsector ubicado al oeste y sur de la laguna Chaxa se dispone de 9 piezómetros, los cuales cabe destacar que se encuentran todos dentro de RNF – Soncor y ninguno cuenta con medición continua, al mismo tiempo, ninguno es indicador de estado, por lo que, las mediciones de SQM se restringen en este subsector a tan solo una medición mensual para todos los pozos, tal como se observa en la Tabla 5-11.

En la Tabla 5-10 se muestra el monitoreo comprometido resultante para el segundo semestre 2023, se observa que todos los pozos de este grupo fueron medidos con la frecuencia comprometida y en la Figura 5-5 se muestra gráficamente los niveles obtenidos en el monitoreo comprometido completo.

Tabla 5-10: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector Oeste y Sur de la Laguna Chaxa

RC-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 12:47	2.300,151
29/8/23 11:34	2.300,093
26/9/23 11:37	2.300,044
17/10/23 11:30	2.300,021
21/11/23 10:38	2.299,995
19/12/23 12:06	2.299,980

RC-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 13:14	2.299,741
29/8/23 11:39	2.299,737
26/9/23 11:49	2.299,729
17/10/23 11:52	2.299,725
21/11/23 10:57	2.299,718
19/12/23 12:32	2.299,705

RC-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 13:21	2.299,766
29/8/23 11:48	2.299,770
26/9/23 12:03	2.299,766
17/10/23 12:00	2.299,762
21/11/23 11:04	2.299,748
19/12/23 12:40	2.299,743

RC-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 13:28	2.299,477
29/8/23 11:54	2.299,470
26/9/23 12:21	2.299,472
17/10/23 12:08	2.299,470
21/11/23 11:11	2.299,463
19/12/23 12:48	2.299,459

RC-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 13:36	2.299,313
29/8/23 12:32	2.299,294
26/9/23 12:39	2.299,289
17/10/23 15:39	2.299,285
21/11/23 11:43	2.299,281
19/12/23 13:26	2.299,276

RC-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 13:55	2.299,821
29/8/23 12:20	2.299,815
26/9/23 13:33	2.299,812
17/10/23 12:24	2.299,804
21/11/23 11:31	2.299,791
19/12/23 13:12	2.299,782

RC-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 14:13	2.298,964
29/8/23 12:49	2.298,951
26/9/23 14:01	2.298,947
17/10/23 12:57	2.298,946
21/11/23 11:54	2.298,943
19/12/23 13:37	2.298,937

L7-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 13:47	2.299,939
29/8/23 12:07	2.299,940
26/9/23 13:10	2.299,934
17/10/23 12:33	2.299,924
21/11/23 11:23	2.299,900
19/12/23 13:02	2.299,889

L7-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 14:03	2.299,637
29/8/23 12:25	2.299,637
26/9/23 13:39	2.299,639
17/10/23 12:46	2.299,633
21/11/23 11:36	2.299,621
19/12/23 13:18	2.299,615

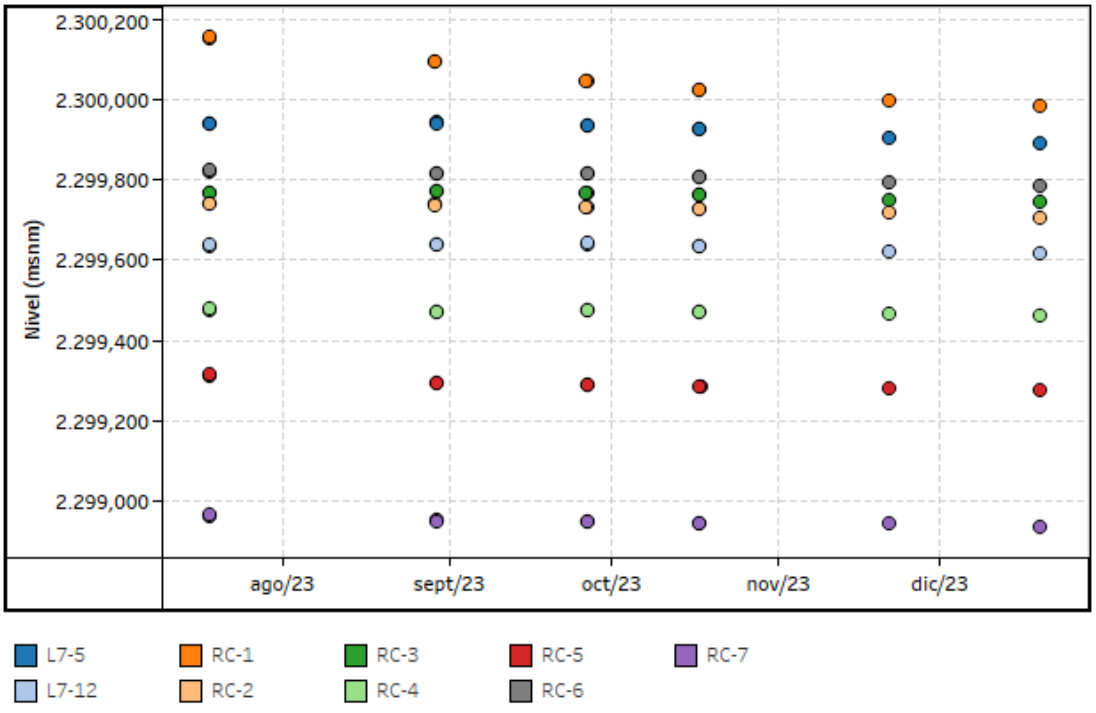
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-11: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA				SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L7-5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L7-12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RC-7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.4 Subsector descarga oeste de Barros Negros

Respecto el subsector de la descarga oeste de la laguna Barros Negros, en el área conocida como Cola de Pez, que consta de 22 puntos de control (sin contar con las reglillas). En este grupo, se incluye el L1-5 como 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. Los puntos de este subsector que se encuentran dentro de la reserva son: L1-11, L1-12, L1-13, L1-14, L1-8, L2-22, L2-24, P1-5, P1-6 y P1-7.

En la Tabla 5-12 se muestra el monitoreo comprometido resultante para el segundo semestre 2023, en la en la Tabla 5-13, se puede ver de forma clara el número de mediciones realizadas por cada empresa y para cada mes. Finalmente, en la Figura 5-6 se muestra gráficamente los niveles obtenidos en el monitoreo completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las complementarias.

Cabe recordar que el compromiso en caso de los indicadores de estado son mediciones diarias realizadas por ETFA SEGEA y para el resto de los puntos son mediciones mensuales realizadas por SQM.

Para el presente semestre reportado, el indicador L1-5 cuenta con las mediciones de nivel diarias realizadas por la ETFA y adicionalmente mínimo dos medidas mensuales realizadas por SQM. Asimismo, todos los pozos fuera de la reserva cuentan con la medición mensual comprometida.

Tabla 5-12: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga Cola de Pez

L1-8	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 14:09	2.299,048
23/8/23 14:48	2.299,022
20/9/23 12:54	2.299,009
5/10/23 11:56	2.299,000
15/11/23 12:46	2.298,992
6/12/23 13:31	2.298,984

L1-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 13:30	2.299,230
23/8/23 12:36	2.299,209
20/9/23 11:50	2.299,204
5/10/23 11:15	2.299,203
15/11/23 11:47	2.299,206
6/12/23 13:09	2.299,201

L1-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 13:39	2.298,955
23/8/23 12:26	2.298,944
20/9/23 11:25	2.298,940
5/10/23 11:22	2.298,938
15/11/23 12:03	2.298,941
6/12/23 13:00	2.298,938

L1-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 13:10	2.299,202
23/8/23 12:48	2.299,190
20/9/23 12:06	2.299,193
5/10/23 10:59	2.299,183
15/11/23 12:17	2.299,179
6/12/23 12:56	2.299,172

L1-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 13:49	2.298,840
23/8/23 12:10	2.298,821
20/9/23 12:32	2.298,815
5/10/23 10:48	2.298,806
15/11/23 12:27	2.298,806
6/12/23 13:17	2.298,801

GD-01	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 13:20	2.298,590
19/8/23 14:25	2.298,571
24/9/23 13:15	2.298,547
15/10/23 11:01	2.298,552
19/11/23 14:24	2.298,537
16/12/23 15:12	2.298,524

L2-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 14:32	2.298,640
19/8/23 15:09	2.298,631
24/9/23 14:29	2.298,604
15/10/23 10:03	2.298,593
29/11/23 15:49	2.298,557
17/12/23 14:36	2.298,545

L2-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 12:18	2.298,584
8/8/23 10:39	2.298,572
24/9/23 14:49	2.298,558
15/10/23 10:15	2.298,547
29/11/23 15:39	2.298,518
17/12/23 14:20	2.298,508

L2-18	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 11:55	2.298,752
8/8/23 09:06	2.298,739
24/9/23 11:53	2.298,723
15/10/23 13:41	2.298,719
19/11/23 13:46	2.298,709
16/12/23 14:38	2.298,701

L2-19	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 11:50	2.298,626
7/8/23 15:30	2.298,613
24/8/23 12:48	2.298,605 *
24/9/23 11:46	2.298,595
15/10/23 13:46	2.298,591
19/11/23 13:40	2.298,579
16/12/23 14:34	2.298,569

L2-22	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 14:00	2.298,769
23/8/23 14:39	2.298,741
20/9/23 13:20	2.298,731
5/10/23 11:48	2.298,721
15/11/23 12:57	2.298,715
6/12/23 13:40	2.298,708

L2-24	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 15:07	2.299,037
23/8/23 15:53	2.298,973
20/9/23 15:01	2.298,997
5/10/23 12:22	2.298,985
15/11/23 13:51	2.298,971
6/12/23 14:26	2.298,960

P1-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 13:28	2.298,911
19/8/23 14:33	2.298,891
24/9/23 13:23	2.298,876
15/10/23 11:12	2.298,869
19/11/23 14:32	2.298,856
16/12/23 15:32	2.298,846

P1-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 13:48	2.298,846
7/8/23 14:16	2.298,829
19/8/23 14:37	2.298,827 *
24/9/23 13:27	2.298,812
15/10/23 11:18	2.298,806
19/11/23 14:40	2.298,792
16/12/23 15:33	2.298,783

P1-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 13:39	2.298,938
7/8/23 13:42	2.298,920
19/8/23 14:42	2.298,919 *
24/9/23 13:30	2.298,902
15/10/23 11:25	2.298,896
19/11/23 14:54	2.298,883
16/12/23 15:34	2.298,872

P1-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 13:35	2.299,065
19/8/23 14:52	2.299,046
24/9/23 13:32	2.299,030
15/10/23 11:31	2.299,025
19/11/23 14:57	2.299,012
16/12/23 15:35	2.299,002

P1-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 14:28	2.298,948
23/8/23 15:23	2.298,920
20/9/23 14:32	2.298,908
6/10/23 10:28	2.298,902
15/11/23 13:13	2.298,888
6/12/23 13:52	2.298,880

P1-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 14:42	2.298,919
23/8/23 15:14	2.298,884
20/9/23 14:10	2.298,868
6/10/23 10:21	2.298,863
15/11/23 13:22	2.298,851
6/12/23 14:01	2.298,842

P1-7	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
12/7/23 14:51	2.299,084
23/8/23 15:08	2.299,057
20/9/23 13:50	2.299,044
6/10/23 10:13	2.299,039
15/11/23 13:30	2.299,024
6/12/23 14:07	2.299,017

L2-12	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
15/7/23 12:28	2.298,605
8/8/23 10:21	2.298,595
24/9/23 14:38	2.298,585
15/10/23 10:10	2.298,583
29/11/23 15:30	2.298,564
17/12/23 14:14	2.298,795

L2-17	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
15/7/23 13:06	2.298,661
8/8/23 09:45	2.298,638
24/9/23 13:03	2.298,624
15/10/23 10:53	2.298,617
29/11/23 14:19	2.298,598
17/12/23 13:59	2.298,591

L1-5		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Jul 2023	2.299,016	2.299,046
Ago 2023	2.299,001	2.299,015
Sep 2023	2.298,992	2.299,002
Oct 2023	2.298,981	2.298,992
Nov 2023	2.298,969	2.298,981
Dic 2023	2.298,957	2.298,969

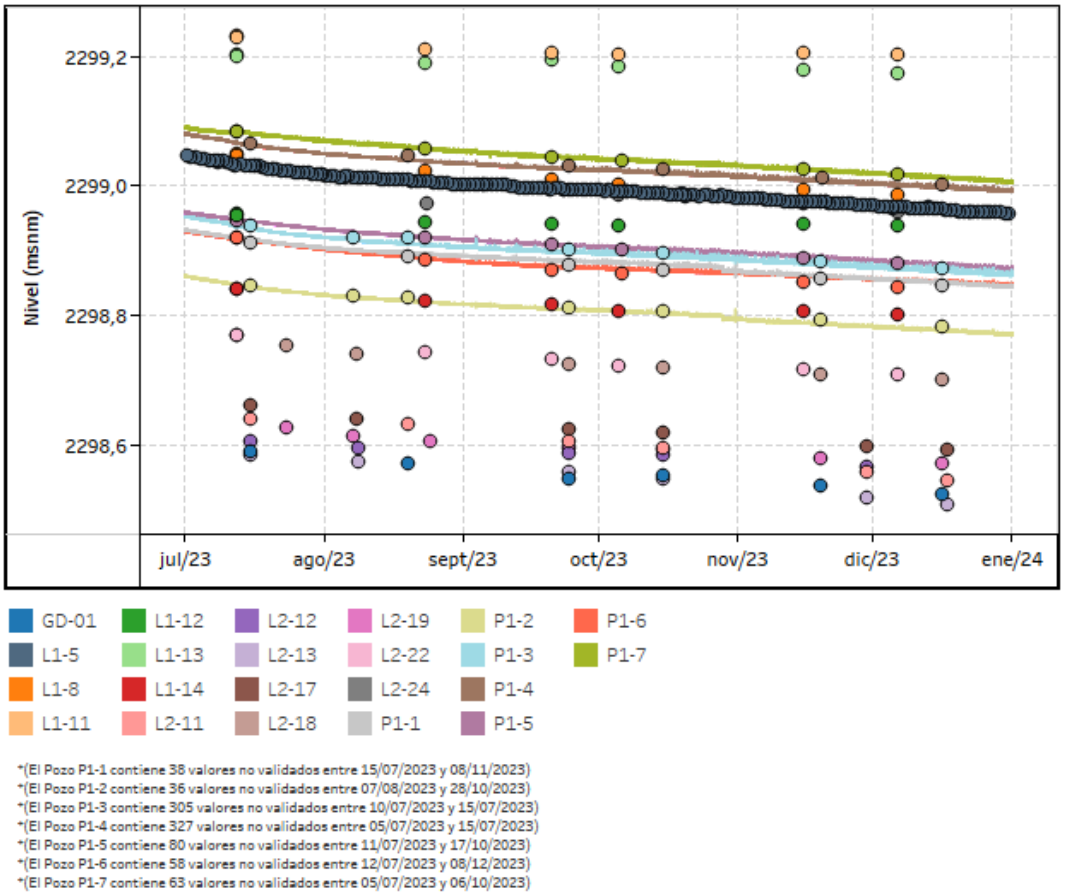
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición.

Tabla 5-13: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
GD-01							1	1	1	1	1	1
L1-5	31	31	30	31	30	31	4	2	2	4	3	3
L1-8	1						1	1	1	1	1	1
L1-11	1						1	1	1	1	1	1
L1-12	1						1	1	1	1	1	1
L1-13	1						1	1	1	1	1	1
L1-14	1						1	1	1	1	1	1
L2-11							1	1	1	1	1	1
L2-12							1	1	1	1	1	1
L2-13							1	1	1	1	1	1
L2-17							1	1	1	1	1	1
L2-18							1	1	1	1	1	1
L2-19							1	2	1	1	1	1
L2-22	1						1	1	1	1	1	1
L2-24	1						1	1	1	1	1	1
P1-1							1	1	1	1	1	1
P1-2							1	2	1	1	1	1
P1-3							1	2	1	1	1	1
P1-4							1	1	1	1	1	1
P1-5	1						1	1	1	1	1	1
P1-6	1						1	1	1	1	1	1
P1-7	1						1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.5 Subsector descarga sur de Barros Negros

Para la otra zona de descarga de Barros Negros, Descarga Sur, cuenta con un total de 12 puntos (L2-15, L2-9, L2-10, L2-21, L2-5, L2-23, L2-16, P2-1, P2-2, P2-3 P2-4 y P2-5) que se encuentran en este subsector, de los cuales ninguno es indicador de estado.

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. Por otro lado, son 8 pozos los que cuentan con medición continua (L2-15, L2-9, L2-10, L2-21, L2-5, L2-23, L2-16).

Se presentan los resultados del monitoreo en la Tabla 5-14 realizado por la ETFA, en la Tabla 5-15 se muestra el recuento de mediciones por empresa y en el gráfico de la Figura 5-7 se muestran todos los resultados incluyendo las mediciones continuas.

Durante el segundo semestre de 2023, se realizaron mediciones mensuales comprometidas en todos los pozos situados fuera de la Reserva Nacional Los Flamencos. Por otro lado, la frecuencia de visita a los pozos dentro de la reserva fue menor, con especial énfasis en los pozos L2-23, P2-4 y P2-5, los cuales fueron visitados en julio, agosto y septiembre de 2023. Es importante destacar que el acceso a la RNF fue restringido durante los últimos tres meses del año.

Tabla 5-14: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros

L2-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/7/23 12:17	2.299,370
8/8/23 11:21	2.299,388
25/9/23 12:56	2.299,385
13/10/23 13:37	2.299,372
19/10/23 13:11	2.299,369 *
29/11/23 16:04	2.299,344
15/12/23 13:46	2.299,339

L2-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 11:02	2.298,829
7/8/23 11:35	2.298,828
24/8/23 13:32	2.298,814 *
24/9/23 14:21	2.298,779
15/10/23 12:19	2.298,755
19/11/23 15:23	2.298,706
16/12/23 16:08	2.298,667

L2-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 11:42	2.299,596
8/8/23 11:47	2.299,592
25/9/23 12:13	2.299,580
13/10/23 12:57	2.299,572
30/11/23 10:25	2.299,534
15/12/23 14:28	2.299,518

L2-21	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 11:23	2.299,547
19/8/23 13:22	2.299,558
25/9/23 12:45	2.299,531
13/10/23 13:23	2.299,513
29/11/23 16:29	2.299,445
15/12/23 14:13	2.298,415
18/12/23 12:25	2.299,409 *

L2-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 10:55	2.299,358
11/8/23 11:16	2.299,366
25/9/23 12:28	2.299,305
13/10/23 13:12	2.299,263
29/11/23 16:14	2.299,150
15/12/23 13:53	2.299,115

L2-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/7/23 11:39	2.299,530
7/8/23 09:44	2.299,537
24/8/23 14:03	2.299,520 *
24/9/23 13:57	2.299,487
15/10/23 12:59	2.299,445
19/11/23 15:39	2.299,391
16/12/23 15:59	2.299,326

L2-23	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 16:01	2.299,918
23/8/23 16:34	2.299,905
20/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

P2-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 10:15	2.298,905
24/8/23 13:44	2.298,891
24/9/23 14:16	2.298,863
15/10/23 12:27	2.298,840
19/11/23 15:28	2.298,791
17/12/23 14:31	2.298,748

P2-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 10:29	2.299,050
24/8/23 13:53	2.299,040
24/9/23 14:12	2.299,018
15/10/23 12:33	2.298,998
19/11/23 15:31	2.298,958
16/12/23 15:42	2.298,923

Sistema referencia WGS-84. (*) Corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

P2-3		P2-4		P2-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 10:49	2.299,219	12/7/23 15:23	2.299,773	12/7/23 16:12	2.299,896
24/8/23 13:58	2.299,227	23/8/23 16:36	2.299,762	23/8/23 16:35	2.299,872
24/9/23 13:59	2.299,210	20/9/23 14:14	2.299,720	20/9/23 14:24	2.299,809
15/10/23 12:51	2.299,173	6/10/23 10:49	2.299,687	6/10/23 11:09	2.299,772
19/11/23 15:35	2.299,136	15/11/23 14:21	2.299,628	15/11/23 14:12	2.299,723
16/12/23 15:56	2.299,101	6/12/23 14:39	2.299,583	6/12/23 14:51	2.299,679

SQM

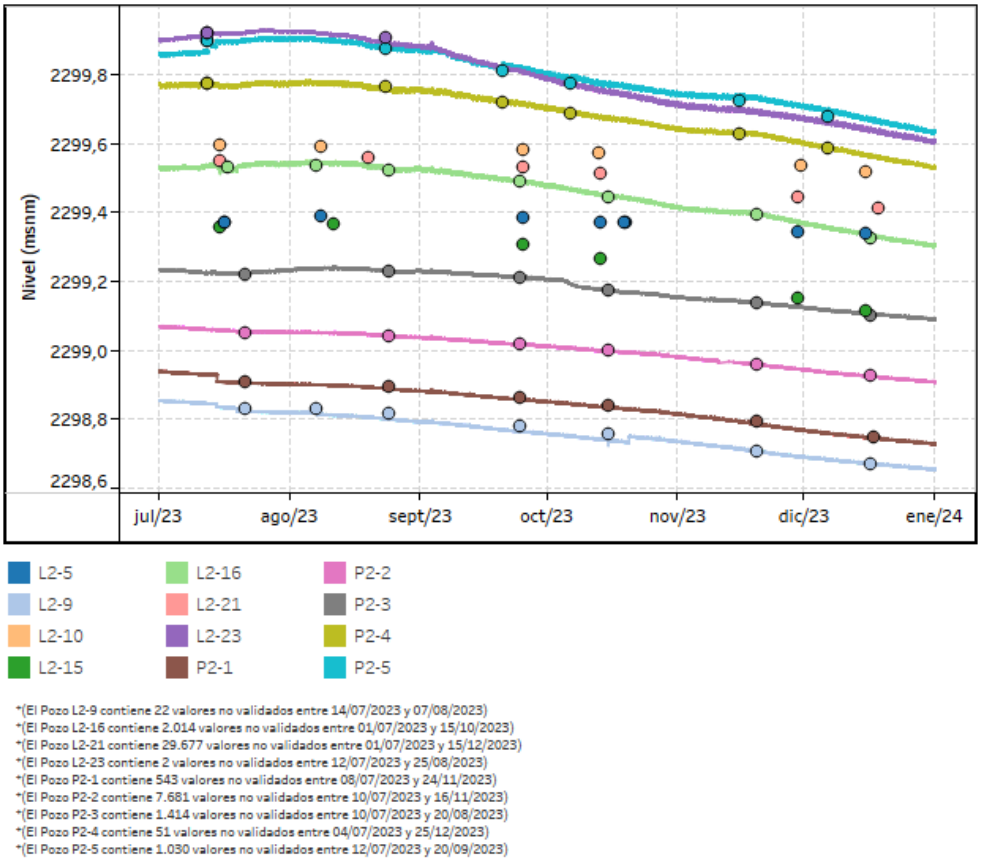
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-15: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA			SQM					
	07/22	08/22	10/22	07/22	08/22	09/22	10/22	11/22	12/22
L2-5	2	1	1	2	1	1	2	1	1
L2-9	1	1		1	1	1	1	1	1
L2-10	1	1		1	1	1	1	1	1
L2-15	1	1		1	1	1	1	1	1
L2-16	1	1		1	1	1	1	1	1
L2-21	1	1		1	1	1	1	1	1
L2-23	1	1		1	1	1			
P2-1	1	1		1	1	1	1	1	1
P2-2	1	1		1	1	1	1	1	1
P2-3	1	1		1	1	1	1	1	1
P2-4	1	1		1	1	1			
P2-5	1	1		1	1	1			

Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.2.6 Subsector norte del Salar

Para el subsector ubicado al norte del Salar, se cuenta con los pozos L11-1 y L11-2. Como ya se ha mencionado en la sección 5.1.1 sobre la restricción de acceso de Comunidad de Coyo, estos pozos se encuentran en un área donde el paso está cerrado, impidiendo con ello el acceso a la zona desde noviembre de 2019 hasta el presente semestre reportado. Para el segundo semestre de 2023 se muestra la Tabla 5-16 sin información levantada.

Tabla 5-16: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector norte

L11-1		L11-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/7/23 12:00	S/I	31/7/23 12:00	S/I
31/8/23 12:00	S/I	31/8/23 12:00	S/I
30/9/23 12:00	S/I	30/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I	31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I	30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I	31/12/23 12:00	S/I

SQM

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

5.1.2.1.3 Pozos en zona Núcleo

En la zona Núcleo correspondiente al Sistema Soncor se cuenta con un total de 6 pozos; de éstos, el pozo 2021 cuenta con mediciones continuas de nivel y ninguno corresponde a indicador de estado del PC.

En la Tabla 5-17 se presenta el resultado del monitoreo efectuado por SQM donde se observa que los 6 puntos han sido visitados con normalidad y bajo lo comprometido. De la misma forma que en todos los sectores, la ETFA ha tomado medidas adicionales voluntariamente.

El recuento de mediciones por empresa se muestra en la Tabla 5-18 y el resultado completo del monitoreo (incluyendo las mediciones adicionales y las medidas continuas) se muestra gráficamente en la Figura 5-8.

Tabla 5-17: Registro de niveles zona núcleo Sistema Soncor

SOPM-7 (L2-6)	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/7/23 12:59	2.298,600
19/8/23 13:48	2.298,590
24/9/23 12:08	2.298,575
15/10/23 10:21	2.298,569
19/10/23 10:31	2.298,566 *
29/11/23 14:53	2.298,550
17/12/23 13:47	2.298,542

SOPM-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 12:47	2.298,571
19/8/23 14:15	2.298,559
24/9/23 12:45	2.298,546
15/10/23 10:43	2.298,539
29/11/23 14:29	2.298,519
17/12/23 14:05	2.298,511

SOPM-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/7/23 13:52	2.298,557
8/8/23 09:26	2.298,539
24/9/23 13:08	2.298,525
15/10/23 10:47	2.298,520
19/10/23 11:22	2.298,518 *
29/11/23 14:10	2.298,501
17/12/23 13:54	2.298,494

L2-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 11:36	2.298,637
19/8/23 14:00	2.298,633
24/9/23 12:22	2.298,616
15/10/23 10:32	2.298,603
29/11/23 15:06	2.298,590
17/12/23 13:37	2.298,579

L2-20	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 11:13	2.298,560
8/8/23 09:17	2.298,548
24/9/23 11:28	2.298,531
15/10/23 13:28	2.298,527
19/11/23 13:21	2.298,515
16/12/23 14:18	2.298,504

2021	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 10:12	2.298,685
24/8/23 10:14	2.298,663
24/9/23 11:10	2.298,655
16/10/23 11:16	2.298,650
19/11/23 10:55	2.298,638
16/12/23 12:05	2.298,629

SQM

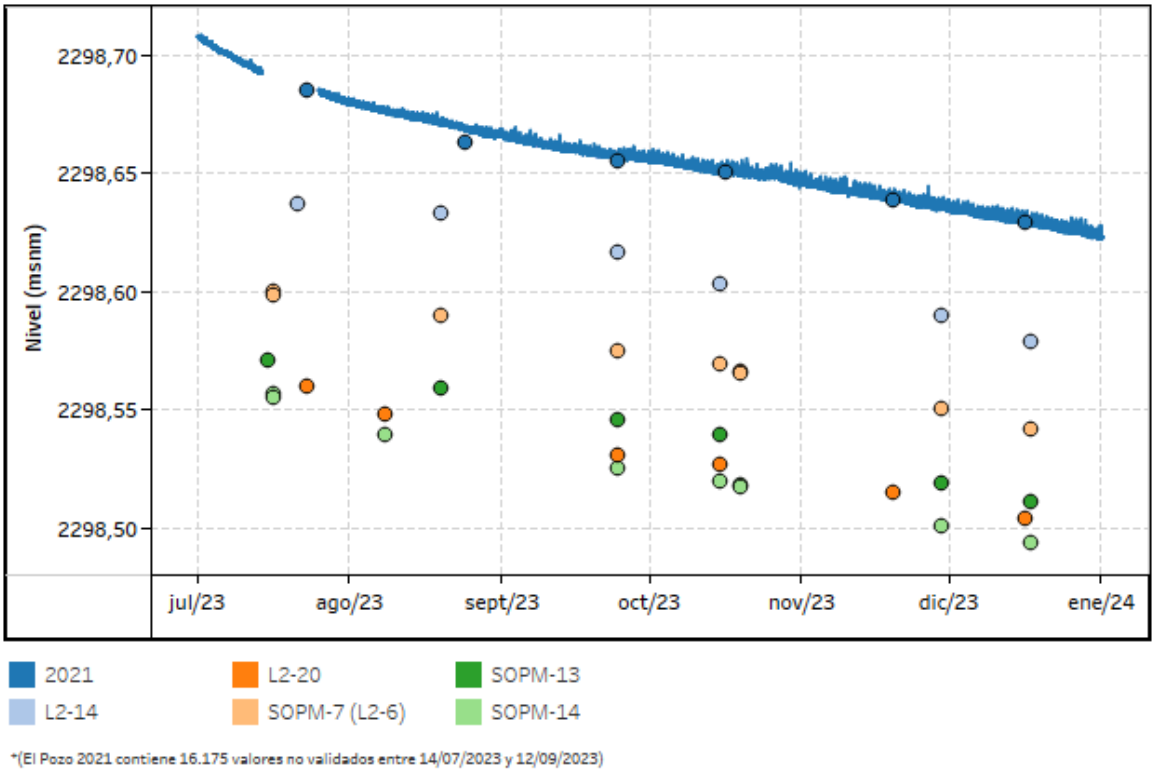
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA.

Tabla 5-18: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA		SQM					
	07/23	10/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
2021			1	1	1	1	1	1
L2-14			1	1	1	1	1	1
L2-20			1	1	1	1	1	1
SOPM-7 (L2-6)	1	1	1	1	1	2	1	1
SOPM-13			1	1	1	1	1	1
SOPM-14	1	1	1	1	1	2	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.4 Nivel de agua superficial

En este apartado se presentan los niveles de agua superficial medidos de forma manual y continua en las reglillas L1-G4 (ubicada al sur de la laguna Barros Negros), L7-G1 (ubicada al oeste del canal Burro Muerto),

L7-G2 (ubicada al este de la laguna Puilar) y L11-G1 (ubicada en el sector norte del Salar). De éstos, el L7-G1 y L7-G2 se encuentran dentro de la reserva y, por otro lado, L1-G4 es indicador de estado.

Respecto de las mediciones continuas, son el L7-G2 y el L1-G4 que cuentan con instalación de este tipo. Cabe decir que los transductores de presión se encuentran en las infraestructuras denominadas como Pozo (L7-G2 Pozo y L1-G4 Pozo), ya que en las propias reglillas no es factible su instalación debido al esquema constructivo del mismo. Se aclara, además, que las mediciones (tanto continuas como manuales) realizadas en ambos tipos de infraestructura (correspondiente al pozo y la reglilla) de cada punto, están representando la misma área hidrogeológica (caso del L1-G4) o el mismo elemento hidrológico (caso del L7-G2). Al mismo tiempo, las cuatro infraestructuras mencionadas (L7-G1, L7-G2, L1-G4 y L11-G1) cuentan con mediciones manuales realizadas por la ETFA.

Adicionalmente, es compromiso de la RCA N° 226/2006, la medición mensual en las reglillas L7-G1, L7-G2, L1-G4 y L11-G1 y, además, compromiso del PdC, la medición diaria para el L1-G4 Reglilla (por ser indicador de estado). En los respectivos pozos, las mediciones manuales de nivel son adicionales ya que, a su vez, permiten calibrar las mediciones continuas.

En la Tabla 5-19 se muestra el resultado del monitoreo efectuado para el segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-20 se muestra en detalle del recuento de mediciones efectuadas por cada empresa para cada mes y en la Figura 5-9 se muestra gráficamente los valores, tanto manual como continua.

Puede verse como la frecuencia de las mediciones manuales del L1-G4 Pozo han sido efectuadas a diario por SEGEA y al menos 1 vez al mes por SQM cuando se otorgó el acceso. Respecto de las infraestructuras dentro de la reserva, la frecuencia es menor, por ejemplo, los puntos del L7-G2 solo han sido medidos en julio y agosto debido a que el resto de los meses se mantuvo la restricción de acceso a RNF. Por otro lado, se cuenta con el respaldo de las mediciones continuas durante todo el periodo, tal y como se muestra en la Figura 5-9. Por su parte, el L11-G1 no ha podido ser visitado por encontrarse en el sector del norte del salar, donde el paso está cerrado impidiendo el acceso a la zona desde el pasado noviembre de 2019.

Tabla 5-19: Registro de niveles en reglillas del sector Soncor

L11-G1	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/7/23 12:00	S/I
31/8/23 12:00	S/I
30/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L7-G1	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
18/7/23 11:52	2.300,284
29/8/23 11:32	2.300,226
26/9/23 12:00	S/I
17/10/23 11:16	2.300,147
21/11/23 10:42	2.300,126
19/12/23 12:15	2.300,113

L7-G2 POZO	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
11/7/23 14:11	2.301,194
16/8/23 13:55	2.301,192
13/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L7-G2 REGLILLA	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
11/7/23 14:16	2.301,211
16/8/23 13:59	2.301,211
13/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L1-G4 REGLILLA		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Jul 2023	2.299,064	2.299,090
Ago 2023	2.299,046	2.299,063
Sep 2023	2.299,032	2.299,047
Oct 2023	2.299,019	2.299,031
Nov 2023	2.299,007	2.299,019
Dic 2023	2.298,994	2.299,007

L1-G4 POZO		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Jul 2023	2.299,064	2.299,083
Ago 2023	2.299,049	2.299,061
Sep 2023	2.299,034	2.299,045
Oct 2023	2.299,022	2.299,031
Nov 2023	2.299,013	2.299,017
Dic 2023	2.298,998	2.299,002

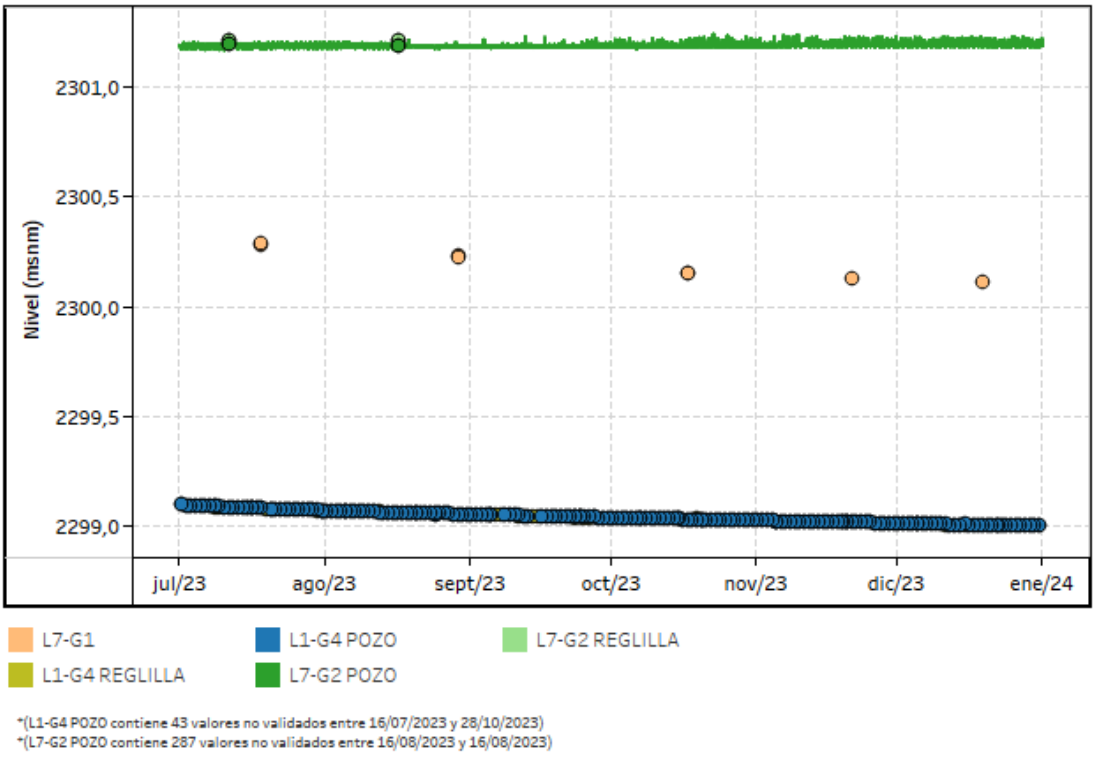
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

Tabla 5-20: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L1-G4 POZO	29	31	26	31	30	31	4	3	3	3	3	2
L1-G4 REGLILLA	31	31	30	31	30	31	5	3	3	4	3	2
L7-G1	1	1		1			1	1		1	1	1
L7-G2 POZO	1	1					1	1				
L7-G2 REGLILLA	1	1					1	1				
L11-G1												

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.4.1 Nivel sector Puente San Luis

En el sector del Puente San Luis, se encuentran 4 puntos de medición de agua superficial (reglillas) y todos ellos se encuentran dentro de la reserva. De la misma manera que se ha descrito en los casos del L1-G4 y

L7-G2, la infraestructura llamada Puente San Luis cuenta con una reglilla y un pozo, y es en el segundo en donde se cuenta con las condiciones óptimas para la instalación del equipo para la medición continua (Puente San Luis Pozo). A pesar de ello, en ambos puntos (Puente San Luis Pozo y Puente San Luis Reglilla) se realizan mediciones manuales mensuales. Por otro lado, la Reglilla Burro Muerto cuenta con la infraestructura instalada por SQM y la instalada por CONAF (Reglilla Burro Muerto SQM y Reglilla Burro Muerto CONAF respectivamente) y en este caso, el transductor de presión se encuentra instalado en la correspondiente a SQM. No obstante, el correcto seguimiento, mantención y medición de la infraestructura CONAF es asumida por SQM formando parte del PSAH comprometido en la RCA 226/2006.

En la Tabla 5-21 se presenta el resultado de las mediciones manuales para este segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-22 se muestra el recuento mensual de mediciones manuales realizadas por cada empresa. En la Figura 5-10 se pueden visualizar gráficamente todos los resultados obtenidos, incluyendo las mediciones continuas. Puede verse que la frecuencia mensual de visita ha podido ser mantenida en todos los casos, aun cuando todos los puntos se encuentran dentro de la reserva, tal y como se ha mencionado antes.

Tabla 5-21: Registro de niveles en reglillas del Sistema Soncor – subsector del Puente San Luis

PUENTE SAN LUIS POZO	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 11:25	2.301,312
16/8/23 11:08	2.301,303
13/9/23 12:34	2.301,286
5/10/23 11:29	2.301,276
14/11/23 11:24	2.301,270
5/12/23 11:56	2.301,260

PUENTE SAN LUIS REGLILLA	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 11:30	2.301,317
16/8/23 11:11	2.301,310
13/9/23 12:38	2.301,294
5/10/23 11:32	2.301,283
14/11/23 11:25	2.301,275
5/12/23 12:02	2.301,263

REGLILLA BURRO MUERTO SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 11:41	2.301,103
16/8/23 11:25	2.301,099
13/9/23 12:51	2.301,095
5/10/23 11:45	2.301,094
14/11/23 11:32	2.301,091
5/12/23 12:16	2.301,091

REGLILLA BURRO MUERTO CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 11:45	2.301,094
16/8/23 11:21	2.301,088
13/9/23 12:55	2.301,085
5/10/23 11:47	2.301,080
14/11/23 11:35	2.301,076
5/12/23 12:13	2.301,074

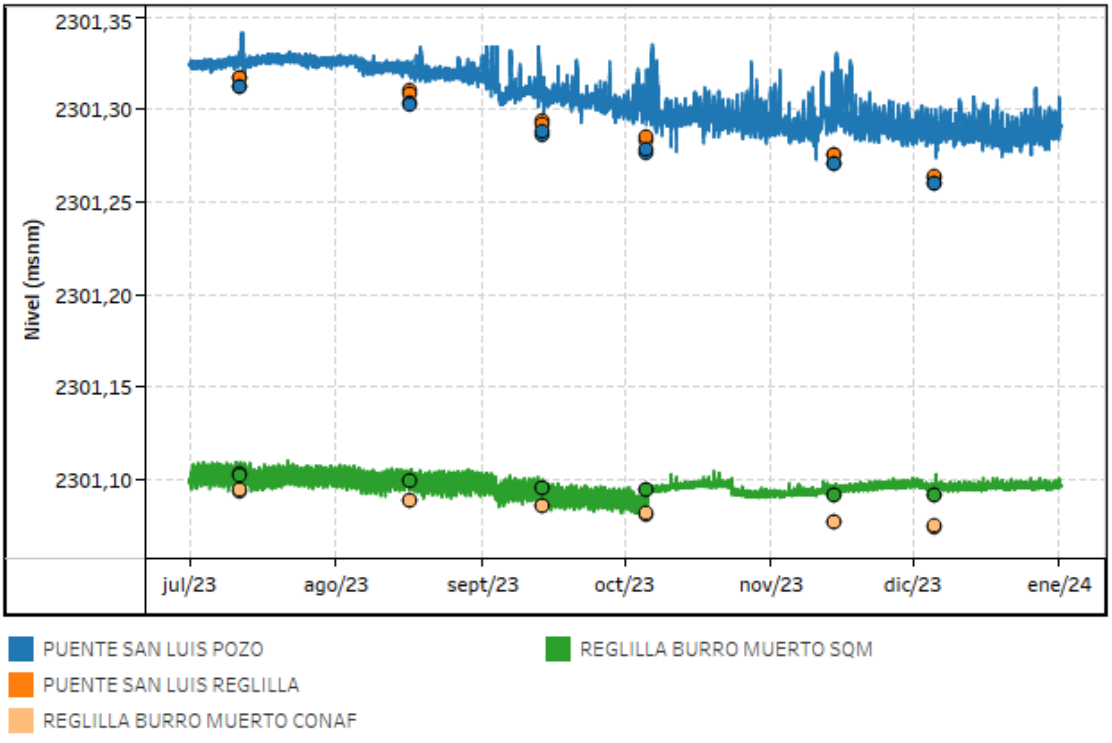
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-22: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
PUENTE SAN LUIS POZO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PUENTE SAN LUIS REGLILLA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
REGLILLA BURRO MUERTO CONAF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
REGLILLA BURRO MUERTO SQM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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



*(PUENTE SAN LUIS POZO contiene 2.095 valores no validados entre 11/07/2023 y 02/11/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.1.4.2 Nivel lacustre

La medición del nivel de las lagunas en el sistema Soncor se realiza mediante reglillas instaladas en Barros Negros, Puilar y Chaxa. En todos los casos, de la misma forma que en casos anteriores, se cuenta con la infraestructura instalada por SQM (Reglilla Barros Negros SQM, Reglilla Chaxas SQM y Reglilla Puilar SQM) y la instalada por CONAF (Reglilla Barros Negros CONAF, Reglilla Chaxas CONAF y Reglilla Puilar CONAF). No obstante, el correcto seguimiento y mantención de la infraestructura "CONAF" es asumida por SQM formando parte de la red de seguimiento del PSAH.

Respecto a la medición del nivel lacustre mediante reglillas, cabe señalar que cada una de las tres lagunas existentes en el Sistema Soncor cuenta con tres mediciones de nivel:

- Mediciones continuas en las reglillas de SQM (requerimiento RCA)
- Mediciones manuales en las reglillas de SQM y CONAF (complementario)

En la Tabla 5-23 se presenta el resultado de las mediciones manuales para este segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-24 se muestra el recuento mensual de mediciones manuales realizadas por cada empresa. En la Figura 5-11 se pueden visualizar gráfica todos los resultados obtenidos, incluyendo las mediciones continuas.

Como puede verse, la frecuencia de medición manual ha sido baja; Las infrastructuras homónimas (SQM y CONAF) miden el mismo elemento hidrológico y por tanto, la restriccion es igual para ambas. En resumen la laguna Puilar han sido medidassolo el mes de julio y agosto a traves de Reglilla Puilar y Barros Negros solo en el mes de Julio. Pese a lo anterior, los cuerpos de agua cuentan con medición continua, lo que permite completar el seguimiento del nivel en los meses no visitados.

Tabla 5-23: Registro de niveles para las lagunas del sector Soncor

REGLILLA BARROS NEGROS SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 12:12	2.299,927
23/8/23 14:20	2.299,953
20/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

REGLILLA PUILAR SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 13:42	2.301,214
16/8/23 14:13	2.301,213
13/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

REGLILLA CHAXAS SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 12:00	S/I
29/8/23 12:00	S/I
26/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

REGLILLA BARROS NEGROS CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/7/23 12:18	2.299,982
23/8/23 14:19	2.299,970
20/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

REGLILLA PUILAR CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 13:45	2.301,183
16/8/23 14:22	2.301,187
13/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

REGLILLA CHAXAS CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 12:00	S/I
29/8/23 12:00	S/I
26/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

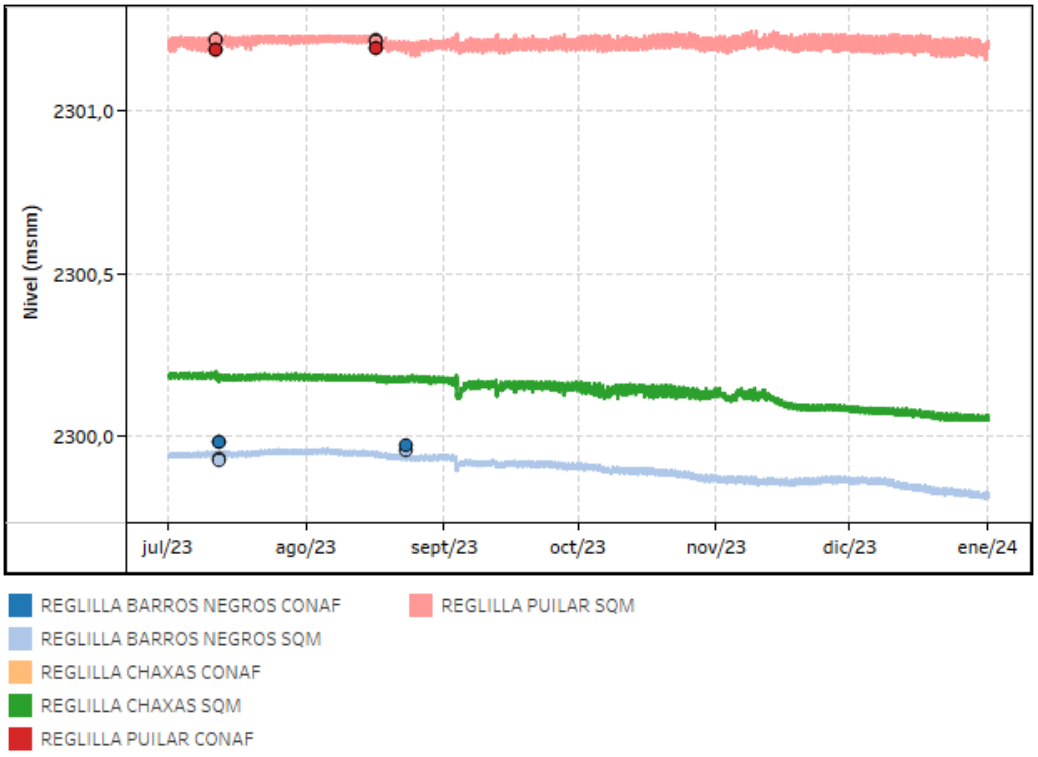
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

Tabla 5-24: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA		SQM					
	07/23	08/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
REGLILLA BARROS NEGROS CONAF	1		1	1				
REGLILLA BARROS NEGROS SQM	1		1	1				
REGLILLA CHAXAS CONAF								
REGLILLA CHAXAS SQM								
REGLILLA PUILAR CONAF	1	1	1	1				
REGLILLA PUILAR SQM	1	1	1	1				

Fuente: Elaboración propia.

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



*(REGLILLA PUILAR SQM contiene 280 valores no validados entre 16/08/2023 y 25/12/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.2 Meteorología

En la Tabla 5-25 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de los parámetros registrados en la estación meteorológica Chaxa: precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, a nivel diario, para el período comprendido entre julio y diciembre de 2023. Los resultados gráficos se exponen en la Figura 5-12. En el Anexo 9.1 se presentan en forma tabulada los registros de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura a nivel medio diario para el período de reporte.

Debido a las restricciones de ingreso a RNF durante algunos periodos del segundo semestre de 2023 no se han podido realizar todas las mantenciones necesarias a la estación. Por lo que para algunos periodos se ha tenido que rellenar una o más variables.

En el caso de la evaporación no se ha podido acceder con continuidad para realizar los ajustes al sensor y/o retirar el hielo del tanque de agua en la bandeja en las fechas necesarias, lo que hace que no existan mediciones representativas en algunos periodos, por lo que se ha tenido que rellenar esta información a partir de otras estaciones. En el Anexo 9.2 se encuentra descrito con detalle la metodología de relleno. De la misma forma, para el caso de las variables de precipitación, velocidad del viento y temperatura han presentado algunas fallas de sensor, por lo que, estos datos han tenido que ser rellenados posteriormente a partir de los registros de otras estaciones (ver Anexo 9.2).

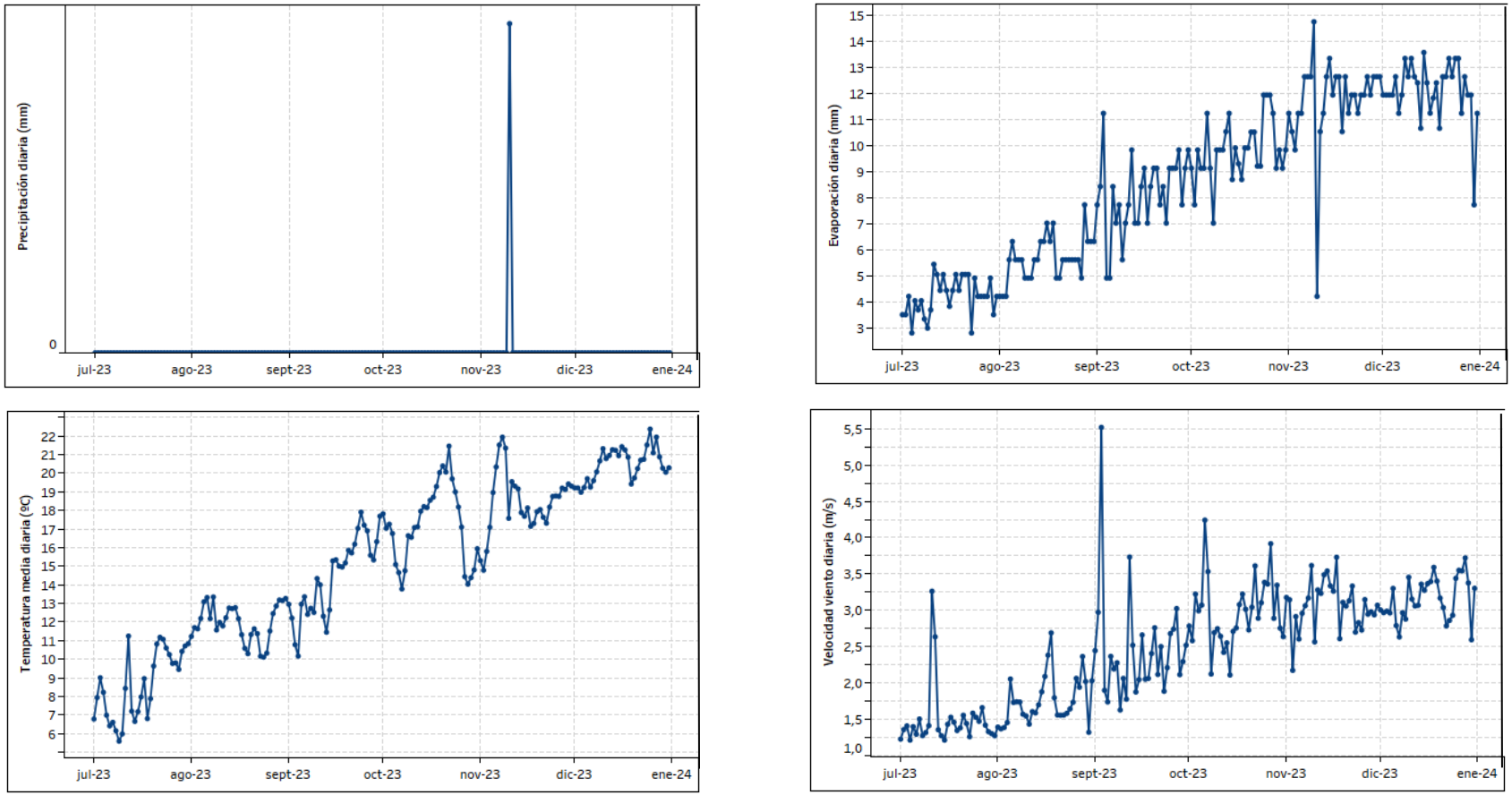
Tabla 5-25: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura de la estación meteorológica de Chaxa

Parametros	Unidad	Mín. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. están. de Valor
Precipitación*	mm/día	0,00	0,60	0,00	0,04
Evaporación*	mm/día	2,81	14,76	8,60	3,19
Velocidad del viento*	m/s	1,21	5,52	2,48	0,79
Temperatura media diaria*	ºC	5,60	22,37	15,18	4,37

* Esta variable contempla uno o más periodos de rellenado

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3 Caudal bombeado

Los pozos de extracción ubicados en el Sistema Soncor corresponden a los denominados Mullay-1 y Allana. A continuación, en la Tabla 5-26 se presentan los flujos de caudal como promedio mensual de extracción registrados en cada uno de ellos, durante el período de 01 de julio a 31 diciembre de 2023. Respecto de los flujómetros instalados, en el capítulo 4.4.5. Monitoreo de caudal de pozos de bombeo de agua industrial, en la Tabla 4-11, se muestran las fechas de vigencia de los certificados de calibración de cada flujómetro y éstos se entregan en el Anexo 3.2.

A modo de respaldo, se muestra también la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes y volumen mensual resultante.

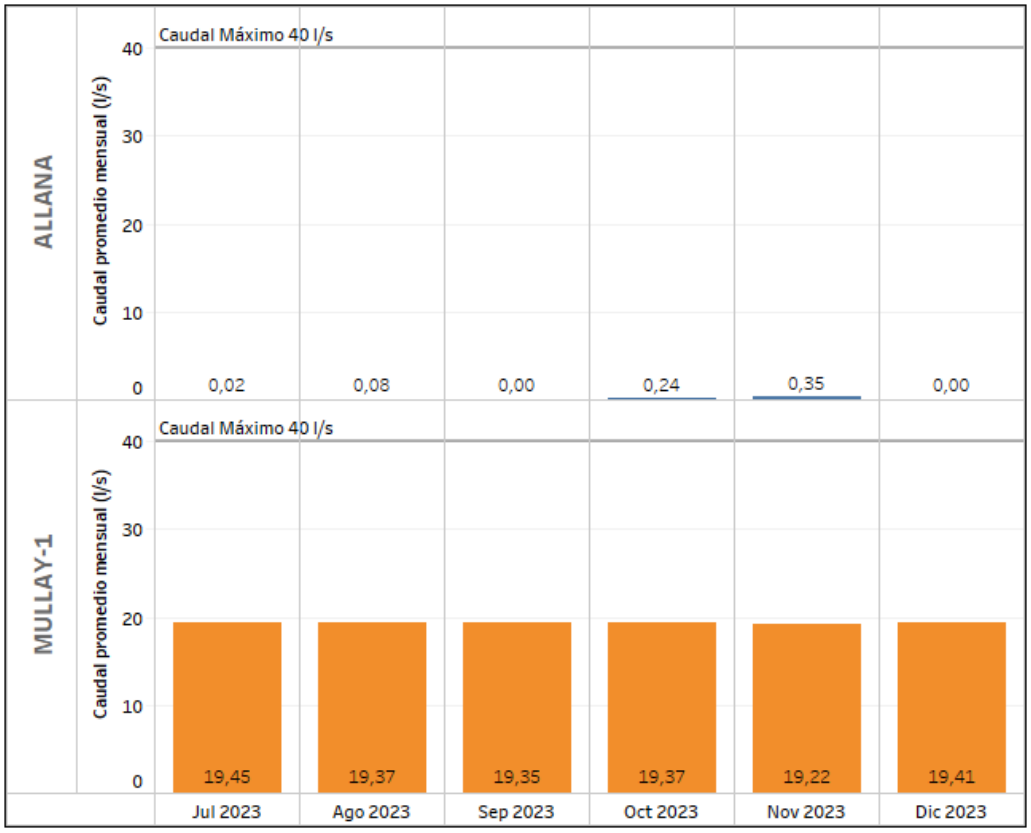
Por su parte, en la Figura 5-13 se muestran los resultados en forma gráfica. Como se observa, los flujos de extracción para Mullay-1 y Allana se mantuvieron por debajo del máximo establecido en la autorización ambiental, que para ambos según Tabla 1 de RCA 226/2006 y conforme a lo que establece el considerando 8, el caudal es de 40 L/s. No obstante, debido a la activación de indicadores de estado se disminuye según lo establecido en el considerando 11.2.3.2 de la RCA 226/2006 al 50% el caudal máximo permitido en los pozos Mullay-1 y Allana; ambos quedando en 20 L/s (o menos), que, en conjunto, con el resto de los pozos de agua industrial, busca disminuir las extracciones a valores menores a 120 L/s, limite definidos en el marco del Programa de Cumplimiento propuesto en el procedimiento F-041-2016. Así, el promedio semestral de los flujos medios en Allana es de 0,12 L/s y en Mullay-1 un promedio semestral de 18,86 L/s.

Tabla 5-26: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor

Pozo	Mes	Fecha flujómetro INICIAL	Fecha flujómetro FINAL	Número serie flujómetro	Volumen flujómetro (m3) INICIAL	Volumen flujómetro (m3) FINAL	Volumen traspasado (m3)	Caudal promedio mensual (l/s)
ALLANA	Jul 2023	01/07/2023	01/08/2023	A22031953	10.261	10.314	53	0,02
	Ago 2023	01/08/2023	01/09/2023	A22031953	10.314	10.525	212	0,08
	Sep 2023	01/09/2023	01/10/2023	A22031953	10.525	10.525	0	0,00
	Oct 2023	01/10/2023	01/11/2023	A22031953	10.525	11.175	650	0,24
	Nov 2023	01/11/2023	01/12/2023	A22031953	11.175	12.073	897	0,35
	Dic 2023	01/12/2023	01/01/2024	A22031953	12.073	12.073	0	0,00
MULLAY-1	Jul 2023	01/07/2023	01/08/2023	A22031951	176.367	228.450	52.083	19,45
	Ago 2023	01/08/2023	01/09/2023	A22031951	228.450	280.339	51.888	19,37
	Sep 2023	01/09/2023	01/10/2023	A22031951	280.339	330.484	50.145	19,35
	Oct 2023	01/10/2023	01/11/2023	A22031951	330.484	382.371	51.887	19,37
	Nov 2023	01/11/2023	01/12/2023	A22031951	382.371	432.180	49.809	19,22
	Dic 2023	01/12/2023	01/01/2024	A22031951	432.180	484.162	51.982	19,41

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.4 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Soncor durante el segundo semestre del año 2023. 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 Figura 4-4 de la Sección 4.3.1 y el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Soncor. 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 gráficos y 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 2023 los análisis químicos han sido efectuados por la ETFA 029-01 ALS Life Sciences Chile, mientras que los muestreos de terreno fueron realizados por la ETFA 040-01 SEGEA.

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

5.1.2.4.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM - ALS (ETFA)

En la Tabla 5-27 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua y salmuera tomadas en terreno (SEGEA) y analizadas por el laboratorio ALS (julio y octubre de 2023). La representación gráfica de estos resultados se presenta en la Figura 5-14 para las campañas del tercer y cuarto trimestre de 2023. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos. Únicamente el punto L7-G1 no contó con el permiso durante octubre de ingreso a la Reserva Nacional los Flamencos, estos detalles se encuentran en el respaldo en el informe realizado por la ETFA en el Anexo 6.1.

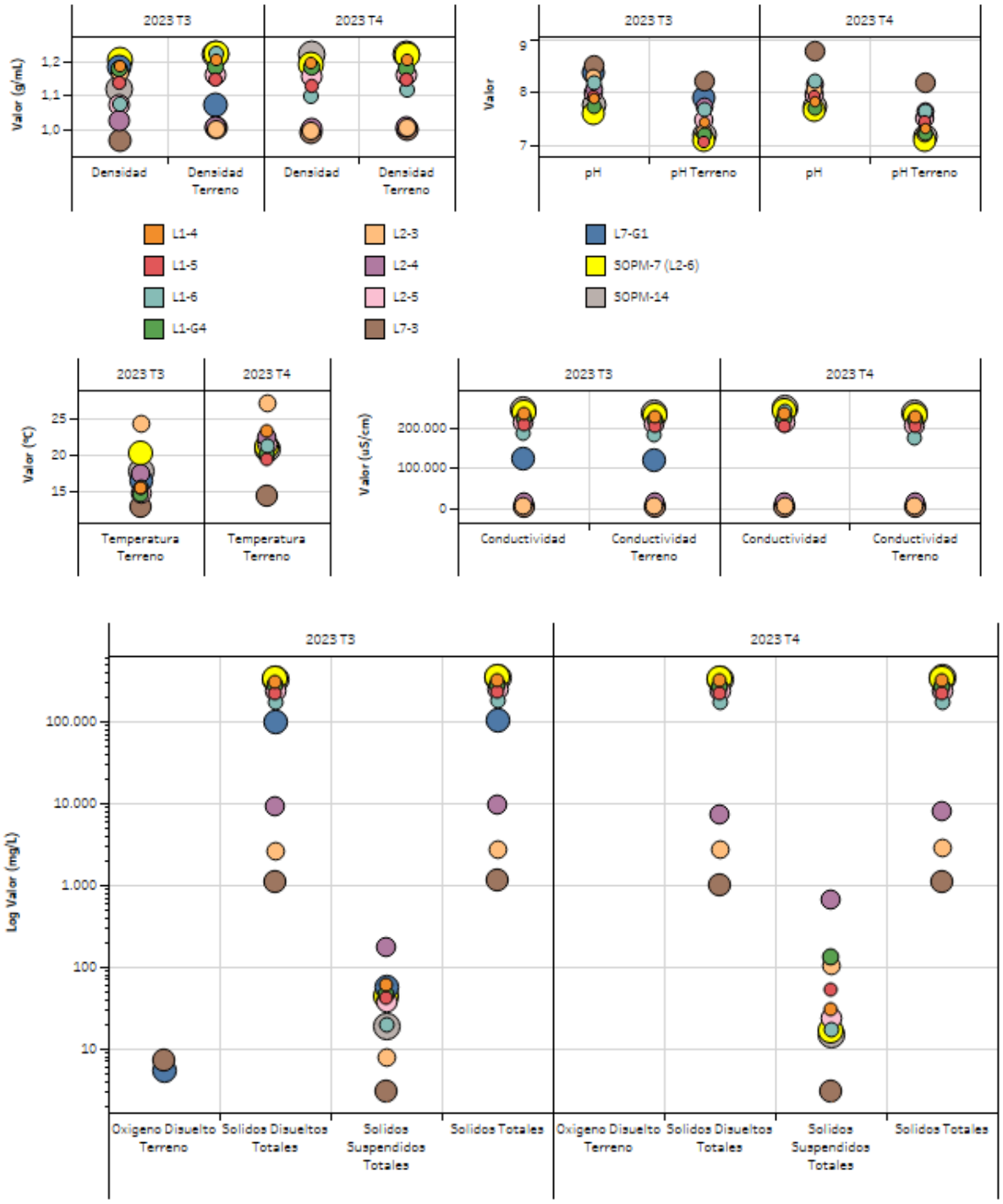
Tabla 5-27: Resultados calidad del agua Sistema Soncor

Parámetro	L1-4		L1-5		L1-6		L2-3		L2-4		L1-G4	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (uS/cm)	232.000	233.000	207.000	201.000	184.000	238.000	3.820	3.940	14.640	13.030	223.000	222.000
Conductividad Terreno (uS/cm)	226.000	227.000	203.000	201.000	179.700	171.800	3.470	3.710	14.270	12.770	218.000	218.000
Densidad (g/mL)	1,184	1,194	1,139	1,128	1,075	1,096	1,167	0,992	1,024	1,000	1,177	1,182
Densidad Terreno (g/mL)	1,205	1,207	1,148	1,146	1,225	1,115	1,001	1,002	1,008	1,007	1,183	1,178
pH ()	7,88	7,83	7,93	7,93	8,17	8,21	8,27	8,03	8,05	8,16	7,73	7,71
pH Terreno ()	7,44	7,30	7,05	7,45	7,68	7,63	7,23	7,20	7,74	7,64	7,20	7,23
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	305.195	314.455	220.605	217.530	175.395	168.895	2.656	2.786	9.250	7.240	274.840	268.430
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	62	30	42	52	20	17	8	103	178	670	46	135
Sólidos Totales (mg/L)	320.465	323.435	233.990	224.250	184.350	169.235	2.744	2.898	9.560	8.100	279.630	273.645
Temperatura Terreno (ºC)	15,5	23,1	15,4	19,3	15,5	21,2	24,2	26,9	17,4	22,3	14,6	19,9
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Parámetro	L2-5		L7-3		SOPM-7 (L2-6)		SOPM-14		L7-G1	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (uS/cm)	213.000	214.000	1.870	1.860	238.000	240.000	242.000	249.000	122.600	-
Conductividad Terreno (uS/cm)	209.000	206.000	1.881	1.810	230.000	231.000	236.000	236.000	118.000	-
Densidad (g/mL)	1,070	1,155	0,965	0,988	1,205	1,190	1,118	1,221	1,182	
Densidad Terreno (g/mL)	1,159	1,160	1,002	1,000	1,225	1,221	1,220	1,221	1,072	
pH ()	7,97	7,95	8,50	8,79	7,59	7,65	7,75	7,72	8,37	
pH Terreno ()	7,47	7,50	8,21	8,17	7,07	7,07	7,17	7,15	7,90	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	233.600	241.760	1.122	1.034	332.805	341.525	329.200	333.880	97.225	-
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	38	24	3	3	45	17	19	15	57	-
Sólidos Totales (mg/L)	244.265	237.170	1.142	1.104	345.775	342.325	347.250	340.755	102.000	-
Temperatura Terreno (ºC)	14,7	21,4	12,9	14,4	20,3	21,0	17,8	20,7	16,4	
OxigenoDisueltoTerreno Desc mg/L	-	-	30	-	-	-	-	-	22	-

Fuente: Elaboración propia. (-): no se presenta dato ya que no es un compromiso RCA, solo se presenta dato de forma voluntaria.

Figura 5-14: Resultados de calidad de agua Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.

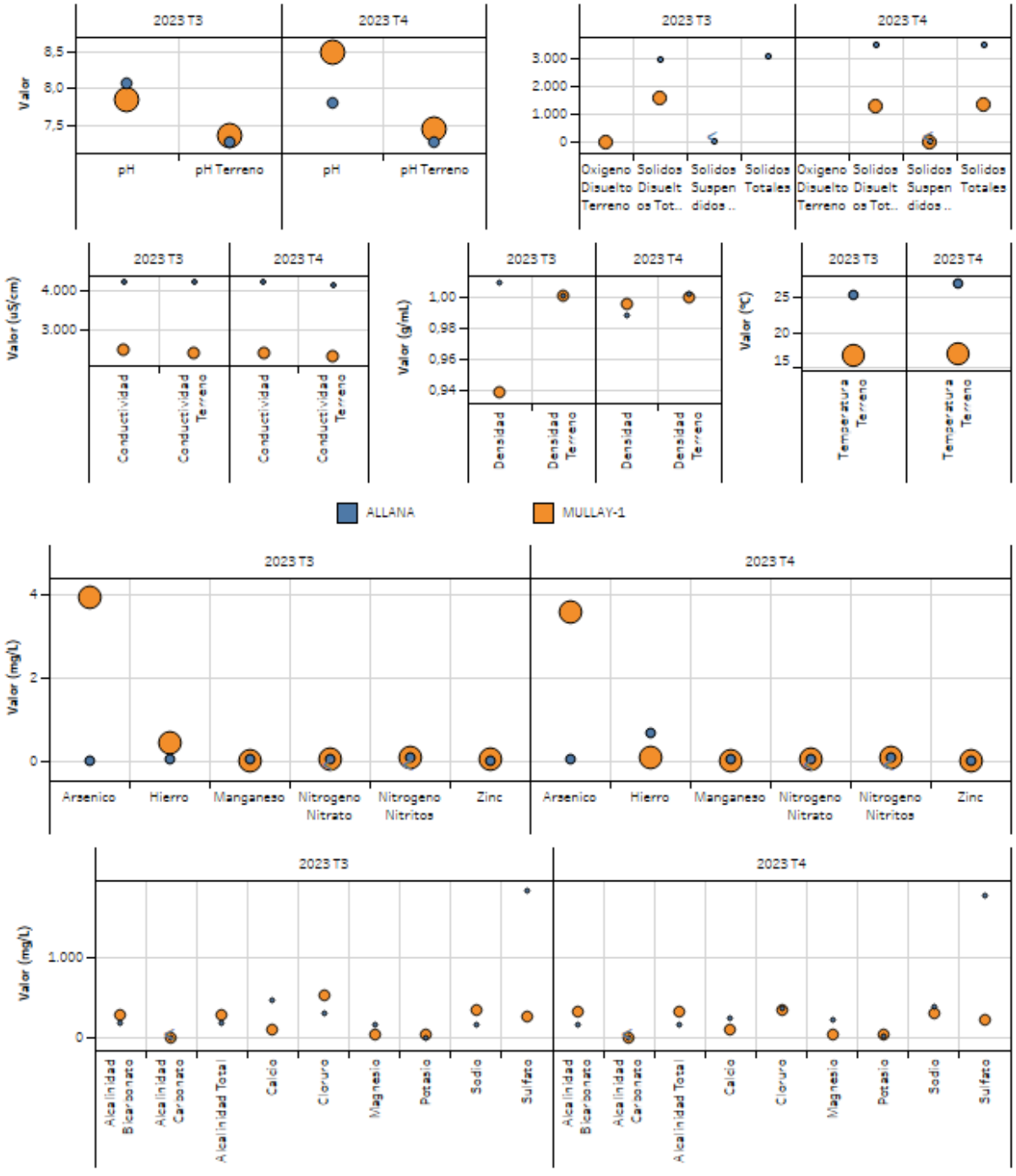
En la Tabla 5-28 se presentan los resultados del monitoreo trimestral de calidad efectuado a los pozos de bombeo Mullay-1 y Allana durante el segundo semestre de 2023. Los resultados gráficos se muestran en la Figura 5-15. Considerar que la medición de Oxígeno disuelto en Mullay-1 durante Julio corresponde a solo una medición voluntaria, es por ello que, no se visualizan datos para Allana ni Mullay-1 en julio y octubre.

Tabla 5-28: Resultados calidad del agua en pozos de extracción

Parámetro	ALLANA		MULLAY-1	
	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	175	151	287	328
Arsénico (mg/L)	0,0020	0,0473	3,9407	3,5690
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	175	151	287	328
Bicarbonatos (mg/L)	214	184	350	400
Calcio (mg/L)	469,80	246,70	100,65	91,71
Carbonatos (mg/L)	<1	<1	<1	<1
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	<1	<1
Cloruro (mg/L)	301,3	371,2	516,2	339,9
Conductividad (uS/cm)	4.200	4.180	2.480	2.410
Conductividad Terreno (uS/cm)	4.200	4.100	2.400	2.320
Densidad (g/mL)	1,009	0,988	0,938	0,995
Densidad Terreno (g/mL)	1,001	1,002	1,001	1,000
Hierro (mg/L)	0,041	0,664	0,440	0,068
Magnesio (mg/L)	154,000	223,400	34,370	30,590
Manganeso (mg/L)	0,0515	0,0281	0,0016	0,0006
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)			7,03	
pH ()	8,06	7,81	7,85	8,47
pH Terreno ()	7,29	7,27	7,36	7,46
Potasio (mg/L)	2,5	24,0	31,5	30,1
Sodio (mg/L)	150	373	347	305
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.924	3.460	1.540	1.288
Sulfato (mg/L)	1.831	1.761	264	230
Temperatura Terreno (°C)	25,3	26,9	16,6	16,9
Zinc (mg/L)	0,0112	0,0157	0,0280	0,0120

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-15: Resultados de calidad del agua en pozos de extracción Mullay-1 y Allana



Fuente: Elaboración propia. *Los valores <LD se representan como = LD. El color y tamaño se refiere a la infraestructura.

5.1.2.4.2 Mediciones realizadas en cuerpos lagunares SQM

En esta sección se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del monitoreo realizado en los puntos de control lacustre de Chaxa, Barros Negros, Burro Muerto y Puilar, planificados a ser realizados por ALS Antofagasta (ETFA 029-0), y a su vez, SEGEA (ETFA 040-01) comprometidos con el monitoreo en terreno y la medición de parámetros fisicoquímicos.

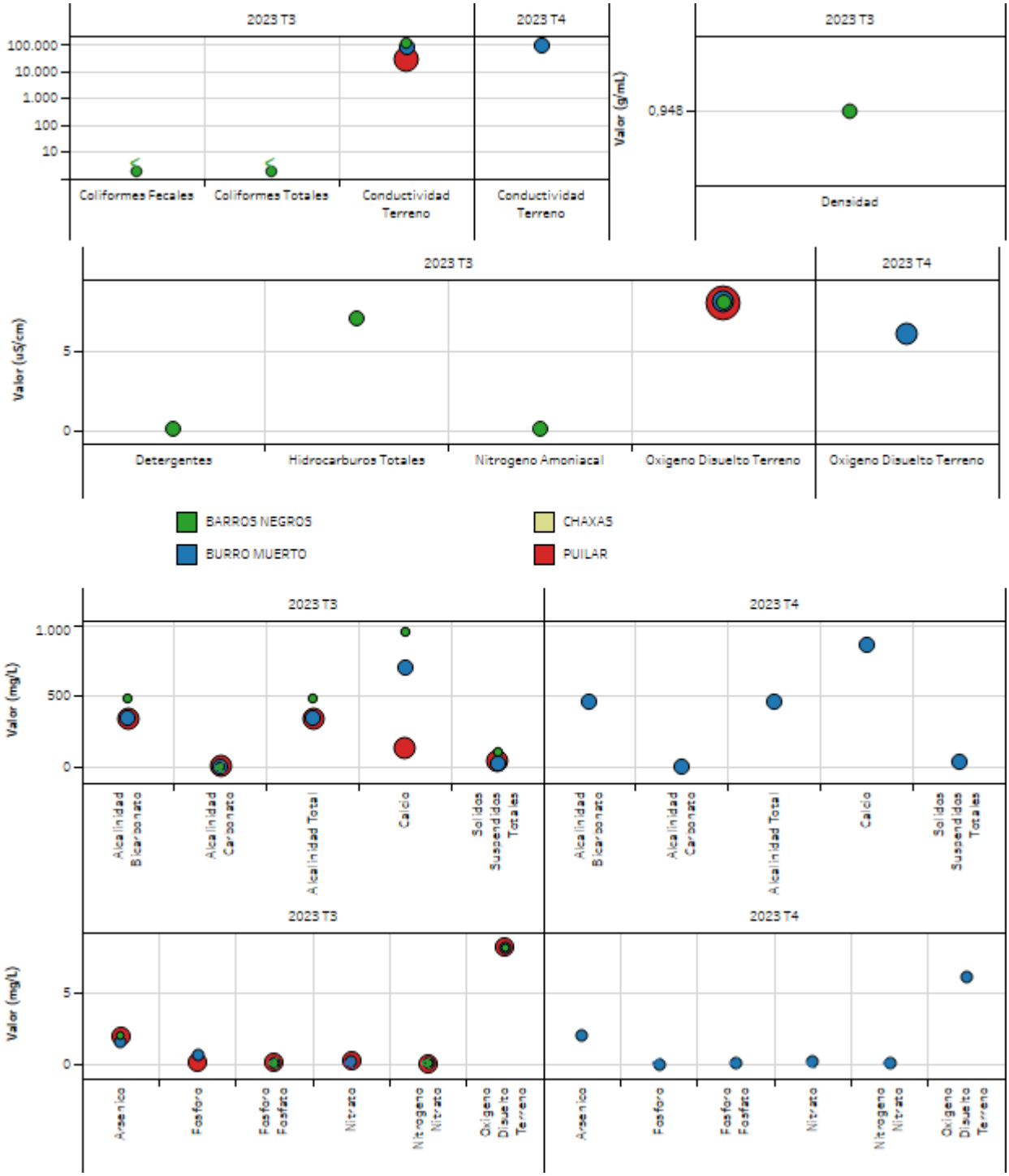
El personal de SEGEA solo pudo ingresar en ambos trimestres al punto de Burro Muerto. En laguna Puilar y Barros negros solo fue posible su visita durante el mes de julio, esto debido a que en las visitas de octubre no se contaba con el permiso de acceso la Reserva Nacional Los Flamencos. En el caso de laguna Chaxa no fue posible visitar durante los dos últimos trimestres de 2023 por restricción de acceso. Para ver los respectivos respaldos de esta situación, visitar los informes ETFA que se encuentran en el Anexo 6.1.

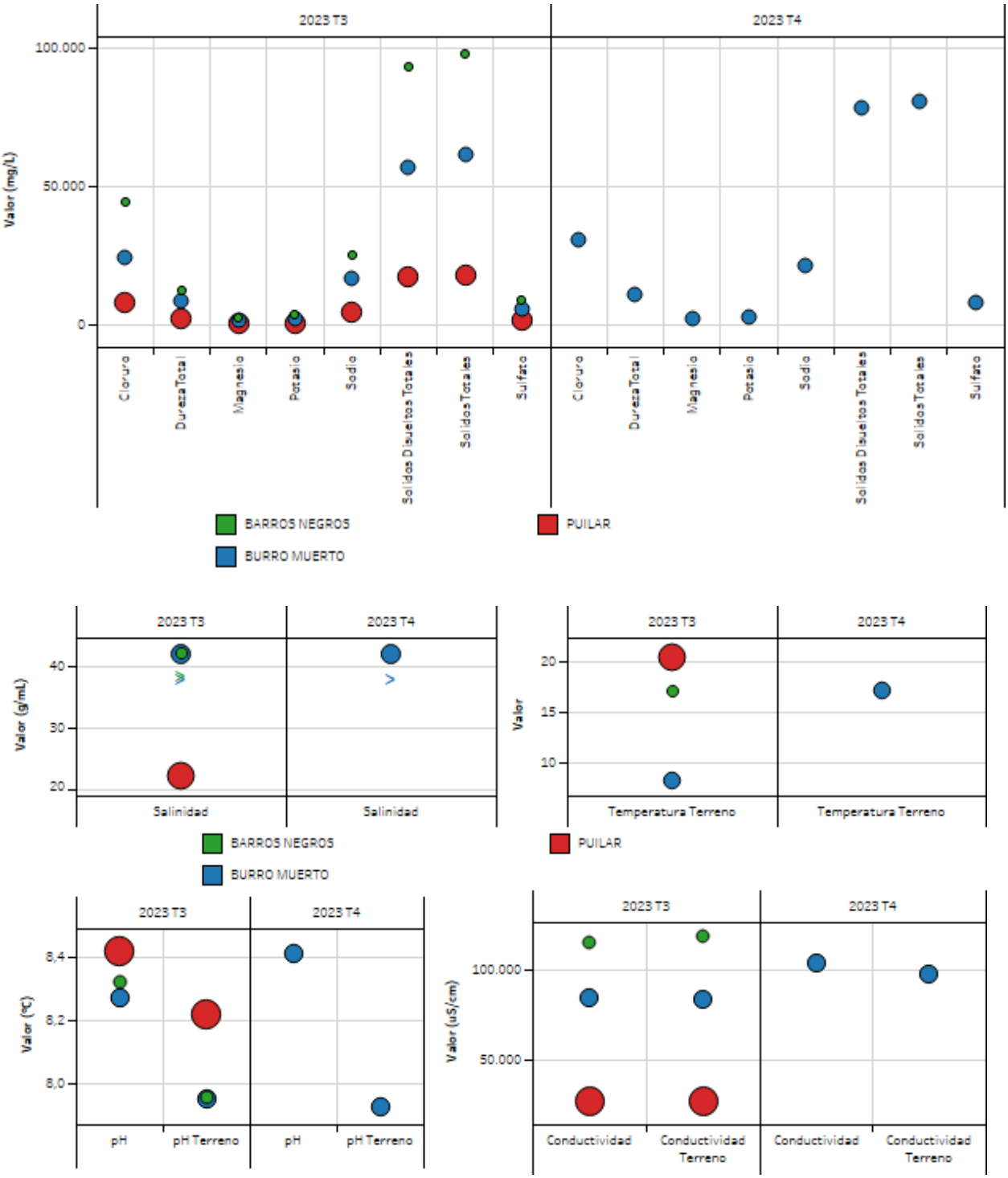
Tabla 5-29 Resultados calidad del agua en agua superficial

	BARROS NEGROS		BURRO MUERTO		CHAXAS		PUILAR	
Parámetro	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	479		339	460			337	
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1.00		<1.00	<1.00			<1.00	
Alcalinidad Total (CaCO3) (mgCaCO3/L)	479		339	460			337	
Arsenico (mg/L)	2.03		1.54	2.00			1.96	
Calcio (mg/L)	951		697	866			128	
Cloruro (mg/L)	44703		24471	30976			7950	
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	<1.80							
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	<1.80							
Conductividad (uS/cm)	114400		83800	103200			27500	
Conductividad Terreno (uS/cm)	117500	-	83300	97500	-	-	27100	-
Densidad (g/ml)	0.948							
Densidad Terreno (g/ml)	1.066		1.046	1.050			1.015	
Detergentes (mg/L)	0.078							
Dureza Total (mg/L)	12238		8373	11086			2398	
Fosforo (mg/L)			0.660	<0.005			0.192	
Fosforo Fosfato (mg/L)	<0.130		<0.130	<0.130			<0.130	
Hidrocarburos Totales (mg/L)	7.00							
Hidrocarburos Volátiles C6-C10 (mg/L)	<0.500							
Magnesio (mg/L)	2369		1589	2038			451	
Nitrogeno Amoniacal (mg/L)	<0.030							
Nitrogeno Nitrato (mg/L)	<0.050		<0.050	<0.050			<0.050	
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	8.01	-	8.07	6.02	-	-	8.06	-
pH Terreno (pH)	7.96	-	7.95	7.93	-	-	8.22	-
Potasio (mg/L)	3567		2167	3043			770	
Potasio Disuelto (mg/L)				2911				
Salinidad (‰)	>42.00		>42.00	>42.00			22.00	
Silice (mg/L)	3.20		3.60	4.70			2.30	
Sodio (mg/L)	25046		16535	21327			4381	
Sodio Disuelto (mg/L)				20383				
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	93115		56900	78235			17520	
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	96.00		23.00	29.00			38.00	
Sólidos Totales (mg/L)	97805		61500	80520			18240	
Sulfato (mg/L)	8880		5573	7862			1422	
Temperatura Terreno (°C)	17.10	-	8.10	17.20	-	-	20.50	-

Fuente: Elaboración propia. "-" o vacío: no se presenta dato por restricción de acceso.

Figura 5-16 Resultados de calidad del agua en agua superficial





Fuente: Elaboración propia. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan con la etiqueta “<” o “>” que indica si este es menor o mayor que el valor respectivamente.

5.1.2.4.3 Validación de Resultados

Los criterios de validación de los resultados obtenidos para los monitoreos de calidad de aguas que se implementan en este apartado son los descritos en el anterior apartado 4.5.8 de Monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas (Capítulo 4 de Materiales y métodos).

La Tabla 5-30 presenta los resultados de la validación de las campañas del segundo semestre en el sistema Soncor. En ambas campañas, 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. A pesar de ser caracterizados como Calidad 4 y, por lo tanto, los analitos medidos no permiten el cálculo de balances de masas según lo establecido en la Tabla 4-2 y la RCA N° 226/2006, se incluyeron de manera voluntaria en el análisis para mejorar el control y aseguramiento de calidad del producto de laboratorio ALS. Esta práctica se implementó desde agosto de 2023, por lo tanto, la muestra de Mullay-1 del primer trimestre no se vio afectada, pero sí las siguientes.

Así mismo, los balances iónicos de Allana, Barros Negros, Chaxas, Mullay-1 y Puilar aprueban el criterio de validación inferiores al 10% maximo de desviación para los cálculos presentados en la sección “4.5.8.3 Validación de los datos de calidad del agua”.

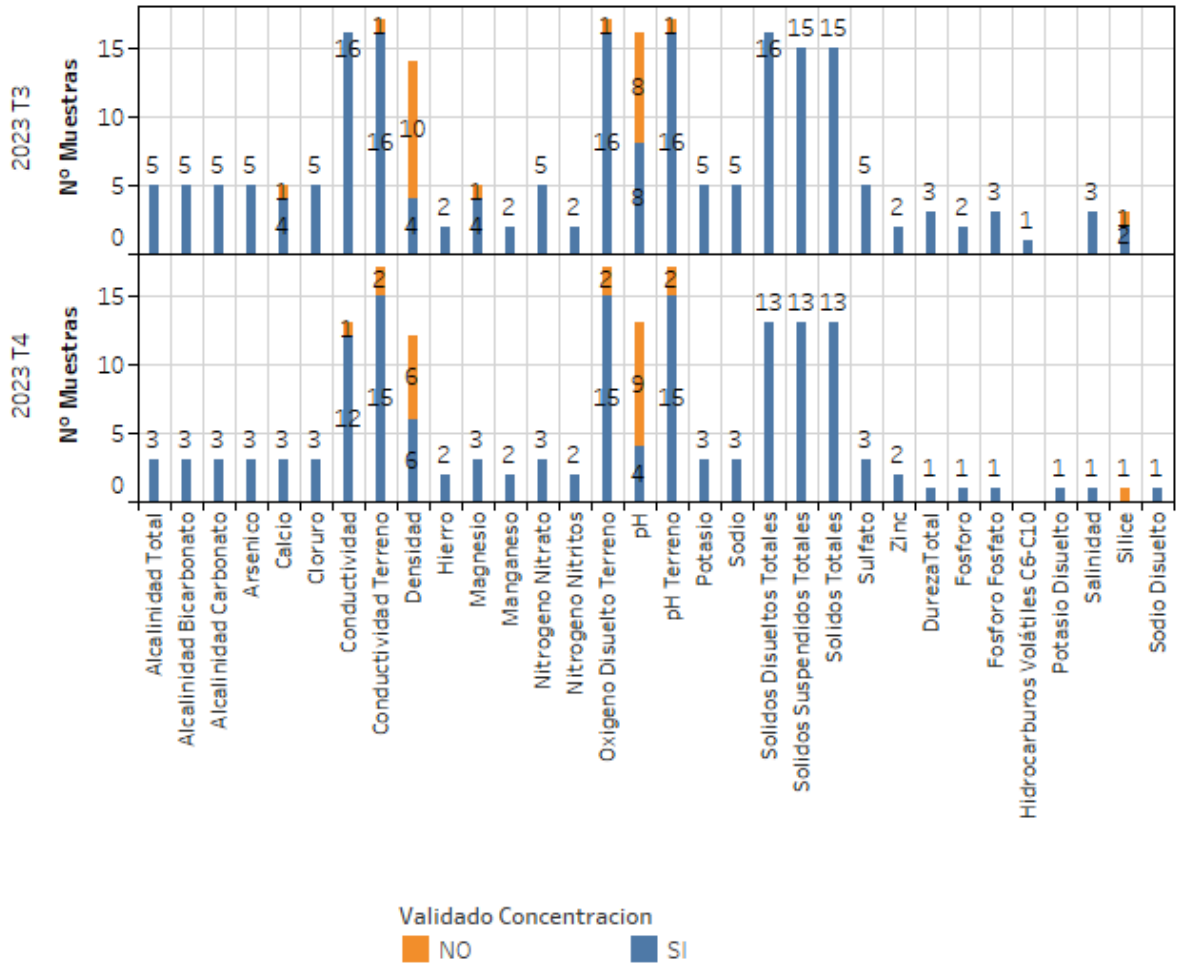
Tabla 5-30: Resultados validación Soncor

Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
3	ALLANA	-4,5	8,0
	BARROS NEGROS	-4,7	1,1
	BURRO MUERTO	-7,4	7,3
	L1-4	-4,7	NA*
	L1-5	-5,7	NA*
	L1-6	-4,8	NA*
	L1-G4	-1,7	NA*
	L2-3	-2,9	NA*
	L2-4	-1,4	NA*
	L2-5	-4,4	NA*
	L7-3	-1,5	NA*
	L7-G1	-4,6	NA*
	MULLAY-1	NA*	3,8
	PUILAR	-3,7	1,3
	SOPM-7 (L2-6)	-3,7	NA*
	SOPM-14	-5,2	NA*
4	ALLANA	-0,3	2,7
	BURRO MUERTO	-2,8	7,5
	L1-4	-2,8	NA*
	L1-5	-3,0	NA*
	L1-6	-0,2	NA*
	L1-G4	-1,9	NA*
	L2-3	-0,3	NA*
	L2-4	-2,3	NA*
	L2-5	1,9	NA*
	L7-3	-6,1	NA*
	MULLAY-1	-2,2	0,8
	SOPM-7 (L2-6)	-0,2	NA*
	SOPM-14	-2,0	NA*

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

La Figura 5-17 muestra el número de muestras validadas y no validadas en base a su concentración histórica para cada analito verificado (de acuerdo con lo indicado en 4.5.8). Se observan para el segundo semestre 2023, 46 resultados no validados. El total de desviaciones representan un 11,64% del total de 395 análisis en el sistema Soncor durante el segundo semestre 2023.

Figura 5-17: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.5 Caudal agua superficial (aforos)

En el sistema Soncor se dispone de dos puntos de medición de caudal de agua superficial; en el Puente San Luís se mide de forma continua y con medidas manuales mensuales, esto último de manera voluntaria, y en el punto llamado Barros Negros (que se ubica a la salida de la laguna Chaxa (ver apartado 4.3.1), en el cual se toman medidas manuales (L/s).

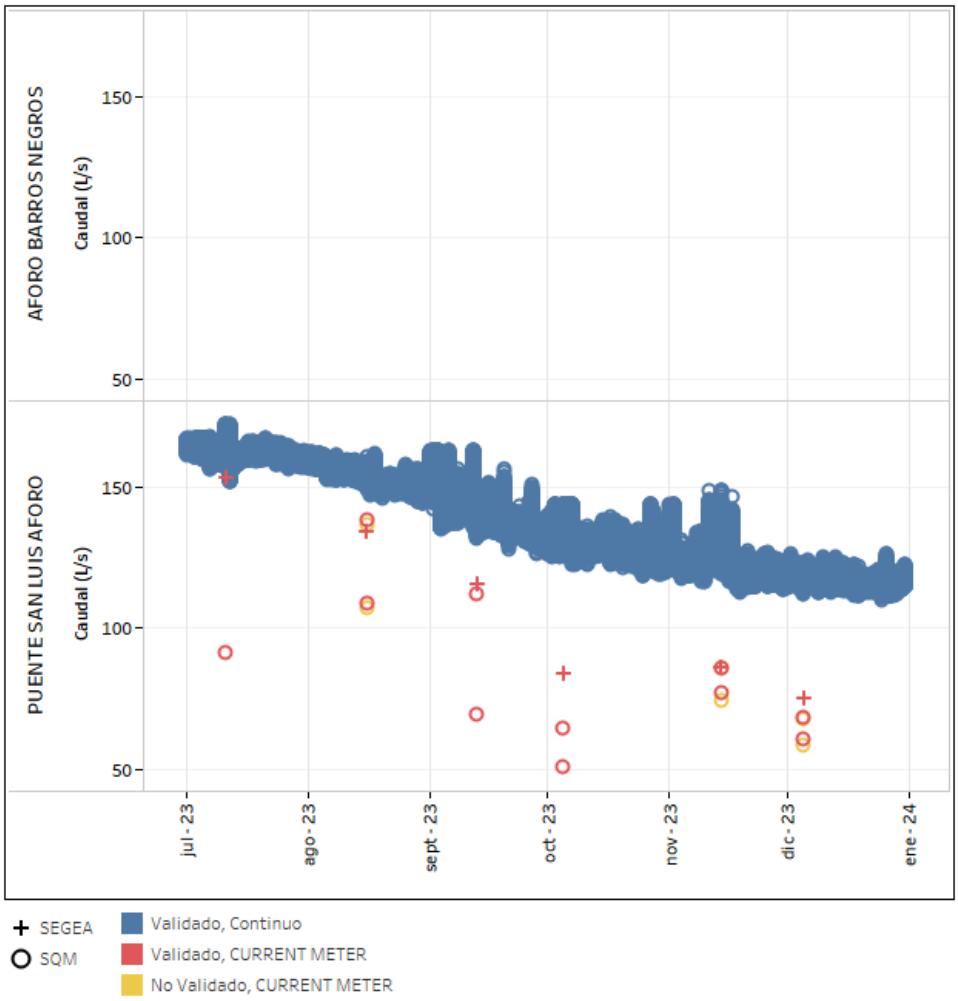
En la Tabla 5-31 se muestra el resultado de las mediciones manuales realizadas durante el segundo semestre 2023. Puede observarse que el aforo del Puente San Luís se ha podido medir durante todos los meses del segundo semestre de 2023, sin embargo, aforo Barros Negros no fue posible de medir durante el semestre debido a restricción de acceso a RNLF. En la Figura 5-18 se muestra gráficamente el resultado de las mediciones continuas y manuales de este punto; puede verse que el transductor de presión ha funcionado bien en términos generales. Mencionar, asimismo, que en el Anexo 8 se entrega de forma tabulada el total de mediciones de aforo realizadas en este semestre reportado.

Tabla 5-31: Resultados aforos manuales en el punto de Aforo Barros Negros y Puente San Luis

	AFORO BARROS NEGROS	PUENTE SAN LUIS AFORO
julio de 2023	S/I	153,10
agosto de 2023	S/I	134,10
septiembre de 2023	S/I	115,40
octubre de 2023	S/I	84,10
noviembre de 2023	S/I	86,00
diciembre de 2023	S/I	74,90

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

Figura 5-18: Caudales medidos en el punto Puente San Luis Aforo, del sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.6 Superficie Lacustre

Para el presente semestre de reporte, corresponde la medición de superficie lacustre vía imagen satelital con frecuencia trimestral (PdC 2022) y según complementa la resolución N°244/2010, la delimitación de los bordes de cada laguna se apoyará en la información generada en terrenos sobre la base de puntos de control.

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), por lo que las dimensiones reportadas con esta metodología subestiman la superficie lagunar del sistema lacustre de Puilar.

Durante el periodo en reporte, y en particular para el mes de julio, se contó con permisos de ingreso a las lagunas Barros Negros y su Desborde Sur (Fuera de RNLF), Chaxa y Puilar. Sin embargo, para el mes de octubre no fue posible acceder a estos sectores debido a las restricciones de ingreso por periodo reproductivo de flamencos, lo cual impidió el desarrollo de trabajos para medición lacustre en terreno, es decir, el monitoreo de estacas perimetrales y puntos de control dentro de RNLF.

En la Tabla 5-32 se presentan los resultados obtenidos con las distintas metodologías. En la sección Anexos 10, se puede encontrar detalle específico de este apartado, así como los valores tabulados (anexo 10.1) y los informes de sustento para la obtención de resultados mediante imagen satelital (anexo 10.2) y estacas perimetrales (anexo 10.3).

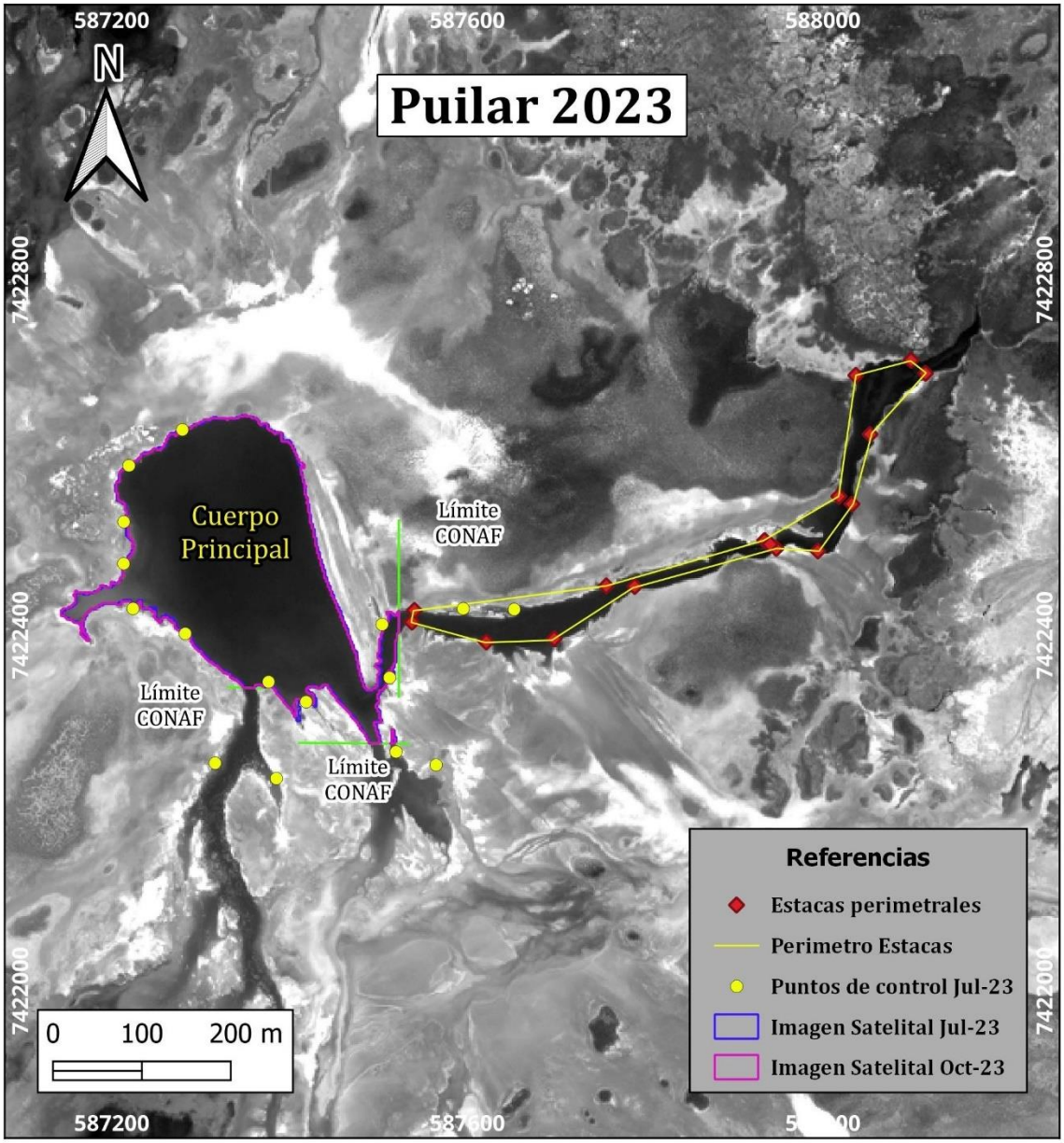
Tabla 5-32. Superficies lacustres segundo semestre 2023.

Periodo de medición	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m^2)			
			Laguna Chaxa	Laguna Barros Negros	B. Negros Z. Aledañas + Desborde Sur	Laguna Puilar
Jul 2023	ATyGEO	Estacas Perimetrales	279.686	1.061.517	N/A	19.391
Jul 2023	SRGIS	Imagen Satelital	290.408	1.028.359	459.288	62.496
Oct 2023	ATyGEO	Estacas Perimetrales	S/I	S/I	N/A	S/I
Oct 2023	SRGIS	Imagen Satelital	278.722	896.955	329.673	62.472

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

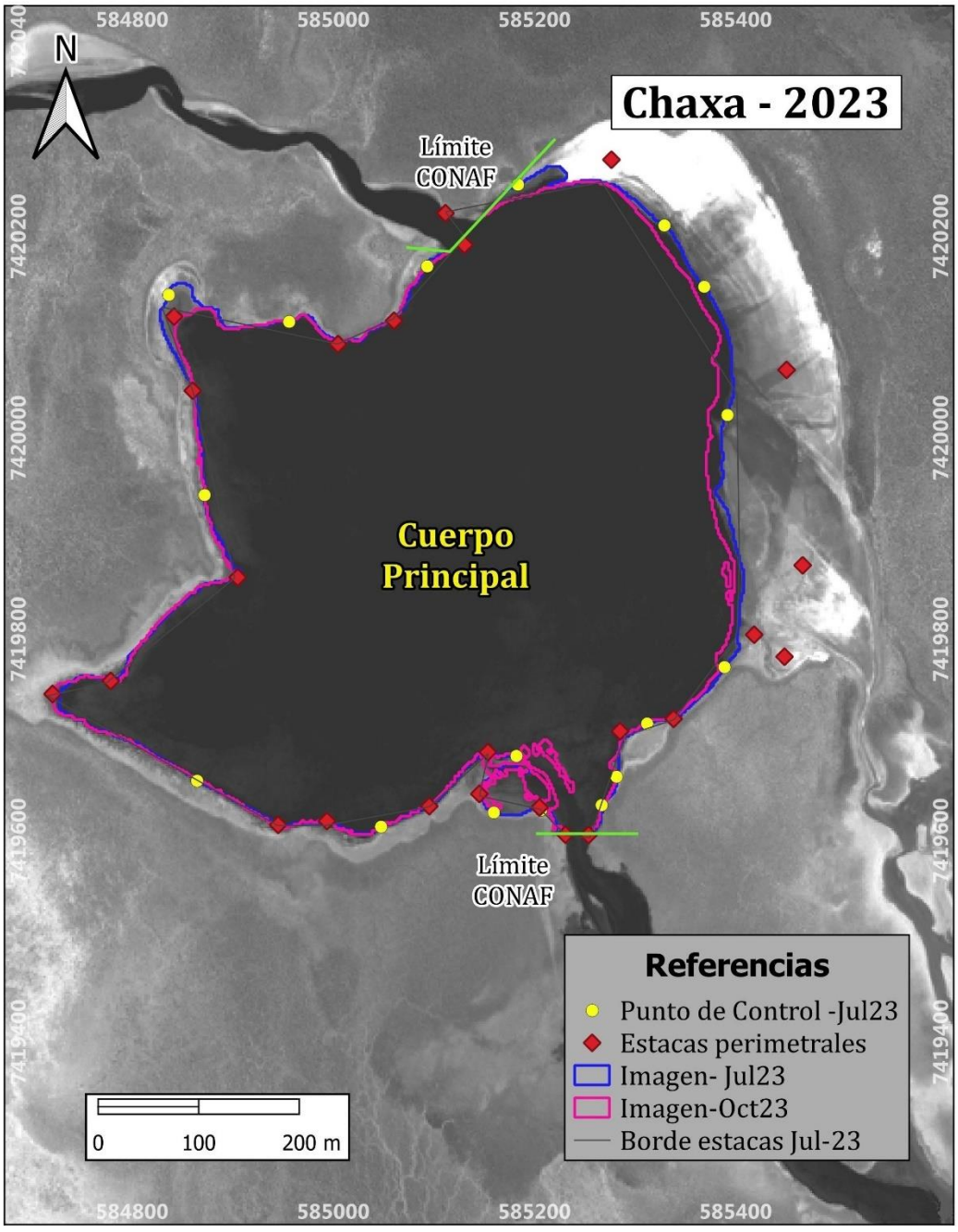
En las siguientes figuras, se muestran mapas con los resultados de las metodologías previamente señaladas para el segundo semestre de 2023.

Figura 5-19: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar.



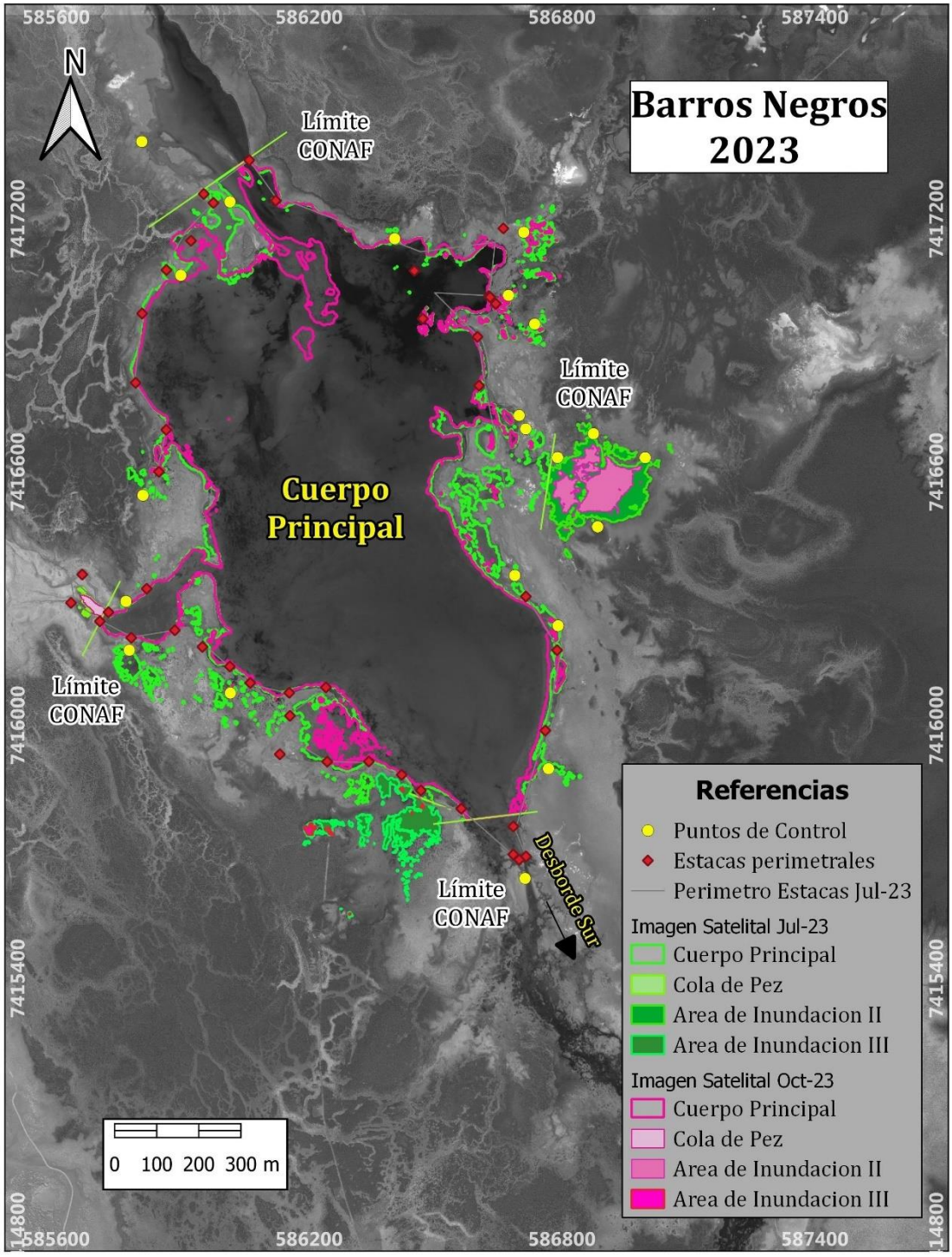
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-21: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico del Sistema Aguas de Quelana considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (61 puntos), caudal bombeado (2 puntos), calidad química (9 puntos) y superficie lacustre. Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación. Todos los puntos de monitoreos de Aguas de Quelana presentaron al menos una medición de acuerdo con el compromiso por RCA N°226/2006. Todos los indicadores de estado ubicados dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos presentaron al menos 1 medición mensual.

5.1.3.1 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 sistema Aguas de Quelana, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-6 y en el Anexo 2. Asimismo, se realizaron mediciones adicionales en algunos pozos por parte de SEGEA posterior al cambio de contrato bajo las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022, otorgando así, más información a pozos PSAH, principalmente los que se encuentran dentro de RNLF.

Cabe señalar que los pozos L4-3, L3-3 y L3-5 junto a la reglilla L4-10 son parte del monitoreo de niveles de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este, pero para una mayor claridad de su presentación, éstos solo serán mostrados 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; el pozo solo se presentará en la actual sección.

5.1.3.1.1 Pozos en zona aluvial

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

Respecto de la medición continua, ningún punto de este grupo contaba con instalación de transductor de presión, hasta el 21 de mayo de 2022, en donde se puso en marcha la medición continua en el pozo Camar-2, por lo que, los niveles fuera de tendencia se han omitido de la gráfica de la Figura 5-22. De todas formas,

estas mediciones se proponen de forma voluntaria en el marco del desmantelamiento de sus instalaciones para extracción de agua.

En la Tabla 5-33 se muestran los resultados del monitoreo comprometido efectuado para el segundo semestre de 2023 y en la Tabla 5-34 se puede ver con detalle el recuento de mediciones realizadas cada mes por cada empresa, considerar que existen mediciones complementarias realizadas por la ETFA que no son compromiso ambiental obligatorios. Finalmente, en la Figura 5-22 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, con las mediciones comprometidas, adicionales, manuales y continuas.

Tabla 5-33: Registro de niveles zona aluvial del sistema Aguas de Quelana

L3-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 14:55	2.323,007
23/8/23 12:45	2.323,007
27/9/23 12:56	2.323,029
30/10/23 11:19	2.323,013
23/11/23 09:59	2.323,014
21/12/23 15:05	2.323,025

L4-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/7/23 14:25	2.304,397
23/8/23 11:33	2.304,241
27/9/23 16:39	2.304,402
30/10/23 13:36	2.304,482
23/11/23 13:10	2.304,386
21/12/23 11:01	2.304,367

L5-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/7/23 14:41	2.322,292
28/8/23 10:07	2.322,251
21/9/23 15:42	2.322,290
12/10/23 13:37	2.322,293
16/11/23 13:13	2.322,321
14/12/23 12:48	2.322,303

L5-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/7/23 14:11	2.315,123
28/8/23 10:37	2.315,123
21/9/23 15:15	2.315,136
12/10/23 12:58	2.315,136
16/11/23 12:35	2.315,147
14/12/23 12:17	2.315,141

CAMAR-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 13:55	2.322,411
10/8/23 12:17	2.322,398
27/9/23 12:34	2.322,417
31/10/23 10:00	2.322,406
24/11/23 12:43	2.322,399
22/12/23 12:39	2.322,404

SOCAIRE-5B	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 15:33	2.304,660
10/8/23 10:53	2.304,592
23/8/23 10:49	2.304,605 *
27/9/23 16:19	2.304,702
30/10/23 12:10	2.304,581
23/11/23 10:20	2.304,653
21/12/23 15:49	2.304,591

L4-3		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.306,868	2.306,930
Ago 2023	2.306,897	2.306,925
Sep 2023	2.306,929	2.306,955
Oct 2023	2.306,925	2.306,980
Nov 2023	2.306,904	2.306,967
Dic 2023	2.306,961	2.306,981

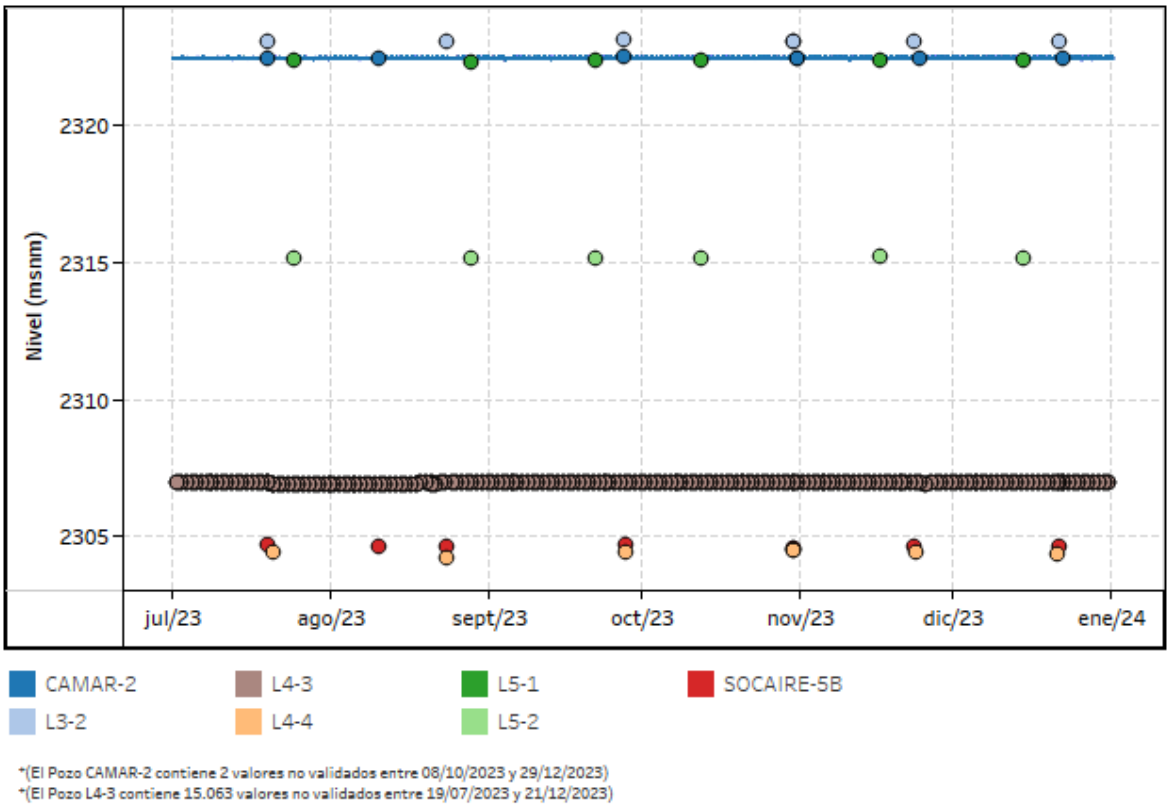
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición.

Tabla 5-34: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
CAMAR-2				1			1	1	1	1	1	1
L3-2				1			1	1	1	1	1	1
L4-3	31	31	30	31	30	31	4	2	2	3	2	3
L4-4				1			1	1	1	1	1	1
L5-1							1	1	1	1	1	1
L5-2							1	1	1	1	1	1
SOCAIRE-5B				1			1	2	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-22: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona aluvial del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2 Pozos en zona marginal

En esta sección se exponen los resultados del monitoreo efectuado en los 43 pozos de control de nivel ubicados en la zona marginal del Sistema Aguas de Quelana. De éstos, 19 poseen medición continua de nivel por lo que, para facilitar el análisis, se han agrupado en 4 grupos en función de su ubicación; aledaño a pozo de extracción Camar-2, aledaño a pozo de extracción Socaire-5, al oeste de los cuerpos de agua aledaños al pozo Camar-2 y al oeste de los cuerpos de agua aledaños al pozo Socaire-5. A continuación, se muestran los resultados para cada grupo.

5.1.3.1.2.1 Área del pozo Camar-2

Este subgrupo está conformado por 6 puntos de control y se encuentran aledaños al pozo de extracción Camar-2. De éstos, dos corresponden a indicadores de estado (L3-3 y L3-5) y son otros dos puntos los que se encuentran dentro de la reserva; L13-3 y L3-6. De todos ellos, todos se componen de medición continua de niveles a excepción del L3-3.

En la Tabla 5-35 se muestran las mediciones manuales comprometidas del segundo semestre de 2023 para este grupo, y en la Tabla 5-36 se detalla el recuento de las mediciones realizadas por SQM para pozos PSAH y mediciones de la ETFA para los indicadores de estado. Finalmente, en la Figura 5-23 se muestra el resultado completo, incluyendo las mediciones comprometidas, adicionales y las manuales y las continuas. Como puede verse, para el presente semestre reportado, todos los puntos han podido ser medidos con la frecuencia esperada.

Tabla 5-35: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2

L13-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 18:30	2.315,285
23/8/23 14:31	2.315,310
27/9/23 10:06	2.315,329
30/10/23 14:33	2.315,341
23/11/23 12:22	2.315,317
21/12/23 13:18	2.315,283

L13-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/7/23 13:36	2.307,313
23/8/23 14:57	2.307,325
27/9/23 10:16	2.307,326
30/10/23 14:46	2.307,314
23/11/23 12:07	2.307,292
21/12/23 13:28	2.307,233

L13-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 12:21	2.302,843
7/8/23 14:37	2.302,866
11/9/23 13:28	2.302,891
4/10/23 15:30	2.302,891
6/11/23 14:23	2.302,856
11/12/23 13:32	2.302,798

L3-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 16:21	2.302,226
7/8/23 13:48	2.302,234
11/9/23 12:49	2.302,233
4/10/23 15:04	2.302,234
6/11/23 13:47	2.302,218
11/12/23 12:57	2.302,193

L3-3		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.310,908	2.310,916
Ago 2023	2.310,917	2.310,924
Sep 2023	2.310,923	2.310,928
Oct 2023	2.310,906	2.310,926
Nov 2023	2.310,862	2.310,905
Dic 2023	2.310,802	2.310,860

L3-5		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.304,274	2.304,303
Ago 2023	2.304,301	2.304,315
Sep 2023	2.304,313	2.304,321
Oct 2023	2.304,308	2.304,319
Nov 2023	2.304,273	2.304,308
Dic 2023	2.304,228	2.304,271

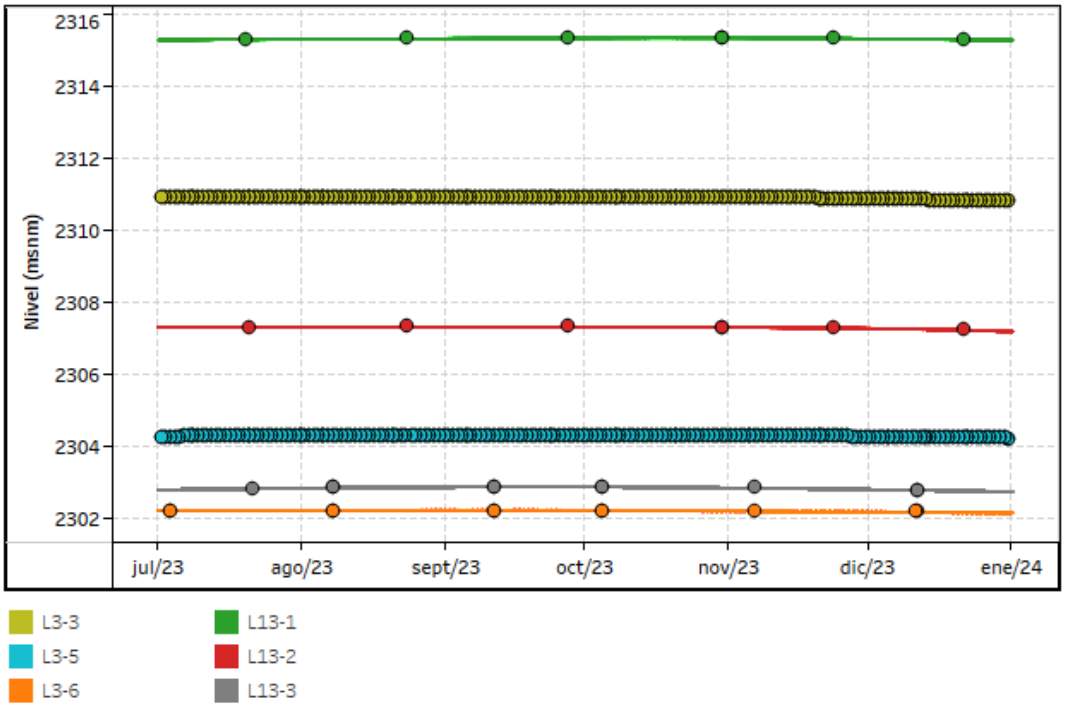
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-36: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L3-3	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	2
L3-5	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	3
L3-6	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
L13-1				1			1	1	1	1	1	1
L13-2				1			1	1	1	1	1	1
L13-3		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-23: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2



*(El Pozo L3-3 contiene 608 valores no validados entre 18/07/2023 y 16/09/2023)
*(El Pozo L3-5 contiene 6 valores no validados entre 17/10/2023 y 26/11/2023)
*(El Pozo L3-6 contiene 100 valores no validados entre 03/07/2023 y 06/11/2023)
*(El Pozo L13-1 contiene 46 valores no validados entre 01/07/2023 y 31/12/2023)
*(El Pozo L13-2 contiene 1.514 valores no validados entre 18/07/2023 y 30/10/2023)
*(El Pozo L13-3 contiene 43 valores no validados entre 06/07/2023 y 26/12/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.2.2 Área del pozo Socaire-5

El subsector aledaño al pozo de extracción Socaire-5 está compuesto por 13 puntos de control, de los cuales 7 tienen medición en continuo además de las medidas manuales (L4-7, L4-8, L4-9, L5-3, L5-6, L5-7 y L5-8) y 3 de ellos son además indicadores de estado (L4-7, L4-8 y L5-8). De este grupo son los siguientes pozos los que se encuentran dentro de la reserva: L14-5, L14-6, L14-7, L4-8, L4-9 y L5-3.

En la Tabla 5-37 se muestran las mediciones manuales comprometidas para el segundo semestre 2023. En la Tabla 5-38 se detalla el recuento de las mediciones realizadas tanto por SEGEA como SQM en cada mes. Finalmente, en la Figura 5-24 se presentan de forma gráfica las mediciones obtenidas, tanto las comprometidas como las adicionales, así como las manuales y las continuas.

Como puede verse, para el presente semestre reportado, todos los puntos han podido ser medidos con la frecuencia comprometida.

Tabla 5-37: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B

L14-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/7/23 18:46	2.311,857
23/8/23 11:55	2.311,869
27/9/23 16:58	2.311,880
30/10/23 13:56	2.311,882
23/11/23 12:53	2.311,856
21/12/23 12:51	2.311,815

L14-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/7/23 14:17	2.304,340
23/8/23 12:04	2.304,354
27/9/23 17:03	2.304,366
30/10/23 14:04	2.304,371
23/11/23 12:46	2.304,353
21/12/23 12:58	2.304,331

L14-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/7/23 13:57	2.301,685
23/8/23 12:16	2.301,685
27/9/23 17:15	2.301,678
30/10/23 14:16	2.301,672
23/11/23 12:37	2.301,647
21/12/23 13:06	2.301,632

L14-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 14:16	2.300,489
8/8/23 14:58	2.300,494
12/9/23 12:15	2.300,471
3/10/23 14:42	2.300,456
7/11/23 12:51	2.300,431
12/12/23 12:34	2.300,404

L14-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 14:26	2.300,102
8/8/23 14:47	2.300,111
12/9/23 12:28	2.300,105
3/10/23 14:33	2.300,096
7/11/23 13:02	2.300,078
12/12/23 12:25	2.300,058

L14-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 14:37	2.299,892
8/8/23 14:35	2.299,902
12/9/23 12:39	2.300,906
3/10/23 14:24	2.299,904
7/11/23 13:11	2.299,890
12/12/23 12:16	2.299,874

L4-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 13:03	2.301,025
7/8/23 11:45	2.301,020
11/9/23 11:18	2.301,000
4/10/23 12:50	2.300,978
6/11/23 12:15	2.300,962
11/12/23 11:47	2.300,938

L5-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 09:45	2.302,098
7/8/23 10:03	2.302,063
11/9/23 09:28	2.302,093
4/10/23 10:43	2.302,067
6/11/23 09:51	2.302,040
11/12/23 09:47	2.301,984

L5-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/7/23 14:44	2.309,094
23/8/23 11:19	2.309,106
27/9/23 16:30	2.309,116
30/10/23 12:53	2.309,100
23/11/23 13:20	2.309,070
21/12/23 09:14	2.309,040

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

L5-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/7/23 13:59	2.307,056
3/8/23 12:24	2.307,065
28/8/23 10:48	2.307,071 *
21/9/23 13:33	2.307,077
12/10/23 12:39	2.307,071
16/11/23 12:14	2.307,045
14/12/23 12:04	2.306,993

L4-8		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.301,287	2.301,287
Ago 2023	2.301,290	2.301,290
Sep 2023	2.301,288	2.301,288
Oct 2023	2.301,283	2.301,283
Nov 2023	2.301,279	2.301,279
Dic 2023	2.301,275	2.301,275

L4-7		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.301,407	2.301,411
Ago 2023	2.301,409	2.301,411
Sep 2023	2.301,405	2.301,409
Oct 2023	2.301,400	2.301,407
Nov 2023	2.301,397	2.301,401
Dic 2023	2.301,391	2.301,397

L5-8		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.303,761	2.303,776
Ago 2023	2.303,775	2.303,780
Sep 2023	2.303,771	2.303,779
Oct 2023	2.303,749	2.303,772
Nov 2023	2.303,733	2.303,752
Dic 2023	2.303,712	2.303,733

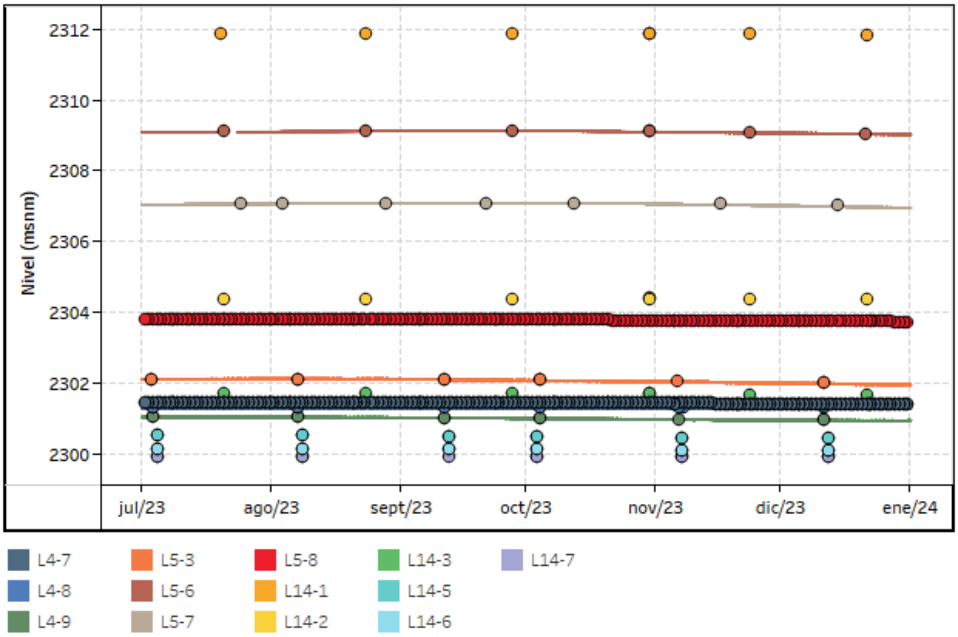
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

Tabla 5-38: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L4-7	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	2
L4-8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L4-9	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
L5-3	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
L5-6				1			1	1	1	1	1	1
L5-7							1	2	1	1	1	1
L5-8	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	2
L14-1				1			1	1	1	1	1	1
L14-2				1			1	1	1	1	1	1
L14-3				1			1	1	1	1	1	1
L14-5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L14-6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L14-7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-24: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5



*(El Pozo L4-7 contiene 436 valores no validados entre 05/08/2023 y 12/11/2023)
*(El Pozo L4-8 contiene 21 valores no validados entre 03/07/2023 y 06/11/2023)
*(El Pozo L4-9 contiene 88 valores no validados entre 03/07/2023 y 06/11/2023)
*(El Pozo L5-3 contiene 325 valores no validados entre 03/07/2023 y 25/12/2023)
*(El Pozo L5-6 contiene 6.259 valores no validados entre 19/07/2023 y 13/12/2023)
*(El Pozo L5-7 contiene 59 valores no validados entre 02/07/2023 y 25/12/2023)
*(El Pozo L5-8 contiene 158 valores no validados entre 02/08/2023 y 29/10/2023)
*(El Pozo L14-7 contiene 1 valores no validados entre 12/09/2023 y 12/09/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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

Respecto el subsector oeste de los cuerpos de agua cercanas a Camar-2, se encuentran 10 puntos de control. De éstos, todos a excepción del L13-7 y el L3-4 se encuentran dentro de la reserva. Por otro lado, el L3-11 y el L3-9 son indicadores de estado. De todo el grupo, son el L3-10, L3-13 y L3-9 los que cuentan con mediciones de nivel continuas.

El resultado para el monitoreo manual comprometido del segundo semestre de 2023 se muestra en la Tabla 5-39. En la Tabla 5-40 se encuentra el detalle del número de mediciones realizado por cada empresa para cada mes, donde SEGEA incorporo mediciones complementarias a las que realiza SQM cada mes para la mayoría de los pozos y en la Figura 5-25 se presentan gráficamente los niveles resultantes del monitoreo

tanto comprometido como del adicional, así como todas las mediciones manuales y continuas, donde el pozo L3-13 presento outliers, debido, principalmente a descalibraciones de los sensores o por pulsos de captura de presión anómalos, que son puntuales. Para mejorar su visualización se han extraído dichos puntos, sin embargo, la data bruta se presenta de forma tabulada en el Anexo 5.

Como puede verse, los pozos fuera de la reserva han sido medidos mensualmente tal y como es comprometido.

Tabla 5-39: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua

L13-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 10:42	2.300,469
8/8/23 13:30	2.300,476
12/9/23 10:31	2.300,487
3/10/23 13:50	2.300,488
7/11/23 14:35	2.300,483
12/12/23 13:16	2.300,473

L13-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 10:47	2.300,147
8/8/23 13:22	2.300,145
12/9/23 10:25	2.301,141
3/10/23 14:01	2.300,146
7/11/23 14:42	2.300,143
12/12/23 13:09	2.300,137

L13-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 10:38	2.299,886
21/7/23 10:53	2.299,891 *
8/8/23 13:11	2.299,893
12/9/23 12:58	2.299,886
3/10/23 14:08	2.299,886
7/11/23 14:49	2.299,881
12/12/23 12:59	2.299,869

L3-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 15:11	2.300,256
8/8/23 13:59	2.300,263
12/9/23 11:25	2.300,271
3/10/23 13:24	2.300,275
7/11/23 13:54	2.300,267
12/12/23 13:57	2.300,256

L3-8	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 11:10	2.300,374
8/8/23 13:45	2.300,386
12/9/23 10:44	2.300,398
3/10/23 13:39	2.300,394
7/11/23 13:42	2.300,377
12/12/23 13:38	2.300,358

L3-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 15:25	2.300,150
8/8/23 14:11	2.300,151
12/9/23 11:45	2.300,155
3/10/23 13:10	2.300,155
7/11/23 14:10	2.300,155
12/12/23 14:12	2.300,148

L3-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 11:03	2.300,119
8/8/23 14:18	2.300,120
12/9/23 11:52	2.300,118
3/10/23 12:45	2.300,119
7/11/23 14:14	2.300,117
12/12/23 14:20	2.300,113

L3-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 14:58	2.299,720
18/7/23 10:27	2.299,714 *
9/8/23 13:27	2.299,717
25/9/23 13:25	2.299,710
13/10/23 11:30	2.299,708
29/11/23 13:44	2.299,699
15/12/23 13:17	2.299,697

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

L3-9		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Máx
Jul 2023	2.300,327	2.300,327
Ago 2023	2.300,338	2.300,338
Sep 2023	2.300,350	2.300,350
Oct 2023	2.300,352	2.300,352
Nov 2023	2.300,343	2.300,343
Dic 2023	2.300,329	2.300,329

L3-11		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.300,201	2.300,201
Ago 2023	2.300,203	2.300,203
Sep 2023	2.300,210	2.300,210
Oct 2023	2.300,212	2.300,212
Nov 2023	2.300,208	2.300,208
Dic 2023	2.300,199	2.300,199

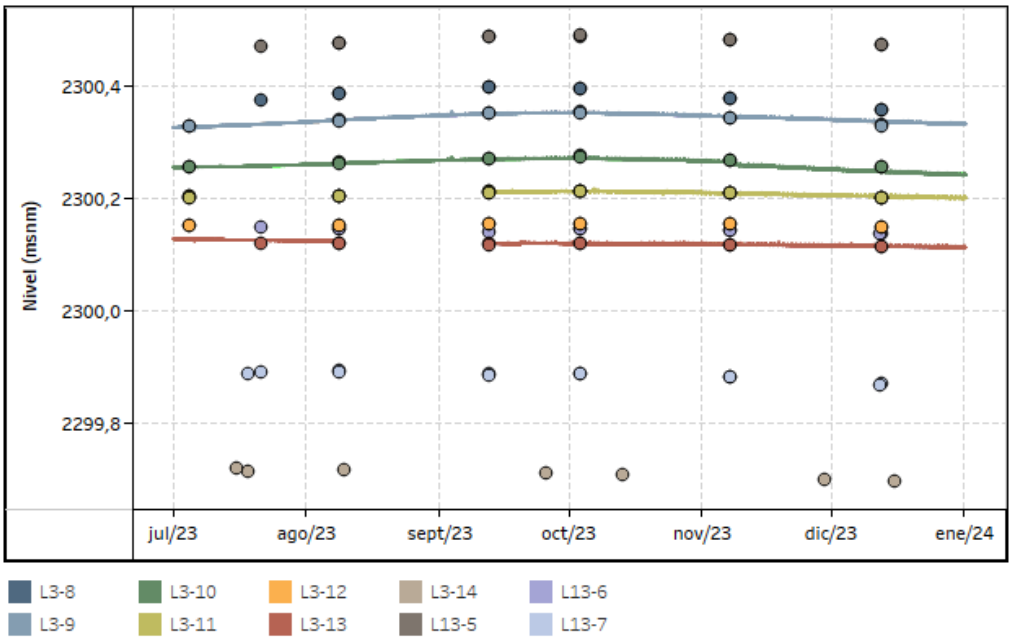
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-40: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L3-8		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L3-9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L3-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L3-11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L3-12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L3-13		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L3-14							2	1	1	1	1	1
L13-5		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L13-6		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L13-7		1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-25: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua



*(El Pozo L3-9 contiene 24 valores no validados entre 15/07/2023 y 27/12/2023)
*(El Pozo L3-10 contiene 113 valores no validados entre 04/07/2023 y 07/11/2023)
*(El Pozo L3-13 contiene 50.569 valores no validados entre 31/07/2023 y 02/12/2023)
*(El Pozo L13-6 contiene 1 valores no validados entre 12/09/2023 y 12/09/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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

En el subsector oeste de los cuerpos de agua y aledañas al pozo Socaire-5B se encuentran 14 puntos de control. De este grupo, todos los puntos, a excepción del GD-02, L4-15 y L4-5, se encuentran dentro de la reserva. De éstos, el L4-12, L4-13, L5-10 y L5-14 cuentan con mediciones continuas, donde este último presento outliers, debido, principalmente a descalibraciones de los sensores o por pulsos de captura de presión anómalos, que son puntuales. Para mejorar su visualización se han extraído dichos puntos, sin embargo, la data bruta se presenta de forma tabulada en el Anexo 5. Finalmente, de este subsector se tienen dos indicadores de estado: L5-10 y L4-12.

En la Tabla 5-41 se muestra el resultado del monitoreo manual comprometido para el segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-42 se encuentra el detalle del número de mediciones mensuales realizadas por cada

empresa en cada pozo y en la Figura 5-26 se presenta gráficamente el resultado completo de las mediciones, tanto las manuales y continuas como las mediciones comprometidas y adicionales.

Como puede verse todos los puntos han sido visitados al menos una vez por mes. Asimismo, los dos indicadores de estado se limitan a contar con al menos una medición mensual debido a la restricción de acceso a Aguas de Quelana – RNF. Debe considerarse sin embargo que ambos puntos cuentan con medición continua, lo que complementa el seguimiento del nivel en estos casos.

Tabla 5-41: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B al oeste de las lagunas difusas

GD-02	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 09:27	2.298,903
19/8/23 10:58	2.298,895
25/9/23 14:30	2.298,867
13/10/23 10:06	2.298,862
29/11/23 12:38	2.298,846
15/12/23 11:31	2.298,841

L4-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 09:58	2.299,227
9/8/23 11:52	2.299,235
25/9/23 14:02	2.299,208
13/10/23 10:52	2.299,200
29/11/23 13:20	2.299,172
15/12/23 12:36	2.299,162

L4-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 13:01	2.299,956
8/8/23 12:33	2.299,961
12/9/23 13:30	2.299,891
3/10/23 12:15	2.299,842
7/11/23 11:44	2.299,778
12/12/23 11:43	2.299,728

L4-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 13:38	2.299,728
8/8/23 12:15	2.299,734
12/9/23 13:46	2.299,643
3/10/23 11:33	2.299,651
7/11/23 11:59	2.299,609
12/12/23 11:26	2.299,575

L4-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 13:46	2.299,733
8/8/23 12:06	2.299,744
12/9/23 13:52	2.299,699
3/10/23 11:22	2.299,676
7/11/23 12:12	2.299,639
12/12/23 11:18	2.299,605

L4-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 10:03	2.299,447
9/8/23 12:20	2.299,461
25/9/23 14:06	2.299,416
13/10/23 10:57	2.299,402
29/11/23 13:17	2.299,363
15/12/23 12:42	2.299,350

L5-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 11:48	2.299,931
8/8/23 11:12	2.299,941
12/9/23 14:51	2.299,926
3/10/23 10:35	2.299,908
7/11/23 10:31	2.299,879
12/12/23 10:30	2.299,853

L5-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 11:53	2.299,791
8/8/23 11:05	2.299,804
12/9/23 14:57	2.299,801
3/10/23 10:31	2.299,788
7/11/23 10:39	2.299,769
12/12/23 10:22	2.299,748

L5-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 11:59	2.299,792
8/8/23 10:58	2.299,809
12/9/23 15:07	2.299,808
3/10/23 10:26	2.299,794
7/11/23 10:47	2.299,774
12/12/23 10:14	2.299,749

L5-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 12:05	2.299,623
8/8/23 10:46	2.299,625
12/9/23 15:15	2.299,624
3/10/23 10:14	2.299,615
7/11/23 10:54	2.299,594
12/12/23 10:06	2.299,567

L5-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 12:16	2.299,518
8/8/23 10:34	2.299,517
12/9/23 15:25	2.299,509
3/10/23 10:07	2.299,499
7/11/23 11:03	2.299,476
12/12/23 09:56	2.299,450

L5-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
4/7/23 10:53	2.300,100
8/8/23 11:29	2.300,117
12/9/23 14:32	2.300,099
3/10/23 10:51	2.300,080
7/11/23 10:12	2.300,049
12/12/23 10:50	2.300,019

L4-12		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.299,820	2.299,820
Ago 2023	2.299,830	2.299,830
Sep 2023	2.299,765	2.299,765
Oct 2023	2.299,730	2.299,730
Nov 2023	2.299,681	2.299,681
Dic 2023	2.299,639	2.299,639

L5-10		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.299,959	2.299,959
Ago 2023	2.299,970	2.299,970
Sep 2023	2.299,960	2.299,960
Oct 2023	2.299,949	2.299,949
Nov 2023	2.299,928	2.299,928
Dic 2023	2.299,901	2.299,901

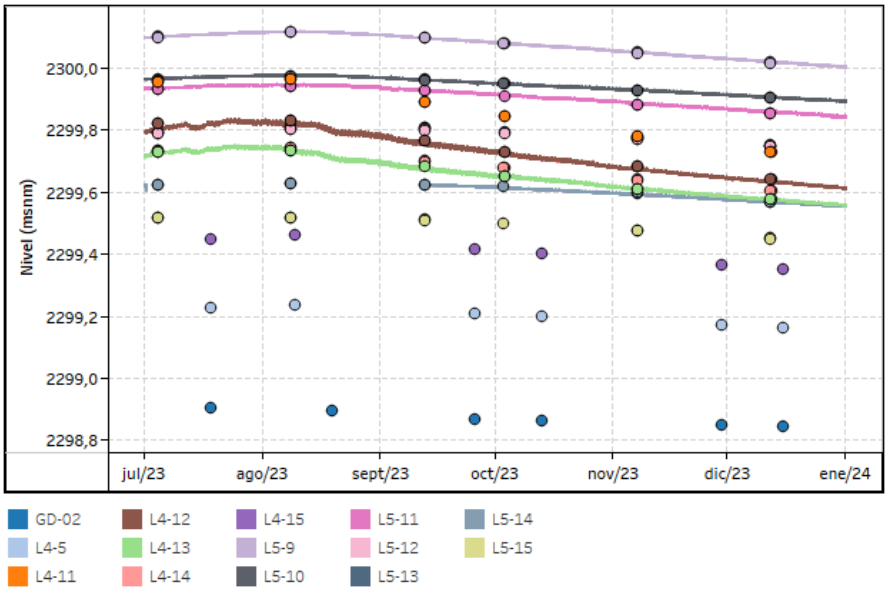
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

Tabla 5-42: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
GD-02							1	1	1	1	1	1
L4-5							1	1	1	1	1	1
L4-11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L4-12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L4-13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L4-14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L4-15							1	1	1	1	1	1
L5-9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L5-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L5-11	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
L5-12	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
L5-13	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
L5-14	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
L5-15	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-26: 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



*(El Pozo L4-12 contiene 93 valores no validados entre 08/08/2023 y 24/12/2023)
*(El Pozo L4-13 contiene 54 valores no validados entre 11/07/2023 y 06/12/2023)
*(El Pozo L5-9 contiene 9 valores no validados entre 04/07/2023 y 07/11/2023)
*(El Pozo L5-10 contiene 60 valores no validados entre 04/07/2023 y 07/11/2023)
*(El Pozo L5-11 contiene 5 valores no validados entre 15/09/2023 y 05/12/2023)
*(El Pozo L5-14 contiene 105.405 valores no validados entre 01/07/2023 y 27/11/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.3 Pozos en zona núcleo

En la zona del núcleo, el sistema Aguas de Quelana dispone de 6 puntos de control. Cabe decir que ninguno se encuentra dentro de la reserva, que ninguno es indicador de estado, así como ninguno cuenta con mediciones continuas. El resultado del monitoreo manual comprometido para el segundo semestre de 2023 se muestra en la Tabla 5-43, en la Tabla 5-44 puede verse el detalle del número de mediciones realizada por cada empresa, con una medición adicional por parte de SEGEA para el pozo L4-6 durante julio y octubre. En la Figura 5-27 se muestra gráficamente el resultado completo del semestre, incluyendo las mediciones comprometidas como las adicionales.

Como puede verse, el monitoreo para el presente semestre reportado y para este sector ha sido completado con la frecuencia mensual estipulada.

Tabla 5-43: Registro de niveles zona núcleo del sistema Aguas de Quelana

D-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 09:12	2.298,763
19/8/23 10:47	2.298,758
25/9/23 14:22	2.298,751
13/10/23 09:55	2.298,740
29/11/23 12:28	2.298,727
15/12/23 11:11	2.298,719

L4-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 09:50	2.298,743
9/8/23 11:14	2.298,739
25/9/23 13:57	2.298,726
13/10/23 10:45	2.298,723
29/11/23 13:10	2.298,707
15/12/23 12:28	2.298,702

L4-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/7/23 16:26	2.298,692
11/8/23 12:40	2.298,687
25/9/23 13:44	2.298,667
13/10/23 10:28	2.298,659
19/10/23 15:25	2.298,669 *
29/11/23 12:56	2.298,650
15/12/23 12:12	2.298,638

L5-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 09:20	2.298,756
11/8/23 13:33	2.298,756
25/9/23 14:26	2.298,741
13/10/23 10:02	2.298,733
29/11/23 12:32	2.298,718
15/12/23 11:20	2.298,710

SOPM-8 (L3-4)	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 09:44	2.298,550
11/8/23 11:58	2.298,550
25/9/23 13:13	2.298,538
27/9/23 14:45	2.298,551 *
13/10/23 11:15	2.298,529
29/11/23 13:33	2.298,519
15/12/23 13:04	2.298,509

SOPM-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 09:32	2.298,742
19/8/23 10:39	2.298,730
25/9/23 14:17	2.298,729
27/9/23 14:58	2.298,738 *
13/10/23 09:49	2.298,715
29/11/23 12:22	2.298,707
15/12/23 10:54	2.298,693

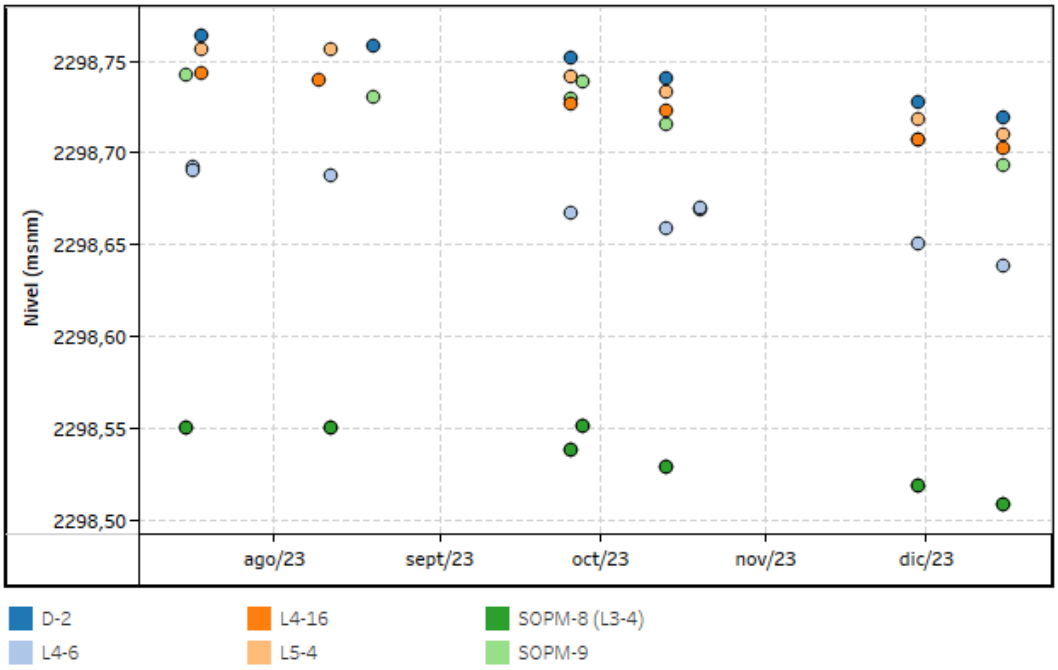
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) Corresponde a una remedición.

Tabla 5-44: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA		SQM					
	07/23	10/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
D-2			1	1	1	1	1	1
L4-6	1	1	1	1	1	2	1	1
L4-16			1	1	1	1	1	1
L5-4			1	1	1	1	1	1
SOPM-8 (L3-4)			1	1	2	1	1	1
SOPM-9			1	1	2	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-27: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona núcleo del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.1.4 Nivel de agua superficial

En el sistema de Aguas de Quelana se encuentran un total de 5 reglillas que miden distintos cuerpos de agua superficial presente en el sistema, vale decir que todas ellas se encuentran dentro de la reserva. De éstas, el L4-10 corresponde a un indicador de estado. Por otro lado, los pozos L13-4, L14-4, L3-7 y L5-G3 disponen de medición continua de niveles.

En relación a lo anterior, y de la misma forma que ocurría en anteriores reglillas descritas, el L5-G3 cuenta con dos infraestructuras de medición ya que el L5-G3 Reglilla no cuenta con las características constructivas para la instalación del transductor de presión. De ahí que sea el L5-G3 Pozo en donde se registren las mediciones continuas. No obstante, ambos puntos se encuentran cercanos y se considera que miden el mismo elemento hidrogeológico. Cabe decir que se realizan mediciones manuales mensuales en ambas infraestructuras, tanto por la ETFA como por SQM. Tanto pozo como reglilla no contaron con medición durante noviembre, ya que ambas infraestructuras, se encontraban secas. Es por ello por lo que, las mediciones continuas de L5-G3 pozo muestra una tendencia lineal, debido a que, la presión que permite obtener el nivel se ha mantenido relativamente constante ya que no cuenta con variación de nivel dentro de la infraestructura, vale decir, la presión dentro del piezómetro es igual a la presión atmosférica ya que esta infraestructura se encuentra sin agua sobre el sensor. En los siguientes informes PSAH se informará si las siguientes mediciones implican barrenar la infraestructura.

En la Tabla 5-45 se presenta el resultado del monitoreo manual comprometido del segundo semestre 2023, en la Tabla 5-46 se muestra el recuento de mediciones realizadas por SQM cada mes y de forma complementaria la ETFA en pozos PSAH cada mes. Finalmente, en la Figura 5-28 se representan los niveles de todo el monitoreo del semestre, tanto las mediciones comprometidas y adicionales, como los niveles manuales y continuos.

Como puede verse, para el presente semestre, la mayoría de los puntos han sido medidos con la frecuencia estipulada. No obstante, el pozo L4-10 solo dispone de dos mediciones mensuales, tanto por parte de SQM como de la ETFA, cuando al ser indicador debiese tener una medida diaria, esto debido, a la restricción de acceso a RNF.

Tabla 5-45: Registro de niveles en reglillas del sector Aguas de Quelana

L13-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/7/23 12:28	2.301,556
7/8/23 14:53	2.301,554
11/9/23 13:38	2.301,552
4/10/23 15:44	2.301,535
6/11/23 14:31	2.301,525
11/12/23 13:40	2.301,492

L14-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 15:50	2.300,855
7/8/23 13:30	2.300,878
11/9/23 12:05	2.300,850
4/10/23 14:21	2.300,816
6/11/23 13:24	2.300,767
11/12/23 12:34	2.300,732

L3-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 16:49	2.301,255
7/8/23 14:13	2.301,265
11/9/23 12:36	2.301,216
4/10/23 14:48	2.301,224
6/11/23 13:54	2.301,197
11/12/23 13:06	2.301,149

L5-G3 POZO	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 11:26	2.300,719
7/8/23 11:25	2.300,721
11/9/23 10:04	2.300,714
4/10/23 11:22	2.300,696
6/11/23 10:45	S/I
11/12/23 10:07	2.300,672

L5-G3 REGLILLA	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 11:29	2.300,721
7/8/23 16:49	2.300,722
11/9/23 10:06	2.300,713
4/10/23 11:23	2.300,697
6/11/23 10:46	S/I
11/12/23 10:11	2.300,651

L4-10		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.300,687	2.300,687
Ago 2023	2.300,689	2.300,689
Sep 2023	2.300,687	2.300,687
Oct 2023	2.300,670	2.300,670
Nov 2023	2.300,593	2.300,593
Dic 2023	2.300,571	2.300,571

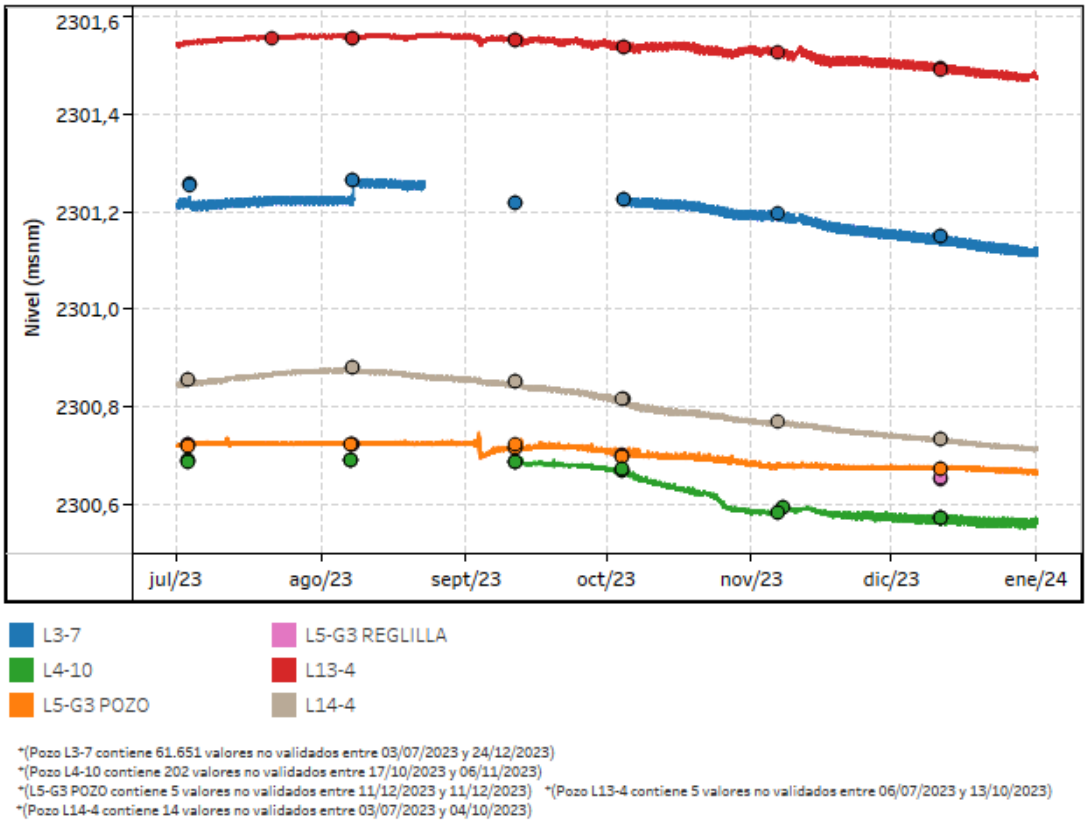
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

Tabla 5-46: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	7/23	8/23	9/23	10/23	11/23	12/23	7/23	8/23	9/23	10/23	11/23	12/23
L3-7	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
L4-10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L5-G3 POZO	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1
L5-G3 REGLILLA	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1
L13-4		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
L14-4	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-28: Nivel observado (m.s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.3.2 Superficie Lacustre

Para el semestre reportado, se ha calculado la extensión lagunar de Aguas de Quelana en los meses de julio y octubre a partir de imágenes satelitales de alta resolución. Se conto con autorización de acceso para tomar puntos de control en terreno en la misma semana que la captura satelital, tanto en julio como octubre de 2023. Se debe destacar, que producto de 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 GNSS diferencial.

A continuación, en la Tabla 5-47 se presentan los resultados correspondientes al cálculo de superficie lacustre para ambos meses.

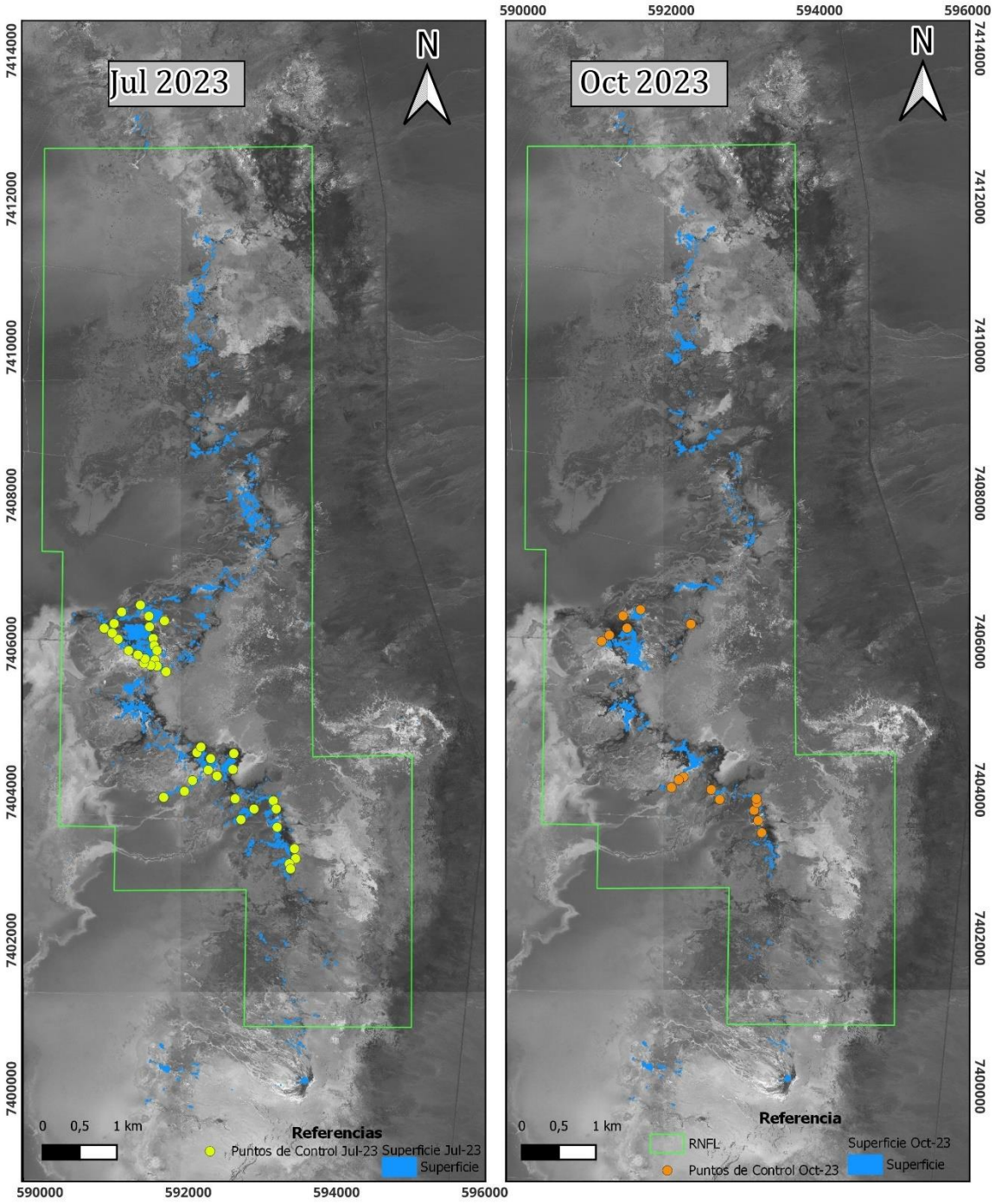
Tabla 5-47: Superficie lacustre para el segundo semestre del 2023 en Aguas de Quelana.

Periodo de medición	Responsable	Metodología	Sistema Lacustre de Aguas de Quelana [m2]
Jul 2023	SRGIS	Imagen Satelital	462.545
Oct 2023	SRGIS	Imagen Satelital	270.420

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en un mapa las delimitaciones lacustres (Figura 5-29).

Figura 5-29: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana.



Fuente: Elaboración propia.

En el sector aluvial del Sistema Aguas de Quelana es posible extraer agua industrial únicamente desde el pozo Socaire-5; tal como se indicó desde el informe PSAH N°30, el pozo Camar-2 se encuentra desmantelado desde 2021 y la operación del mismo fue detenida desde 2018 conforme a lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar e incluido en Programa de Cumplimiento F-041-201. Así, los caudales medios mensuales extraídos del pozo Socaire-5 durante el período del segundo semestre de 2023 se presentan en la Tabla 5-48 y Figura 5-30.

A modo de respaldo, en la Tabla 5-48 se muestra también la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes y volumen mensual resultante. En el Anexo 7 se entrega este registro de forma tabulada y en el Anexo 3.2 se presentan los certificados de calibración de los flujómetros instalados para todos los pozos de extracción de agua industrial.

Como se observa, el flujo de extracción se mantuvo por debajo de los máximos establecidos en la autorización ambiental del pozo Socaire-5, con un promedio semestral de 63,75 L/s.

5.1.3.3 Tabla 5-48Caudal bombeado

En el sector aluvial del Sistema Aguas de Quelana es posible extraer agua industrial únicamente desde el pozo Socaire-5; tal como se indicó desde el informe PSAH N°30, el pozo Camar-2 se encuentra desmantelado desde 2021 y la operación del mismo fue detenida desde 2018 conforme a lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar e incluido en Programa de Cumplimiento F-041-201. Así, los caudales medios mensuales extraídos del pozo Socaire-5 durante el período del segundo semestre de 2023 se presentan en la Tabla 5-48 y Figura 5-30.

A modo de respaldo, en la Tabla 5-48 se muestra también la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes y volumen mensual resultante. En el Anexo 7 se entrega este registro de forma tabulada y en el Anexo 3.2 se presentan los certificados de calibración de los flujómetros instalados para todos los pozos de extracción de agua industrial.

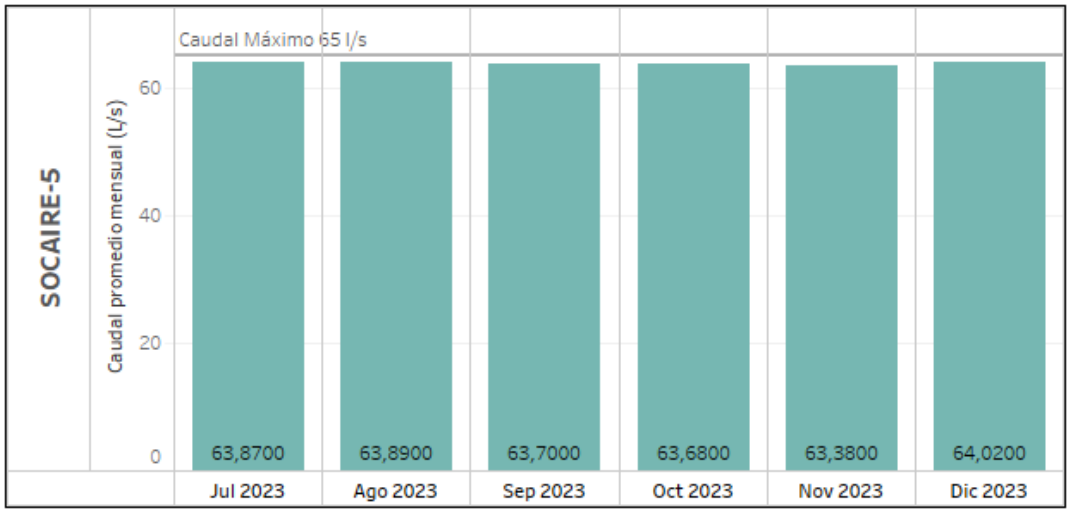
Como se observa, el flujo de extracción se mantuvo por debajo de los máximos establecidos en la autorización ambiental del pozo Socaire-5, con un promedio semestral de 63,75 L/s.

Tabla 5-48: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana

Pozo	Mes	Fecha flujómetro INICIAL	Fecha flujómetro FINAL	Número serie flujómetro	Volumen flujómetro (m3) INICIAL	Volumen flujómetro (m3) FINAL	Volumen traspasado (m3)	Prom. Caudal promedio mensual (L/s)
SOCAIRE-5	Jul 2023	01/07/2023	01/08/2023	A22031949	663.519	834.579	171.060	63,87
	Ago 2023	01/08/2023	01/09/2023	A22031949	834.579	1.005.715	171.136	63,89
	Sep 2023	01/09/2023	01/10/2023	A22031949	1.005.715	1.170.819	165.104	63,70
	Oct 2023	01/10/2023	01/11/2023	A22031949	1.170.819	1.341.391	170.571	63,68
	Nov 2023	01/11/2023	01/12/2023	A22031949	1.341.391	1.505.670	164.279	63,38
	Dic 2023	01/12/2023	01/01/2024	A22031949	1.505.670	1.677.148	171.478	64,02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-30: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Aguas de Quelana durante el segundo semestre del año 2023. Si bien el pozo L4-3 es parte del monitoreo de calidad del agua tanto del Sistema Aguas de Quelana como del Sistema Vegetación Borde Este, para efectos de orden, los resultados se presentan en esta sección.

En la Figura 4-6 y en el Anexo 2 presentan los puntos de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana. 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 gráficos y 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 2023.

5.1.3.4.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En la Tabla 5-49 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 2023), a los pozos de monitoreo en el segundo semestre del año. La representación gráfica de estos resultados se presenta en la Figura 5-31.

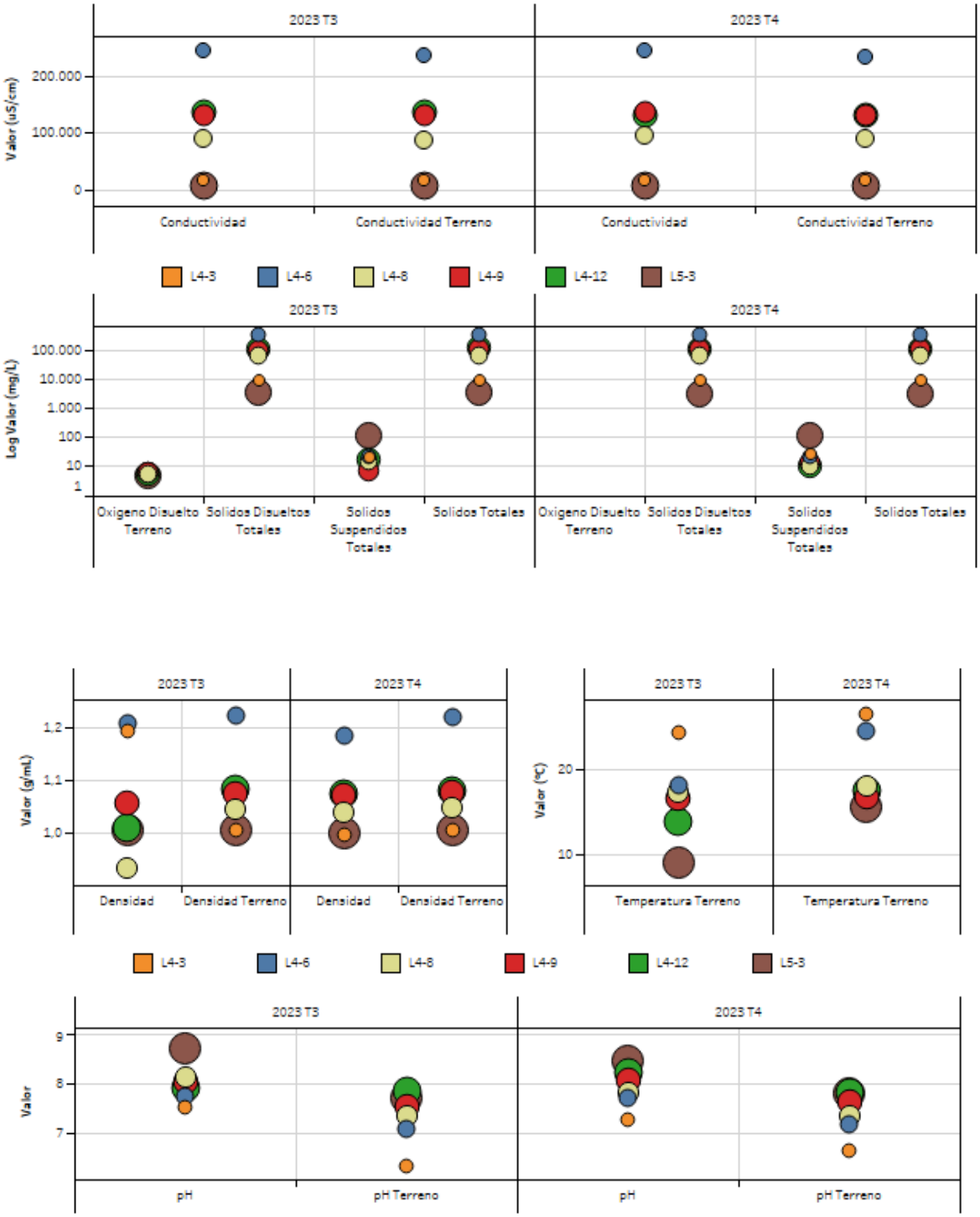
Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos para todos los puntos.

Tabla 5-49: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana

Parámetro	L4-3		L4-6		L4-8	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (uS/cm)	15.950	15.840	244.000	244.000	88.300	93.600
Conductividad Terreno (uS/cm)	15.800	15.610	236.000	233.000	87.200	89.500
Densidad (g/mL)	1,191	0,995	1,206	1,184	0,935	1,038
Densidad Terreno (g/mL)	1,005	1,006	1,221	1,217	1,045	1,047
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)					5,79	
pH ()	7,50	7,27	7,72	7,70	8,11	7,80
pH Terreno ()	6,32	6,63	7,08	7,16	7,35	7,35
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	9.390	8.980	331.370	327.240	61.900	65.765
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	20	28	21	21	15	10
Sólidos Totales (mg/L)	9.710	9.370	343.165	339.990	65.850	66.065
Temperatura Terreno (ºC)	24,3	26,4	18,0	24,4	17,3	17,9
Parámetro	**L4-9**		**L4-12**		**L5-3**	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (uS/cm)	130.200	135.900	137.100	130.100	6.190	5.630
Conductividad Terreno (uS/cm)	130.800	129.800	135.500	129.900	6.170	5.610
Densidad (g/mL)	1,055	1,072	1,009	1,073	1,005	0,998
Densidad Terreno (g/mL)	1,075	1,076	1,081	1,080	1,005	1,004
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	5,96		5,48		5,01	
pH ()	8,03	8,06	7,90	8,20	8,69	8,43
pH Terreno ()	7,51	7,61	7,85	7,82	7,68	7,78
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	99.325	108.305	114.330	106.450	3.480	3.160
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	7	14	17	10	120	113
Sólidos Totales (mg/L)	103.425	110.375	117.540	112.640	3.556	3.292
Temperatura Terreno (ºC)	16,5	16,6	13,8	17,5	9,0	15,5

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-31: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

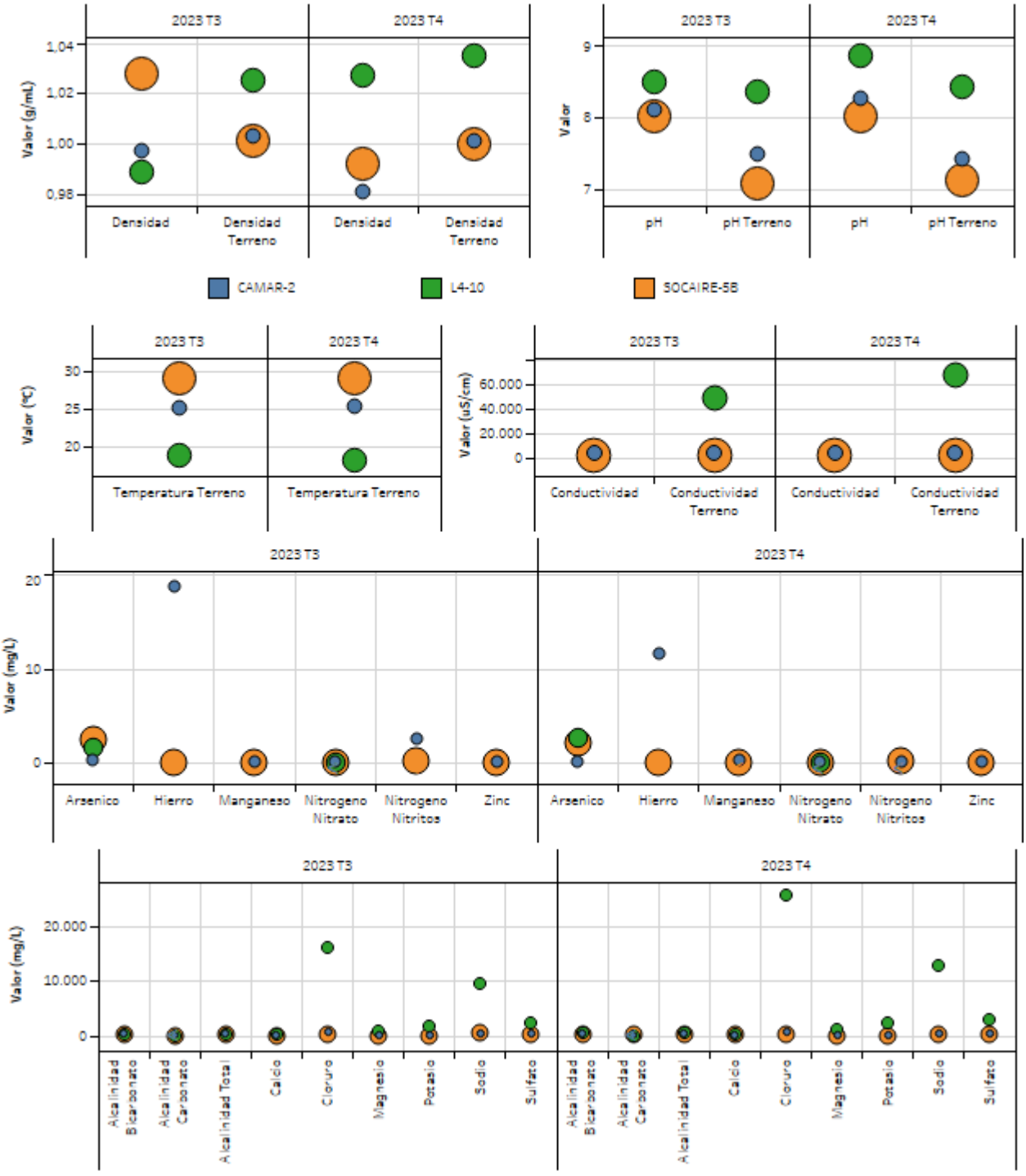
A continuación, en la Tabla 5-50 se presentan los resultados del monitoreo de calidad para el segundo semestre 2023 en los pozos de Socaire-5 y Camar-2, que responden al análisis de analitos de Calidad 4 y Calidad 3 en el pozo L4-10, tal como se especifica en Anexo 2 y en la Tabla 4-2. Considerar que las mediciones de oxígeno disuelto en L4-10 son voluntarias y no responden en sí a un compromiso RCA 226/2006.

Tabla 5-50: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo SOCAIRE-5B, Camar-2 y L4-10

	CAMAR-2		L4-10		SOCAIRE-5B	
Parámetro	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	524	321	377	568	299	351
Arsénico (mg/L)	0,171	0,070	1,579	2,537	2,377	2,002
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	524	321	377	568	299	257
Calcio (mg/L)	23	112	199	202	67	92
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<94
Cloruro (mg/L)	576	680	15.899	25.552	352	323
Conductividad (uS/cm)	3.920	3.810	-	-	2.720	2.690
Conductividad Terreno (uS/cm)	3.810	3.780	49.100	68.200	2.690	2.640
Densidad (g/mL)	0,997	0,981	0,989	1,027	1,028	0,992
Densidad Terreno (g/mL)	1,003	1,001	1,025	1,035	1,001	1,000
Dureza Total (mg/L)	-	-	4.122	5.932	-	-
Fosforo (mg/L)						
Hierro (mg/L)	18,810	11,520			0,006	0,006
Magnesio (mg/L)	114	109	924	1.176	50	45
Manganeso (mg/L)	0,096	0,259			0,001	0,000
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<2,42	<0,09			<0,09	<0,09
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)			8,46	6,34		
pH ()	8,10	8,27	8,48	8,85	8,01	8,01
pH Terreno ()	7,50	7,42	8,35	8,43	7,10	7,14
Potasio (mg/L)	24	22	1.632	2.276	32	27
Salinidad (%)	-	-	40	42	-	-
Sodio (mg/L)	520	504	9.517	12.618	419	363
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.228	2.094	30.750	41.750	1.710	1.530
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	38	35	10	82	-	3
Sólidos Totales (mg/L)	2.336	2.194	33.800	45.750	-	1.584
Sulfato (mg/L)	334	331	2.385	2.840	372	366
Temperatura Terreno (°C)	25,1	25,2	18,7	18,1	29,0	29,0
Zinc (mg/L)	0,007	0,019			0,027	0,004

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-32: Resultados del análisis fisicoquímico en Camar- 2, L4-10 y Socaire-5B



Fuente: Elaboración propia. * Los valores <LD se representan como = LD. El color y tamaño se refiere a la infraestructura.

5.1.3.4.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2023 en el sistema Aguas de Quelana, de acuerdo con los criterios de validación definidos en el apartado 4.5.8

La Tabla 5-51 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, a excepción de la medición del tercer trimestre en el punto Socaire-5B, debido que, a la fecha de la medición no se había implementado el sistema de validación de medición de solidos para el balance de masas en los pozos industriales que permite el seguimiento de control y calidad de laboratorio ALS.

Ahora bien, los balances iónicos para los puntos Camar-2, L4-10 y Socaire-5B, se encuentran dentro del 7,5% recomendable durante ambos trimestres.

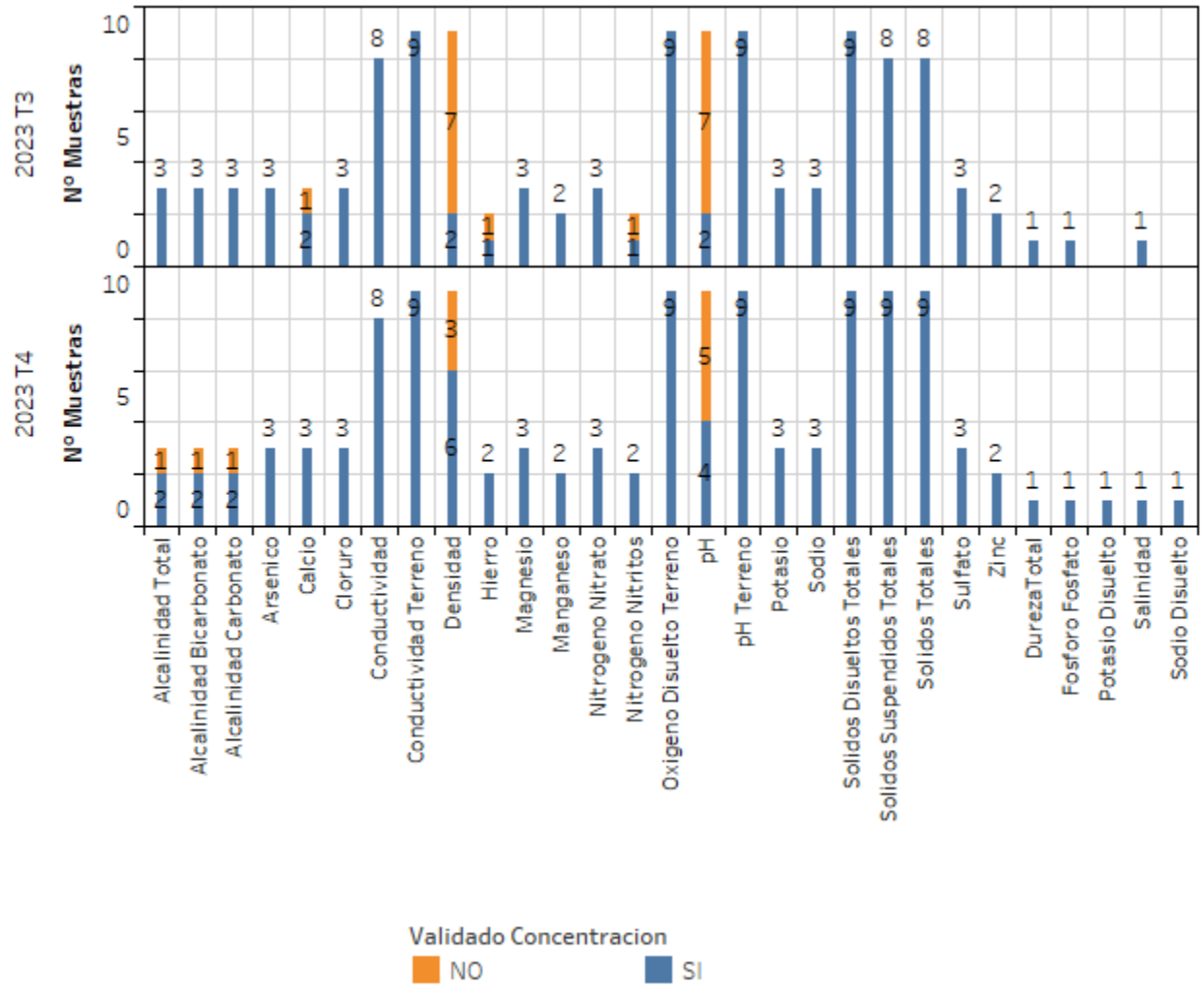
Tabla 5-51: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana

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

Fuente: Elaboración propia. NA: 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 4.5.8), en la Figura 5-33 se observa que durante el tercer trimestre se registraron 17 desviaciones de diferentes analitos respecto a sus históricos. Durante el cuarto trimestre las desviaciones fueron menores correspondiendo a 11 desviaciones en total. Esto implica que, las 28 desviaciones de los analitos con respecto a desviaciones semestrales representan tan solo un 11,29% del total de 248 análisis en el sistema Aguas de Quelana durante el segundo semestre de 2023.

Figura 5-33: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico del Sistema Vegetación Borde Este considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (21 puntos), caudal bombeado (1 punto) y calidad química (4 puntos). Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación.

Cabe señalar que los pozos L1-3, L2-4 y L7-3 pertenecen tanto a la red de monitoreo del Sistema Soncor como al sistema Vegetación Borde Este. Por lo anterior y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dichos puntos fueron expuestos en el Sistema Soncor, no se incluyen en el presente apartado.

De la misma manera, los pozos L4-3, L3-3, L3-5 y la reglilla L4-10 son parte del monitoreo de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este. Por lo anterior, y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dichos puntos fueron presentados en el Sistema Aguas de Quelana, no se incluyen en el presente apartado.

Todos los puntos de este sector han sido visitados en este semestre con la frecuencia comprometida e incluso con mediciones adicionales por parte de SEGEA.

5.1.4.1 Nivel del agua subterránea

En esta sección se presentan los niveles de todos los pozos 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. Tal como se indicó anteriormente, los resultados de las mediciones no se contrastan con límites de control, ya que el PSAH sólo define umbrales para aquellos puntos de monitoreo que pertenecen al PC (sección 5.2).

5.1.4.1.1 Pozos en zona aluvial

Como ya se ha mencionado, parte de los puntos de control que pertenecen al Sistema de Vegetación Borde estos ya fueron presentados como parte de los sistemas Soncor y Aguas de Quelana debido su proximidad con los otros puntos. En este apartado se exponen los resultados del monitoreo de los 7 puntos que restan. De éstos, 6 son piezómetros de monitoreo y 1 es un pozo de extracción.

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.

De entre los 6 piezómetros de monitoreo, 4 son indicadores de estado: L2-26, L7-13, L9-1 y L9-2. Por otro lado, ninguno de ellos dispone de medición continua y tampoco se encuentran dentro de la reserva.

En la Tabla 5-52 se muestran los resultados del monitoreo efectuado en estos 7 puntos de control (más el P2) situados en la zona aluvial. En la Tabla 5-53 se muestra del recuento de las mediciones efectuadas por SQM y la ETFA para los indicadores de estado y de forma voluntaria para algunos pozos durante julio y octubre. En la Figura 5-34 se muestra gráfica el resultado de los niveles medidos en el presente semestre reportado.

Como puede verse, en el segundo semestre de 2023 todos los puntos han sido medidos con la frecuencia establecida, incluyendo los indicadores de estado con las mediciones diarias realizadas por la ETFA.

Tabla 5-52: Registro de niveles zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este

CA-2015	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
11/7/23 12:11	2.304,066
24/7/23 10:19	2.304,089 *
10/8/23 13:51	2.304,054
25/8/23 10:42	2.303,977 *
28/8/23 12:12	2.303,976 *
7/9/23 11:50	2.303,958
21/9/23 12:58	2.304,027 *
12/10/23 12:17	2.304,060
31/10/23 14:37	2.304,076 *
16/11/23 10:09	2.304,081
14/12/23 11:00	2.304,067

L3-16	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
19/7/23 15:10	2.321,641
23/8/23 12:55	2.321,626
27/9/23 13:24	2.321,644
30/10/23 11:53	2.321,629
23/11/23 10:36	2.321,623
21/12/23 15:28	2.321,657

P2	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
11/7/23 12:18	2.311,906
24/7/23 10:51	2.311,912 *
10/8/23 13:55	2.311,958
25/8/23 10:48	2.311,910 *
28/8/23 12:19	2.311,934 *
1/9/23 13:33	2.311,909
7/9/23 11:58	2.311,906 *
21/9/23 13:03	2.311,897 *
12/10/23 12:18	2.311,907
15/11/23 14:58	2.311,919
16/11/23 10:18	2.311,918 *
14/12/23 10:52	2.311,894

L7-15	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
6/7/23 10:34	2.329,390
10/7/23 11:25	2.329,391 *
9/8/23 12:48	2.329,405
14/8/23 10:21	2.329,388 *
6/9/23 12:45	2.329,410
20/9/23 11:22	2.329,405 *
4/10/23 13:52	2.329,425
10/10/23 10:58	2.329,400 *
9/11/23 13:32	2.329,472
14/11/23 10:21	2.329,418 *
6/12/23 18:27	2.329,463
19/12/23 10:43	2.329,422 *

L7-13		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Jul 2023	2.323,197	2.323,205
Ago 2023	2.323,202	2.323,212
Sep 2023	2.323,210	2.323,224
Oct 2023	2.323,220	2.323,228
Nov 2023	2.323,226	2.323,232
Dic 2023	2.323,230	2.323,234

L2-26		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Jul 2023	2.318,340	2.318,347
Ago 2023	2.318,340	2.318,346
Sep 2023	2.318,342	2.318,352
Oct 2023	2.318,348	2.318,355
Nov 2023	2.318,348	2.318,355
Dic 2023	2.318,337	2.318,350

L9-1		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Jul 2023	2.309,635	2.309,647
Ago 2023	2.309,646	2.309,656
Sep 2023	2.309,655	2.309,663
Oct 2023	2.309,661	2.309,667
Nov 2023	2.309,662	2.309,670
Dic 2023	2.309,647	2.309,662

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) Corresponde a una remedición.

L9-2		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.308,844	2.308,859
Ago 2023	2.308,858	2.308,871
Sep 2023	2.308,871	2.308,882
Oct 2023	2.308,879	2.308,888
Nov 2023	2.308,881	2.308,889
Dic 2023	2.308,861	2.308,882

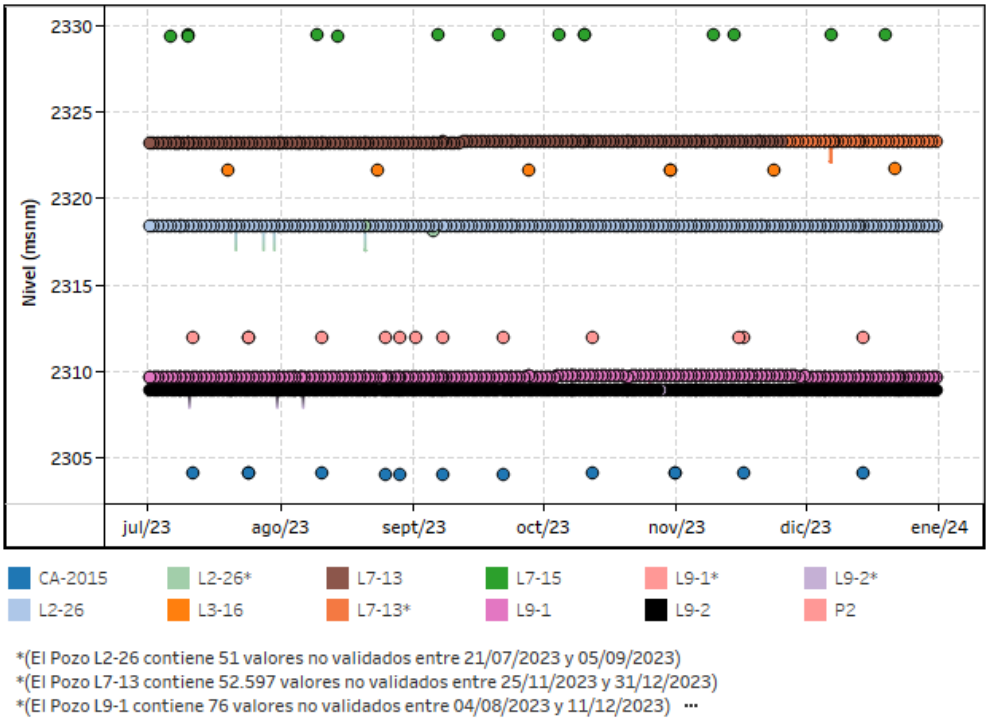
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) c

Tabla 5-53: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
CA-2015	1			1			2	3	2	2	1	1
L2-26	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	3
L3-16				1			1	1	1	1	1	1
L7-13	31	31	30	31	30	31	5	3	3	3	3	4
L7-15	1			1			2	2	2	2	2	2
L9-1	31	31	30	31	30	31	3	5	3	2	3	3
L9-2	31	31	30	31	30	31	3	5	3	2	3	3
P2	1						2	3	3	1	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-34: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.1.2 Pozos en zona marginal

Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, una parte de los puntos de control que corresponden al grupo de Vegetación Borde Este ya se ha mostrado en los sistemas de Soncor y Quelana por un motivo de proximidad con los otros puntos. En esta sección se muestran los 7 puntos que restan, que se encuentran en la zona marginal del salar. Cabe decir que ninguno de ellos se encuentra dentro de la reserva, que ninguno dispone de medición continua y finalmente, que los siete corresponden a indicadores de estado.

En la Tabla 5-54 se muestra el resultado del monitoreo manual efectuado en este segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-55 se muestra el detalle del número de medidas que ha efectuado cada empresa para cada mes y en la Figura 5-35 se muestra gráficamente el monitoreo completo resultante para este semestre, es decir, tanto las mediciones comprometidas como las adicionales.

Como puede verse, en todos los casos se ha obtenido la medición diaria realizada por la ETFA que les corresponde por ser indicadores de estado, traspaso de responsabilidad que se ejecuta desde el 06 de septiembre de 2022 bajo las nuevas Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022. De la misma forma que en todos los anteriores casos, estos puntos han sido adicionalmente medidos por SQM desde esta fecha con al menos 2 datos mensual.

Tabla 5-54: Registro de niveles zona marginal del sistema Vegetación Borde Este

L1-17		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.306,748	2.306,771
Ago 2023	2.306,770	2.306,777
Sep 2023	2.306,751	2.306,773
Oct 2023	2.306,704	2.306,749
Nov 2023	2.306,615	2.306,702
Dic 2023	2.306,470	2.306,611

L2-25		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.308,843	2.308,849
Ago 2023	2.308,846	2.308,850
Sep 2023	2.308,846	2.308,850
Oct 2023	2.308,844	2.308,848
Nov 2023	2.308,843	2.308,847
Dic 2023	2.308,837	2.308,845

L2-27		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.310,838	2.310,920
Ago 2023	2.310,923	2.310,961
Sep 2023	2.310,957	2.310,969
Oct 2023	2.310,930	2.310,964
Nov 2023	2.310,865	2.310,928
Dic 2023	2.310,723	2.310,861

L2-28		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.316,262	2.316,297
Ago 2023	2.316,298	2.316,325
Sep 2023	2.316,323	2.316,343
Oct 2023	2.316,342	2.316,348
Nov 2023	2.316,319	2.316,346
Dic 2023	2.316,243	2.316,317

L3-15		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.315,532	2.315,545
Ago 2023	2.315,542	2.315,553
Sep 2023	2.315,549	2.315,558
Oct 2023	2.315,551	2.315,557
Nov 2023	2.315,540	2.315,554
Dic 2023	2.315,519	2.315,542

L4-17		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.306,432	2.306,447
Ago 2023	2.306,446	2.306,458
Sep 2023	2.306,456	2.306,466
Oct 2023	2.306,462	2.306,467
Nov 2023	2.306,445	2.306,464
Dic 2023	2.306,417	2.306,444

L7-14		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Jul 2023	2.315,645	2.315,662
Ago 2023	2.315,661	2.315,677
Sep 2023	2.315,676	2.315,686
Oct 2023	2.315,684	2.315,687
Nov 2023	2.315,668	2.315,683
Dic 2023	2.315,645	2.315,667

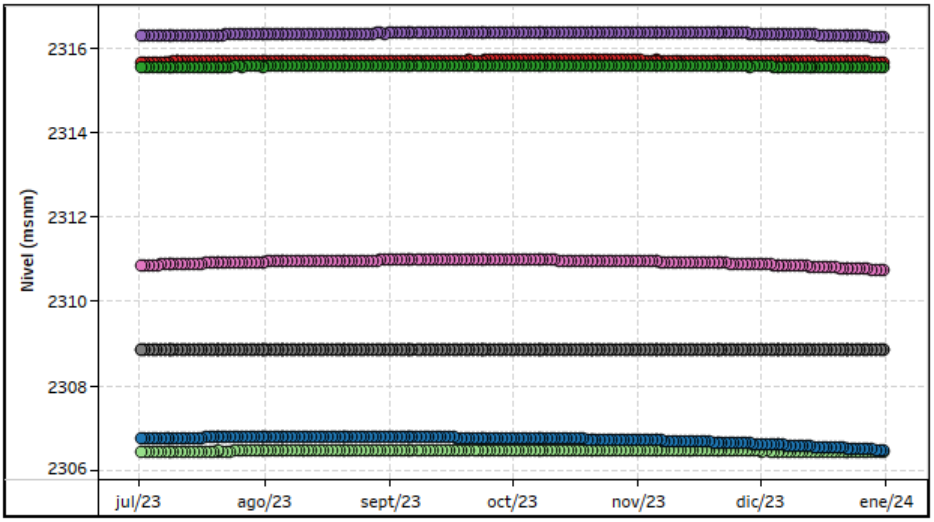
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-55: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L1-17	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	2
L2-25	31	31	30	31	30	31	3	3	2	2	2	2
L2-27	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	2
L2-28	31	31	30	31	30	31	3	2	2	2	2	2
L3-15	31	31	30	31	30	31	3	3	2	2	2	3
L4-17	31	31	30	31	30	31	3	3	2	2	3	2
L7-14	31	31	30	31	30	31	5	3	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia.

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



*(El Pozo L1-17 contiene 278 valores no validados entre 09/07/2023 y 13/11/2023)
*(El Pozo L2-25 contiene 602 valores no validados entre 17/07/2023 y 30/12/2023)
*(El Pozo L2-27 contiene 337 valores no validados entre 15/08/2023 y 15/12/2023)
*(El Pozo L2-28 contiene 2 valores no validados entre 02/08/2023 y 08/08/2023)
*(El Pozo L3-15 contiene 244 valores no validados entre 06/07/2023 y 20/09/2023)
*(El Pozo L4-17 contiene 300 valores no validados entre 31/07/2023 y 02/12/2023)
*(El Pozo L7-14 contiene 106 valores no validados entre 15/07/2023 y 25/11/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.4.2 Caudal bombeado

Para el sistema Vegetación Borde Este del PSAH, el único pozo de extracción corresponde al denominado CA-2015. Su caudal medio mensual extraído durante el período julio a diciembre de 2023 es 33,15 L/s y se presenta en la Tabla 5-56 y gráficamente en la Figura 5-36. Así, durante el periodo que se reporta, los caudales bombeados no sobrepasan el caudal máximo autorizado de 35 L/s.

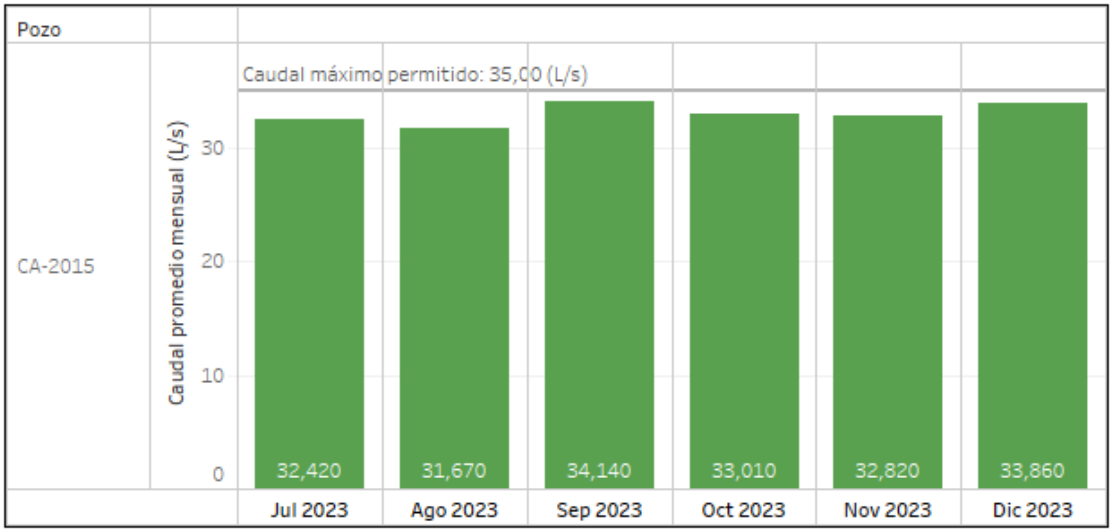
A modo de respaldo, en la Tabla 5-56 se muestra también la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes y volumen mensual resultante. En el Anexo 7 se entrega este registro de forma tabulada y en el Anexo 3.2 se presentan los certificados de calibración de los flujómetros instalados.

Tabla 5-56: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este

Pozo	Mes	Fecha flujómetro INICIAL	Fecha flujómetro FINAL	Número serie flujómetro	Volumen flujómetro (m3) INICIAL	Volumen flujómetro (m3) FINAL	Volumen traspasado (m3)	Prom. Caudal promedio mensual (L/s)
CA-2015	Jul 2023	01/07/2023	01/08/2023	S5Y703946	530.447	617.268	86.821	32,42
	Ago 2023	01/08/2023	01/09/2023	S5Y703946	617.268	702.105	84.837	31,67
	Sep 2023	01/09/2023	01/10/2023	S5Y703946	702.105	790.585	88.480	34,14
	Oct 2023	01/10/2023	01/11/2023	S5Y703946	790.585	879.000	88.415	33,01
	Nov 2023	01/11/2023	01/12/2023	S5Y703946	879.000	964.058	85.058	32,82
	Dic 2023	01/12/2023	01/01/2024	S5Y703946	964.058	1.054.760	90.702	33,86

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-36: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.3 Calidad química

5.1.4.3.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Vegetación Borde Este durante el segundo semestre de 2023.

Como se señaló en la sección 5.1.2, los pozos L2-4 y L7-3 pertenecen tanto a la red de monitoreo del Sistema Soncor como a la del Sistema Vegetación Borde Este. Por lo anterior, y dado que los resultados del monitoreo efectuado en dichos puntos fueron presentados en la mencionada sección, ellos no se incluyen en el presente acápite.

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

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

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

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

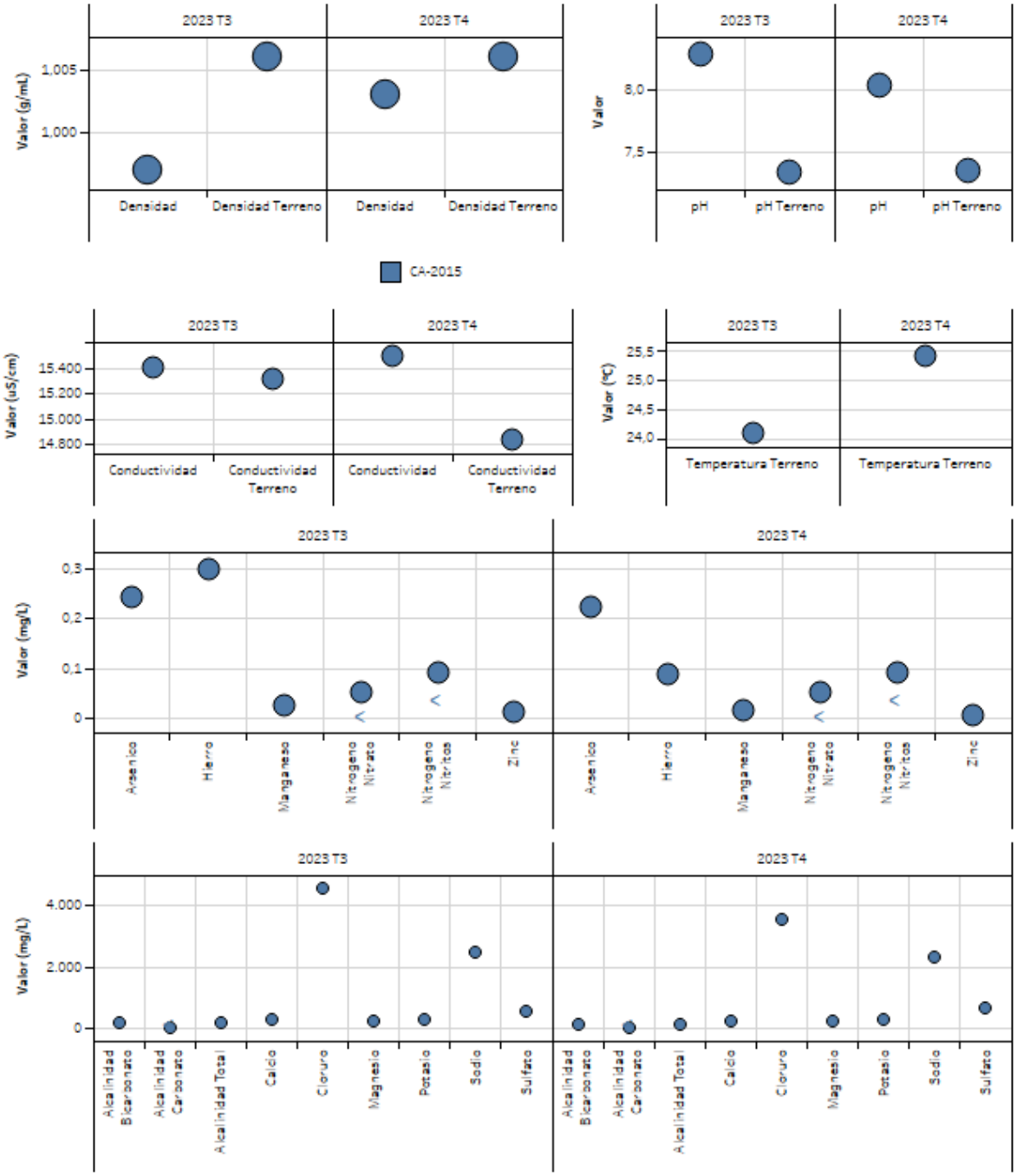
A continuación, en la Tabla 5-57 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua tomadas en terreno (SEGEA en ambos trimestres) y analizadas por el laboratorio ALS, al pozo de bombeo CA-2015 en el segundo semestre del año 2023. Estos resultados se presentan de manera gráfica en la Figura 5-37. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos.

Tabla 5-57: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015

Parámetro	CA-2015	
	24/07/23	31/10/23
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	157	110
Arsénico (mg/L)	0,240	0,223
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	157	110
Bicarbonatos (mg/L)	192	134
Calcio (mg/L)	261	242
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1
Carbonatos (mg/L)	<1	<1
Cloruro (mg/L)	4.539	3.495
Conductividad (uS/cm)	15.410	15.490
Conductividad Terreno (uS/cm)	15.310	14.840
Densidad (g/mL)	0,997	1,003
Densidad Terreno (g/mL)	1,006	1,006
Hierro (mg/L)	0,296	0,088
Magnesio (mg/L)	205	200
Manganeso (mg/L)	0,023	0,014
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<0,05	<0,05
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<0,09	<0,09
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)		
pH ()	8,29	8,04
pH Terreno ()	7,33	7,34
Potasio (mg/L)	267	254
Sodio (mg/L)	2.454	2.310
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	9.630	8.570
Sulfato (mg/L)	547	628
Temperatura Terreno (°C)	24,1	25,4
Zinc (mg/L)	0,010	0,006

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-37: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo CA-2015



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se representan como = <. El color y tamaño se refiere a la infraestructura.

5.1.4.3.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2023 en el sistema Vegetación Borde Este, de acuerdo con los criterios de validación definidos en el apartado 4.4.9.

En la Tabla 5-58 se muestran los resultados de la validación para las muestras colectadas en Vegetación Borde Este, específicamente en el pozo CA-2015. Durante el tercer trimestre se observa que la muestra no puede ser validadas por balance de masa en sólidos por analizarse únicamente los sólidos disueltos según la clasificación de Calidad 4 que considera los analitos que se muestran en la Tabla 4-2. Sin embargo, tal como se mostrado en los otros pozos de agua industrial, desde agosto de 2023, se han comenzado a recolectar de manera voluntaria los analitos necesarios para el cálculo de balance de masas, para así, mejorar el control y aseguramiento de calidad de productos entregados por el laboratorio ALS. Respecto del balance iónico, ambos trimestres se ajustan a un desbalance inferior al 10% maximo 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.

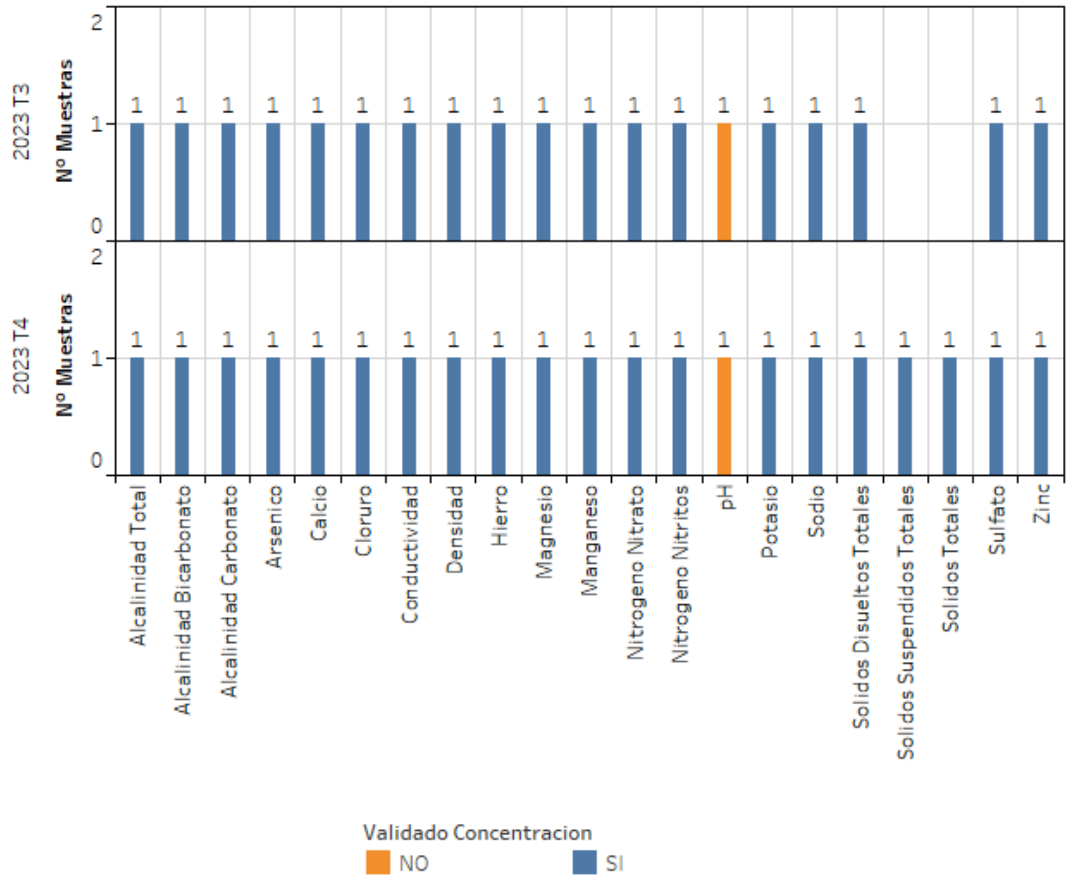
Tabla 5-58 Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este.

Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
3	CA-2015	NA*	0,3
4	CA-2015	-2,8	8,7

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 Figura 5-38 muestra los resultados de la validación por concentraciones con relación a cada analito y punto (consultar capítulo 4.4.9). Puede verse que en la campaña del tercer trimestre todos los parámetros fueron validados y tal como se ha mencionado los parámetros de solidos totales y en suspensión no se habían agregado hasta el cuarto trimestre. Así, en la campaña del cuarto trimestre se observan todos los parámetros validados a excepción del pH durante ambos trimestres. Considerando estos únicos valores anómalos, el error detectado durante el semestre a reportar corresponde a un 4,34% del total de análisis realizados en el sistema de Vegetación Borde Este.

Figura 5-38: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.1.5 SISTEMA PEINE

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico del Sistema Peine considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (26 puntos), calidad química (6 puntos), aforos de caudal (2 puntos) y superficie lacustre (3 áreas). Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación.

5.1.5.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presentan los niveles de los puntos de control que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Peine, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-9 y en el Anexo 2.

Cabe señalar que el pozo L10-1 es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina, pero sólo será expuesto en esta sección.

5.1.5.1.1 Pozos en zona marginal

La zona marginal del sistema Peine cuenta con 7 puntos de control. De éstos, el L10-1, L10-10, L10-2, L10-3 y el L10-9 se encuentran en el área en que la Comunidad de Peine suele ejercer el control de acceso. Por otro lado, el pozo L10-4 resulta ser indicador de estado, indicador que contiene mediciones diarias por parte de SEGEA respondiendo a la ejecución de la acción 5 del aprobado PdC.

En la Tabla 5-59 se muestra el resultado del monitoreo comprometido llevado a cabo en el segundo semestre de 2023 y la Tabla 5-60 se muestra el detalle del número de mediciones efectuadas cada mes por cada empresa, integrando además mediciones complementarias por parte de SEGEA como también por parte de SQM. Finalmente, en la Figura 5-39 se muestra gráficamente el resultado completo (mediciones comprometidas y adicionales) del monitoreo de estos puntos.

Como puede verse, los pozos L10-1 no pudo ser visitado durante septiembre y los pozos L10-2, L10-9, L10-10 y L10-15 no pudieron ser visitados durante los meses de noviembre y diciembre debido a la restricción de acceso por parte de Comunidad Peine. Para el resto de los meses, también para el resto de los puntos, la frecuencia de medición ha sido la estipulada, incluyendo las mediciones diarias por parte de SEGEA del pozo L10-4, que pasaron a ser responsabilidad de la ETFA desde el 06 de septiembre según las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022.

Tabla 5-59: Registro de niveles zona marginal del Sistema Peine

L10-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 14:09	2.305,492
22/7/23 15:41	2.305,505 *
13/8/23 11:59	2.305,493
28/9/23 12:00	S/I
6/10/23 13:23	2.305,558
28/10/23 13:11	2.305,546 *
11/11/23 14:47	2.305,546
11/12/23 09:49	2.305,528
22/12/23 10:06	2.305,514 *

L10-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 16:26	2.300,675
27/7/23 14:27	2.300,669 *
11/8/23 17:03	2.300,673
18/8/23 13:56	2.300,675 *
8/9/23 12:16	2.300,674
5/10/23 12:30	2.300,674
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L10-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 12:54	2.300,093
25/7/23 11:26	2.300,080 *
27/8/23 10:31	2.300,060
10/9/23 10:15	2.300,056
6/10/23 11:54	2.300,046
11/11/23 11:41	2.300,034
11/12/23 14:02	2.300,023

L10-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 16:15	2.299,935
27/7/23 14:07	2.299,922 *
11/8/23 16:43	2.299,918
18/8/23 13:13	2.299,917 *
8/9/23 11:58	2.299,910
5/10/23 12:07	2.299,903
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L10-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 16:10	2.300,357
27/7/23 14:01	2.300,350 *
11/8/23 16:37	2.300,352
8/9/23 12:05	2.300,351
5/10/23 11:52	2.300,349
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L10-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 13:20	2.299,764
9/7/23 09:31	2.299,764 *
27/7/23 14:14	2.299,745 *
14/8/23 15:07	2.299,739
25/9/23 09:47	2.299,722
5/10/23 12:15	2.299,722
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

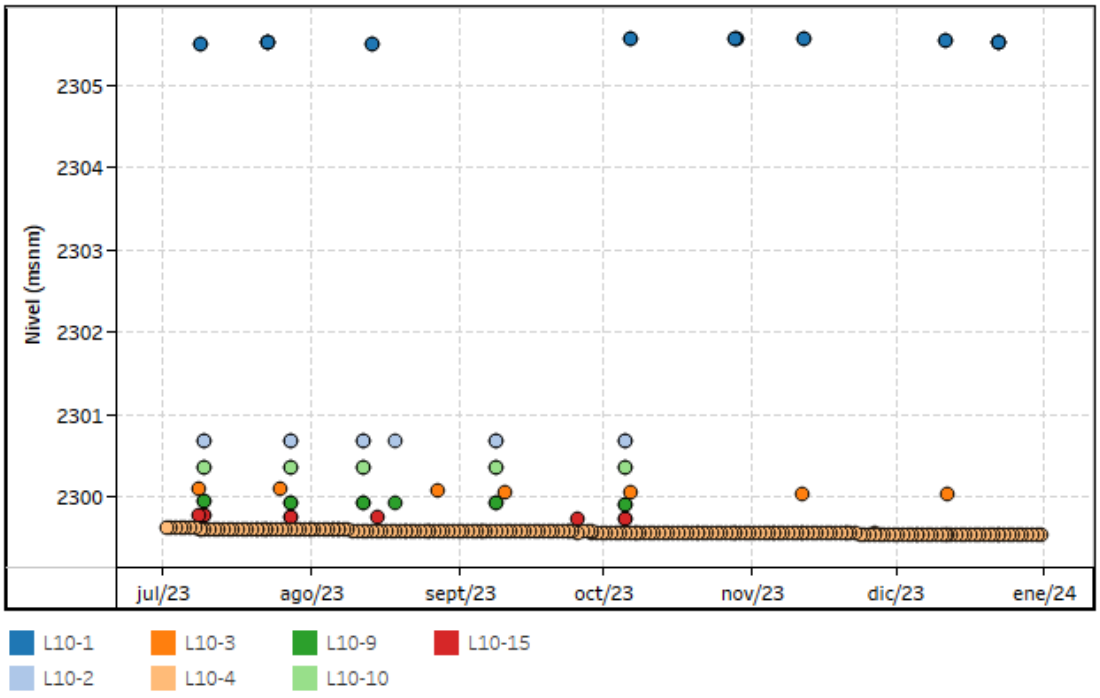
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

Tabla 5-60: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L10-1	2			2		2	4	2		4	2	4
L10-2	2	1	1	1			2	2	1	1		
L10-3							2	1	1	1	1	1
L10-4	31	31	30	31	30	31	4	4	3	3	4	3
L10-9	2	1	1	1			2	2	1	1		
L10-10	2	1	1	1			2	1	1	1		
L10-15	2			1			3	1	1	1		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-39: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.1.2 Pozos en zona núcleo

El sistema Peine dispone de 16 puntos de control en el núcleo del Salar. De éstos, 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. Todos los indicadores de estado de Sistema Peine han aumentado la frecuencia de monitoreo a partir del 01 de diciembre de 2018 y durante toda la vigencia del actual aprobado PdC, respondiendo a la acción 5 del mismo.

En la Tabla 5-61 se muestra el monitoreo comprometido y resultante para este segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-62 se muestra el detalle del número de mediciones que ha realizado cada empresa en cada punto y en la Figura 5-40 se muestra el resultado del monitoreo completo (mediciones comprometidas y adicionales), recordar que desde el 06 de septiembre de 2022 la ETFA comenzó con el monitoreo diario de los indicadores de estado y SQM a su vez, disminuyo su frecuencia a monitoreo de acuerdo a la frecuencia de monitoreo según la fase en la que se encuentre en indicador de estado, tal como se especifica en el apartado 11.3.3 Acciones a implementar según las Fases del Plan de Contingencia RCA N°226/2006.

Como puede verse, los pozos GD-03, GD-04, L10-6, L10-7 y L10-8 no pudieron ser visitados durante los meses de noviembre y diciembre debido a prohibición de acceso por la Comunidad de Peine. Para el resto de los meses, también para el resto de los puntos, la frecuencia de medición ha sido la estipulada, incluyendo las mediciones diarias por parte de SEGEA desde septiembre de los pozos L10-11 y 1028.

Tabla 5-61: Registro de niveles zona núcleo del Sistema Peine

1024	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 11:00	2.298,994
29/8/23 12:22	2.298,988
25/9/23 13:34	2.298,985
16/10/23 13:30	2.298,986
21/11/23 13:10	2.298,998
17/12/23 11:59	S/I

2018	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/7/23 13:11	2.299,097
28/8/23 15:43	2.299,079
21/9/23 14:21	2.299,076
13/10/23 12:35	2.299,069
9/11/23 17:15	2.299,068
17/11/23 10:07	2.299,064 *
13/12/23 10:27	2.299,054

2037	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 11:54	2.299,074
4/8/23 14:19	2.299,070
29/8/23 13:07	2.299,063 *
25/9/23 12:19	2.299,059
16/10/23 12:53	2.299,055
9/11/23 17:47	2.299,050
17/12/23 10:37	2.299,037

GD-03	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 14:53	2.299,521
27/7/23 13:17	2.299,506 *
11/8/23 15:08	2.299,506
18/8/23 10:51	2.299,501 *
8/9/23 11:07	2.299,491
5/10/23 11:06	2.299,483
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

GD-04	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 16:53	2.299,217
27/7/23 14:53	2.299,200 *
11/8/23 17:34	2.299,199
18/8/23 10:02	2.299,194 *
8/9/23 12:53	2.299,183
5/10/23 13:28	2.299,175
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

L10-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/7/23 15:47	2.299,100
4/8/23 12:44	2.299,096
29/8/23 13:37	2.299,088 *
25/9/23 12:50	2.299,082
16/10/23 13:09	2.299,079
21/11/23 12:32	2.299,068
17/12/23 11:16	2.299,061

L10-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 12:24	2.299,312
25/7/23 10:52	2.299,298 *
27/8/23 10:03	2.299,282
10/9/23 09:46	2.299,276
6/10/23 11:30	2.299,267
11/11/23 11:02	2.299,255
11/12/23 13:27	2.299,248

L10-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 12:13	2.299,376
25/7/23 10:39	2.299,362 *
27/8/23 09:53	2.299,343
10/9/23 09:35	2.299,338
6/10/23 11:20	2.299,331
11/11/23 10:46	2.299,321
11/12/23 13:16	2.299,318

L10-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 10:02	2.299,241
22/7/23 12:05	2.299,240 *
6/8/23 11:46	2.299,231
10/8/23 10:24	2.299,231 *
24/8/23 10:35	2.299,225 *
7/9/23 10:16	2.299,218
6/10/23 10:10	2.299,212
11/11/23 14:04	2.299,203
11/12/23 15:22	2.299,197

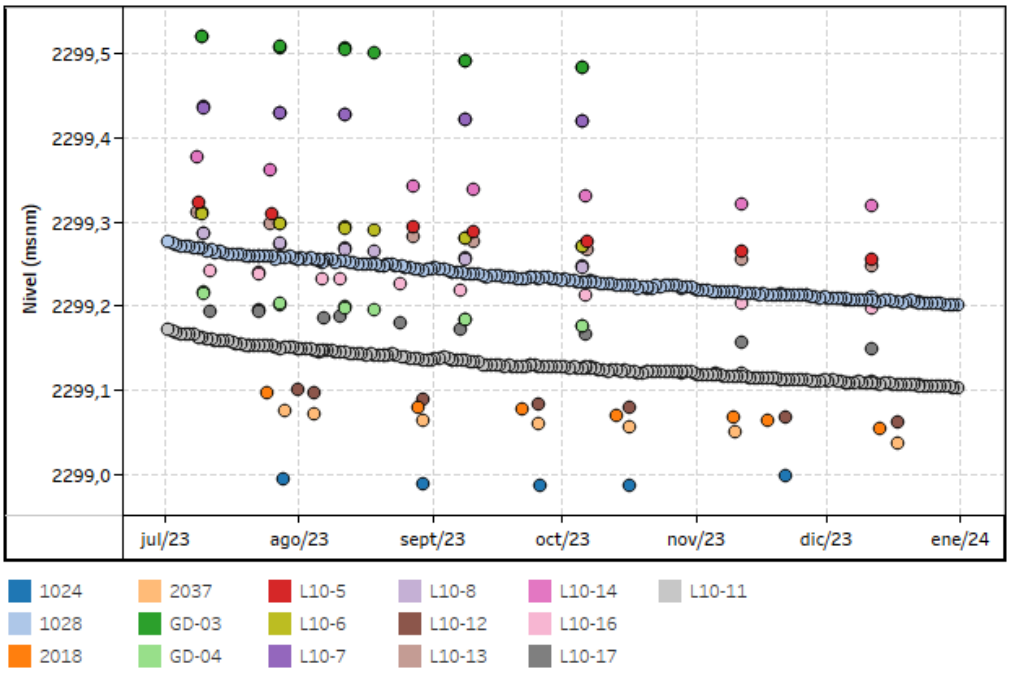
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

Tabla 5-62: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
1024							1	1	1	1	1	
1028	31	31	30	31	30	31	4	4	2	3	3	3
2018							1	1	1	1	2	1
2037							1	2	1	1	1	1
GD-03	2	1	1	1			2	2	1	1		
GD-04	2	1	1	1			2	2	1	1		
L10-5							2	1	1	1	1	1
L10-6	2	1	1	1			2	2	1	1		
L10-7	2	1	1	1			2	1	1	1		
L10-8	2	1	1	1			2	2	1	1		
L10-11	31	31	30	31	30	31	3	3	2	4	3	3
L10-12							1	2	1	1	1	1
L10-13							2	1	1	1	1	1
L10-14							2	1	1	1	1	1
L10-16	1						2	3	1	1	1	1
L10-17	1						2	3	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-40: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.1.3 Nivel lacustre

Las mediciones del nivel lacustre mediante reglillas para el sistema Peine estuvo, 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 responsabilidad de SQM mediante la ETFA.

La infraestructura disponible en este sector son reglillas presentes en la laguna Salada y en la laguna 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 el sistema, por lo que, en las sucesivas visitas al punto, la reglilla se encuentra seca.

En la Como puede verse, la reglilla de Salada no pudo ser medidas ni por la ETFA ni por SQM durante octubre, noviembre y diciembre debido a la restricción de acceso por parte de Comunidad de Peine, misma situación para la reglilla Saladita, donde no se pudo visitar durante noviembre y diciembre.

Al mismo tiempo, la Reglilla de Interna no pudo ser medida entre julio y octubre, dado que, la reglilla se encontraba fuera del canal, por lo que fue reportada como reglilla seca y durante noviembre y diciembre no se conto con la autorización por parte de la Comunidad de Peine para su acceso.

se muestra el monitoreo comprometido y resultante para este segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-64 se muestra el detalle del número de mediciones que ha realizado cada empresa en cada punto y en la Figura 5-41 se muestra el resultado del monitoreo completo (mediciones comprometidas y adicionales).

Como puede verse, la reglilla de Salada no pudo ser medidas ni por la ETFA ni por SQM durante octubre, noviembre y diciembre debido a la restricción de acceso por parte de Comunidad de Peine, misma situación para la reglilla Saladita, donde no se pudo visitar durante noviembre y diciembre.

Al mismo tiempo, la Reglilla de Interna no pudo ser medida entre julio y octubre, dado que, la reglilla se encontraba fuera del canal, por lo que fue reportada como reglilla seca y durante noviembre y diciembre no se conto con la autorización por parte de la Comunidad de Peine para su acceso.

Tabla 5-63: Registro de niveles para las lagunas del sector Peine

REGLILLA SALADA CONAF		REGLILLA SALADITA CONAF		REGLILLA INTERNA CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 13:37	2.301,178	9/7/23 14:23	2.300,940	9/7/23 14:43	S/I
27/7/23 11:03	2.301,174 *	27/7/23 11:51	2.300,930 *	27/7/23 12:39	S/I
11/8/23 14:20	2.301,174	11/8/23 14:44	2.300,936	5/10/23 10:59	S/I
31/10/23 12:00	S/I	25/8/23 11:36	2.300,935 *	29/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I	5/10/23 10:30	2.300,931	30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I	29/10/23 11:21	2.300,931 *	31/12/23 12:00	S/I
		30/11/23 12:01	S/I		
		31/12/23 12:00	S/I		

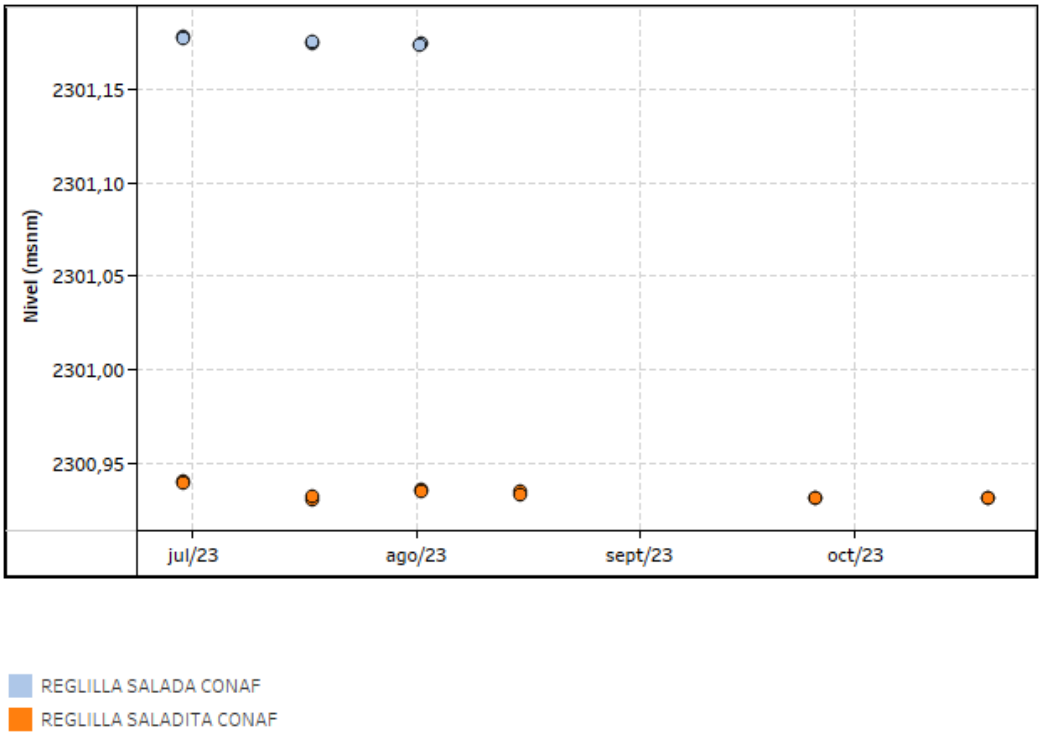
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a la ETFA.

Tabla 5-64: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA				SQM				
	07/23	08/23	09/23	10/23	07/23	08/23	10/23	11/23	12/23
REGLILLA INTERNA CONAF									
REGLILLA SALADA CONAF	2	1			2	1			
REGLILLA SALADITA CONAF	2	2		2	2	2	2		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-41: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.2 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad del Sistema Peine durante el segundo semestre de 2023. Si bien el pozo L10-1 es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina, sólo se presenta en esta sección para efectos de orden.

En la Figura 4-9 y en la de la Sección 4.3.4 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Peine. En el Anexo 2 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, según lo dispuesto en la RCA N°266/2006. 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 gráficos y 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 con código ETFA 040-01 y ALS Life Sciences Chile código ETFA 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, y SEGEA.

5.1.5.2.1 Muestreo de aguas red monitoreo SQM

En la Tabla 5-65 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. Estos resultados se presentan de manera gráfica en la Figura 5-42. Como se observa, durante el periodo se efectuaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos en los pozos L10-1, 1028 y L10-4 según RCA N°226/2006 (ejecutados durante julio y octubre respectivamente), además de las mediciones mensuales de calidad (frecuencia aplicable a acción 40 del PdC como medida de control a la activación de Fase I, estas se ejecutaron durante los meses restantes, es decir, agosto, septiembre, noviembre y diciembre) comprometidas. Adicionalmente a ello, los pozos del plan de contingencias que adicionalmente cuentan con medición de calidad química cuentan con toda la información de análisis fisicoquímico a disposición publica en el sitio web https://www.sqmsenlinea.com/ respondiendo al compromiso de la Acción 7 del PdC.

Tabla 5-65: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine

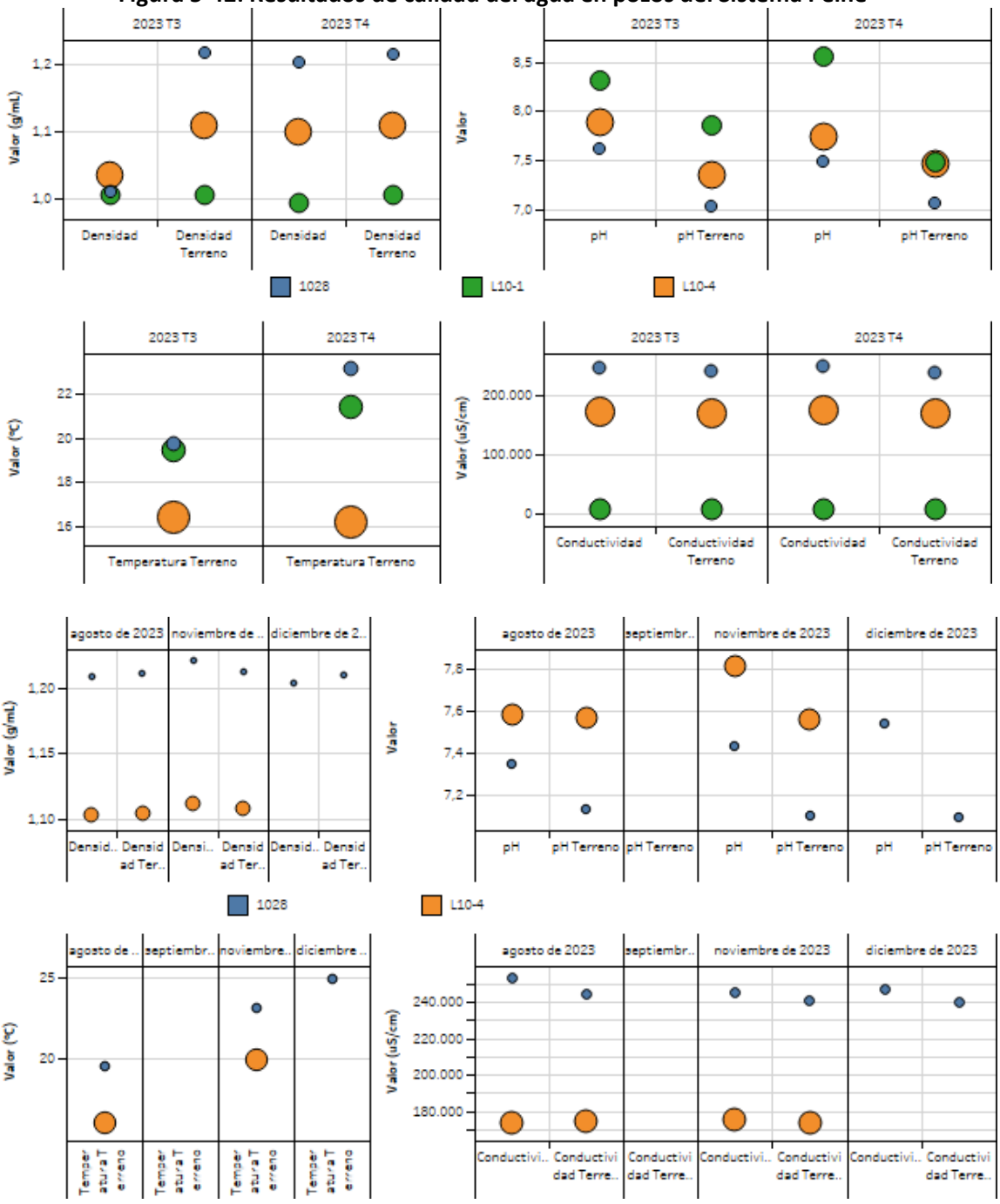
Parámetro	1028		L10-1		L10-4	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad (uS/cm)	246000	248000	8300	8790	173500	175700
Conductividad Terreno (uS/cm)	241000	238000	8540	8350	169500	169900
Densidad (g/ml)	1.011	1.201	1.005	0.995	1.035	1.098
Densidad Terreno (g/ml)	1.215	1.214	1.005	1.005	1.108	1.108
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	-	-	-	-	-	-
pH (pH)	7.62	7.49	8.30	8.55	7.88	7.74
pH Terreno (pH)	7.04	7.06	7.86	7.49	7.35	7.47
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	322950	324955	5345	5120	156605	156430
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	9.00	12.00	<3.00	<3.00	70.00	59.00
Sólidos Totales (mg/L)	337955	334745	5360	5145	159990	159645
Temperatura Terreno (ºC)	19.70	23.10	19.40	21.40	16.40	16.20

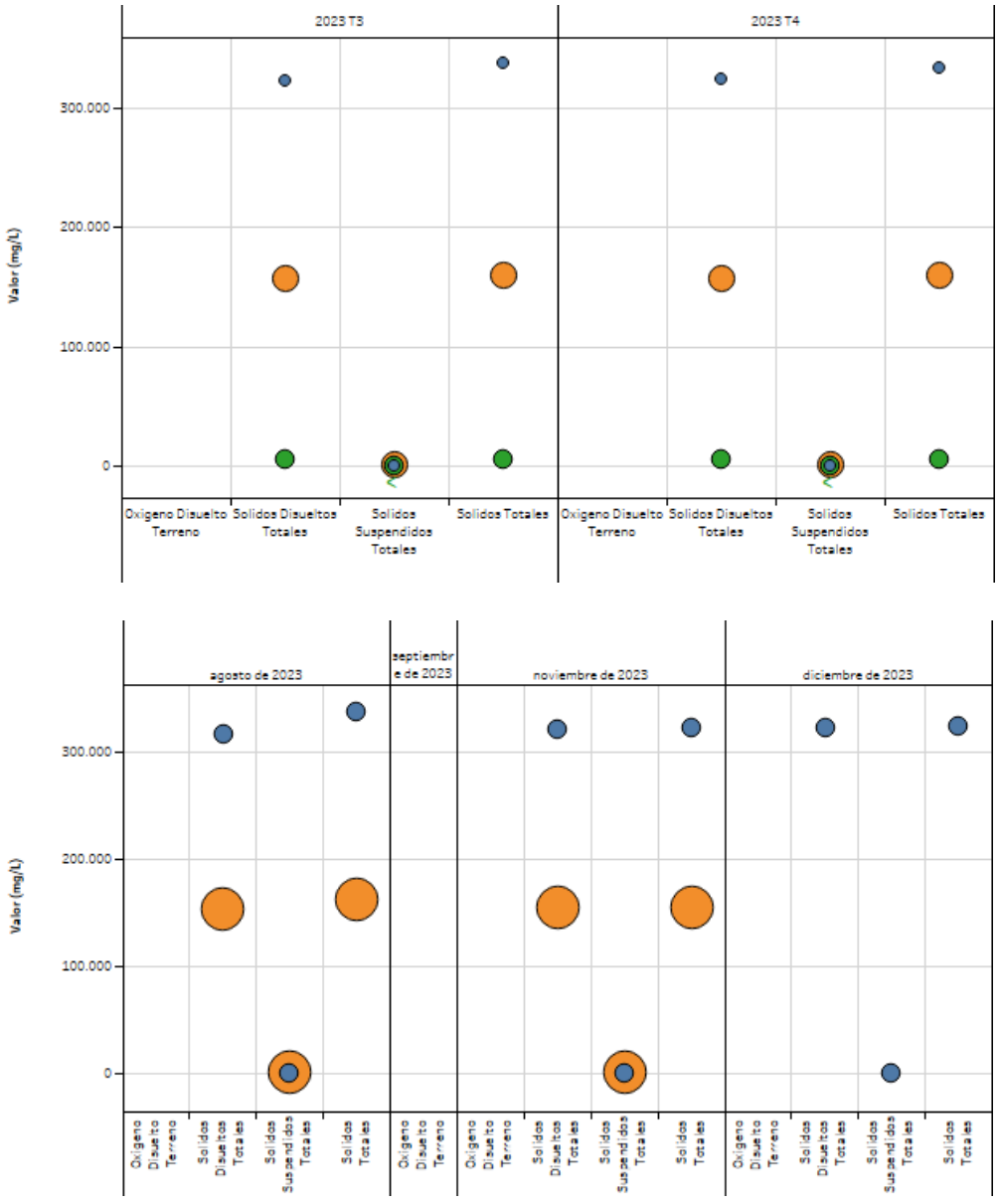
Fuente: Elaboración propia. (-): no se presenta dato ya que no es un compromiso RCA.

Parámetro	1028				L10-1			L10-4		
	agosto	septiembre	noviembre	diciembre	agosto	septiembre	noviembre	agosto	septiembre	noviembre
Conductividad (uS/cm)	253000		245000	247000				173600		175300
Conductividad Terreno (uS/cm)	244000	-	241000	240000	-	-	-	174100	-	173600
Densidad (g/ml)	1.208		1.221	1.203				1.102		1.111
Densidad Terreno (g/ml)	1.211		1.212	1.210				1.104		1.107
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH (pH)	7.35		7.43	7.54				7.58		7.81
pH Terreno (pH)	7.14	-	7.10	7.09	-	-	-	7.57	-	7.56
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	316020		320715	322335				153100		153900
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	21.00		33.00	47.00				45.00		38.00
Sólidos Totales (mg/L)	336760		321695	323275				161720		154520
Temperatura Terreno (°C)	19.50	-	23.10	24.90	-	-	-	16.10	-	19.90

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

Figura 5-42: Resultados de calidad del agua en pozos del Sistema Peine





Fuente: Elaboración propia. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan con la etiqueta "<" o ">" que indica si este es menor o mayor que el valor respectivamente.

5.1.5.2.2 Muestreo realizado en el marco del ex convenio con CONAF

En el segundo semestre de 2023 se pudo realizar los dos muestreos trimestrales comprometidos por RCA N°226/2006, tanto en Interna, como en Saladita; en cambio la segunda medición trimestral de octubre en Salada no pudo realizarse debido a restricción de acceso por parte de la comunidad de Peine.

Adicionalmente, el único mes que se pudo ejecutar la medición mensual para dar respuesta a la Acción 40 del PdC como medida de control frente a activación de Fase I en los indicadores de estado (L10-4, L10-11 y 1028) fue durante agosto únicamente en Interna como en Saladita. En la Tabla 5-66 se muestran los resultados en las que se logró realizar el muestreo y en el Anexo 6.1 se encuentran los certificados de laboratorio.

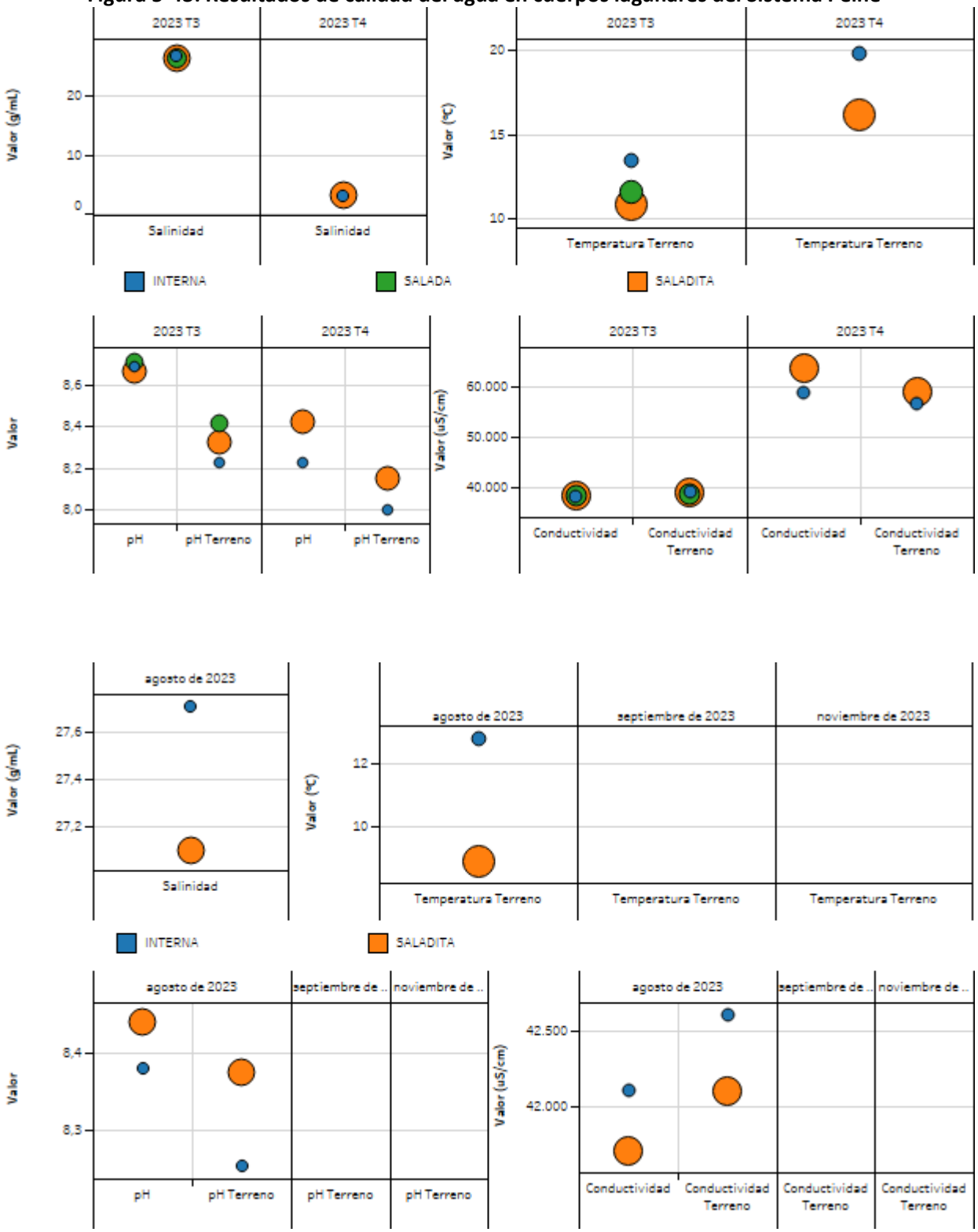
Tabla 5-66: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine.

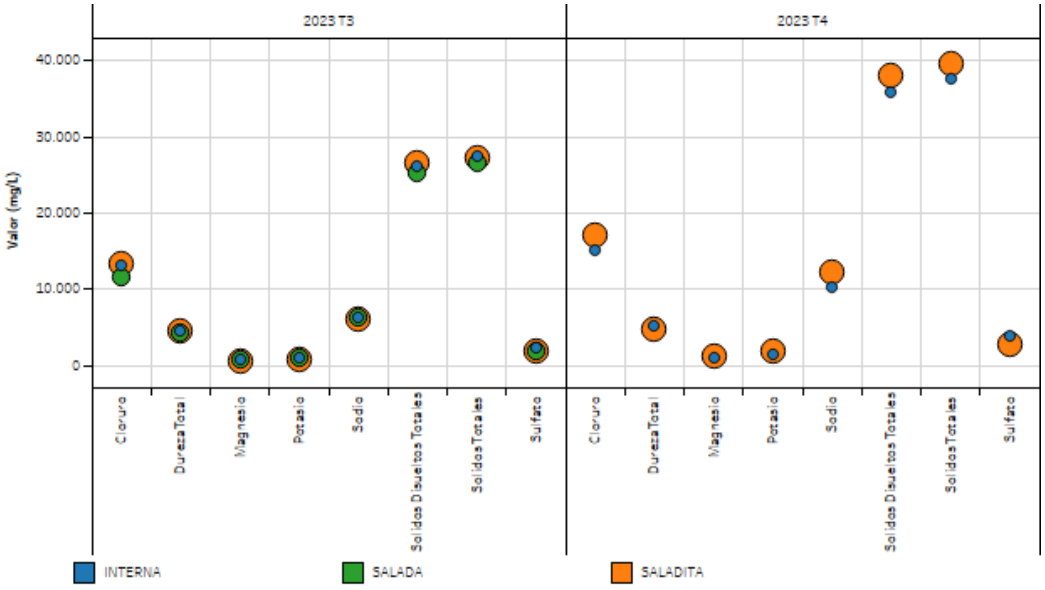
Parámetro	INTERNA		SALADA		SALADITA	
	julio	octubre	julio	octubre	julio	octubre
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	216	132	158		225	166
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1.00	<1.00	105		<1.00	<1.00
Alcalinidad Total (CaCO3) (mgCaCO3/L)	216	132	263		225	166
Arsenico (mg/L)	0.511	1.26	0.459		0.448	0.962
Calcio (mg/L)	554	1080	505		490	1152
Cloruro (mg/L)	12996	14994	11429		13180	17067
Conductividad (uS/cm)	38200	58700	38200		38100	63700
Conductividad Terreno (uS/cm)	39100	56400	38600	-	38700	59000
Dureza Total (mg/L)	4404	5165	4204		4504	4604
Fosforo Fosfato (mg/L)	<0.130	<0.130	<0.130		<0.130	<0.130
Magnesio (mg/L)	644	1010	637		617	1237
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	8.16	8.28	8.56	-	8.65	8.48
pH (pH)	8.69	8.22	8.71		8.67	8.42
pH Terreno (pH)	8.23	7.99	8.42	-	8.32	8.15
Potasio (mg/L)	859	1463	841		832	1776
Salinidad (‰)	26.90	3.00	26.30		26.40	3.20
Sodio (mg/L)	6314	10106	6202		6016	12109
Sodio Disuelto (mg/L)		9952				10425
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	26150	35800	25275		26450	38000
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	28.00	26.00	101		23.00	724
Sólidos Totales (mg/L)	27350	37550	26500		27200	39400
Sulfato (mg/L)	2190	3762	1793		1784	2719
Temperatura Terreno (ºC)	13.40	19.80	11.50	-	10.80	16.10

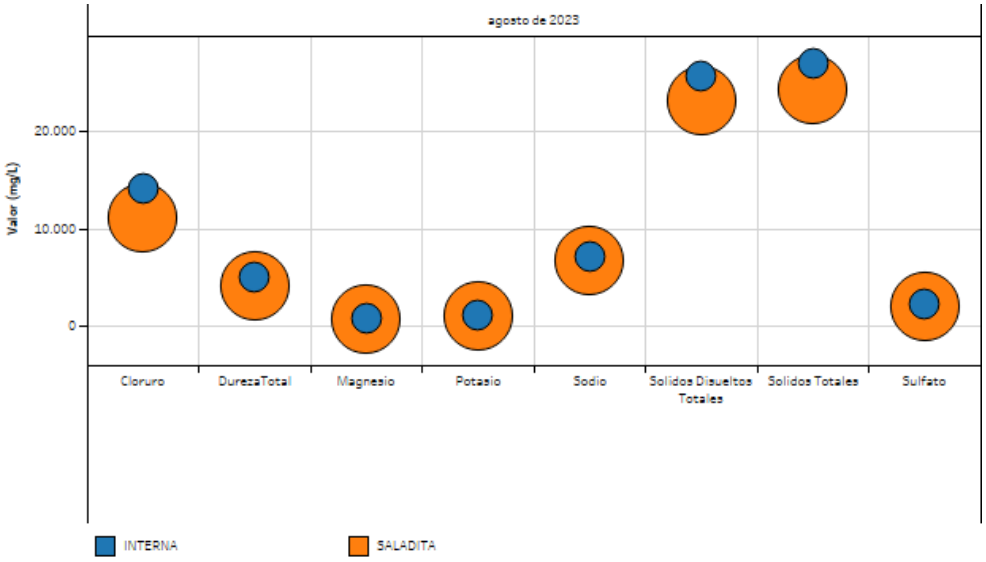
Parámetro	INTERNA	SALADITA
	agosto	agosto
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	202	215
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1.00	<1.00
Alcalinidad Total (CaCO3) (mgCaCO3/L)	202	215
Arsenico (mg/L)	0.679	0.521
Calcio (mg/L)	678	563
Calcio Disuelto (mg/L)	654	541
Cloruro (mg/L)	14102	11060
Conductividad (uS/cm)	42100	41700
Densidad Terreno (g/ml)	1.022	1.021
Dureza Total (mg/L)	4979	4084
Fosforo (mg/L)	<0.005	0.266
Fosforo Fosfato (mg/L)	<0.130	<0.130
Magnesio (mg/L)	733	700
Magnesio Disuelto (mg/L)	706	689
Nitrato (mg/L)	<0.220	<0.220
Nitrogeno Nitrato (mg/L)	<0.050	<0.050
pH (pH)	8.38	8.44
Potasio (mg/L)	1080	1015
Salinidad (‰)	27.70	27.10
Silice (mg/L)	10.50	11.10
Sodio (mg/L)	7178	6663
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	25600	23100
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	12.00	23.00
Sólidos Totales (mg/L)	26900	24250
Sulfato (mg/L)	2211	1959
Temperatura pH (ºC)	25.00	25.00

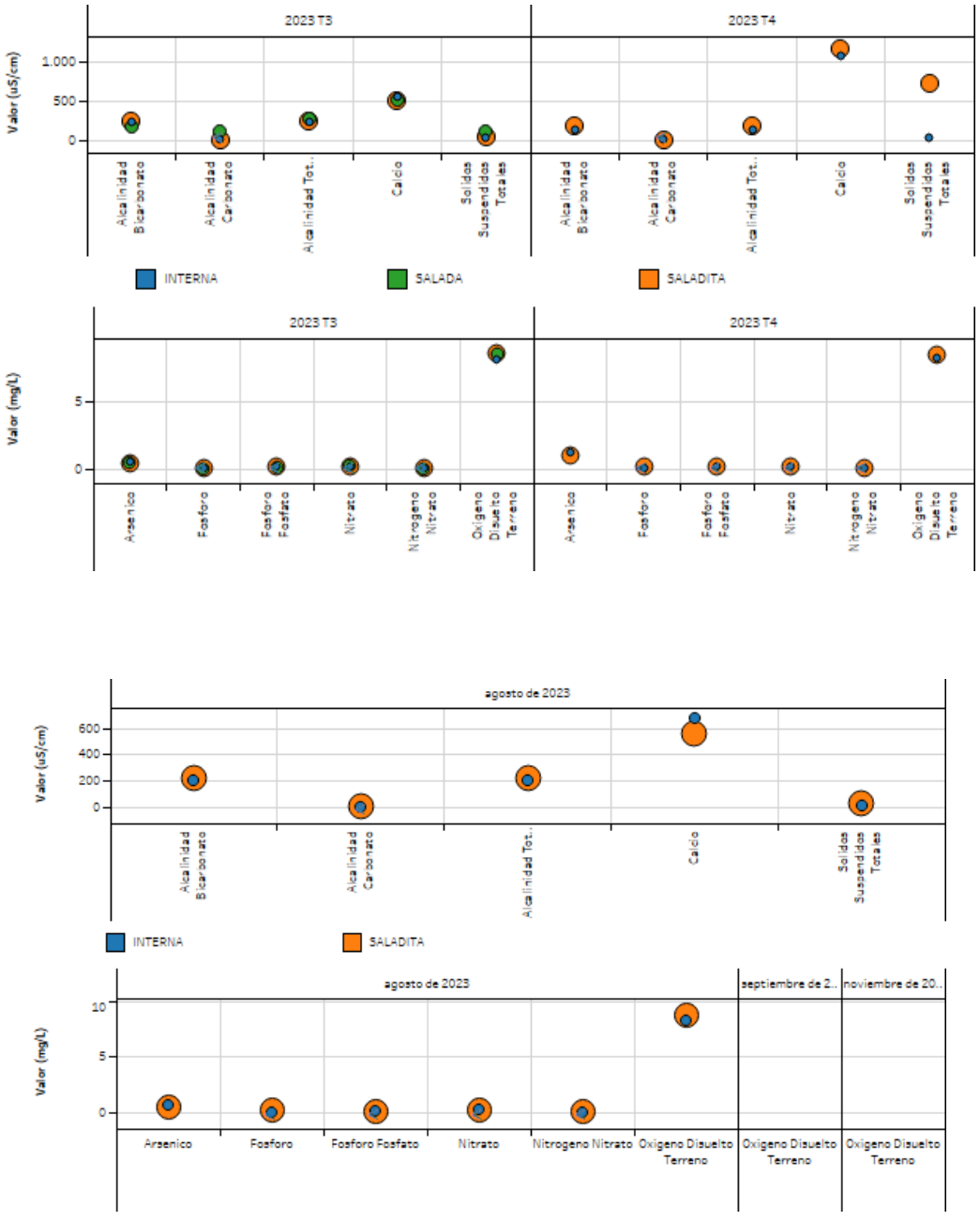
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-43: Resultados de calidad del agua en cuerpos lagunares del Sistema Peine




2023 T3
2023 T4
40.000
30.000
20.000
10.000
0
Valor (mg/L)
Cloruro
DurezaTotal
Magnesio
Potasio
Sodio
Solidos Disueltos Totales
Solidos Totales
Sulfato
INTERNA
SALADA
SALADITA


agosto de 2023
20.000
10.000
0
Valor (mg/L)
Cloruro
DurezaTotal
Magnesio
Potasio
Sodio
Solidos Disueltos Totales
Solidos Totales
Sulfato
INTERNA
SALADITA



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.2.3 Validación resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el segundo semestre de 2023 en el sistema Peine, de acuerdo con los criterios de validación definidos en el apartado 4.5.8.

La Tabla 5-67 muestra los resultados de la validación para las muestras colectadas en el sistema Peine, tanto para las mediciones trimestrales (julio y octubre) como las mediciones mensuales con las que se contó con acceso por parte de la Comunidad de Peine.

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

Tabla 5-67 Resultados de la validación en el sistema Peine.

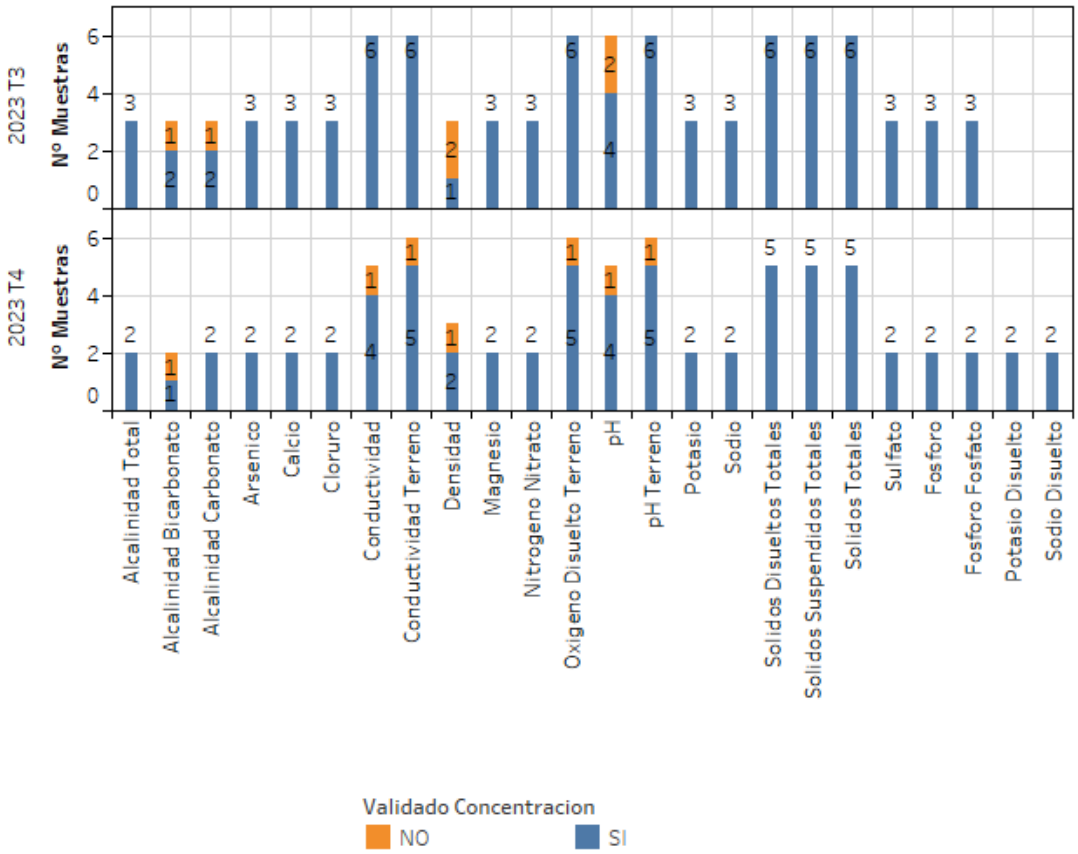
Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
3	1028	-4,4	NA*
	INTERNA	-4,3	4,9
	L10-1	-0,2	NA*
	L10-4	-2,1	NA*
	SALADA	-4,2	0,5
	SALADITA	-2,7	7,2
4	1028	-2,9	NA*
	INTERNA	-4,6	9,9
	L10-1	-0,4	NA*
	L10-4	-2,0	NA*
	SALADITA	-1,7	14,9

Mes	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
Julio	1028	-4,4	NA*
	INTERNA	-4,3	4,9
	L10-1	-0,2	NA*
	L10-4	-2,1	NA*
	SALADA	-4,2	0,5
	SALADITA	-2,7	7,2
Agosto	1028	-6,2	NA*
	INTERNA	-4,8	1,6
	L10-4	-5,3	NA*
	SALADITA	-4,6	5,9
Octubre	1028	-2,9	NA*
	INTERNA	-4,6	9,9
	L10-1	-0,4	NA*
	L10-4	-2,0	NA*
	SALADITA	-1,7	14,9
Noviembre	1028	-0,3	NA*
	L10-4	-0,4	NA*
Diciembre	1028	-0,3	NA*

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

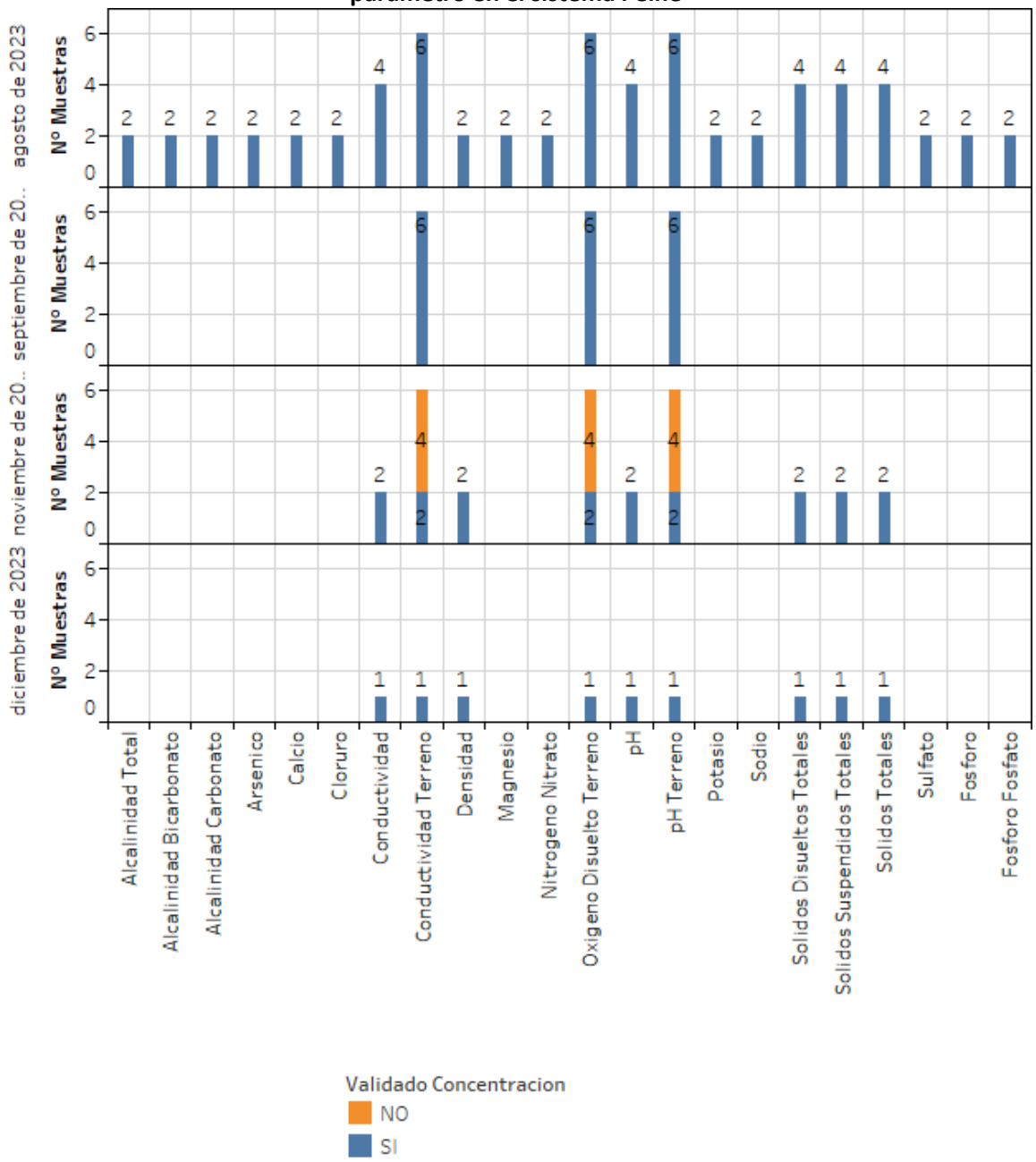
La Figura 5-44 muestra los resultados de la validación por concentraciones históricas en relación con cada analito y punto. Todos los análisis se encontraron dentro de lo esperable en base a su evolución histórica a excepción de 6 mediciones durante el tercer trimestre y 7 durante el cuarto trimestre, que en conjunto representan una desviación de 8,78% del total de muestras recolectadas durante los dos últimos trimestres de 2023 en el sector de Peine.

Figura 5-44: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine



Ahora bien, con respecto a las mediciones realizadas en agosto y septiembre como también durante diciembre, no se observan desviaciones de las mediciones realizadas por cada sector, sin embargo, las mediciones de noviembre contaron con 12 desviaciones, lo que representa 9,75% de concentraciones no validadas dentro de los meses restantes del análisis en el Sistema Peine.

Figura 5-45 (Continuación) : Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.3 Caudal agua superficial (aforos)

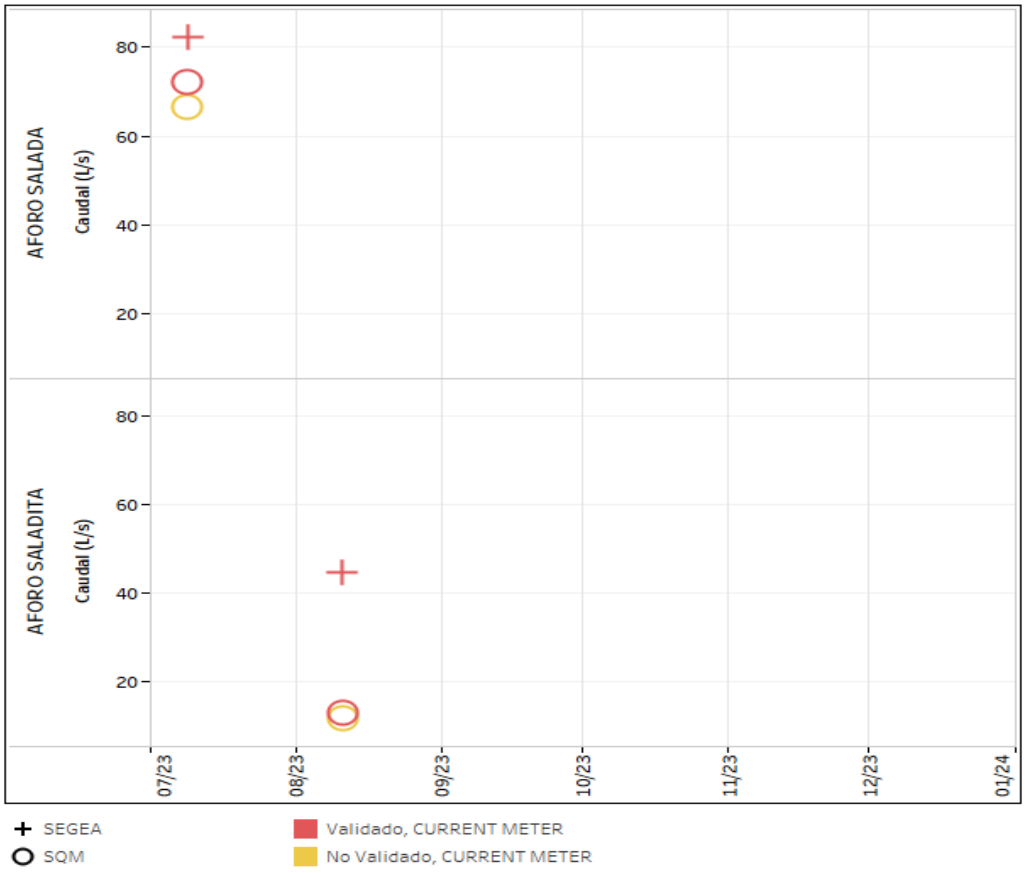
La red de monitoreo del PSAH en el Sistema Peine contempla dos estaciones de aforo de caudal pasante superficial, que son las estaciones de Salada y Saladita. Tal como se observa en la Tabla 5-68 durante el período abordado en este informe, la ejecución total de los aforos mensuales de caudal superficial en las estaciones de Salada y Saladita en el Sistema Peine, se vio obstaculizada. La falta de permisos por parte de la Comunidad de Peine impidió al personal de SQM y a la ETFA acceder al área correspondiente. Únicamente se lograron realizar ingresos para el monitoreo de Salada en julio y para el monitoreo de aforo de Saladita en agosto de 2023.

Tabla 5-68: Resultados aforos manuales Saladita y Salada

	AFORO SALADA	AFORO SALADITA
julio de 2023	82,22	S/I
agosto de 2023	S/I	44,60
septiembre de 2023	S/I	S/I
octubre de 2023	S/I	S/I
noviembre de 2023	S/I	S/I
diciembre de 2023	S/I	S/I

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-69: Resultados aforos manuales en el punto de Aforo Barros Negros y Puente San Luis



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.4 Superficie lacustre

Para el segundo semestre de 2023 se realizaron mediciones en Salada y Saladita con la metodología de estacas perimetrales en el mes de julio, mientras que en el mes de octubre solo pudo realizarse en laguna Saladita, debido a restricciones de acceso por periodo reproductivo de Flamencos en laguna Salada. Por otra parte, para ambos meses se realizó medición mediante imagen satelital de alta resolución, conforme compromiso PdC del 2022.

La consultora a cargo del levantamiento topográfico y estacas perimetrales fue ATyGEO LTDA., mientras que la consultora a encargada del cálculo de superficie lacustre con imagen satelital de alta resolución fue SRGIS LTDA. A continuación, se reportan los resultados obtenidos para el segundo semestre del año 2023 (Tabla 5-70).

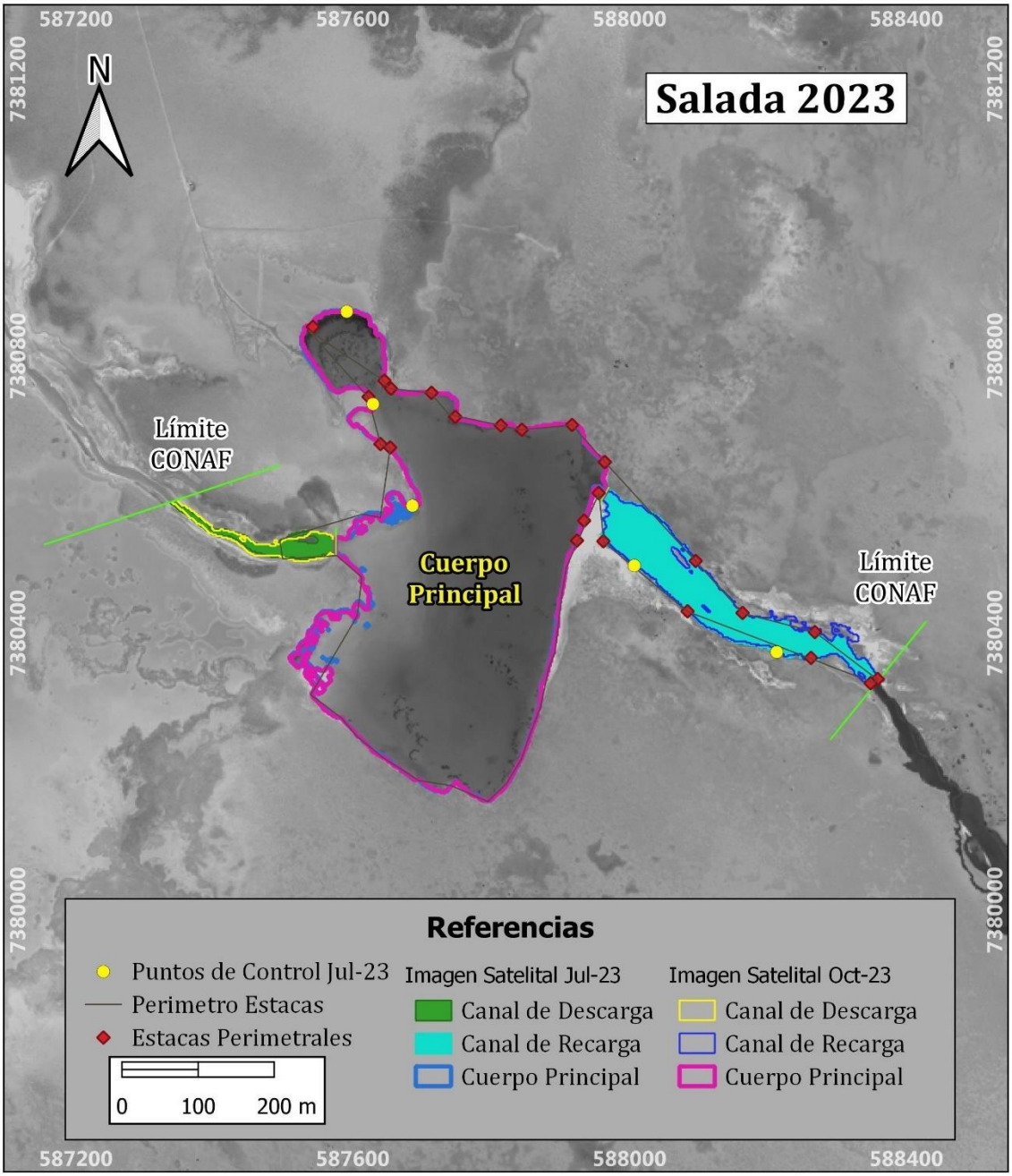
Tabla 5-70: Superficies Lacustres segundo semestre 2023 Peine.

Periodo	Responsable	Tipo de medición realizada	Superficie (m^2)		
			Interna	Salada	Saladita
jul-23	ATyGEO	Estacas perimetrales	N/A	187.065	94.328
jul-23	SRGIS	imagen Satelital	209.042	197.652	84.343
oct-23	ATyGEO	Estacas perimetrales	N/A	S/I	93.758
oct-23	SRGIS	Imagen Satelital	163.682	199.248	86.540

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

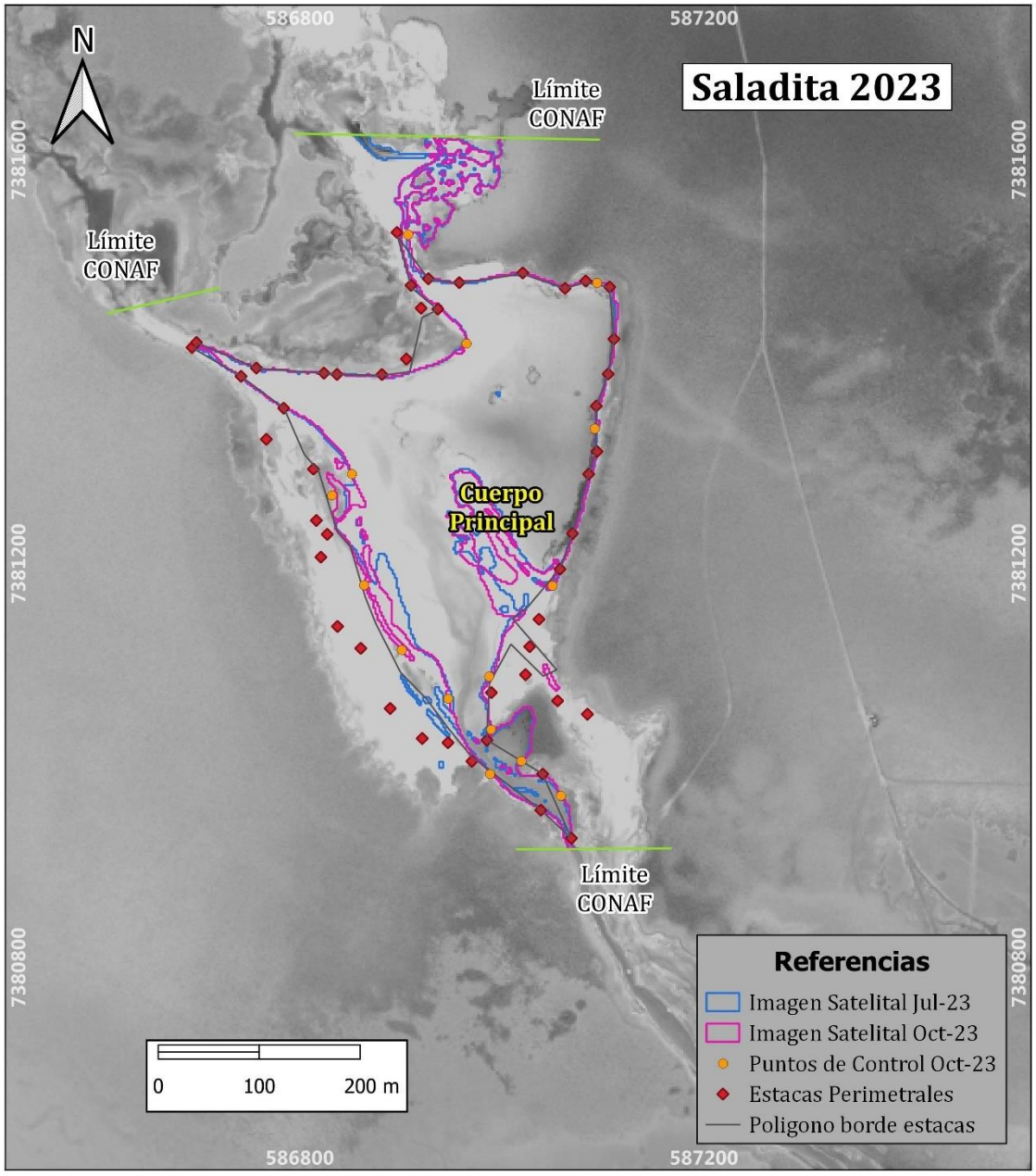
A continuación, se muestran 3 mapas con enfoque en los cuerpos principales de las lagunas de Peine:

Figura 5-46: Mapa delimitación lacustre, laguna Salada, sector Peine.



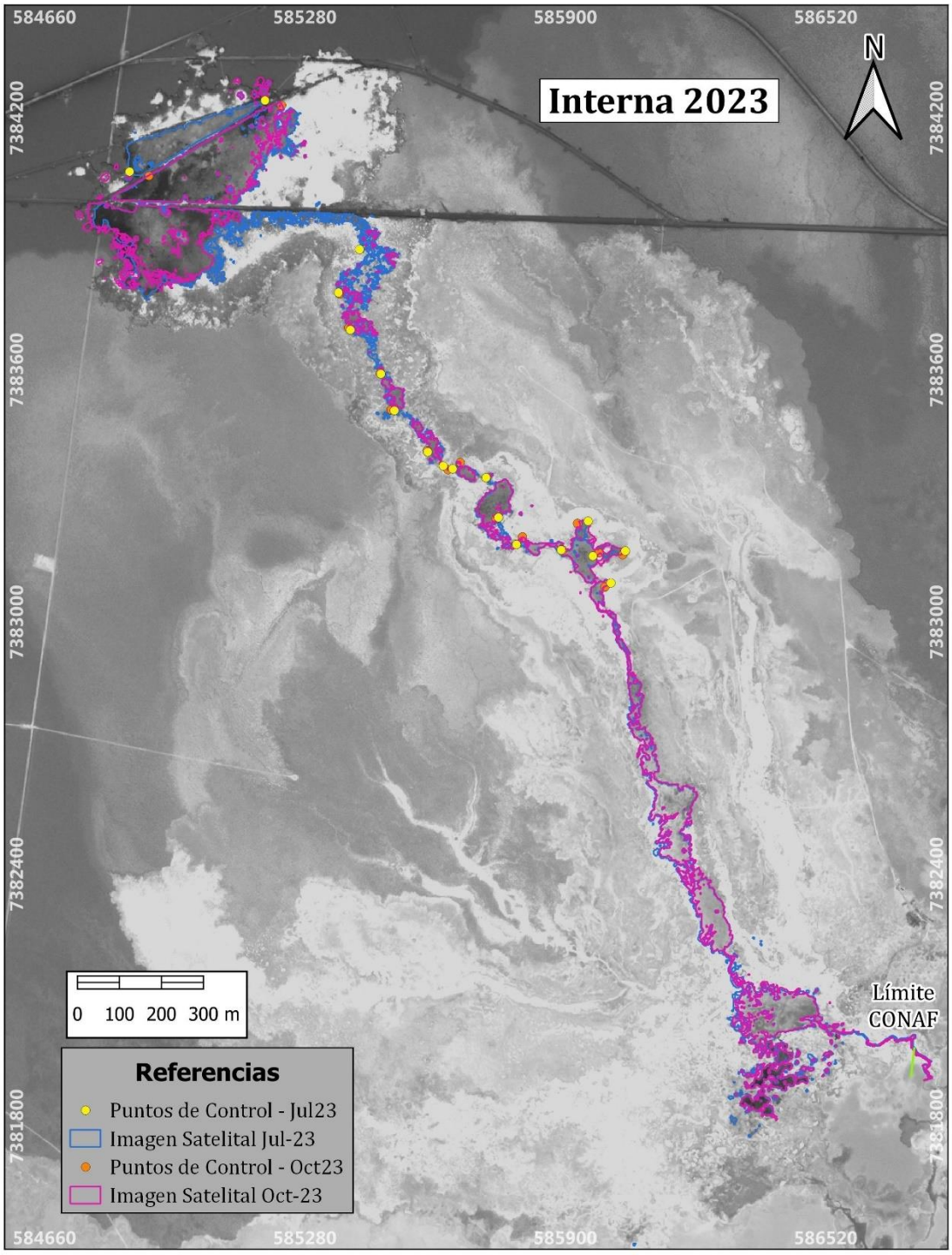
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-47: Mapa delimitación lacustre, laguna Saladita, sector Peine.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-48: Mapa delimitación lacustre, laguna Interna, sector Peine



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico del sector Vegas de Tilopozo, sólo considera el monitoreo del nivel del agua en 5 puntos: 4 pozos y una reglilla. Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación.

5.1.6.1 Nivel del agua subterránea y superficial

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

5.1.6.1.1 Pozos Zona Marginal

En la zona marginal, el sector de Vegas de Tilopozo cuenta con 4 puntos de control. En la Tabla 5-71 se muestra el resultado del monitoreo comprometido para este semestre y en la Tabla 5-72 se muestra el recuento de mediciones realizadas por SQM y puntualmente la realizada por SEGEA en el pozo L12-1 durante diciembre. En la Figura 5-49 se muestra gráficamente el resultado completo de las mediciones en estos puntos, contando con las mediciones de SQM como la de SEGEA.

Puede verse que para el segundo semestre de 2023 se han realizado las visitas estipuladas en todos los pozos y para todos los meses.

Cabe notar que el compromiso en este caso son mediciones mensuales realizadas por SQM, el resto de las mediciones (mayor frecuencia o mediciones realizadas por la ETFA) se presentan de forma adicional.

Tabla 5-71: Registro de niveles zona marginal del sector Vegas de Tilopozo

L12-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 11:35	2.299,684
25/7/23 09:58	2.299,673*
13/8/23 17:53	2.299,669
14/8/23 14:15	2.299,670*
10/9/23 11:05	2.299,655
6/10/23 12:38	2.299,648
11/11/23 10:08	2.299,633
11/12/23 12:50	2.299,623
22/12/23 12:50	2.299,623*

L12-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 10:19	2.302,583
26/7/23 11:32	2.302,579*
13/8/23 15:59	2.302,580
14/8/23 12:15	2.302,579*
10/9/23 12:42	2.302,560
9/10/23 11:49	2.302,535
12/11/23 14:10	2.302,517
26/11/23 14:15	2.302,508*
10/12/23 11:36	2.302,490

L12-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 10:39	2.301,744
26/7/23 11:55	2.301,742*
13/8/23 16:28	2.301,737
14/8/23 12:59	2.301,740*
10/9/23 12:16	2.301,721
9/10/23 12:16	2.301,696
12/11/23 13:44	2.301,679
26/11/23 13:49	2.301,668*
10/12/23 11:07	2.301,656

L12-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
8/7/23 10:54	2.303,873
26/7/23 12:16	2.303,888*
13/8/23 16:53	2.303,894
10/9/23 11:55	2.303,884
9/10/23 12:02	2.303,858
12/11/23 13:07	2.303,827
26/11/23 13:32	2.303,812*
10/12/23 10:50	2.303,784

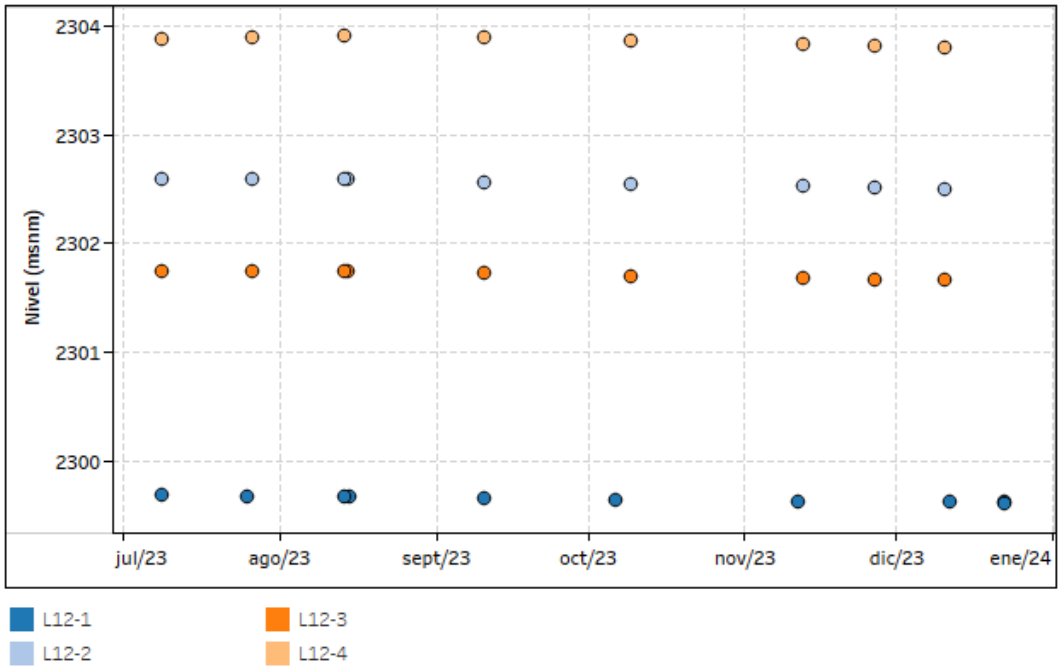
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición.

Tabla 5-72: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA	SQM					
	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
L12-1	1	2	2	1	1	1	2
L12-2		2	2	1	1	2	1
L12-3		2	2	1	1	2	1
L12-4		2	1	1	1	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-49: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.6.1.2 Nivel de agua superficial

En esta sección se presentan los niveles de agua superficial para este sector de Vegas de Tilopozo, que dispone de un punto de medición. En la Tabla 5-73 se muestran las medidas tomadas en este segundo semestre de 2023, en la Tabla 5-74 se muestra el recuento de mediciones efectuadas por cada empresa y

finalmente, en la Figura 5-50 se presentan gráficamente el resultado completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las adicionales.

Cabe notar que el compromiso en este caso son mediciones mensuales realizadas por la SQM desde septiembre de 2022 de acuerdo a las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022, el resto de las mediciones (mayor frecuencia o mediciones realizadas por la ETFA) se presentan de forma adicional, haciendo referencia principalmente a la medición de julio.

Tabla 5-73: Registro de niveles en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo

REGLILLA TILOPOZO	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
8/7/23 11:14	2.309,359
22/7/23 10:38	2.309,350 *
13/8/23 17:22	2.309,334
14/8/23 10:41	2.309,335 *
10/9/23 11:34	2.309,324
9/10/23 11:21	2.309,317
12/11/23 12:43	2.309,313
26/11/23 13:06	2.309,312 *
10/12/23 10:19	2.309,310

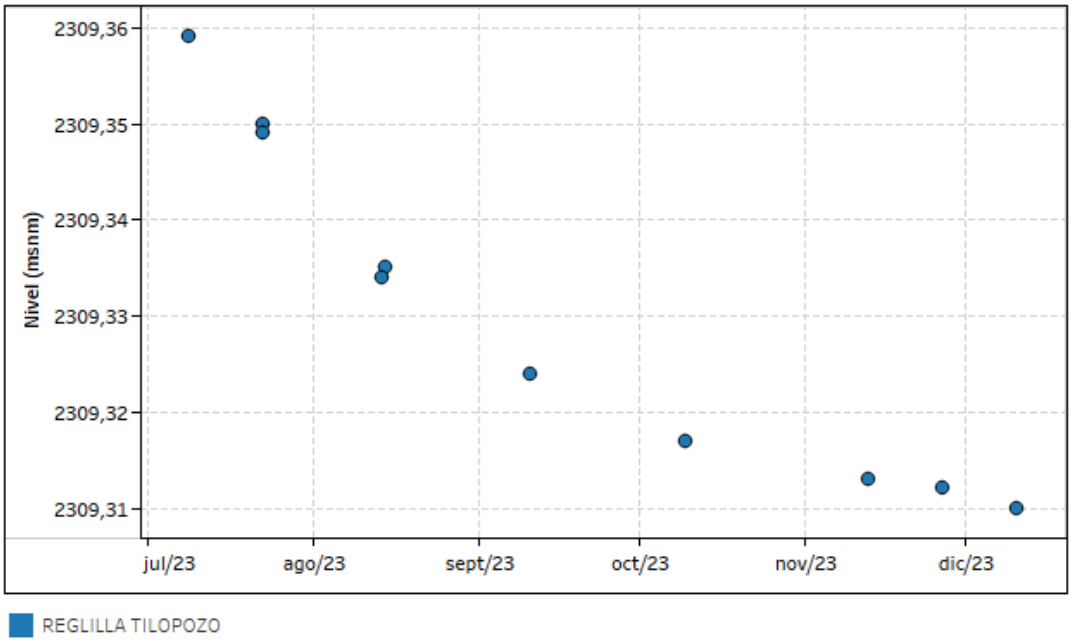
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición.

Tabla 5-74: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA	SQM					
	07/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
REGLILLA TILOPOZO	1	2	2	1	1	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-50: Nivel observado (m.s.n.m.) de la reglilla del sector Vegas de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Núcleo del Salar de Atacama considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (21 puntos), meteorología (1 estación) y calidad química (2 puntos). Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación.

El pozo SOPM-8 (L3-4) pertenece tanto a la red de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana (identificado en la RCA Nº226/2006 como L3-4) 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.

5.1.7.1 Nivel de salmuera

En esta sección se exponen los niveles de los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Núcleo del Salar de Atacama para el segundo semestre de 2023, de acuerdo a la distribución señalada en la Figura 4-11 y en el Anexo 2.

Para facilitar el análisis, los resultados se agruparon en 3 subgrupos de acuerdo con su ubicación; grupo de pozos más alejado de la zona de producción de salmuera, pozos ubicados en las proximidades de la zona de producción, pozos ubicados al norte de zona de producción. A continuación, se muestran los resultados de estos grupos.

5.1.7.1.1 Área alejada de la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 9 pozos. En la Tabla 5-75 se presenta el resultado del monitoreo comprometido, en la Tabla 5-76 se muestra el recuento de las mediciones realizadas por cada empresa y finalmente, en la Figura 5-51 se muestran gráficamente los niveles resultantes del monitoreo, tanto de las mediciones comprometidas como las adicionales.

Cabe notar que el compromiso en este caso son mediciones mensuales realizadas por SQM. El resto de las mediciones (mayor frecuencia o mediciones realizadas por otra empresa) se presentan de forma adicional.

Para el presente semestre reportado, todas las visitas se llevaron a cabo según lo previsto, a excepción del pozo SOPM-11, el cual no pudo ser visitado en septiembre debido a limitaciones de tiempo en la programación que permitía la medición del punto.

Tabla 5-75: Registro de niveles alejado de la zona productiva del núcleo

1001	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/7/23 12:38	2.299,140
4/8/23 10:30	2.299,138
29/8/23 14:50	2.299,132*
25/9/23 11:46	2.299,127
16/10/23 12:24	2.299,125
20/10/23 11:22	2.299,119*
21/11/23 12:02	2.299,114
17/12/23 10:08	2.299,102

2028	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 13:33	2.298,817
28/8/23 14:46	2.298,808
29/9/23 11:44	2.298,799
14/10/23 15:58	2.298,793
9/11/23 14:44	2.298,786
18/12/23 10:30	2.298,774

SOPE-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 12:56	2.298,922
28/8/23 14:12	2.298,920
29/9/23 12:11	2.298,908
14/10/23 10:32	2.298,900
9/11/23 16:13	2.298,897
17/12/23 16:34	2.298,885

SOPM-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/7/23 09:21	2.298,869
19/8/23 10:30	2.298,855
25/9/23 14:00	2.298,852
25/9/23 14:46	2.298,852*
27/9/23 15:11	2.298,859*
13/10/23 09:37	2.298,841
29/11/23 12:11	2.298,830
15/12/23 10:41	2.298,822

SOPM-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 10:26	2.298,902
24/7/23 13:30	2.298,900*
10/8/23 16:11	2.298,896
25/8/23 09:35	2.298,883*
30/9/23 12:00	S/I
13/10/23 11:17	2.298,872
17/11/23 11:49	2.298,867
13/12/23 12:02	2.298,857

SOPM-12C	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/7/23 11:43	2.299,038
4/8/23 09:08	2.299,031
28/8/23 15:30	2.299,027*
29/9/23 15:27	2.299,019
14/10/23 16:35	2.299,014
20/10/23 10:16	2.299,012*
9/11/23 16:55	2.299,010
17/12/23 09:29	2.298,994

SOPM-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 13:12	2.298,888
28/8/23 14:26	2.298,879
29/9/23 12:02	2.298,868
14/10/23 10:18	2.298,859
9/11/23 15:47	2.298,859
18/12/23 09:43	2.298,843

SOPM-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 12:45	2.298,633
24/8/23 10:02	2.298,608
24/9/23 10:56	2.298,608
16/10/23 11:25	2.298,603
19/11/23 10:44	2.298,590
16/12/23 11:51	2.298,585

SOPM-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 12:56	2.298,684
24/8/23 09:50	2.298,659
24/9/23 10:39	2.298,658
16/10/23 11:33	2.298,653
19/11/23 10:31	2.298,639
16/12/23 11:37	2.298,631

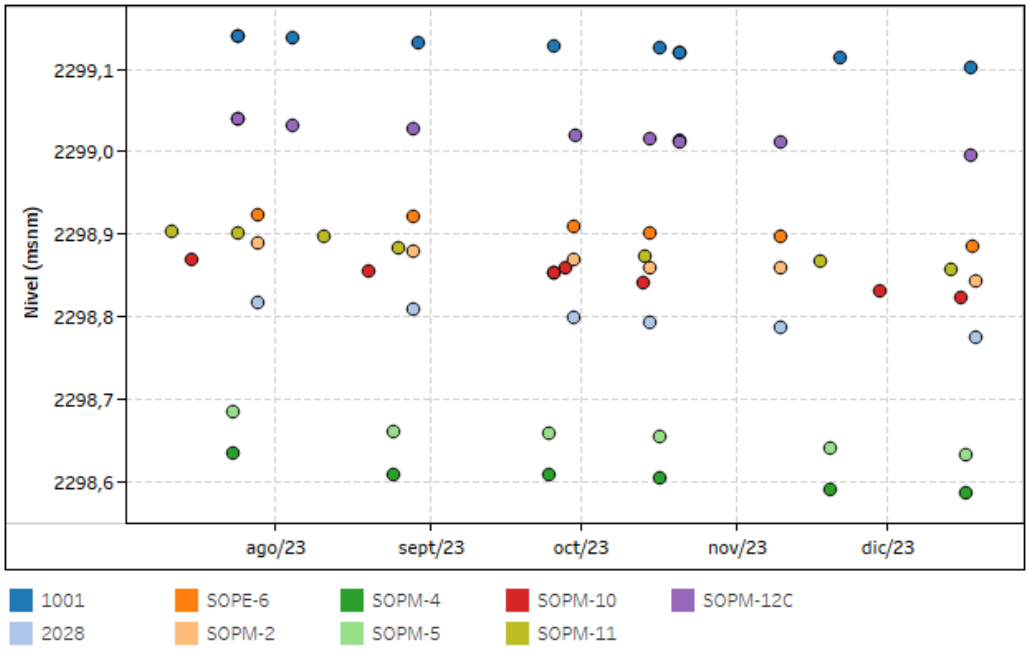
Fuente: Elaboración propia. (*) corresponde a una remedición. S/I: sin información. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA y SQM.

Tabla 5-76: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA		SQM					
	07/23	10/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
1001	1	1	1	2	1	2	1	1
2028			1	1	1	1	1	1
SOPE-6			1	1	1	1	1	1
SOPM-2			1	1	1	1	1	1
SOPM-4			1	1	1	1	1	1
SOPM-5			1	1	1	1	1	1
SOPM-10			1	1	3	1	1	1
SOPM-11			2	2		1	1	1
SOPM-12C	1	1	1	2	1	2	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-51: Nivel observado (m.s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.1.2 Área próxima a la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 9 pozos. En la Tabla 5-77 se presenta el resultado del monitoreo, en la Tabla 5-78 se muestra el recuento de las mediciones realizadas por cada empresa y finalmente, en la

Figura 5-52 se muestran gráficamente los niveles resultantes del monitoreo, tanto de las mediciones comprometidas como las adicionales.

Cabe notar que el compromiso en este caso son mediciones mensuales realizadas por SQM, el resto de las mediciones (mayor frecuencia o mediciones realizadas por otra empresa) se presentan de forma adicional.

Para el presente semestre reportado, todas las visitas pudieron realizarse con la frecuencia comprometida.

Tabla 5-77: Registro de niveles próximos a la zona productiva del núcleo

2040	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 16:08	2.299,114
28/8/23 10:47	2.299,133
29/9/23 15:51	2.299,176
14/10/23 16:52	2.299,178
9/11/23 11:06	2.299,186
18/12/23 13:38	2.299,176

E-101	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 16:17	2.298,738
28/8/23 11:36	2.298,732
29/9/23 16:15	2.298,859
14/10/23 17:09	2.298,872
9/11/23 11:18	2.298,879
18/12/23 10:07	2.298,823

E-324	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 16:28	2.296,598
28/8/23 12:02	2.296,820
30/9/23 08:55	2.296,917
14/10/23 17:21	2.296,925
9/11/23 11:31	2.296,619
18/12/23 10:28	2.296,304

M1-C	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 15:53	2.299,110
28/8/23 10:35	2.299,091
29/9/23 16:02	2.299,112
14/10/23 16:58	2.299,110
9/11/23 10:52	2.299,104
18/12/23 13:46	2.299,105

M2-C	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 16:53	2.289,374
28/8/23 10:06	2.289,149
30/9/23 09:31	2.288,948
17/10/23 09:19	2.288,824
9/11/23 10:30	2.288,664
18/12/23 11:12	2.288,901

M7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 16:39	2.296,474
28/8/23 12:20	2.296,206
30/9/23 09:08	2.296,338
17/10/23 09:00	2.296,318
9/11/23 11:52	2.296,243
18/12/23 10:42	2.295,898

SAMPLE-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 17:16	2.293,583
28/8/23 09:28	2.293,565
30/9/23 10:56	2.293,546
17/10/23 09:48	2.293,536
9/11/23 09:56	2.293,525
18/12/23 12:17	2.293,510

ZAR-C-S	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
28/7/23 17:48	2.295,456
28/8/23 08:54	2.295,444
30/9/23 11:36	2.295,431
17/10/23 10:30	2.295,421
9/11/23 09:01	2.295,413
18/12/23 13:43	2.295,403

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

SAMPLE-4	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
28/7/23 17:16	2.293,583
28/8/23 09:28	2.293,565
30/9/23 10:56	2.293,546
17/10/23 09:48	2.293,536
9/11/23 09:56	2.293,525
18/12/23 12:17	2.293,510

ZAR-C-S	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
28/7/23 17:48	2.295,456
28/8/23 08:54	2.295,444
30/9/23 11:36	2.295,431
17/10/23 10:30	2.295,421
9/11/23 09:01	2.295,413
18/12/23 13:43	2.295,403

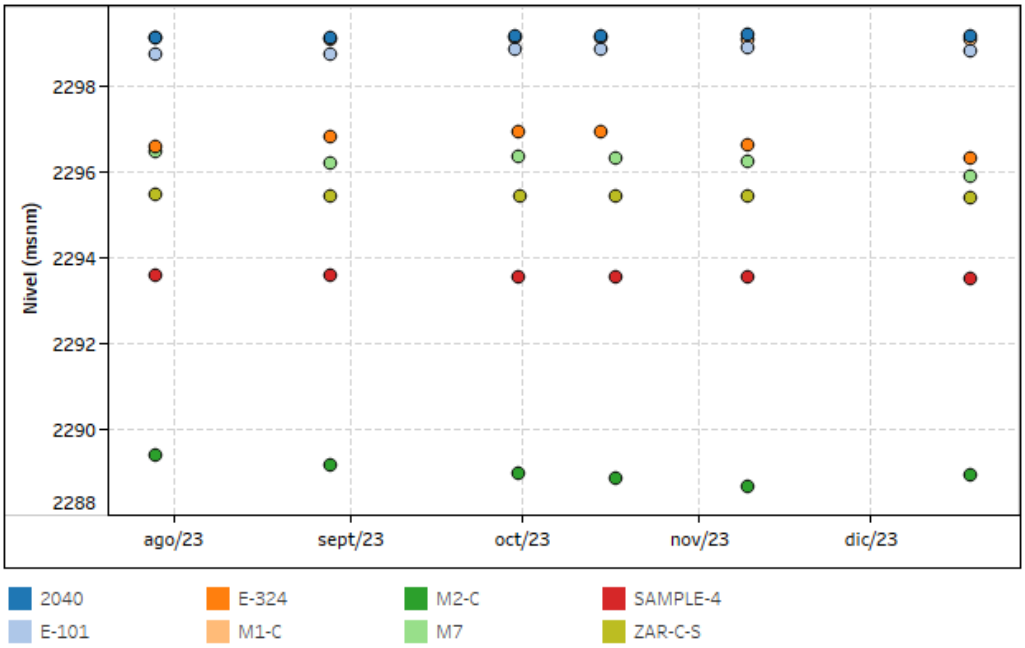
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-78: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
2040	1	1	1	1	1	1
E-101	1	1	1	1	1	1
E-324	1	1	1	1	1	1
M1-C	1	1	1	1	1	1
M2-C	1	1	1	1	1	1
M7	1	1	1	1	1	1
SAMPLE-4	1	1	1	1	1	1
ZAR-C-S	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-52: Nivel observado (m.s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.1.3 Área al norte de la zona productiva

Este subgrupo está conformado por 3 pozos que se sitúan al norte de la zona productiva. En la Tabla 5-79 se presenta el resultado del monitoreo, en la Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-80 se muestra el recuento de las mediciones realizadas por cada empresa y finalmente, en la Figura 5-53 se muestran gráficamente los niveles resultantes del monitoreo, tanto de las mediciones comprometidas como las adicionales.

Cabe notar que el compromiso en este caso son mediciones mensuales realizadas por SQM desde el 06 de septiembre de acuerdo a conciliación de las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022.

Para el presente semestre reportado, todas las visitas pudieron realizarse con la debida frecuencia.

Tabla 5-79: Registro de niveles al norte de la zona productiva del núcleo

1906		C4-B		EIA-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/7/23 10:53	2.298,814	17/7/23 12:57	2.300,986	23/7/23 10:30	2.298,799
24/8/23 10:48	2.298,790	24/8/23 11:21	2.300,969	24/8/23 10:34	2.298,775
29/9/23 10:47	2.298,778	29/9/23 10:11	2.300,963	29/9/23 11:02	2.298,766
16/10/23 10:43	2.298,775	16/10/23 10:18	2.300,963	16/10/23 10:58	2.298,763
19/11/23 11:30	2.298,764	19/11/23 12:21	2.300,961	19/11/23 11:13	2.298,754
16/12/23 12:41	2.298,760	16/12/23 13:19	2.300,962	16/12/23 12:23	2.298,747

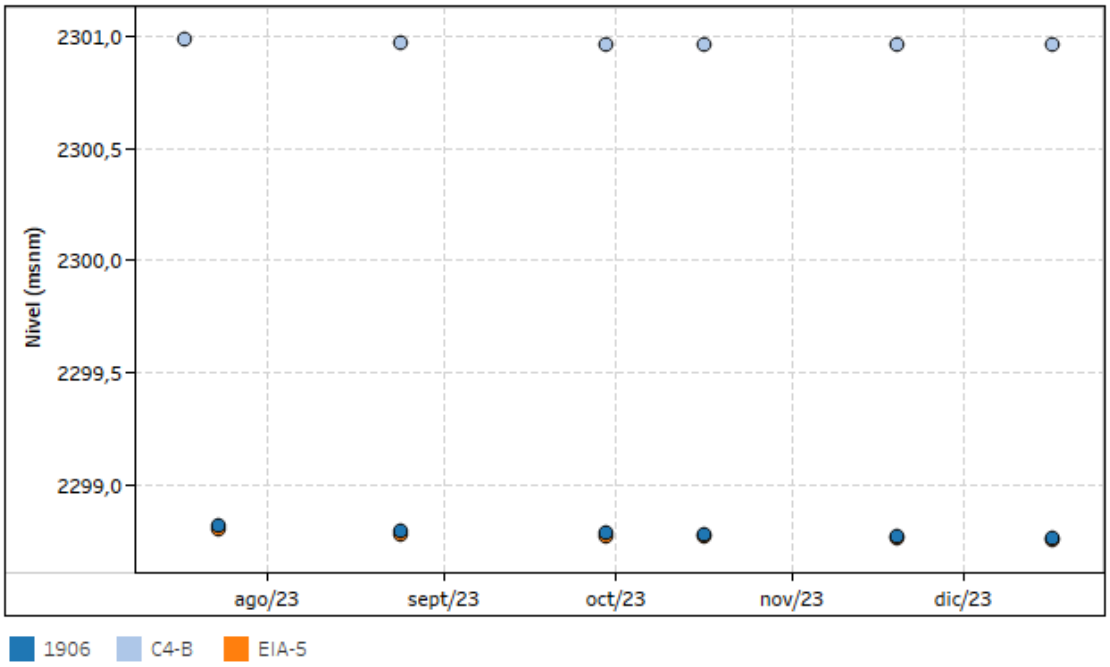
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-80: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
1906	1	1	1	1	1	1
C4-B	1	1	1	1	1	1
EIA-5	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-53: Nivel observado (m.s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.7.2 Meteorología

En la Figura 5-54 se presentan las variables registradas por la estación meteorológica KCL para el período comprendido entre julio y diciembre de 2023. Las variables que forman parte del PSAH son: precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura a nivel diario. En la Tabla 5-81 se presenta un resumen con los principales estadígrafos de las variables meteorológicas medidas, esta información es obtenida de las mediciones continuas en la estación meteorológica del núcleo del salar KCL y la validación posterior de la data continúa generando promedios diarios (ver Anexo 9) tanto para las variables de velocidad del viento, temperatura como evaporación, en el caso de la precipitación se obtiene el acumulado total diario.

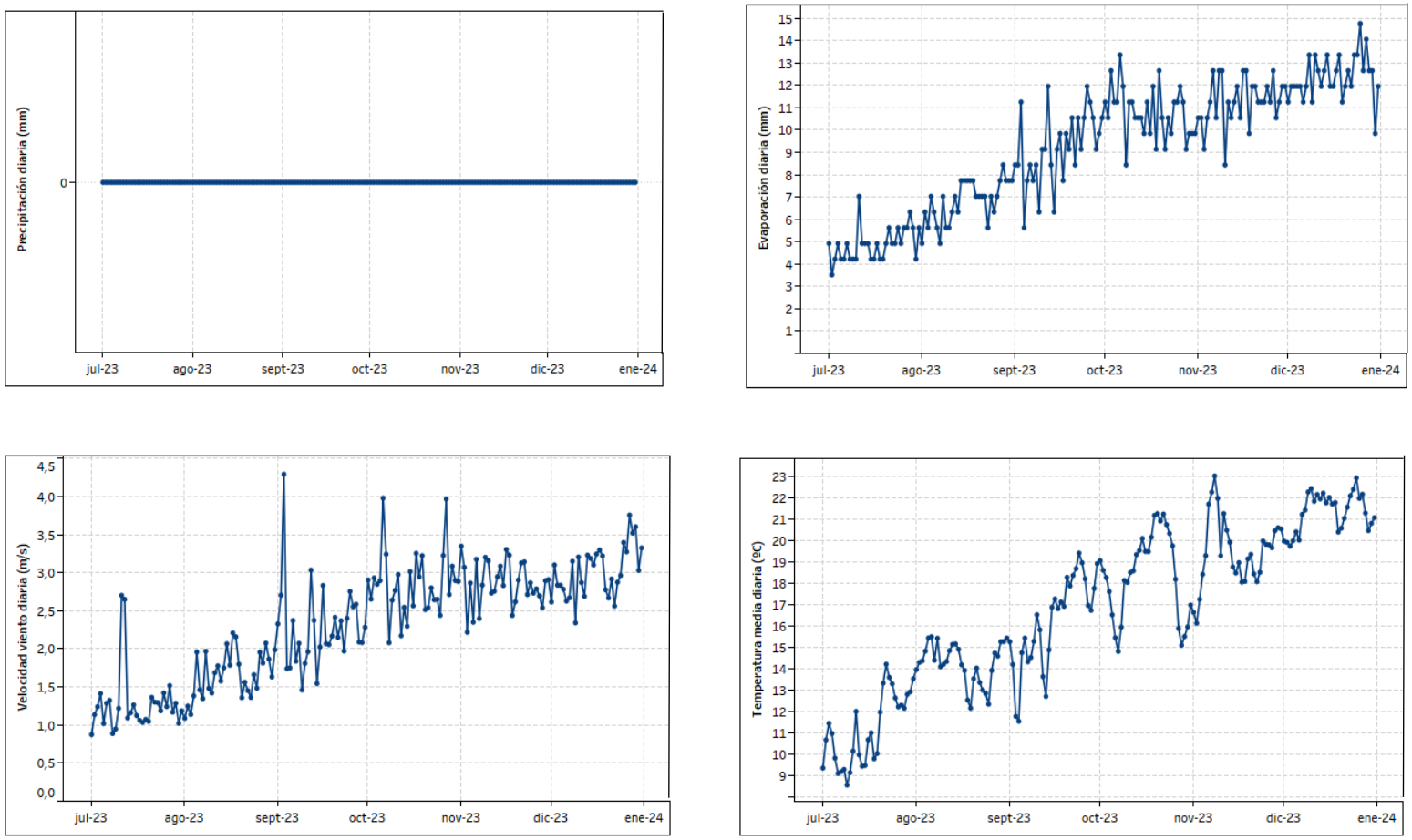
Tabla 5-81: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura en la estación meteorológica de KCL

Parametros	Unidad	Mín. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. están. de Valor
Precipitación*	mm/día	0,00	0,00	0,00	0,00
Evaporación*	mm/día	3,52	14,76	9,21	2,86
Velocidad del viento	m/s	0,87	4,29	2,32	0,77
Temperatura media diaria	ºC	8,57	23,02	16,80	3,77

* Esta variable contempla uno o más periodos de rellenado

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-54: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de KCL



Fuente: Elaboración propia.

5.1.7.3 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Núcleo del Salar de Atacama del segundo semestre del año 2023.

En la Figura 4-11 y en el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Núcleo del Salar de Atacama. En este último se indican las coordenadas y tipo de cada punto de control, las variables ambientales y parámetros de monitoreo comprometidos, además de la frecuencia establecida.

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

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

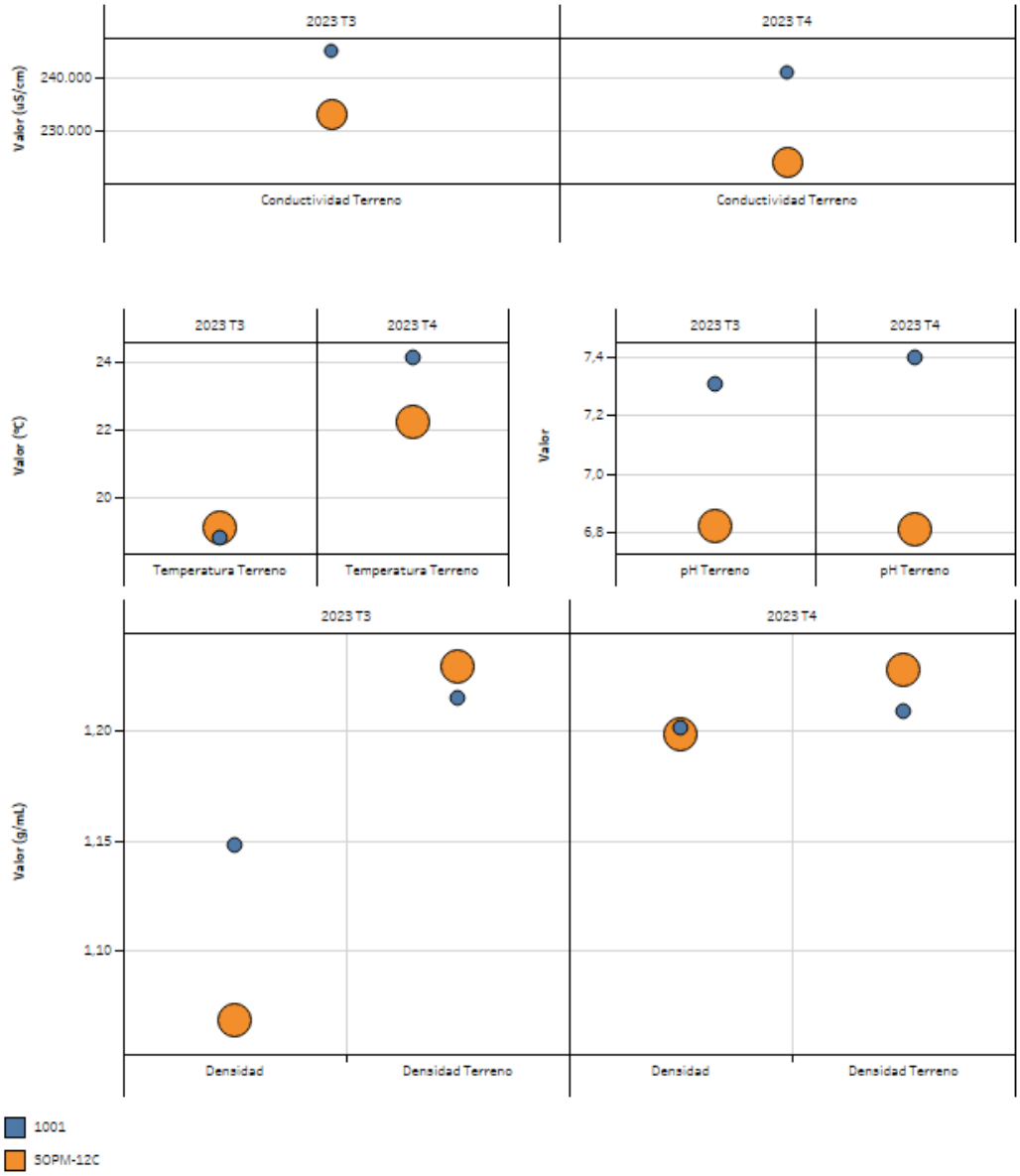
A continuación, en la Tabla 5-82 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de muestras de salmuera tomadas en terreno por SEGEA y analizadas por el laboratorio ALS, a los pozos de monitoreo en el periodo a reportar. Estos resultados se presentan gráficamente en la Figura 5-55. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos.

Tabla 5-82: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama

	1001		SOPM-12C	
Parámetro	julio	octubre	julio	octubre
Conductividad Terreno (uS/cm)	245000	241000	233000	224000
Densidad (g/ml)	1.148	1.201	1.068	1.198
Densidad Terreno (g/ml)	1.215	1.209	1.229	1.228
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	-	-	-	-
pH Terreno (pH)	7.31	7.40	6.82	6.81
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	334040	325310	353120	353290
Temperatura Terreno (ºC)	18.80	24.10	19.10	22.20

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

Figura 5-55: Resultados calidad del agua Sistema Núcleo del Salar de Atacama



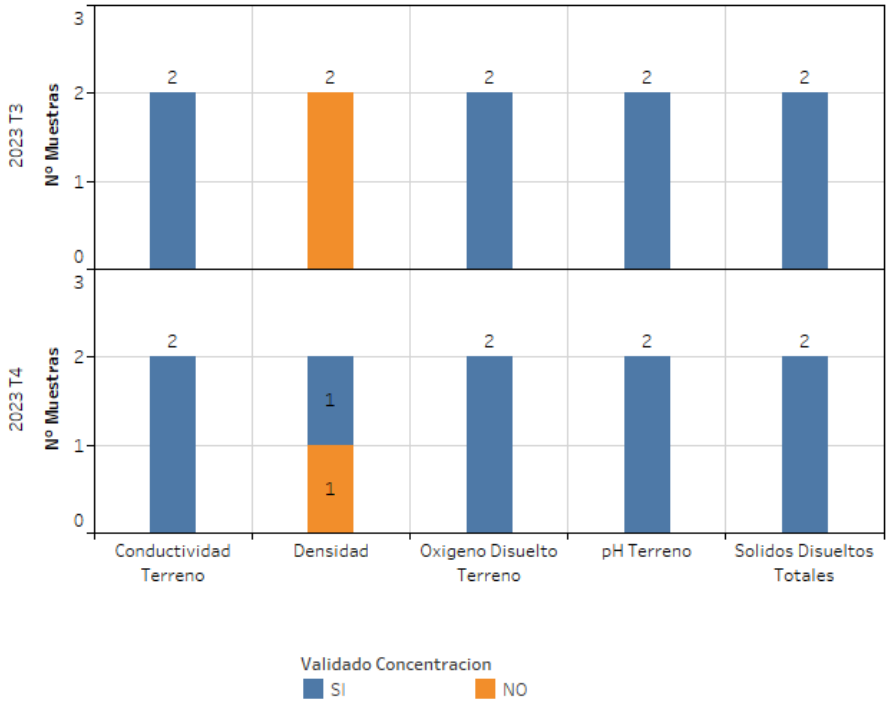
Fuente: Elaboración propia

5.1.7.3.1 Validación resultados

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

Los parámetros analizados se validan mediante la comparación de la concentración actual con el análisis de sus concentraciones históricas, de acuerdo con lo explicado en el apartado 4.5.8. En la Figura 5-56 se observa que para el segundo semestre todos los analitos y parámetros analizados cumplieron con este criterio a excepción de 3 datos de densidad. Esta desviación representa el 15% de los datos analizados en el sistema Núcleo.

Figura 5-56: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Núcleo



Fuente: Elaboración propia

5.1.8 CUÑA SALINA

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico la Cuña Salina considera 9 pozos, agrupados en 3 perfiles, y el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua (1 punto), conductividad eléctrica (8 puntos) y calidad (1 punto). Los resultados obtenidos para el segundo semestre de 2023 se presentan a continuación.

A pesar de que en los 8 puntos de monitoreo de conductividad eléctrica (CE) no se establece la necesidad de cuantificar el nivel freático, SQM realiza el monitoreo mensual a modo de complemento. De esta

manera la Cuña Salina cuenta con 9 puntos de control de nivel de agua subterránea, pero el punto L4-3 se presentó como parte de Sistema Aguas de Quelana, por lo que el resultado del monitoreo de nivel puede ser consultado en la sección 5.1.3. El L10-1 es también del Sistema Peine y ha sido mostrado como parte del monitoreo de dicho Sistema (tanto nivel como calidad).

5.1.8.1 Nivel del agua subterránea

De esta forma, en esta sección se presentan los niveles de los 7 puntos restantes. En la Tabla 5-71 se muestra el resultado del monitoreo para este semestre y en la Tabla 5-84 se muestra el recuento de mediciones realizadas por SQM y SEGEA. En la Figura 5-57 se muestra gráficamente el resultado completo de las mediciones en estos puntos, contando con las mediciones de ambas empresas.

Puede verse que para el segundo semestre de 2023 se han realizado las visitas estipuladas en todos los pozos y para todos los meses, a excepción del Cuña 6 y Cuña 7 donde no se pudo medir en los meses de octubre, noviembre y diciembre, ya que la Comunidad de Peine restringió el acceso en agosto para SQM. Asimismo, la ETFA ha realizado mediciones adicionales para Cuña 5 durante todo el semestre y un par de mediciones en Cuña 7 y una medición puntual para Cuña 4 durante el mes de octubre.

Tabla 5-83: Registro de niveles en pozos para el seguimiento la cuña salina

CUÑA 1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
18/7/23 12:21	2.299,869
19/8/23 12:02	2.299,888
25/9/23 11:03	2.299,887
13/10/23 12:05	2.299,889
29/11/23 14:46	2.299,880
15/12/23 15:24	2.299,871

CUÑA 2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 12:53	2.300,431
18/7/23 12:30	2.300,428 *
15/8/23 13:47	2.300,443
19/8/23 12:11	2.300,440 *
21/9/23 15:23	2.300,434
25/9/23 10:57	2.300,420 *
11/10/23 14:30	2.300,411
15/11/23 13:56	2.300,381
20/12/23 16:41	2.300,339

CUÑA 3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/7/23 10:44	2.318,792
15/8/23 11:05	2.318,800
21/9/23 11:47	2.318,815
11/10/23 11:22	2.318,813
15/11/23 10:56	2.318,817
20/12/23 12:33	2.318,805

CUÑA 4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/7/23 14:31	2.306,178
23/8/23 11:43	2.306,179
27/9/23 16:50	2.306,179
30/10/23 13:44	2.306,176
23/11/23 13:04	2.306,177
21/12/23 11:08	2.306,170

CUÑA 5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
3/7/23 12:12	2.301,179
7/8/23 11:28	2.301,176
11/9/23 11:29	2.301,170
4/10/23 13:43	2.301,163
6/11/23 11:56	2.301,163
11/12/23 10:53	2.301,158

CUÑA 6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
7/7/23 10:06	2.305,210
26/7/23 14:53	2.305,216 *
13/8/23 13:48	2.305,214
14/8/23 16:13	2.305,222 *
28/9/23 12:00	S/I
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

CUÑA 7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/7/23 15:10	2.300,127
27/7/23 13:32	2.300,124 *
11/8/23 16:04	2.300,131
31/10/23 12:00	S/I
30/11/23 12:01	S/I
31/12/23 12:00	S/I

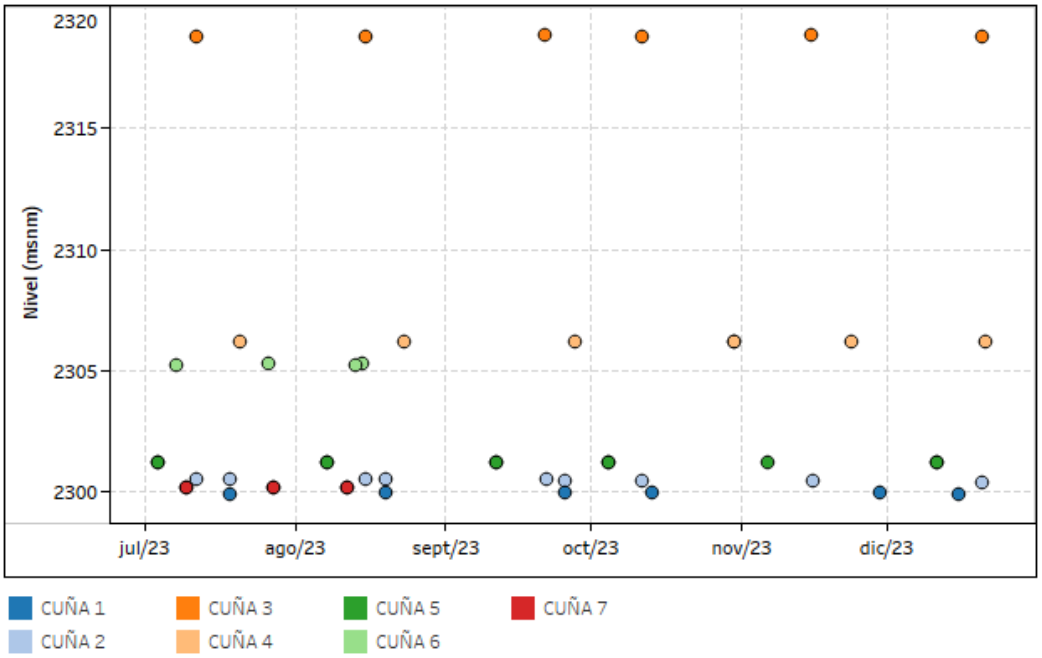
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) corresponde a una remedición.

Tabla 5-84: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA					SQM					
	07/23	08/23	09/23	10/23	12/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
CUÑA 1						1	1	1	1	1	1
CUÑA 2						2	2	2	1	1	1
CUÑA 3						1	1	1	1	1	1
CUÑA 4				1		1	1	1	1	1	1
CUÑA 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CUÑA 6						2	2				
CUÑA 7	2	1				2	1				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-57: Nivel observado (m.s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina



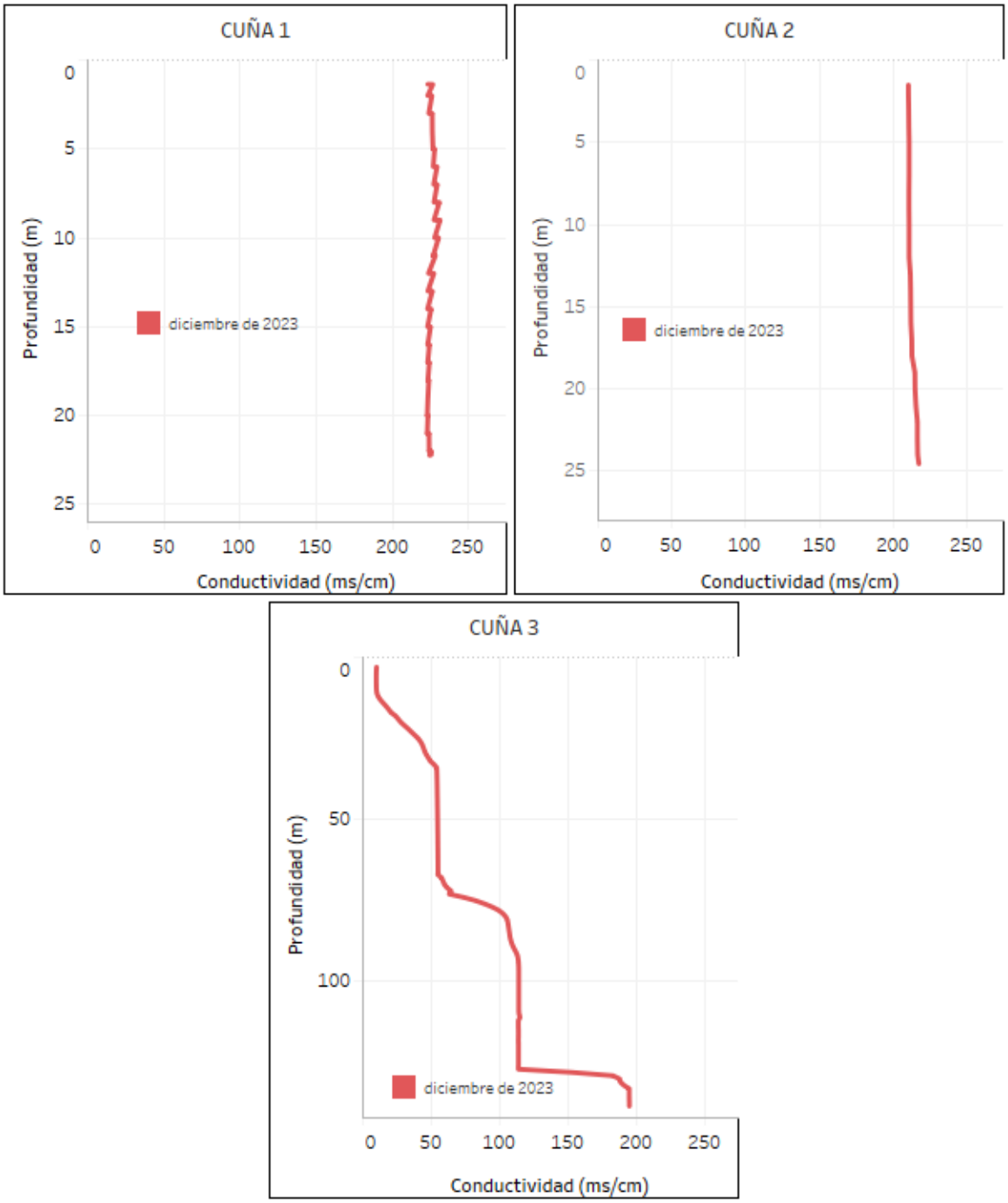
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.8.2 Calidad química

En el segundo semestre de 2023, los perfiles de conductividad fueron medidos en todos los pozos a excepción en el mes de septiembre, octubre, noviembre y diciembre en Cuña 6 y en el punto Cuña 7 y en los meses de septiembre, octubre y noviembre en el L10-1, esto debido por restricción de acceso por parte de la comunidad de Peine.

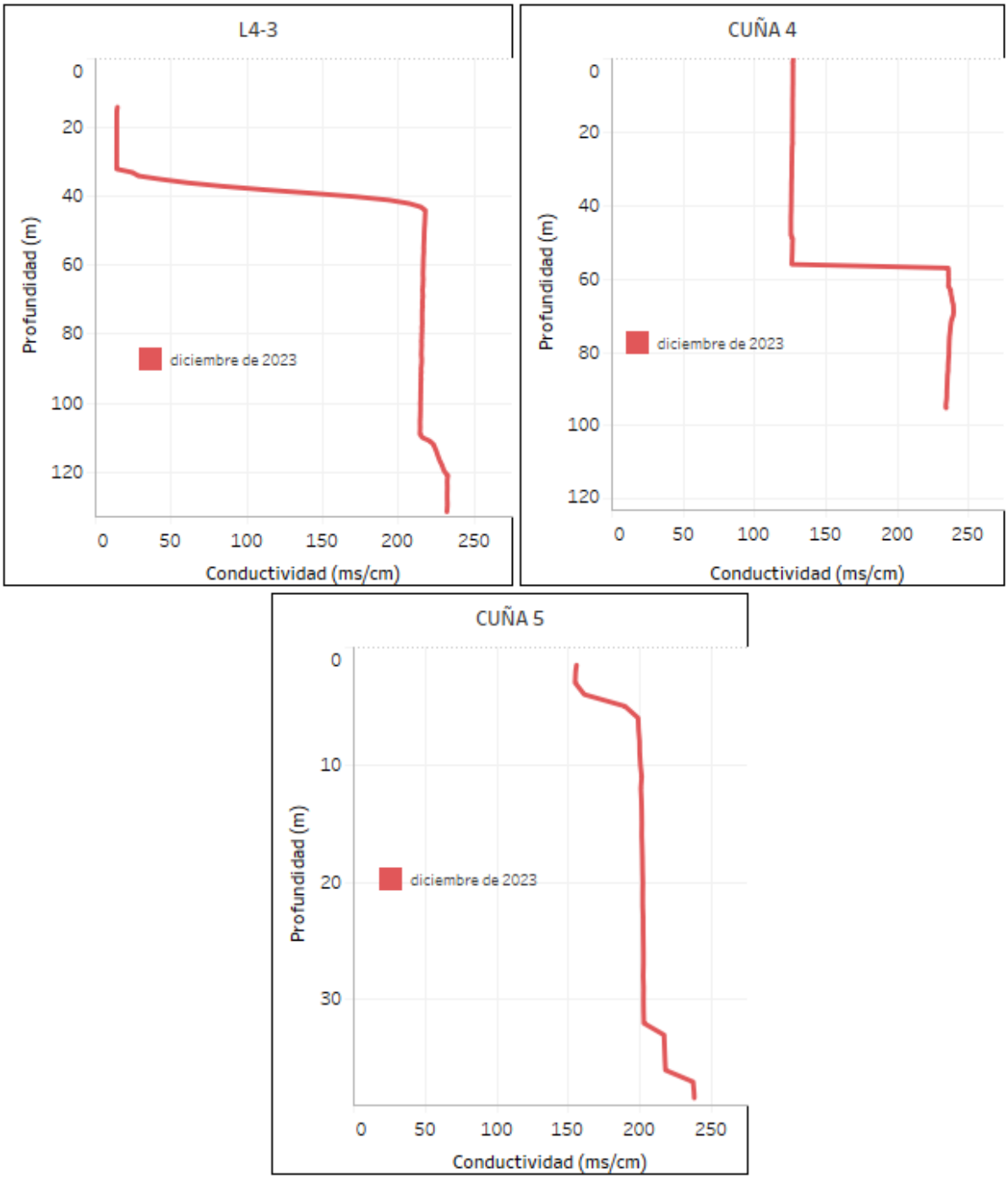
Las mediciones del perfil de CE obtenidas durante el presente período de reporte en los pozos monitoreados se presentan en la Figura 5-58, Figura 5-59 y Figura 5-60, ordenados de norte a sur para cada perfil cuña. La Figura 5-58 presenta los perfiles de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 y la Figura 5-59 presenta los perfiles de CE para los pozos L4-3, Cuña 4 y Cuña 5 y finalmente los perfiles de CE de L10-1, Cuña 6 y Cuña 7 en la Figura 5-60. Además, en el Anexo 6.2 se entregan todos los valores según el formato definido por la RES.894/2020.

Figura 5-58: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 a diciembre de 2023



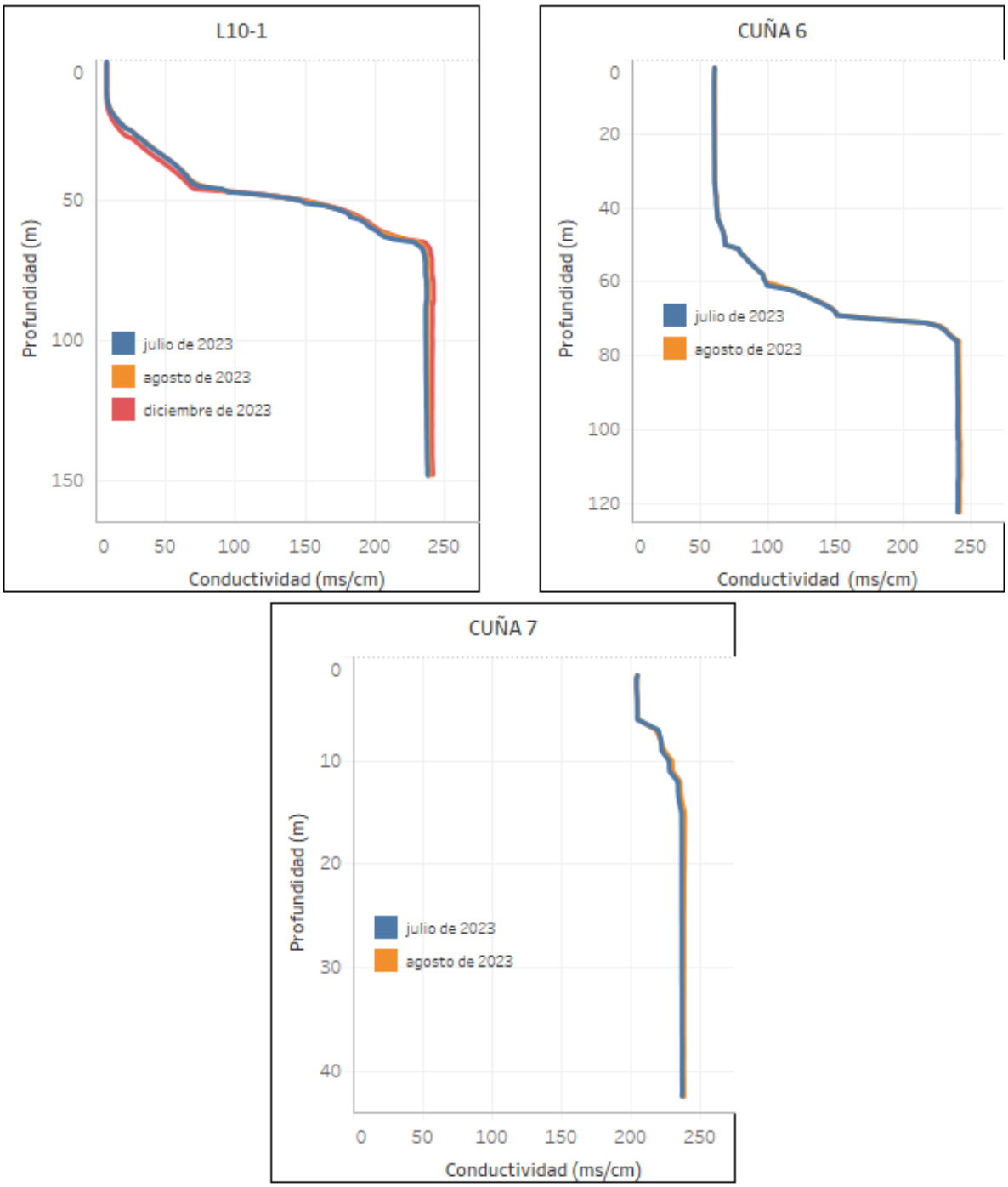
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-59: Registro de CE para los pozos L4-3 y Cuña 4 a diciembre de 2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-60: Registro de CE para los pozos L10-1, Cuña 6 y Cuña 7 a diciembre 2023



Fuente: Elaboración propia.

5.2 MONITOREO Y ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS

A continuación, se presentan los registros de nivel de agua/salmuera subterránea obtenidos en el período reportado en los indicadores de estado que conforman el Plan de Contingencias definido en la sección 4.3.8 del presente informe. Según lo indicado en dicha sección, en el presente informe se consideran los siguientes sistemas objeto del Plan de Contingencias (Tabla 5-85).

Tabla 5-85: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno

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

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes secciones, los resultados del monitoreo en cada indicador de estado se muestran en forma numérica y gráfica organizados por sistemas, junto con los umbrales de activación de medidas de contingencia definidos para cada uno de ellos (Fase I, Fase II o ambas, en función de cada caso particular). Debido a que, a partir de diciembre de 2018, existe el compromiso de monitorear los indicadores con frecuencia diaria, y para facilitar la presentación y análisis de la información recopilada durante el periodo reportado, en esta sección se presentan las tablas de resultados sólo con los valores mínimos y máximos mensuales de nivel o descenso, según corresponda, mientras que en los gráficos se presenta la totalidad de las mediciones realizadas.

Es importante mencionar que la ETFA realiza mediciones diarias para los indicadores de estado. Adicionalmente, SQM lleva a cabo mediciones mensuales o incluso dos veces al mes para contrastar el monitoreo de la ETFA. En las tablas siguientes de este capítulo, los valores mínimos y máximos se calculan a partir de las mediciones diarias de SEGEA, ya que éstas son las comprometidas.

Finalmente, cabe destacar que en el apartado anterior (5.1 Monitoreo de variables del Plan de Seguimiento) se describió el contexto del monitoreo de cada uno de estos indicadores, incluyendo situaciones que pudieron impedir el acceso a los puntos y medidas adicionales efectuadas por SQM u otra entidad a cargo de la auditoría ambiental independiente. El objetivo del presente apartado es comparar los resultados del segundo semestre del 2023 con los umbrales respectivos y hacer especial mención a aquellas situaciones en que se haya activado alguna de las fases del PC.

En la Tabla 5-86 se presenta un resumen del estado en que se encuentran todos los indicadores para este segundo semestre de 2023; puede verse que, al término del presente periodo de reporte, los indicadores los indicadores L1-5 y L1-G4 REGLILLA del Sistema Soncor permanecieron con la Fase II activada, presentándose adicionalmente la activación del indicador L1-4 ocurrida en noviembre de 2023. En el sistema Aguas de Quelana el indicador L4-12 activo Fase I durante diciembre de 2023, por otro lado, durante el mismo semestre el indicador L5-10 salió de Fase I durante julio, activación que arrastraba desde mayo de 2023, sin embargo, durante agosto se vuelve activar Fase I, para que finalmente, durante octubre se sobrepasara el umbral de Fase II.

En el sistema Vegetación Borde Este – Bea Atriplex se presentó la activación de Fase I del indicador L2-28 durante noviembre de 2023 (ver Tabla 5-86). A continuación, se muestra con más detalle cada uno de los sistemas. El análisis de la superación de umbrales y sus causas, en caso de existir, se presentan en el Capítulo 6 del presente informe (capítulo de discusión).

Tabla 5-86: Estado del Plan de Contingencias

Compromiso	Sistema	Subsistema	Indicador de Estado	2023 julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
RCA 226/2006	Soncor	Soncor	L1-4	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase II activada	Fase II activada
			L1-5	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada
			L1-G4 REGLILLA	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada	Fase II activada
			L7-4	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
	Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	L3-5	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L3-9	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L4-8	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L4-12	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L5-8	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L5-10	Fase I activada	Sin fases activadas	Fase I activada	Fase I activada	Fase II activada	Fase II activada
	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L2-25	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L3-11	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L4-3	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L7-13	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L9-1	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
		Brea-Atriplex	L1-3	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada
			L2-7	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L2-28	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Sin fases activadas	Fase I activada	Fase I activada
			L3-3	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L4-7	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L7-6	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada
			L9-1	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
		Hidromorfa	L1-17	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L2-4	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L2-27	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L3-5	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L4-10	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L7-3	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
PdC presentado en proceso SMA F-041-2016	Peine	Alerta Temprana	1028	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada
			L10-4	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada
			L10-11	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada	Fase I activada
			PN-05B_RWL	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			PN-08A_RWL	Sin fases activadas	Sin información	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Fase II activada
Pozos adicionales	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L2-26	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L3-15	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
		Brea-Atriplex	L2-25	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L4-17	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L7-14	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas
			L9-2	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas	Sin fases activadas

Fase I activada · Fase II activada · Sin fases activadas · Sin información

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1 SISTEMA SONCOR

Los piezómetros L1-5, L7-4 y L1-4, así como el L1-G4 Reglilla, son los indicadores de estado que conforman el Plan de Contingencias del Sistema Soncor. La frecuencia de medición en estos cuatro indicadores es diaria, según lo establecido en la Acción 5 del PdC. Aunque las medidas diarias son tomadas por ETFA SEGEA, SQM también realiza mediciones adicionales para contrastar los resultados y asegurar un mejor seguimiento de los indicadores de estado, como se describió en el capítulo 5.1 (Resultados del Monitoreo). Además del monitoreo manual, SQM cuenta con un transductor de presión en el punto L7-4 para medir continuamente el nivel.

Los resultados del monitoreo de nivel en estos indicadores, junto con los umbrales correspondientes se presentan de forma numérica (Tabla 5-87) y gráfica (Figura 5-61, Figura 5-62, Figura 5-63 y Figura 5-64); en la tabla se indican los registros manuales mensuales máximos y mínimos obtenidos por SEGEA, y gráficamente se presentan las mediciones manuales diarias junto con los resultados del monitoreo continuo (en el caso que corresponda), y los umbrales de cada indicador. Todos los niveles de agua/salmuera se expresan en m.s.n.m. y datum WGS-84 considerando elipsoide de referencia GRS80.

Según la información presentada, los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla comenzaron el segundo semestre del 2023 con la Fase II activada, debido a su activación en abril de 2021. Además, el punto L1-4 también inició el semestre en Fase I luego de haber activado en mayo de 2023, ahora bien, tal como se ha mencionado sucedieron diversos registros sobre y bajo umbral de activación asociados a los datos continuos de nivel medidos en el Pozo L1-4 el dia 20 de noviembre de 2023. En este sentido y considerando las autorizaciones de ingreso al Sector Soncor, respecto de la medición realizada el 20 de noviembre de 2023, a las 09:11 horas, se registró en el pozo L1-4, una medición de nivel de 2.299,719 msnm, dato medido desde el punto de referencia, que constituye un nivel inferior al umbral de activación para la Fase I (2.299,720 msnm), de acuerdo con el Considerando 11.2.2 de la RCA.

Respecto de los análisis efectuados sobre las causas de activación y el efecto de la medida implementada, es necesario destacar que, tal y como en dichos informes de investigación (Informe de Investigación Fase II del Plan de Contingencias SQM Salar de Atacama, punto de monitoreo L1-4 entregado en febrero 2022) se detalla y justifica, el pozo L1-4 está definido en la RCA 226/2006 como un indicador que debe dar cuenta de la actividad de agua en el acuífero aluvial. Sin embargo, este punto se encuentra en un sector del

sistema Soncor desconectado hidráulicamente del acuífero de agua, por encontrarse al otro lado de la interfaz salina. Por tanto, este indicador no es representativo de la condición del acuífero aluvial y por consiguiente no responde al propósito con el que fue diseñado. En definitiva, este indicador no es idóneo como mecanismo de alerta temprana para el seguimiento del estado del objeto de protección.

Por otro lado, el punto L7-4, según las mediciones mensuales disponibles, junto con las mediciones continuas, no se ha superado ningunos de los dos umbrales del PC para este periodo en cuestión.

Tabla 5-87: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes

L1-5		
Umbral Fase I	2.299,40	
Umbral Fase II	2.299,29	
	Nivel (m s.n.m.)	
Mes	**Min**	**Max**
Jul 2023	2.299,016	2.299,046
Ago 2023	2.299,001	2.299,015
Sep 2023	2.298,992	2.299,002
Oct 2023	2.298,981	2.298,992
Nov 2023	2.298,969	2.298,981
Dic 2023	2.298,957	2.298,969

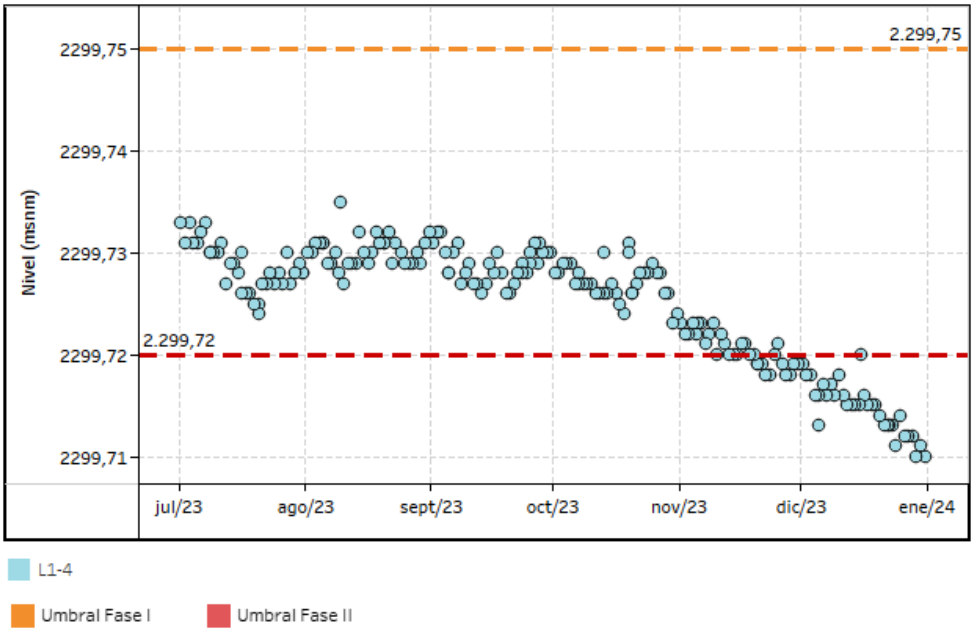
L7-4		
Umbral Fase I	2.302,20	
Umbral Fase II	2.302,18	
	Nivel (m s.n.m.)	
Mes	**Min**	**Max**
Jul 2023	2.302,267	2.302,269
Ago 2023	2.302,275	2.302,276
Sep 2023	2.302,279	2.302,280
Oct 2023	2.302,275	2.302,276
Nov 2023	2.302,261	2.302,261
Dic 2023	2.302,251	2.302,251

L1-G4 REGLILLA		
Umbral Fase I	2.299,46	
Umbral Fase II	2.299,30	
	Nivel (m s.n.m.)	
Mes	**Min**	**Max**
Jul 2023	2.299,064	2.299,090
Ago 2023	2.299,046	2.299,063
Sep 2023	2.299,032	2.299,047
Oct 2023	2.299,019	2.299,031
Nov 2023	2.299,007	2.299,019
Dic 2023	2.298,994	2.299,007

L1-4		
Umbral Fase I	2.299,75	
Umbral Fase II	2.299,72	
	Nivel (m s.n.m.)	
Mes	**Min**	**Max**
Jul 2023	2.299,724	2.299,733
Ago 2023	2.299,727	2.299,735
Sep 2023	2.299,726	2.299,732
Oct 2023	2.299,723	2.299,731
Nov 2023	2.299,718	2.299,723
Dic 2023	2.299,710	2.299,720

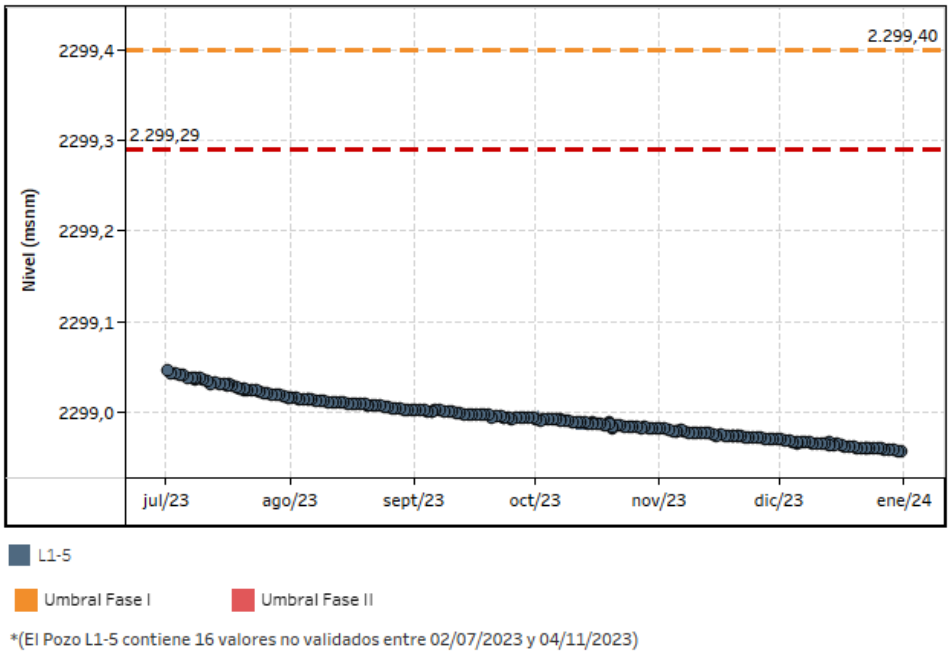
Fuente: Elaboración propia. S/I: Sin Información. Sistema referencia WGS-84. El sombreado amarillo indica valores inferiores a la Fase I del PC. El sombreado naranjo indica valores inferiores a la Fase II del PC.

Figura 5-61: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



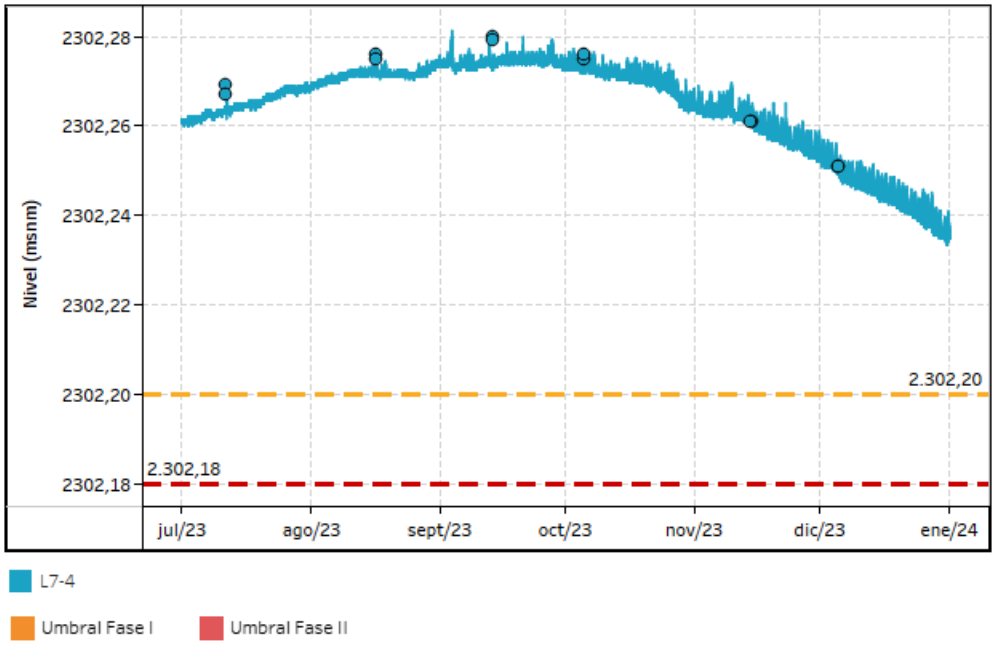
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-62: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

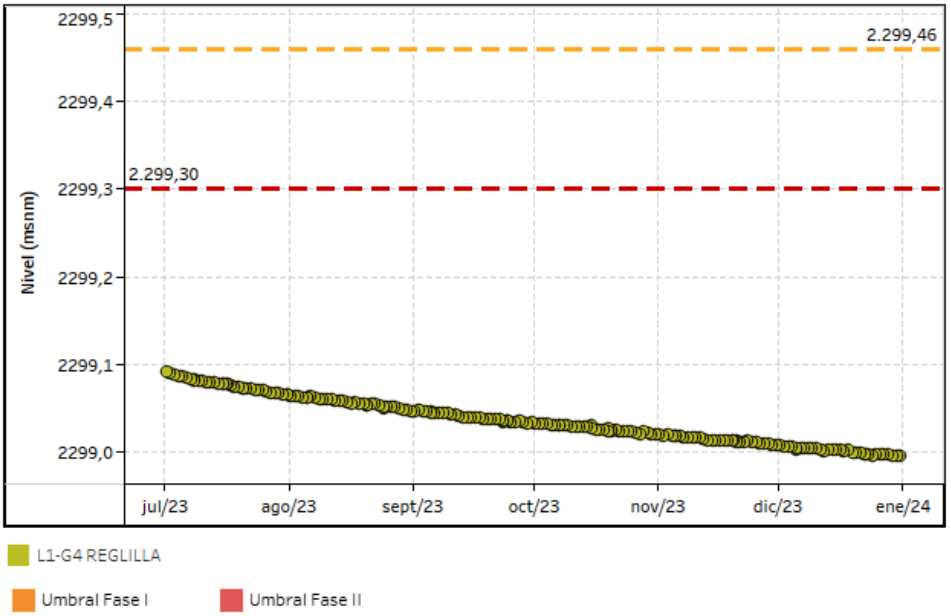
Figura 5-63: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



*(El Pozo L7-4 contiene 118 valores no validados entre 11/07/2023 y 14/11/2023)

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-64: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado L1-G4 Reglilla del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



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 y L4-8, L4-12, L5-8 y L5-10. Se realizaron las mediciones manuales con frecuencia diaria en los puntos en los que no se tuvo restricción de acceso, según lo comprometido en el PdC. Tal como se ha mencionado para otros sistemas, SQM realiza mediciones adicionales a las realizadas por la ETFA SEGEA con el objetivo de contrastar resultado, asegurando un mejor seguimiento a los indicadores de estado.

Adicionalmente al monitoreo manual, en todos los puntos indicadores de este sistema, SQM dispone de un transductor de presión para medición continua de nivel.

Los niveles resultantes se han mostrado en el anterior apartado 5.1; en este apartado se muestran los descensos resultantes en comparación con los umbrales del PC. De esta forma se presentan numéricamente en la Tabla 5-88 y de forma gráfica en la Figura 5-65. En las tablas se muestran los valores de descensos mensuales máximos y mínimos obtenidos a partir de mediciones manuales de SQM, y gráficamente se presentan todos los resultados de los descensos diarios, junto con los valores del monitoreo continuo y las mediciones de la ETFA (en forma de descenso calculado).

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

Durante el segundo semestre 2023, los indicadores L3-5, L3-9, L4-8, L4-12 y L5-8 se han mantenido por sobre los umbrales de Fase, sin producir por tanto activación en ningún caso.

Sin embargo, el indicado L5-10, tal como se mencionó en el informe PSAH N°32, su nivel continuo se encontraba en Fase II desde 2022. No obstante, debido al evento de precipitaciones de febrero de 2023, su nivel aumentó, lo que permitió la desactivación de las Fases II y I el 04 y 06 de febrero, respectivamente. Este aumento de nivel perduro un par de semanas hasta que el pozo recuperó su tendencia de descenso, reactivando Fase I el 29 de marzo de 2023. Esta tendencia de Fase I se mantuvo hasta el 11 de julio de 2023, donde desactiva Fase I producto de la estacionalidad propia del sector. Este fenómeno suele manifestarse con patrones marcados, como picos en los meses de invierno y valles en los meses de verano.

Ya saliendo del invierno, exactamente el 30 de agosto de 2023, el indicador vuelve a ingresar a la fase de descensos activando Fase I, para que, más cerca del verano el indicador activara Fase II el dia 20 de octubre de 2023. El informe de investigación asociada a esta activación se entregó a la autoridad el 20 de noviembre de 2023 a través de la carta GMAL 454/2023 el cual da cuenta de que la activación se produce por las extracciones de salmuera y la disminución de las precipitaciones que se viene produciendo desde 2020. Adicionalmente, hay evidencia de que la activación de la Fase II no tiene relación con el bombeo de agua industrial llevado a cabo por SQM en el Borde Este.

En relación al indicador L4-12 el nivel continuo activó Fase I el 12 de diciembre de 2023. Aunque en función de los datos continuos, estos experimentaron oscilaciones cercanas a la fase que generaban desactivaciones y activaciones temporales durante el mismo dia. La condición de Fase I se ha mantenido hasta el cierre del periodo en reporte.

Tabla 5-88: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes

L3-5		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,325	-0,296
Ago 2023	-0,337	-0,323
Sep 2023	-0,343	-0,335
Oct 2023	-0,343	-0,330
Nov 2023	-0,332	-0,295
Dic 2023	-0,293	-0,250

L3-9		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,025	0,026
Ago 2023	0,013	0,015
Sep 2023	0,002	0,003
Oct 2023	S/I	0,001
Nov 2023	0,010	0,010
Dic 2023	0,023	0,024

L4-8		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,008	-0,007
Ago 2023	-0,011	-0,010
Sep 2023	-0,009	-0,008
Oct 2023	-0,003	-0,003
Nov 2023	0,001	0,001
Dic 2023	0,004	0,005

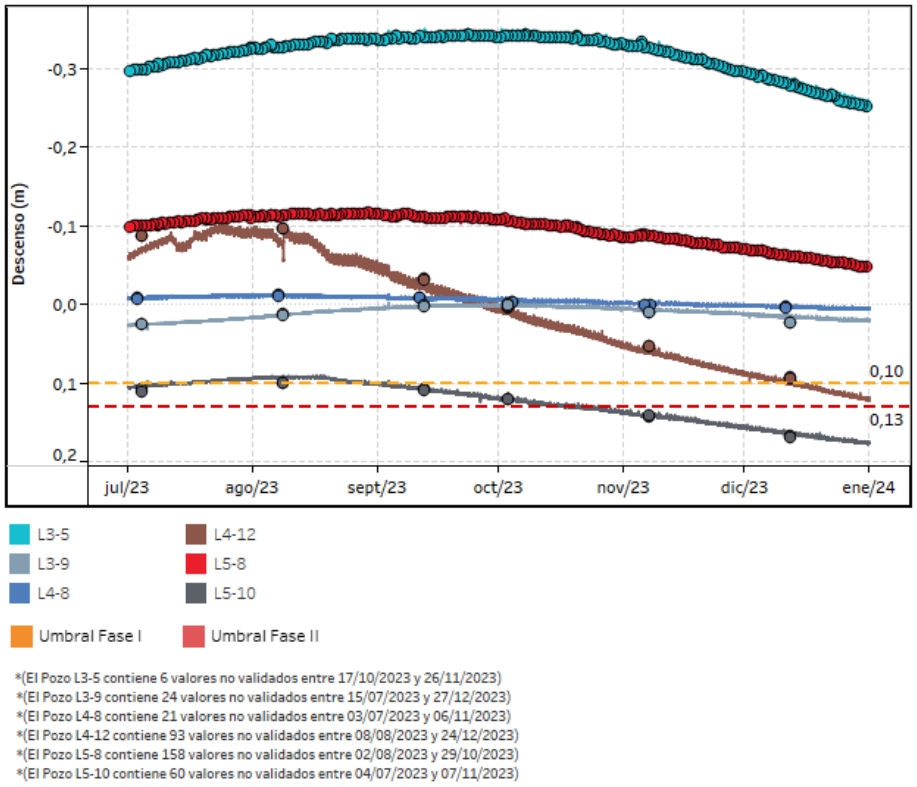
L4-12		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,086	-0,086
Ago 2023	-0,096	-0,096
Sep 2023	-0,033	-0,031
Oct 2023	0,004	0,005
Nov 2023	0,053	0,054
Dic 2023	0,093	0,095

L5-8		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,112	-0,097
Ago 2023	-0,116	-0,111
Sep 2023	-0,115	-0,107
Oct 2023	-0,108	-0,085
Nov 2023	-0,089	-0,069
Dic 2023	-0,069	-0,048

L5-10		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,108	0,111
Ago 2023	0,100	0,100
Sep 2023	0,108	0,110
Oct 2023	0,120	0,121
Nov 2023	0,142	0,143
Dic 2023	0,167	0,169

Fuente: Elaboración propia. Color amarillo: Niveles bajo el umbral de Fase I, Color naranjo: Niveles bajo umbral de Fase II. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-65: 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. La frecuencia de medición comprometida en estos 6 indicadores es diaria, de acuerdo con el PdC propuesto a la SMA. Adicionalmente al monitoreo manual, se cuenta con las mediciones continuas en el piezómetro L3-5, según lo comprometido en la RCA Nº226/2006.

Los resultados del monitoreo en el periodo reportado en estos indicadores se presentan de forma numérica (Tabla 5-89) y gráfica (Figura 5-66). n la tabla, se muestran los valores de descensos mensuales máximos y mínimos obtenidos a partir de mediciones manuales de SEGEA, y gráficamente se presentan todos los descensos diarios, incluyendo los resultados del monitoreo continuo, los umbrales de cada indicador y las mediciones de la ETFA (en forma de descenso calculado).

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 33 cm, mientras que para la Fase II, el descenso máximo fijado es de 38 cm. Lo anterior es respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control (mayo de 2007).

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 33 cm, mientras que para la Fase II, el descenso máximo fijado es de 38 cm. Lo anterior es respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control (mayo de 2007).

Para el este semestre reportado, todos los puntos han podido ser medidos con la frecuencia estipulada, exceptuando el pozo L4-10 que, debido a restricciones de acceso a la Reserva Nacional de los Flamencos, solo se puede visitar dos veces por mes. Además, se cuentan con las mediciones continuas en los casos correspondientes. Los indicadores de este grupo han registrado todos los niveles por sobre los umbrales de fase, por lo que no se ha registrado ninguna activación durante el presente semestre reportado.

Tabla 5-89: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este Vegetación Hidromorfa

L7-3		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,124	0,156
Ago 2023	0,108	0,124
Sep 2023	0,107	0,122
Oct 2023	0,122	0,161
Nov 2023	0,160	0,206
Dic 2023	0,209	0,258

L2-4		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,008	0,003
Ago 2023	-0,009	-0,003
Sep 2023	-0,005	0,008
Oct 2023	0,009	0,026
Nov 2023	0,025	0,044
Dic 2023	0,045	0,075

L3-5		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,325	-0,296
Ago 2023	-0,337	-0,323
Sep 2023	-0,343	-0,335
Oct 2023	-0,343	-0,330
Nov 2023	-0,332	-0,295
Dic 2023	-0,293	-0,250

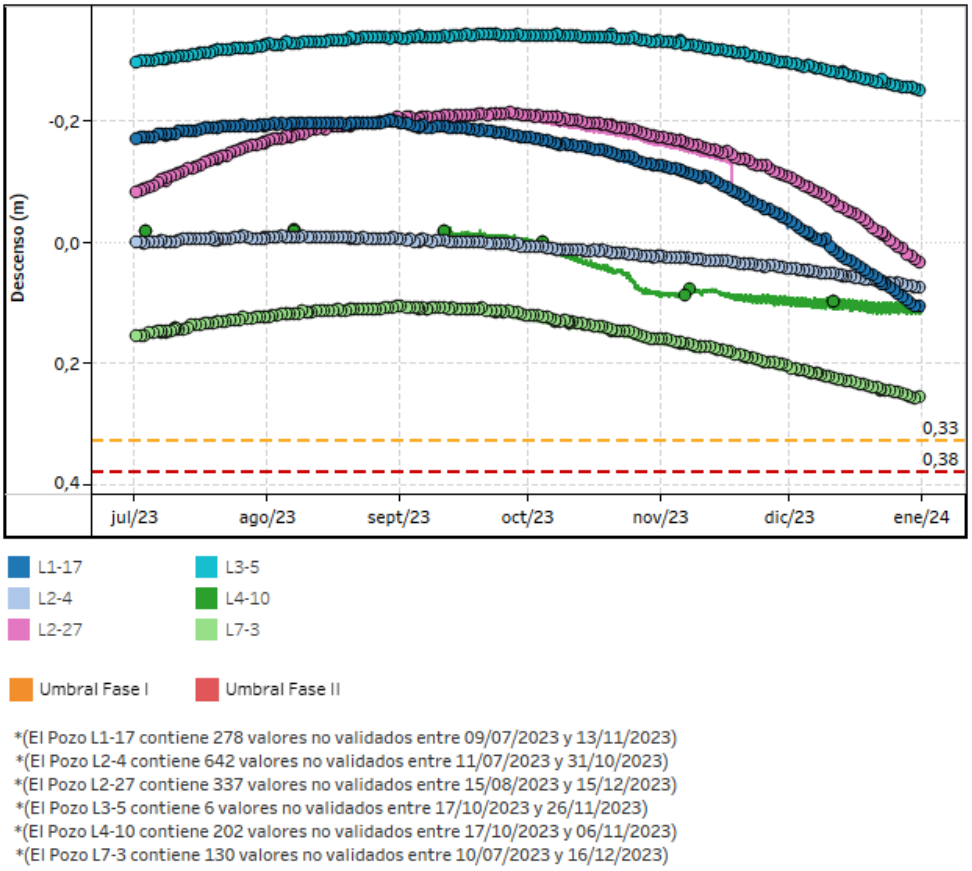
L4-10		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,017	-0,016
Ago 2023	-0,019	-0,018
Sep 2023	-0,016	-0,016
Oct 2023	0,001	0,002
Nov 2023	0,078	0,089
Dic 2023	0,100	0,100

L1-17		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,193	-0,170
Ago 2023	-0,199	-0,192
Sep 2023	-0,195	-0,173
Oct 2023	-0,171	-0,126
Nov 2023	-0,124	-0,037
Dic 2023	-0,033	0,108

L2-27		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,163	-0,081
Ago 2023	-0,204	-0,166
Sep 2023	-0,212	-0,200
Oct 2023	-0,207	-0,173
Nov 2023	-0,171	-0,108
Dic 2023	-0,104	0,034

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

Figura 5-66: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa



Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: VEGETACIÓN BREA-ATRIPLEX

Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Brea-Atriplex son los piezómetros L1-3, L2-7, L2-28, L3-3, L4-7, L7-6 y L9-1. La frecuencia de medición en estos 7 indicadores está definida como diaria, de acuerdo con lo comprometido en el PdC. Adicionalmente al monitoreo manual, se disponen de mediciones continuas en el piezómetro L4-7, según lo comprometido en la RCA Nº 226/2006.

Los resultados del monitoreo para el presente periodo reportado en estos indicadores se presentan de forma numérica (Presentado el contexto, no ha sido necesario efectuar medidas adicionales producto de las activaciones de Fase I (aumento de la frecuencia de medición), ya que todos los indicadores son medidos de forma diaria de acuerdo con la Acción 5 del PdC.

Tabla 5-90) y gráfica (Figura 5-67). En la tabla se muestran los valores de descensos mensuales máximos y mínimos obtenidos a partir de mediciones manuales de la ETFA. En las figuras se presentan todos los descensos diarios, incluyendo los resultados del monitoreo continuo, los umbrales de cada indicador y las mediciones de la ETFA (en forma de descenso calculado).

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 50 cm, mientras que para la Fase II, el descenso máximo fijado es de 1 m. Lo anterior es respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo de cada punto de control (mayo de 2007).

Puede verse que los indicadores L7-6, L1-3 y L2-28 se han mantenido durante este periodo con la Fase I activada. Sin embargo, este último indicador presento desactivación de Fase I en septiembre de 2023 para volver a la tasa de descensos tal, que volvió a activar Fase I el dia 19 de noviembre de 2023 producto de la estacionalidad de su nivel. Hasta el cierre de este reporte, el indicador se ha encontrado en Fase I.

Presentado el contexto, no ha sido necesario efectuar medidas adicionales producto de las activaciones de Fase I (aumento de la frecuencia de medición), ya que todos los indicadores son medidos de forma diaria de acuerdo con la Acción 5 del PdC.

Tabla 5-90: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este- Vegetación Brea-Atriplex

L7-6		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,578	0,594
Ago 2023	0,575	0,587
Sep 2023	0,569	0,583
Oct 2023	0,557	0,572
Nov 2023	0,551	0,576
Dic 2023	0,542	0,562

L2-7		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,463	0,476
Ago 2023	0,473	0,477
Sep 2023	0,472	0,478
Oct 2023	0,469	0,475
Nov 2023	0,471	0,479
Dic 2023	0,478	0,490

L3-3		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,280	0,288
Ago 2023	0,272	0,281
Sep 2023	0,268	0,274
Oct 2023	0,270	0,290
Nov 2023	0,291	0,334
Dic 2023	0,336	0,394

L1-3		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,508	0,511
Ago 2023	0,508	0,512
Sep 2023	0,505	0,511
Oct 2023	0,507	0,512
Nov 2023	0,512	0,519
Dic 2023	0,520	0,536

L2-28		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,538	0,573
Ago 2023	0,510	0,537
Sep 2023	0,492	0,512
Oct 2023	0,486	0,493
Nov 2023	0,489	0,516
Dic 2023	0,518	0,592

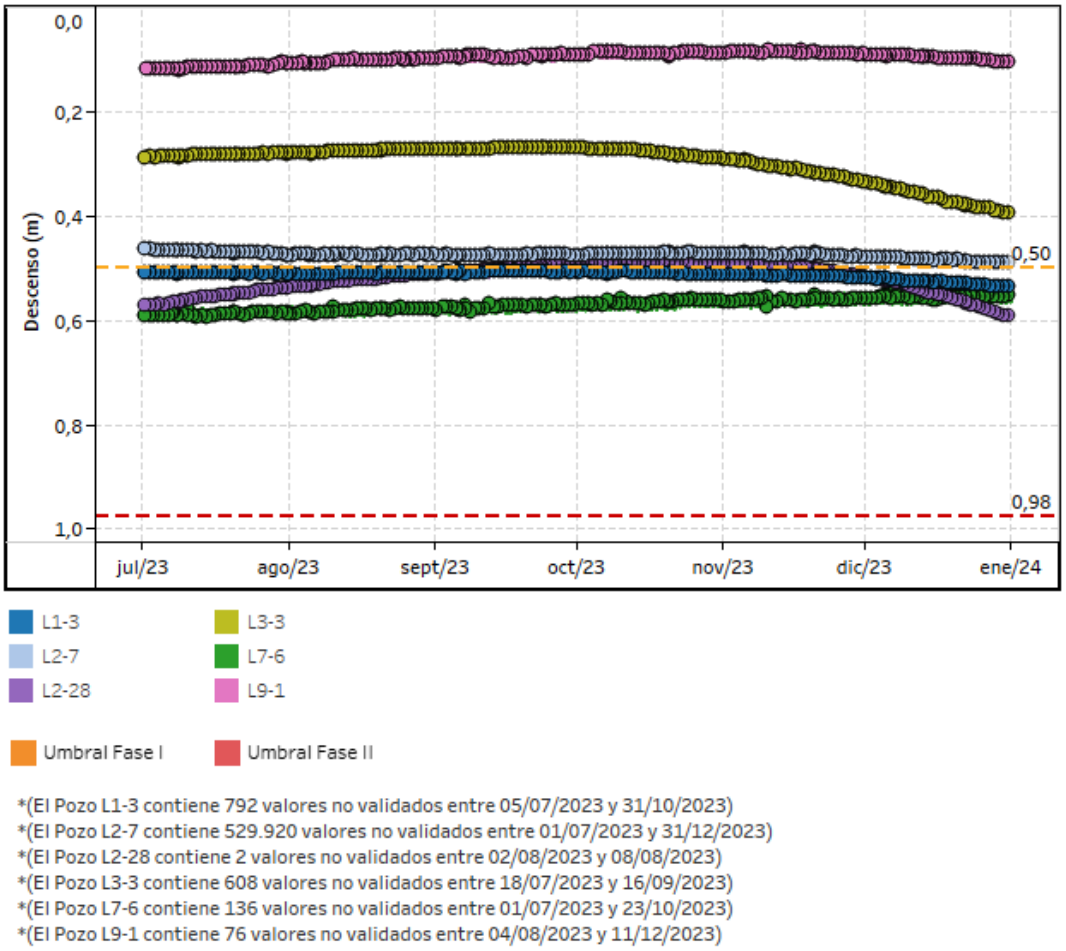
L4-7		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,024	0,029
Ago 2023	0,024	0,027
Sep 2023	0,026	0,030
Oct 2023	0,028	0,035
Nov 2023	0,034	0,038
Dic 2023	0,038	0,046

Fuente: Elaboración propia. El sombreado amarillo indica valores inferiores a la Fase I del PC.

L9-1		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	**Max**
Jul 2023	0,106	0,120
Ago 2023	0,097	0,108
Sep 2023	0,090	0,098
Oct 2023	0,086	0,095
Nov 2023	0,082	0,091
Dic 2023	0,091	0,106

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-67: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex



*(El Pozo L1-3 contiene 792 valores no validados entre 05/07/2023 y 31/10/2023)
*(El Pozo L2-7 contiene 529.920 valores no validados entre 01/07/2023 y 31/12/2023)
*(El Pozo L2-28 contiene 2 valores no validados entre 02/08/2023 y 08/08/2023)
*(El Pozo L3-3 contiene 608 valores no validados entre 18/07/2023 y 16/09/2023)
*(El Pozo L7-6 contiene 136 valores no validados entre 01/07/2023 y 23/10/2023)
*(El Pozo L9-1 contiene 76 valores no validados entre 04/08/2023 y 11/12/2023)

Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE: ALERTA TEMPRANA

Los indicadores de estado que conforman el PC del Sistema Brea-Atriplex – Alerta temprana son los piezómetros L7-13, L2-25, L3-11, L4-3 y L9-1. La frecuencia de medición en estos 5 indicadores está definida como diaria, de acuerdo con lo comprometido en el PdC propuesto a la SMA.

Por otra parte, según lo establecido en la evaluación ambiental del Proyecto, los pozos de monitoreo que forman parte del Plan de Contingencia del Sistema Vegetación Borde Este: Zona Alerta Temprana sólo poseen umbrales de activación de Fase II, cuyos límites fueron fijados con el objeto de asegurar un descenso máximo de 1 m en la zona de conexión vegetación-acuífero. Así, el umbral de descenso para

cada punto de Alerta Temprana, respecto a la profundidad observada en el mes de inicio del monitoreo (mayo de 2007), depende de la ubicación específica de cada indicador de estado, variando entre 0,82 y 1,25 m.

Los resultados del monitoreo en el periodo reportado en estos indicadores se presentan de forma numérica (Tabla 5-91) y gráfica (Figura 5-68, Figura 5-69, Figura 5-70 y Figura 5-71), donde numéricamente se muestran los valores de descensos mensuales máximos y mínimos obtenidos a partir de mediciones manuales de SEGEA y gráficamente se presentan todos los descensos diarios, incluyendo los umbrales de cada indicador y las mediciones de SQM (en forma de descenso calculado).

El L3-11 es el único indicador de este grupo que no dispone de mediciones diarias para este semestre, ya que se encuentra dentro de RNF, sin embargo, cuenta con al menos 2 mediciones mensuales tanto por parte de SEGEA como de SQM. De la información presentada se concluye que, durante el periodo reportado, ninguno de los indicadores con mediciones disponibles superó el umbral correspondiente. En la sección 6.2 del presente informe se realiza un análisis más detallado del estado del PC.

Tabla 5-91: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con los umbrales correspondientes

L4-3		
Umbral Fase II	0,82	
Mes	Descenso (m) Min	Max
Jul 2023	-2,567	-2,505
Ago 2023	-2,562	-2,534
Sep 2023	-2,592	-2,564
Oct 2023	-2,617	-2,562
Nov 2023	-2,604	-2,541
Dic 2023	-2,618	-2,598

L2-25		
Umbral Fase II	0,88	
Mes	Descenso (m) Min	Max
Jul 2023	-0,079	-0,073
Ago 2023	-0,080	-0,075
Sep 2023	-0,080	-0,076
Oct 2023	-0,078	-0,074
Nov 2023	-0,078	-0,073
Dic 2023	-0,075	-0,067

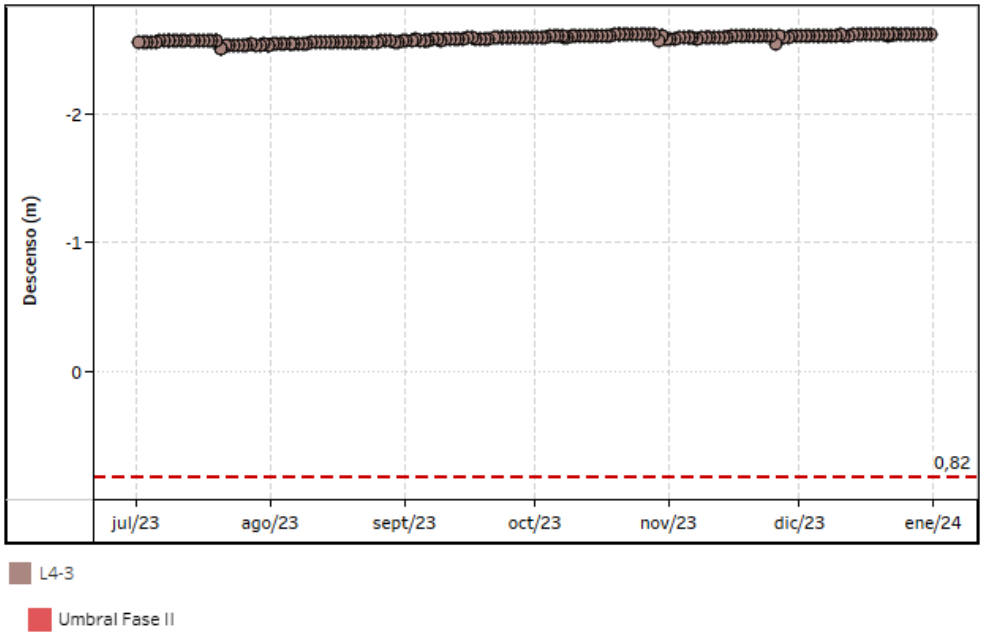
L7-13		
Umbral Fase II	1,25	
Mes	Descenso (m) Min	Max
Jul 2023	0,466	0,474
Ago 2023	0,459	0,469
Sep 2023	0,447	0,461
Oct 2023	0,443	0,452
Nov 2023	0,436	0,445
Dic 2023	0,432	0,443

L3-11		
Umbral Fase II	0,86	
Mes	Descenso (m) Min	Max
Jul 2023	0,060	0,061
Ago 2023	0,058	0,059
Sep 2023	0,050	0,052
Oct 2023	0,050	0,050
Nov 2023	0,053	0,054
Dic 2023	0,063	0,063

L9-1		
Umbral Fase II	0,86	
Mes	Descenso (m) Min	Max
Jul 2023	0,106	0,120
Ago 2023	0,097	0,108
Sep 2023	0,090	0,098
Oct 2023	0,086	0,095
Nov 2023	0,082	0,091
Dic 2023	0,091	0,106

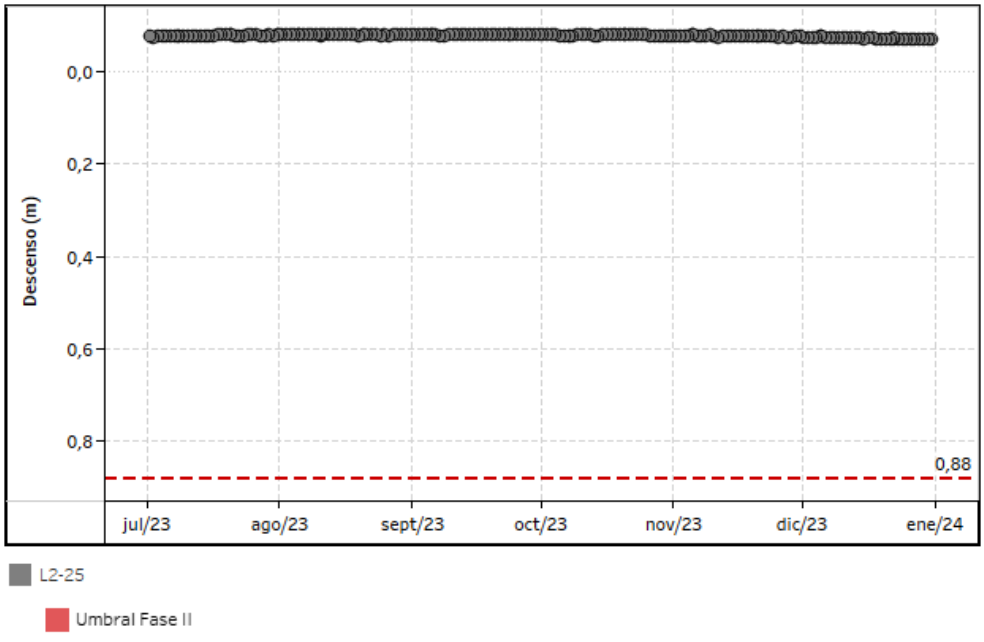
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-68: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente



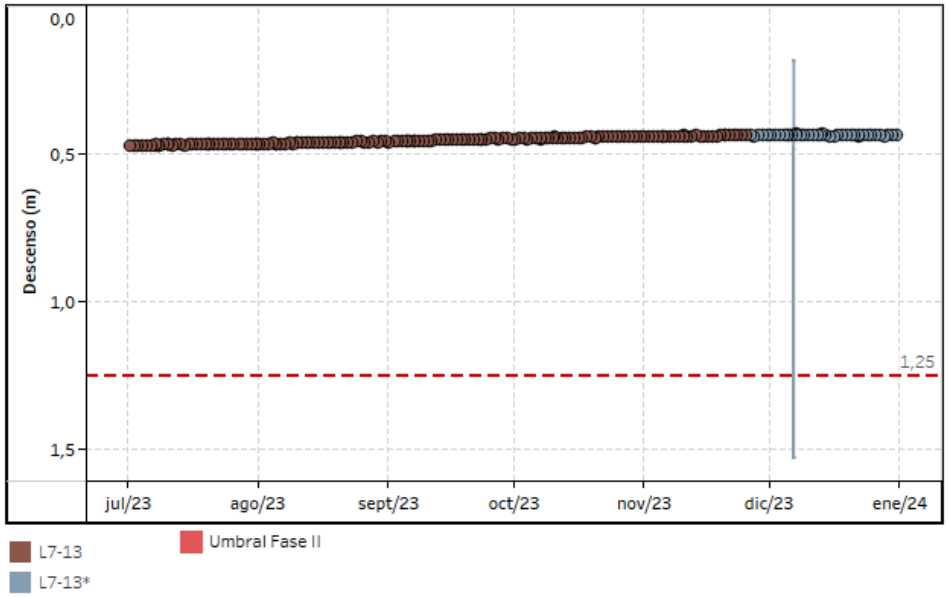
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-69: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente



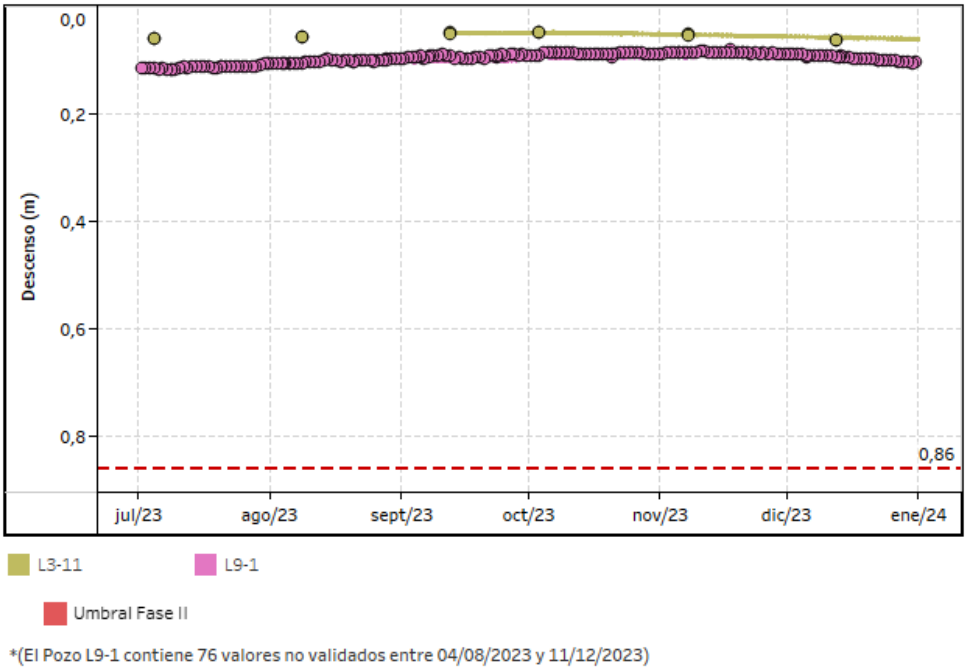
*(El Pozo L2-25 contiene 602 valores no validados entre 17/07/2023 y 30/12/2023)

Figura 5-70: 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.

Figura 5-71: 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.

5.2.6 SISTEMA PEINE

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 para el Sistema Peine que fueron definidos en el marco del Programa de Cumplimiento propuesto en el procedimiento F-041-2016, y cuyo cumplimiento fue exigido también en el marco de las medidas provisionales dictadas mediante Res. Ex. N°1367/2020, desde agosto de 2020, y renovadas a través de Res. Ex. N°2141/2020, de 28 de octubre de 2020.

Como indicadores de estado se consideran tanto los pozos establecidos en el seguimiento del proyecto aprobado por la RCA Nº226/2006 (piezómetros 1028, L10-11 y L10-4), como también los piezómetros PN-05B y PN-08A establecidos en el considerando 10.18 de la RCA Nº. 21/2016 del proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama", del titular Albemarle (ex Rockwood)[26]. Las especificaciones y fundamentos técnicos de estos indicadores, umbrales y medidas de control aplicables al sistema Peine se presentan en los anexos 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3 del PdC aprobado, los que se adjuntan en el Anexo 4 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[27]. 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 I y II.

Durante el período reportado, mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-051 (ver Anexo 4.5) notificada a SQM el día 20 de diciembre de 2023, se comunicó la activación del pozo PN-08A. Este piezómetro entró en la Fase el 29 de septiembre, dicha activación es efectiva cuando se realizan tres mediciones bajo el umbral

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

[27] 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 226/2006, como en los pozos PN-05B y PN-08A del sector Alerta Núcleo del Plan de Alerta Temprana del considerando 10.18 de la RCA Nº21/16, y las correspondientes medidas de control, cuando corresponda.

permitido, esta situación implica la activación de Fase I según el Plan de Alerta Temprana para el sector de Alerta Núcleo, vinculado a nuestra RCA N°21/2016. En términos generales, la activación de fases, conforme a la Acción 41 del PdC relacionada con la activación de umbrales, implica la aplicación de la Herramienta de Verificación de Efecto Sinérgico (HVES) seis meses después de la activación y, en este caso, los seis meses disponibles para generar HVES comenzaron el 20 de diciembre de 2023. Este proceso implica el uso de un modelo numérico para evaluar las causas de la activación de umbrales en diferentes indicadores y establecer los porcentajes de contribución de cada proyecto de extracción. Además, en caso de activación, se establece el aumento de la frecuencia de monitoreo de niveles de pozos del sistema (de mensual a quincenal), el incremento de la frecuencia de muestreo de calidad de acuífero y lagunas (de trimestral a mensual), y el aumento de la frecuencia de medición de la posición de cuña (de trimestral a mensual). Esta actividad ya ha sido ejecutada según los compromisos del PdC, por lo que su aplicación ya se llevó a cabo antes de la activación de este indicador.

Ahora bien, de acuerdo con lo comprometido en el PdC propuesto a la SMA, las mediciones en los puntos 1028, L10-11 y L10-4 deben realizarse de forma diaria, los resultados del monitoreo de nivel en los indicadores de estado para el presente semestre a reportar se presentan de forma numérica (Tabla 5-92) y gráfica (Figura 5-72, Figura 5-73 y Figura 5-74). Numéricamente se indican los registros manuales mensuales máximos y mínimos tomados por SQM, y gráficamente se presentan las mediciones manuales diarias de ETFA SEGEA (medidas comprometidas) junto con las mediciones mensuales adicionales de SQM. Todos los niveles de agua se expresan en m.s.n.m. y datum WGS-84 considerando elipsoide de referencia GRS80.

Durante el segundo semestre de 2023 se han prolongado las activaciones de Fase I que se describieron para el semestre pasado en el informe PSAH N°33 para 1028, L10-11 y L10-4, dado que la activación de Fase I ocurrió en mayo para el 1028 y L10-11, y en junio para el indicador L10-4, la aplicación la Herramienta de Verificación de Efecto Sinérgico (HVES) fue entregada en noviembre a través de la carta GMAL 425/2023 del indicador L10-11 y diciembre de 2023, a través de la carta GMAL 476/2023 para el 1028 y la carta 477/2023 para el indicador L10-4, respectivamente.

Tabla 5-92: Niveles observados (m.s.n.m.) en indicadores de estado del Sistema Peine

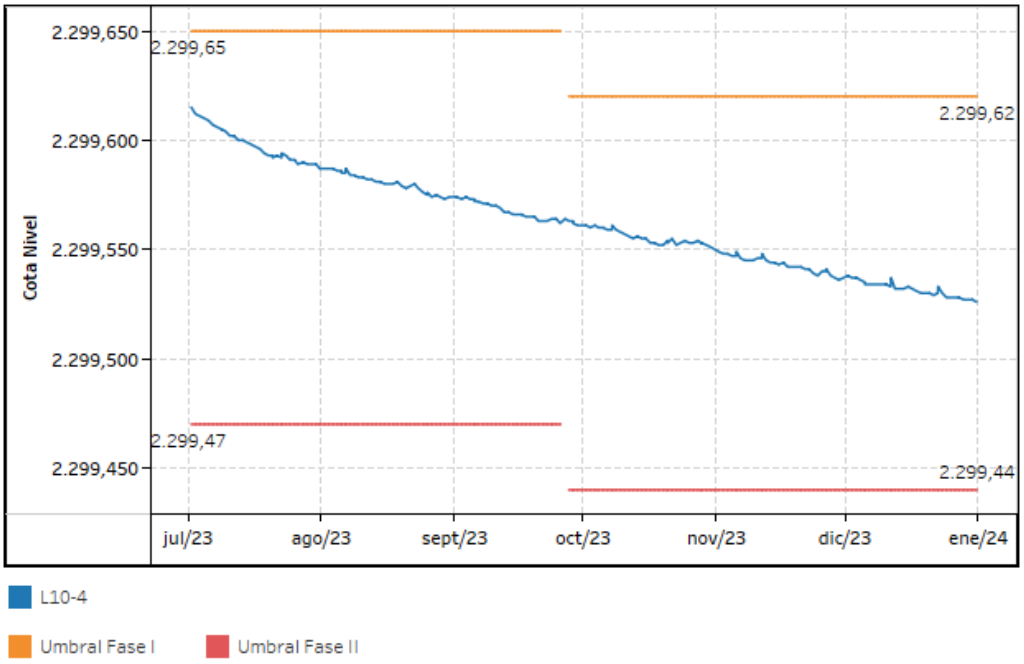
L10-4		
Umbral Fase I	NULL	
	27-9-22 al 26-9-23	2.299,65
	27-9-23 al 25-9-24	2.299,62
Umbral Fase II	NULL	
	27-9-22 al 26-9-23	2.299,47
	27-9-23 al 25-9-24	2.299,44
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Jul 2023	2.299,587	2.299,615
Ago 2023	2.299,573	2.299,587
Sep 2023	2.299,561	2.299,574
Oct 2023	2.299,550	2.299,561
Nov 2023	2.299,536	2.299,549
Dic 2023	2.299,526	2.299,538

1028		
Umbral Fase I	NULL	
	27-9-22 al 26-9-23	2.299,32
	27-9-23 al 25-9-24	2.299,29
Umbral Fase II	NULL	
	27-9-22 al 26-9-23	2.299,14
	27-9-23 al 25-9-24	2.299,11
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Jul 2023	2.299,254	2.299,276
Ago 2023	2.299,242	2.299,256
Sep 2023	2.299,230	2.299,245
Oct 2023	2.299,220	2.299,231
Nov 2023	2.299,209	2.299,218
Dic 2023	2.299,200	2.299,211

L10-11		
Umbral Fase I	NULL	
	27-9-22 al 26-9-23	2.299,27
	27-9-23 al 25-9-24	2.299,24
Umbral Fase II	NULL	
	27-9-22 al 26-9-23	2.299,06
	27-9-23 al 25-9-24	2.299,03
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Jul 2023	2.299,148	2.299,171
Ago 2023	2.299,135	2.299,148
Sep 2023	2.299,127	2.299,138
Oct 2023	2.299,119	2.299,127
Nov 2023	2.299,109	2.299,119
Dic 2023	2.299,102	2.299,111

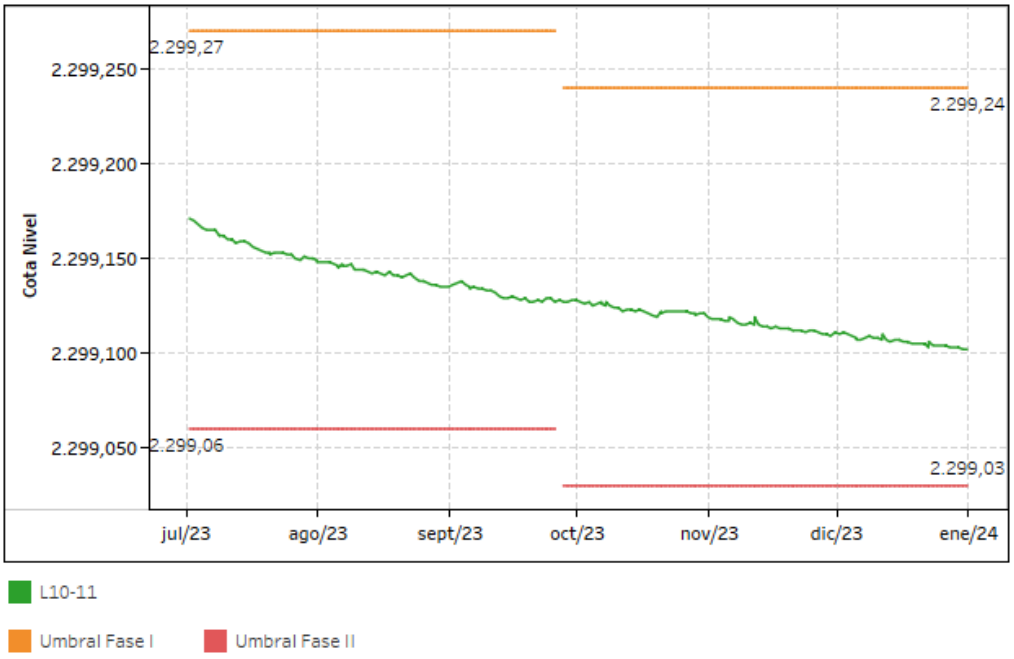
Fuente: Elaboración propia. Color amarillo: Niveles bajo el umbral de Fase I. NULL: Sin medición por restricción de acceso.

Figura 5-72: Niveles observados (m.s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine



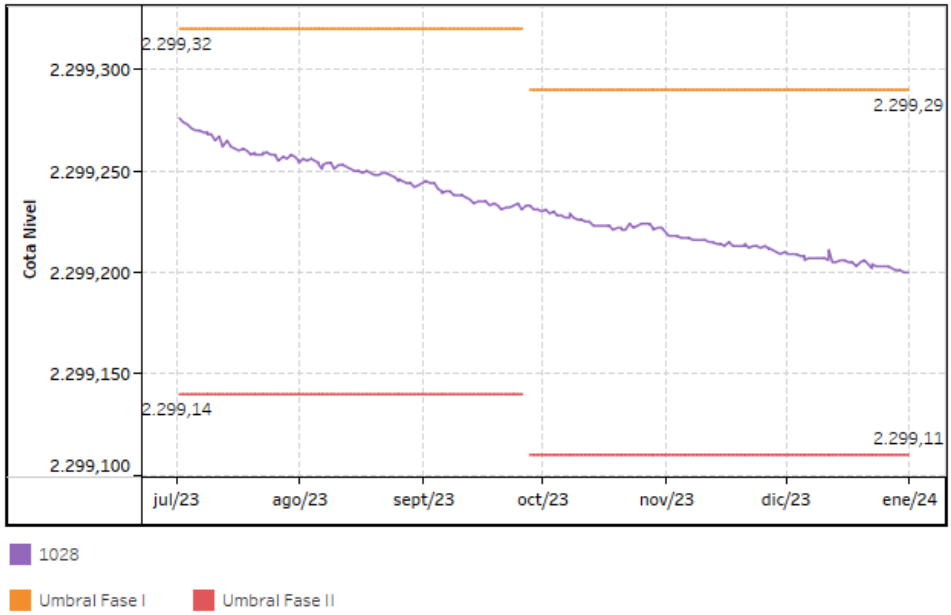
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-73: Niveles observados (m.s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-74: 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 Plan de Contingencias (PC) del proyecto, SQM contempla 6 indicadores de estado adicionales que complementan la red que conforma el PC 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. Estos 6 indicadores de estado adicionales corresponden a piezómetros de control del nivel de agua/salmuera, distribuidos en los subsistemas de Vegetación Brea-Atriplex y Zona Alerta Temprana, tal y como se indica la Tabla 5-93[28].

[28] En esta tabla se indican los subsistemas a los que pertenecen los indicadores adicionales a modo de recuerdo, ya que esta información se ha presentado con más detalle en el capítulo 4.

Tabla 5-93: 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 Zona Alerta Temprana sólo poseen umbrales de activación de Fase II, límites fijados con el objeto de asegurar que no se generen descensos superiores a 1 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 periodo reportado en estos indicadores se presentan de forma numérica (Tabla 5-94) y gráfica (Figura 5-75, Figura 5-76 y Figura 5-77), donde numéricamente se muestran los valores de descensos mensuales máximos y mínimos obtenidos a partir de mediciones manuales diarias de ETFA SEGEA y gráficamente se muestran todos los descensos diarios incluyendo los umbrales de cada indicador y las mediciones de SQM (en forma de descenso calculado).

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

Tabla 5-94: Descenso observado (m) en pozos adicionales de contingencia del PC Sistema Borde Este

L2-25		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	0,94	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,079	-0,073
Ago 2023	-0,080	-0,075
Sep 2023	-0,080	-0,076
Oct 2023	-0,078	-0,074
Nov 2023	-0,078	-0,073
Dic 2023	-0,075	-0,067

L4-17		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	-0,001	0,014
Ago 2023	-0,012	S/I
Sep 2023	-0,020	-0,010
Oct 2023	-0,022	-0,016
Nov 2023	-0,020	0,001
Dic 2023	0,002	0,029

L7-14		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,066	0,084
Ago 2023	0,051	0,067
Sep 2023	0,042	0,052
Oct 2023	0,040	0,044
Nov 2023	0,045	0,060
Dic 2023	0,061	0,083

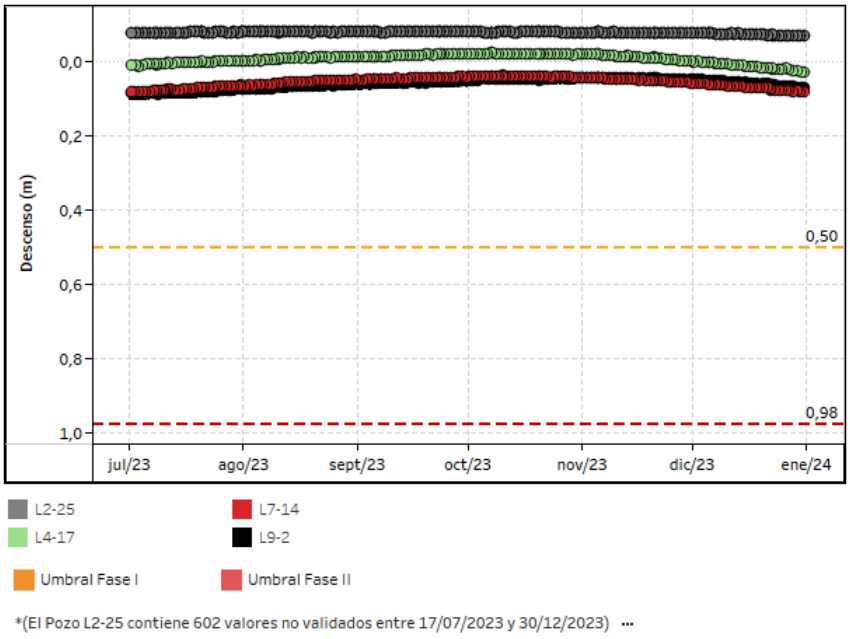
L9-2		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,074	0,091
Ago 2023	0,062	0,075
Sep 2023	0,051	0,062
Oct 2023	0,045	0,054
Nov 2023	0,044	0,052
Dic 2023	0,051	0,072

L2-26		
Umbral Fase II	0,78	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,448	0,456
Ago 2023	0,449	0,455
Sep 2023	0,443	0,701
Oct 2023	0,439	0,447
Nov 2023	0,438	0,447
Dic 2023	0,445	0,458

L3-15		
Umbral Fase II	0,85	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Jul 2023	0,655	0,670
Ago 2023	0,647	0,658
Sep 2023	0,640	0,651
Oct 2023	0,643	0,649
Nov 2023	0,644	0,660
Dic 2023	0,658	0,681

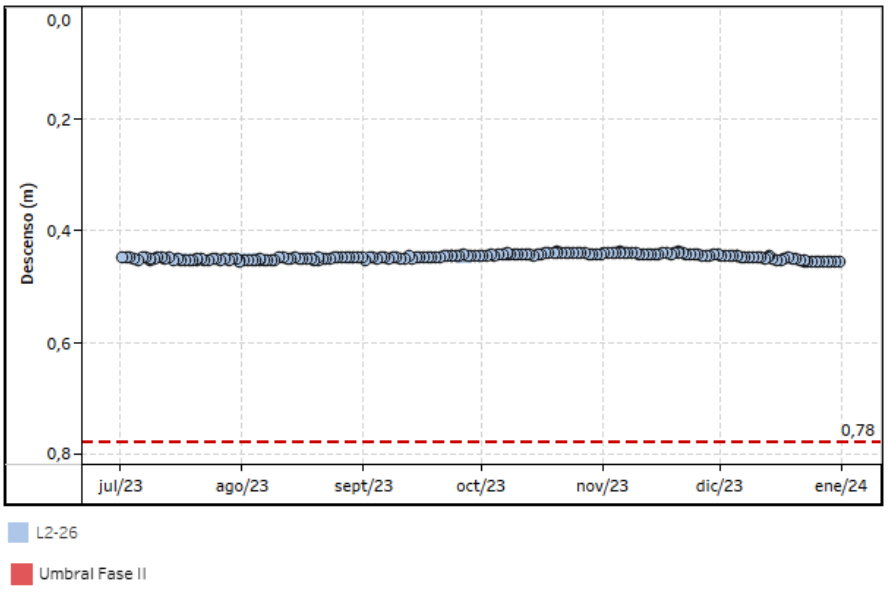
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-75: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex



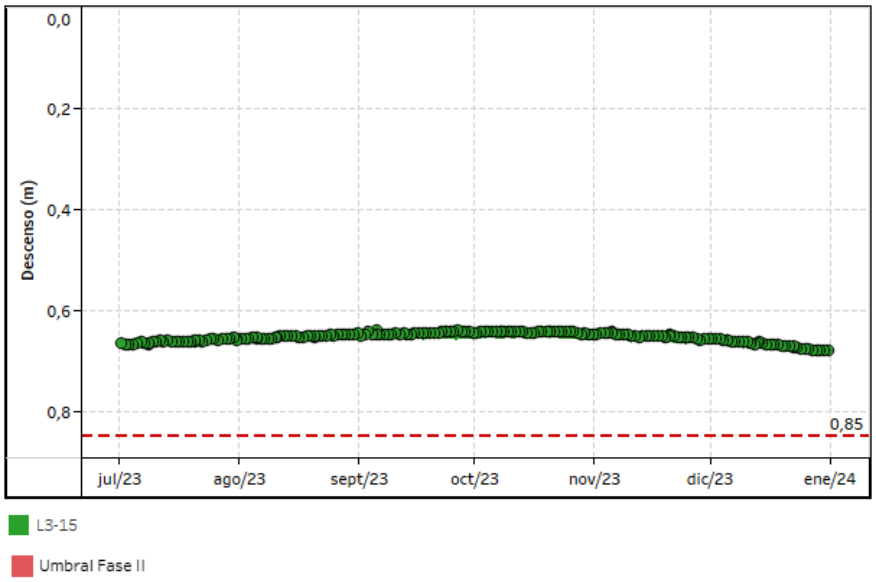
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-76: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-77: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana



*(El Pozo L3-15 contiene 244 valores no validados entre 06/07/2023 y 20/09/2023)

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 sistema ambiental. En particular, se incluye el análisis de niveles de aguas subterráneas y superficiales, superficies lacustres, extracciones, calidad química, meteorología y aforos superficiales.

Primero, se presentan las variables que componen el PSAH, ya que esto permite conocer la dinámica hidrogeológica general de parte del norte, el borde este y el sur del Salar y los posibles cambios que estén ocurriendo. En un segundo apartado se profundiza en el patrón de comportamiento de los indicadores asociados al Plan de Contingencia del Proyecto, en relación con el marco hidrogeológico descrito en el apartado anterior, 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

En la presente sección se presenta el análisis del comportamiento histórico de los puntos de control del PSAH. Esto incluye un análisis de todas las variables en la red de monitoreo (niveles, superficies lagunares, meteorología, caudal bombeado, 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 de las variables monitoreadas en el tiempo. A partir de esto, el segundo objetivo es el de poder analizar los nuevos datos medidos del semestre a reportar 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 han incluido los niveles de los puntos que forman parte del Plan de Contingencia, también parte de la red PSAH, y que permiten robustecer las conclusiones sobre las dinámicas que controlan los sistemas de protección. De esta manera, en el siguiente apartado (6.2. Análisis del Plan de Contingencias) se aborda un análisis más preciso sobre las tendencias de los indicadores de estado del Plan de Contingencia con respecto los umbrales definidos en el mismo.

La metodología adoptada para el análisis de los niveles se basa en la aplicación de varios conceptos en hidrogeología, que permiten entender las dinámicas que condicionan un acuífero y la forma en que se conectan con los cuerpos de agua superficial. 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/o los máximos de forma separada, ya que en estos casos los fenómenos que rigen el comportamiento de los niveles pueden ser distintos entre los 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 más adecuada cuando el objetivo es, por ejemplo, comparar las tasas 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 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 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.

Por su parte, la metodología de análisis de la calidad química de las aguas se enfoca principalmente en evaluar tendencias generales de la evolución temporal para los distintos parámetros, con el objetivo de evidenciar posibles cambios en el funcionamiento de los sistemas y, en lo posible, tratar de identificar 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 tipos de agua en la cuenca y también evaluar si existen cambios en el registro histórico de estos puntos.

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 lo que se muestra un análisis sólo descriptivo. Estas dos variables son más bien explicativas de posibles cambios que puedan observarse en el sistema y los objetos de protección.

Por último, todos los gráficos temporales que se muestran en este capítulo cuentan con una franja gris que marca el periodo que se está reportando, que en este caso es el segundo semestre de 2023. De esta forma se facilita visualmente el análisis del comportamiento en este periodo respecto de las tendencias históricas.

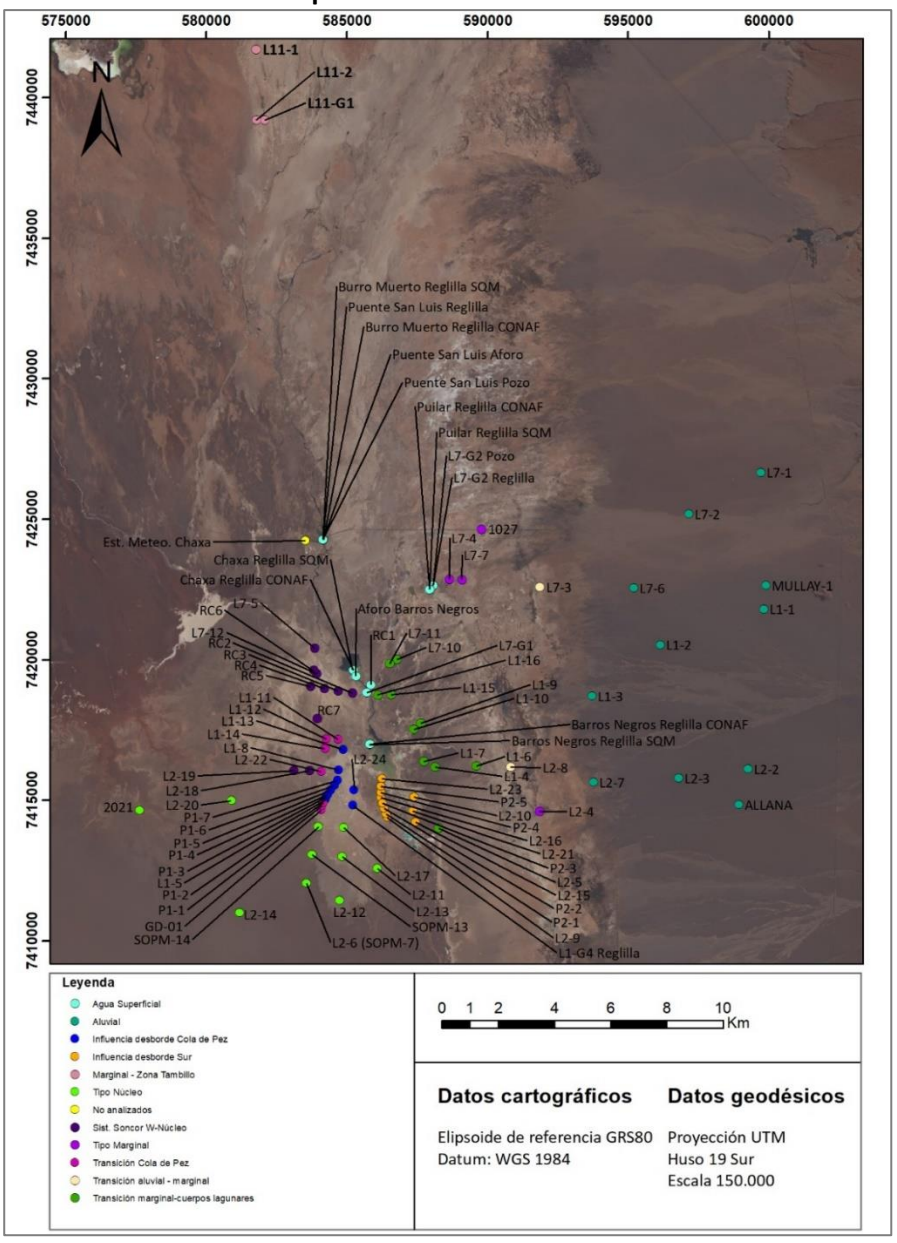
6.1.1 SISTEMA SONCOR – VEGETACIÓN BORDE ESTE

Para la descripción del Sistema Soncor se dispone de una delimitación aproximada, en que se consideran los puntos desde el acuífero aluvial hasta el núcleo, que incluye todo el sistema hidrológico de las lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros (ver Figura 6-1). De esta forma, los puntos descritos en este apartado son aquellos que la RCA N°226/2006 engloba en el sistema Soncor, así como 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 y L2-26.
- **De la serie L7**: L7-3, L7-6, L7-13, L7-14 y L7-15.

Cabe decir que, para efectos del capítulo 6, a partir de este punto del reporte y en adelante, se tratará a este sector de manera conjunta como sistema Soncor – Vegetación Borde Este, debido a que la delimitación del sistema Vegetación Borde Este se vincula estrechamente a condicionantes en la vegetación y no a términos hidrogeológicos. Por lo tanto, resulta más práctico analizarlo como un único sistema.

Figura 6-1: Infraestructura englobada 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

A continuación, se presenta un análisis de los niveles registrados en el sistema Soncor – Vegetación Borde Este, con énfasis en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el segundo semestre 2023 con respecto al registro histórico.

El análisis se realiza en función de los puntos de monitoreo: pozos de agua industrial (nivel dinámico), reglillas de medición de cuerpos de agua superficiales o piezómetros de control. Dicho análisis, considera inicialmente la infraestructura que sobreyace al acuífero aluvial, seguida de la zona marginal y hasta llegar a los puntos que muestran los comportamientos típicos del acuífero del núcleo.

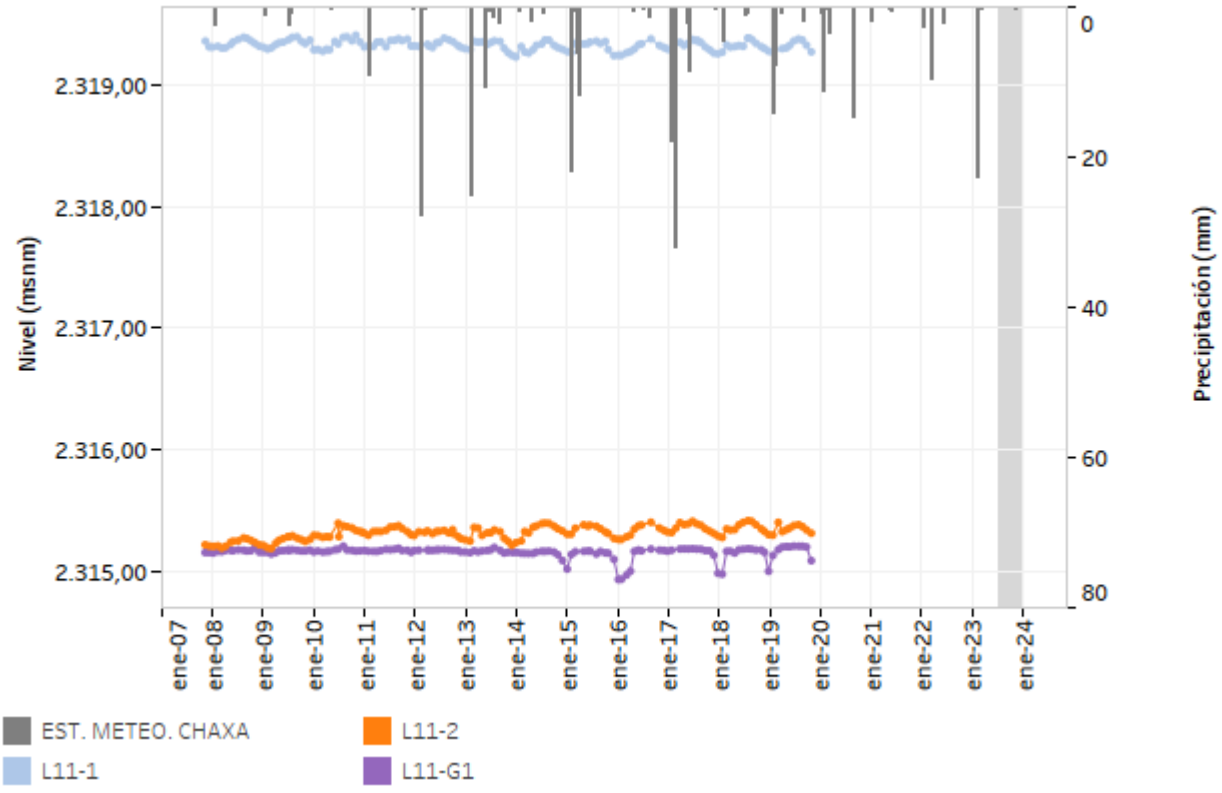
6.1.1.1.1 Niveles en el sector Tambillo

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. La Figura 6-2 muestra los niveles medidos históricamente en estos puntos, mientras que la Figura 6-3 muestra el resultado de los descensos calculados. En la Figura 62 se observa que la cota piezométrica del nivel del L11-1 es 4 m mayor que los otros dos puntos, ya que el primer punto está a 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%.

Por su parte, en la Figura 6-3 se observa con mayor detalle el comportamiento histórico del nivel en estos puntos. En el gráfico se visualiza que todos los puntos presentan una oscilación irregular, que no solo estaría ligada a las variaciones estacionales. Para el período en que se dispone de datos (hasta octubre de 2019), el L11-G1 ha permanecido relativamente estable, con una aparente tendencia de ascenso. Igualmente, se destaca un registro de niveles mínimos en el mes de diciembre de los años 2014, 2015, 2017 y 2018. Por otra parte, los pozos L11-1 y L11-2 registraron cambios de niveles similares en amplitud y oscilación desde el inicio de las mediciones hasta octubre de 2019, donde el L11-2 registró un comportamiento con tendencia de ascenso, que se mantuvo hasta la última fecha registrada (octubre 2019), con una tasa de 1 cm/año, mientras que el comportamiento del punto L11-1 permaneció con una tendencia prácticamente nula.

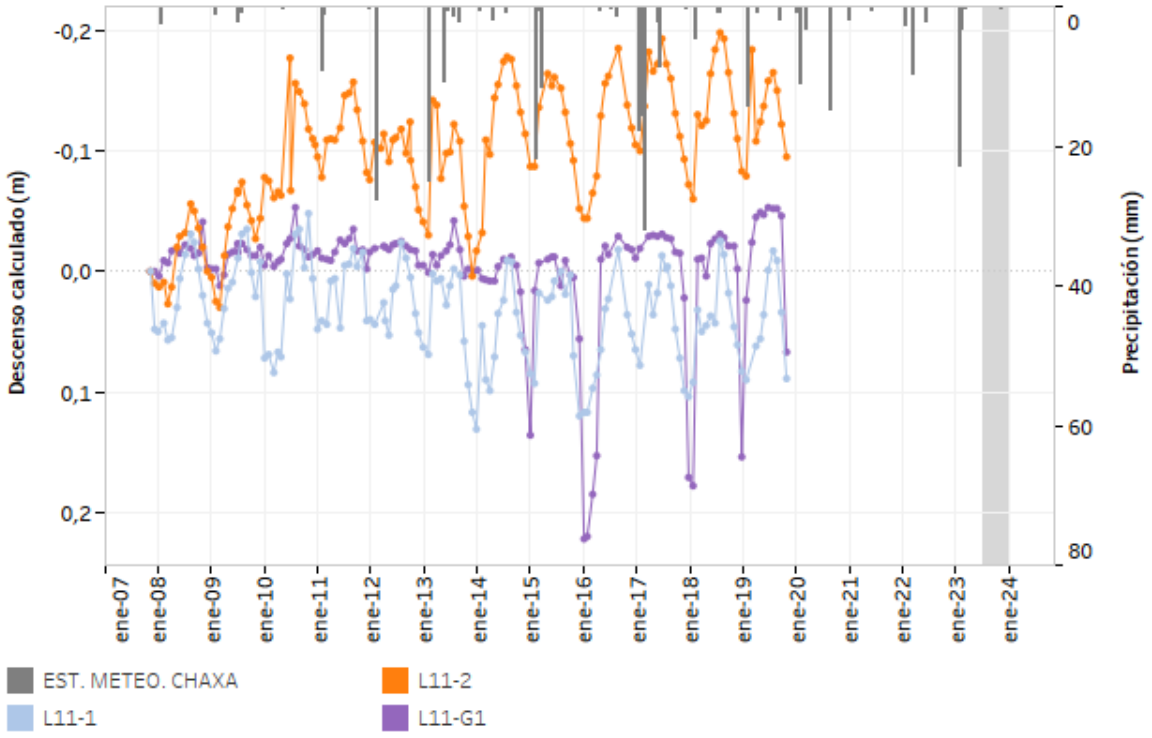
Estos tres puntos no se han visitado desde octubre de 2019 y, en consecuencia, no se ha podido actualizar el análisis de los niveles desde esta fecha.

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



Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.1.2 Niveles en pozos de bombeo de agua industrial

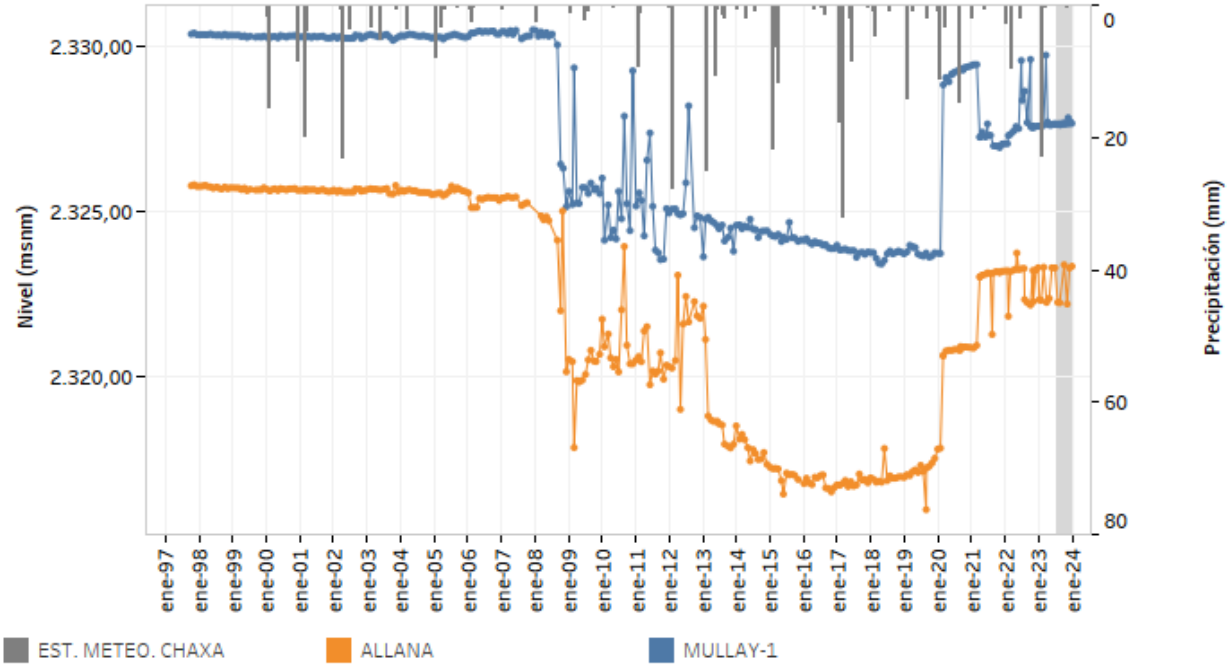
En el sistema Soncor, los pozos de agua industrial existentes son el Mullay-1 (ubicado más al norte del sistema) y el Allana. La Figura 6-4 muestra los niveles hasta el mes de diciembre de 2023. En general, los niveles medidos en estos pozos se ven afectados por el manejo operacional de los mismos, siendo el nivel visualizado en esta figura un nivel dinámico.

Por un lado, el pozo Allana mostró descensos desde septiembre de 2008, que tendieron a estabilizarse a un régimen estacionario entre 2013 y 2016. Desde entonces, se evidencia una leve recuperación hasta 2018, sin que se hubiese modificado su caudal de extracción, ni tampoco el pozo Mullay-1 (ubicado al norte a 8 km de distancia). Este cambio en la tendencia del nivel ha sido vinculado a la detención del pozo Camar-2 desde el año 2018 (ubicado al sur, a 5 km de distancia), con caudales de extracción prácticamente despreciables en 2021, previo a su desmantelación.

El primer cambio en el régimen de extracción del pozo Allana fue en febrero de 2020, donde se redujo desde 40 L/s hasta 18 L/s, aproximadamente, lo que se reflejó en una recuperación del nivel de 4,5 m, con respecto la cota medida en enero del mismo año. Posterior a esta reducción del caudal, el nivel se mantuvo estable alrededor de la cota 2.320,85 m.s.n.m hasta marzo 2021, que es cuando se detuvo el bombeo continuo. A partir de la detención, se observó un nuevo escalón de recuperación de 2,1 m, ascendiendo el nivel a 2.323,00 m.s.n.m. Desde entonces hasta la actualidad, el nivel del pozo se ha mantenido oscilante entre las cotas 2.321,26 m.s.n.m. y 2.323,72 m.s.n.m.

Por otro lado, el pozo Mullay-1 mostró un ascenso de nivel de 5 m en febrero 2020, debido a su detención en esa fecha. Desde entonces, mantuvo una leve tendencia de recuperación (ascenso), alcanzando los 2.329,43 m.s.n.m. en febrero de 2021. Tras al reinicio de su operación en marzo de 2021, con un régimen de la mitad del caudal históricamente extraído, se denotó un descenso de 2 m para ese mes. Desde entonces, considerando el segundo semestre de 2023, el nivel se ha mostrado con un ascenso permanente de unos 22 cm/año.

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



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.1.3 Pozos en zona aluvial

El siguiente grupo de pozos analizados para el sistema Soncor son aquellos localizados en el acuífero aluvial. Estos pozos se caracterizan por presentar una tendencia histórica al descenso, incluso antes del inicio de la extracción de agua industrial del 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 necesario observar las tendencias resultantes de un período más extenso, pues existen estudios relacionados con los acuíferos de la cordillera de los Andes que concluyen que los tiempos de reestablecer el equilibrio en el acuífero puede ser 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, es esperable que, en la cuenca del Salar de Atacama, tal como ocurre en cuencas similares, ocurra una situación de balances no cerrados debido a que el acuífero aún no se encuentra en equilibrio.

Según los registros disponibles, al menos desde 2000, el grupo de pozos del sistema analizado muestra un patrón de niveles descendente, que podría ser una etapa de transición hacia un nuevo equilibrio.

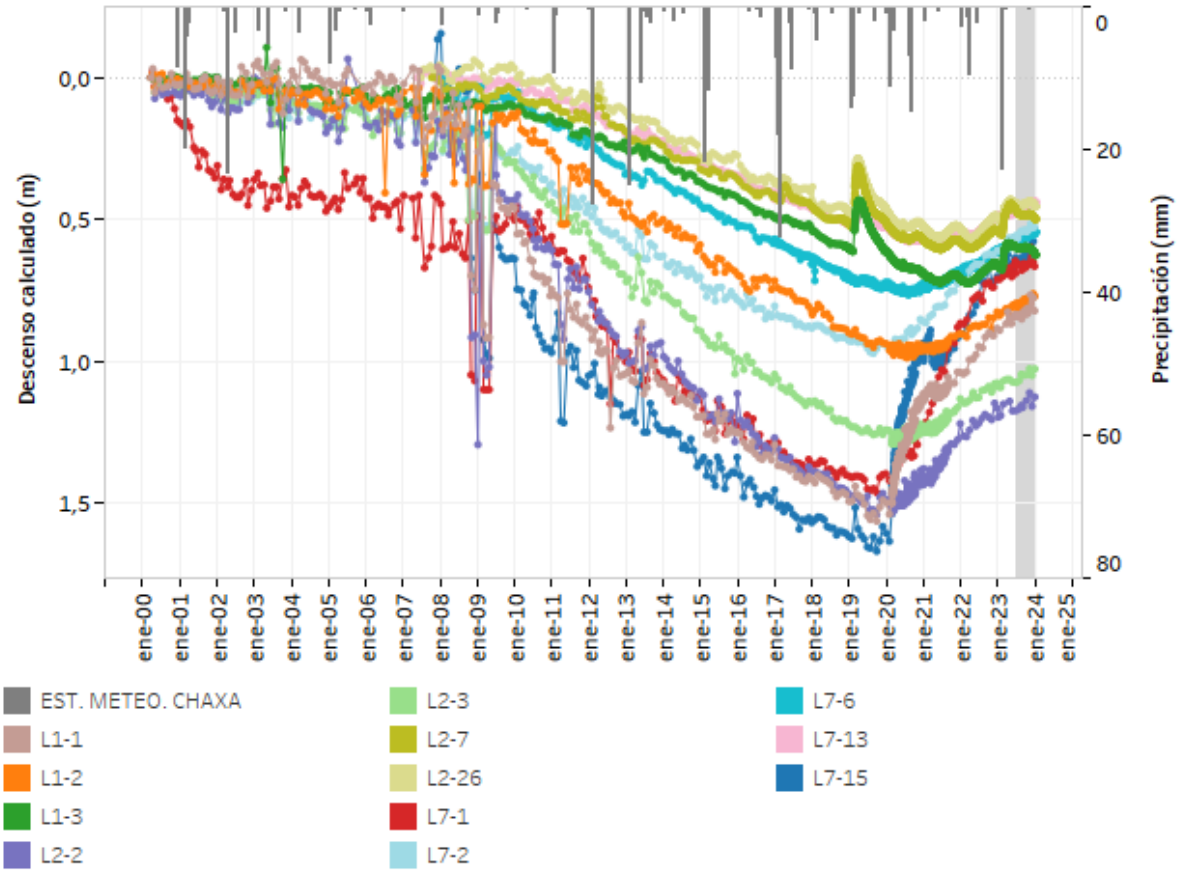
En este grupo existen diferencias de cota significativas en los niveles (de casi 20 m), una situación esperable para este sector con gradientes hidráulicos altos, pero que a su vez no permite establecer una comparativa clara respecto a las variaciones de nivel. Por esta razón, en la Figura 6-5 se muestra el descenso calculado.

En general, los niveles en este sector no varían en función de las precipitaciones, excepto los pozos L1-3, L2-7, L2-26 y L7-13, que mostraron un ascenso producto de las lluvias excepcionales de febrero de 2019, lo cual se explicaría porque dichos puntos son los más someros (profundidad con respecto la superficie del terreno) y próximos a la zona marginal.

Particularmente, para los puntos de la Figura 6-5 se observaba un leve descenso (entre 3 y 5 cm/año), sin embargo, a mediados de 2021 el comportamiento cambió, denotando una fluctuación estacional más propia de la zona marginal, sin tendencia de ascenso o descenso, lo cual se relacionaría con la reducción general de las extracciones en el acuífero aluvial (Mullay-1 y Allana). La recuperación se ha mantenido hasta diciembre de 2023, convergiendo a valores que dependen de la distancia a los pozos de bombeo: puntos de monitoreo más cercanos se situarán en descensos mayores que aquellos más alejados.

Los puntos de monitoreo restantes de este grupo, que se encuentran más alejados de la zona marginal y por tanto más próximos a los pozos de bombeo, han registrado descensos de entre 6 y 12 cm/año desde el inicio del seguimiento (2007) y hasta inicios del 2020. En este último año (2023), como se ha mencionado anteriormente, el pozo Allana se detuvo y el Mullay-1 redujo su caudal a la mitad, lo que provocó una recuperación (ascenso) de los niveles. En general, en este grupo la respuesta tras la disminución de las extracciones de agua industrial se observa antes que el grupo anterior, lo que se debe a su cercanía; el efecto es distinto según su proximidad al pozo (Allana o Mullay-1); los pozos con mayor recuperación (ascenso) son el L7-15 y L1-1, ya que están a unos 300 m y 850 m, respectivamente, del pozo Mullay-1 (con tasas actuales de ascenso de 21 cm/año y 17 cm/año, en orden respectivo). También se destacan los puntos L7-1 y L7-2, ubicados en la parte más norte de este sistema, que presentan una tasa de ascenso de 22 y 12 cm/año, respectivamente. El resto de los pozos (L7-6, L2-3, L2-2 y L1-2) mantienen el mismo comportamiento desde 2020, con una tasa de ascenso que varía entre 4 y 11 cm/año. En el segundo semestre de 2023 los niveles siguen con la tendencia descrita con anterioridad.

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



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.1.4 Niveles de reglillas para agua superficial

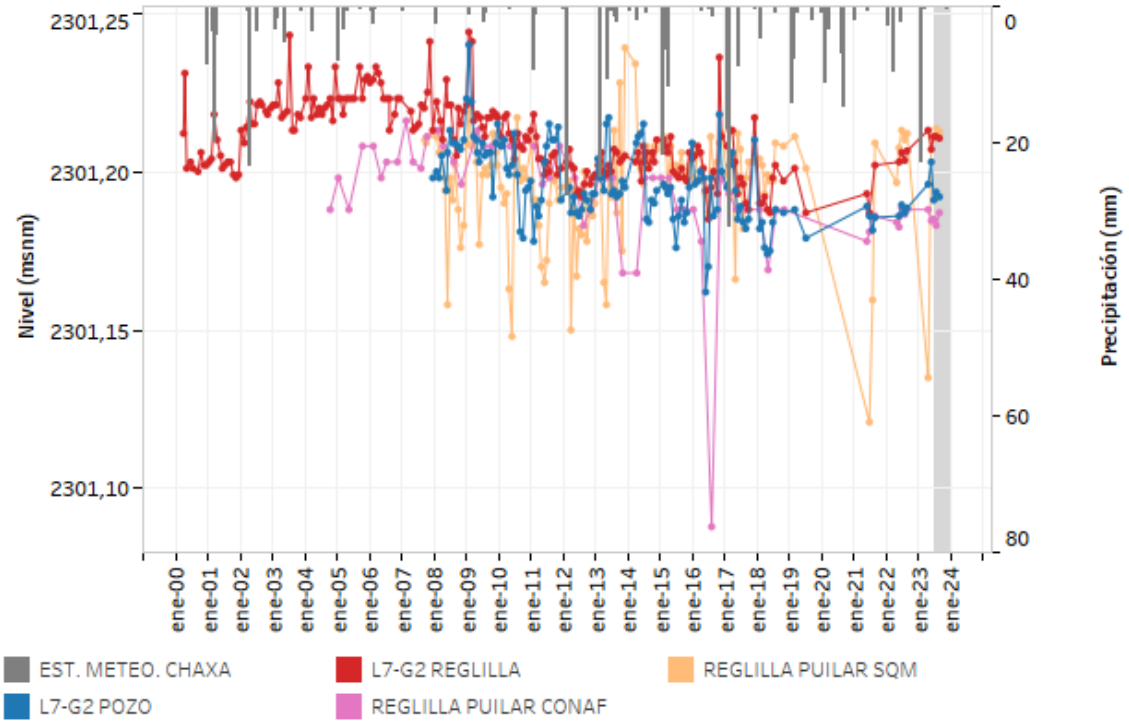
A continuación, se analizan los puntos que miden los niveles de los cuerpos de agua superficial. Es importante mencionar que, a pesar de que el propósito constructivo del punto L1-G4 (Reglilla y Pozo) era medir el nivel de los cuerpos aislados de agua superficiales del entorno de desborde de Cola de Pez (área de desborde de la laguna Barros Negros), se ha observado que los niveles 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).

En la Figura 6-6 se visualizan los niveles de los puntos alrededor de la laguna Puilar: Reglilla Puilar (SQM y CONAF) y L7-G2 (Reglilla y Pozo). Históricamente, los niveles en esta área han mostrado oscilaciones

estacionales irregulares, no obstante, en el caso de los puntos L7-G2 (Reglilla y Pozo) (Figura 6-8) han mostrado una evolución relativamente sinusoidal durante periodos de unos 10 años de datos; se observa una cota máxima histórica en el L7-G2 Reglilla en 2005 y posteriormente un periodo descendente (2006-2011), un periodo leventemente ascendente (2012-2015), de nuevo un periodo descendente (2016-2019) y recientemente, un periodo ascendente de nuevo desde 2021 (desde febrero 2019 y hasta marzo 2021 no se dispone de datos medidos). Este comportamiento probablemente esté ligado a los periodos húmedos y secos del sistema, siendo que estos puntos son los que se encuentran más cercanos a la surgencia de agua que alimenta el canal de recarga de la laguna Puilar. Esta tendencia de ascenso reciente se estaría manteniendo también durante el segundo trimestre 2023 según se observa de los registros.

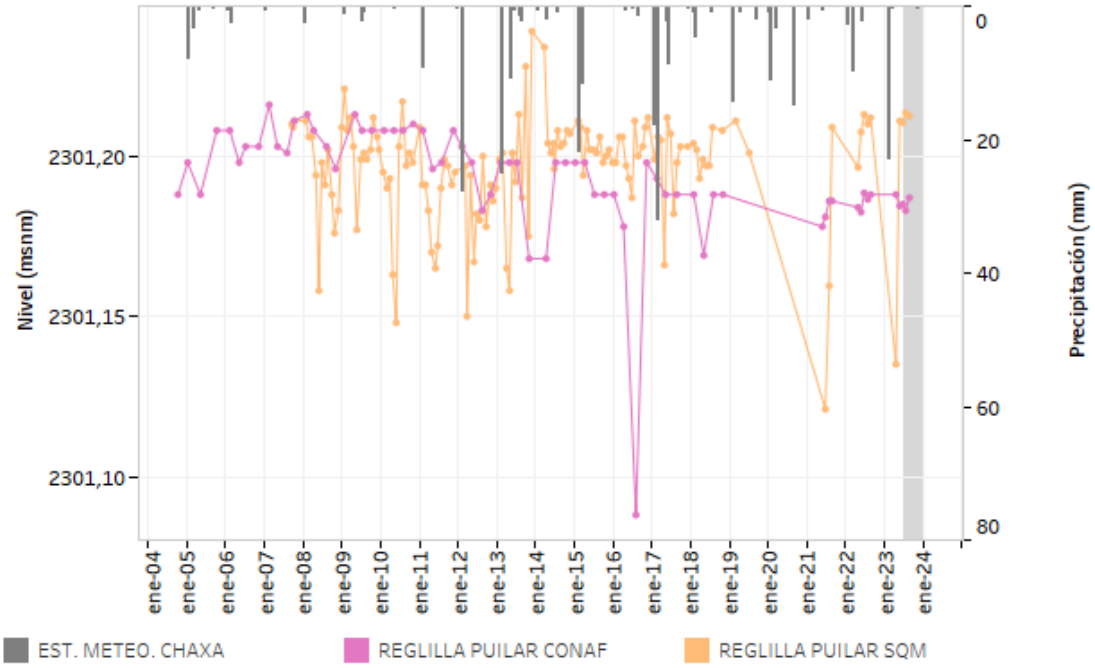
Por su lado, la reglilla Puilar (SQM y CONAF) muestran un comportamiento histórico relativamente estable en el tiempo (Figura 6-7), en donde la variabilidad observada, por ejemplo en forma de leve descenso del punto Reglilla Puilar CONAF entre 2010 y 2019, puede estar sujeta más bien a la posición de los puntos de medición con respecto los bordes del canal y la movilidad de los flujos de agua sobre la superficie, ya que estos puntos se encuentran aguas abajo al lugar de la surgencia que alimenta el sistema lagunar de Puilar. De esta forma, se podría establecer que el sector representado por estas reglillas (Puilar SQM y CONAF) se han mantenido bastante estables durante el periodo de registro, incluyendo el segundo semestre 2023.

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



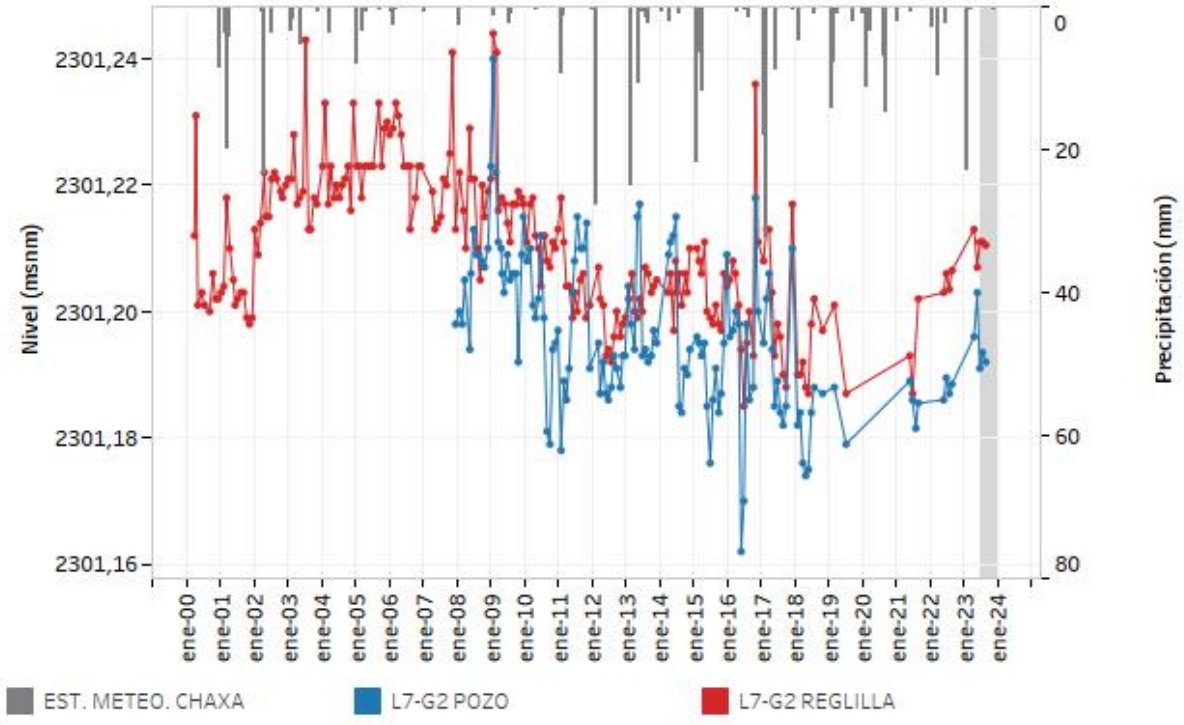
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

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



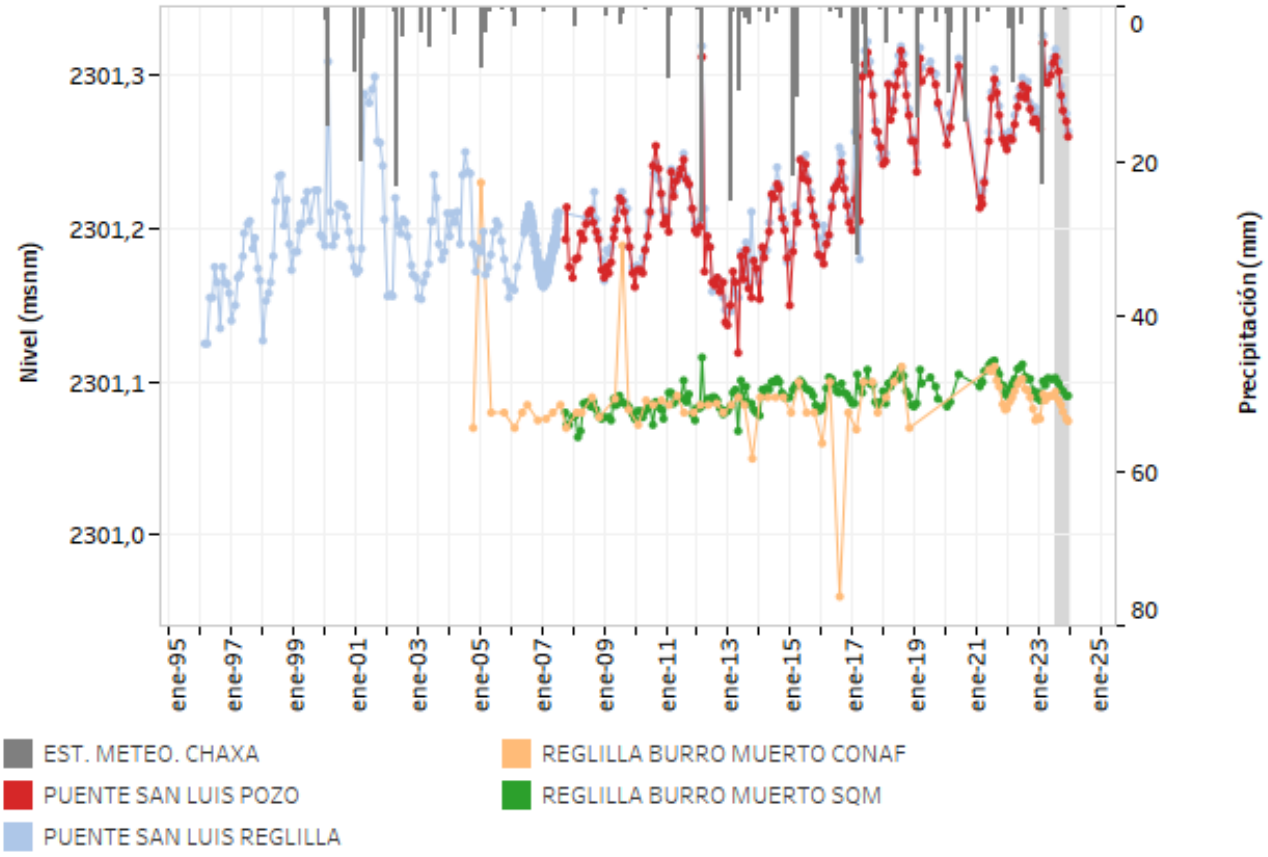
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, el análisis se centra en el sistema de canales y lagunas que abastecen la laguna de Barros Negros. Empezando por los puntos ubicados aguas más arriba del sistema, en la Figura 6-9 se muestran los niveles de Puente San Luis Pozo y Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF).

En base a los datos históricos, se desprende que las mediciones de Puente San Luis (Reglilla y Pozo) son equivalentes, lo cual también aplica para la Reglilla Burro Muerto SQM y CONAF, con contadas excepciones. En relación con los puntos Puente San Luis (Reglilla y Pozo) se reconoce una oscilación irregular, aunque sí mantiene la coherencia de máximos en invierno y mínimos en verano. Se observa también que, a partir del año 2013, el nivel muestra una tendencia claramente ascendente, con una tasa promedio de 1 cm/año. Este comportamiento se ha mantenido a lo largo del semestre reportado, en donde la tendencia de ascenso junto con la precipitación de febrero de 2023, dieron lugar a un registro de máximo histórico.

Por su parte, los puntos de Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF), durante el 2023 se registraron máximos y mínimos estacionales dentro del rango histórico, aunque posicionados en cotas levemente menores a las del verano anterior.

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



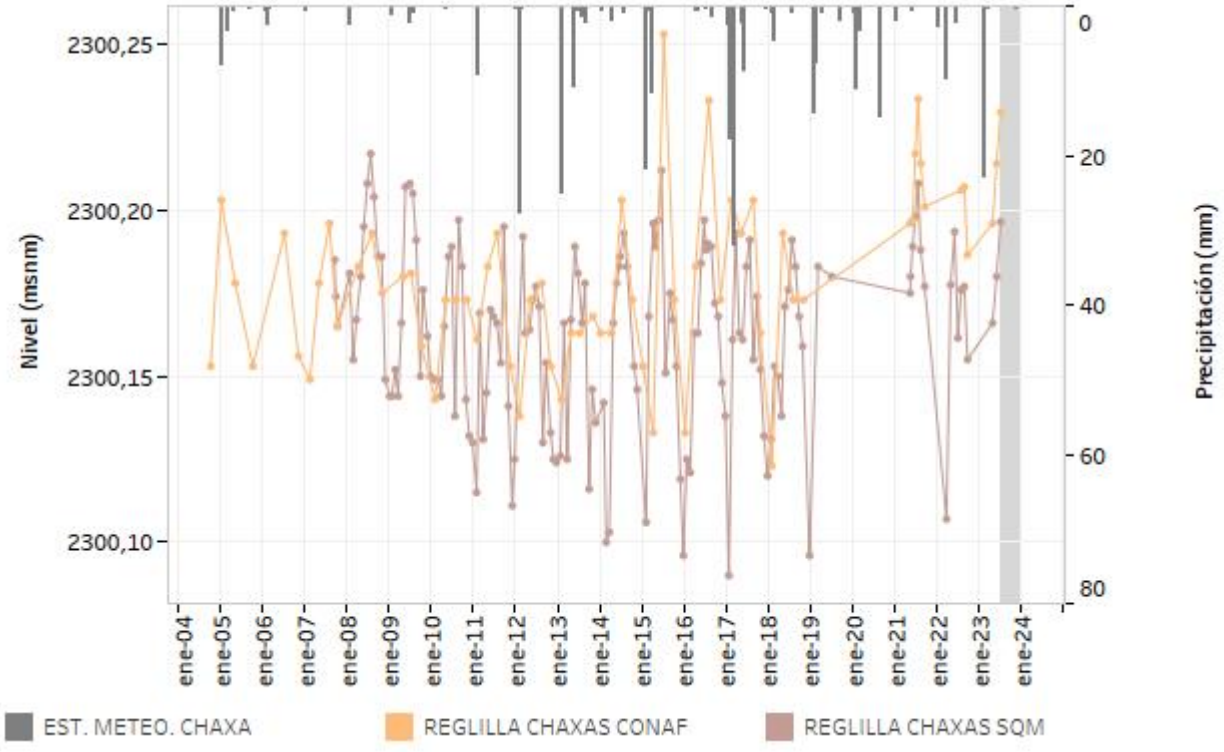
Fuente: Elaboración propia.

Aguas abajo del sistema, los siguientes puntos de medición de nivel de agua superficial quedan a la salida de la laguna Chaxa. Se trata de las Reglillas Chaxa SQM y CONAF, cuyos niveles registrados se ven en la Figura 6-10. Como ocurre en otros casos, la frecuencia histórica de medición en el punto de SQM es mayor que en el punto CONAF, por lo que el análisis de la tendencia se observa mejor en el primer punto mencionado. Se observa que en la Reglilla Chaxa SQM, previo a 2014, el nivel mostraba una tendencia a descender a la vez que una oscilación estacional de unos 6 cm de amplitud. Posterior a 2014, el nivel

permanece relativamente estable, registrando aumentos en la amplitud de oscilación a más de 10 cm en algunos casos.

No se realizaron mediciones en el período comprendido entre junio de 2019 (octubre 2018 en el caso del punto de CONAF) y mayo de 2021, debido al cierre de la reserva durante la pandemia de COVID-19. Adicionalmente, de forma anual se produce el cierre de las reservas durante la época de nidificación, lo que ha conllevado a una falta de registros para los períodos comprendidos entre septiembre de 2022 y abril de 2023, así como también entre julio y diciembre de 2023. Por esta razón, se dificulta la definición del comportamiento de los niveles en esta sección del sistema para los últimos años. Sin embargo, en términos generales, los dos puntos presentan valores de mediciones recientes, durante el año 2023, que se sitúan en el rango de variabilidad histórico. En base a lo anterior, se podría asumir que el comportamiento en este entorno se mantiene estable.

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

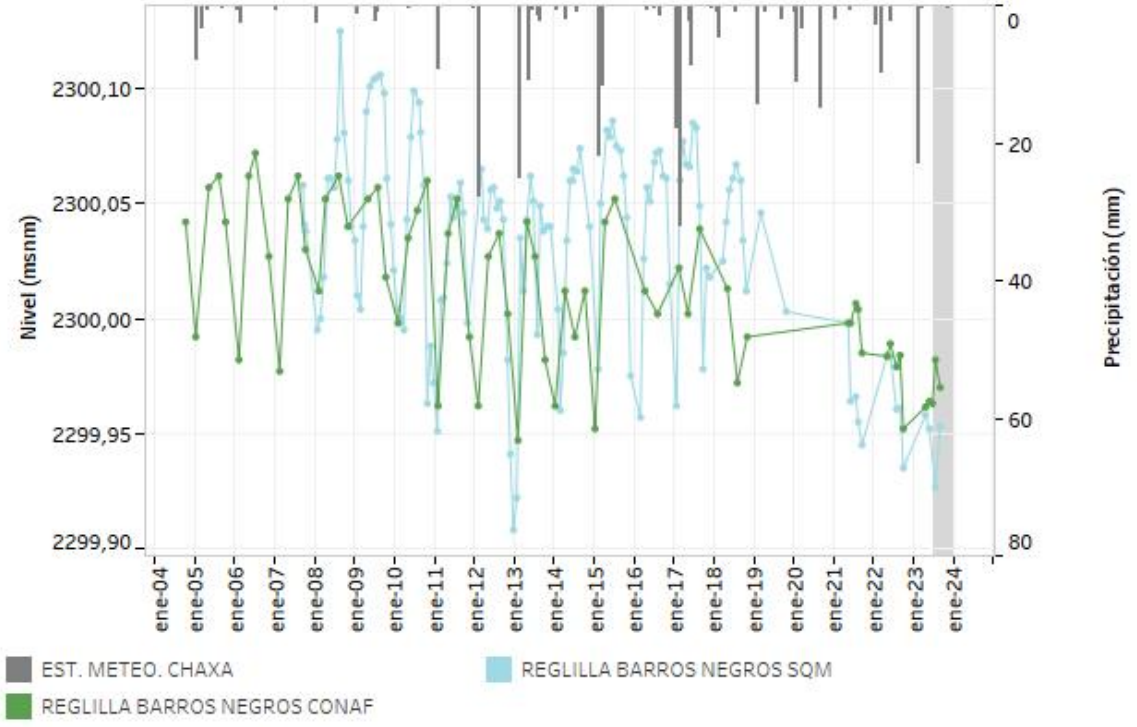


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, dentro de la laguna de Barros Negros se encuentran los puntos de medición Reglilla Barros Negros SQM y CONAF, cuyos registros se muestran en la Figura 6-11. Se observa un comportamiento donde previo al año 2011 la cota promedio era de 2.300,05 m.s.n.m. y posterior a ese año, la cota descendió unos 3 cm (2.300,02 m.s.n.m.).

Tal como ocurrió en el caso anterior, no se realizaron mediciones desde octubre 2019 (octubre 2018 en el caso del punto de CONAF) hasta mayo de 2021, y tampoco se dispone de registros en las épocas de nidificación, por cierre de la reserva. De acuerdo con esto, es complejo establecer tendencias con certeza. No obstante, en términos generales, se ha observado que la reglilla tiene una tendencia descendente probablemente desde 2018, resultando una tasa de hasta 2 cm/año. Dicho comportamiento podría relacionarse 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.

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



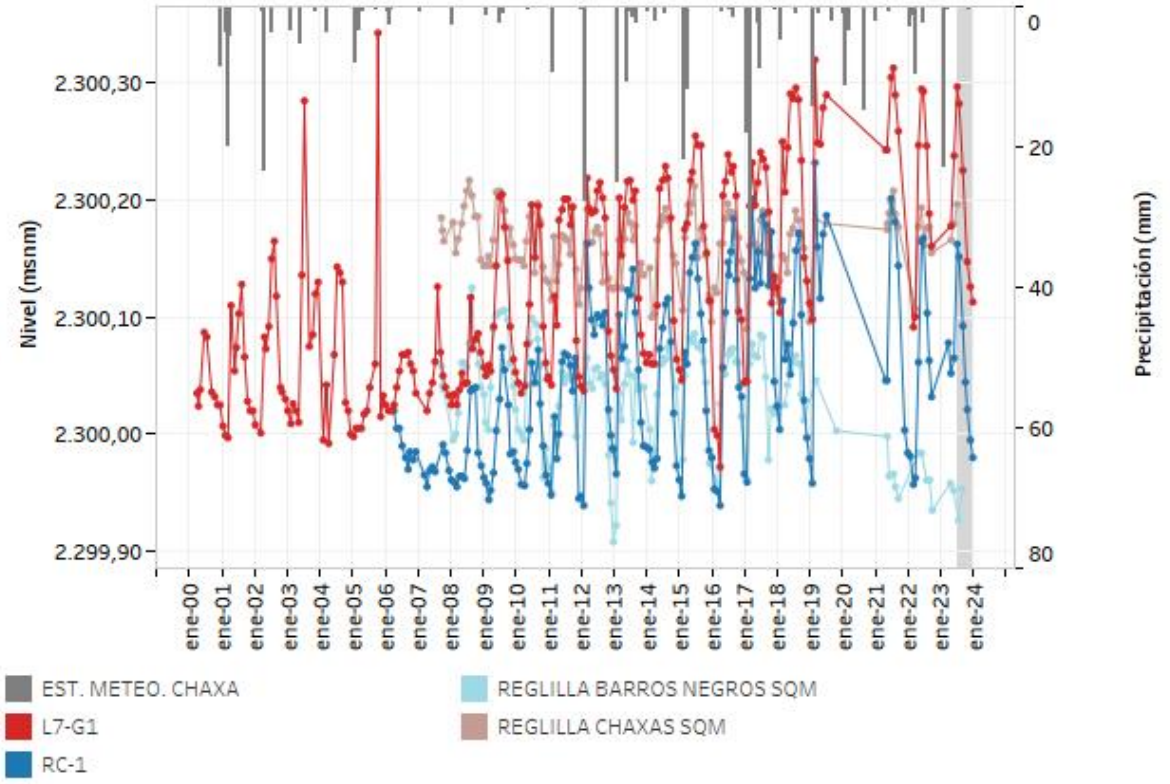
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el análisis se centra en el canal de Burro Muerto, que fluye desde el norte pasando por el Puente San Luis y luego conecta la laguna de Chaxa con la laguna Barros Negros. El análisis de este grupo

de puntos se realizó luego de estudiar los niveles a la salida de Chaxa y en la laguna Barros Negros, pues es esperable que los puntos en el canal muestren relación con la infraestructura descrita anteriormente. En este tramo fluvial se encuentra la reglilla L7-G1 y en la Figura 6-18 se muestran los niveles medidos en este punto, así como con las reglillas de Chaxa y Barros Negros. También se incluyó el nivel del punto RC-1, ya que, si se visualiza la altura piezométrica de los niveles y la oscilación estacional, se distingue que, pese a ser un punto construido para medir el acuífero en esa zona, se interpreta que mide el nivel de los cuerpos de agua superficial. Esto se analiza nuevamente en el siguiente apartado (Pozos en zona marginal). De la Figura 6-12, se ha extraído las siguientes conclusiones:

- Entre la laguna Chaxa y Barros Negros existe una diferencia de nivel de unos 12 cm, que se ha mantenido durante todo el período de medición y determina la dirección esperada del flujo. Incluso, como ya se ha mencionado, ambos cuerpos de agua disminuyen la cota del nivel promedio a partir del año 2010-2011 que, por otro lado, esta diferencia de cota es esperable para que se produzca un flujo a través del curso fluvial.
- El punto L7-G1, que se ubica entre ambas lagunas, muestra una oscilación propia de la estacionalidad de la recarga por precipitación. Es notorio que el promedio de los niveles tiene una tendencia al ascenso entre 2009 y 2019 en donde los máximos superaron la cota de la laguna Chaxa desde el 2011. A partir de los máximos estacionales registrados desde 2012 hasta 2023 se muestra una tendencia a la estabilización, quedando una diferencia de cota estable de hasta 10 cm, con respecto la laguna de Chaxa.

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



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.1.5 Pozos en zona marginal

En esta sección el análisis se realiza para aquellos puntos que se localizan en la zona marginal del sistema Soncor. Se trata de una zona caracterizada por comportamientos diversos, puesto que existen varios factores hidrogeológicos que modifican los niveles de forma local y distinta según el sector. Al oeste de la zona marginal del sistema Soncor se ubica el afloramiento 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).

Para comenzar, en base al análisis de los puntos más cercanos al acuífero aluvial, se identifica un comportamiento diferenciado por ser transicional entre el aluvial y la zona marginal. Se trata de los puntos L2-8, L2-25, L7-3 Y L7-14. Estos puntos muestran tendencias de descenso propias del acuífero aluvial y pueden verse influenciados por los conos de depresión de los bombeos de agua industrial, así como

también muestran una oscilación estacional más propia de la zona marginal. Dado que existen diferencias de cota importantes que no permiten apreciar el comportamiento a describir, en la Figura 6-13 se presentan los descensos calculados para este grupo.

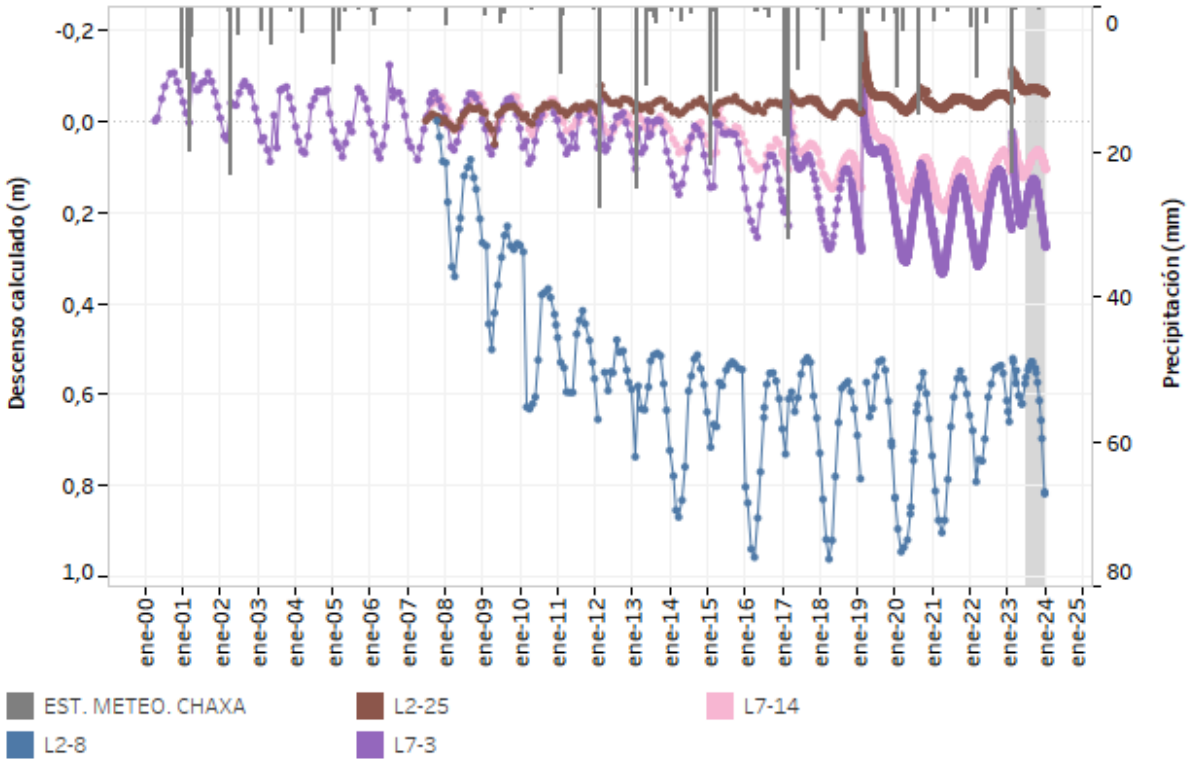
Para la descripción del comportamiento de los niveles, es necesario describir previamente la ubicación de estos puntos con respecto a los pozos de agua. Los puntos L7-3 y L7-14 se localizan aguas arriba del sistema Puilar, sobre la transecta de los pozos L7, que se sitúa frente el pozo Mullay-1. Por su parte, el L2-8 se sitúa alrededor de las Vegas de Carvajal. Finalmente, el punto L2-25 se ubica sobre la transecta de los pozos L2, al frente del pozo Allana. Como se observa en la Figura 6-13, la respuesta a los efectos de la extracción es muy distinta entre ellos, siendo que la magnitud de descenso no guarda relación con la distancia a los pozos de agua industrial. De esta manera, se confirma la alta variabilidad litológica en este sector de la cuenca, lo que lleva a una alta heterogeneidad en la conductividad hidráulica del acuífero.

De este grupo, el mayor efecto de la extracción se observa en el L2-8 que, reproduciendo una oscilación estacional durante todo el periodo de registros, se observó un descenso continuo desde el inicio de los registros (2008) y hasta 2016, con una tasa promedio de 6,5 cm/año. Entre 2016 y 2018, el L2-8 presentó una tendencia a la estabilización, y desde 2019 se observó una recuperación del nivel (ascenso) que se hace más evidente en los registros de los mínimos estacionales. Estos cambios en el comportamiento podrían estar asociados al manejo operacional del pozo Camar-2, que en 2018 se desmanteló definitivamente, junto con la reducción de las extracciones entre los pozos Allana y Mullay-1. En el primer semestre de 2023 la amplitud de la oscilación resultó de 10 cm, mientras que, por ejemplo, en 2018 resultó ser de unos 39 cm. En el actual semestre reportado, la amplitud alcanzó un máximo de 29 cm.

Los puntos L7-3 y L7-14, por su lado mantienen también la oscilación estacional, pero mostraron menores tasas de descenso entre el inicio de los registros y hasta 2021 (1 cm/año, aproximadamente). Es a partir de 2021 y hasta fines de 2023 cuando estos puntos muestran una señal de recuperación (ascenso), con una pendiente promedio de 2,6 cm/año. El comportamiento de estos puntos está ligado probablemente a la reducción de las extracciones por parte de los pozos Allana y Mullay-1.

Finalmente, el L2-25 ha mostrado un singular comportamiento de ascenso continuo, con una tasa promedio de 0,3 cm/año, la que se mantiene durante el segundo semestre de 2023.

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



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente grupo de pozos que se analiza en esta sección es el que se ubica en torno a la interfaz salina y que, por tanto, muestra un comportamiento más relacionado con la zona marginal. Estos pozos se caracterizan por mostrar una tasa de descenso casi nula y una fuerte estacionalidad. Las diferencias de cotas entre ellos no permiten distinguir en un gráfico el comportamiento a describir, es por esto por lo que, en la Figura 6-14 se muestran los descensos calculados desde 2008.

Los puntos de este grupo se distribuyen de norte a sur, sobre la zona de afloramiento de la interfaz salina en superficie. Se trata del punto 1027 (más al norte), L7-4 y L7-7 (cerca de la laguna Puilar), el L1-17 (sobre las vegas de Carvajal) y el L2-4 (localizado más al sur, próximo al sistema Aguas de Quelana).

De la Figura 6-14 se observa que el L7-4 es aquel que muestra menor amplitud de la oscilación (una variación entre máximos y mínimos estacionales del orden de 2,5 cm). A partir del gráfico se desprende que los mínimos se observan a cotas menores (aumentando la amplitud de las oscilaciones) en los años

hidrológicos secos (período 2008-2010 y los años 2014, 2016 y 2018). De esta forma, se interpreta que estos puntos se relacionan con la recarga proveniente del borde este, así como también de la recarga directa por lluvia de los eventos más intensos. Como en todos los puntos de RNLF, este punto no se pudo medir entre los meses de septiembre de 2019 y marzo de 2021, así como tampoco durante los meses de nidificación porque la reserva se mantiene cerrada. No obstante, las mediciones registradas, incluido el segundo semestre de 2023, muestran que los niveles obtenidos están en el rango de cota que este pozo ha registrado históricamente.

En el caso del pozo L7-7, que está ubicado al noreste del sistema, a menos de 500 m del L7-4, entre 2008 y 2018, mostraba una oscilación estacional con una amplitud de hasta 33,9 cm, con mínimos estacionales relacionados a si los años hidrológicos fueron secos o húmedos; niveles en años secos se registraban a menores cotas, dando lugar a los mínimos históricos de 2016 y 2018, por ejemplo. Analizando el segundo semestre de 2023 se puede ver cómo este punto tiene con un comportamiento de oscilación regular.

Un punto a destacar es el L1-17, indicador de estado en que se activó la Fase II del PC en marzo 2021, tras alcanzar un nuevo mínimo histórico y a la fecha de elaboración del presente reporte, se registraron mínimos históricos que provocaron una nueva activación, que será descrita en el PSAH N°35.

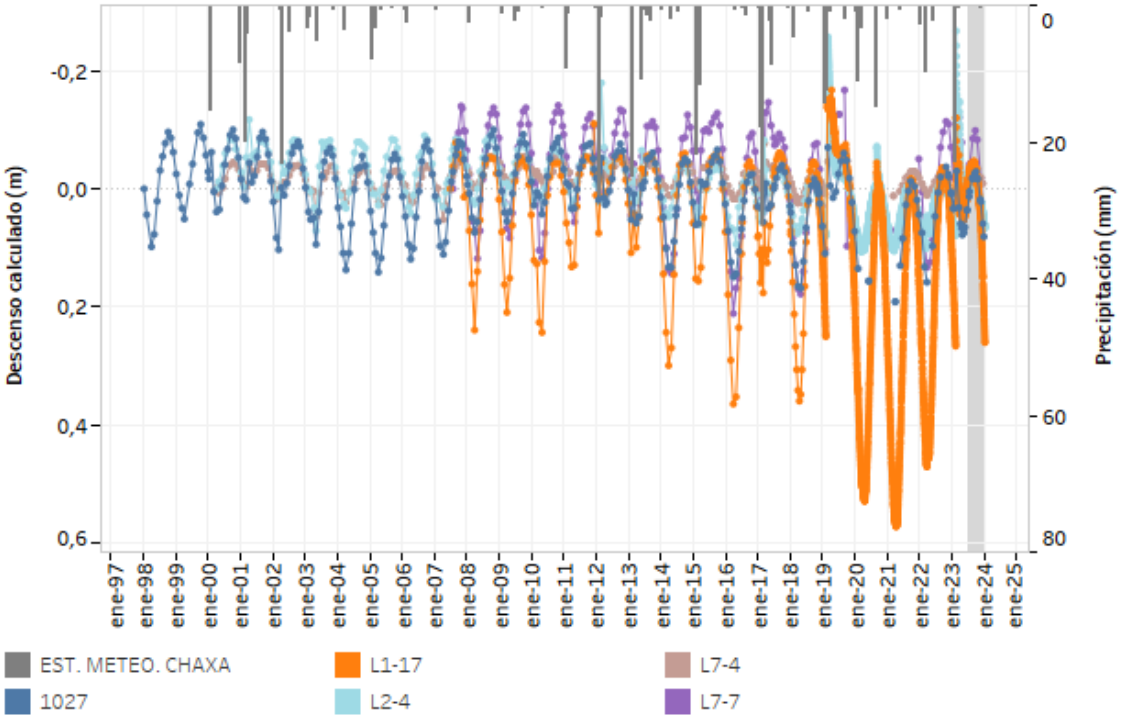
En 2021, el nivel se situó 21 cm por debajo del mínimo del año 2018 (el mínimo de 2019 se registró más elevado producto de la influencia de la lluvia de ese mismo año). Desde el 2019, el pozo ha mostrado un nuevo patrón de comportamiento, donde la amplitud de la oscilación aumentó hasta los 58 cm (agosto 2020) debido a la disminución de las cotas en las que se reproducen los mínimos estacionales. De acuerdo con los análisis presentados en el informe de investigación asociado (Hidroestudios, 2021), se concluyó que este cambio de comportamiento fue producto de las extracciones de agua industrial en el acuífero aluvial. El mínimo estacional de 2022 se registró a mayor cota que el anterior, lo que habría llevado a la conclusión de que podría haberse notado en este sector la respuesta de la disminución de las extracciones de los pozos Mullay-1 y Allana. Durante el año 2023, se registraron mínimos a una cota mayor que los años precedentes (42 cm en comparación al mínimo del año 2022). En general, el pozo continúa mostrando una tendencia de recuperación, a una tasa de 1 cm/año (calculada desde enero 2019 hasta diciembre 2023).

Por su lado, el punto L2-4, que se encuentra en el extremo sur de las Vegas de Carvajal (aguas abajo del descrito anteriormente L2-25, en donde la tendencia descrita corresponde a un ascenso continuado). El

nivel aquí ha venido reproduciendo la estacionalidad esperada para un pozo de la zona marginal, en donde se destaca que la amplitud de la oscilación se ha mantenido muy estable. No obstante, la tendencia ha ido variando en el tiempo, ya que entre 2007 y 2010 ésta se ha observado estable (sin ascenso ni descenso), mientras que entre 2011 y 2019 mostró una tendencia promedio de descenso (1 cm/año). Por último, desde 2019 hasta 2023, se muestra que los niveles están estabilizados, sin una tendencia clara. Es importante mencionar que se registraron máximos estacionales históricos a comienzos de 2019 y de 2023, asociados a eventos de precipitación.

Finalmente, el punto 1027, que se ubica más al norte del sistema, ha mantenido históricamente casi una misma amplitud estacional, no obstante, la tendencia ha ido cambiando el tiempo. Desde 2007 y hasta 2012 se observaba una leve tendencia promedio de ascenso (0,4 cm/año). Posteriormente, mostró un descenso, para luego dar paso a un comportamiento más estable hasta 2023 (Figura 6-14).

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



Fuente: Elaboración propia.

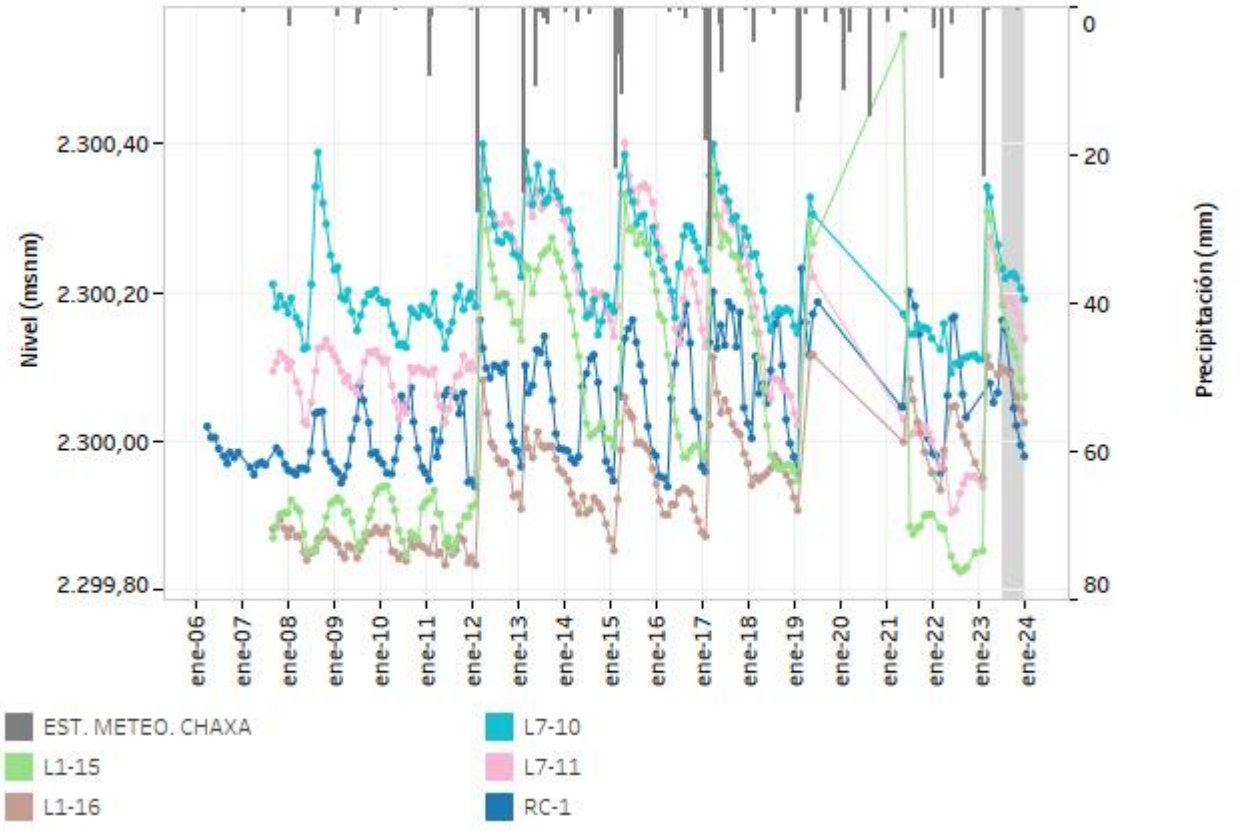
El comportamiento de los niveles en la zona marginal cambia cuando los puntos de observación se encuentran cercanos al sistema lagunar del Sistema Soncor. Se trata del cordón de puntos ubicados al este

del sistema Chaxa-Barros Negros y al oeste de la interfaz salina. Su distribución de norte a sur corresponde a L7-10, L7-11, L1-15 y L1-16 (Figura 6-15), L1-9 y L1-10 (Figura 6-16) y, finalmente, L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5 (Figura 6-17). En general, se observa que en este grupo de pozos se pierde la marcada regularidad estacional que presentaban los pozos del grupo anterior (comportamiento asociado a la zona marginal) y no presentan tendencias de descenso.

Se destaca el comportamiento observado en los puntos L1-16 y L1-15 (Figura 6-15): el punto L1-16 es el más cercano al canal de Burro Muerto, ubicado a unos 180 m del canal, mientras que el punto L1-15 se localiza a unos 500 m en dirección al borde este. En el período 2007-2011 (período seco), ambos puntos mostraron niveles a cotas similares, pero a partir de las lluvias de 2012, se generó un salto de la cota promedio significativo, que fue mayor en el L1-15 (41 cm) que en el L1-16 (25 cm), haciendo que la diferencia de sus cotas piezométricas variase entre 4 cm (promedio del período 2007-2011) y 20 cm (promedio del período 2012-2018). En base a lo anterior, se puede asumir que, a partir de esta fecha, ocurrió una recarga preferente desde el borde este. En los años 2019 y 2020 no se pudo acceder al sector, por lo que se produjo un vacío de información en este período. Desde la reactivación de las mediciones, en mayo 2021, se observó que el punto L1-16 mantuvo un ascenso de nivel constante (considerando el segundo semestre de 2023, correspondería una tasa de 2,5 cm/año), mientras que el punto L1-15 registró mediciones a cotas inferiores al L1-16 por primera vez en junio de 2021, que duró hasta las lluvias de febrero de 2023. Particularmente, en el segundo semestre de 2023, se observa un comportamiento de descenso similar a la tendencia histórica. De acuerdo con lo anterior, se podría inferir que la dirección de flujo en este entorno se haya invertido (pasando a ser, en ese período, en dirección hacia el borde este). Posterior a las lluvias, a partir del registro de febrero de 2023, nuevamente se invierte el sentido flujo, ahora en dirección hacia el canal. En base a esto, se puede concluir que la dinámica de recarga subsuperficial provendría del borde este, la que se acentúa en los períodos de lluvia.

Respecto de los puntos L7-10 y L7-11, que se encuentran más al norte y ambos distan más de 1 km del canal de Burro Muerto, es normal observar un comportamiento similar al del punto L1-15 (descrito anteriormente), con fuertes ascensos producto de las lluvias y descensos con pendiente estable. En este caso, el descenso ha sido de 0,1 y 0,2 cm/año consecutivamente y, tal como puede observarse en la Figura 6-15, las cotas piezométricas entre estos tres puntos son similares.

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)

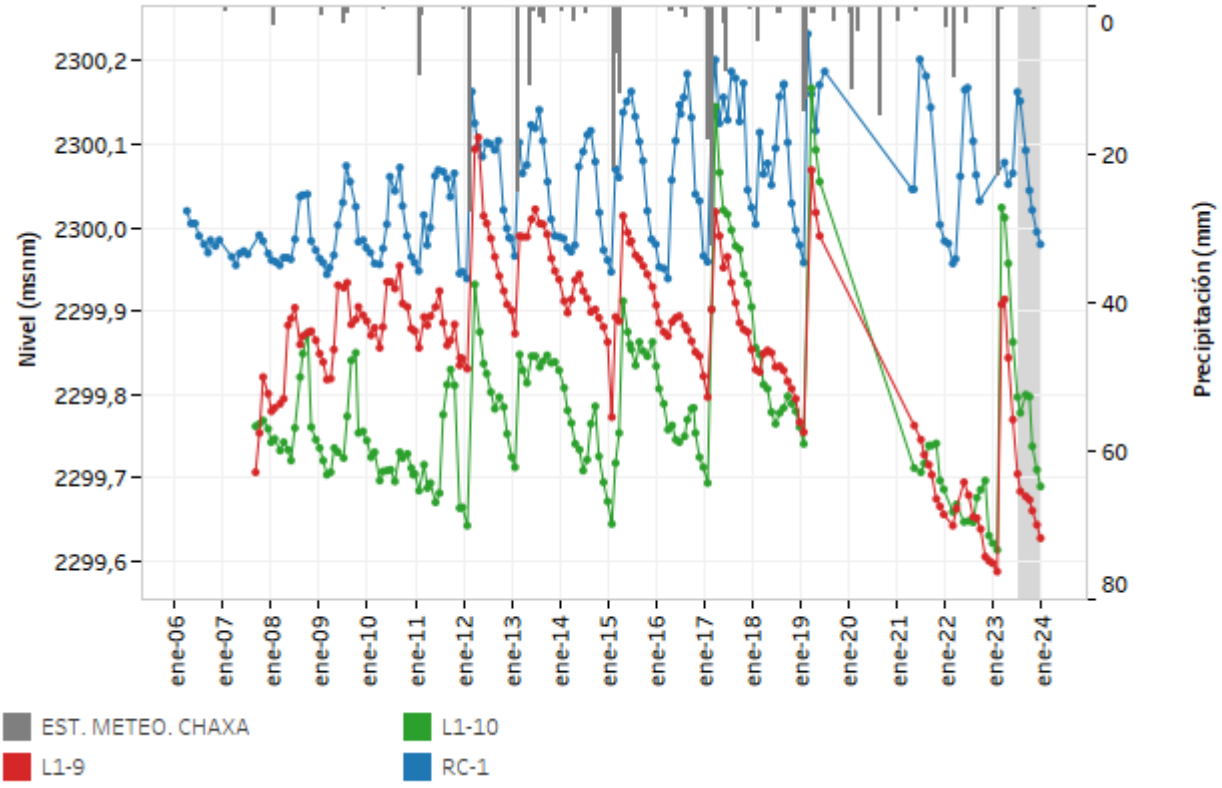


Fuente: Elaboración propia.

Respecto de los puntos L1-9 y L1-10, éstos se muestran en la Figura 6-16 junto al punto RC-1 como referencia para el análisis. Estos puntos se sitúan a 1 km aproximadamente del cuerpo principal de Barros Negros, siendo el punto L1-10 el más próximo a éste. Como se observa, estos puntos están fuertemente ligados a la recarga que causan las precipitaciones de los años húmedos. No obstante, se observa que las tendencias en ambos puntos han sido variadas según períodos; entre 2007 y previo a las lluvias de 2012, el L1-9 mostraba una tendencia de ascenso, mientras que en el L1-10 la tendencia era de descenso. A partir de 2012, en ambos casos se invierten las tendencias, lo que lleva a que sus niveles prácticamente se solapen posterior a las lluvias de 2017 y de 2019. Desde este último año, ambos puntos muestran una tasa de descenso promedio de unos 5 cm/año, aproximadamente (considerando el segundo semestre de 2023),

y la cota del L1-9 se mantiene levemente por debajo de la cota del L1-10, lo que lleva a que se produzca un leve flujo hacia el borde este en este sector.

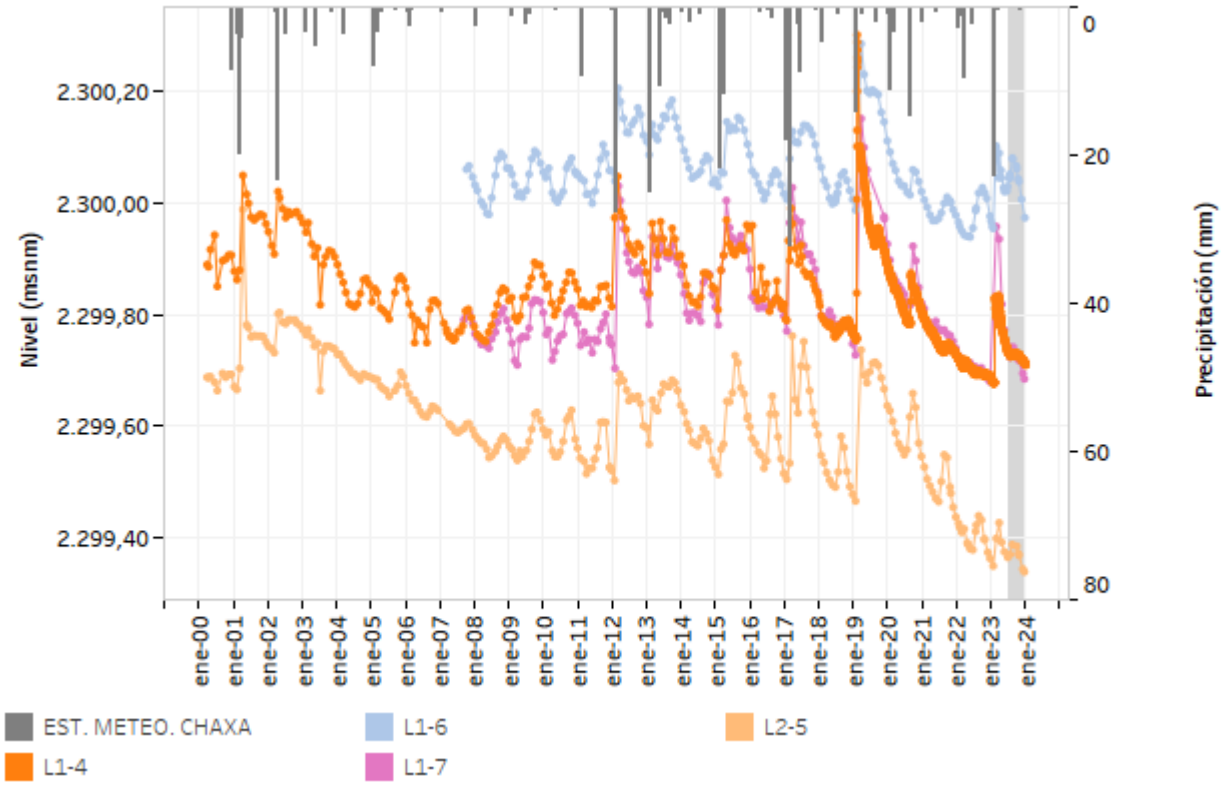
Figura 6-16: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10)



Fuente: Elaboración propia.

Los puntos ubicados más al sur (L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5) se observan en la Figura 6-17. Al igual que los grupos anteriores, se evidencia un cambio significativo en el patrón de niveles a partir de 2012, probablemente debido a la sucesión intercalada de años con fuertes lluvias, en comparación con el período entre 2007 y 2011, que resultó ser más seco. A partir de 2012, e incluyendo el 2023, se observan oscilaciones poco regulares, a la vez que respuestas más rápidas a las lluvias en forma de ascensos fuertes y posterior recuperación hacia un nivel base (el ejemplo más evidente es la respuesta al evento de lluvia de 2019). En todos los casos, la tendencia generalizada es de descenso, con unas pendientes de entre 1,1 cm/año en el L1-6 y 3,1 cm/año en el L1-4.

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.

Al oeste y al sur de la laguna Barros Negros han ocurrido eventos históricos de desborde de la laguna. En el sector de desborde Cola de Pez (al oeste del cuerpo principal), en los pozos influenciados por estos episodios se han observado dos grupos. El primer grupo se caracteriza por haber recibido aportes directos desde el evento de desborde y, en consecuencia, mostraron respuestas inmediatas en sus niveles. Mientras que, el segundo grupo, debido a su ubicación, recibía recargas desde los desbordes por infiltración, mostrando *peaks* suavizados, de menor amplitud y más tardíos.

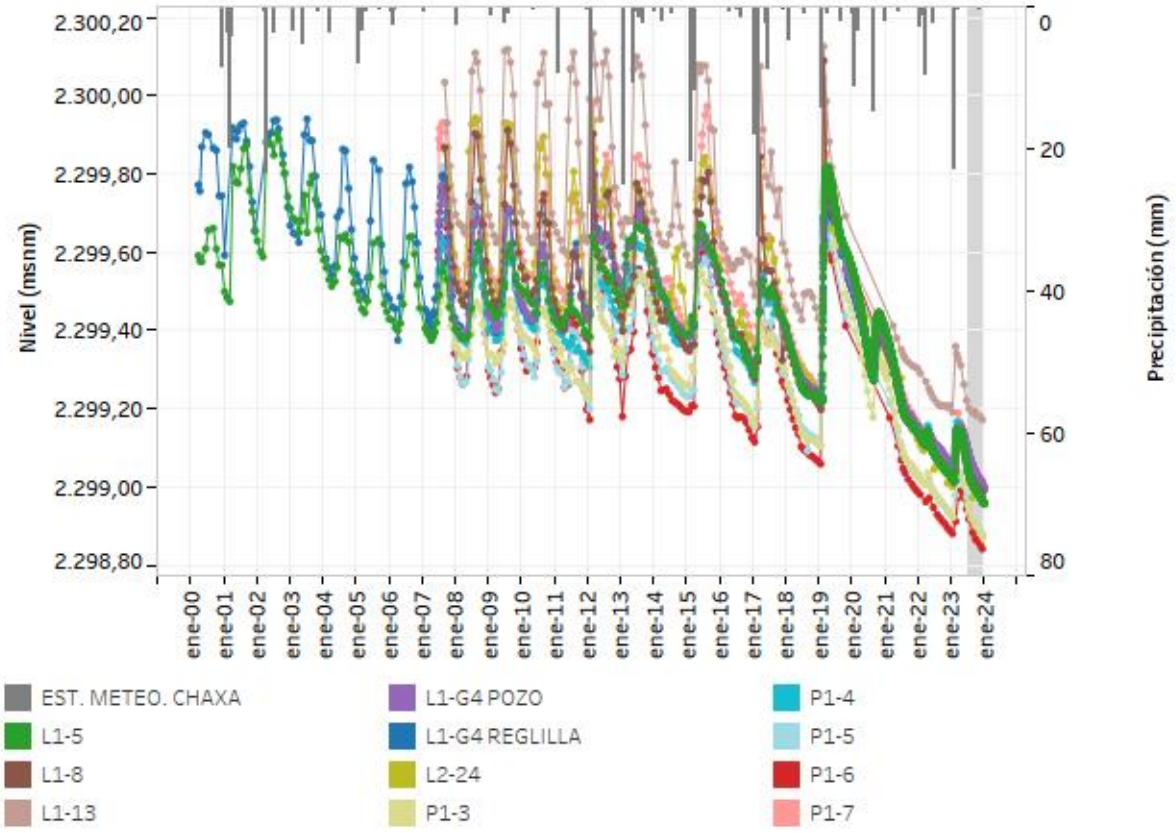
En la Figura 6-18 se muestran los niveles de los puntos que reciben en forma de recarga directa desbordes (L1-5, L1-8, L1-13, L1-G4 Pozo y Reglilla, L2-24, P1-3, P1-4, P1-5, P1-6 y P1-7). En ellos se observa una marcada estacionalidad (oscilación), que disminuye en la medida que el punto se encuentra más alejado del cuerpo principal de la laguna o del respectivo desborde, es decir, que se reduce la amplitud de la oscilación. Se interpreta, por tanto, como un pulso que se produce localmente en el punto de desborde y

que se propaga en dirección del sentido del flujo (desde la laguna y en dirección suroeste), dando lugar a una reducción progresiva de la respuesta.

No obstante, es posible observar cómo esta dinámica cambió de forma progresiva durante el año 2011 y más evidentemente a partir de la lluvia de 2012, que se caracterizó por ser muy intensa (38,8 mm en dos días, según la estación de Chaxa); se estima que fue el evento a partir del cual cambió la dinámica de desbordes de la laguna Barros Negros (IDAEA-CSIC, 2018)[38]. A partir de esta fecha, se puede ver como se perdió la regularidad de la oscilación entre los puntos. Las respuestas más evidentes de los niveles coinciden con los eventos de lluvia y, progresivamente en los años 2014, 2016 y 2018, que fueron años secos, se midieron pulsos cada vez más tenues, produciendo cada vez menos desbordes hacia este sector. Por lo anterior, es posible concluir que estos puntos hoy en día están midiendo los niveles del acuífero sin el aporte superficial que se recibía por los episodios de desborde. Así, 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, aproximadamente.

De este grupo de puntos, aquellos dentro de la RNF (P1-7, P1-6, P1-5, L1-13, L2-24 y L1-8) dejaron de medirse durante la pandemia por COVID-19 (desde octubre 2019 y hasta febrero 2021). No obstante, todos los puntos de esta sección muestran, incluyendo el segundo semestre 2023, la misma tendencia de descenso basal (sin contabilizar los ascensos producto de las lluvias), que es de unos 4 cm/año.

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



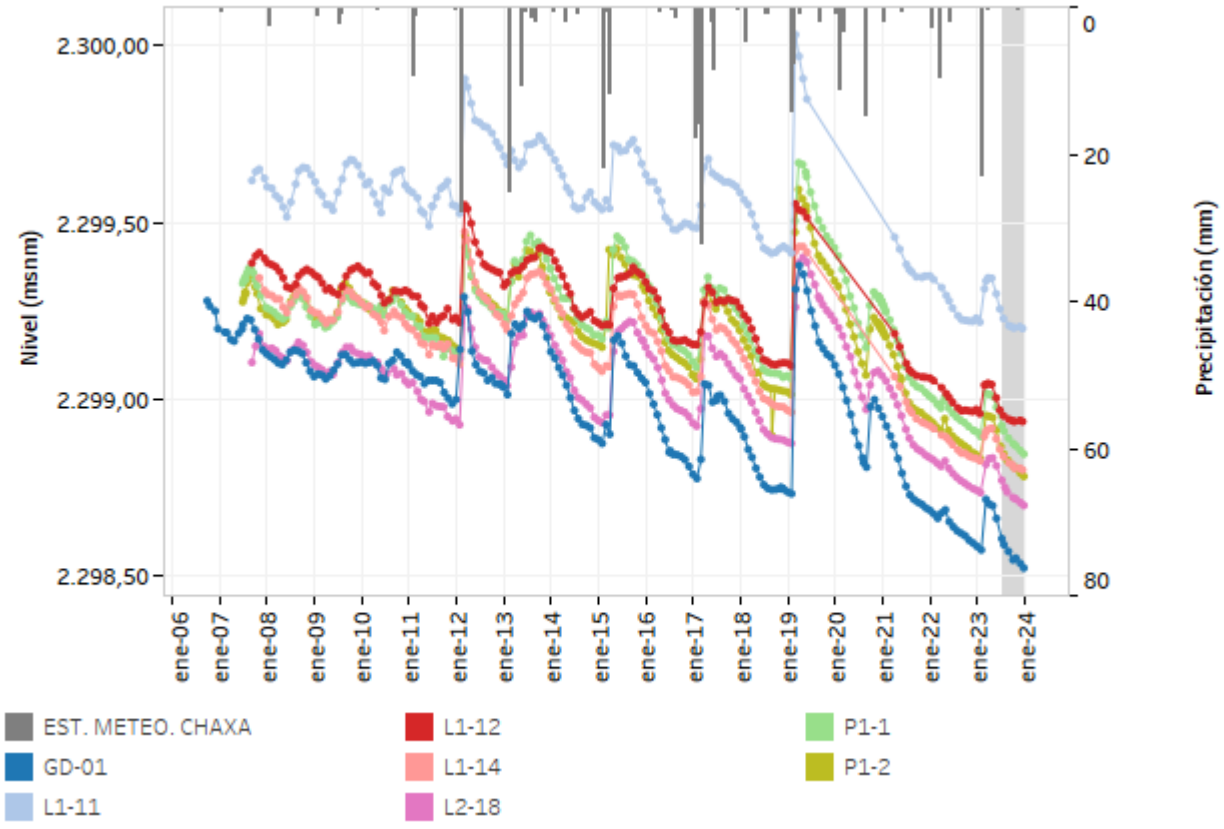
Fuente: Elaboración propia.

Los pozos que están más alejados del punto de desborde de Cola de Pez (GD-01, L1-11, L1-12, L1-14, L2-18, P1-1, P1-2) se presentan en la Figura 6-19. En general, estos puntos se caracterizan 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 anteriores (influenciados de forma directa) porque las cotas en este caso son inferiores, disminuyendo de forma gradual a medida que el punto se encuentra más alejado de la zona de desborde. A partir de lo anterior, se puede concluir que la descarga llega a estos puntos como infiltración desde la superficie hasta la zona saturada.

De la misma forma que se ha reconocido en el anterior grupo de pozos (los influenciados de forma directa por el desborde), estos puntos, como es de esperar, también muestran en sus niveles el cambio de la dinámica de desborde de Barros Negros. Por lo que, hoy en día, presentan una respuesta a la recarga

directa de precipitación con posterior recuperación (descenso) hacia unos niveles que se mantienen con una tendencia de descenso estable. De esta forma, el comportamiento actual (incluyendo el segundo semestre 2023) es el mismo que el observado para el anterior grupo, y muestran una pendiente basal similar (sin contabilizar los aumentos producidos por la lluvia) de unos 3 cm/año.

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



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente grupo de puntos a analizar son aquellos que están influenciados por el desborde hacia el sur de la laguna Barros Negros, llamado Desborde Sur (L2-9, L2-10, L2-15, L2-16, L2-21, L2-23, P2-1, P2-2, P2-3, P2-4 y P2-5). De acuerdo con los estudios que se han desarrollado en la cuenca en los últimos años (IDAEA-CSIC, 2018) y como se ha mencionado con anterioridad, se ha reconocido que la dinámica de desborde de la laguna cambió a partir de las lluvias de febrero de 2012. Desde esta fecha en adelante, los desbordes hacía Cola de Pez fueron menos intensos, favoreciendo la salida a través del límite sur de Barros

Negros. Esto trajo consigo una serie de cambios en los niveles de los puntos de control de esta zona, los cuales se describen a continuación.

Los niveles en pozos influenciados por el Desborde Sur se han dividido en dos figuras (Figura 6-20 y Figura 6-21) para mostrar mejor sus comportamientos. En ambas, se acompañan de los niveles de la Reglilla Barros Negros SQM como referencia para el análisis.

En la Figura 6-20 se muestra un primer grupo de pozos que se caracteriza por estar estrechamente ligado al nivel de la reglilla de Barros Negros. Como puede verse, el punto L2-23 se solapa tanto en cota como en amplitud de oscilación con el nivel de la reglilla de la laguna a partir de la segunda mitad del año 2010 y, dada su ubicación con respecto al límite de la laguna se interpreta que este punto en realidad está midiendo las oscilaciones del cuerpo lagunar. En relación con lo anterior, que se podría decir que el límite de la laguna habría aumentado hasta alcanzar este punto.

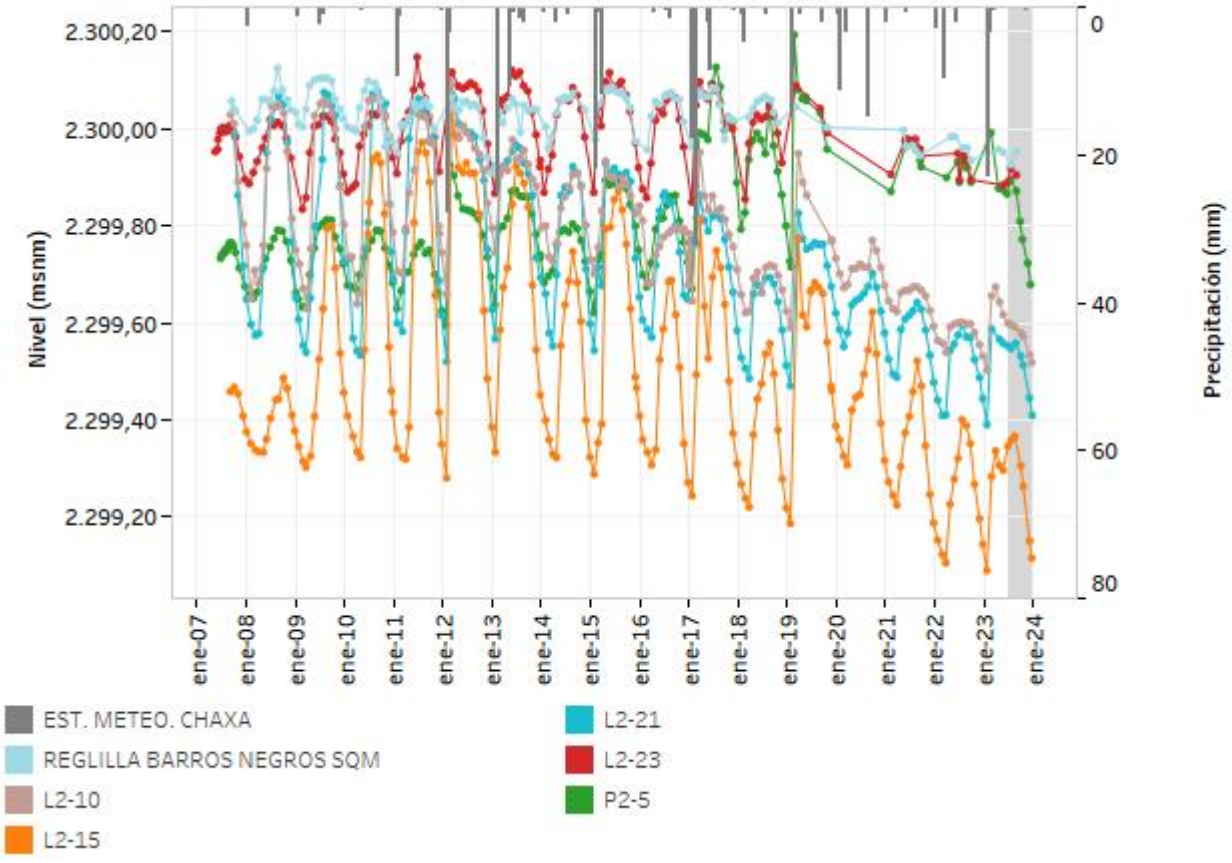
Ocurre algo parecido con el punto P2-5, que durante el período comprendido entre 2007-2017 se muestra oscilante a una cota inferior a la de la laguna (Figura 6-20). Sin embargo, a partir de 2017, se observa cómo se solapan los niveles durante los meses de niveles máximos y desde el 2018, incluyendo el primer semestre de 2023, se solapan en cota. Esto se traduce en que la lámina de agua de la laguna Barros Negros se muestra prácticamente horizontal (misma cota) desde la Reglilla Barros Negros y hasta el sector del punto P2-5. Durante el segundo semestre de 2023, el punto P2-5 registró un mínimo estacional, alrededor de la cota 2.299,68 m.s.n.m.

En el lado este del Desborde Sur, se posicionan los puntos L2-10, L2-21 y L2-15. En la Figura 6-20 se puede visualizar que en los puntos L2-10 y L2-21, durante el período entre 2007 a 2011, los niveles máximos alcanzaban cotas similares a las de la reglilla Barros Negros (no iguales como en los casos anteriores). A partir del 2012, los máximos alcanzados cada vez se encuentran en cotas más bajas, mientras que los mínimos se mantienen estables. Esto significa que, desde el año 2012, el Desborde Sur no ha recargado con la misma intensidad la zona de estos puntos durante los meses húmedos. Análogamente, en el punto L2-15 (Figura 6-20), se observa que, a partir del año 2009, fue aumentando la cota de los máximos hasta alcanzar prácticamente la de la reglilla de la laguna en 2012. Posterior a ese año, se denota un descenso promedio de los niveles. De entre los tres puntos (L2-10, L2-21 y L2-15) se calcula que la tasa promedio de descenso es de entre 3 y 4 cm/año, y se observa también en todos los casos que las oscilaciones se vuelven

menos regulares en frecuencia y amplitud. Por lo tanto, se extrae que durante el período entre 2009 y 2012, aproximadamente, el Desborde Sur cubrió el área de estos puntos y, posteriormente, esta área dejó de acumular el aporte de la laguna, alcanzando el desborde zonas 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 terreno con pocas variaciones de relieve topográfico. Esta es una conclusión a la que otros análisis también han llegado, 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 en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 1)



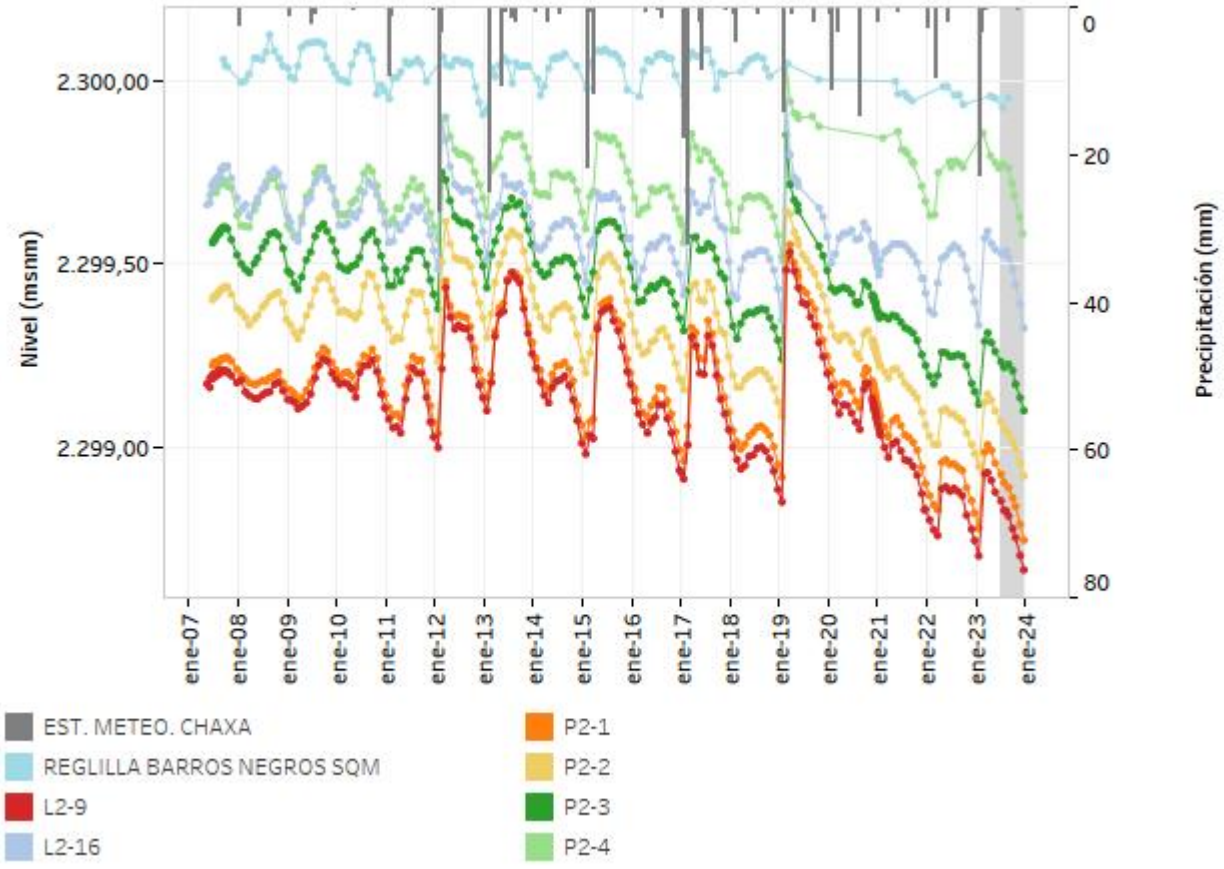
Fuente: Elaboración propia.

Del segundo grupo de puntos influenciados por el Desborde Sur (Figura 6-21), ubicados al oeste y hacia el sur de este (L2-9, L2-16, P2-1, P2-2, P2-3 y P2-4), se destaca el gradiente hidráulico existente entre la reglilla de Barros Negros y estos puntos. Se observa también que estos puntos reproducen los ciclos

estacionales (de máximos y mínimos) de la laguna, a cotas más bajas y de una forma suavizada, a la vez que también responden a los eventos de lluvia. Por lo tanto, se interpreta que estos puntos, además de la recarga directa por eventos de lluvia, también reciben aportes procedentes del desborde a través del acuífero, en forma de pulso.

Igualmente, se observa que los mínimos reproducen una tendencia al descenso desde el inicio de las mediciones en el año 2007 y hasta el segundo semestre 2023, lo cual se ve más claramente en los mínimos estacionales, con una tasa de descenso entre 0,4 y 1,8 cm/año. Particularmente, en marzo de 2023 los niveles reproducen la respuesta debida a las lluvias registradas, alcanzando un máximo estacional superior al año anterior.

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

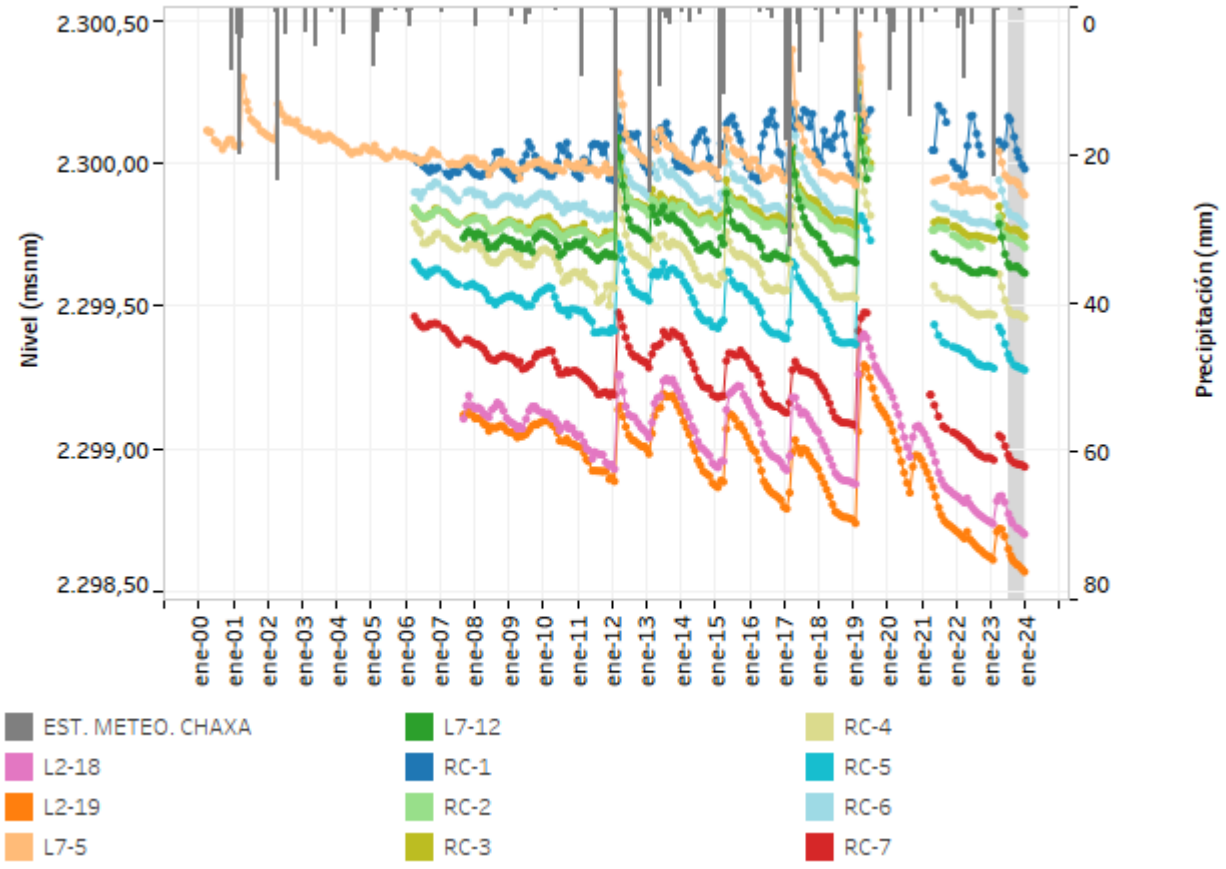


Fuente: Elaboración propia.

Al oeste de las lagunas Chaxa y Barros Negros, se encuentra otro grupo de pozos. Se trata de los puntos L2-18, L2-19, L7-4, L7-12, RC-2, RC-3, RC-4, RC-5, RC-6 y RC-7. Los niveles medidos se muestran en la Figura 6-22, junto con el nivel del pozo RC-1 que, aunque se ha mostrado su evolución en el conjunto de puntos con comportamiento relacionado a los cuerpos de agua superficial, se muestra de nuevo de forma referencial para el análisis.

Los niveles del acuífero en este sector presentan algunas fluctuaciones irregulares y esporádicas. Por otro lado, se observa que la respuesta a los eventos de precipitación no siempre es proporcional su intensidad, y el tiempo de respuesta también varía. Este grupo de pozos destaca también por presentar un gradiente hidráulico con respecto al punto RC-1. También se destaca que la pendiente descendente descrita por los niveles mínimos (cuando no hay efecto de recuperación de las lluvias), aumenta a medida que los puntos se acercan al núcleo. Si se considera el período desde 2012 para la comparación, el punto L7-5 muestra un descenso de 1,2 cm/año, el punto RC-5 tiene un descenso de unos 2,3 cm/año y el punto L2-19 es de 3,3 cm/año. Estos aspectos descritos llevan a la conclusión de que esta zona corresponde a una transición desde el área de recarga del norte y hacia el núcleo.

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



Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se ha descrito, en la zona marginal se encuentran los objetos de protección definidos para el sistema Soncor. En este sentido, una vez analizados los niveles históricos junto con la nueva información del segundo semestre de 2023, se concluye que el 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 se mantienen fluctuando dentro de comportamiento estacional esperado. En el capítulo 6.2 se analiza el estado de los objetos de protección mediante la revisión de los indicadores de estado, por lo que se puede encontrar más detalles.

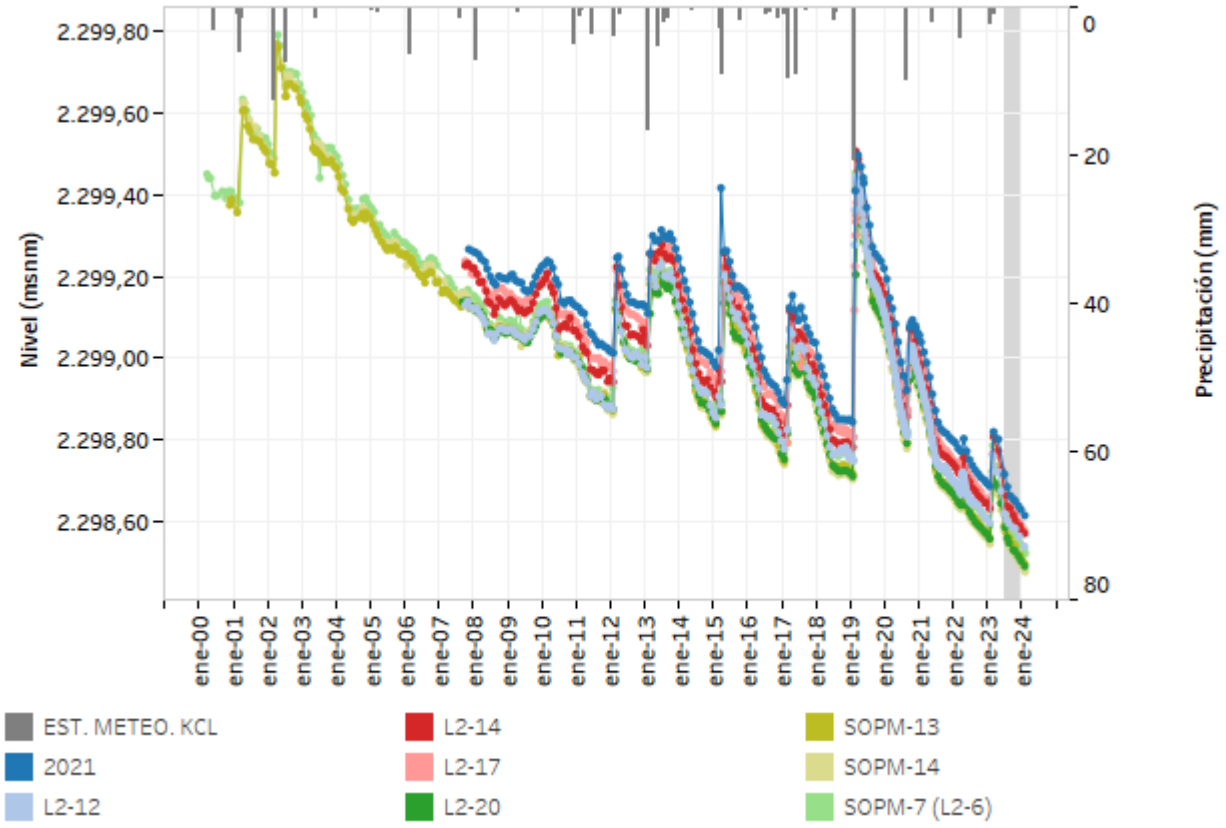
6.1.1.1.6 Pozos en Zona núcleo

Para completar el análisis de los puntos del sistema Soncor, el último grupo de puntos son los que se encuentra sobre el núcleo del Salar. Se trata de los pozos SOPM-7 (L2-6), SOPM-13, SOPM-14, L2-14, L2-12, L2-17, L2-20 y 2021. Sus niveles se muestran en la Figura 6-23. Dichos pozos no presentan estacionalidad, más bien responden a los eventos de lluvia, con una tendencia general al descenso. Asimismo, se caracterizan por un gradiente hidráulico bajo entre ellos (los niveles se muestran en cotas piezométricas similares), evidenciando la planitud de la superficie piezométrica en este sector.

La tendencia histórica del núcleo es hacia el descenso y ha sido concordante con lo esperado, presentando recuperaciones solo debido a los episodios de precipitación, que actúan como recarga directa. A la tendencia de descenso (preoperacional), se sobrepone el efecto de la extracción de salmuera de los dos actores de la cuenca (SQM y Albemarle), lo que implica una tasa de descenso más pronunciada. Estos niveles responderían a las modificaciones de las tasas de extracción de salmuera, tal como se comprobó en el informe de Efectividad de Acción, tras la activación de los indicadores de Soncor (IDAEA-CSIC, 2018).

La conclusión general del sistema Soncor – Vegetación Borde Este, es que los niveles mantienen las tendencias esperadas producto del bombeo de agua y dentro de los rangos históricos.

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



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.2 Superficie de los sistemas lacustres

El conjunto de superficies lacustres del sistema Soncor está compuesto por las lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros. La superficie de estos cuerpos de agua ha sido medida históricamente a través de imágenes satelitales, estacas perimetrales y levantamiento topográfico. La Figura 6-25, Figura 6-27 y Figura 6-28 muestran la evolución temporal de la superficie lacustre de los sistemas Barros Negros, Chaxa y Puilar, respectivamente.

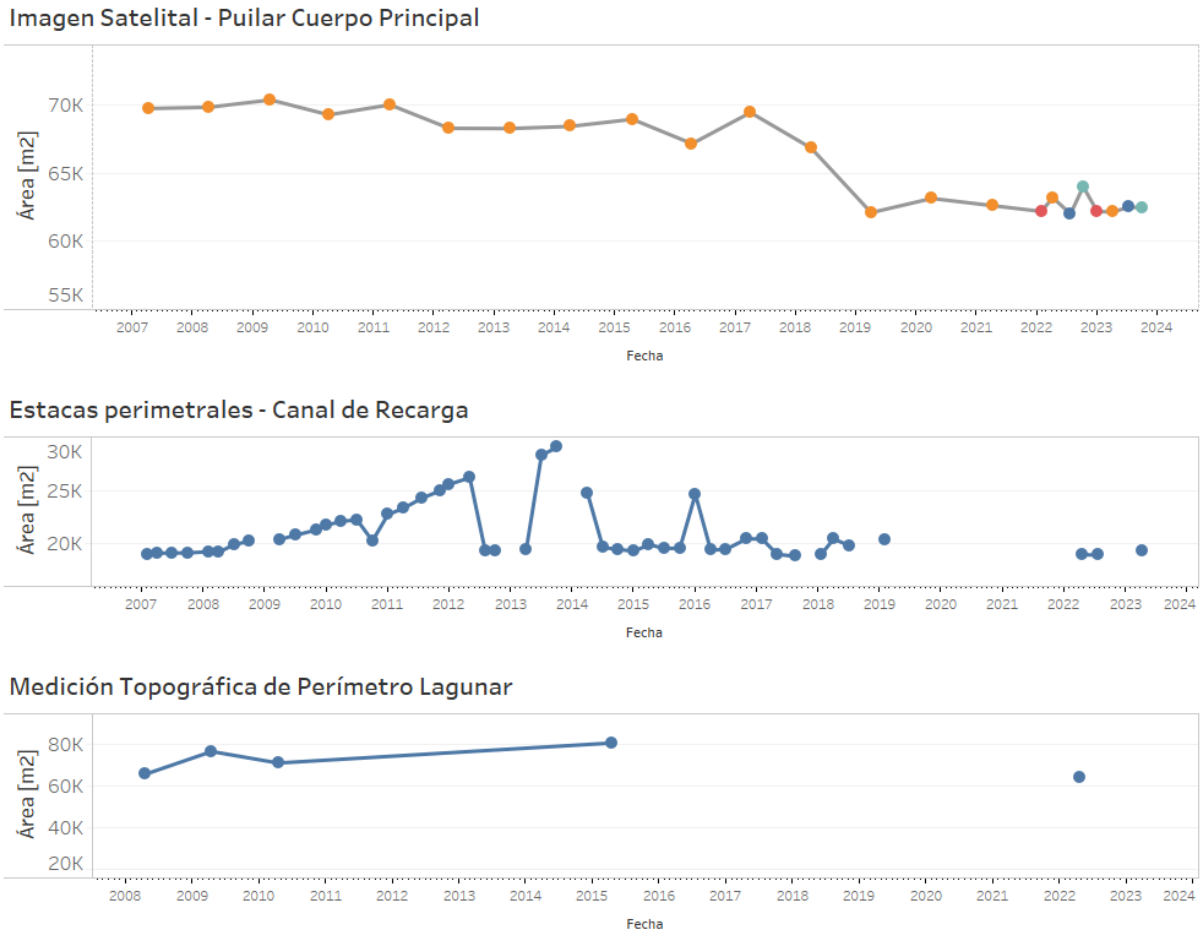
Es importante mencionar que la comparación de áreas entre distintas formas de medición de extensión lagunar no es directa, debido principalmente a diferencias metodológicas. Por ejemplo, el seguimiento vía medición de estacas perimetrales en Puilar comprende sector de su canal de recarga, mientras que 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 (e. g. Desborde sur de Barros Negros), los que carecen de estacas perimetrales o puntos fijos en su entorno para el seguimiento, razón por la cual no existen datos relacionados con la metodología de estacas perimetrales. Similar precaución se debe tener en consideración si se comparan los resultados de levantamiento de perímetro lagunar (cada 5 años) con las extensiones recuperadas 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.

Otro aspecto a destacar es que, de julio a octubre, la superficie lacustre en Soncor calculada vía imágenes satelitales disminuye (Figura 6-25 a Figura 6-27). En efecto, se registra una disminución areal de 0,04 % en Laguna Puilar, 9,8% en Laguna Barros Negros (cuerpo principal), 33% en áreas de inundación y Desborde Sur de Barros Negros, teniendo una reducción del 96% para zona Inundación III y un 4% para Laguna Chaxa. Estas reducciones pueden ser atribuidas a diferencias en el potencial de evaporación intraanual, el que registra su mínimo en meses de invierno y su máximo en verano.

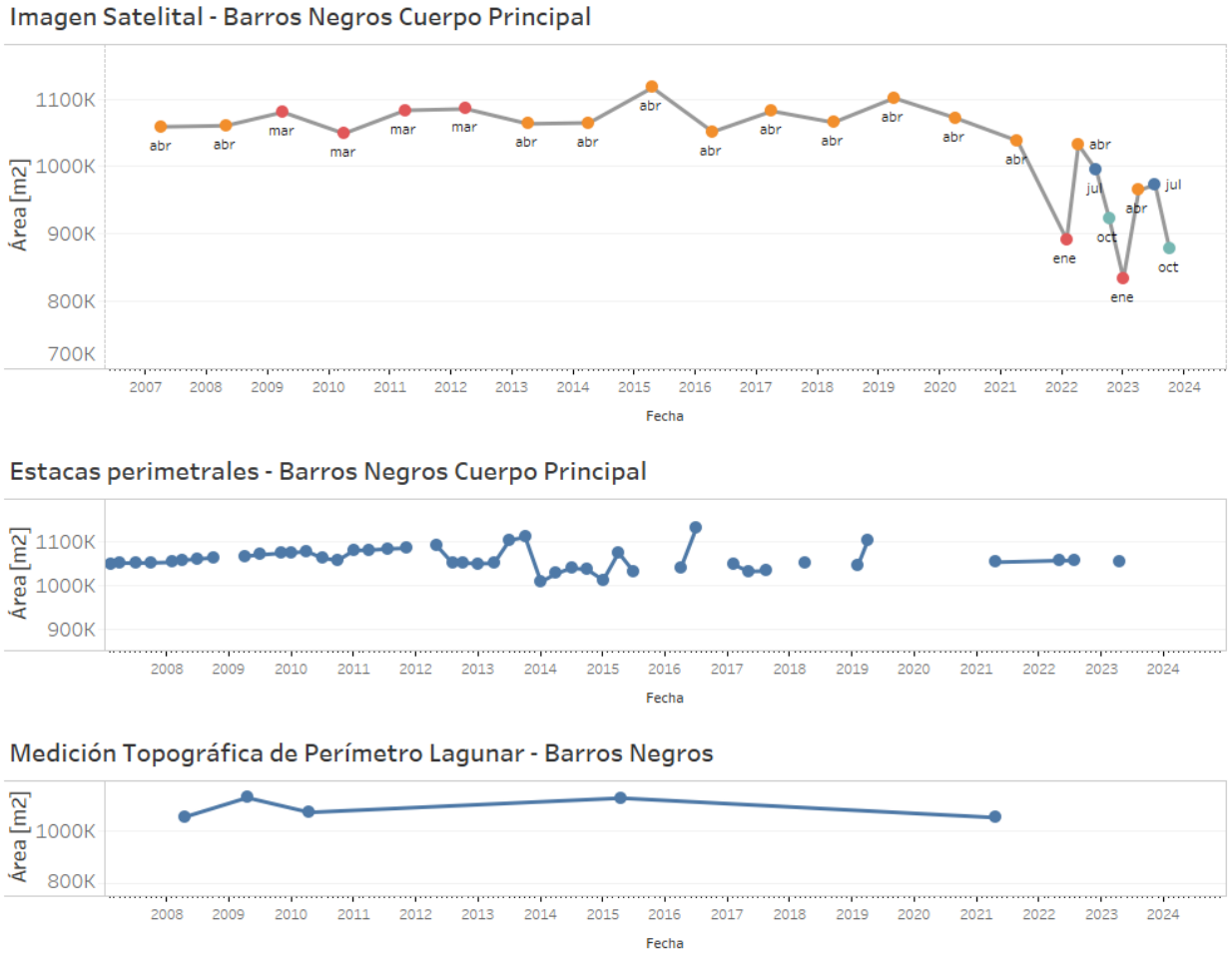
La superficie lacustre reportada para el sistema lacustre de Soncor en el presente periodo, no ha reportado variaciones de su área significativas comparados con la tendencia histórica (meses de abril). En efecto, se observa un comportamiento de mantención de los cuerpos de agua principales.

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



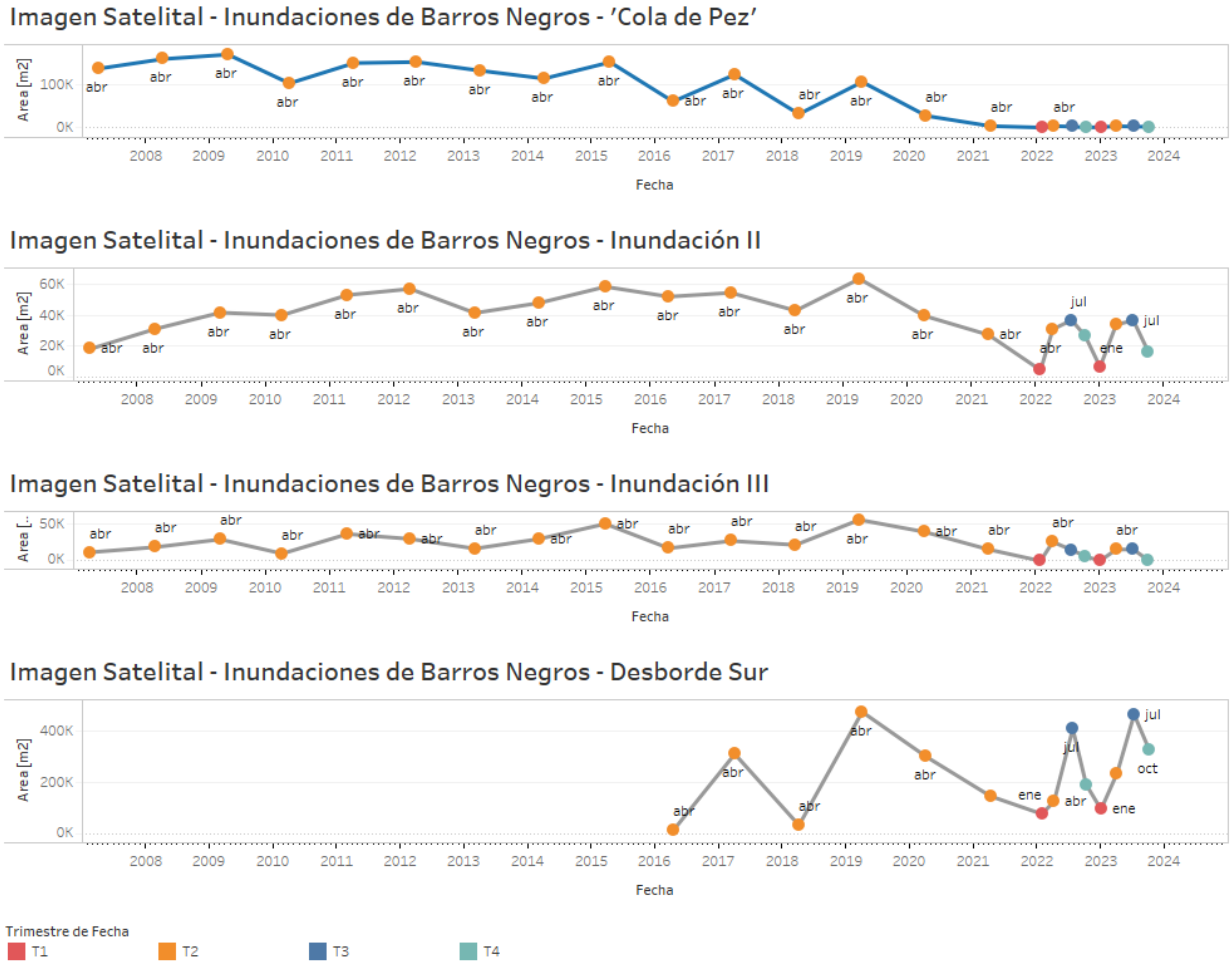
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022).



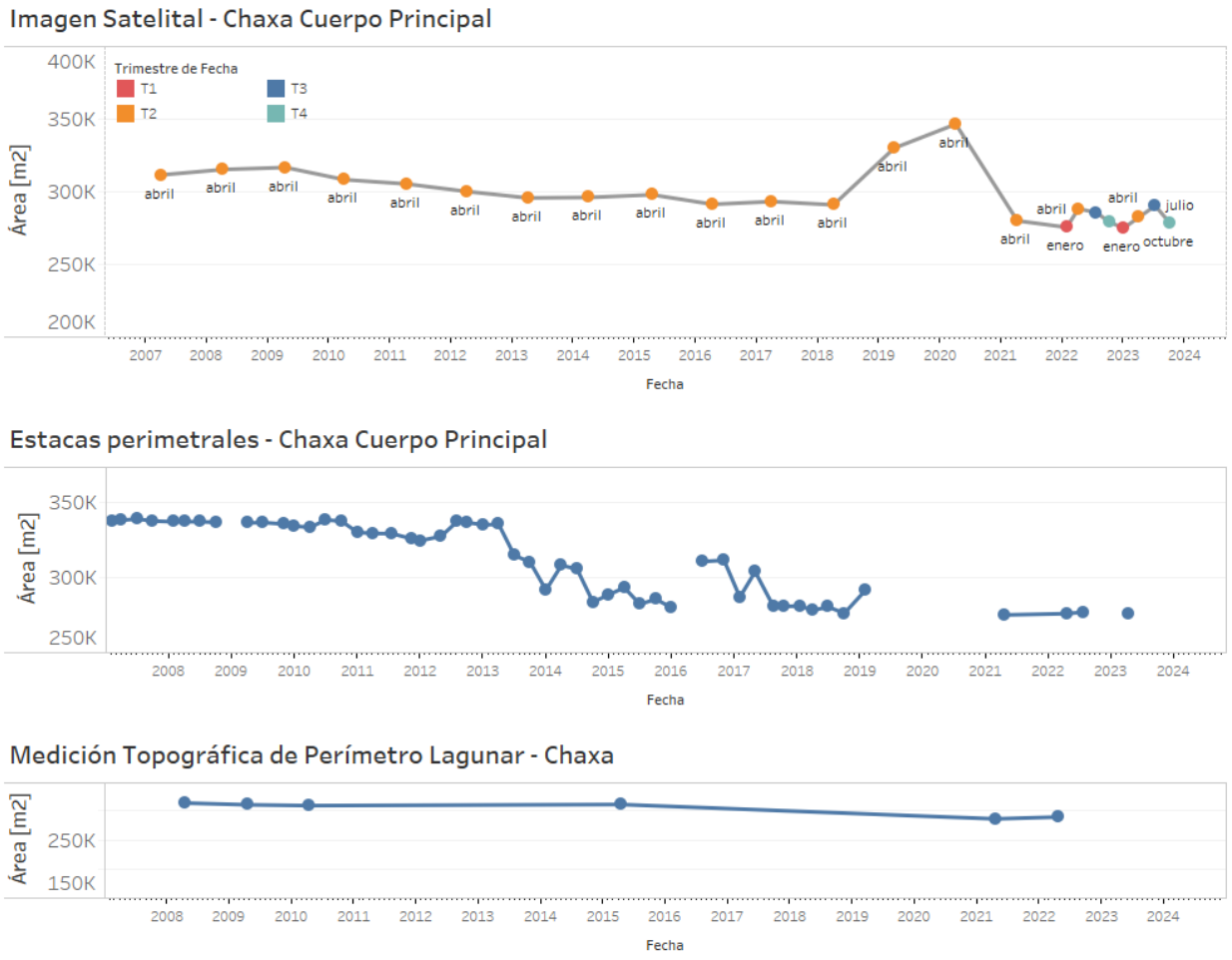
Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia

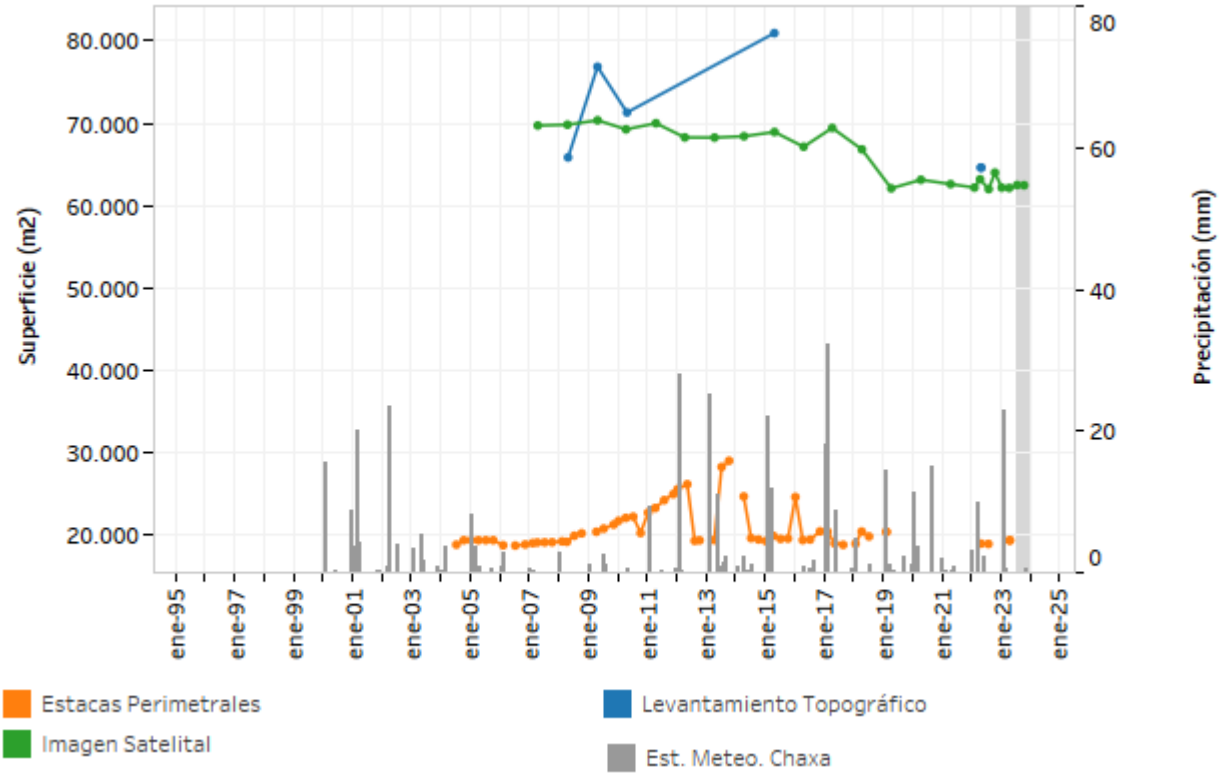
Figura 6-27: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, es necesario mencionar que la metodología que más difiere de un valor real en el cálculo de superficie lacustre corresponde a la medición de distancia del cuerpo de agua con estacas perimetrales. En consecuencia, y debido al acotado número de estacas, dichos resultados son relevantes solo si se consideran lapsos grandes para estudios comparativos. Un caso extremo viene dado por el sistema lacustre de Puilar, en donde el reducido número de estacas no es representativo de la película de agua total, sino más bien, solo del canal de recarga hacia el este del sistema (Figura 6-28), aunque ha seguido siendo reportado de esta manera para su consistencia.

Figura 6-28: Superficie histórica de superficie lacustre en laguna Puilar – SONCOR. Notar diferencia entre metodología de estacas perimetrales e imagen satelital o levantamiento perimetral RTK.



En síntesis, debido a la reciente incorporación de seguimiento de superficie lacustre con frecuencia trimestral (PdC, 2022), se ha logrado observar la variabilidad lagunar a escala trimestral, la cual conlleva una disminución sostenida en la superficie lacustre entre julio y octubre.

6.1.1.3 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación Chaxa considera la medición de los parámetros de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura desde el inicio del proyecto (Figura 5-27). La precipitación, evaporación y temperatura son parámetros condicionantes del comportamiento de los niveles de varios pozos asociado al sistema.

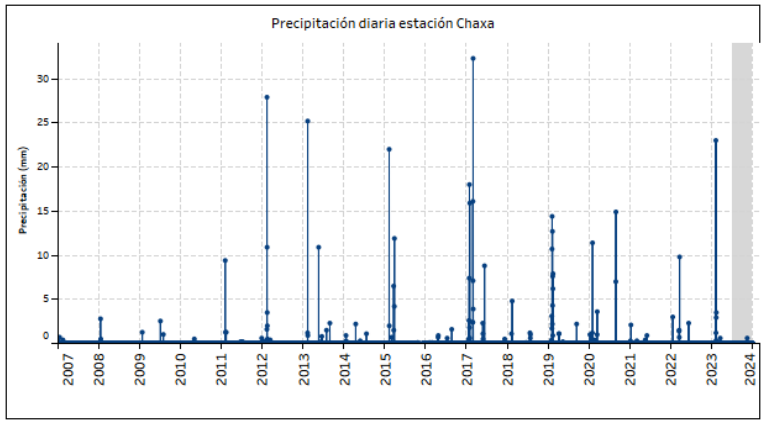
La precipitación histórica muestra un cambio de tendencias, diferenciándose en dos épocas según los eventos de precipitación. El primer periodo, entre mayo 2007 y diciembre 2011, puede considerarse una época seca. Esto dado que se registraron pocos eventos de precipitación, con un máximo de 9,4 mm en el

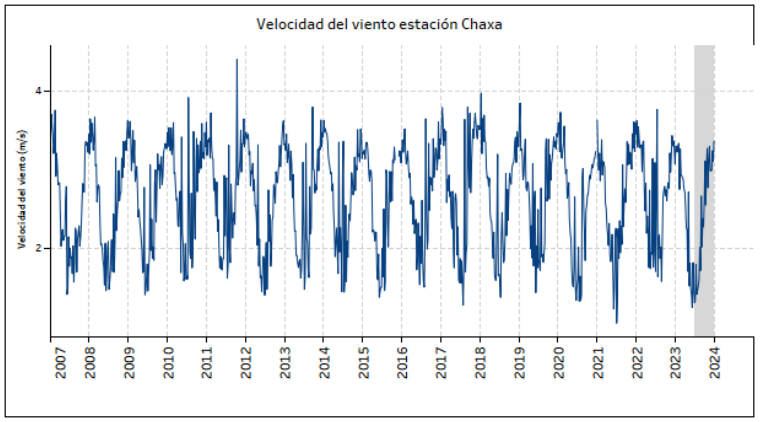
mes de febrero 2011. Posterior a esta fecha, desde el 2012 en adelante, se observa un incremento de las precipitaciones. Esto ocurre principalmente en el primer trimestre de los años 2012, 2013, 2015, 2017 y 2019, alcanzando un máximo histórico de 32,3 mm/día el día 25 de febrero de 2017.

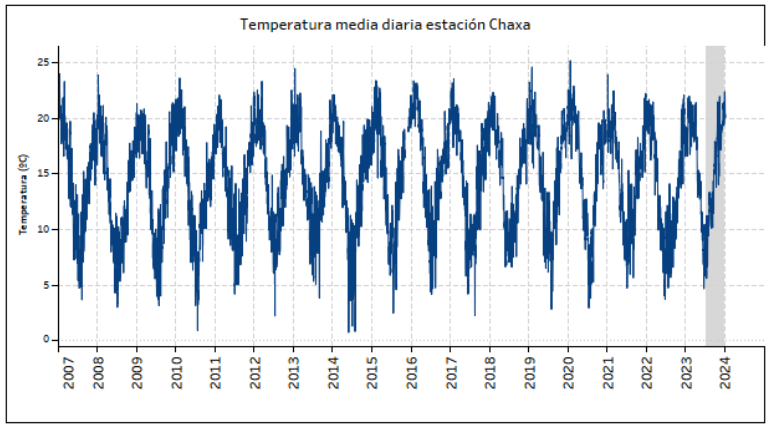
A nivel histórico, la evaporación y la temperatura presentan una oscilación anual, con máximos en verano. Cabe señalar que aquellos pozos que tienen una periodicidad anual en sus niveles se encontrarían influenciado por la evaporación y la temperatura del sector. Asimismo, la temperatura promedio para el segundo semestre de 2023 ha sido de 15,18 °C, vale decir, 0,62°C superior al promedio histórico (hasta el 30 de junio de 2023) de 14,56°C. De igual forma, la evaporación promedio durante el segundo semestre de 2023 registro un promedio de 8,6 mm/día en la bandeja de evaporación de Chaxa, vale decir, unos 0,97 mm/día superior al promedio histórico de valor 7,63 mm/día.

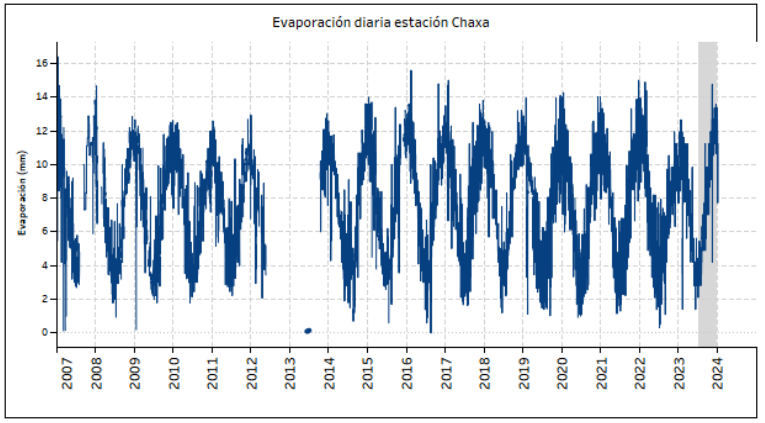
Del mismo modo la velocidad del viento presenta una oscilación anual, registran mayores velocidades en verano y mínimos en invierno. El promedio durante el segundo semestre de 2023 registro 2,48 m/s día, unos 0,08m/s inferior al promedio histórico de 2,56 m/s día con registros desde 1999 a la fecha.

Figura 6-29: Meteorología Estación Chaxa









Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4 Caudal bombeado

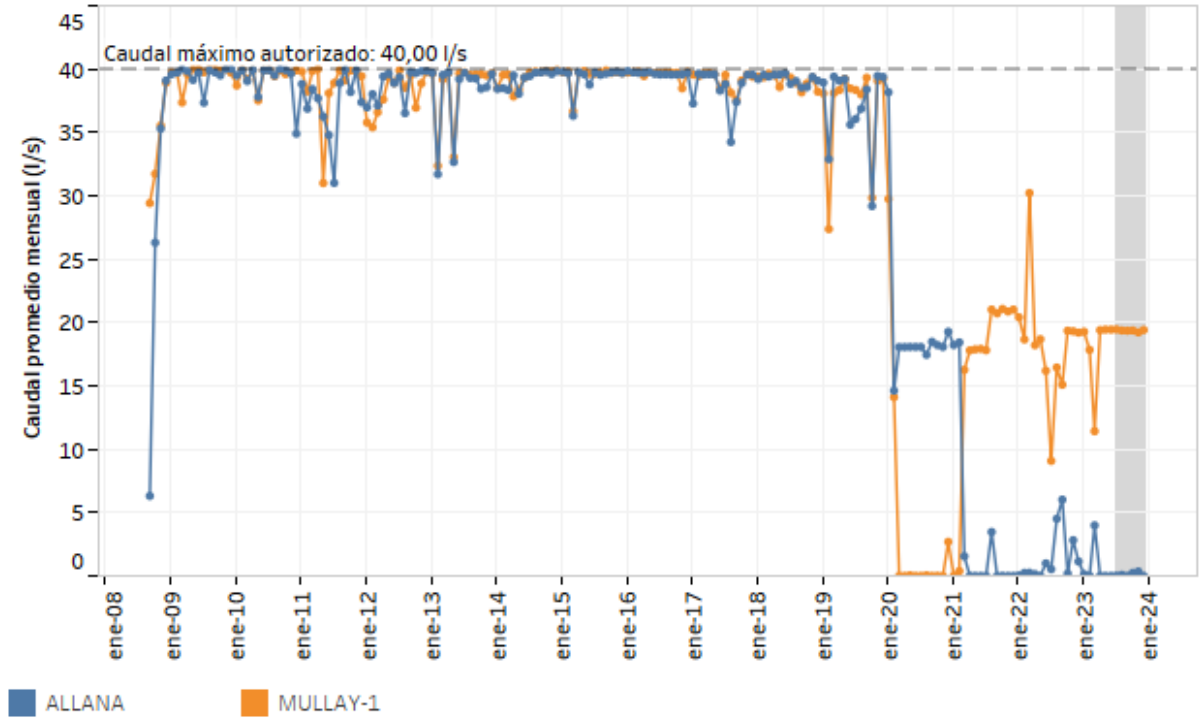
Los pozos de bombeo de agua industrial Mullay-1 y Allana (localizados en el sector aluvial frente al sistema Soncor) iniciaron sus operaciones el día 15 de septiembre de 2008. En la Figura 6-30 se muestran los caudales medios mensuales históricos hasta el 31 de diciembre de 2023. Desde su puesta en marcha, el caudal bombeado en ambos pozos ha sido menor a los derechos otorgados y autorizados ambientalmente (40 L/s cada uno).

A partir de junio de 2018 ambos pozos mantuvieron una extracción aproximada de 39 L/s y en 2019 disminuyó el régimen de extracción, registrando mínimos sobre los 27 L/s. En febrero de 2020, a causa de decisiones operativas, se redujo a más de la mitad el caudal del pozo Allana (unos 14 L/s) y se detuvo el bombeo del pozo Mullay-1. Durante el 2021, el escenario se invirtió, se detuvo el bombeo del pozo Allana y se reactivó la operación en Mullay-1, alcanzando un caudal máximo de 21 L/s. En el 2022, el pozo Mullay-1 bombeó alrededor de 30 L/s, siendo el valor máximo alcanzado durante el año. A partir de este *peak*, se registra una disminución del caudal de extracción.

En el segundo semestre de 2023 el pozo Mullay-1 se ha mantenido relativamente constante, alrededor de 19 L/s, reduciendo su caudal a casi la mitad del autorizado de 40 L/s. Por su parte, durante este mismo semestre el pozo Allana alcanzó un caudal máximo de 0,35 L/s. Estas medidas buscan reducir el límite otorgado por RCA de 240 L/s al 50%, dando cumplimiento al aprobado PdC F-041-2016, que tiene como objetivo reducir la extracción total de agua industrial a un máximo de 120 L/s.

Todo el seguimiento de esta información a tiempo real se encuentra disponible en https://www.sqmsenlinea.com/agua-industrial.

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 del agua realizado el segundo semestre de 2023 en el Sistema Soncor, tanto en el agua superficial como en el agua subterránea en comparación con su evolución histórica.

El modelo conceptual en el acuífero aluvial índica 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 descritos se distribuyen desde la zona aluvial (L2-3, Mullay-1 y Allana), marginal (L1-4, L1-5, L1-6, L2-4, L2-5, L7-3, L7-G1, L1-G4 reglilla, Burro Muerto reglilla, Chaxa reglilla, Barros Negros reglilla y Puilar reglilla) y núcleo (SOMP-7 (L2-6) y SOMP-14) del Salar de Atacama.

Esta sección se divide en tres subsecciones que agrupan los puntos de monitoreo de calidad de aguas de acuerdo con sus características, la primera corresponde a pozos y reglillas de monitoreo

(subterráneo), la segunda corresponde a la calidad de agua en pozos de agua industrial (subterráneo), y la tercera a los sistemas lacustres (superficial).

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

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LQ, y con la etiqueta "<" o ">" que indica si este es menor o mayor que el valor respectivamente.
2. En cada gráfico se muestran dos series, cada una de ellas con un color que se relaciona con el eje vertical que le corresponde (de igual color).
3. Los valores validados se muestran con resalte (ver apartado 4.5.8).

6.1.1.5.1 Calidad del agua en pozos y reglillas de monitoreo

La calidad química del agua en pozos y reglillas en el Sistema Soncor es monitoreada en los puntos L2-4, L1-4, L1-5, L1-6, L2-3, L7-3, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla, L7-G1, respectivamente [29, 30], y corresponden a: conductividad eléctrica terreno, densidad terreno, pH terreno, conductividad eléctrica, densidad, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales (desde la Figura 6-31 a Figura 6-41).

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

[29] 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 Environmental hasta julio de 2008. Se adjuntó carta explicativa emitida por ALS Environmental, así como un breve análisis.

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

segundo semestre para los distintos analitos y puntos se encuentran, en general, dentro del rango histórico registrado.

Los pozos de monitoreo ubicados en el aluvial (L2-3) o en la zona marginal próxima al aluvial (L7-3 y L2-4), son los que presentan menores valores de conductividad eléctrica de terreno con registros máximos en el pozo L2-4 del orden de 16.050 µS/cm, mientras que los pozos L2-3 y L7-3 presentan valores máximos del orden de 4.300 µS/cm y 10.510 µS/cm. Por otra parte, los sólidos disueltos totales en el pozo L2-4 son menores a 10.400 mg/L y los sólidos totales menores a 30.600 mg/L, mientras que en los pozos L2-3 y L7-3 los sólidos disueltos totales son inferiores a 3.184 mg/L y 2.852 mg/L y los 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 6,8 a 8,7 y una densidad de terreno y laboratorio en torno a 1,0 g/mL. El pozo L2-4 presenta una tendencia a la baja en los registros de pH de terreno a partir del año 2019, estas variaciones se corresponden con pequeños incrementos observados en la conductividad eléctrica de terreno durante el mismo año. Estas variaciones podrían atribuirse a los mayores eventos de precipitación ocurridos en el 2019, los cuales favorecen la solubilidad de sales y por ende un aumento de la conductividad eléctrica y una disminución del pH.

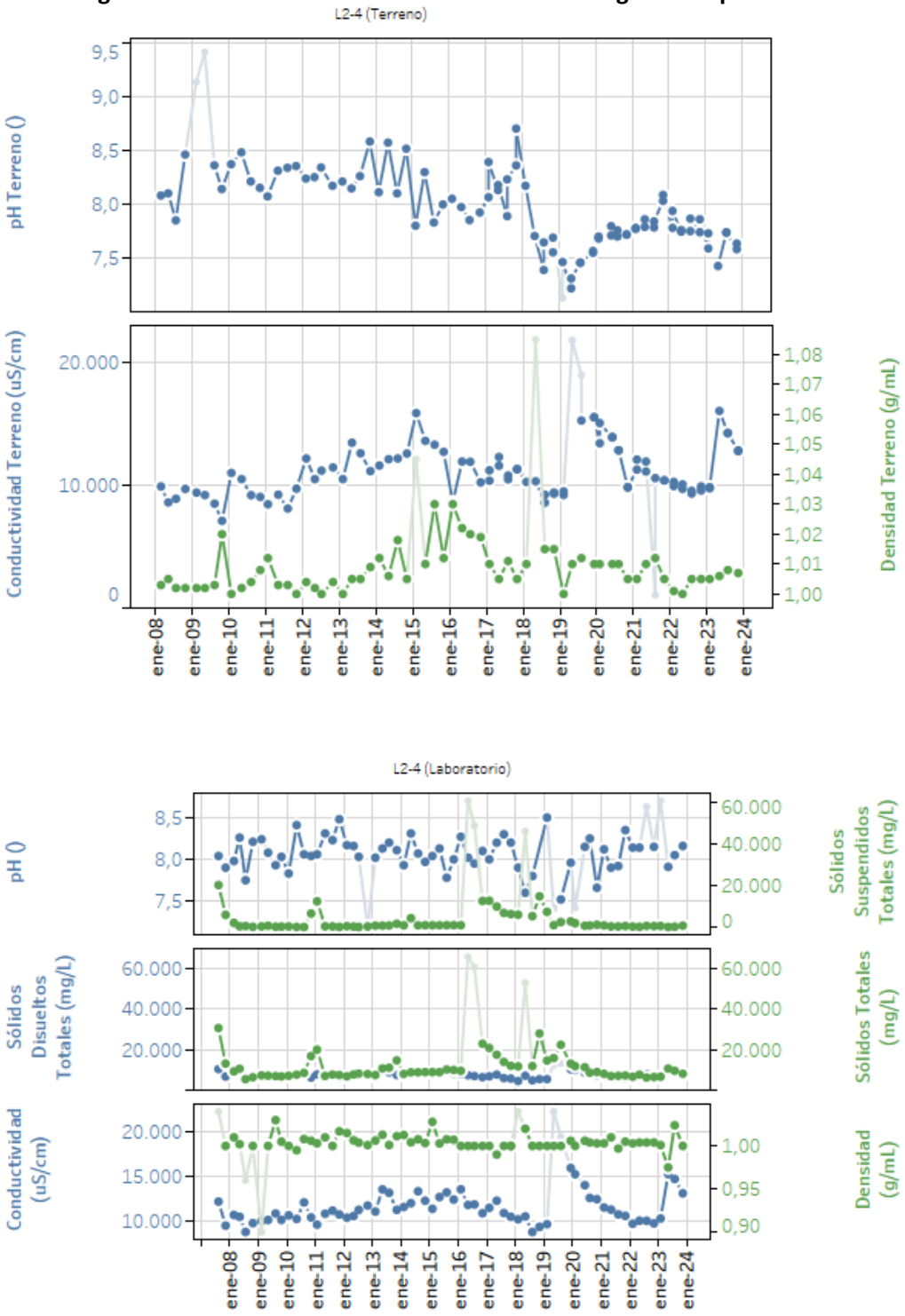
La estacionalidad propia de puntos más someros, mostrando valores máximos en verano y mínimos en invierno, se comienza a apreciar en los puntos de monitoreo en la zona marginal hacia el núcleo al oeste (puntos L1-4, L1-5, L1-6, L2-5, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla, L7-G1). Se observa que la tendencia histórica de la conductividad eléctrica de terreno se encuentra en general en torno a los 200.000 µS/cm, incrementando por encima de este valor en los puntos más cercanos al núcleo (SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1G4 Reglilla y L7-G1). Mientras que el contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales ronda en promedio desde 147.311 mg/L hasta 293.129 mg/L en los puntos más cercanos al núcleo, el pH de terreno y laboratorio se mantiene en el rango de 6,61 – 8,15 y la densidad en el rango entre 1,00 – 1,25 g/mL. Además, la densidad de terreno muestra una tendencia a la baja para los puntos L1-4 desde 2018 a la fecha, sin embargo, la densidad de laboratorio no refleja este comportamiento.

El punto L1-4 presenta características de salmuera (densidad de terreno >1,2 g/mL, sólidos disueltos totales laboratorio >200.000 mg/L y conductividad eléctrica terreno > 200.000 µS/cm, Tabla 4-17), y los puntos L2-5 y L1-6 con registros de conductividad eléctrica terreno promedio también del orden de 207.972 – 195.386 µS/cm y densidad de terreno un poco menor que el L1-4, del orden de 1,1 – 1,2

g/mL (y menor que 1,2 g/mL) por encontrarse en el núcleo o en la parte más distal de la zona marginal, al oeste del afloramiento de la interfaz salina.

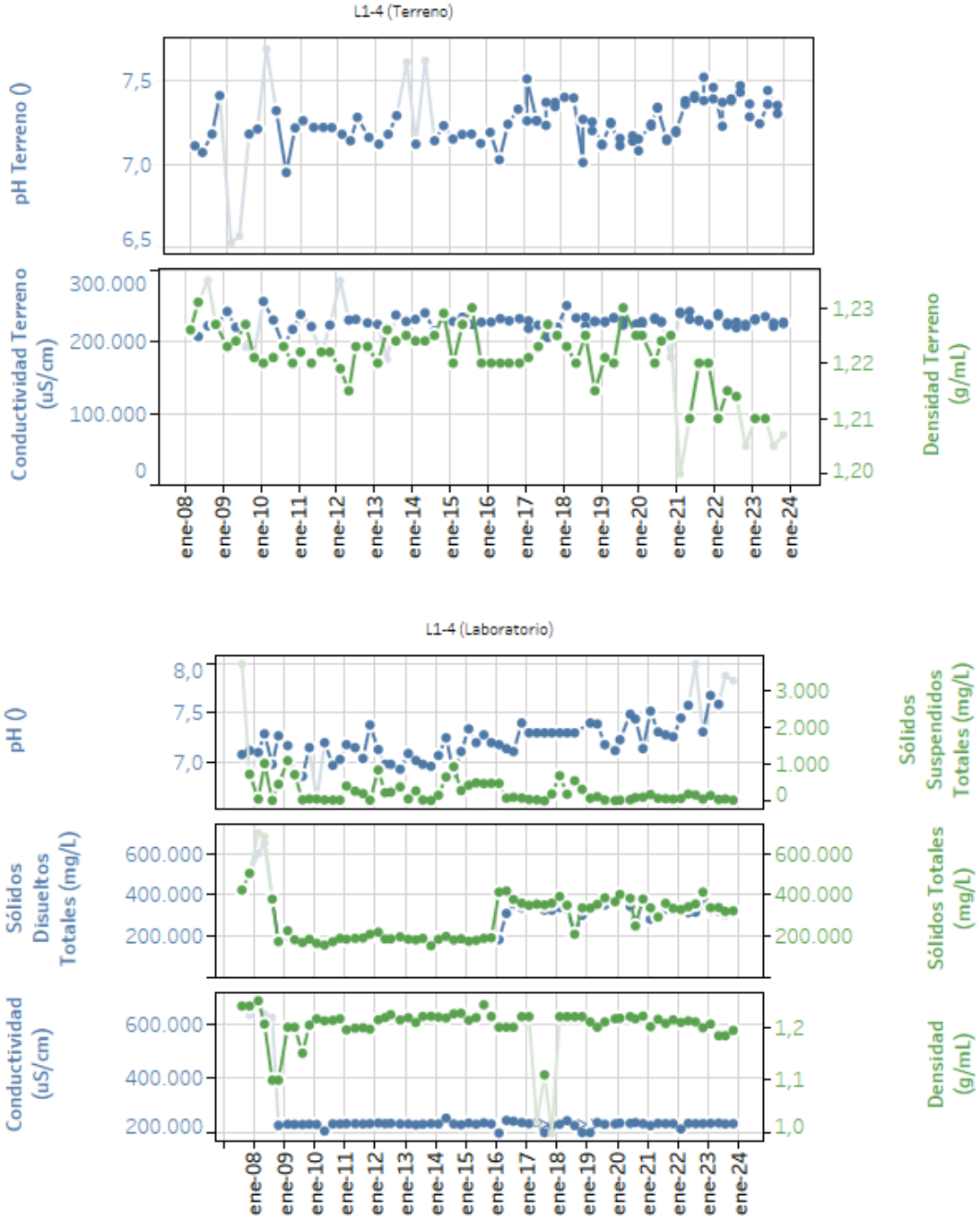
La reglilla L7-G1 presenta una marcada estacionalidad para la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos y totales, mostrando valores máximos en verano y mínimos en invierno, coincidente con el régimen de evaporación y contrario al régimen de caudales del canal de Burro Muerto.

Figura 6-31: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-4



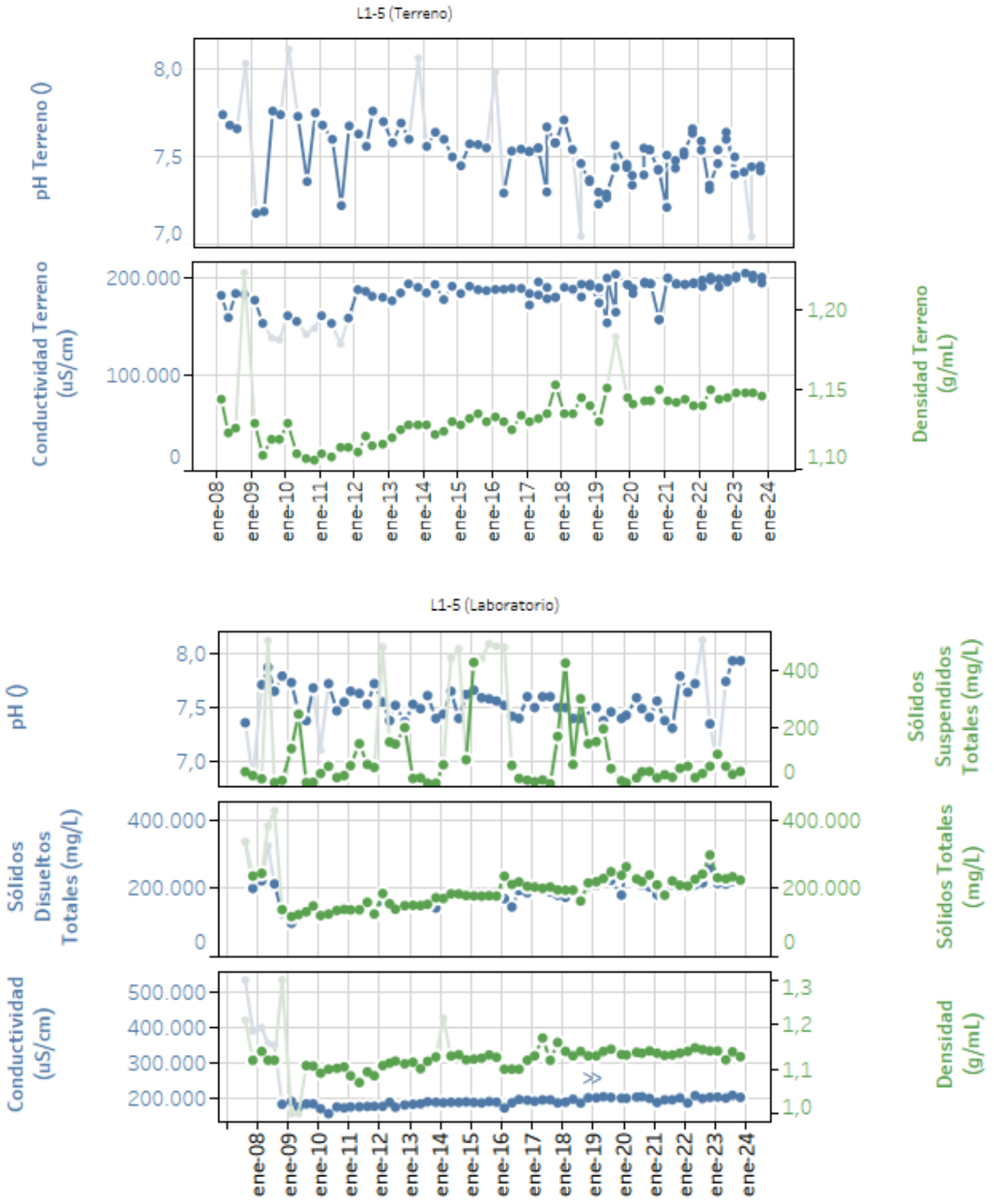
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-32: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-4



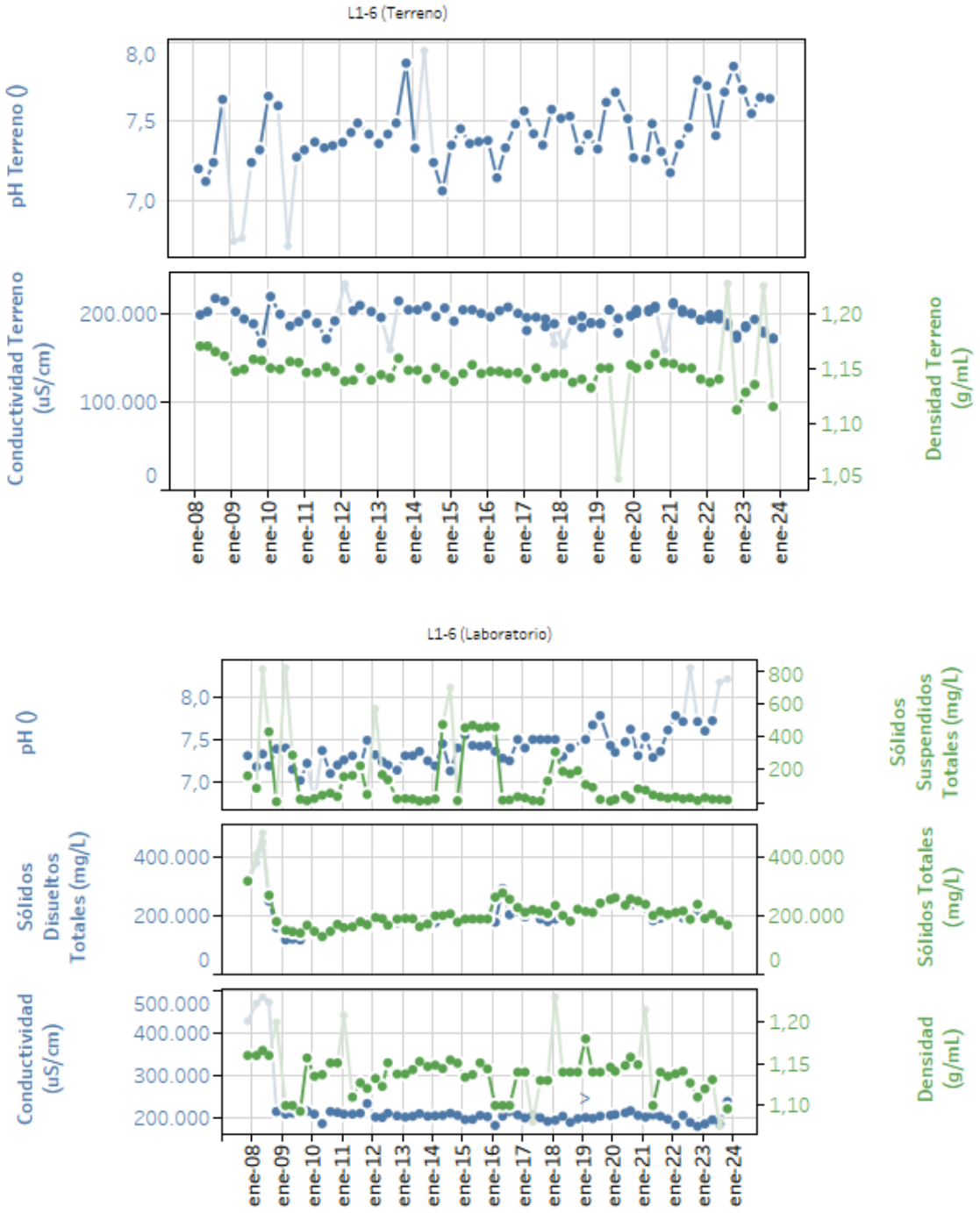
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD (Límite Detección) o >LQ (Límite Cuantificación, máximo) se presentan en los gráficos = LD o LQ y con la etiqueta"<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-33: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-5



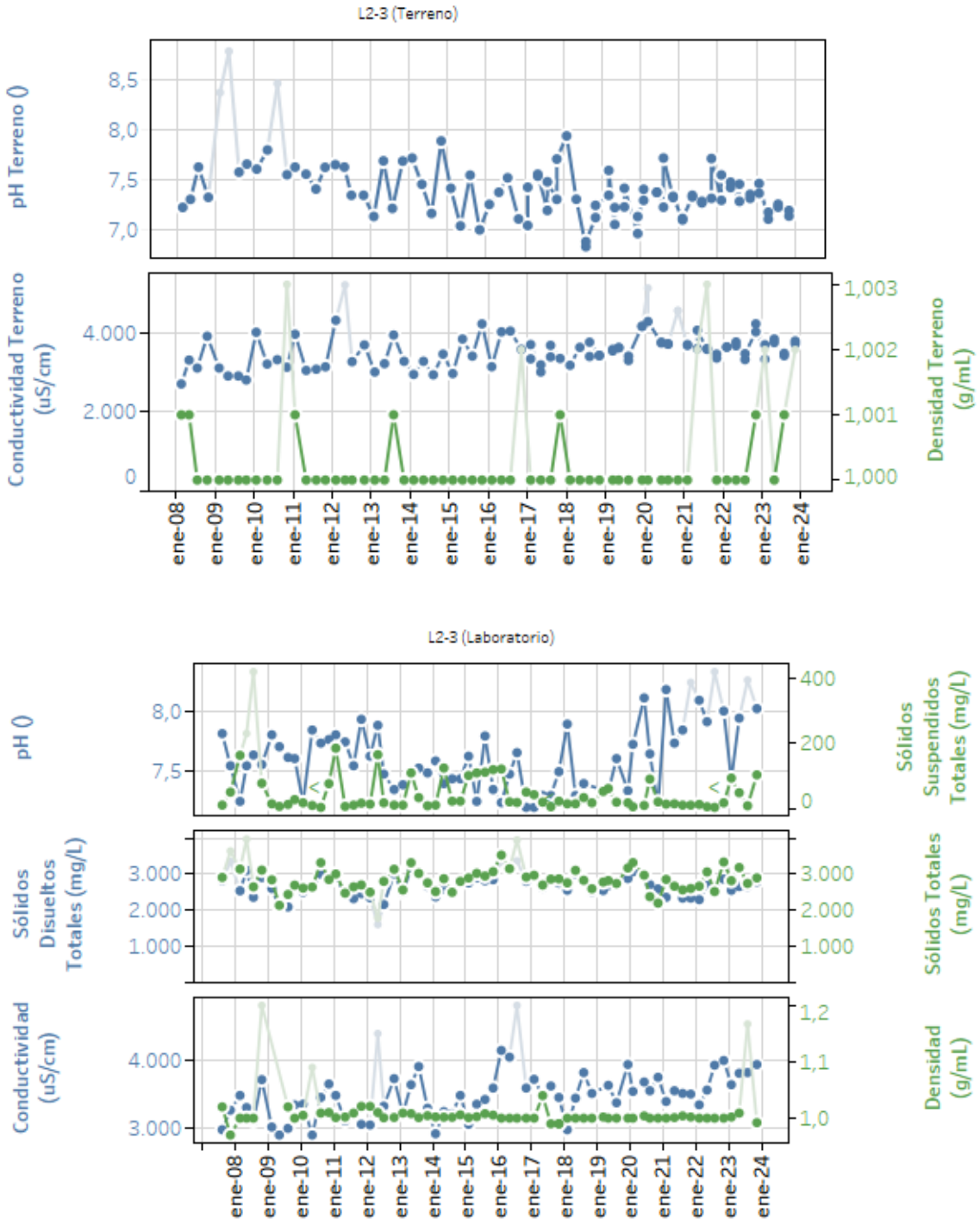
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-34: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-6



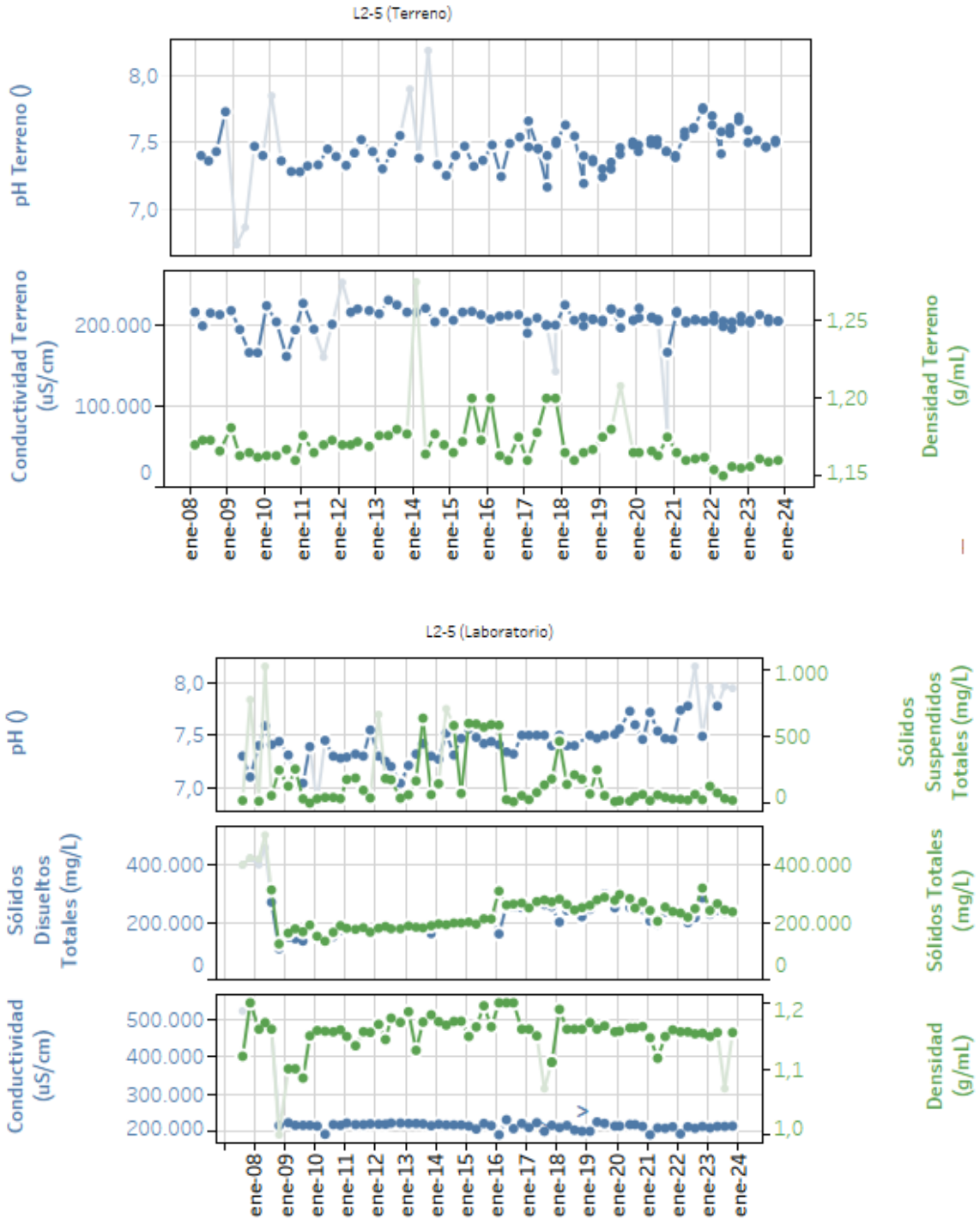
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta" <" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-35: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-3



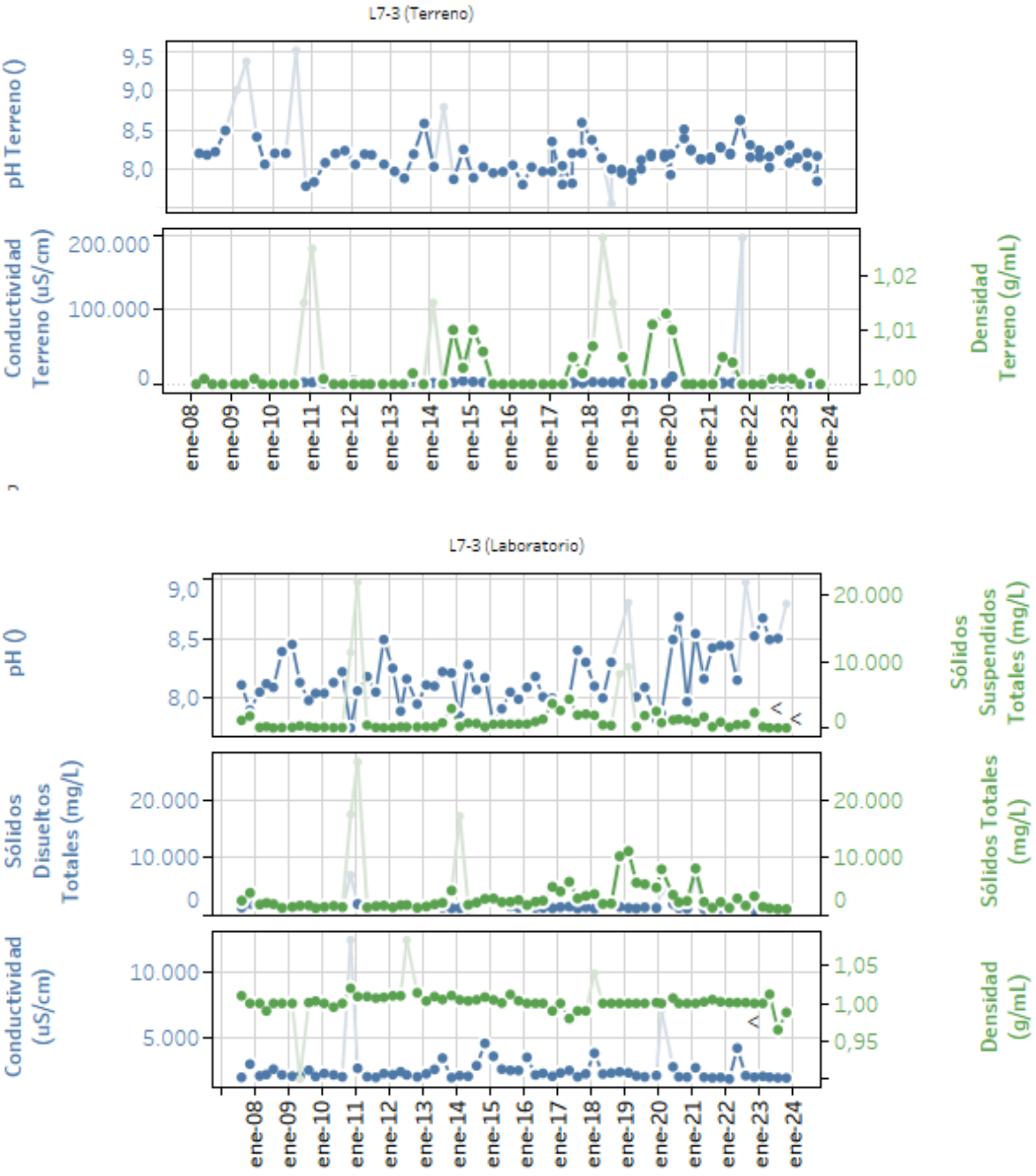
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-36: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-5



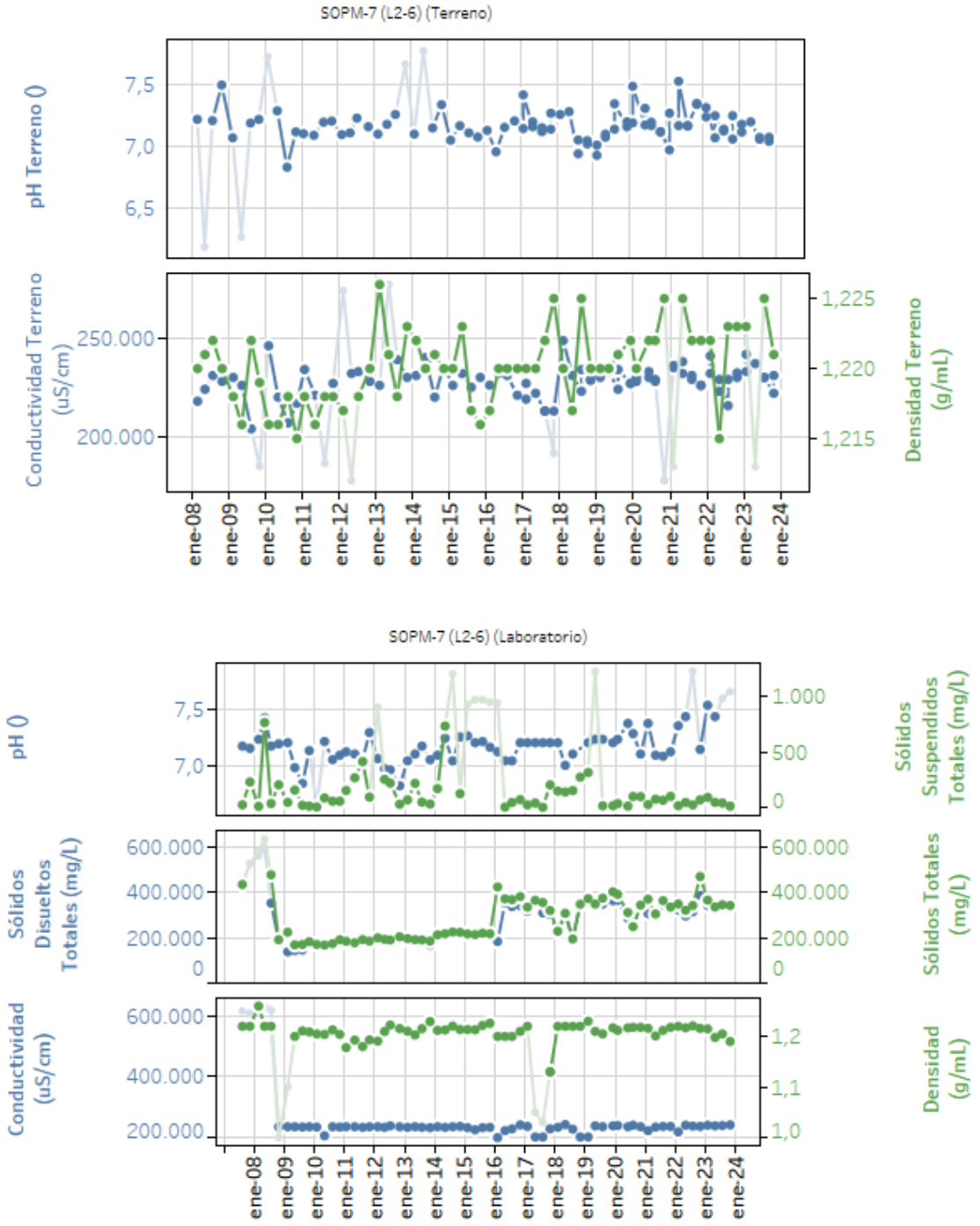
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta ”<” o “>” . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-37: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L7-3



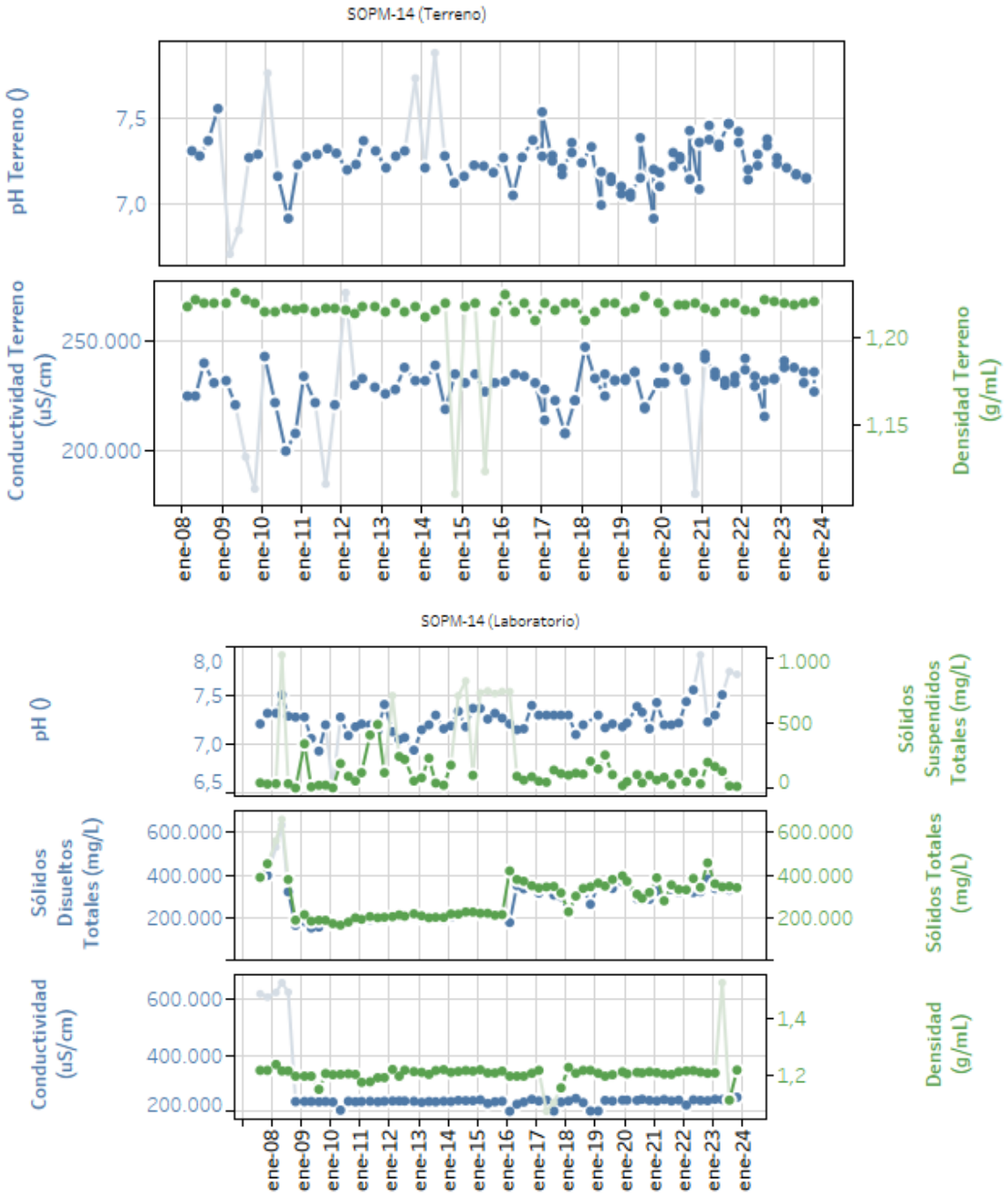
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-38: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-7 (L2-6)



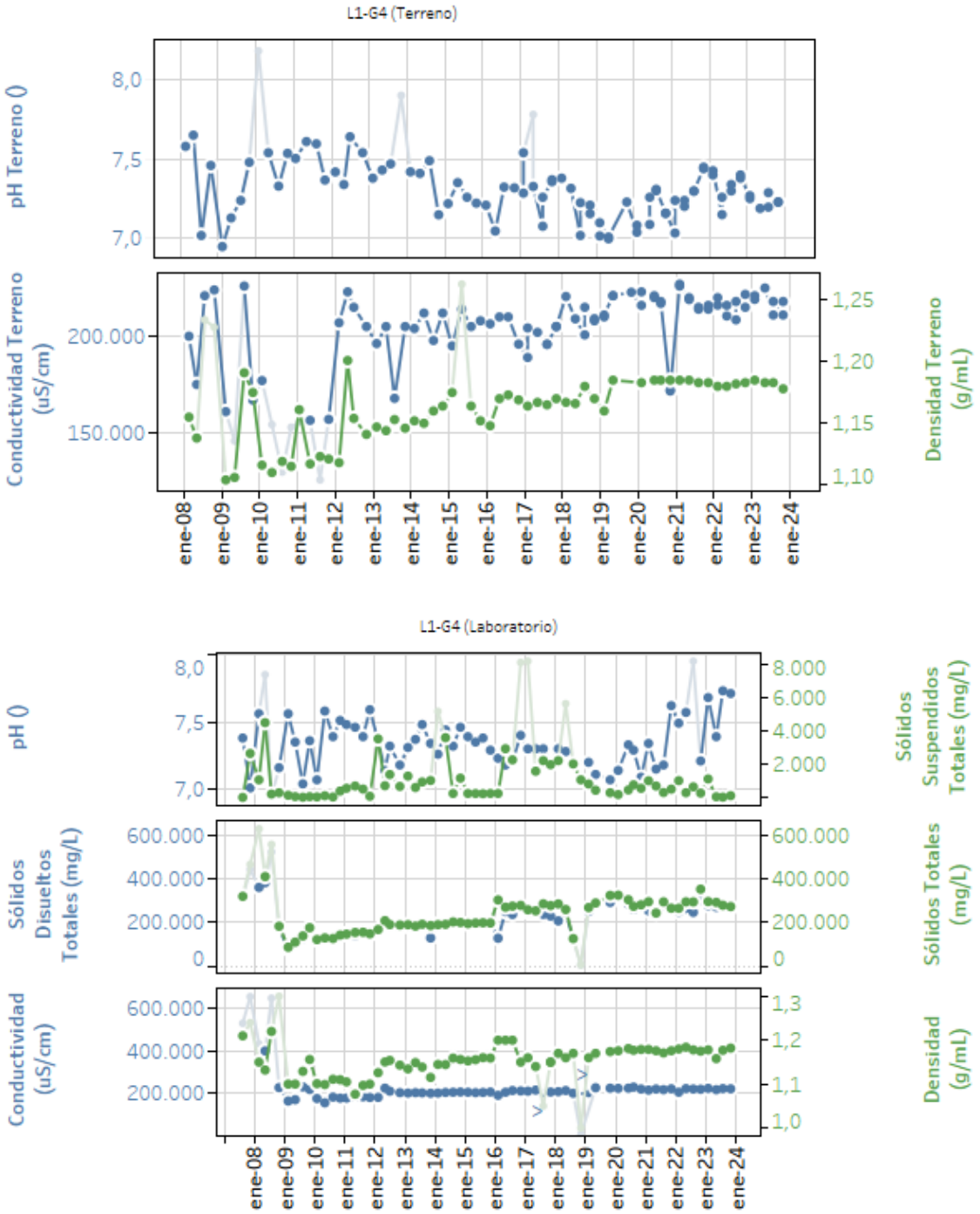
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta ”<” o “>” . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-39: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-14



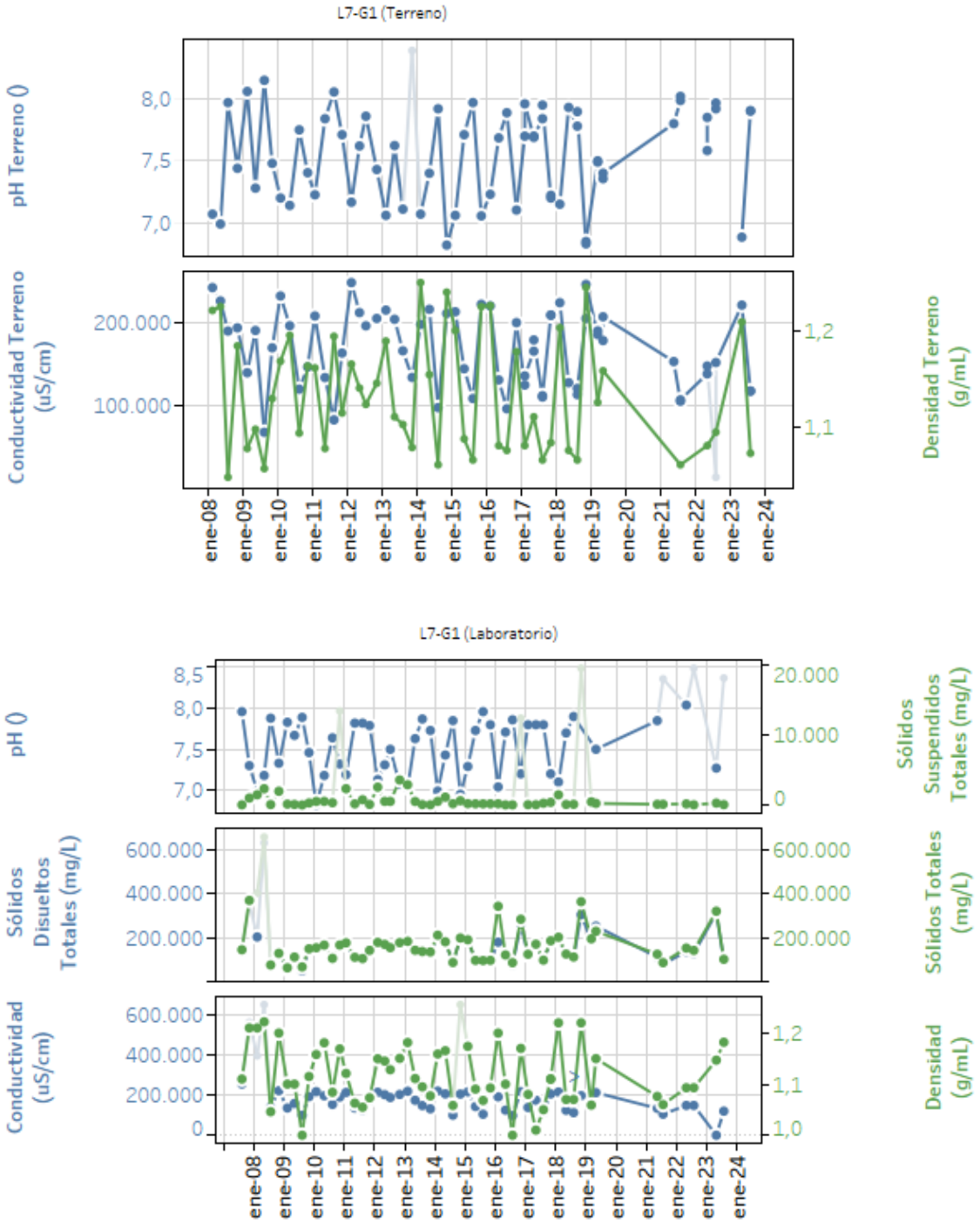
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta"<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-40: Evolución histórica de la calidad del agua en el L1-G4 Reglilla



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-41: Evolución histórica de la calidad del agua en L7-G1



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

En la mayoría de los pozos y reglillas las mediciones realizadas el segundo semestre de 2023 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- Valores bajos de densidad terreno en ambos trimestres (tercer y cuarto trimestre) del 2023 para el punto L1-4. El descenso en la densidad no se observa en la densidad de laboratorio, por lo que podría estar asociado a fallas en las mediciones (*outliers*).
- Valor alto de densidad de terreno en el tercer y cuarto trimestre del 2023 de los pozos L1-6 y L2-3, que no se corresponde con la tendencia histórica, ni se correlaciona con la densidad de laboratorio. Los cuales pueden estar asociados a errores en las mediciones.
- Valor alto de pH de laboratorio en los pozos L7-3 y L7-G1 en el último trimestre del 2023, esta tendencia al alza también fue observado en 2021 y 2022, estos valores no se correlacionan con la tendencia histórica ni con las mediciones de terreno, por lo tanto, es posible que estén asociados a fallas en las mediciones (*outliers*).
- Los pozos L2-5, SOPM-7 (L2-6), L1-4, L1-6, L2-3 y SOPM-14 presentaron un aumento del pH de laboratorio en los dos últimos trimestres del 2023 sin presentar relación con los valores de pH de terreno. Esto puede indicar un error sistemático en las mediciones de pH, probablemente asociados al holding time máximo de 24 a 48 horas posterior a la toma de muestra en terreno y la medición realizada en laboratorio. Adicionalmente, el pozo L2-5 presentó un valor de densidad de laboratorio bajo, en el primer trimestre, que no se corresponde con la tendencia histórica ni con las mediciones de terreno. Por lo tanto, puede asociarse a un error de medición (*outlier*).
- Posibles tendencias temporales asociadas a distintos fenómenos, los cuales se describen en los próximos párrafos.

Respecto a tendencias identificadas:

- En relación con a la evolución temporal de los parámetros, las principales variaciones se observan en la concentración de sólidos disueltos totales, sólidos totales, conductividad eléctrica y densidad. Estos parámetros tienden al aumento en los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla. Ambos puntos se han visto afectados por el cambio en el comportamiento de la dinámica de desborde de la laguna Barros Negros evidenciado a contar del año 2012 originando que, en la

actualidad, los aportes al sector de Cola de Pez sean menores, pudiendo explicar también el comportamiento observado en los puntos ubicados en dicho sector (L1-G4 Reglilla y L1-5). Un detalle de la relación entre el cambio en la dinámica de desbordes Barros Negros y su influencia en la química en los pozos ubicados en los sectores Cola de Pez y hacia el sur se expone en el informe presentado a la autoridad en el marco de la activación de Fase II[31].

- Para los puntos de muestreo L1-G4 Reglilla, L1-4, L1-6, L2-5, SOPM-7 (L2-6) y SOPM-14 el aumento en SDT que se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha no se pueden asociar a cambios en el acuífero, sino a un cambio en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de las muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26 del año 2019 público en SNIFA.

6.1.1.5.2 Calidad del agua en pozos de agua industrial

La evolución histórica de los parámetros monitoreados en los pozos de extracción de agua industrial Mullay-1 y Allana se presentan en la Figura 6-42 y Figura 6-43, respectivamente, y corresponden a: pH terreno, conductividad eléctrica terreno, densidad terreno, pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, densidad, alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, calcio, potasio, nitrógeno-nitrato (N-nitrato), cloruro, sodio, sulfato, magnesio, hierro, manganeso, arsénico y zinc. 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 2023 para los distintos analitos se encuentran en general dentro del rango histórico registrado. Los puntos Mullay-1 y Allana 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.

[31] 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.

Al analizar el pozo Mullay-1, se observa que los valores medidos se mantienen dentro del rango histórico. De acuerdo con el contenido promedio de sólidos disueltos totales (Fetter modificado; Tabla 4-16) los fluidos de Mullay-1 y Allana clasifican como agua fresca y agua tipo de transición, respectivamente. Al considerar los valores promedio de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y densidad (Tabla 4-17), ambos fluidos clasifican como agua dulce. Esta condición se mantuvo para el segundo semestre de 2023. En julio de 2023 Mullay-1 registró una baja en densidad de laboratorio no consistente con la tendencia histórica ni la densidad medida en terreno. Este registro además presentó valores de sodio, potasio, magnesio, y calcio muy por fuera del rango histórico medido y no consistentes con la tendencia de los últimos años. En octubre de 2023 el pozo Allana mostró un registro de densidad de terreno con un aumento puntual fuera de la tendencia previa e inconsistente con la medición en laboratorio. Por lo que estos registros no representan en si datos validados.

La densidad de terreno promedio del pozo Mullay-1 para todo el periodo histórico corresponde a 1,000 g/mL. En octubre de 2023 volvió a registrar el promedio histórico de 1,000 g/mL, respecto al leve aumento presentado en julio de 2023 donde se registró un valor de 1,001 g/ml. De manera similar, la densidad de laboratorio en 2023 se mantuvo dentro del rango histórico. El pozo Allana registró un leve aumento en la densidad de terreno en julio de 2023 (1,001 g/mL), de manera similar a lo ocurrido a finales de 2022. Sin embargo, estos valores no registraron una tendencia y se mantuvieron dentro del rango histórico. La densidad de laboratorio registró una disminución durante octubre de 2023. Sin embargo, no se registró una tendencia y el valor medido se mantuvo dentro del rango histórico.

El resto de los parámetros analizados: alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, cloruro, hierro, magnesio, manganeso, sodio, sulfato y zinc, presentan concentraciones en los análisis validados del segundo semestre de 2023 relativamente estable con respecto al periodo anterior y dentro del rango histórico.

Figura 6-42: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Mullay-1



Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-42 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Mullay-1

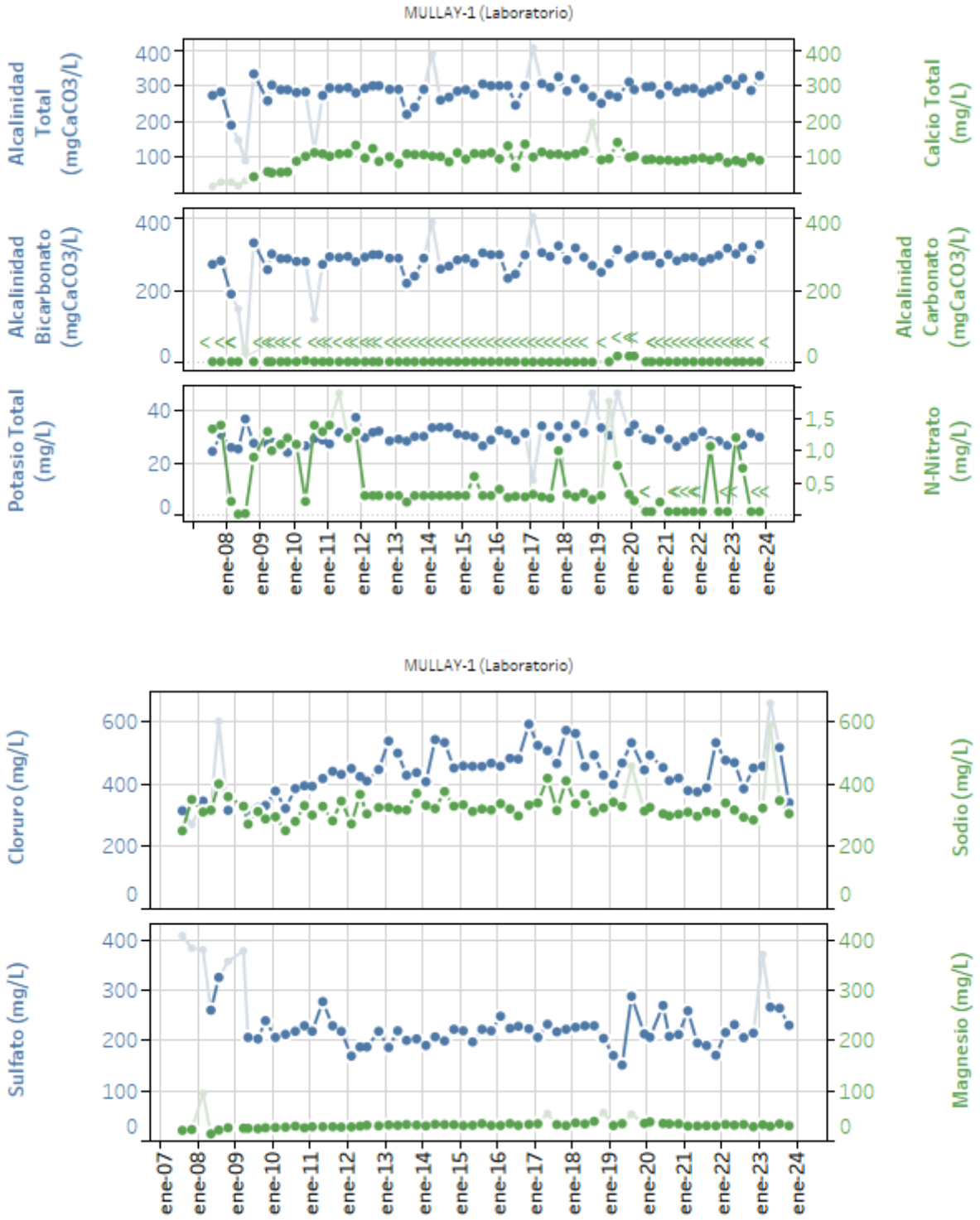
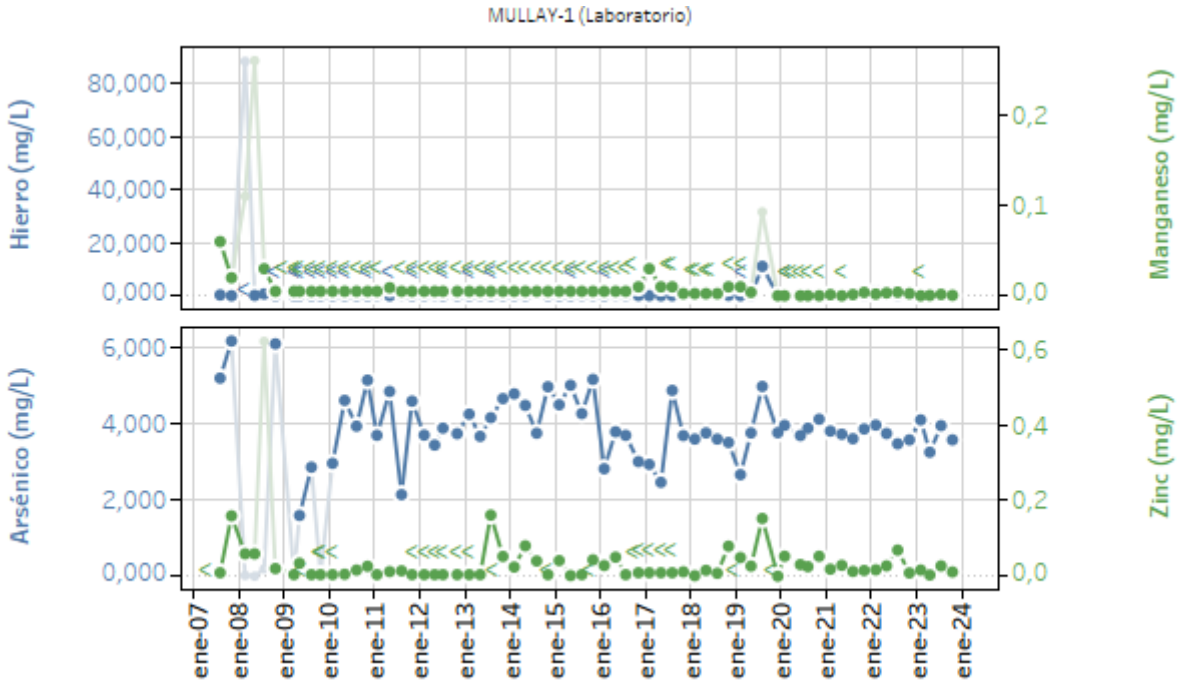


Figura 6-42 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Mullay-1



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-43: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana

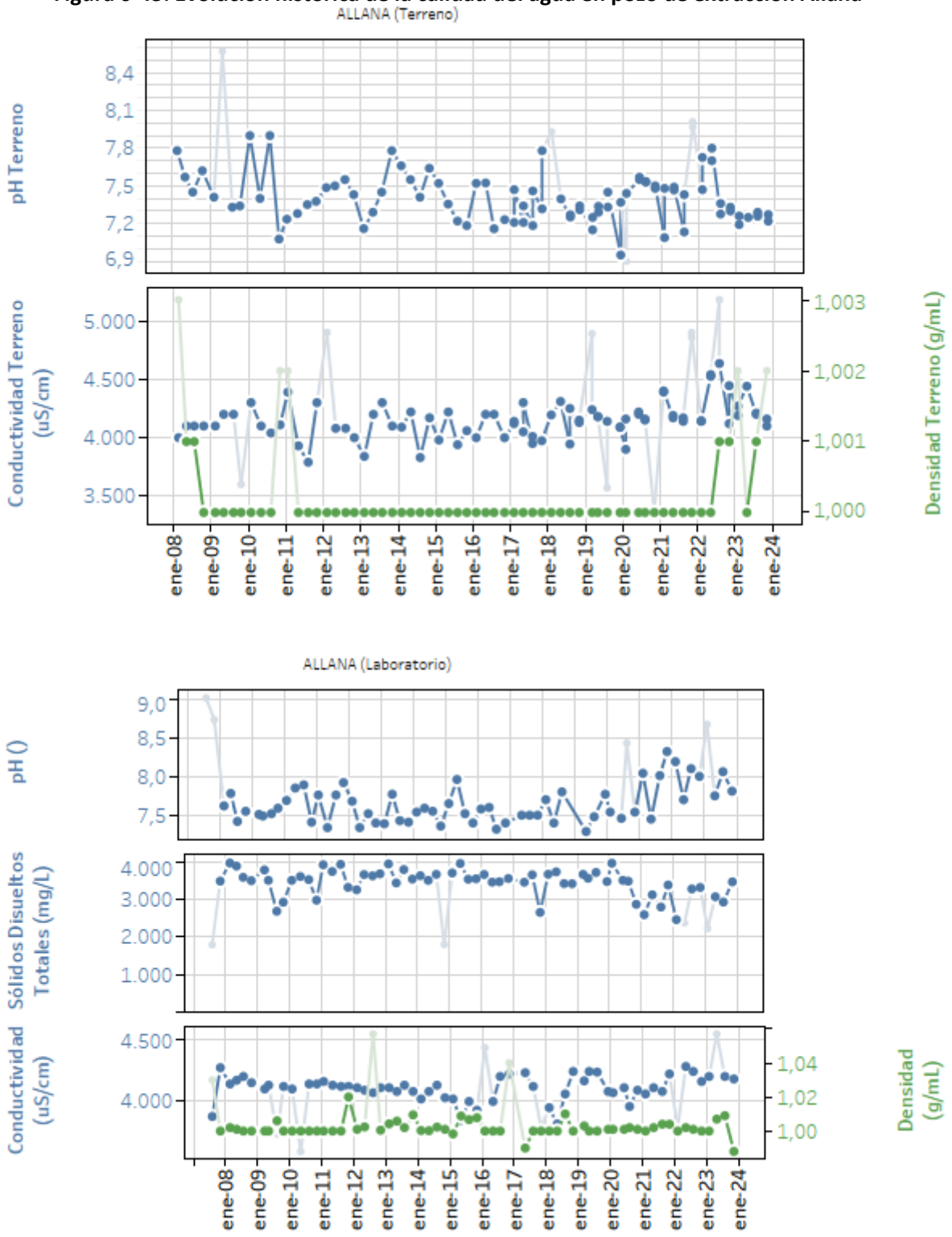
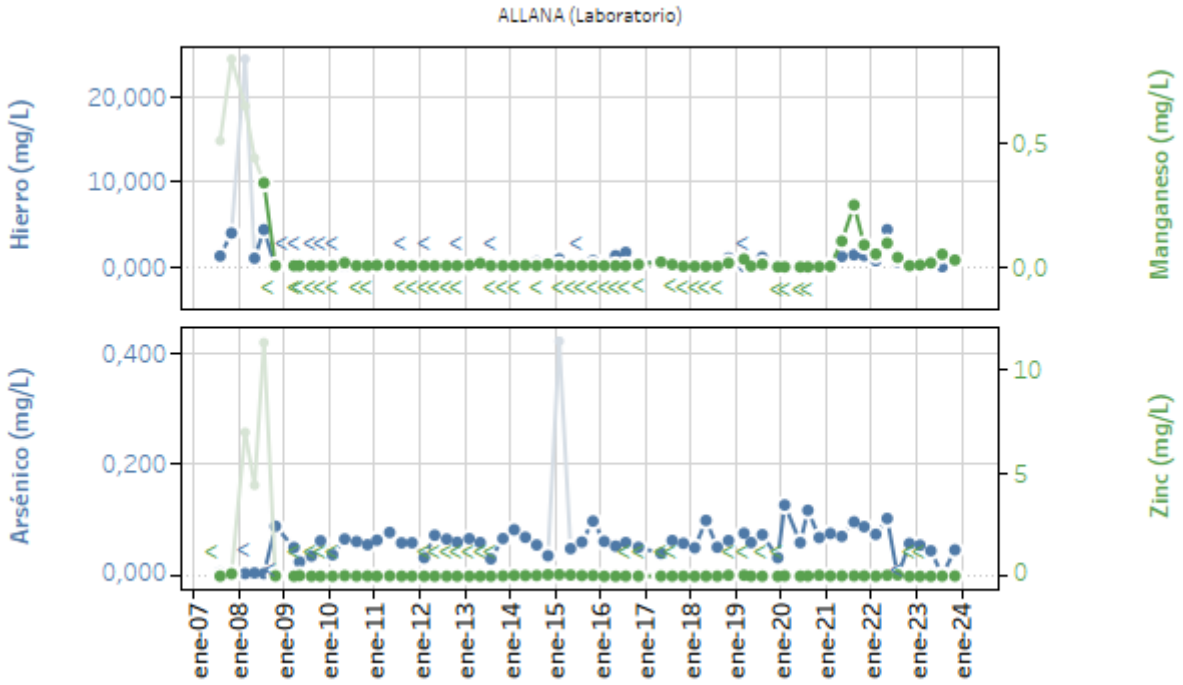


Figura 6-43 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

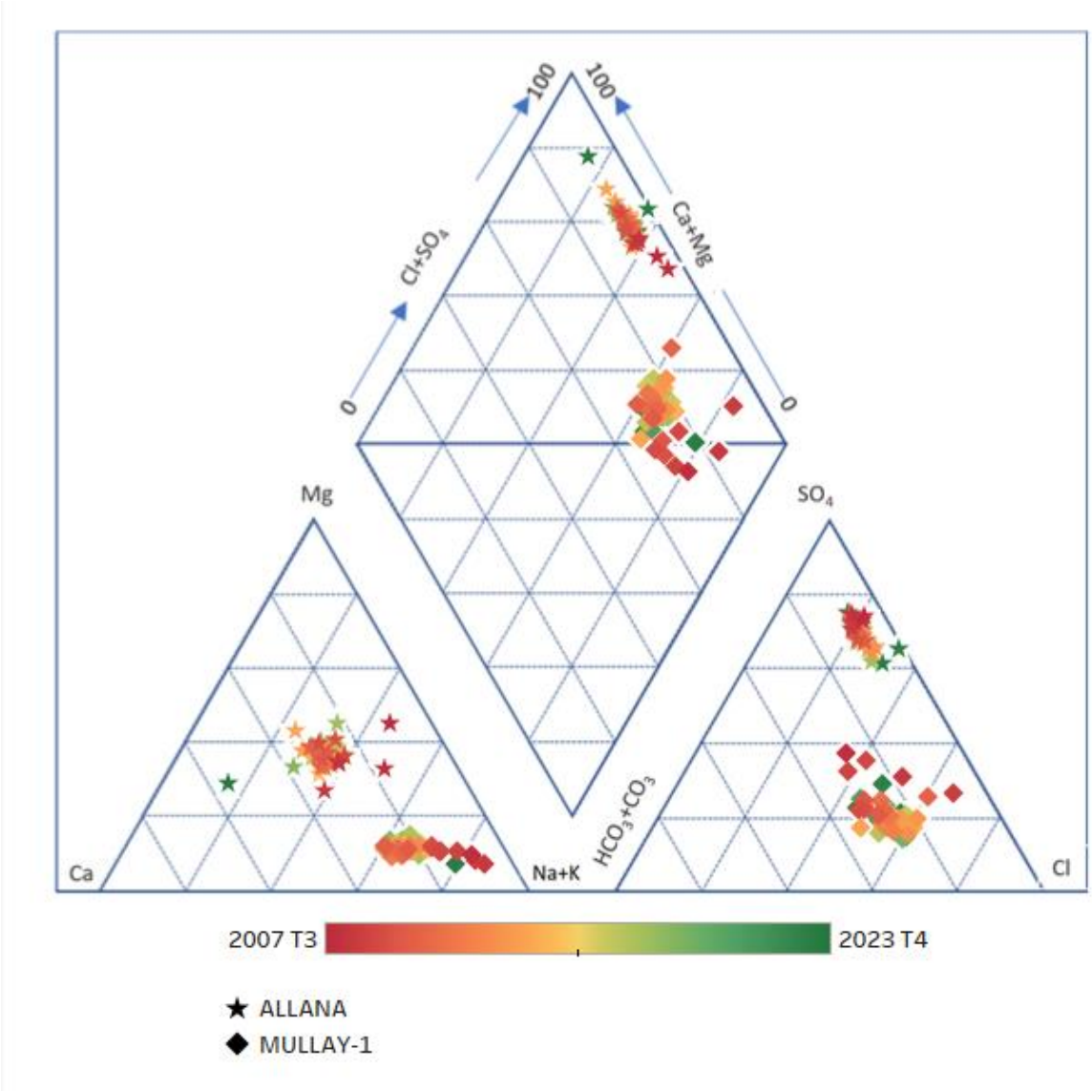
Figura 6-43 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana



Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">". En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

La Figura 6-44 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en estos puntos 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 2023 en el pozo Allana presentan un aumento relativo de calcio y en el pozo Mullay-1 se mantiene en el rango histórico. Además, 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 cloruros sódicos, igual que las quebradas del este de la cuenca. A excepción de las aguas provenientes desde la quebrada Soncor, las cuales muestran facies sulfatado-magnésicas que se mantienen en la UH Aluvial en el pozo Allana (SQM, 2023).

Figura 6-44: 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 segundo semestre del año 2023 fue posible acceder a monitorear los cuatro puntos de control de los sistemas lacustres, que corresponden a: Burro Muerto, Chaxa, Barros Negros y Puilar. Las Figura 6-45 a la Figura 6-48 presentan la evolución histórica de los parámetros analizados, los cuales corresponden a: alcalinidad total ($CaCO_3$), bicarbonatos, calcio, carbonatos, conductividad eléctrica terreno, dureza total, fosforo, N-nitrato, oxígeno disuelto terreno, pH terreno, potasio, salinidad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y temperatura terreno. Sólo para

los puntos Barros Negros y Chaxa se incluyen como compromiso de la RCA 226/2006 los parámetros: coliformes fecales, coliformes totales, conductividad eléctrica, detergentes, hidrocarburos totales y nitrógeno amoniacal (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.

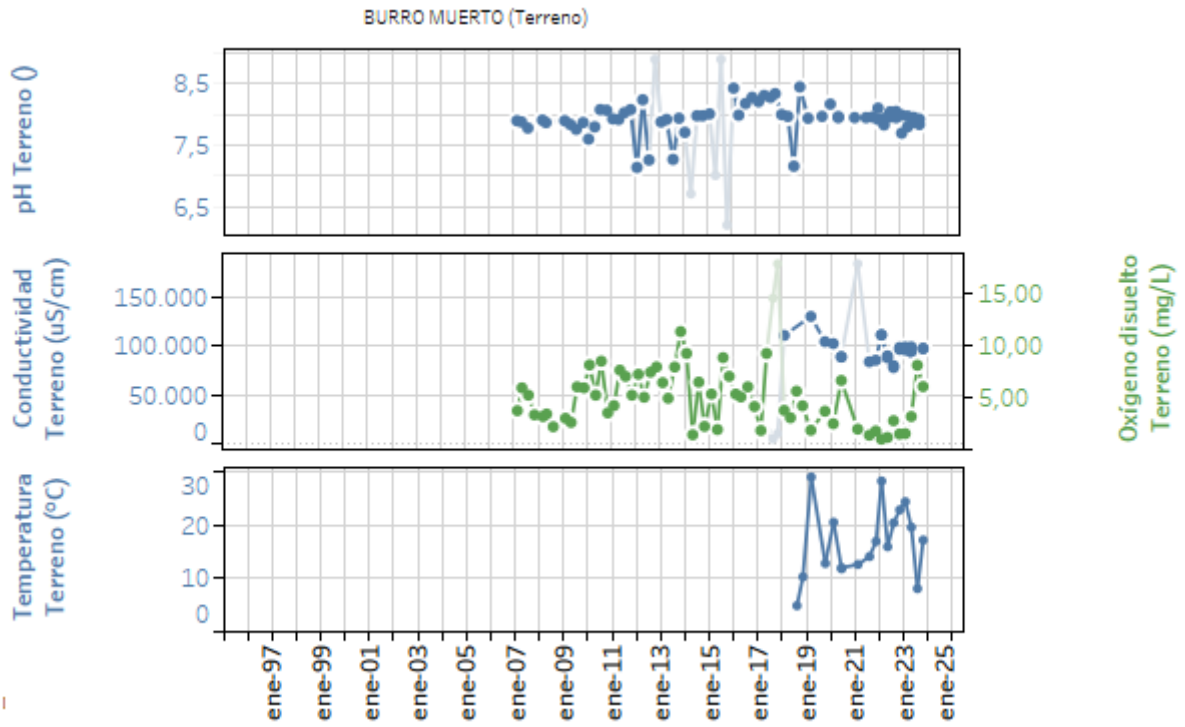
En cuanto al análisis histórico y por tratarse de agua superficial, el canal Burro Muerto y las lagunas que son alimentadas por él, laguna Chaxa y Barros Negros, presentan una marcada estacionalidad controlada por la evaporación y el régimen de caudales. Esto se traduce en valores máximos en verano y 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 al régimen de caudales.

El punto de muestreo en Puilar, al noreste de la laguna Chaxa y Barros Negros, 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. Lo anterior se 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 (Tabla 4-16). La salinidad en los últimos años se muestra estable para los tres puntos de control y en torno al 50%. La laguna 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. Los resultados del segundo semestre de 2023 para los distintos analitos y puntos se encuentran, en general, dentro del

rango histórico registrado, a excepción de los hidrocarburos en laguna Barros Negros durante julio de 2023, que tuvo un aumento por sobre el registro histórico (de <5 mg/L a 7 mg/L).

Figura 6-45: Evolución histórica de la calidad del agua en canal de Burro Muerto



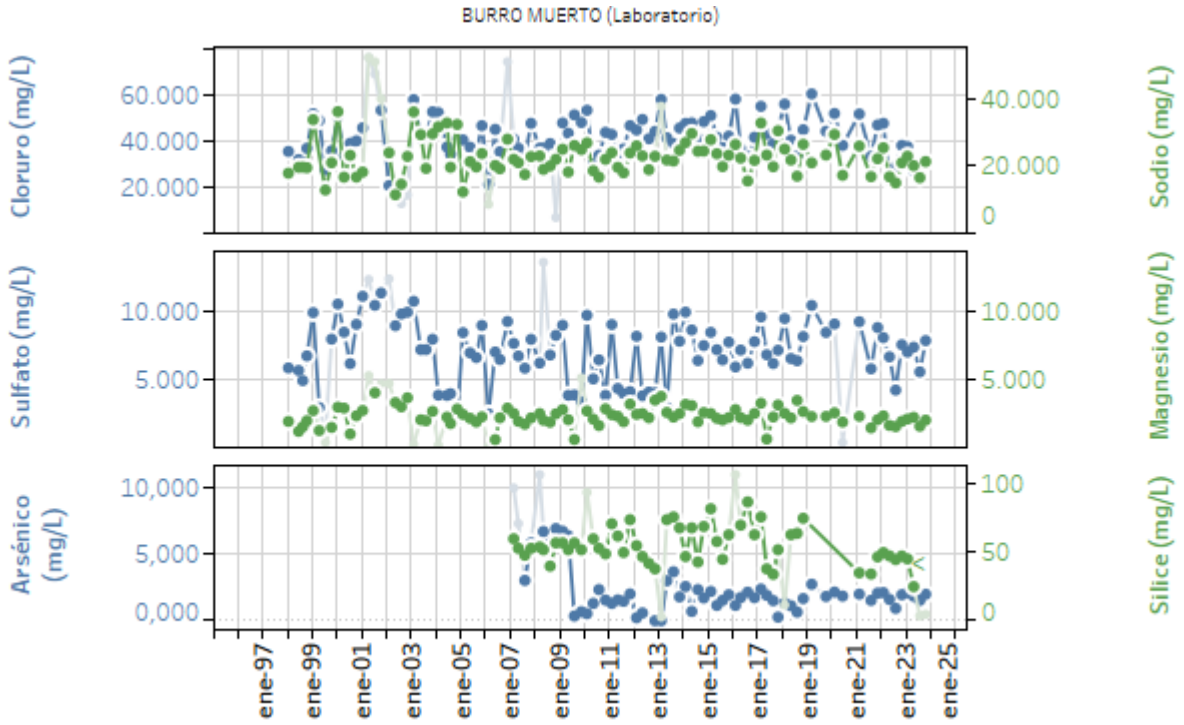
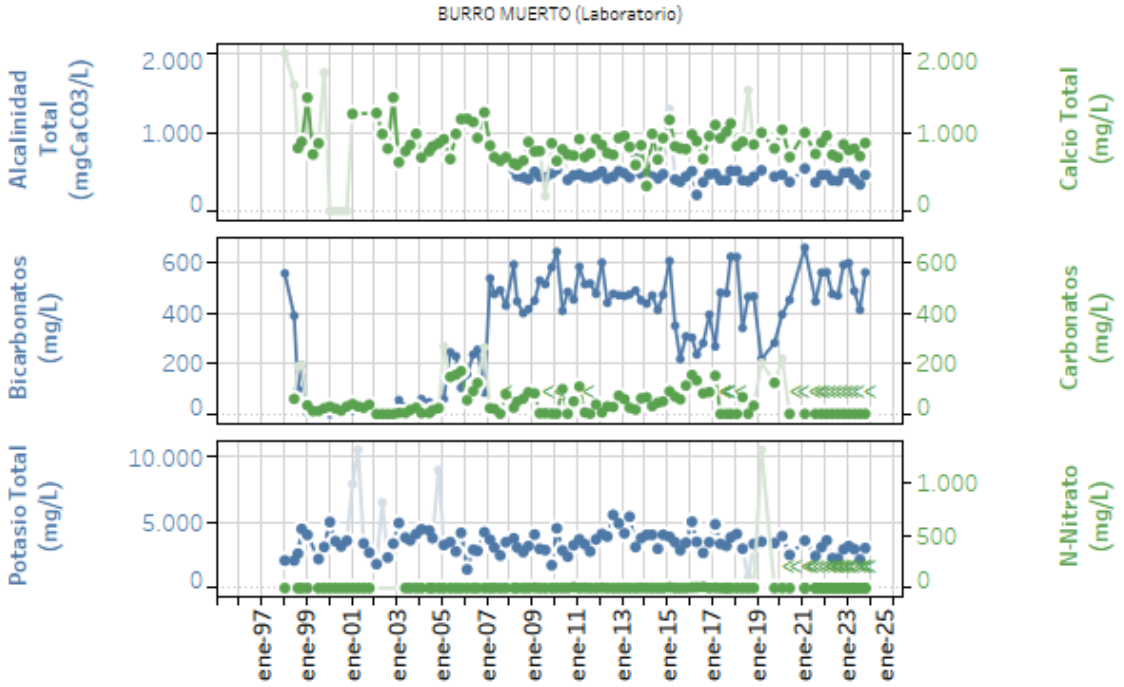
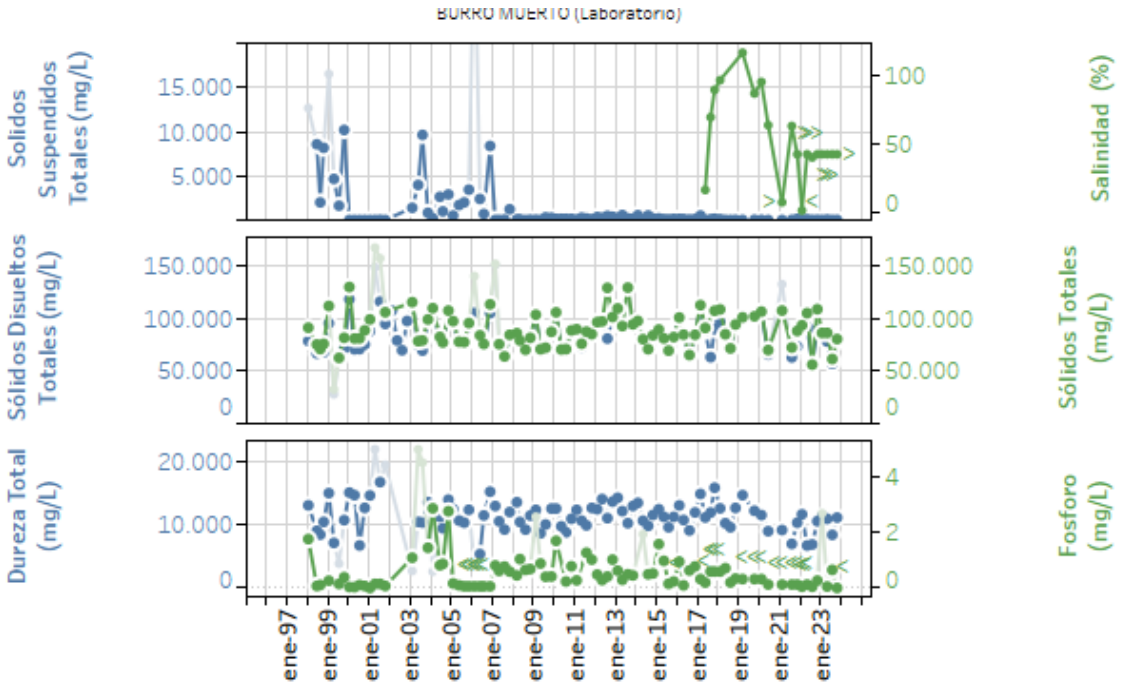


Figura 6-45 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en canal de Burro Muerto





Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de Sólidos suspendidos Totales para febrero 2006 (35.040mg/L) y el valor de nitrógeno nitrato para febrero 2019 (1.325mg/L). Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran con resalte.

Figura 6-46: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa

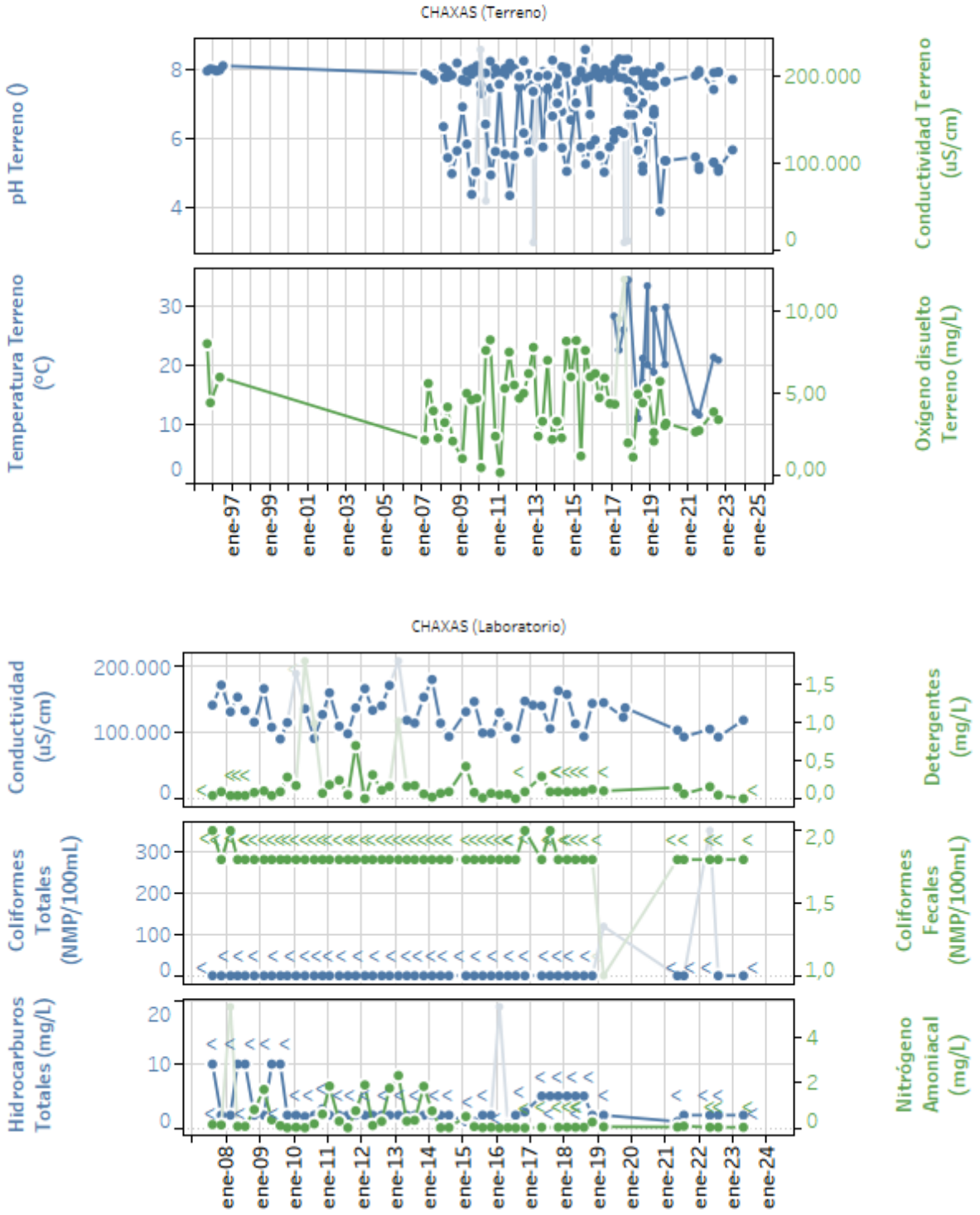


Figura 6-46 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa

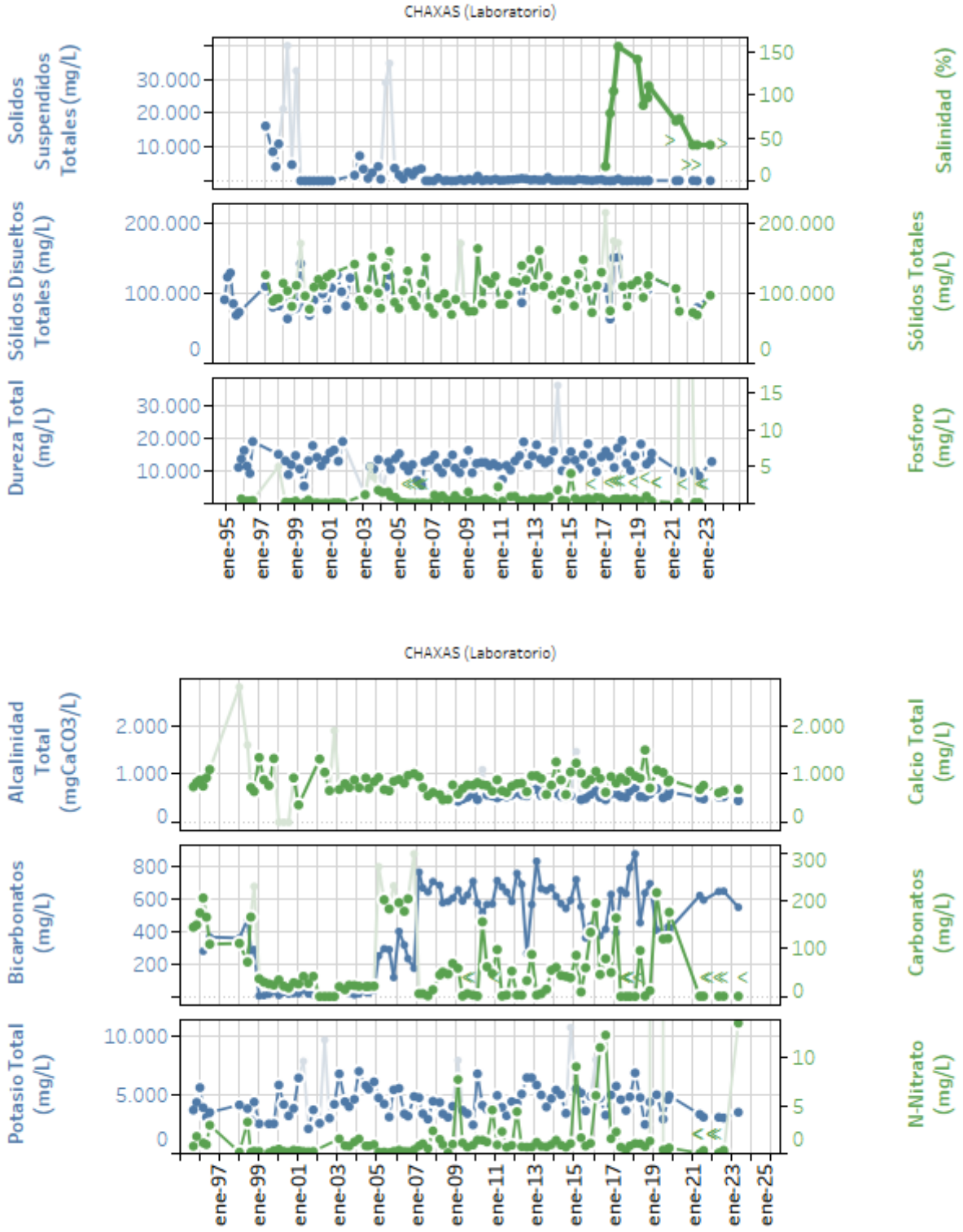
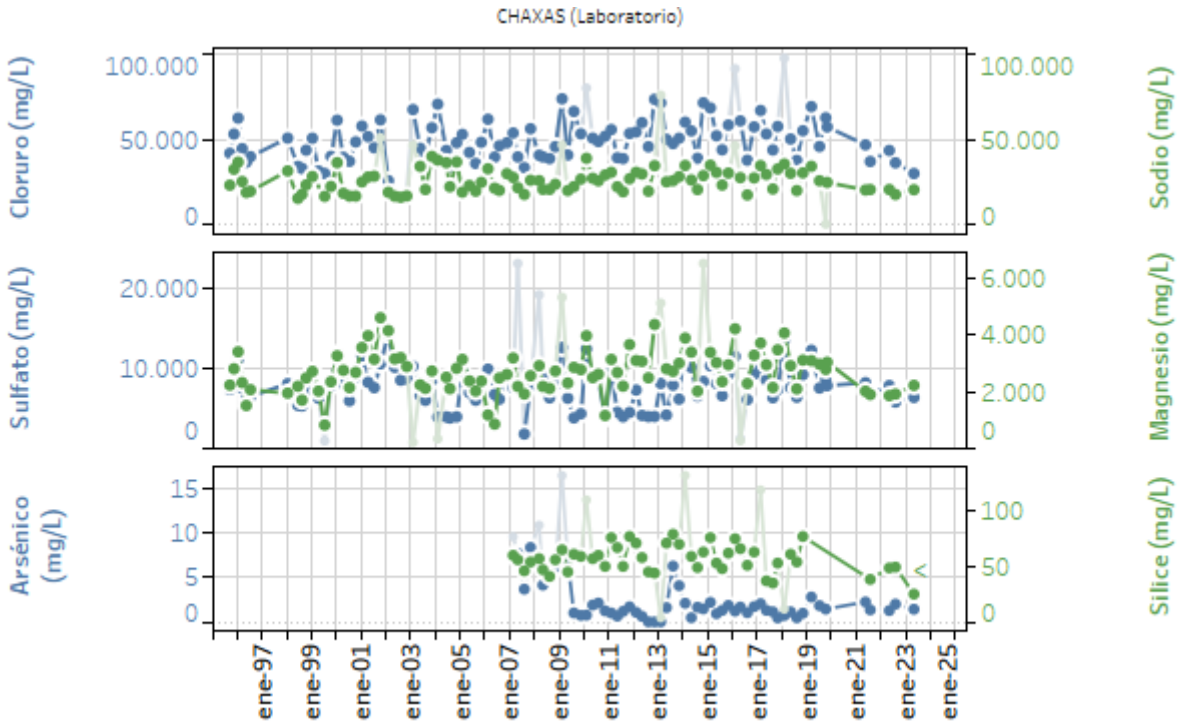


Figura 6-46 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa



Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de nitrógeno nitrato para febrero 2019 (1325mg/L). Los valores <LD o >LD se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran con resalte.

Figura 6-47: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros

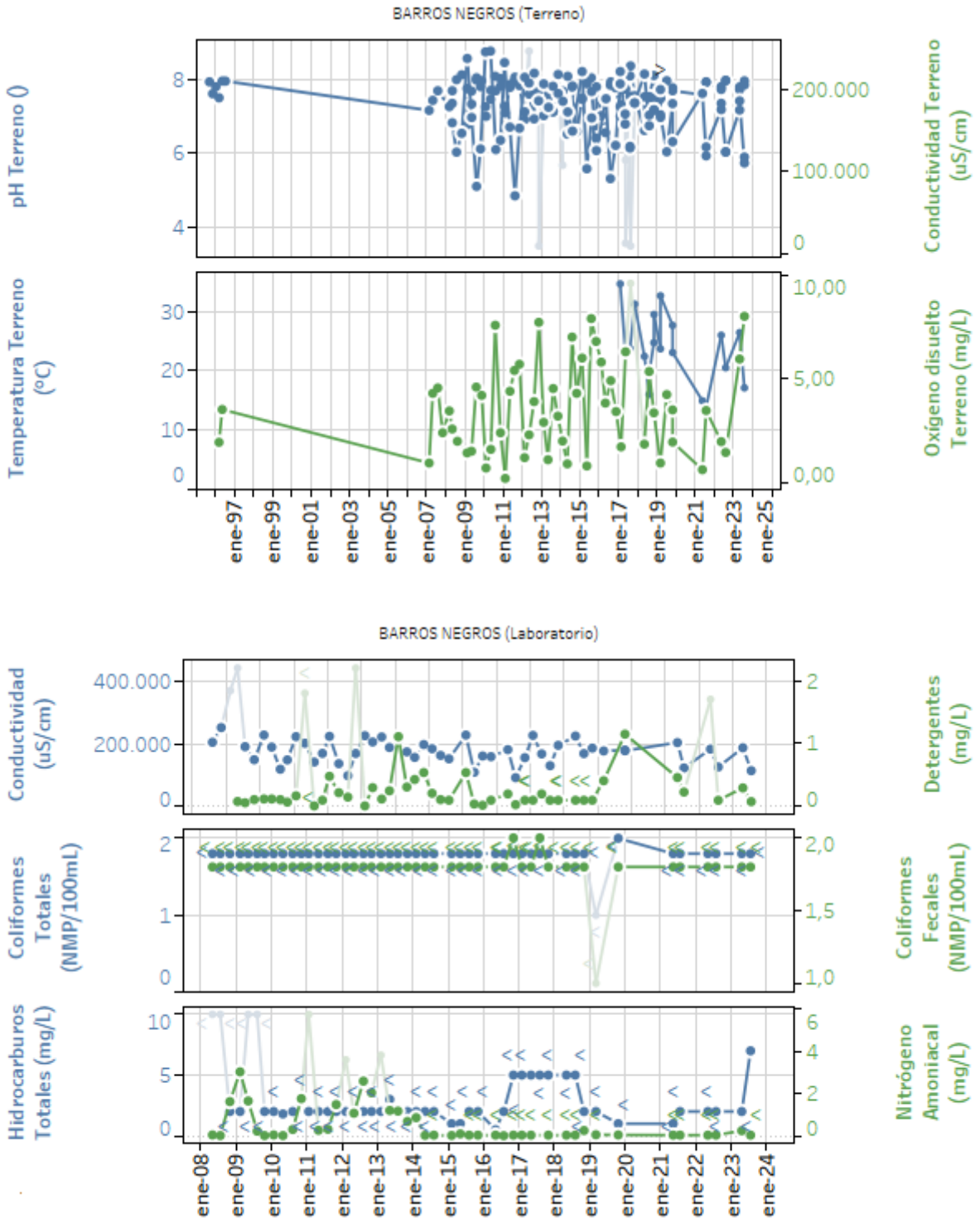


Figura 6-47 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros

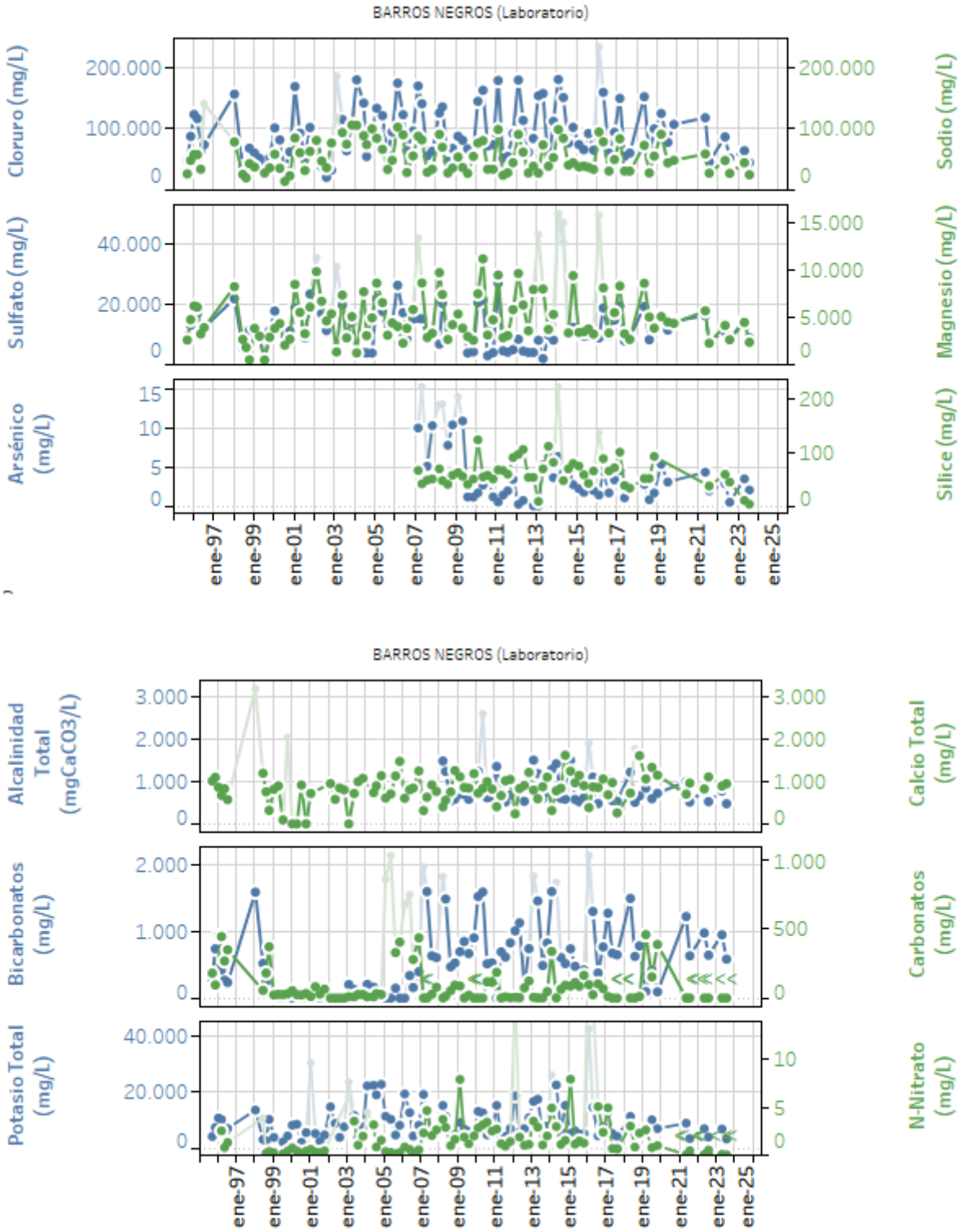
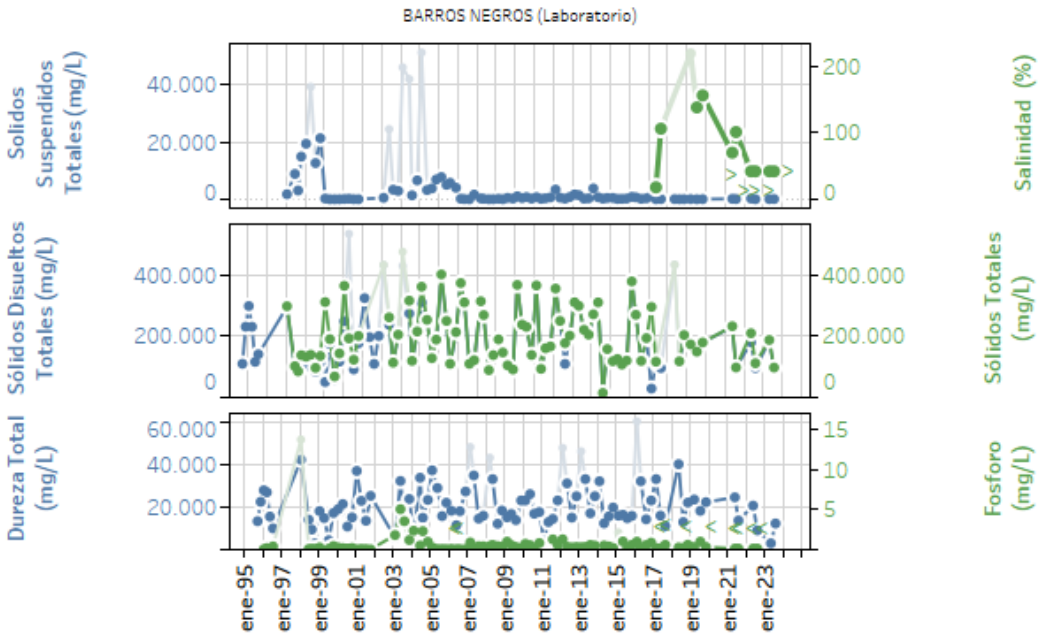


Figura 6-47 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros

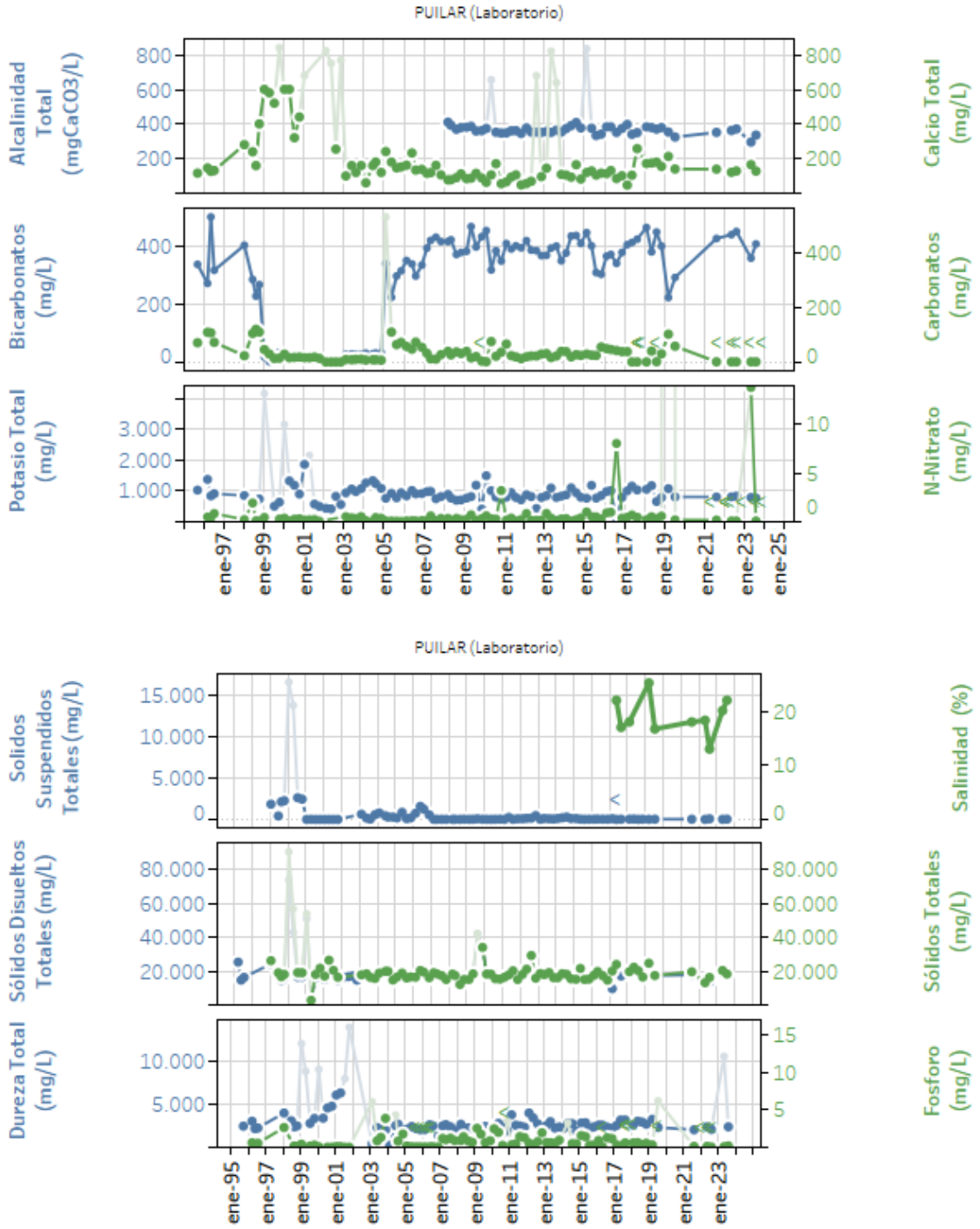


Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de nitrógeno nitrato para febrero 2019 (2650mg/L). Los valores <LD o >LD se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran con resalte.

Figura 6-48: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Puilar



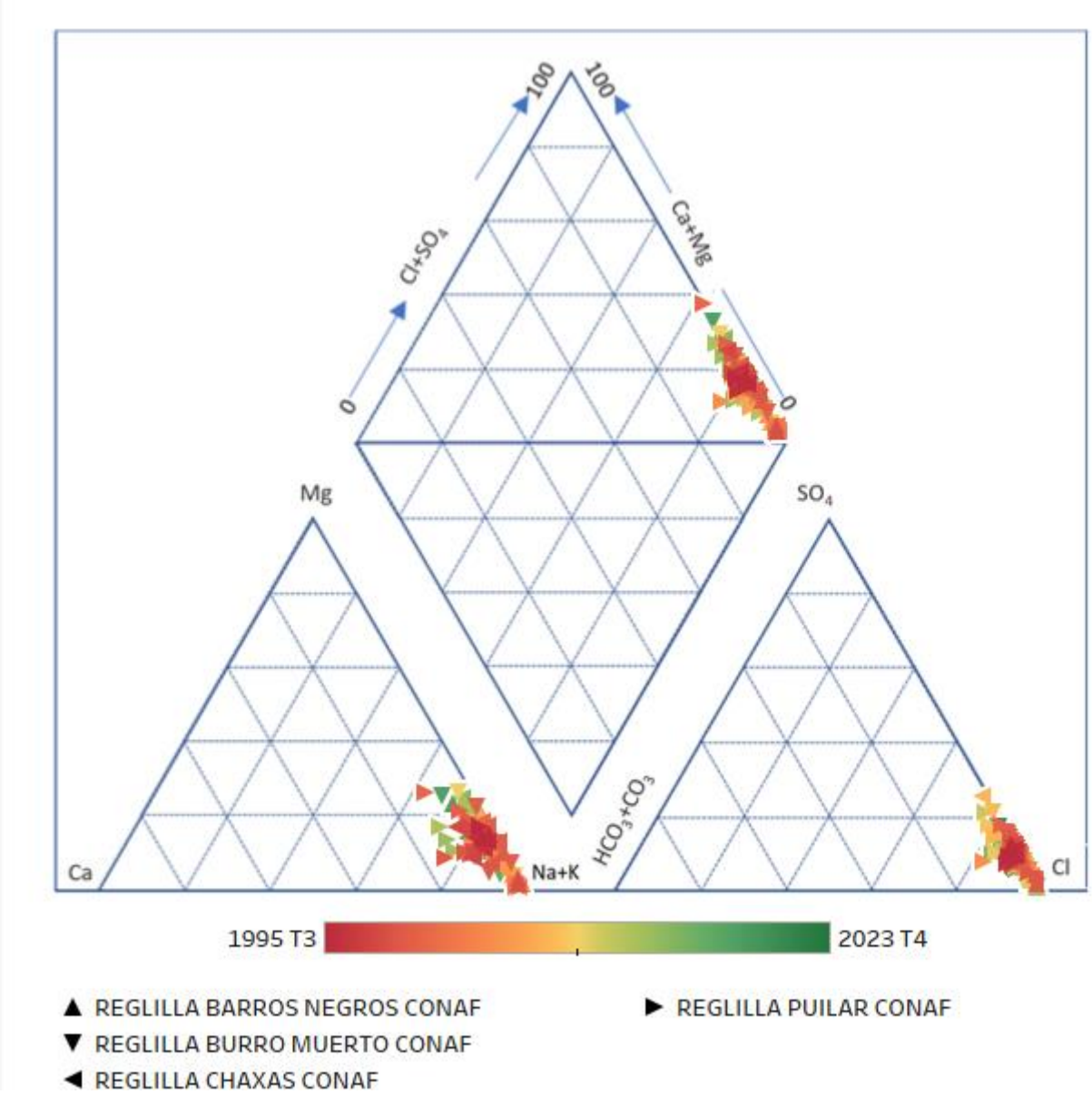
Figura 6-48 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Puilar



Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de nitrógeno nitrato para febrero 2019 (1903mg/L). Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

En cuanto a las características generales, en la Figura 6-49 se observa el diagrama de Piper para los cuatro puntos de agua superficial en sistema Soncor. 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 Negro.

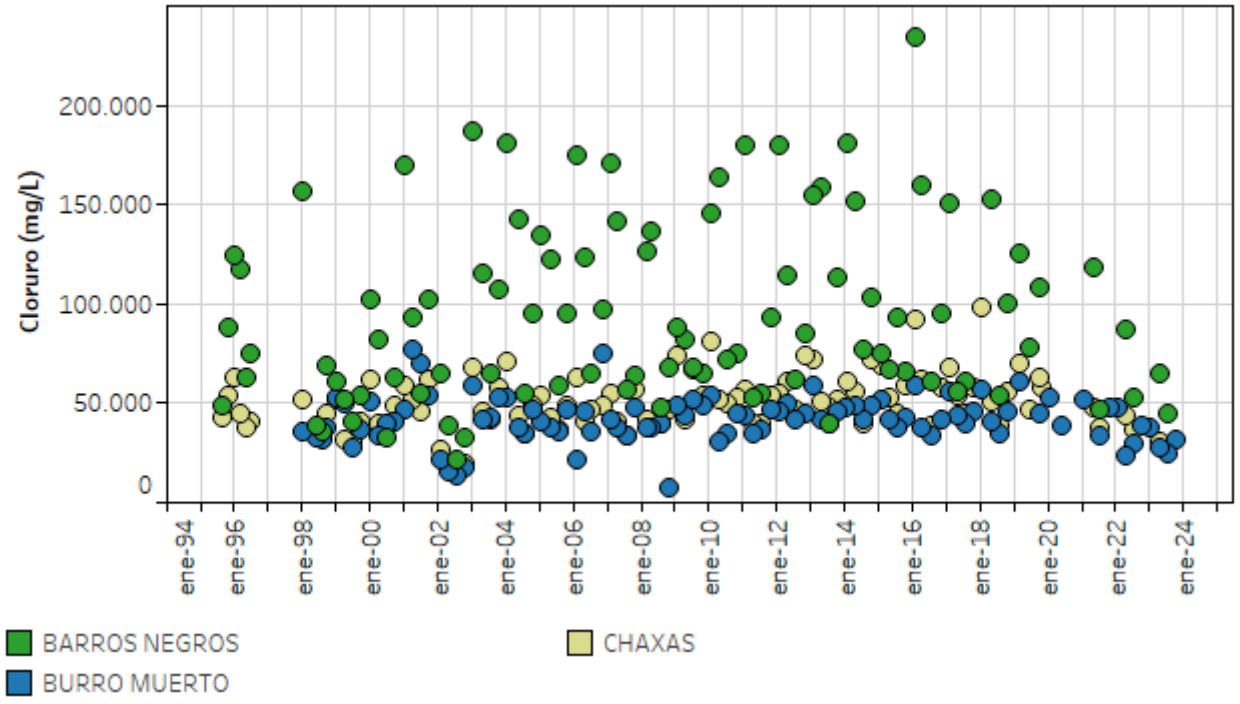
Figura 6-49: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia.

Además, dado que en el canal de Burro Muerto el flujo es de norte a sur, se produce un enriquecimiento en las concentraciones en este mismo sentido (Figura 6-50), 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, conforma a lo esperado de acuerdo con el funcionamiento del sistema se registran en la laguna Barros Negros, cuerpo terminal.

Figura 6-50: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, lagunas Chaxa y Barros Negros



Fuente: Elaboración propia

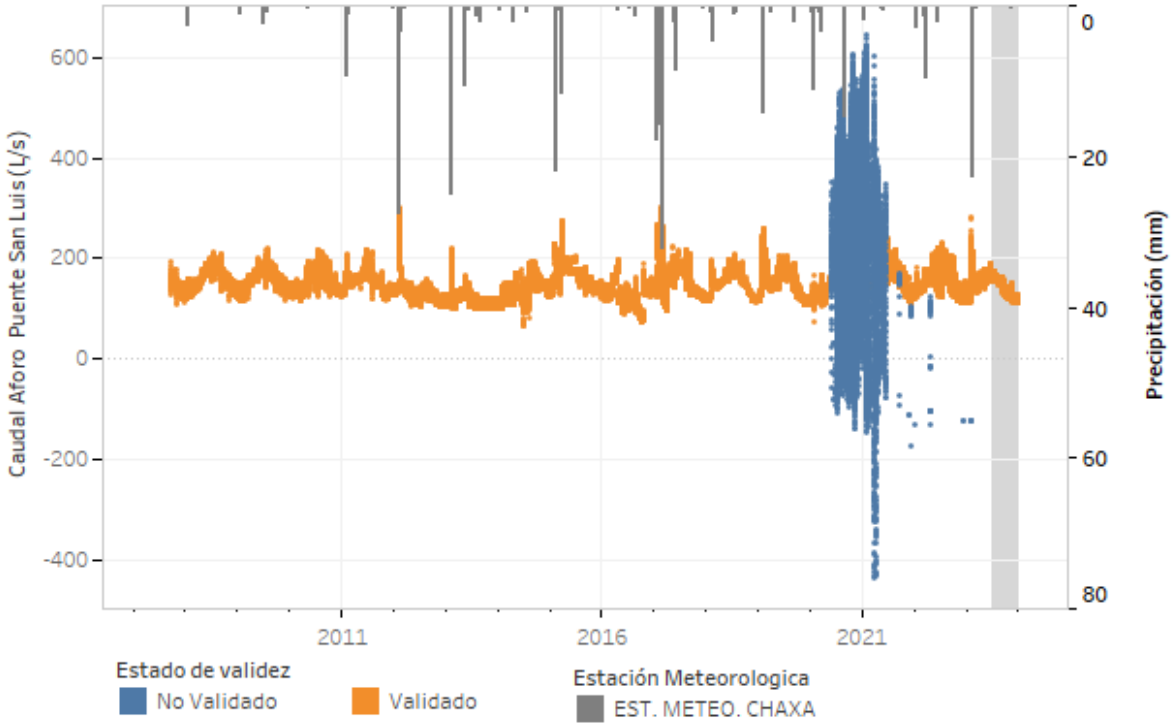
6.1.1.6 Caudal de agua superficial (aforos)

En el sistema Soncor se encuentran dos puntos de medición de caudal superficial:

1) La estación de aforo Puente San Luis, estación de aforo que se encuentra aguas arriba de la laguna Chaxa, mide de forma continua a través de una sección de control y en la que también se realizan mediciones mensuales manuales de manera voluntaria (estas últimas se toman de forma adicional a lo comprometido por RCA 226/2006).
2) Mediciones manuales con frecuencia mensual del punto llamado Barros Negros y que se encuentra aguas abajo de la salida de la laguna Chaxa.

En la Figura 6-51 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.

Figura 6-51: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís

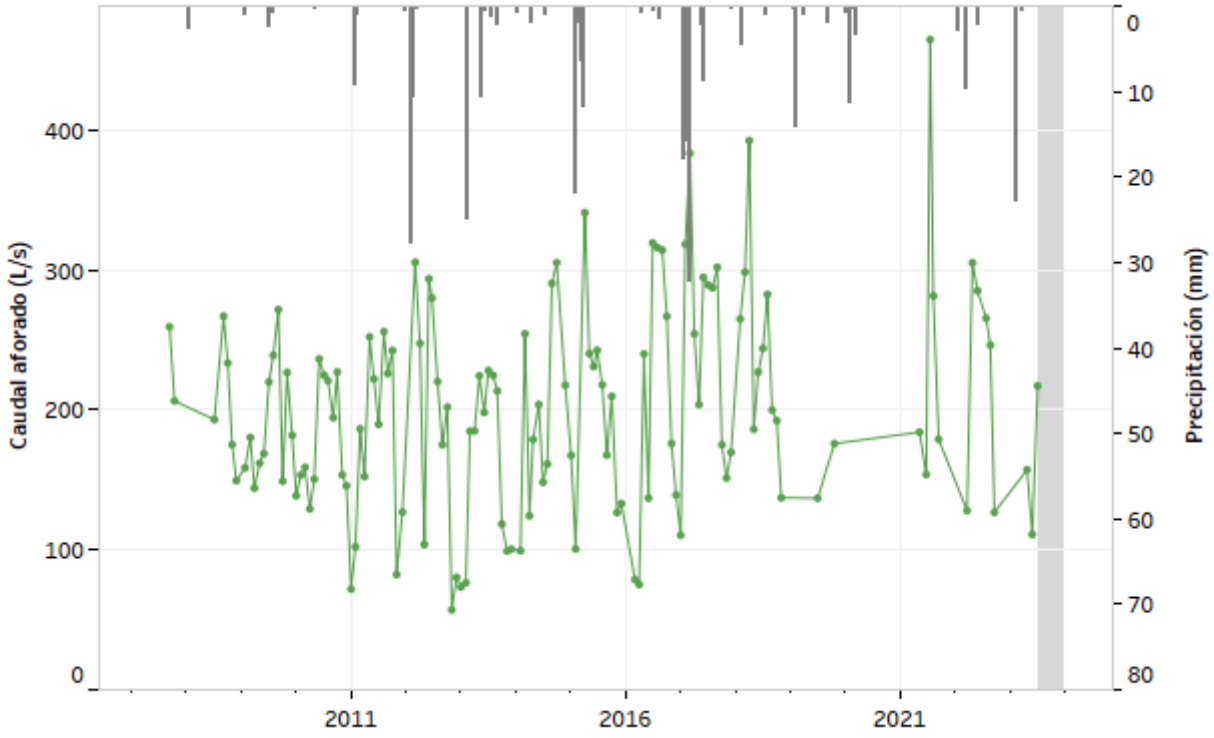


Fuente: Elaboración propia

Las medidas continuas para el segundo semestre 2023 del Puente San Luis se validan para todo el periodo. Su tendencia general es la esperada, presentando un leve descenso en el caudal superficial en respuesta a la estacionalidad. Respecto los años anteriores a 2023, se observa que, en épocas secas (ej. 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. Esta situación se ve reflejada a menor escala, en las precipitaciones de marzo, con caudales máximos de 177,9 (L/s).

Por su parte, en la Figura 6-52 se muestra el caudal histórico para el punto Barros Negros, junto a la precipitación medida en la estación meteorológica Chaxa. Durante el segundo semestre de 2023 no se pudo acceder a tomar medidas de caudal.

Figura 6-52: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA – VEGETACIÓN BORDE ESTE

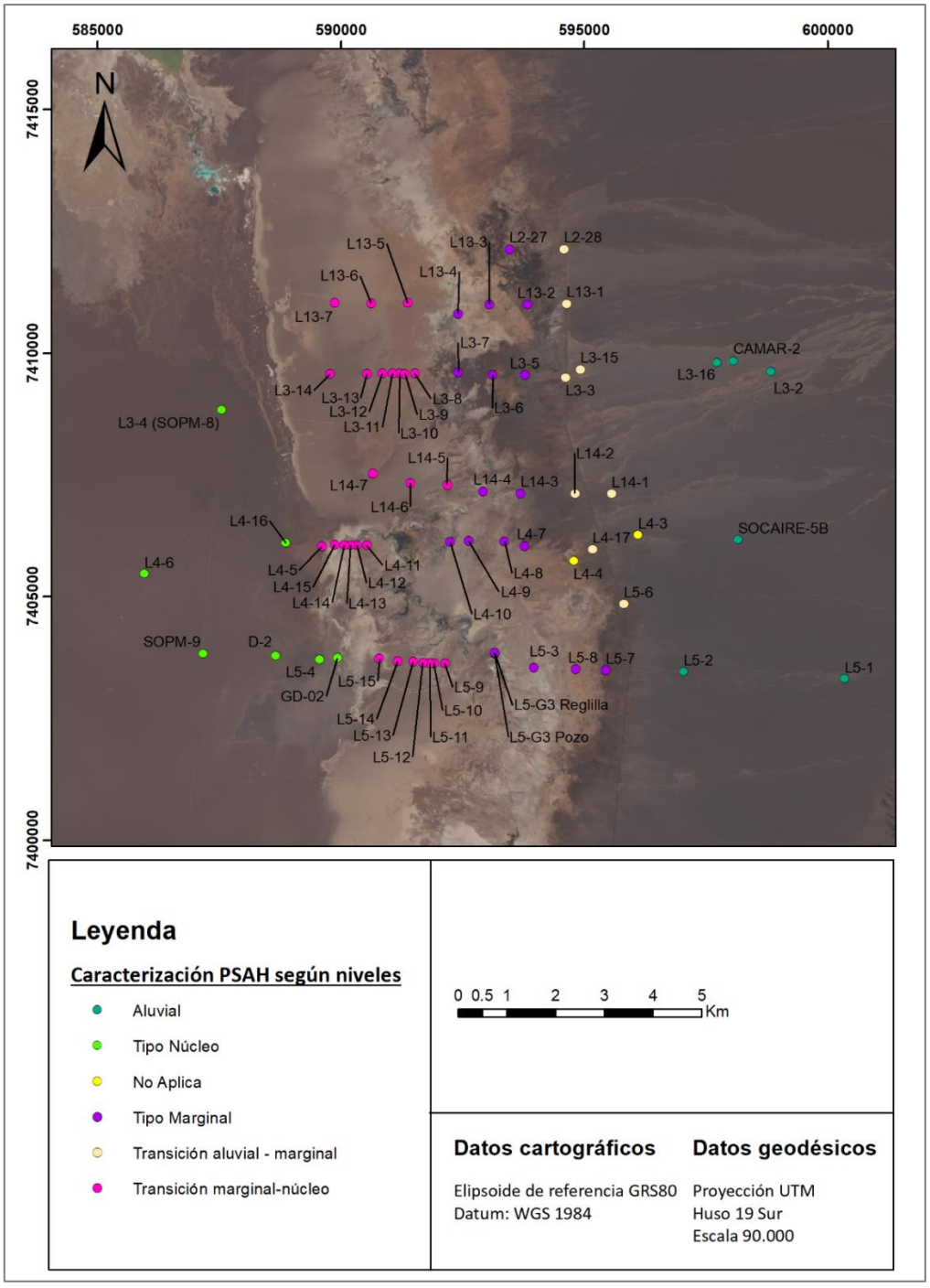
De la misma manera que se ha planteado en el sistema Soncor, para el análisis de los datos se han incluido todos los puntos ubicados en el sistema Aguas de Quelana, aunque formen parte de la clasificación administrativa del sistema Vegetación Borde Este (ver Figura 6-53). Se incluyen por tanto en este 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 6-53: Infraestructura englobada 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

El objetivo principal de los pozos ubicados en el Sistema Aguas de Quelana es observar el eventual efecto de la extracción de salmuera en el núcleo sobre las lagunas difusas y dispersas, así como el efecto de las operaciones de los pozos de agua industrial Camar-2 y Socaire-5.

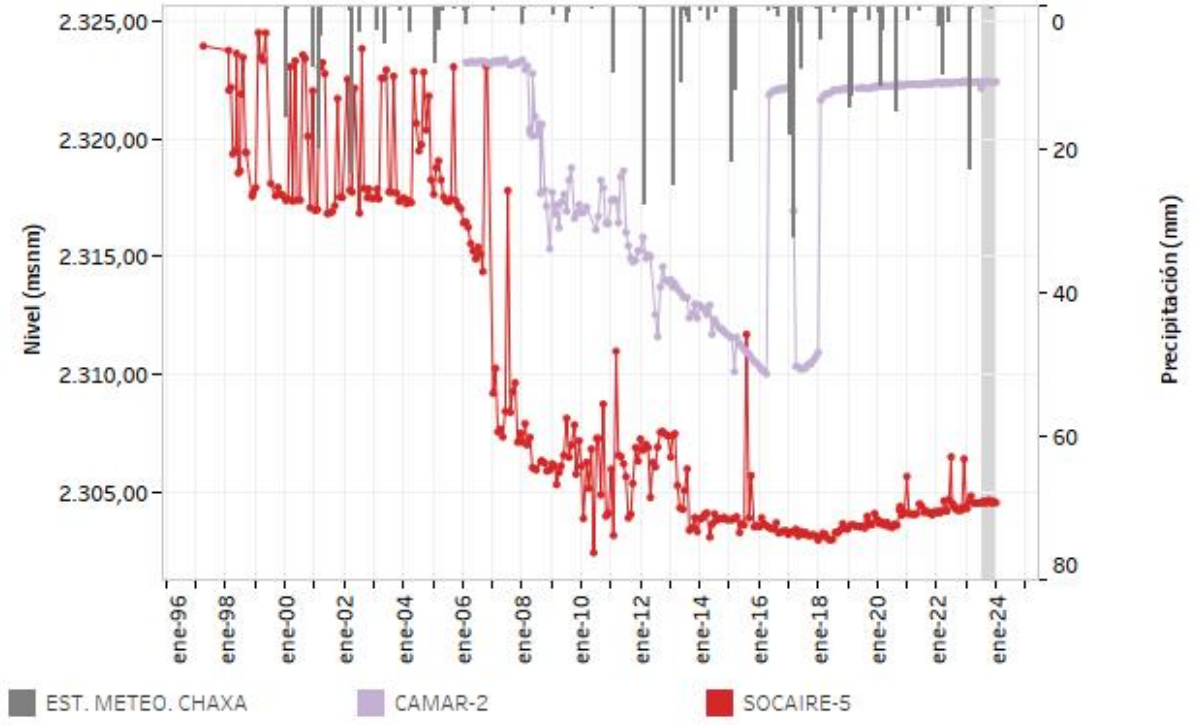
En el análisis realizado en el sistema Soncor se han identificado varios comportamientos con características hidrogeológicas específicas. Algunos de estos comportamientos también han sido reconocidos en el sistema Aguas de Quelana, el comportamiento asociado al acuífero aluvial, el transicional (entre el aluvial y el marginal), y el relacionado a la zona marginal (producto del efecto de la interfaz salina). En este caso, a diferencia del Sistema Soncor, no existe un sistema de lagunas de contorno definidos alimentados por canales de agua superficial proveniente de aguas arriba, lo que supone una recarga sobre el sistema en periodos de desborde. Por contrario, se trata de una distribución irregular de afloramientos de agua subterránea, producto del levantamiento del agua proveniente de la cordillera (generado por la presencia de la interfaz salina) y el cambio de relieve (que genera la existencia de estos cuerpos de agua dispersos de norte a sur). Por este motivo, existe un comportamiento que no se había identificado en el sistema Soncor y sí se observa en el sistema Aguas de Quelana, que es 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

En la Figura 6-54 se muestran los niveles de los pozos Camar-2 y Socaire-5, ambos correspondientes a pozos de agua industrial que se sitúan en el acuífero aluvial frente al sistema Aguas de Quelana. El caudal de extracción autorizado es de 60 y 65 L/s, respectivamente. Por su parte, la operación del pozo Camar-2 está detenida (y el pozo está desmantelado) desde febrero de 2018 y por este motivo, los niveles medidos se encuentran estables sobre la cota 2.322 m.s.n.m., aún con una leve tasa de recuperación (ascenso) de 8 cm/año, calculada hasta diciembre de 2023.

El pozo Socaire-5 ha mantenido un régimen de extracción promedio de 63 L/s durante toda su operación, incluido el segundo semestre de 2023. No obstante, se observa que desde 2018 el nivel en el pozo mantiene una tasa de ascenso (recuperación) de 26 cm/año. Esta tendencia ascendente se relacionaría con la detención del pozo vecino Camar-2 en el mismo año 2018.

Figura 6-54: Niveles en los pozos de agua industrial del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.2 Pozos en zona aluvial

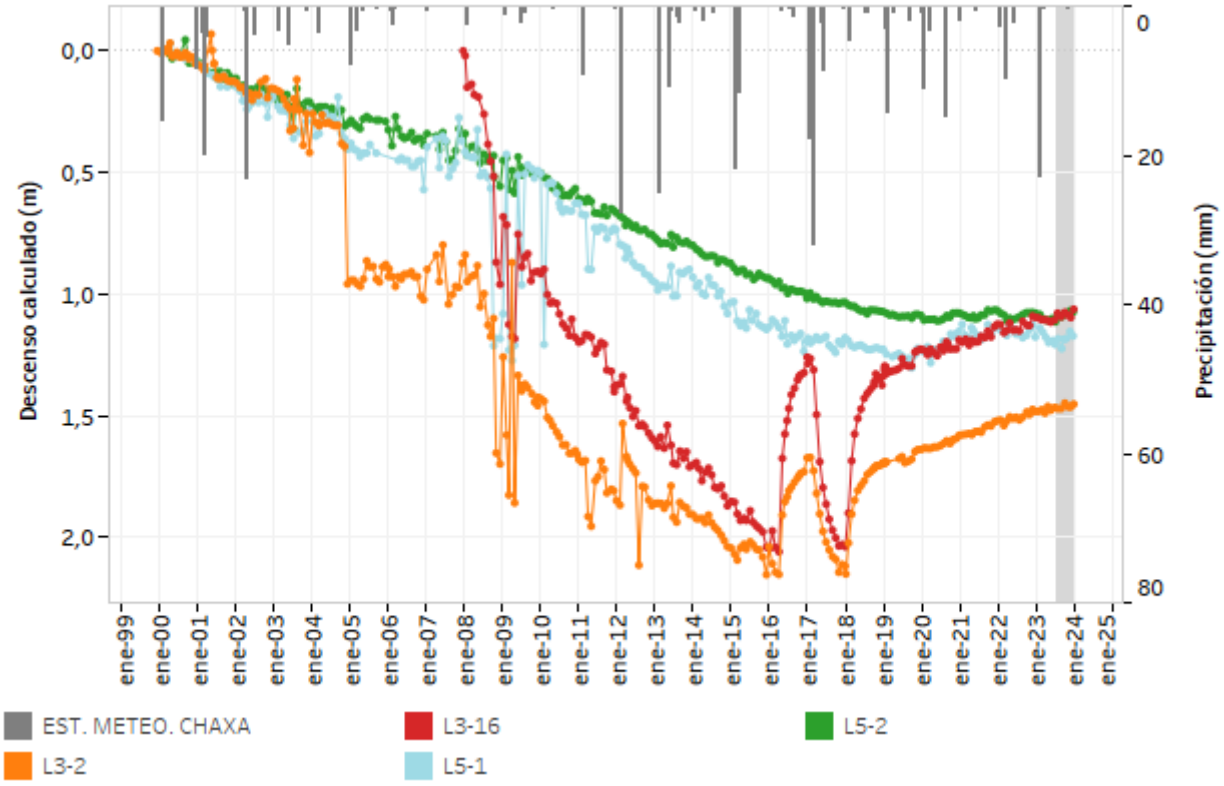
Sobre el acuífero aluvial del sistema Aguas de Quelana y con el comportamiento característico de esta área, se encuentran los puntos L3-2, L3-16, L5-1 y L5-2. En la Figura 6-55 se muestran los descensos calculados ya que, en lugar de las cotas de nivel, permiten observar más claramente las tendencias de este grupo debido a que los niveles se encuentran a cota muy distintas.

Los puntos no muestran oscilación estacional, es decir, no responden a los eventos de lluvia y sí presentan una respuesta en forma de descenso a las extracciones de los pozos de agua industrial, así como también producto de un desbalance histórico en la cuenca. Es necesario observar las tendencias resultantes de un período mucho mayor, puesto que existen estudios relacionados con los acuíferos de la cordillera de los Andes que concluyen que los tiempos de reequilibrio en el acuífero pueden ser de 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, es esperable que, en la cuenca del Salar de Atacama, como ocurre en cuencas similares, ocurra una situación de balances no cerrados, es decir, que el acuífero naturalmente no se encuentre en equilibrio.

Por su lado, los puntos L3-2 y L3-16 mostraban las mayores pendientes de descenso de este grupo (14,9 y 20,3 cm/año, respectivamente), hasta que el pozo Camar-2 se detuvo en 2016 y posteriormente en 2018. A partir de entonces, tras el paro definitivo del pozo, los niveles han venido mostrando una tendencia de recuperación (ascenso), que desde mediados del mismo año (2018) se muestra estable con una pendiente de 5,3 y 5,4 cm/año, respectivamente. Estas respuestas debidas al manejo operacional del pozo Camar-2 son esperadas, puesto que estos dos puntos se encuentran muy cercanos al mismo; el L3-16 a menos de 350 m y el L3-2 a unos 800 m.

En el caso de los puntos L5-1 y L5-2, el efecto de la detención del pozo Camar-2 también se ha observado, a pesar de que éstos se encuentran al sur del pozo Socaire-5. Previo a la detención del Camar-2, estos puntos registraban un descenso con una pendiente promedio de 5,8 cm/año el L5-2 y 6,8 cm/año el L5-1. El efecto del paro definitivo se empezó a observar en estos puntos a mediados de 2019 en el caso del L5-1 y a partir de 2020 en el caso del L5-2, año en que se empezó a registrar una estabilización y luego una tendencia ascendente (de 2,4 cm/año y 0,1 cm/año, respectivamente). La tendencia del punto L5-1 se mantuvo hasta el primer semestre de 2023 mientras que durante el segundo semestre registra niveles aparentemente descendentes. Respecto al punto L5-2, se confirma la tendencia descrita anteriormente.

Figura 6-55: Descensos calculados a partir de 2008 de los puntos del sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.3 Pozos en zona marginal

En esta sección se hace el análisis para aquellos puntos que se encuentran en la zona marginal del sistema Aguas de Quelana. Tal y como se ha hecho para el sistema Soncor, en la zona marginal existe una variedad significativa de comportamientos según la ubicación de cada punto. A continuación, se describen divididos en subapartados.

6.1.2.1.3.1 Pozos de comportamiento transicional aluvial - marginal

Empezando por los puntos más cercanos al acuífero aluvial, se identifica un comportamiento que se reconoce por ser transicional; presentan una tendencia de descenso propia del acuífero aluvial, influenciado principalmente por el bombeo de los pozos de agua industrial, pero además muestran una oscilación estacional más propia de la zona marginal. La Figura 6-56 muestra los descensos calculados desde 2008 a partir de los niveles medidos ya que, debido a las diferencias entre las cotas de los niveles en este grupo, no se podría realizar el análisis de forma adecuada.

El punto L2-28, que es aquel que se encuentra más al norte de este grupo, venía registrando una marcada oscilación con una tendencia descendente de 5 cm/año. La precipitación de febrero de 2019 produjo en los niveles un repunte que le llevó a elevar la cota hasta niveles que no se habían registrado desde 2013 (elevó el nivel unos 44 cm). A partir de entonces, el punto fue retomando la tendencia descendente y la oscilación estacional previa. No obstante, se observa que los máximos estacionales de los años 2021, 2022 y 2023 se registraron en cotas similares, llevando a la conclusión de que posiblemente el punto esté respondiendo en forma de recuperación (cese del descenso), quizás producto del paro del pozo Camar-2, tal y como se ha observado en otros puntos de la zona Marginal. Este cambio en la tendencia podría estar siendo confirmada con los registros del presente semestre reportado (segundo semestre 2023), en donde el mínimo estacional característico de esta época de verano se ha registrado a una mayor cota que los años precedentes. Sin embargo, dicha cota podría ser también producto del efecto de las lluvias ocurridas en la misma época.

El punto de este grupo que se encuentra inmediatamente al sur del L2-28 es el L13-1. Este punto muestra un comportamiento análogo al punto L2-28, en donde la tasa de descenso entre 2007 y previo a la lluvia de 2019 era de 5,5 cm/año. Posteriormente, también ha reproducido un comportamiento aparentemente de recuperación-estabilización en donde los últimos máximos estacionales (2021 y 2022) se encuentran en cotas similares, mientras que el máximo estacional del 2023 se registró por encima del nivel del año precedente, denotando la misma tendencia de recuperación.

Por su lado, el punto L3-15 que se sitúa al sur del L13-1 y sobre la transecta del pozo Camar-2, sí ha mostrado una clara respuesta de recuperación ante la detención de la extracción; desde el inicio de los registros y hasta 2017 la tasa de descenso era de 7 cm/año. A partir de entonces se ha evidenciado un comportamiento incluso de ascenso, adicional a la respuesta de la lluvia de 2019, cuya tasa, incluyendo el período actualmente reportado (segundo semestre 2023), es de 1 cm/año.

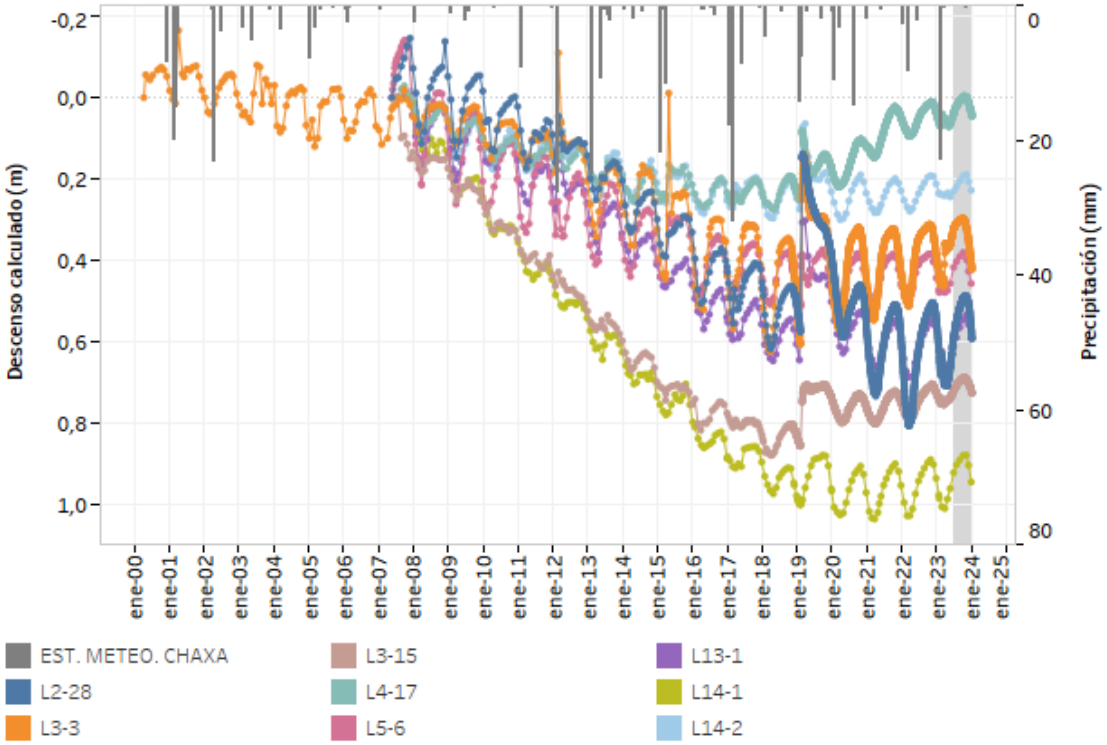
El punto L3-3 se encuentra sobre la misma transecta que el L3-15, a unos 350 m aguas abajo, y puede comprobarse cómo el patrón se repite. Hacia el sur se ubican los puntos L14-1 y L14-2, en donde también se repite el mismo comportamiento descrito anteriormente, que por su ubicación se asocia claramente a la detención del Camar-2. Todos ellos mantienen la tendencia de ascenso todavía durante el presente semestre reportado (segundo semestre 2023).

Se destaca el punto L14-17, ubicado sobre la transecta del pozo Socaire-5, hacia el sur. En este caso, se observa la tasa previa a la detención del Camar-2, que fue de 2 cm/año y luego, se visualiza que este

punto muestra un claro ascenso, cuya tasa, incluyendo el primer y segundo semestre reportado (2023), es de 4 cm/año. En consecuencia, la pendiente de la recuperación es mayor que la del descenso anterior. Cabe mencionar que este punto se encuentra más cercano al Socaire-5 y este pozo no ha cambiado su tasa de extracción común. En base a esta situación, se infiere una alta heterogeneidad de los parámetros hidráulicos del acuífero en este entorno distal del acuífero aluvial, que explicaría distintos comportamientos en sectores cercanos.

Por su parte, el L5-6, el punto 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 muestra una estabilización debido a que los máximos estacionales se registran en cotas similares consecutivamente (ver años 2018 y hasta 2022). Se destaca adicionalmente que, por su lado, los mínimos estacionales se vienen registrando en cotas levemente superiores a los años previos, haciendo así que la amplitud de la oscilación vaya disminuyendo (en 2019 fue de 15 cm, mientras que, este año 2023 ha resultado de casi 10 cm).

Figura 6-56: Descensos calculados de los puntos del sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento de transición entre la zona marginal y el acuífero aluvial



Fuente: Elaboración propia.

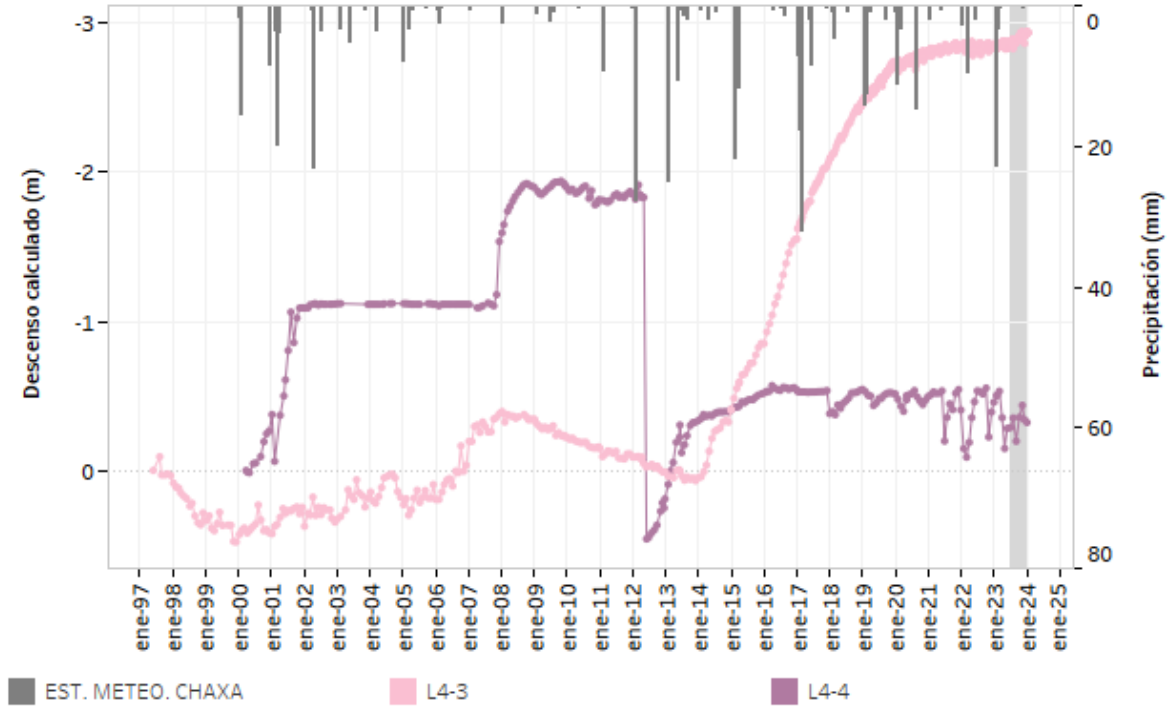
6.1.2.1.3.2 Pozos singulares: L4-3 y L4-4

En el entorno de los puntos descritos anteriormente, se encuentran el L4-3 y el L4-4 que presentan un comportamiento singular en comparación con el resto de los pozos vecinos. En la Figura 6-57 se muestran los niveles de estos puntos. 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 descenso abrupto el año 2012. Posteriormente, el punto mostró una recuperación del nivel hasta alcanzar en 2016 una cota más o menos estable alrededor de los 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 estacional de mayor amplitud que el que se intuía entre el período de 2017 y 2021. Si bien todos los puntos del sistema han mostrado respuesta al paro del pozo Camar-2, para este caso del L4-4 no se tiene claridad si este cambio descrito pueda también relacionarse al mismo paro del pozo (Camar-2) ya que a priori, no se comprende qué puede haber motivado que los máximos estacionales se mantuvieran iguales que el registro histórico y que sean los mínimos los que reproduzcan la amplitud de la oscilación.

Por su parte, el L4-3 cambió su tendencia desde el 2014 y empezó a mostrar un ascenso regular, aunque la pendiente se haya ido suavizando desde entonces, con una pendiente de 16,3 cm/año calculado desde enero de 2014 y que se mantiene también durante el segundo semestre 2023.

Figura 6-57: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

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 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, por lo que se muestran directamente los descensos calculados que permite visualizar mejor el comportamiento característico, y se presentan agrupados en distintas figuras de norte a sur:

- Series L2 (L2-27) y L13 (L13-2, L13-3 y L13-4) en la Figura 6-58.
- Serie L3 (L3-5, L3-6 y L3-7) en la Figura 6-59.
- Serie L14 (L14-3 y L14-4) en la Figura 6-60.
- Serie L4 (L4-7, L4-8, L4-9 y L4-10) en la Figura 6-61.
- Serie L5 (L5-3, L5-7, L5-8 y L5-G3 Reglilla y Pozo) en la Figura 6-62.

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, 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 que exista este sistema de humedales en el borde este del Salar de Atacama.

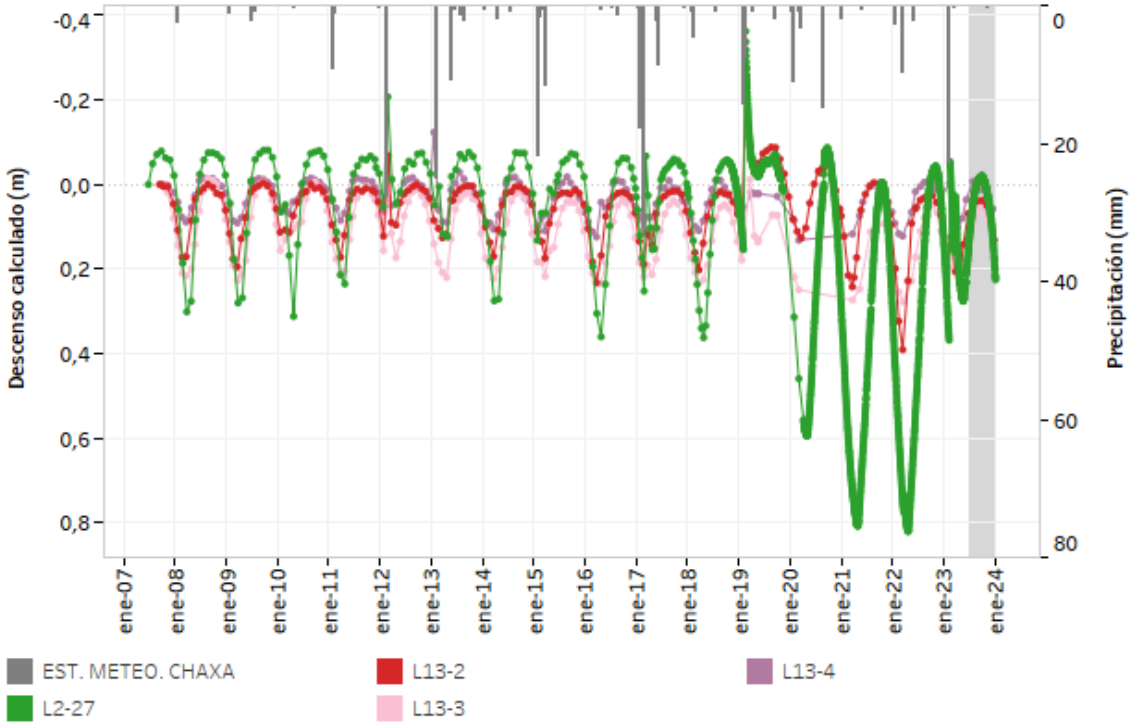
Volviendo al comportamiento de los niveles, de la misma manera que se describía para los pozos también asociados a la interfaz salina del sistema de Soncor, estos puntos muestran una marcada oscilación estacional y, en general, tendencia de pendiente prácticamente nula (ni ascenso ni descenso). Es posible que estos puntos se muestren 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). Observando las respuestas registradas de todos los puntos analizados en este grupo, el evento que mayor impacto ha generado en los niveles es el de febrero 2019 y, en segundo lugar, el evento de febrero 2012.

Respecto de la Figura 6-58, se destaca el punto L2-27 que ha venido registrando mínimos históricos consecutivamente los años 2020, 2021 y 2022, los que llevaron a la activación de la Fase II del PC según el umbral definido en la RCA, de hecho, durante la elaboración de este informe (primer semestre de 2024) se ha vuelto activar Fase II durante marzo 2024; esta activación es abordada en el siguiente PSAH N°35.

No obstante, lo que corresponde al segundo semestre 2023 se registró un mínimo estacional situado en una cota similar a la de años anteriores. Es necesario mencionar que también se observa cómo el

punto ha respondido a la lluvia registrada este último año, lo que probablemente haya ayudado a mantener los niveles. Es posible que el punto esté dando sus primeros signos de respuesta a la detención del pozo Camar-2, pero todavía es pronto emitir conclusiones en base al registro actual. No obstante, sí se espera que de una u otra forma, el punto esté respondiendo, ya que así se ha concluido en los diversos análisis realizados en los informes de investigación a la fecha (Flow, 2020, Hidroestudios, 2021 y Flow, 2022). 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 6-58: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13)



Fuente: Elaboración propia.

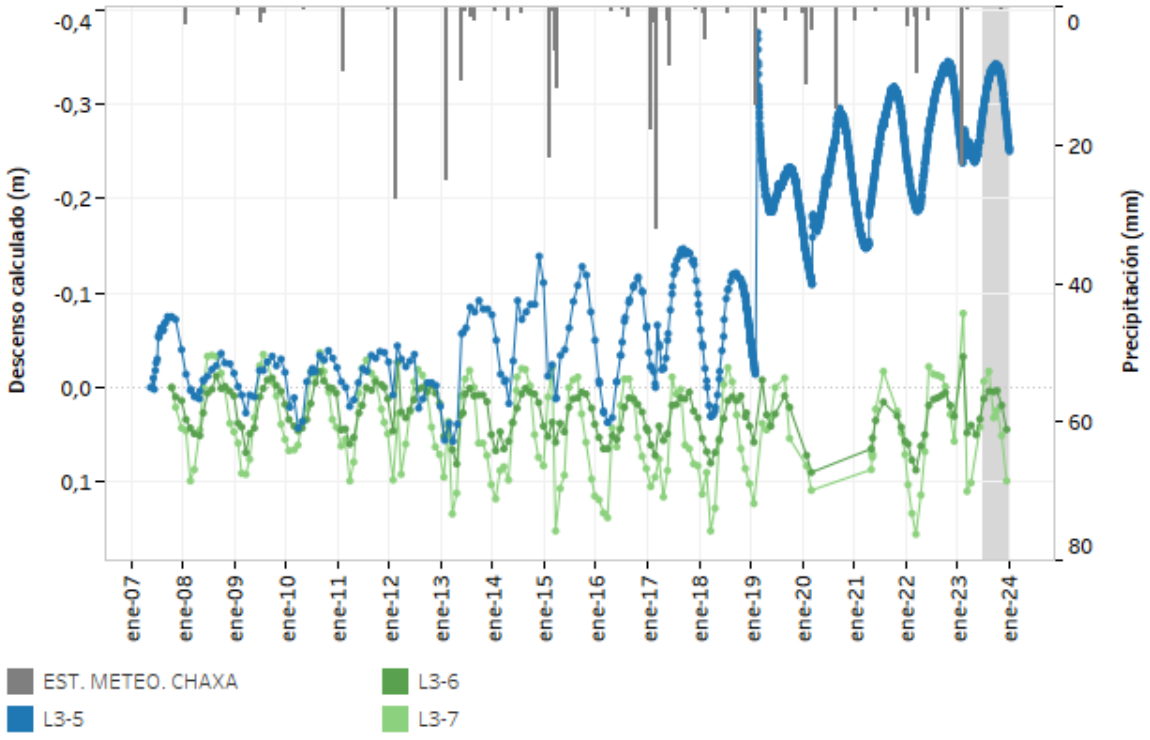
Respecto del siguiente subgrupo, se inicia el análisis con el pozo L3-5 (serie L3 en la Figura 6-59), que se sitúa sobre la transecta inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto registraba una oscilación relativamente estable, en donde para el período entre 2007 y 2012 la amplitud era de unos 8 cm, mientras que, para el periodo 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 2019, el punto cambió el patrón y empezó a registrar un ascenso continuado, a la vez

que oscilatorio. La tasa de ascenso, incluyendo el segundo semestre 2023, es de 2,5 cm/año, lo que lleva a estar registrando máximos estacionales históricos un año tras otro.

Este cambio 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 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).

Figura 6-59: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L3)

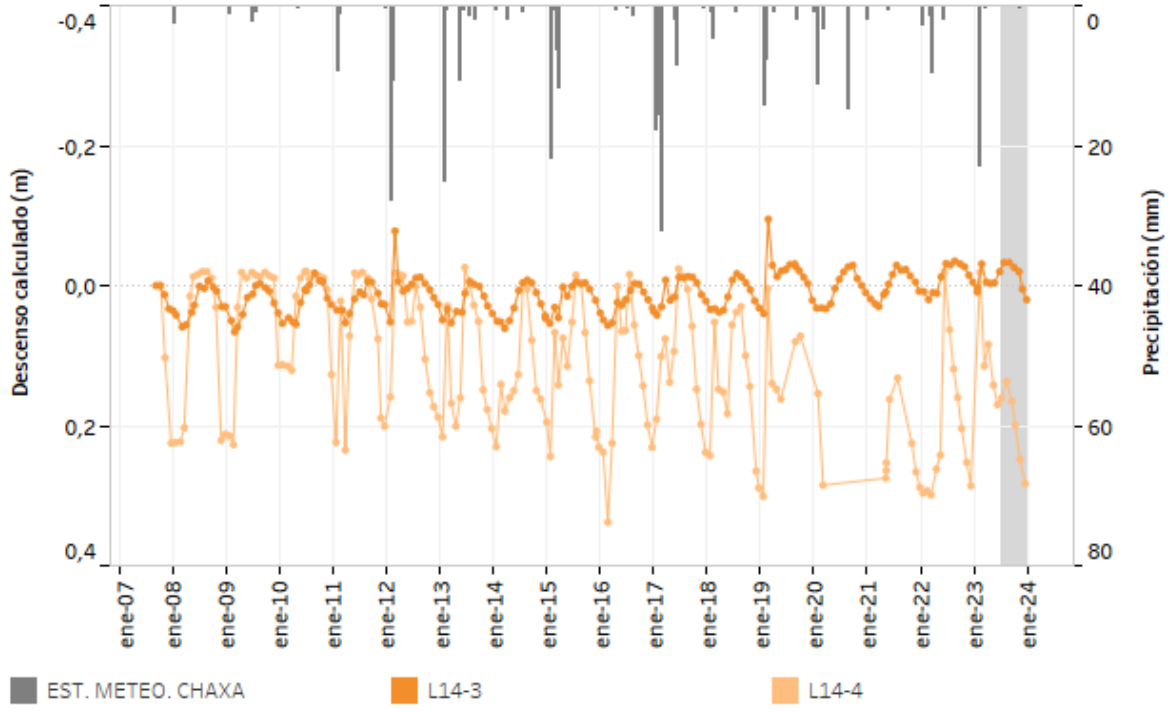


Fuente: Elaboración propia.

Sobre la transecta L14 (Figura 6-60) 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 2023, 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, ya que, 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 6-60: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L14)



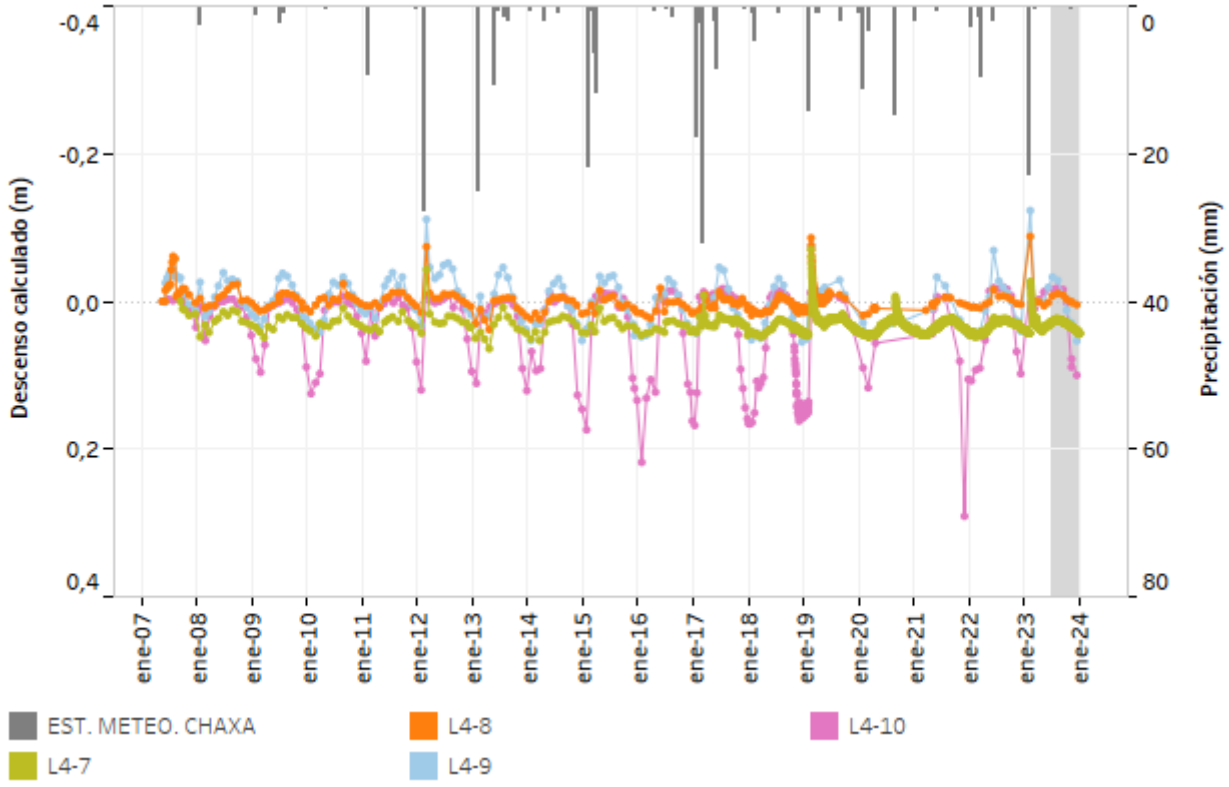
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6-61 se muestran los puntos de la transecta L4, que se encuentran aguas abajo del pozo Socaire-5. Los puntos L4-8 y L4-7 son los que se ubican más cercanos al acuífero aluvial, oscilan de

forma estable y sin tendencia (de ascenso o descenso) y con una amplitud pequeña (3 cm aproximadamente).

Por otro lado, se tienen los puntos L4-9 y L4-10, este último corresponde a otra de las reglillas de este sistema. 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 2023.

Figura 6-61: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L4)



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6-62 se muestran los descensos de los puntos de la transecta L5, que se ubica al sur del pozo Socaire-5. El punto más cercano al acuífero aluvial es el L5-7 y muestra un comportamiento oscilante con tendencia de descenso desde el inicio de los registros (2007) y hasta 2018 (tasa de 1,5 cm/año). A partir de esta fecha, producto de la detención definitiva del Camar-2, tal y como se ha observado en puntos de esta zona, los niveles cambian la tendencia y pasan a reproducir una

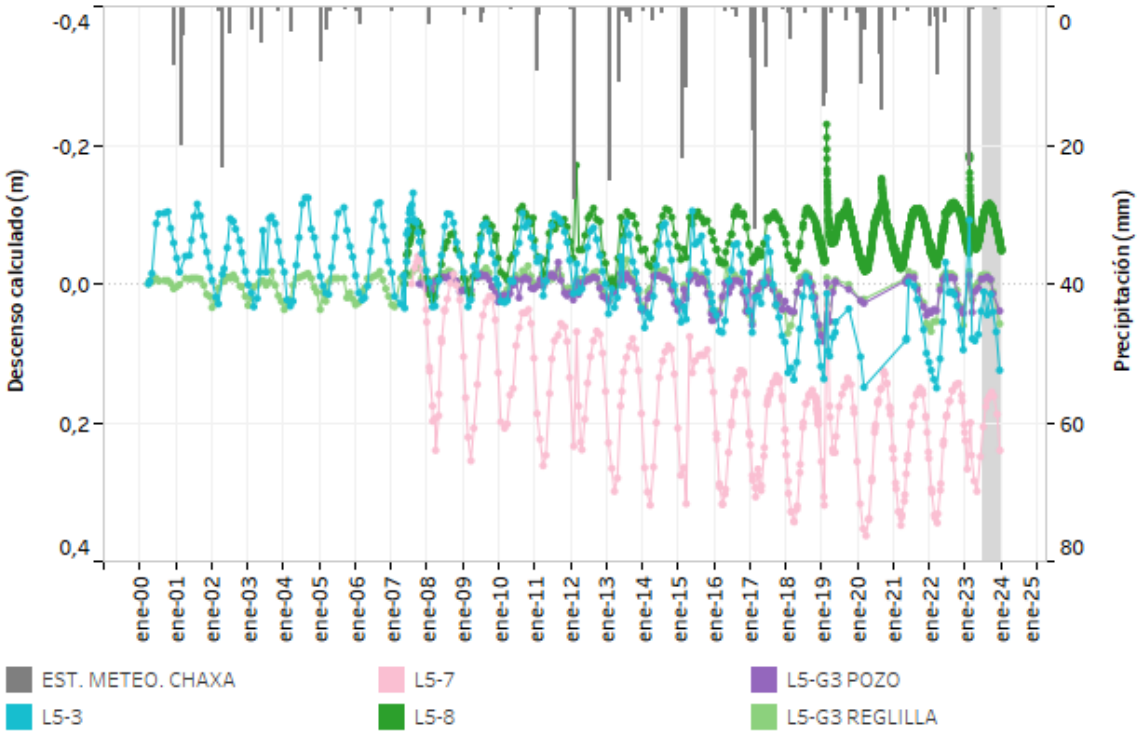
estabilización y posterior recuperación, más evidente en los mínimos estacionales, tendencia que se mantiene también durante el segundo semestre de 2023.

Dirección aguas abajo, el siguiente punto de la transecta es el L5-8 y viene mostrando una menor amplitud y con una leve tendencia ascendente desde el año 2009 (pendiente promedio de 0,2 cm/año). Del registro de datos obtenidos del segundo semestre 2023, se confirma que el punto mantiene su tendencia de recuperación.

A continuación, también en dirección 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 con una amplitud más similar al L5-7. Previamente, el pozo se observaba estable (sin ascenso ni descenso). No obstante, de los registros obtenidos a partir de 2021 (siendo que existe un vacío de mediciones entre febrero 2020 y mayo 2021) se intuye que se podría estar reproduciendo una tendencia de ascenso. De todas formas, no es del todo evidente, ya que, para el primer semestre de 2023, la influencia de las lluvias registradas en estos mismos meses podría estar interfiriendo en el análisis.

Finalmente, la reglilla L5-G3 (Reglilla y Pozo) muestran los máximos estacionales alrededor de cotas similares durante todo el período registrado. No obstante, los mínimos han ido variando; durante el período 2001 y hasta 2007 se mantuvieron estables (cotas similares cada año). Para el período 2008 y hasta 2019, los mínimos fueron alcanzando cada vez cotas menores, generando que la amplitud de la oscilación fuera mayor. Desde entonces, considerando que no se tienen datos entre febrero 2020 y hasta mayo 2021, se observa que estos mínimos estacionales mostrarían una recuperación (ascenso) del nivel debido a que las cotas han incrementado cada año, lo cual se confirma con los registros obtenidos durante el segundo semestre de 2023, con una leve tasa de ascenso promedio de 0,3 cm/año (calculada de enero 2019 a diciembre 2023). Es importante destacar que a inicios de 2023 se registraron eventos de precipitación que provocaron un *peak* de aumento en los niveles.

Figura 6-62: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L5)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.1.3.4 Pozos de comportamiento transicional marginal - núcleo

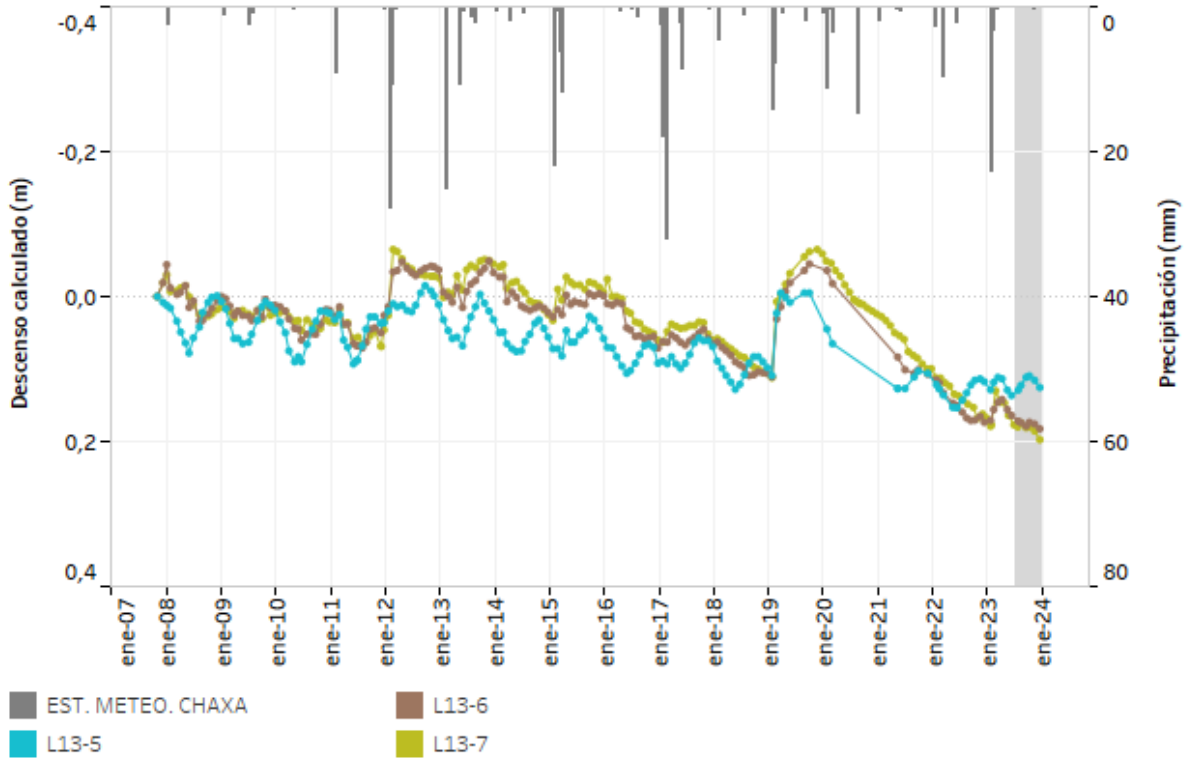
El siguiente grupo, desde los cuerpos de agua en superficie y en dirección al oeste, presenta un comportamiento transicional entre lo observado en la zona marginal y el núcleo (que se describe con más detalle en el siguiente apartado). Se trata de un gran número de puntos, por lo que se muestra el descenso calculado distribuido en varios gráficos, de manera que permita identificar mejor las respuestas de norte a sur:

- Serie L13 (L13-5, L13-6, L13-7) en la Figura 6-63.
- Serie L3 (L3-8, L3-9, L3-10, L3-11, L3-12, L3-13, L3-14) en la Figura 6-64.
- Serie L14 (L14-5, L14-6, L14-7) en la Figura 6-65.
- Serie L4 (L4-5, L4-11, L4-12, L4-13, L4-14, L4-15) en la Figura 6-66.
- Serie L5 (L5-9, L5-10, L5-11, L5-12, L5-13, L5-14, L5-15) en la Figura 6-67.

En general, estos puntos muestran oscilaciones estacionales residuales; menor amplitud, menor regularidad que las observadas en la zona marginal, e incluso en ocasiones se muestra desfasado unos meses. Además, todos los puntos muestran tendencias de descenso, cuya pendiente aumenta en la medida que el punto se encuentra más cercano al núcleo. Por otro lado, se observa que los puntos ubicados a una distancia de hasta 2 km de los cuerpos de agua muestran un comportamiento más oscilatorio; mientras estos puntos reproducen máximos, los puntos más alejados de este *buffer* mantienen la pendiente de descenso promedio, lo que lleva a pensar que en esta zona de hasta 2 km de distancia, todavía se siente el efecto estacional de los cuerpos de agua del sistema (ver por ejemplo las series L13 y L3).

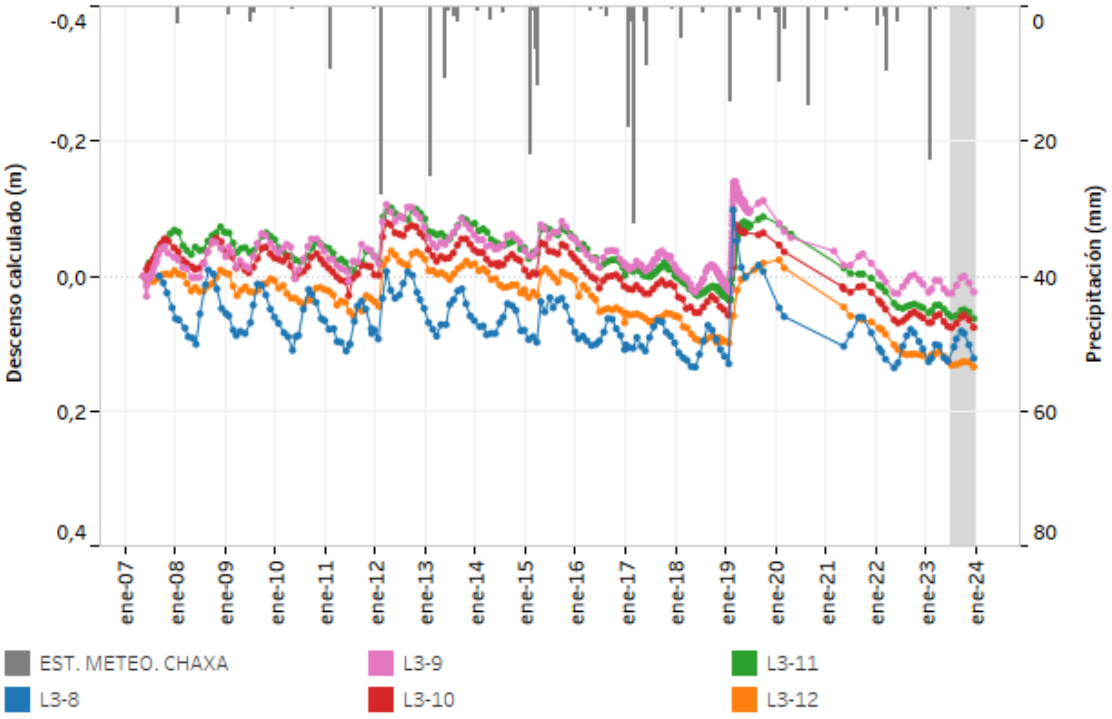
Para el segundo semestre de 2023, se observó que en general todos los puntos respondieron a las lluvias registradas durante los mismos meses, registrando una respuesta más pronunciada el punto L14-7. En general, la magnitud de la respuesta es complicada de determinar a partir de las mediciones mensuales, ya que los efectos pueden darse en intervalos de tiempos inferiores. Según los registros obtenidos, los puntos que han mostrado una mayor respuesta han sido, por ejemplo, el L14-5 (16 cm entre la medición de enero y febrero de 2023 (Figura 6-63) y el L5-9 (40,5 cm entre la medición de enero y febrero de 2023 (Figura 6-67), en donde ambos se sitúan aguas debajo de las reglillas respectivas (L14-4 y L5-G3 Reglilla y Pozo). Se destacan también los puntos sobre la transecta L4, en donde el aumento entre un registro y el siguiente (entre enero a febrero 2023), nombrados de este a oeste han sido L4-11 (30 cm), L4-12 (34 cm), L4-13 (38 cm), L4-14 (34 cm), L4-15 (11 cm) y finalmente, el punto con mayor respuesta registrada, el L14-5 (43 cm). 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 6-63: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L13)



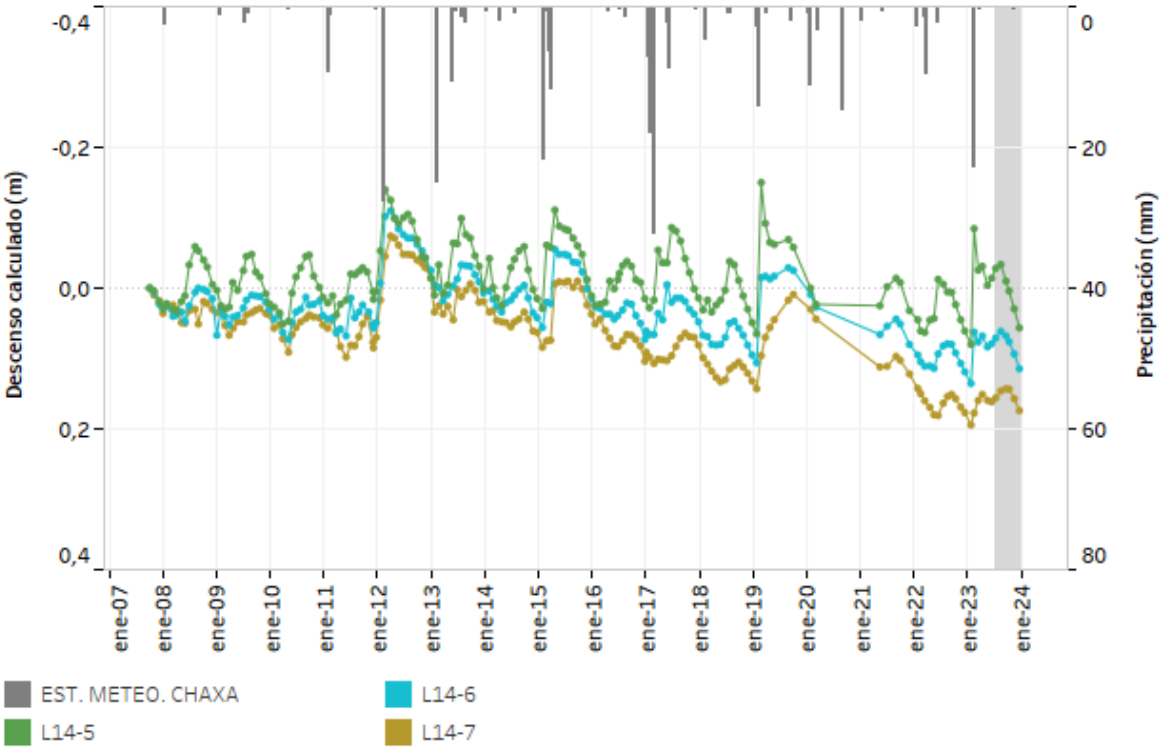
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-64: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L3)



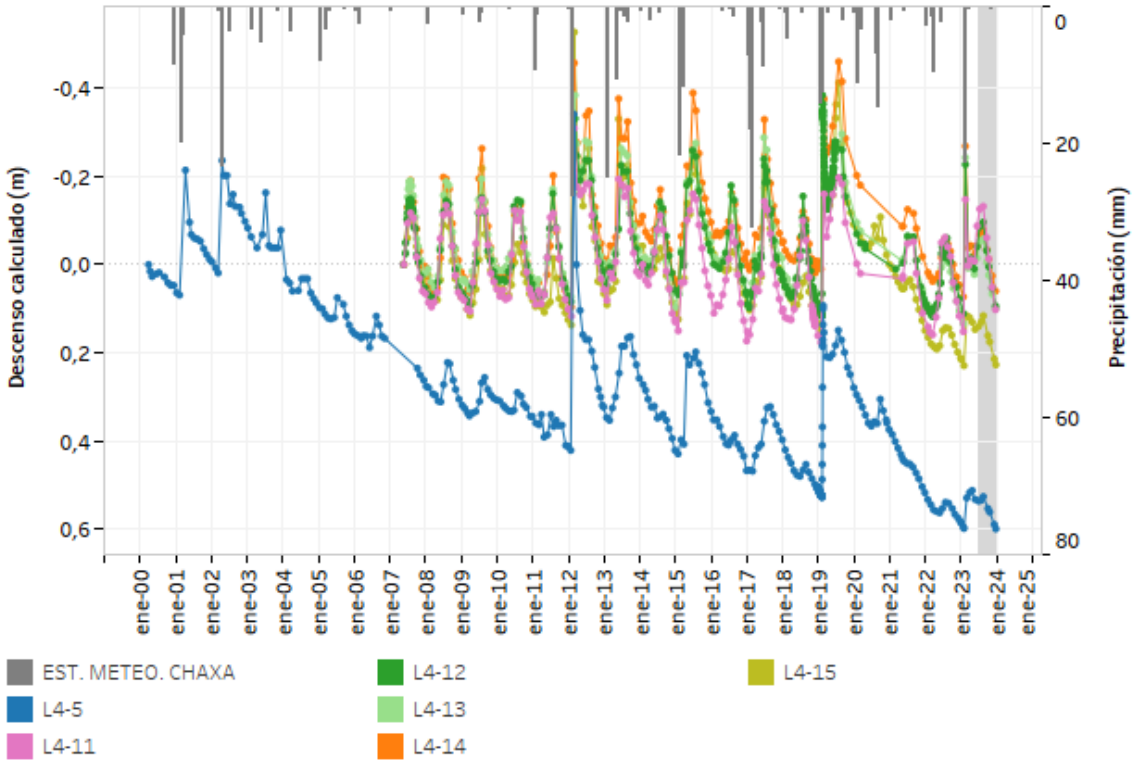
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-65: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L14)



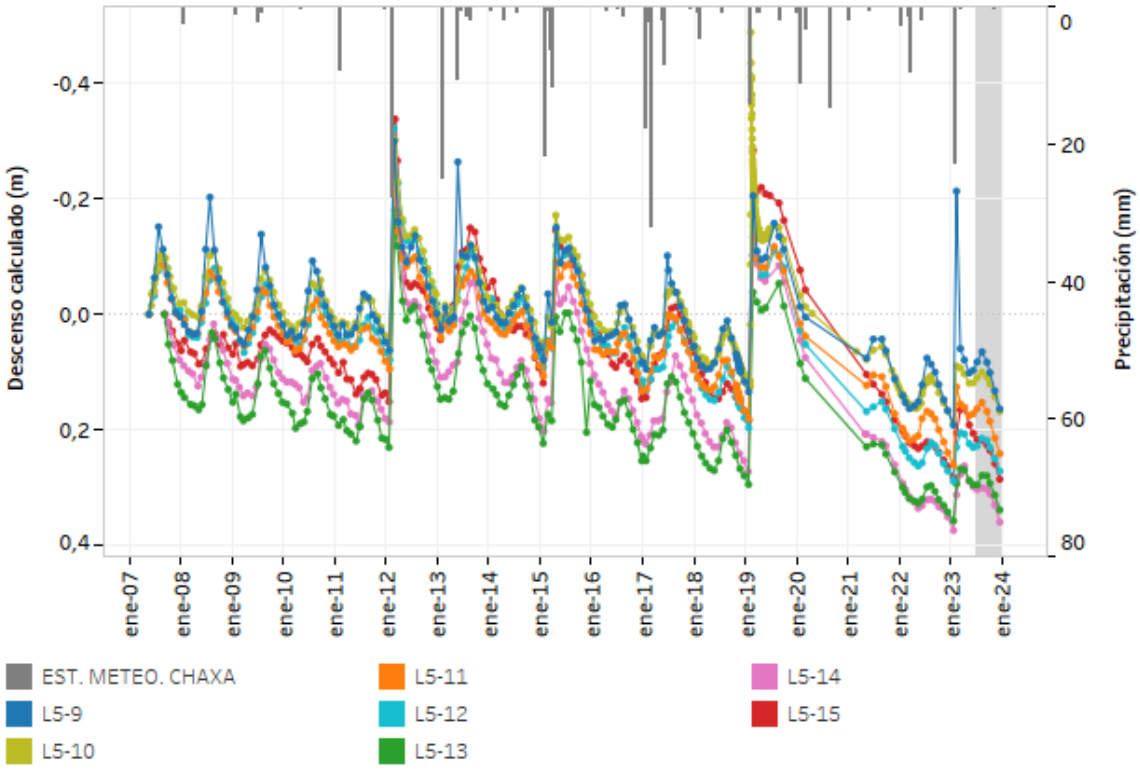
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-66: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L4)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-67: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L5)



Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se ha descrito, en la zona marginal es donde se encuentran los objetos de protección definidos para el sistema Aguas de Quelana. En este sentido, una vez analizados los niveles históricos junto con la nueva información del segundo semestre 2023, puede concluirse que el sistema se mantiene con las variaciones esperadas según el tipo de comportamiento, por lo que los objetos de protección también se mantienen fluctuando dentro de comportamiento estacional esperado. El paro del pozo Camar-2 ha supuesto la recuperación (ascenso) de bastantes puntos, y no solo en el arco cercano al mismo pozo, sino que también más al sur del pozo Socaire-5. No obstante, el efecto ha sido más marcado en el acuífero aluvial y en la zona de transición hacia la zona marginal. Por otro lado, no se observa que esta respuesta haya llegado al objeto de protección, aunque en este sector tampoco se han observado tendencias de descenso que pudieran llevar a interpretarse como 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.

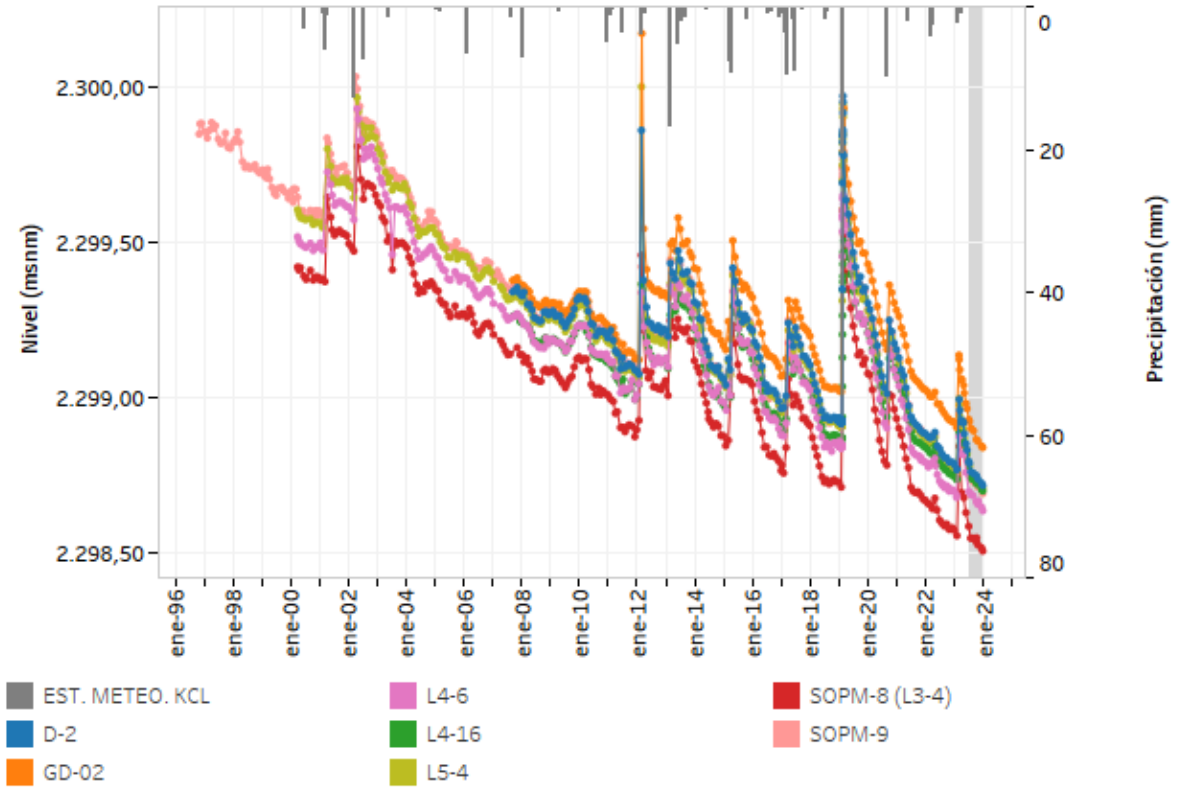
6.1.2.1.4 Pozos en el sector del núcleo

Para cerrar el análisis de los puntos del sistema Aguas de Quelana, el último grupo de puntos son los que se encuentran sobre el núcleo del Salar y que, por tanto, muestran un comportamiento asociado a éste. Se trata de los pozos L3-4 (SOPM-8), L4-16, L4-6, GD-02, L5-4, D-2 y SOPM-9, de los que se muestran sus niveles en la Figura 6-68.

De la misma forma que en el sistema Soncor, estos puntos no presentan estacionalidad, responden a los episodios de lluvia y muestran una tendencia general al descenso característica de esta zona (entre 2,2 y 3,5 cm/año). Como ya se ha visto en el sistema Soncor, los puntos del núcleo muestran poca diferencia entre las cotas piezométricas, por lo que, resulta una zona de gradiente hidráulico bajo.

De las medidas tomadas en el primer y segundo semestre de 2023, se observó que todos los puntos muestran la tendencia descendiente basal característica del núcleo. Las pendientes obtenidas para el segundo semestre de 2023 varían entre 2,3 y 18 cm/año. Se observa que, adicionalmente, todos han reproducido un ascenso con las precipitaciones registradas también estos meses, lo cual es esperable en el comportamiento característico de este grupo.

Figura 6-68: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al núcleo en el sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

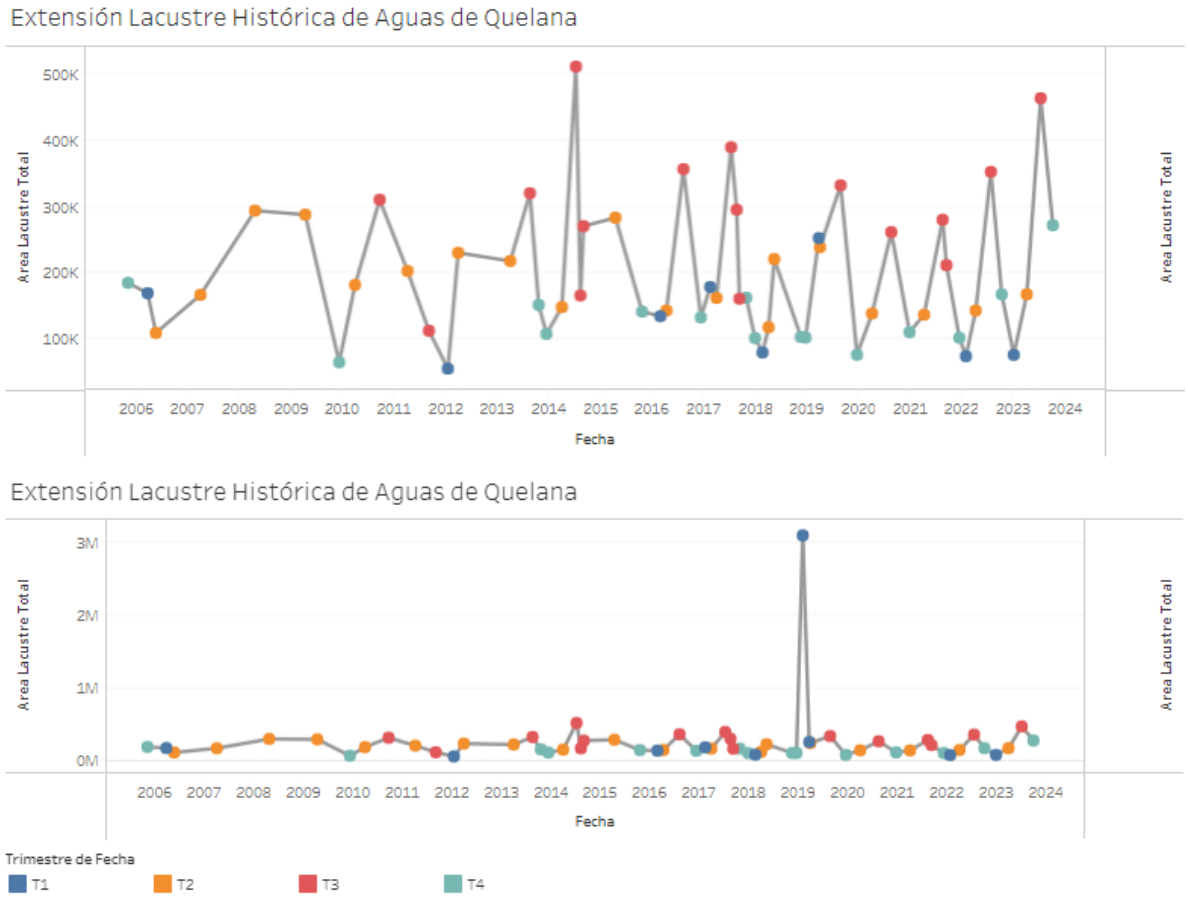
6.1.2.2 Superficie de los sistemas lacustres

El sistema lacustre de Aguas de Quelana comprende cuerpos de agua heterogéneos, dinámicos y poco profundos. Se encuentra emplazado sobre la zona de transición, lugar donde existe un nexo o encuentro entre aguas dulces y salmuera, generando humedales y una serie de lagunas distribuidas principalmente en dirección norte-sur o paralelas a la interfaz y con elongaciones en general perpendiculares a esta estructura. 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.

Con el objetivo de seguir la línea descriptiva del pasado informe PSAH N°33, en el que se ha presentado una serie de tiempo con cálculo de extensión lacustre con metodología que incluye mejoras enfocadas en cuerpos someros y características espectrales propias del Salar de Atacama, en el presente informe,

se incluyen los valores de área en Aguas de Quelana para julio y octubre del año 2023. La Figura 6-69 muestra los resultados de esta serie de tiempo actualizada al presente informe PSAH.

Figura 6-69: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial.



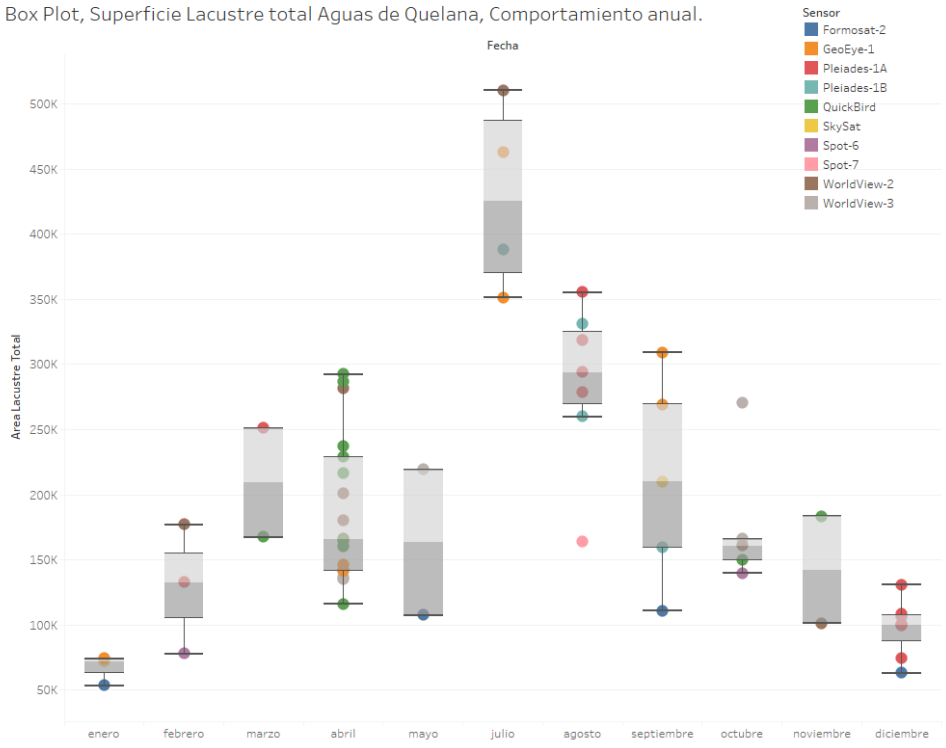
Fuente: elaboración propia

El gráfico superior de la Figura 6-69 muestra la totalidad de los datos con excepción del 05-02-2019, dato que se encuentra fuertemente afectado por la precipitación a fines de enero del mismo año (gráfico superior). Se diferencian las áreas considerando el trimestre de captura satelital, donde se observa que los máximos de extensión lacustre en general pertenecen al tercer trimestre (julio, agosto y septiembre), mientras que los mínimos ocurren a fines del cuarto trimestre (T4) y principios del primer trimestre (T1) (noviembre, diciembre y enero). Por otro lado, la serie de tiempo inferior de la Figura 6-69 muestra la totalidad de datos (incluyendo el dato asociado directamente a la precipitación de fines de enero del 2019), en donde es posible observar que, una mejor disponibilidad (oferta) de

datos satelitales (e.j posterior al 2016) permite identificar el patrón estacional característico en el sistema lacustre de Aguas de Quelana, contracíclico con la evaporación (tal como fue mencionado en PSAH 33).

Por otro lado, la Figura 6-70 resume el comportamiento de un año tipo en el sistema lacustre de Aguas de Quelana recuperado con los datos calculados con imágenes de alta resolución. En efecto, se marca un fuerte comportamiento cíclico, en donde los mínimos se encuentran a fines del T4 y principios del T1, mientras que los máximos se concentran en torno a julio (no se incorpora máximo del 05-02-2019 en el gráfico). Por otro lado, se debe considerar que los datos que tienden a no seguir la tendencia estacional corresponden a imágenes satelitales de alta a moderada resolución espacial (Spot y Formosat, 6 y 8 metros por píxel, respectivamente), productos que pueden ser empleados como estimadores de superficie lacustre o para fines de investigación, no así para realizar un seguimiento coherente y a máximo detalle con frecuencia trimestral. Para esto último SQM propone el uso exclusivo de imágenes satelitales de alta resolución espacial para el seguimiento de extensión lagunar.

Figura 6-70: Comportamiento anual típico de extensión lagunar entre el 2006 y 2023 empleando imágenes satelitales de alta resolución espacial.



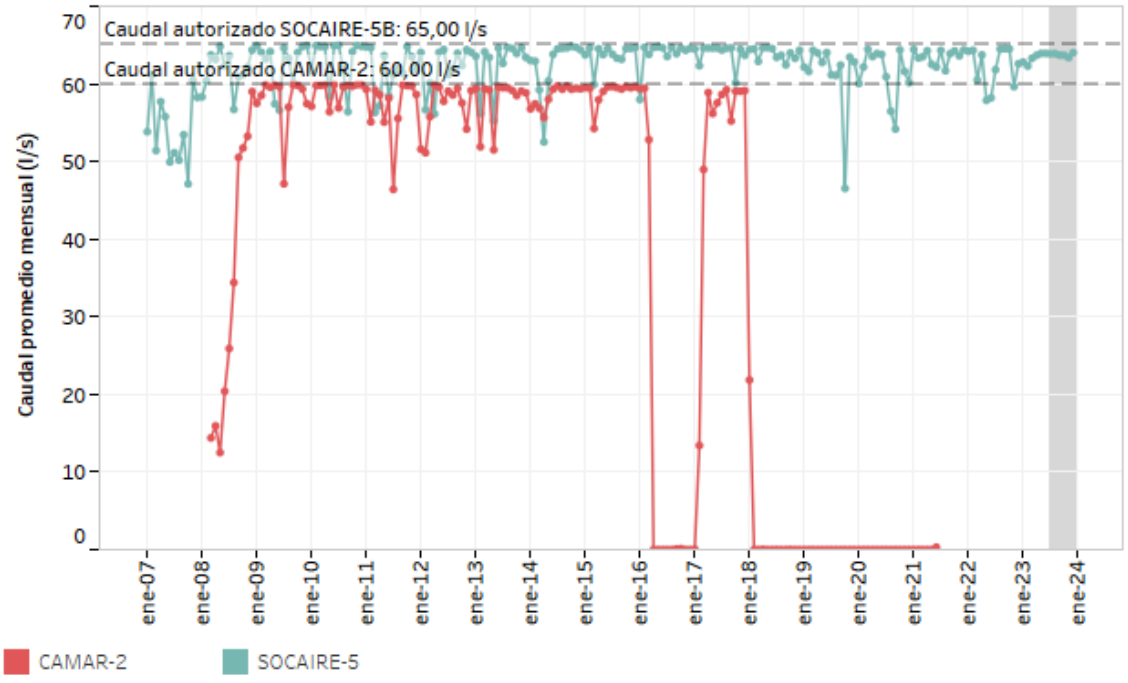
Fuente: Elaboración propia

6.1.2.3 Caudal bombeado

La Figura 6-71 muestra los caudales de agua industrial que fueron extraídos desde los pozos Camar-2 y Socaire-5 históricamente. El pozo Camar-2 comenzó a operar el 13 de marzo de 2008, estuvo detenido entre abril de 2016 y enero de 2017 y posteriormente, reactivó su extracción con un caudal cerca de los 60 L/s autorizados. Este pozo detuvo sus operaciones en enero de 2018 y fue durante el primer semestre de 2021, que se procedió a las labores de desmontaje de la bomba, tal como se ha descrito en el informe PSAH N°30.

Durante su período de extracción, el pozo Camar-2 no sobrepasó los derechos de aprovechamiento autorizados; del mismo modo el pozo Socaire-5 al actual semestre reportado (segundo semestre 2023), tampoco ha sobrepasado sus derechos de aprovechamiento otorgados y autorizados. En el segundo semestre de 2023 los caudales medios mensuales del pozo Socaire-5 fluctuaron entre 63,38 L/s y 64,02 L/s, manteniéndose por debajo de los 65 L/s autorizados para el sistema Aguas de Quelana.

Figura 6-71: Caudal bombeado del sistema Aguas de Quelana (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia

6.1.2.4 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado durante el segundo semestre de 2023 en el agua superficial y subterránea del Sistema Aguas de Quelana, desde el aluvial, zona marginal hasta el núcleo al oeste, en comparación con su evolución histórica.

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

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

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LM, y con la etiqueta “<” o “>” que indica si este es menor o mayor que el valor respectivamente.
2. En cada gráfico se muestran dos series, cada una de ellas con un color que se relaciona con el eje vertical que le corresponde (de igual color).
3. Los valores validados se muestran con resalte (ver apartado 4.5.8).

6.1.2.4.1 Calidad del agua en pozos y reglillas de monitoreo

Los registros históricos de calidad del agua en los pozos y reglillas de monitoreo del Sistema Aguas de Quelana es monitoreado en los puntos: L4-3, L4-6, L4-8, L4-9, L4-12, L5-3 y Reglilla L4-10, que espacialmente corresponde a puntos en el aluvial (L4-3), pasando por la zona marginal (L5-3, L4-8, L4-9, Reglilla L4-10, L4-12) hasta el núcleo (L4-6).

Los parámetros corresponden a: conductividad eléctrica, conductividad eléctrica terreno, densidad, densidad terreno, pH, pH terreno, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales para todos los pozos, y en particular para la reglilla L4-10 se agregan los parámetros: alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, magnesio, n-nitrato,

oxígeno disuelto, oxígeno disuelto terreno, potasio, salinidad, sodio, sulfato (desde la Figura 6-72 a la Figura 6-78, respectivamente)[32, 33].

Los menores valores de conductividad eléctrica se encuentran en el punto más al sur, L5-3, con valores en el rango entre 2.480-8.840 µS/cm. Además, presenta un pH terreno promedio oscilante entre 7,3 y 8,2 valores de densidad de terreno alrededor de 1 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 85.806 µS/cm en el pozo L4-8 y 116.762 µS/cm en el pozo L4-9. Adicionalmente, la conductividad eléctrica aumenta a medida que se avanza al oeste, con valor de 153.316 µS/cm promedio en el punto L4-12, hasta valores cercanos a 236.000 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 estos puntos presenta valores entre 6,89 y 8,31.

Por otra parte, el pozo L4-3, ubicado en la zona aluvial, presenta valores de conductividad eléctrica del sector inferiores a 22.700 µS/cm y pH de terreno entre 5,03-7,27, lo que sugiere que este pozo capta aguas de un acuífero confinado. Adicionalmente, presenta un contenido de sólidos totales y sólidos

[32] 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 Environmental hasta julio de 2008, adjuntándose carta explicativa emitida por ALS Environmental, así como un breve análisis.

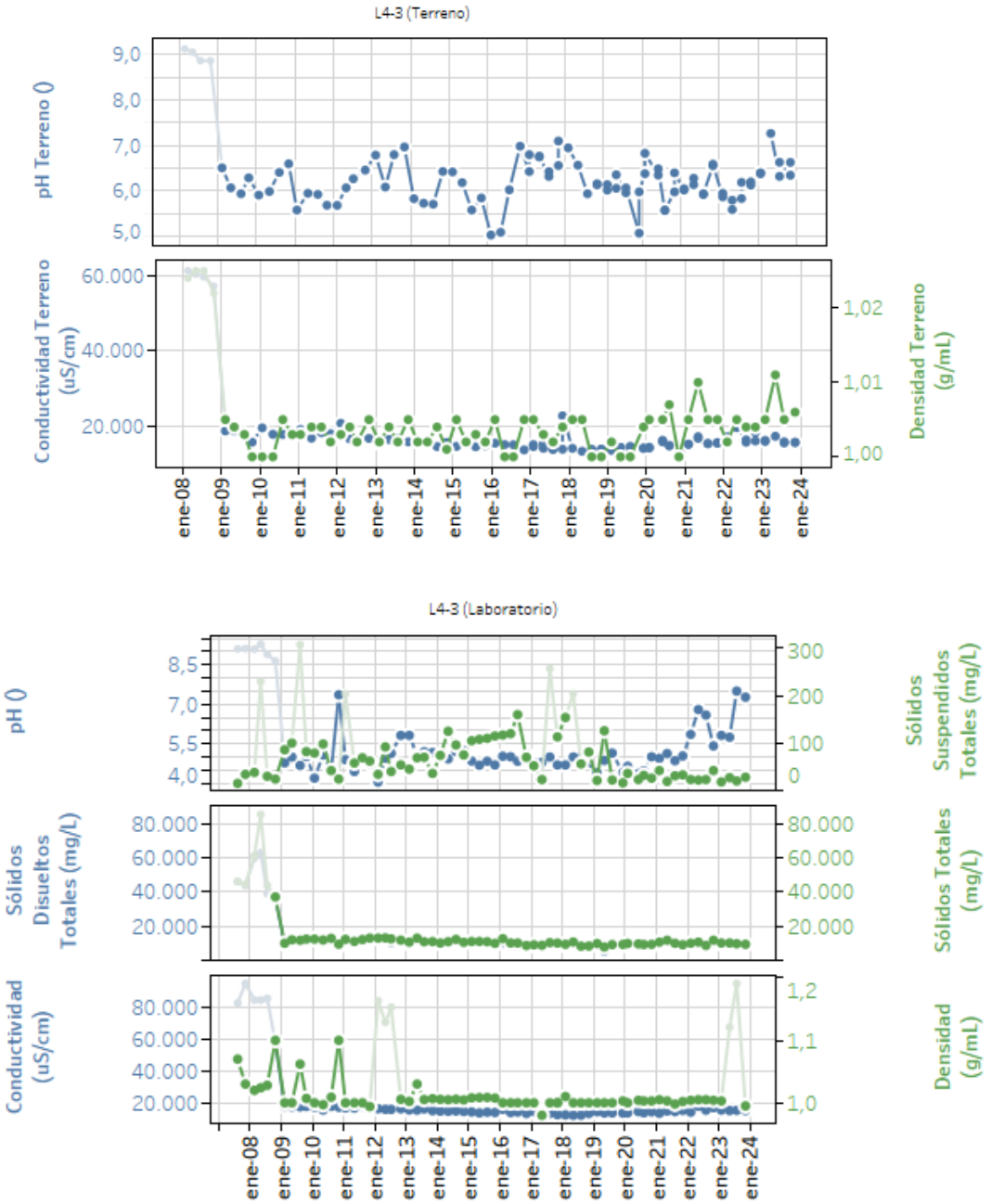
[33] En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Environmental hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado 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).

disueltos totales en general inferior a 37.000 mg/L y una densidad de terreno y laboratorio en torno 0,98-1,10 g/mL.

El pozo L4-6, ubicado en el núcleo, muestra en las concentraciones de sus parámetros alta conductividad eléctrica (promedio > 220.000 µS/cm), y contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales (>99.000 mg/L, valor mínimo del pozo L4-12) y densidad promedio del orden de 1,2 g/mL, correspondiente a un agua tipo salmuera (Tabla 4-16).

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 220.000 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, arsénico, calcio, cloruro, magnesio, N-nitrato, oxígeno disuelto, oxígeno disuelto terreno, potasio, salinidad, sodio, sulfato), se muestran estables respecto al promedio histórico observado.

Figura 6-72: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-3



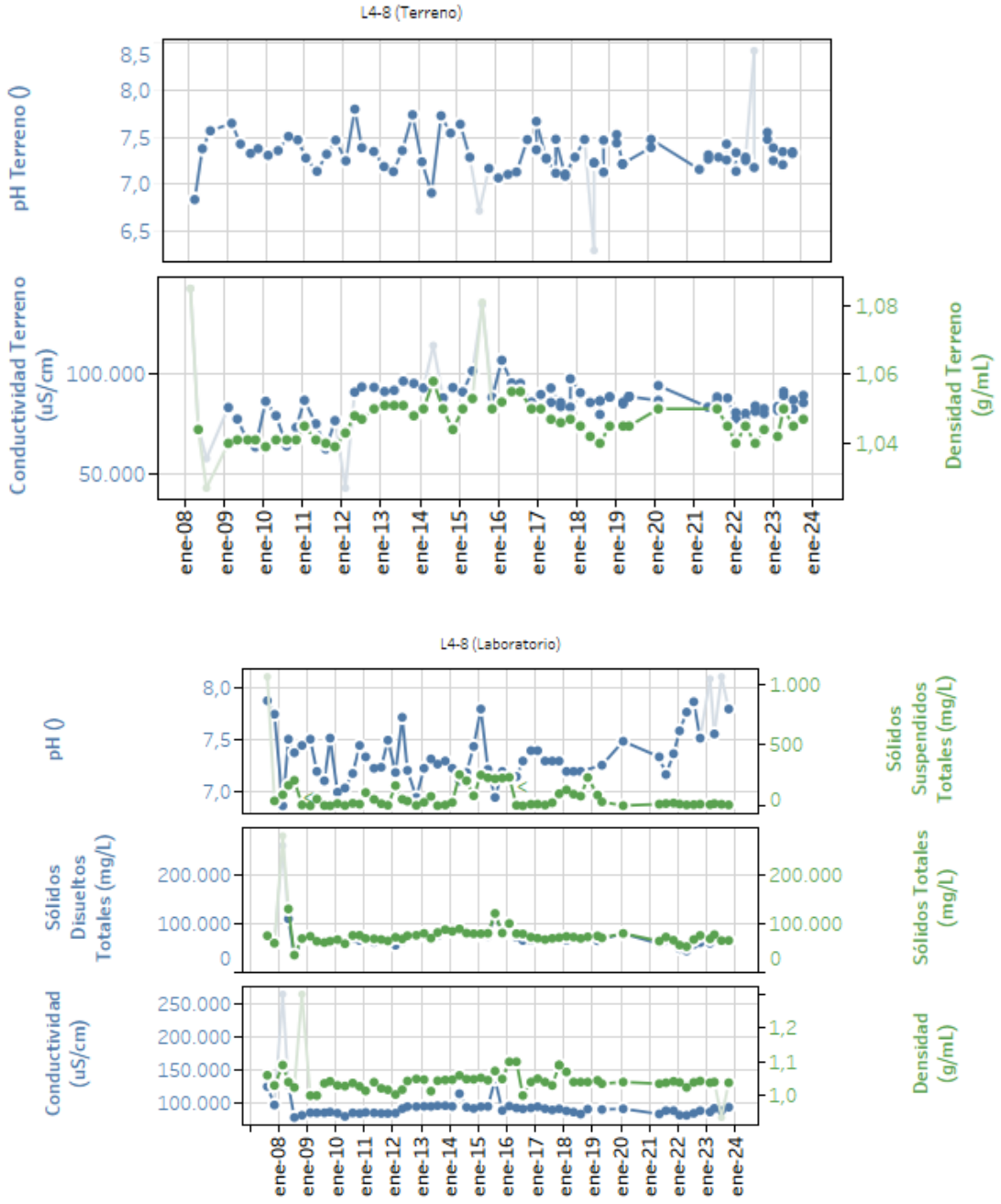
Fuente: Elaboración propia En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-73: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-6



Fuente: Elaboración propia Los valores <LD o >LQ se presentan = LD o LQ y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-74: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-8



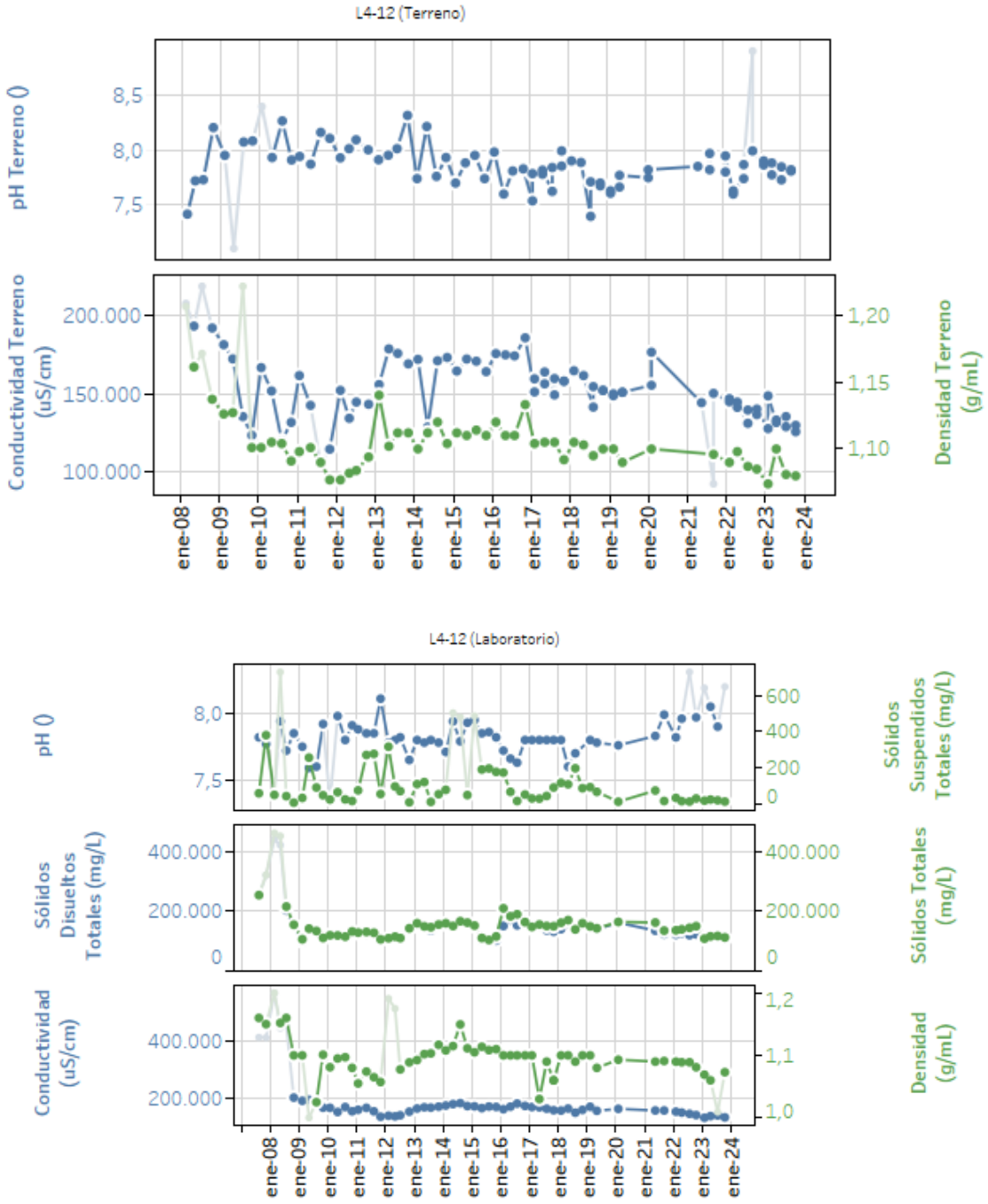
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-75: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-9



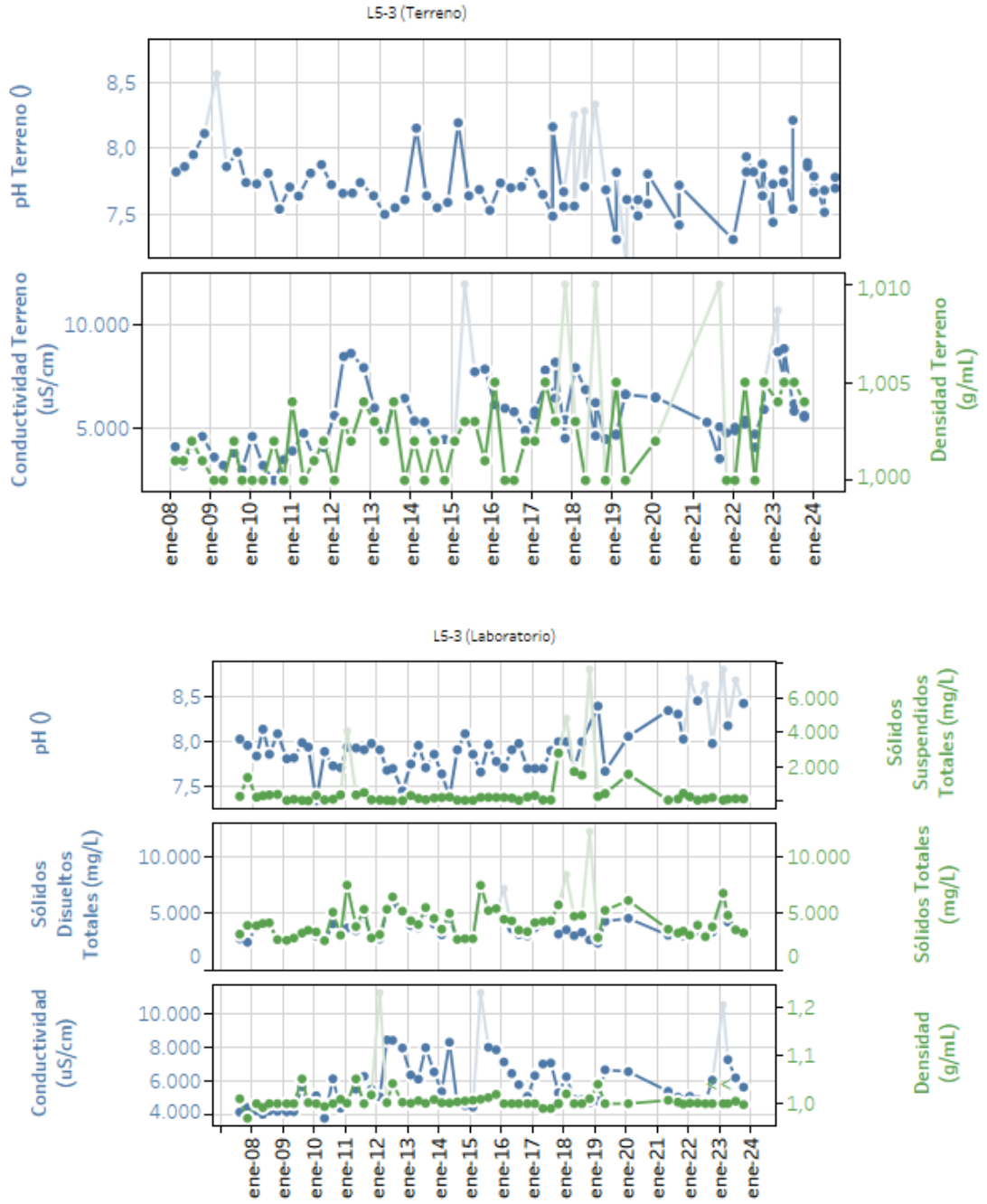
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-76: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-12



Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-77: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L5-3



Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-78: Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10

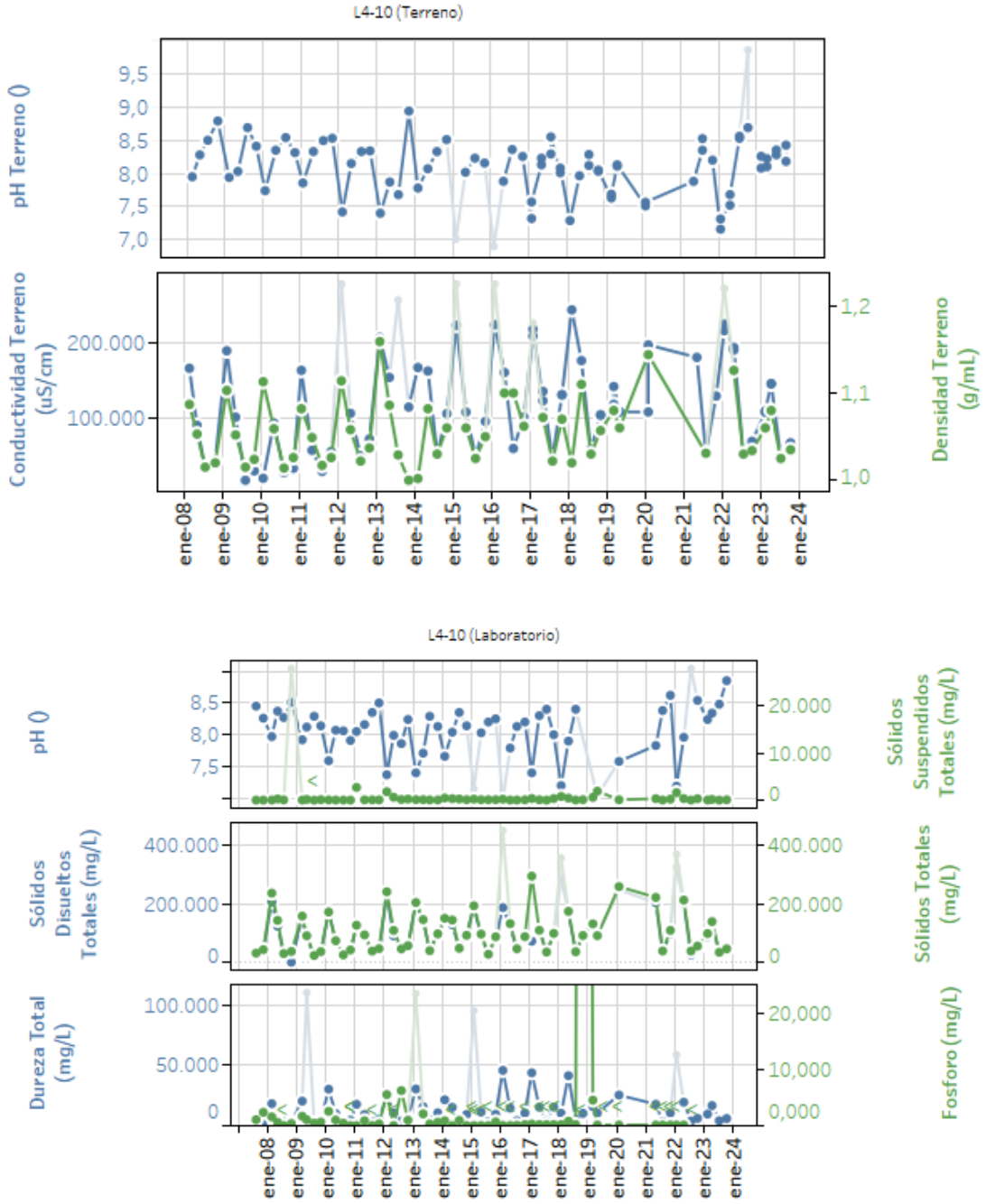
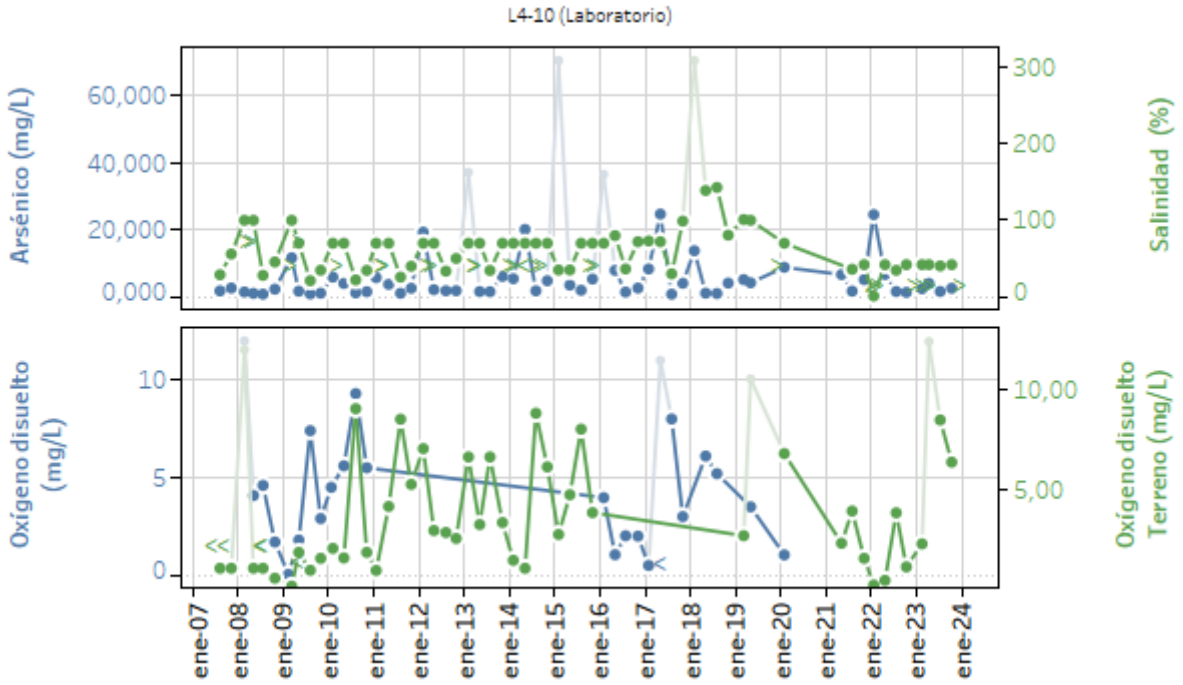


Figura 6-78 (Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10



Figura 6-78 (Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10



Fuente: Elaboración propia. Por motivos de escala, concentración de fosfato de octubre de 2018 no se muestra (Valor anómalo reportado por CESMEC, 1.800mg/L). Los valores < LD y > LM, se presentan como = LD o LM, en símbolos < y > con el color que corresponde al parámetro. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

En la mayoría de los pozos y reglillas las mediciones realizadas el segundo semestre de 2023 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

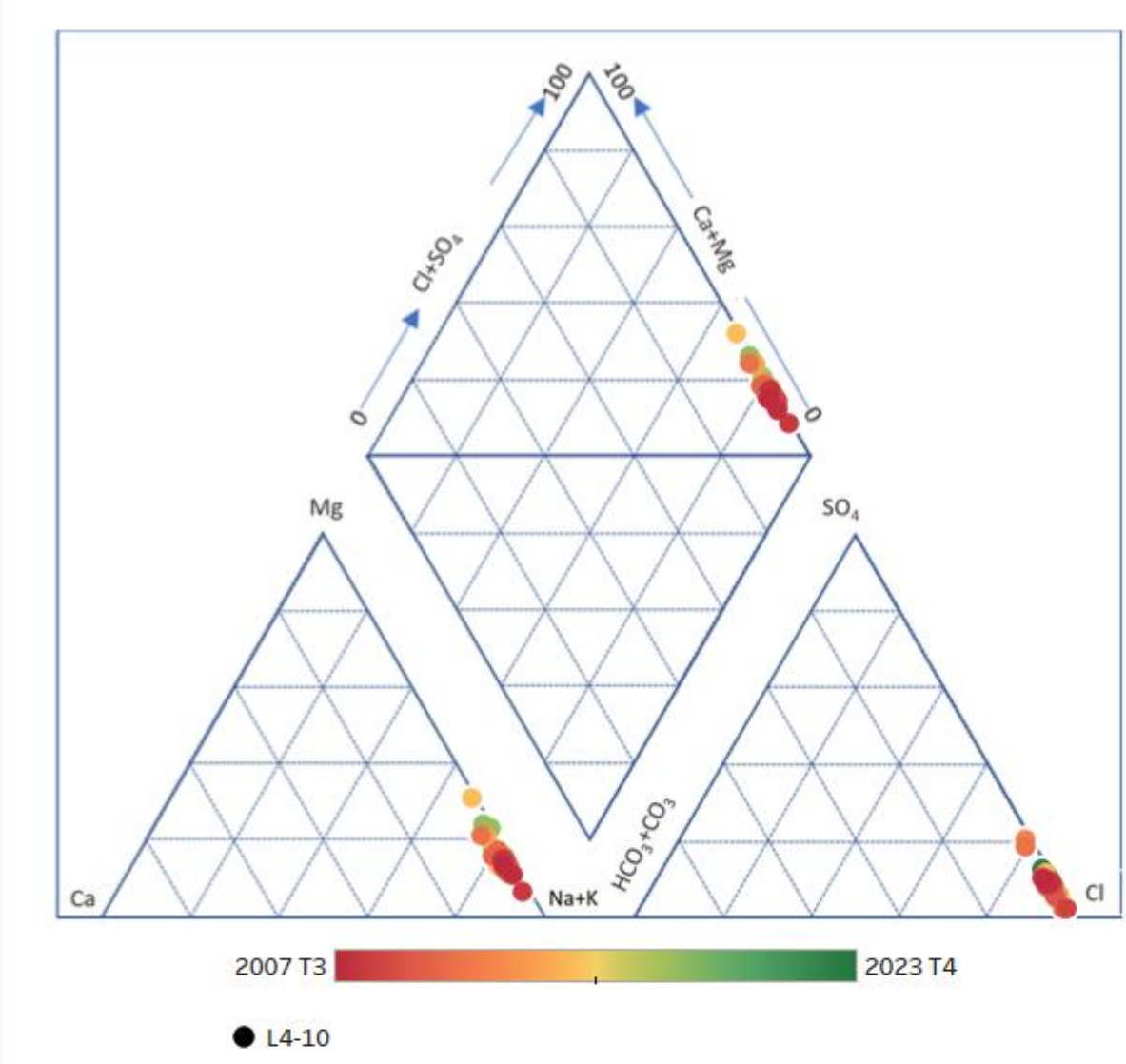
- Valor alto de densidad de laboratorio de 1,19 g/mL en el pozo L4-3 en el tercer trimestre del 2023, que no se correlaciona con las mediciones de terreno, por lo tanto, puede asociarse a un *outlier*.
- Los pozos L4-8, L4-12 y L5-3, presentaron un aumento del pH de laboratorio por encima de la tendencia histórica, en el último semestre, indicando un posible error sistemático en las mediciones. Adicionalmente, se observó un descenso en la densidad de laboratorio en los pozos L4-8 y L4-12 en el tercer trimestre. En ambos casos no hay correspondencia con las mediciones de terreno, por lo tanto, probablemente este asociado a errores en las mediciones (*outliers*).

Respecto a tendencias identificadas:

- 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 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 N° 26 del año 2019.

En la Figura 6-79 se observa el diagrama de Piper para las muestras de la reglilla L4-10 con valores de BI inferiores al 10%. Puede observarse que todas las muestras son cloruradas sódicas no mostrando ninguna tendencia temporal marcada.

Figura 6-79: Diagrama Piper para las muestras con balance de cargas <10% en L4-10



Fuente: Elaboración propia

6.1.2.4.2 Calidad del agua en pozos de agua industrial

La evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción de agua industrial Camar-2 y Socaire-5B se presenta en la

Figura 6-80 y Figura 6-81, respectivamente. Los parámetros monitoreados en estos pozos corresponden a: pH terreno, conductividad eléctrica terreno, densidad de terreno, pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, densidad, alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, calcio, potasio, nitrógeno-nitrato (N-nitrato), cloruro, sodio, sulfato, magnesio, hierro, manganeso, arsénico y zinc. Los resultados del segundo semestre de 2023 para los distintos analitos se encuentran en general dentro del rango histórico.

En cuanto al comportamiento general, tanto Camar-2 como Socaire-5B se encuentran en el acuífero aluvial, el cual alimenta a la zona marginal. Los dos pozos presentan un pH neutro (en torno un valor de 7). Desde la detención del pozo Camar-2 en 2018, se observa un salto en el pH de terreno de 7,0 a 7,5 lo que se asocia al cambio de las condiciones geoquímicas dadas por su detención. Este cambio generó también un salto en los valores promedio de otros parámetros como la conductividad eléctrica, hierro, manganeso, cloruro, sodio, sólidos suspendidos totales y magnesio. El pozo Socaide-5B muestra un aumento paulatino del pH dentro del rango histórico sostenido.

De acuerdo con el contenido promedio de SDT (Fetter modificado, Tabla 4-16) los fluidos de Camar-2 y Socaire-5B clasifican como agua fresca. Al considerar los valores promedio de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y densidad, ambos fluidos clasifican como agua dulce (Tabla 4-17). 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 2023. En julio de 2023, Camar-2 y Socaire-5B presentaron un aumento en la densidad de terreno fuera de la tendencia previa e inconsistente con la medición en laboratorio, por lo que estos registros no representan en si datos validados.

El resto de los parámetros analizados (alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato, potasio, sodio, sulfato y zinc) presentan concentraciones en los análisis del segundo semestre de 2023 dentro del rango histórico registrado.

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 y 7,5.
- El hierro y el manganeso hasta inicios de 2018 para ambos pozos no muestra cambios respecto al histórico observado. Sin embargo, posterior a esta fecha y, coincidente con su detención (cese de bombeo provoca un aumento de nivel de agua y con ello cambio de las condiciones geoquímicas reductoras), el pozo Camar-2 produce un importante aumento de ambas concentraciones. De manera similar se produce un aumento en la conductividad eléctrica, cloruro, sodio y solidos suspendidos totales. En el pozo Socaire-5B se observa un efecto a la baja en la misma fecha y con tendencia a recuperar su nivel previo.

Figura 6-80: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Camar-2

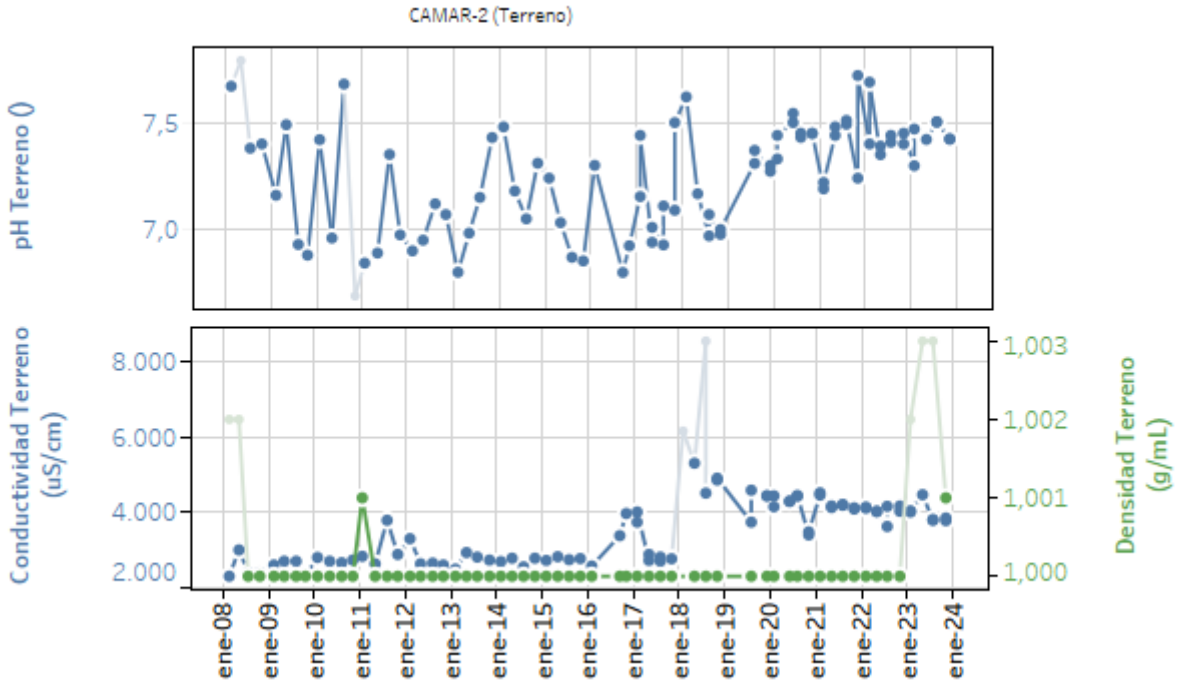


Figura 6-80 **(Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Camar-2**

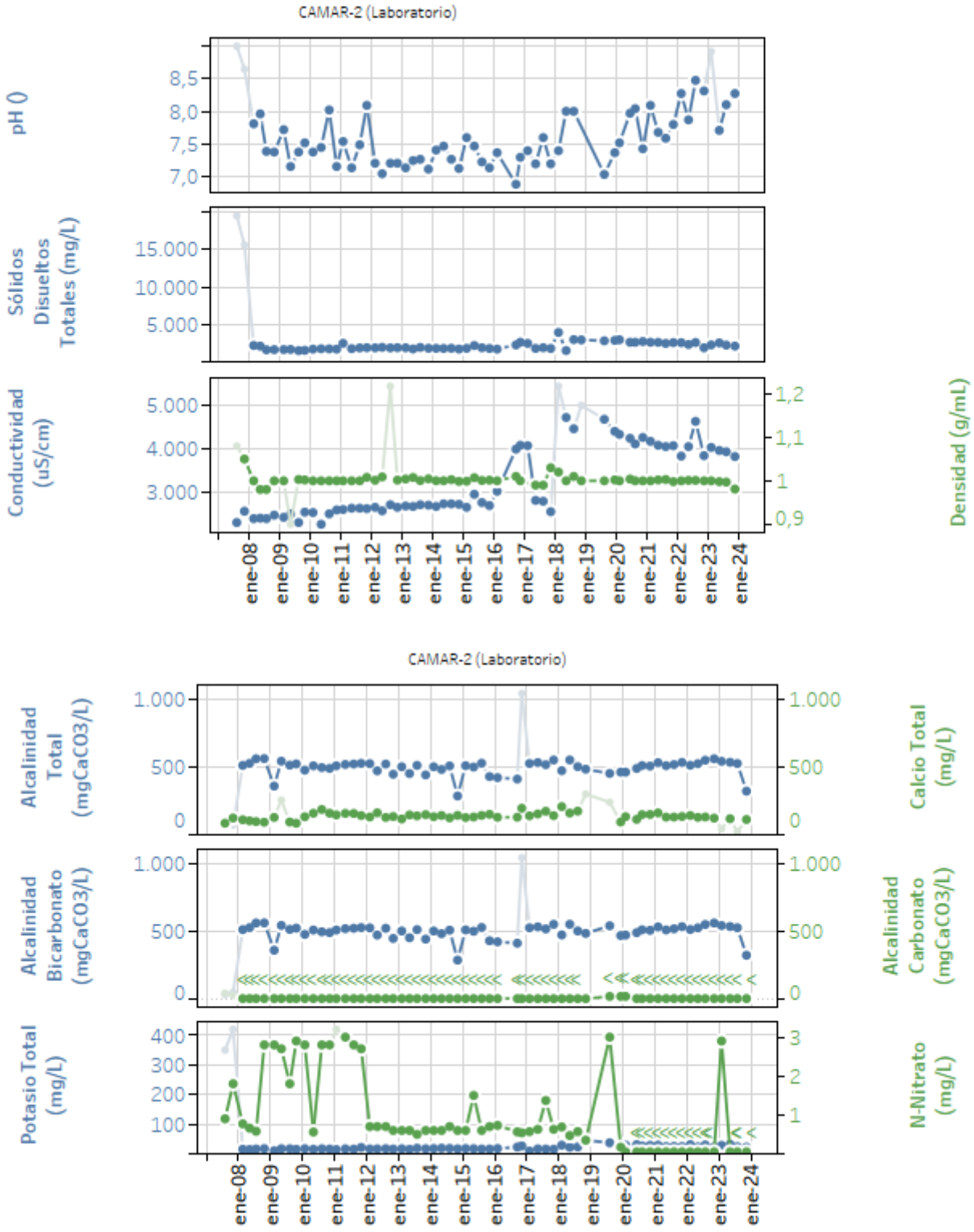


Figura 6-80 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Camar-2



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se presentan = LD y con la etiqueta"<" en el color del parámetro que representa. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-81: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Socaire-5B



Figura 6-81 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Socaire-5B

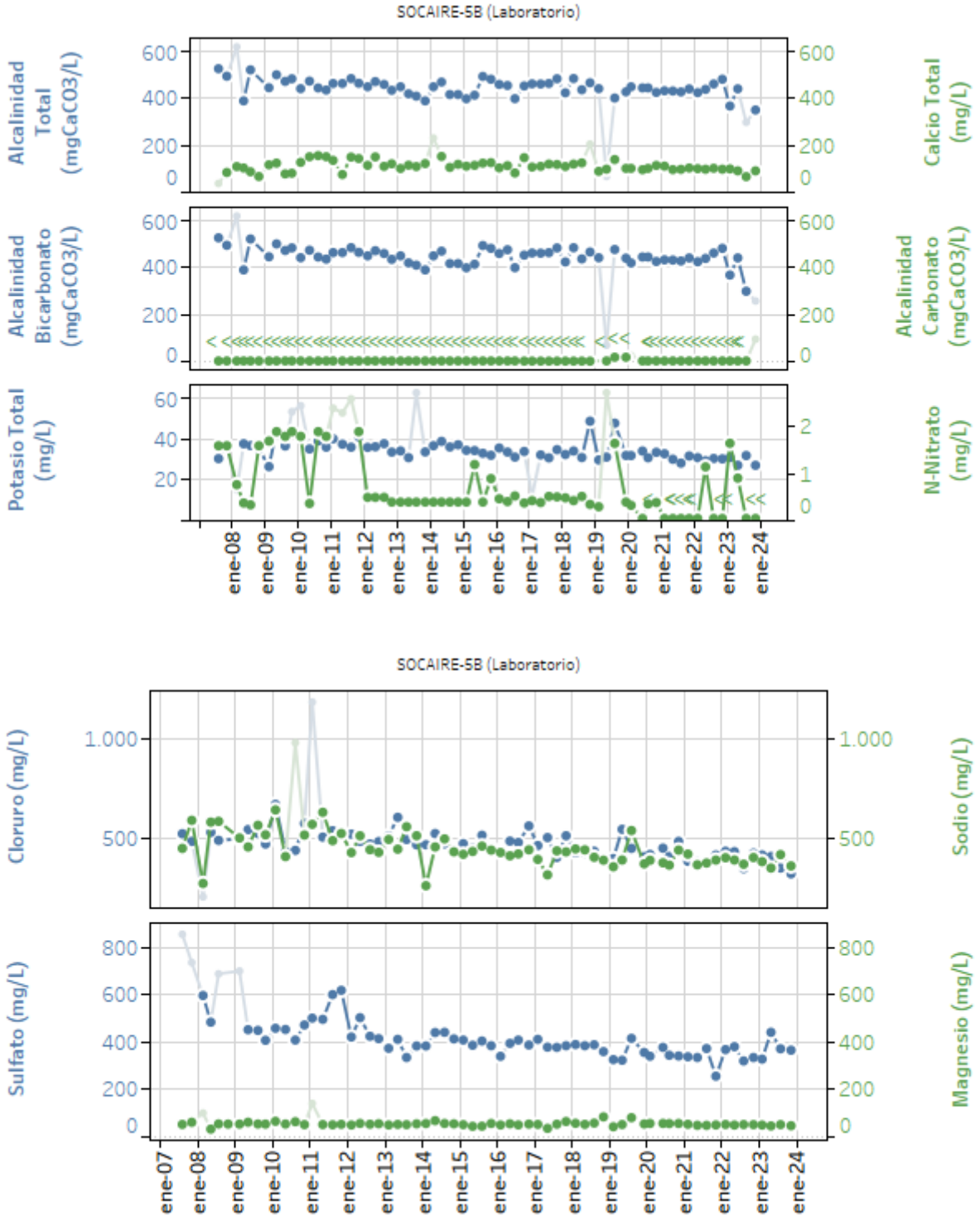
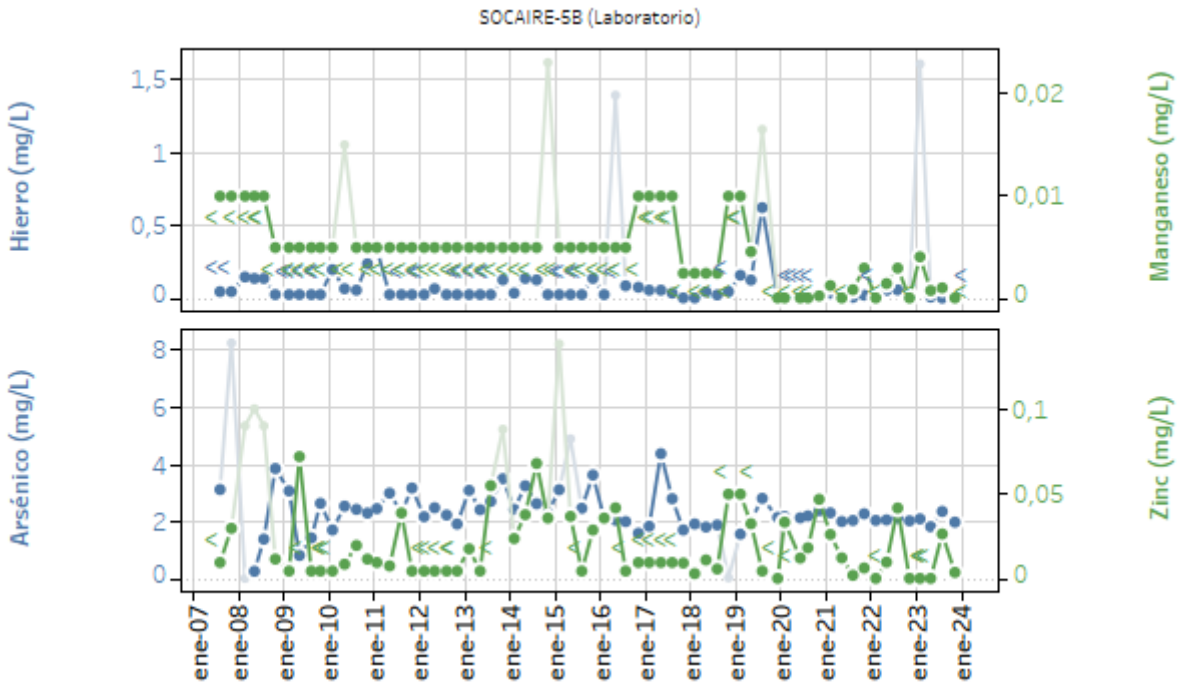


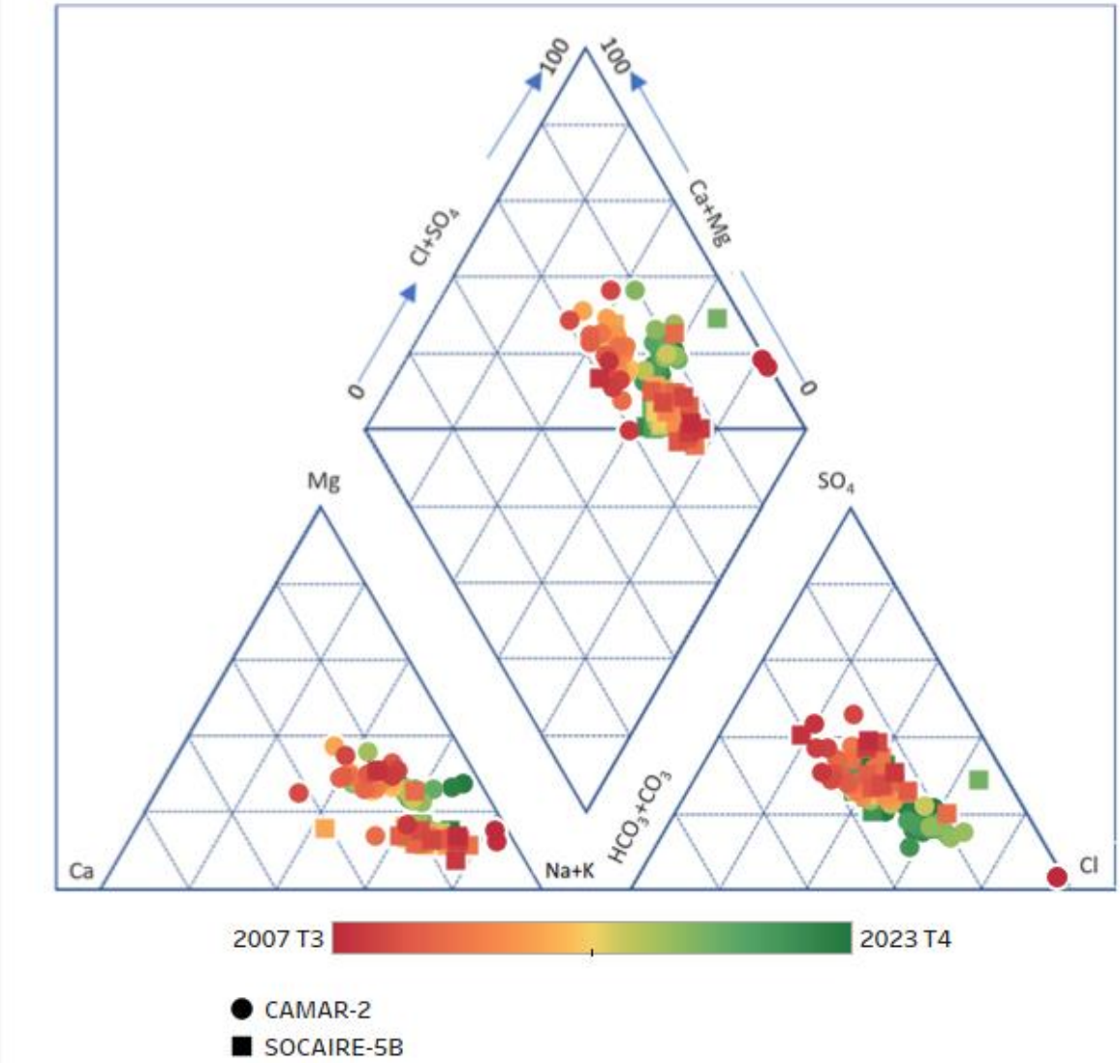
Figura 6-81 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Socaire-5B



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se presentan = LD y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

En la Figura 6-82 se presenta el diagrama de Piper para los pozos Camar-2 y Socaire-5B, donde se aprecia que los valores de Camar-2 han evolucionado a una composición más clorurada sódica y los de Socaire-5B conserva su característica geoquímica sulfatada-clorurada sódica. Estas aguas representan la recarga que alcanza a la zona marginal y sistema lagunares por lo que las concentraciones en estos puntos son menores a las observadas en los pozos y reglillas de la zona marginal y el núcleo. La mayor parte de esta agua será evaporada en la zona marginal.

Figura 6-82: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B

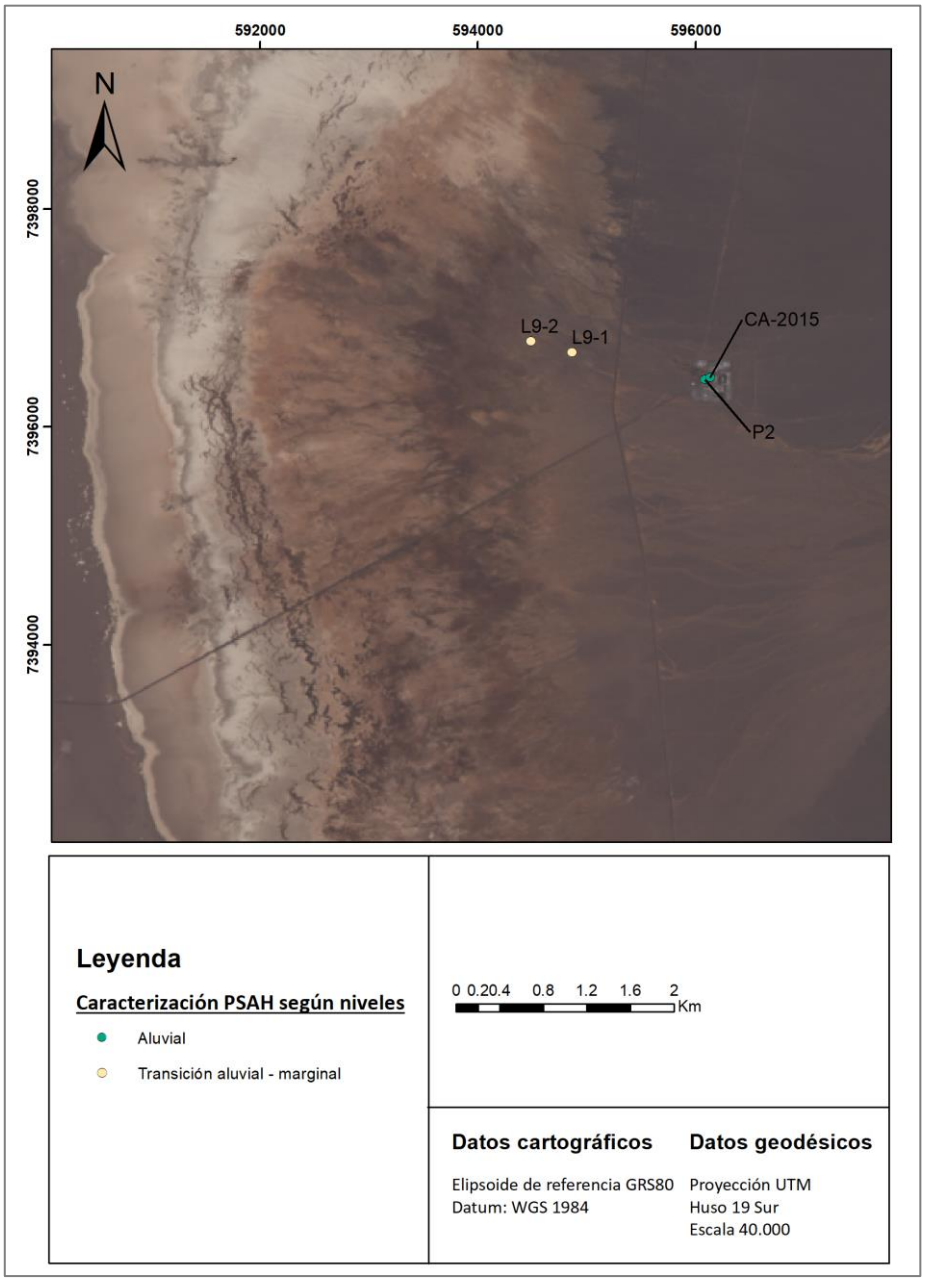


Fuente: Elaboración propia

6.1.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

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 en función del sistema hídrico (sistema Soncor o sistema Aguas de Quelana). 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 6-83).

Figura 6-83: Infraestructura englobada 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

6.1.3.1.1 Nivel en pozo de bombeo de agua industrial

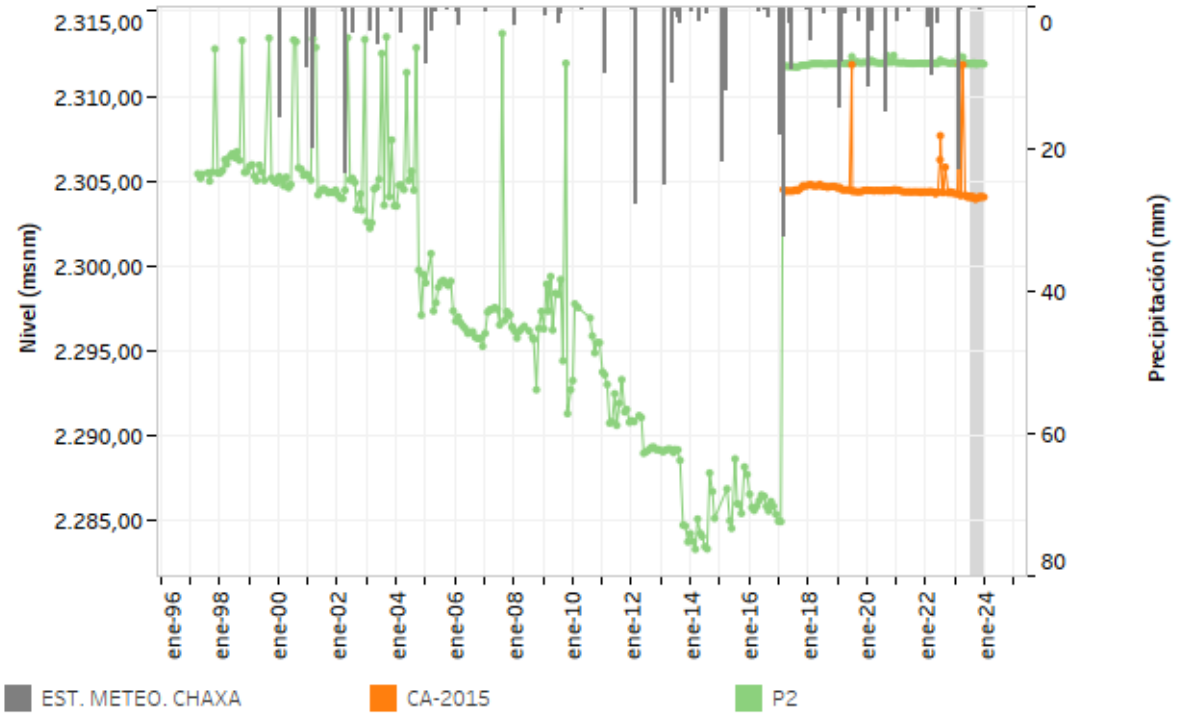
Como se mencionó anteriormente, el sistema de Vegetación Borde Este incluye el pozo de agua industrial CA-2015, que remplazó al pozo P2 a partir de febrero de 2017 (de acuerdo Res. 296/2016 de la DGA). En la Figura 6-84 se muestran los niveles de ambas infraestructuras, mientras que en la Figura 6-85 se muestra el detalle del CA-2015, lo que permite observar las variaciones de nivel recientes.

Según se ve en la Figura 6-84, en el momento en que se detuvo el P2, éste alcanzó un nivel sobre los 2.311,70 m.s.n.m. generando un ascenso repentino de más de 26 m. Después de varios meses, en enero 2018, alcanzó un nuevo nivel de 2.311,90 m.s.n.m. (20 cm más alto) y que se ha mantenido estable durante todo el período de mediciones posteriores, incluso al cierre del semestre reportado.

El CA-2015 ha mantenido su extracción debajo del caudal autorizado (35 L/s), con un promedio de 27,5 L/s hasta el cierre de este reporte. Si bien, se ha reducido la extracción del pozo, el nivel se ha mantenido estable, con una tasa de descenso promedio de 26 cm/año entre 2018 y 2019. A partir de noviembre de 2019 hasta 2022, se observa cómo la tasa de descenso promedio se redujo hasta los 6 cm/año, mientras que a lo largo del año 2023 se observa un descenso más pronunciado, con una tasa aproximada de 23 cm/año.

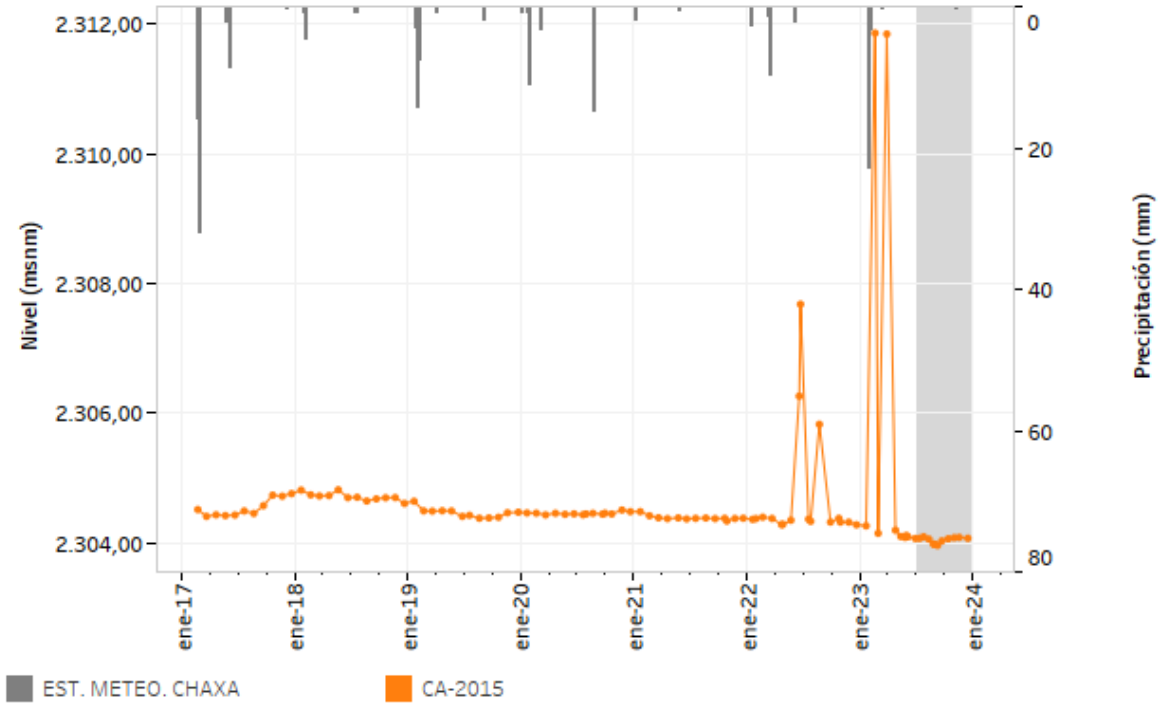
No obstante, el nivel ha mostrado ciertos *peaks* en las mediciones de junio 2019, junio 2022, agosto de 2022 y marzo de 2023, que se sitúan entre 1,5 y 8 m por encima del nivel habitual del pozo. Lo anterior puede deberse al manejo operacional del pozo dado que se trata de un nivel dinámico, asociado al régimen de extracción de agua, lo que lleva a que sea habitual medir estos cambios bruscos en la tendencia del nivel. A lo largo del segundo semestre de 2023 el nivel se mantuvo con una tendencia de descenso y en septiembre se registró un mínimo estacional histórico de 2.303,96 m.s.n.m., asociado a la escasez de eventos de precipitación.

Figura 6-84: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al sistema de Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-85: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al sistema de Vegetación Borde Este



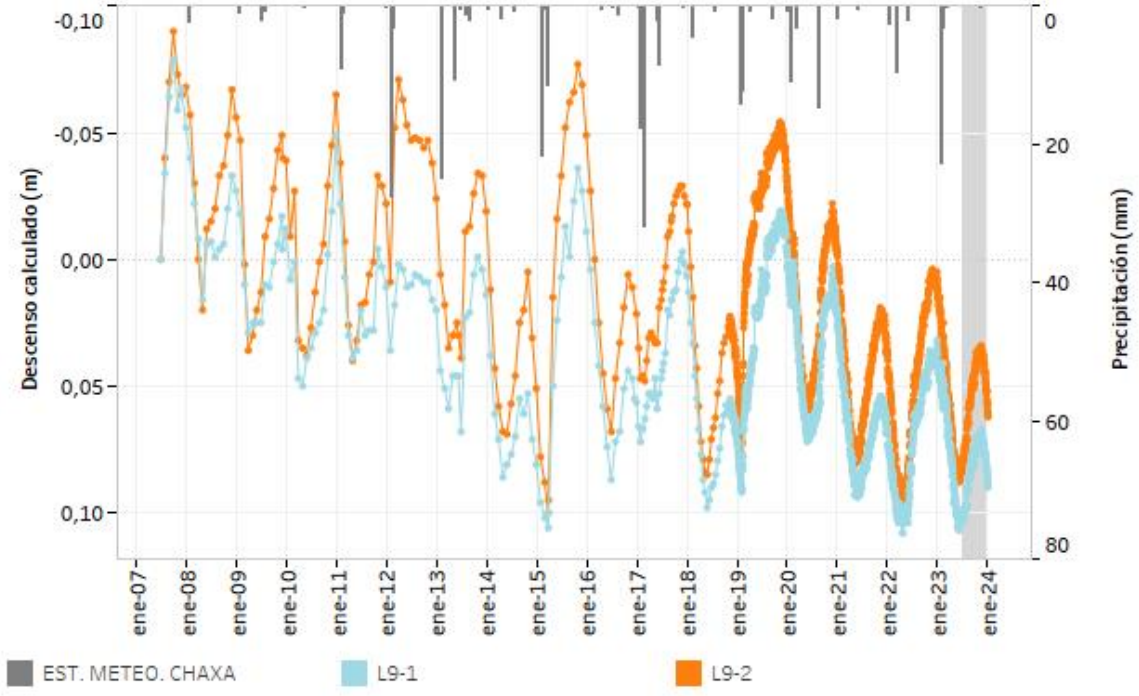
Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.1.2 Pozos en zona aluvial y marginal

Los puntos restantes a analizar para el sistema de Vegetación Borde Este, son los puntos L9-1 y L9-2. En este sector la densidad de puntos de control es menor (en comparación con el resto de los sistemas, sobre todo, Soncor y Aguas de Quelana), por lo que no se pueden observar todos los comportamientos identificados en los apartados anteriores. En este caso, los niveles de los puntos L9-1 y L9-2 (ver descensos calculados en la Figura 6-86) muestran un comportamiento que también se ha reconocido en los sistemas anteriores como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, dado que muestran una oscilación estacional marcada, pero con tendencia de descenso. De hecho, estos puntos se miden diariamente desde 2018, y de esta forma puede apreciarse mejor la regularidad del efecto estacional en la variación de sus niveles, en comparación con el anterior período (previo a 2018); de ahí a que en los anteriores informes se describían como que la estacionalidad no era regular. Ocurrido este cambio en la frecuencia de medición, se cree más representativo medir la tasa de descenso solo para este período, que resulta ser de 1,3 cm/año en promedio.

Se observa, por tanto, que en mayo de 2023 se reproduce el mínimo estacional y en noviembre de 2023 el máximo estacional esperado. Aunque, si bien el pozo viene mostrando una tendencia de descenso histórica, la cota alcanzada se sitúa en cota similar (para el caso del L9-1) e incluso mayor (para el caso del L9-2) respecto del mínimo del año anterior. En cambio, para ambos puntos se registra una cota menor respecto al máximo del año pasado, denotando más claramente la tendencia de descenso.

Figura 6-86: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del sistema Vegetación Borde Este



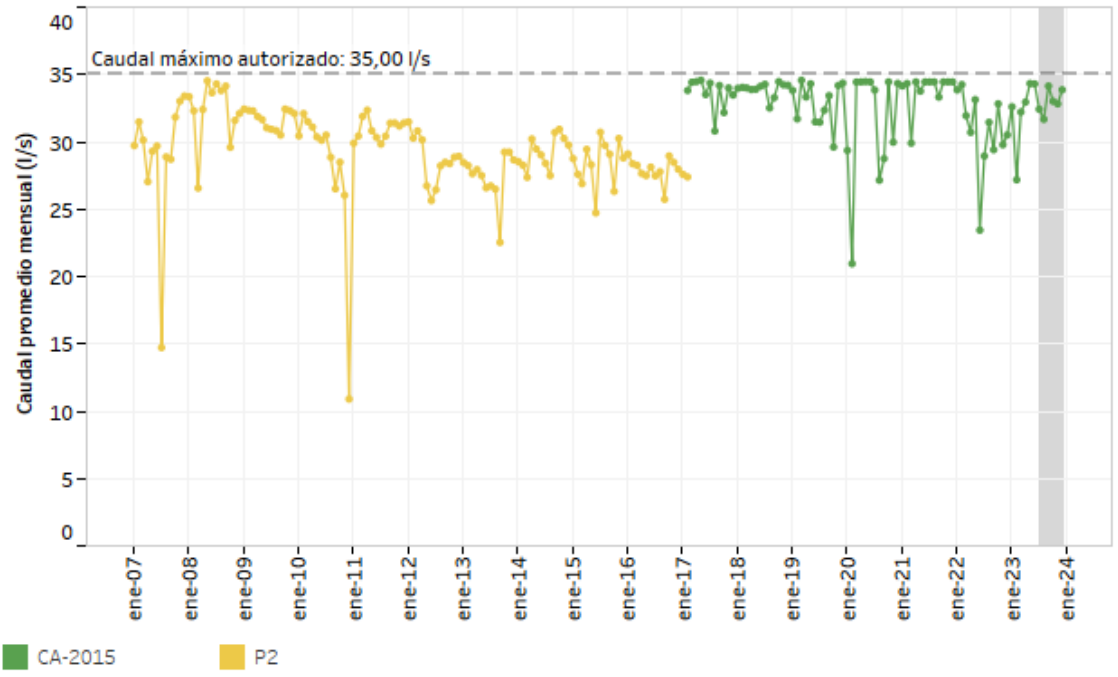
Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.2 Caudal bombeado

En la Figura 6-87 se muestran los caudales extraídos históricos, desde el pozo P2 y seguidamente, su pozo de reemplazo CA-2015. En el segundo semestre de 2023, el caudal fluctuó entre 31,7 L/s y 34,1 L/s, con una extracción promedio de 27,5 L/s, 7,5 L/s por debajo del umbral permitido de 35 L/s. Respecto a los caudales históricos de CA-2015, el caudal de 27,18 L/s que operó en febrero de 2023, es parte de los tres promedios mensuales más reducidos de extracción en los 6 años de operación de CA-2015.

Esta tendencia de reducción de caudal busca responder el compromiso PdC de lograr disminuir en un 50% menos la extracción neta del total de pozos de agua industrial que actualmente se encuentran operando.

Figura 6-87: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado el segundo semestre de 2023 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.

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

1. En cada gráfico se muestran dos series, cada una de ellas con un color que se relaciona con el eje vertical que le corresponde (de igual color).
2. Los valores validados se muestran con resalte (ver apartado 4.5.8).

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 cuarto trimestre de 2023(Figura 6-88).

Los parámetros corresponden a: conductividad eléctrica terreno, densidad de terreno, pH terreno, alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, conductividad eléctrica, densidad, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato, pH, potasio, sodio, sólidos disueltos totales, sulfato y zinc.

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

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LM, y con la etiqueta “<” o “>” que indica si este es menor o mayor que el valor respectivamente.
2. En cada gráfico se muestran dos series, cada una de ellas con un color que se relaciona con el eje vertical que le corresponde (de igual color).
3. Los valores validados se muestran con resalte (ver apartado 4.5.8).

En general se observa que todos los parámetros analizados se encuentran dentro del rango de la tendencia histórica en el último semestre del 2023.

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 12.794 mg/L y cloruro hasta 6.416 mg/L. El punto CA-2015 está colectando aguas más profundas que el P2 y, por tanto, con una mayor influencia de la interfaz salina.

Este comportamiento también se observa en las tendencias de las concentraciones para el sulfato, magnesio y sodio. La densidad histórica se mantiene en torno a 1,0 g/mL, y pH de terreno y laboratorio en torno a 7,0-8,5.

El resto de los parámetros analizados: alcalinidad total (caco3), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, hierro, magnesio, manganeso, N-nitrato, pH, potasio, sodio, sulfato y zinc, presentan concentraciones en los análisis del segundo semestre de 2023 dentro del rango histórico observado.

Figura 6-88: 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)



Figura 6-88 (Continuación): 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)

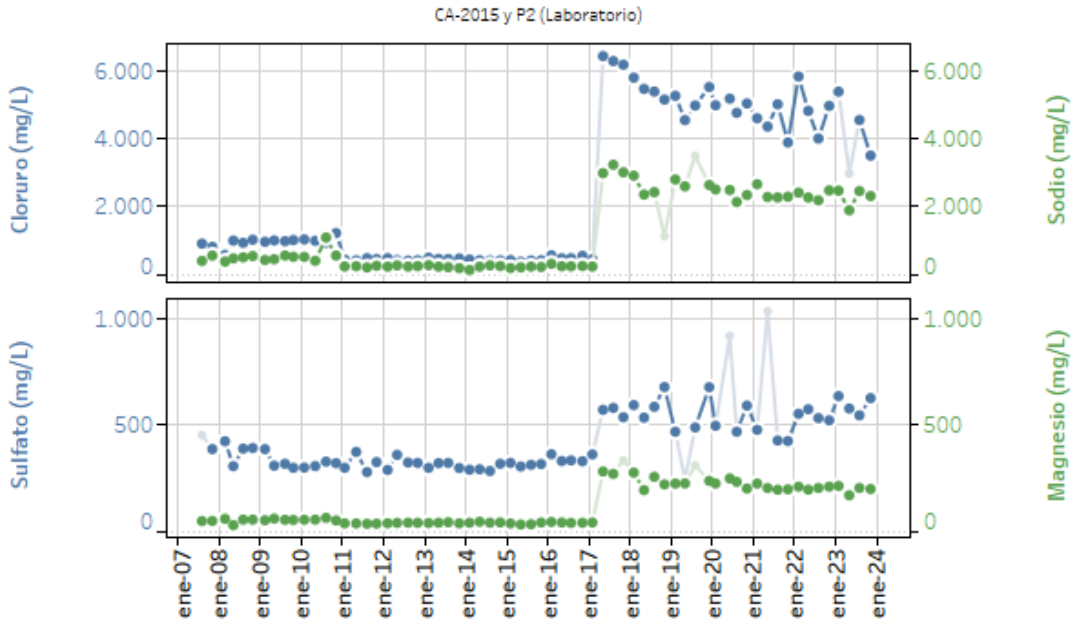
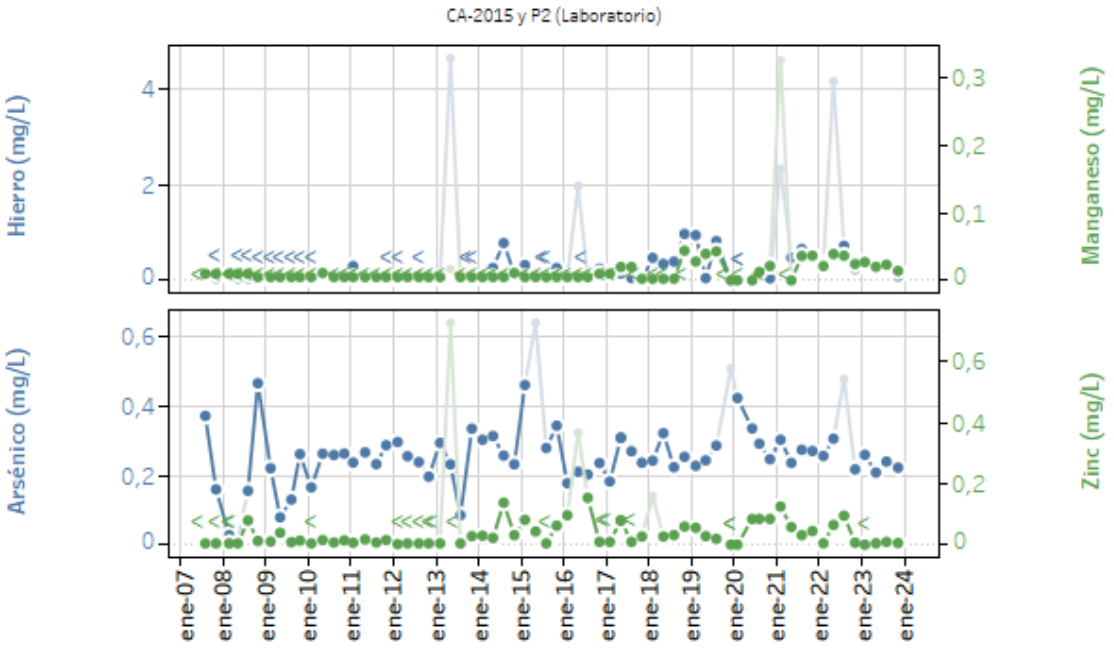


Figura 6-88 (Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción P2 y CA-2015 (a partir de abril de 2017 corresponden al pozo CA-2015)



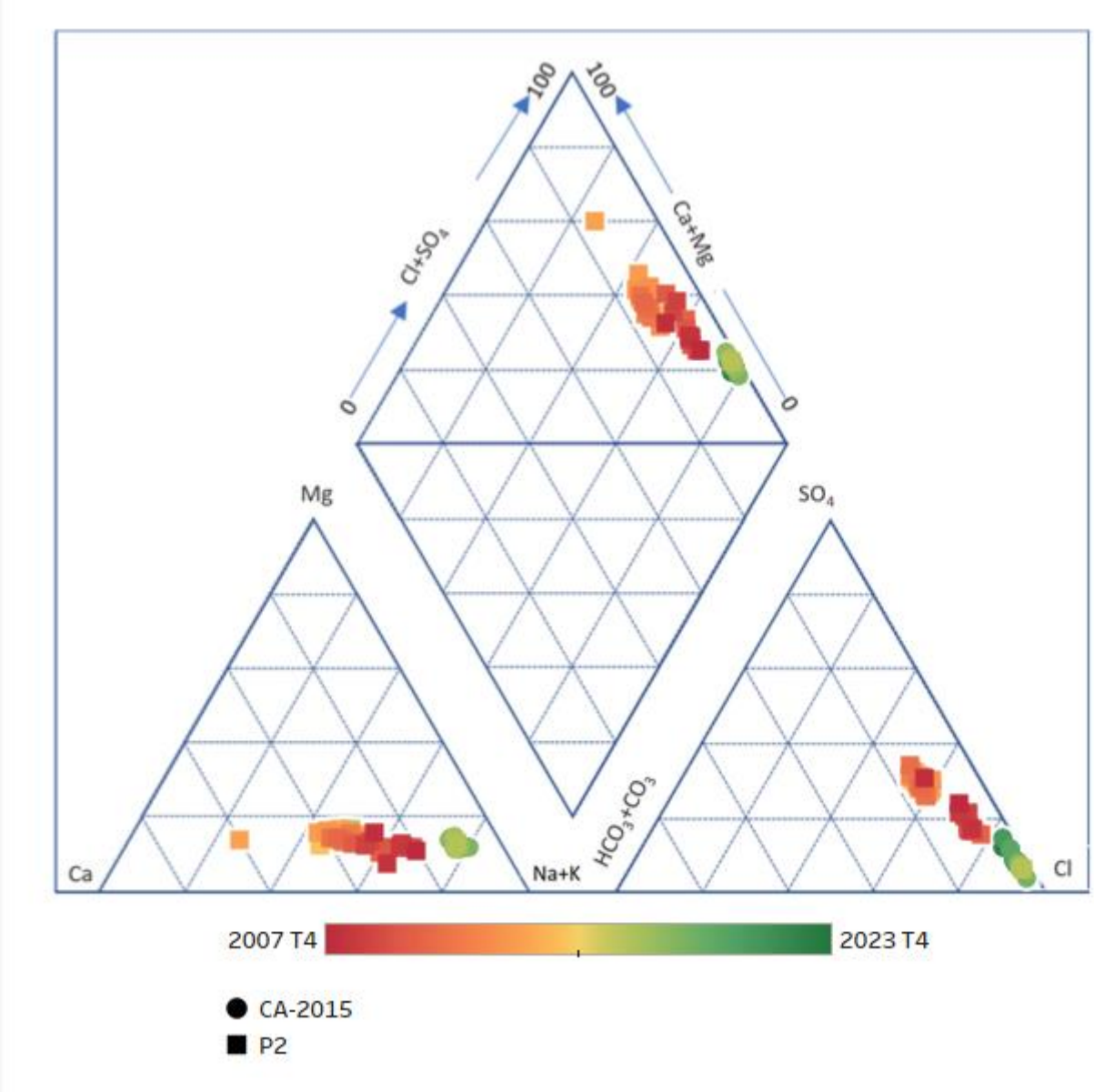
Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD se presentan = LD y con la etiqueta"<" en el color del parámetro que representa. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

La Figura 6-89 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en P2 y CA-2015, con un BI inferior al 10%. Nótese que, aunque ambos puntos presentan facies cloruradas sódicas, el punto CA-2015 presenta unas características cloruradas sódicas notablemente más acusadas que P2. La explicación a este hecho reside en que el punto CA-2015 está colectando aguas más profundas que el P2 y, por tanto, con una mayor influencia de la interfaz salina que se encuentra en profundidad como consecuencia del encuentro entre las aguas de recarga a la zona marginal y la salmuera del núcleo en profundidad.

Respecto a las tendencias en este sector, se observó lo siguiente:

- Se observan algunos parámetros del punto CA-2015 con leve tendencia a la baja como pH terreno, conductividad eléctrica de terreno, sólidos disueltos totales, potasio 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 el diagrama de Piper, Figura 6-89, que el punto CA-2015, presenta una característica más clorurada sódica más marcada respecto a las aguas del P2, debido a que corresponden a aguas más profundas y por ende con mayor influencia de la interfaz salina presente en profundidad.

Figura 6-89: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para los puntos P2 (hasta enero de 2017) y CA-2015 (desde abril de 2017)

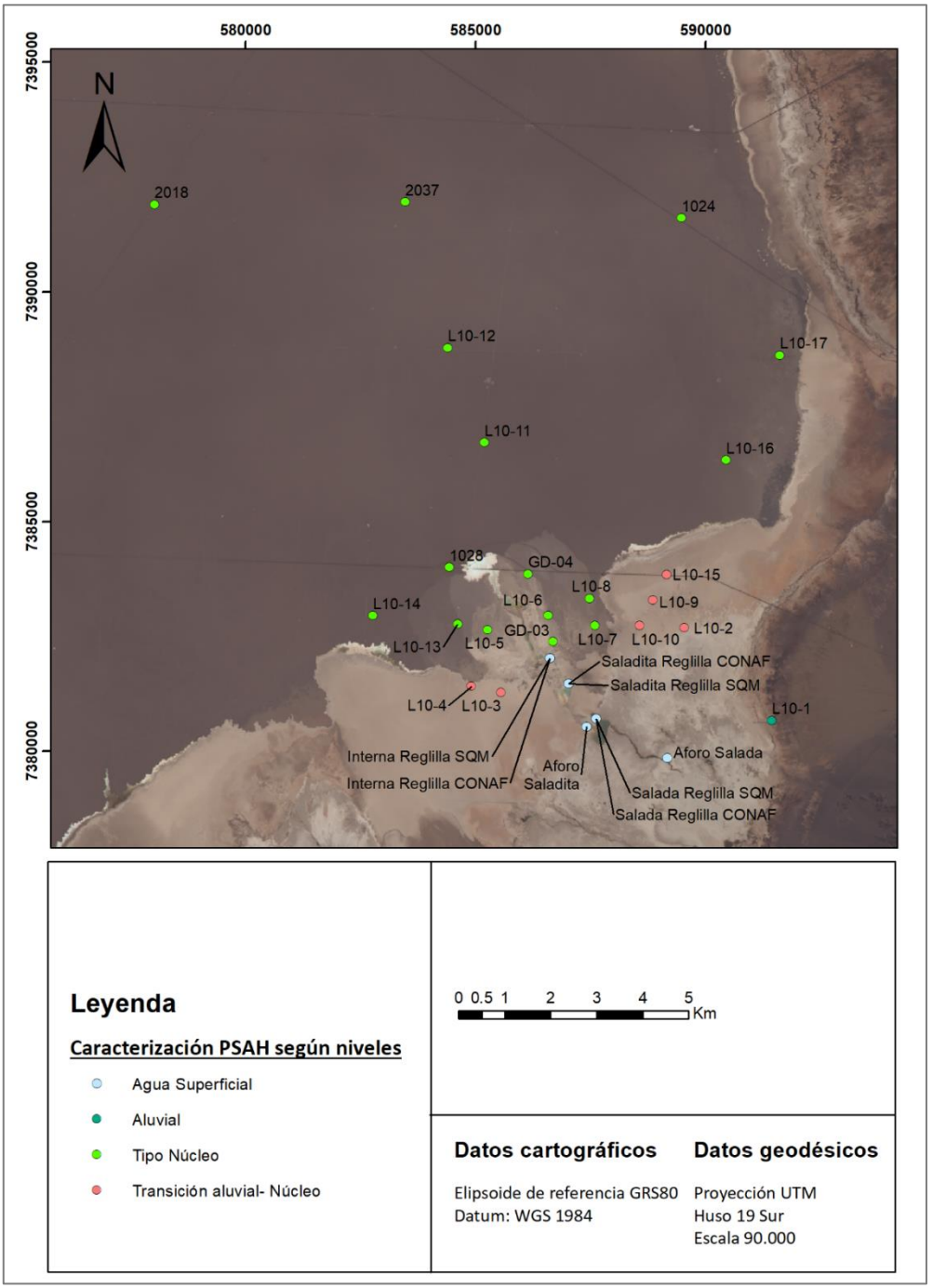


Fuente: Elaboración propia

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 (ver Figura 6-90). 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 6-90: Infraestructura englobada 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

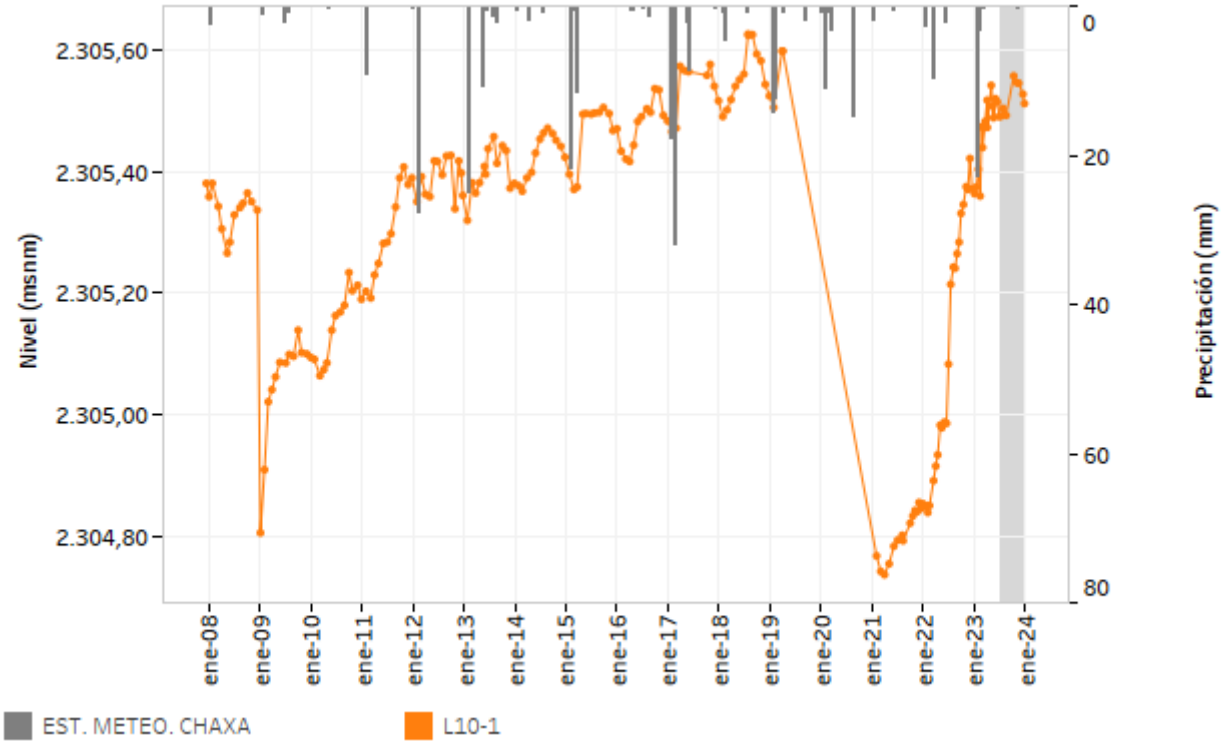
6.1.4.1.1 Pozos en zona aluvial

En el Sector de Peine el único punto situado en la zona aluvial es el punto L10-1, que concretamente se encuentra en el límite entre las zonas marginal y aluvial. Dicho punto está asociado al monitoreo de la zona marginal del sistema Peine, pero presenta un comportamiento singular y poco relacionado a lo que cabría esperar para la zona marginal, donde los niveles muestran una estrecha relación con los ciclos de evaporación estacionales. En la Figura 6-91 se muestran los niveles históricos medidos y se puede ver como presentaba oscilaciones irregulares, por lo que debían estar asociadas a los eventos de recarga subterránea. La tendencia general es ascendente desde enero de 2009 y con tasa promedio de 3 cm/año (calculada en el período comprendido entre junio de 2011 y 30 de diciembre de 2018). Otro aspecto que destacable es que no muestra una respuesta evidente a los eventos de precipitación.

De este punto no se disponía de datos desde enero de 2019 y en el primer semestre de 2021 se pudo retomar la visita a este punto. De esta forma, la primera medición realizada en enero de 2021 situó el nivel en una cota mínima histórica, de 83 cm inferior a la anterior medición de 2019. Sin conocer las causas de este cambio, lo más probable es que haya sido debido a un manejo operacional de las extracciones en el aluvial, porque se descarta que SQM haya tomado ninguna muestra en el pozo que haya requerido de bombeo.

En base a las mediciones posteriores, incluyendo el segundo semestre de 2023, se puede observar que el punto presenta una pendiente ascendente característica de una recuperación ya que, al cierre del semestre, la tasa es de 38 cm/año. Lo más probable es que este punto recupere la cota que llevaba previamente; al cierre del semestre reportado, la cota se encuentra solo a 9 cm por debajo el último registro previo (marzo 2019). Dada la tasa de ascenso, es posible que durante el año 2024 retome la cota representativa del acuífero y por tanto cambie la pendiente de nuevo.

Figura 6-91: Niveles medidos en la zona aluvial del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.1.2 Pozos en zona marginal

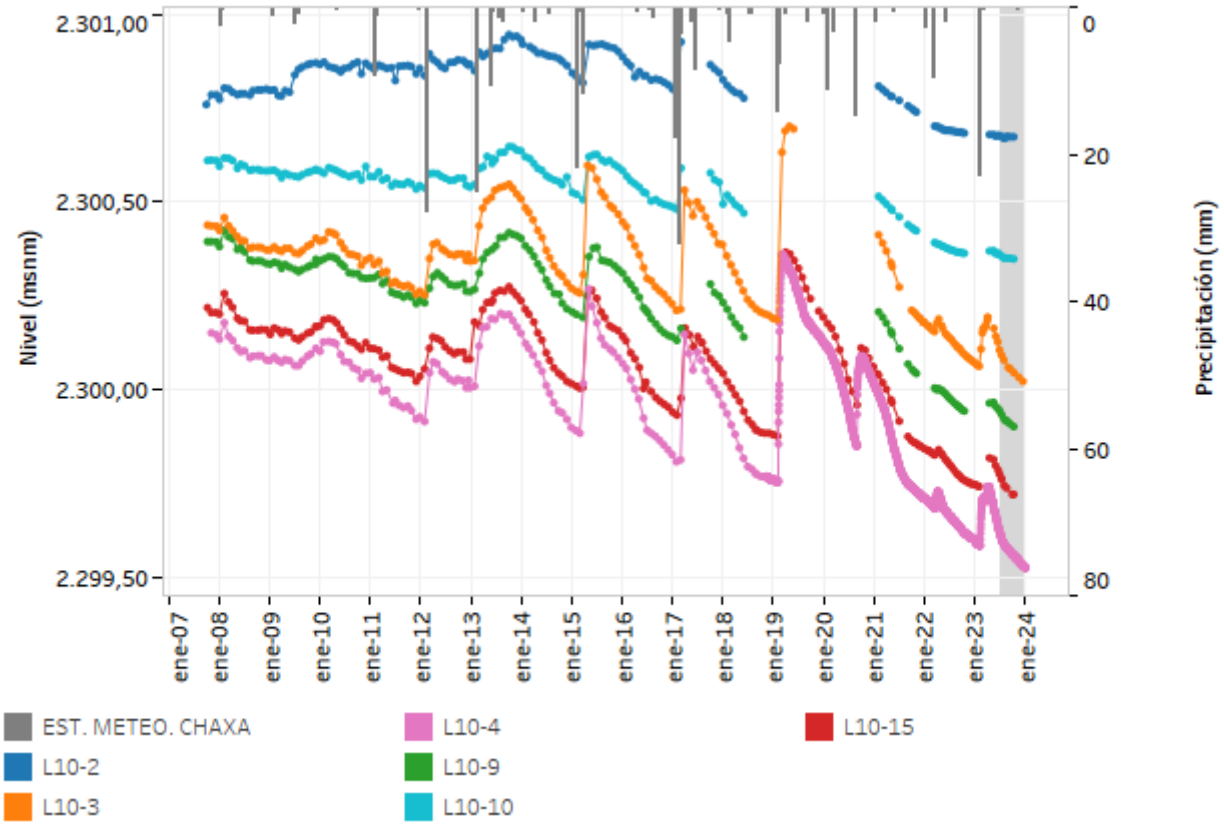
Desde la zona aluvial y hacia el noroeste, siguiendo la dirección del flujo, se encuentra la zona marginal en donde los niveles muestran un comportamiento mixto entre el observado en el L10-1 y el núcleo. Se trata de los puntos L10-2, L10-3, L10-4, L10-9, L10-10 y L10-15, que se muestran en la Figura 6-92.

Estos puntos tampoco muestran la particular oscilación regular típicas de los ciclos estacionales de evaporación, y se observa que permanecen con un comportamiento transicional; los puntos más cercanos al aluvial presentan algunos rasgos característicos 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 progresivamente reflejar características más relacionadas con el núcleo.

Durante el año 2023, continúa la tendencia de descenso junto con la respuesta a las lluvias registradas a comienzo de año. 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 1,6 cm/año, mientras que los puntos más cercanos al núcleo la pendiente es de 17 cm/año, en el caso del L10-4 para el último año de registro. De la misma forma, puede verse como la magnitud de la respuesta

(la altura del *peak*) varía en cada caso, siendo precisamente el L10-4 el que registra también mayor respuesta en este grupo, con un salto de 15 cm en abril de 2023.

Figura 6-92: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el núcleo



Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se ha descrito, en la zona marginal es donde se encuentran los objetos de protección definidos para el sistema Peine. No obstante, para obtener conclusiones acerca de los potenciales riesgos hacia estos cuerpos de agua superficiales, debe considerarse que en realidad, en el Sistema Peine, el comportamiento de los niveles en la zona Marginal, no es el que se ha observado en los otros sistemas (Soncor o Aguas de Quelana), debido a que no se observan las típicas características como la oscilación estacional asociada a la evaporación ni la variación de los niveles alrededor de una cota estable, es decir, sin tenencia de ascenso o descenso.

Los niveles en la zona Marginal del sistema Peine casi que se asemejan más a una transición entre el acuífero aluvial y el acuífero del núcleo, lo que lleva 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.

Esto lleva a determinar que, para analizar el estado actual de los objetos de protección, se revise mejor directamente los niveles en el siguiente apartado, junto con los análisis de la extensión lacustre del apartado 6.1.4.2.

6.1.4.1.3 Nivel de agua superficial y lacustre

Para monitorear el nivel de la superficie de las lagunas del Sistema, se observan los registros de las reglillas Salada, Saladita e Interna, medidas históricamente por CONAF en el marco del convenio establecido en la RCA N°226/2006. Como se mencionó en la sección de Resultados (capitulo 5), a partir de enero de 2019 y en virtud del término del convenio, las mediciones de nivel e n el sistema lacustre de Peine pasa a ser responsabilidad de SQM Salar S.A., cuyos resultados se agregan a la data histórica.

Los niveles medidos hasta la fecha se muestran en la Figura 6-93. Como puede verse, 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.

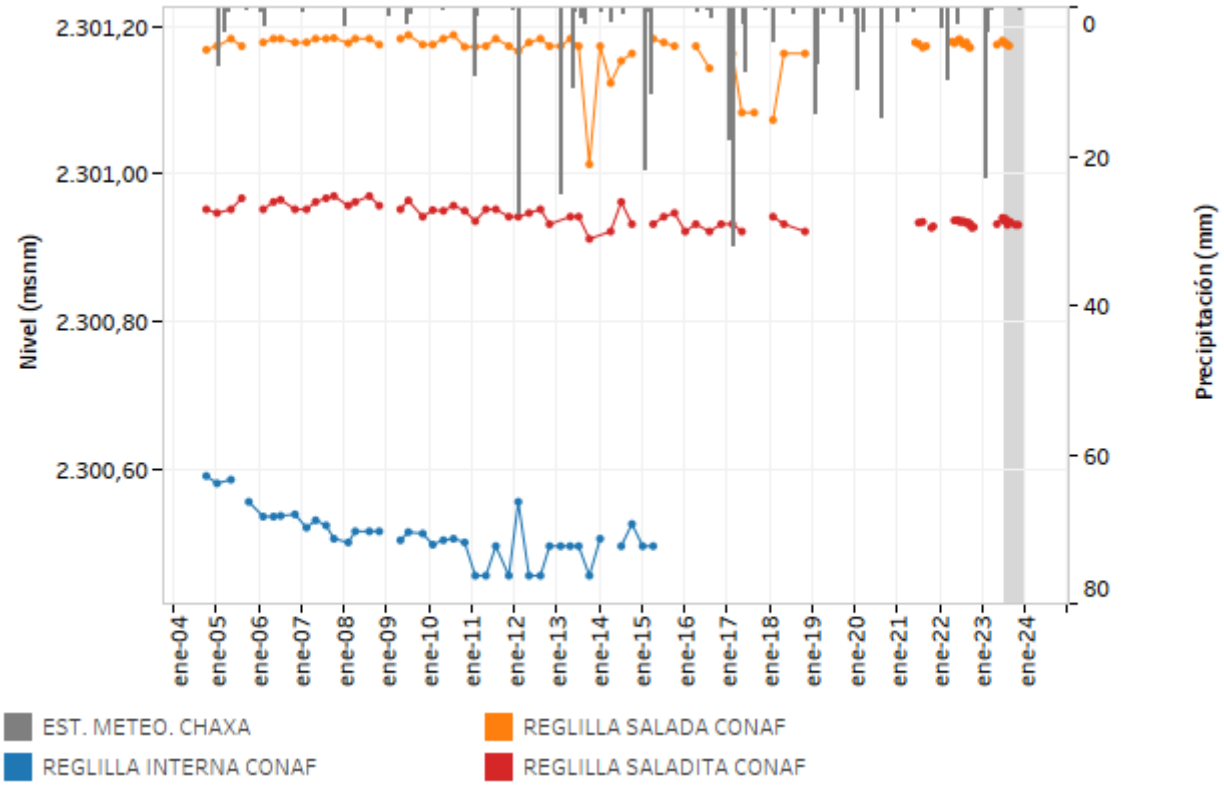
En términos generales, la reglilla de Salada muestra registros estables durante todo el período de mediciones, incluyendo el segundo semestre 2023. Algunas mediciones se han obtenido en cotas anómalas, por debajo de este rango histórico de variabilidad, como son por ejemplo la obtenida en octubre 2013 o varias de las mediciones entre 2017 y 2018. Como puede verse, estas mediciones no suponen cambios representativos en la dinámica de la laguna, sino que más bien deben ser cambios como por 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 periodos sin información, como por ejemplo entre octubre 2018 y mayo 2021 y luego durante los cierres anuales en los meses de nidificación de flamencos, como es el caso ocurrido en el segundo semestre de 2023, donde se presentan registros sólo hasta agosto de 2023.

En la reglilla de Saladita, desde el inicio de los registros en 2005 y hasta 2013 se mantiene constante 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. En la Figura 6-93 se observa un dato anómalo para el período reportado, que es un dato medido por SQM pero que no se ha validado ya que la medición de la ETFA del mismo día confirma el error.

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 6-93: Niveles en las reglillas de agua superficial del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

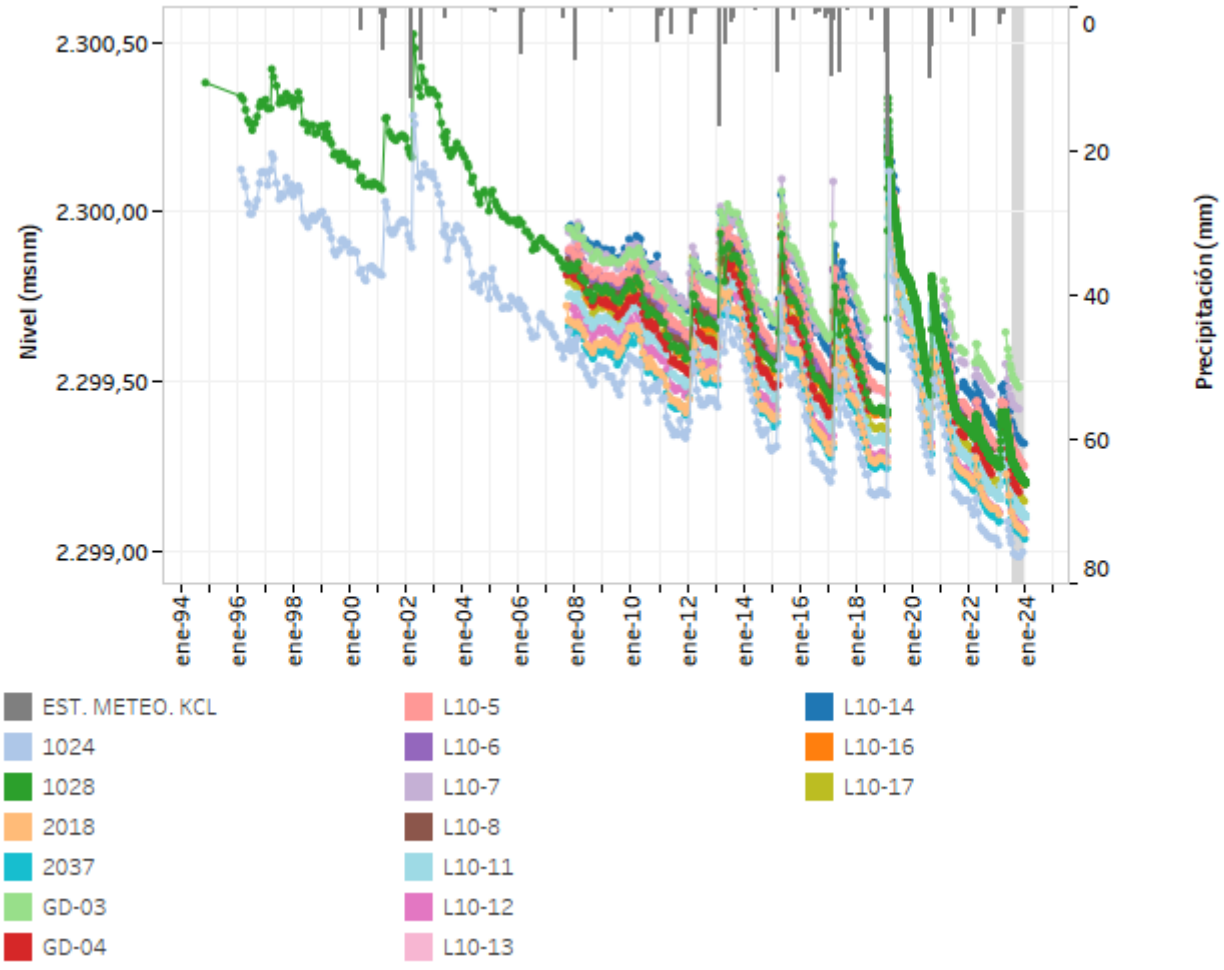
6.1.4.1.4 Pozos en zona núcleo

En el sector del 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 lo plana que está la superficie piezométrica en el acuífero del núcleo. Los niveles medidos se muestran en la Figura 6-94, donde se observa el ya descrito comportamiento sin

oscilación estacional y con clara tendencia al descenso. Todos los puntos muestran una tasa de descenso de entre 2 y 3,8 cm/año.

Para el primer semestre 2023 todos los puntos mostraron respuesta ante las lluvias registradas mientras que para el actual semestre reportado se observa una tendencia de descenso esperada para este grupo.

Figura 6-94: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el núcleo, para el sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

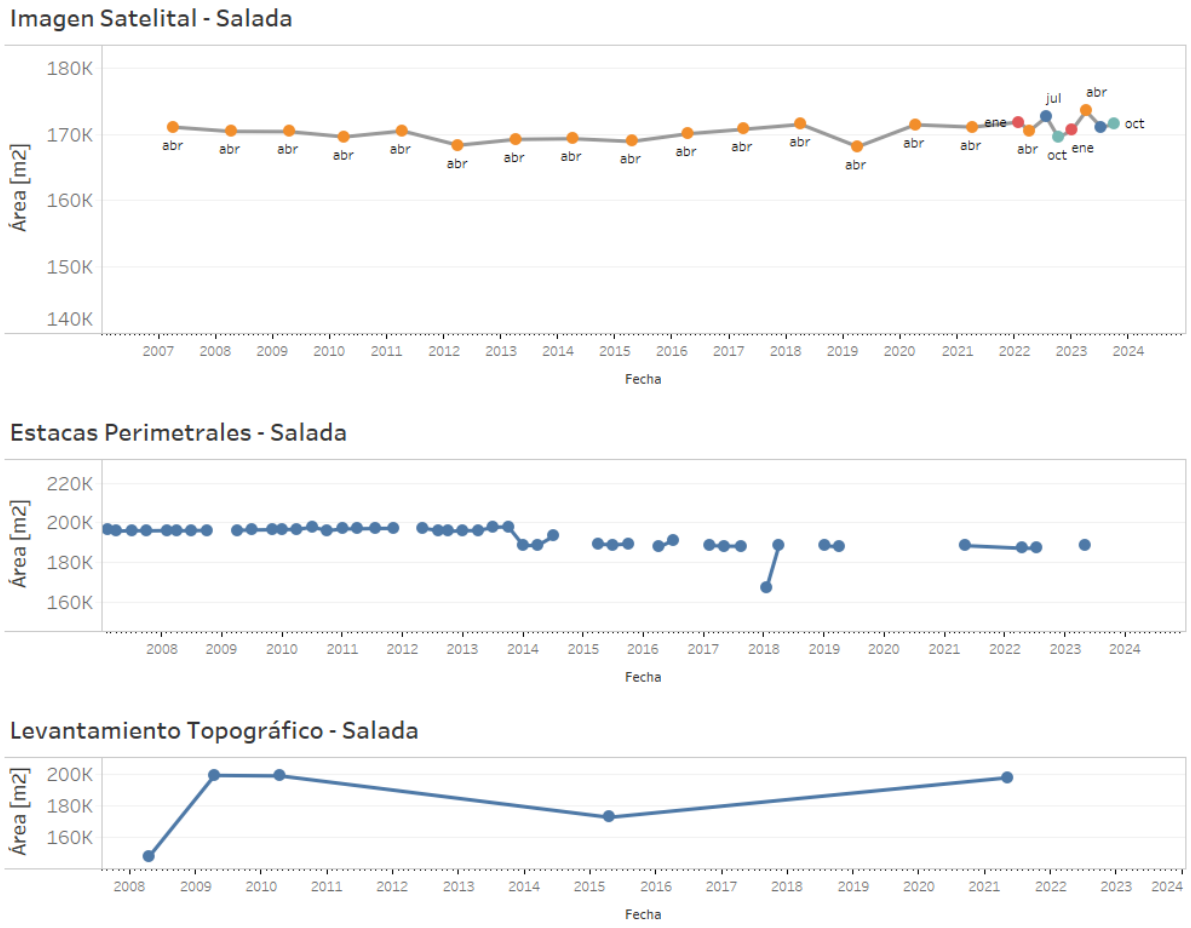
6.1.4.2 Evolución de la superficie de los sistemas lacustres

Los sistemas lacustres de Peine son alimentados por un canal que es el resultado de afloramientos naturales de agua subterránea aguas arriba del sistema. Las lagunas que componen este sistema son

Salada, Saladita y Desborde Laguna Interna. Esta última laguna está formada por los desbordes de la Laguna Saladita, y su morfología es altamente dinámica.

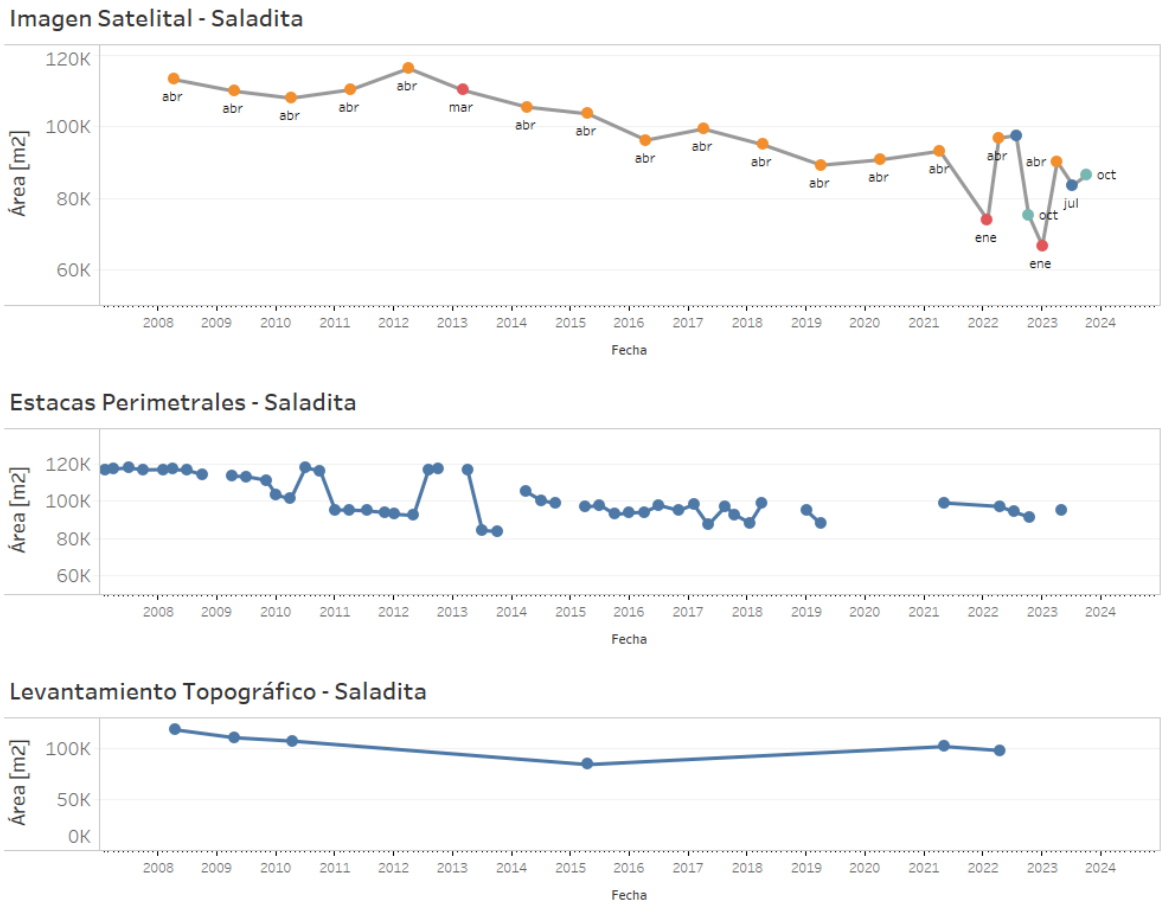
A continuación, se muestran series de tiempo de área para cada una de las lagunas. Es necesario destacar que, la medición de estacas perimetrales no aplica para el caso de Desborde Laguna Interna.

Figura 6-95: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022).



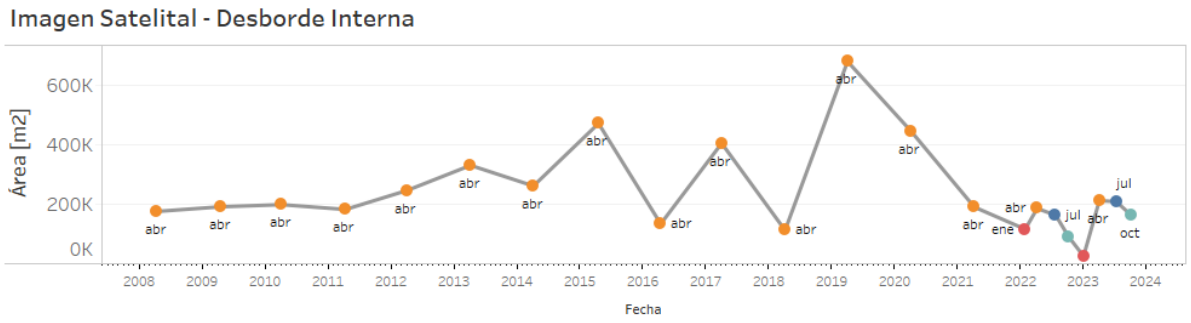
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-96: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-97: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna. Notar incorporación de cálculo en enero del año 2022 (PdC 2022).

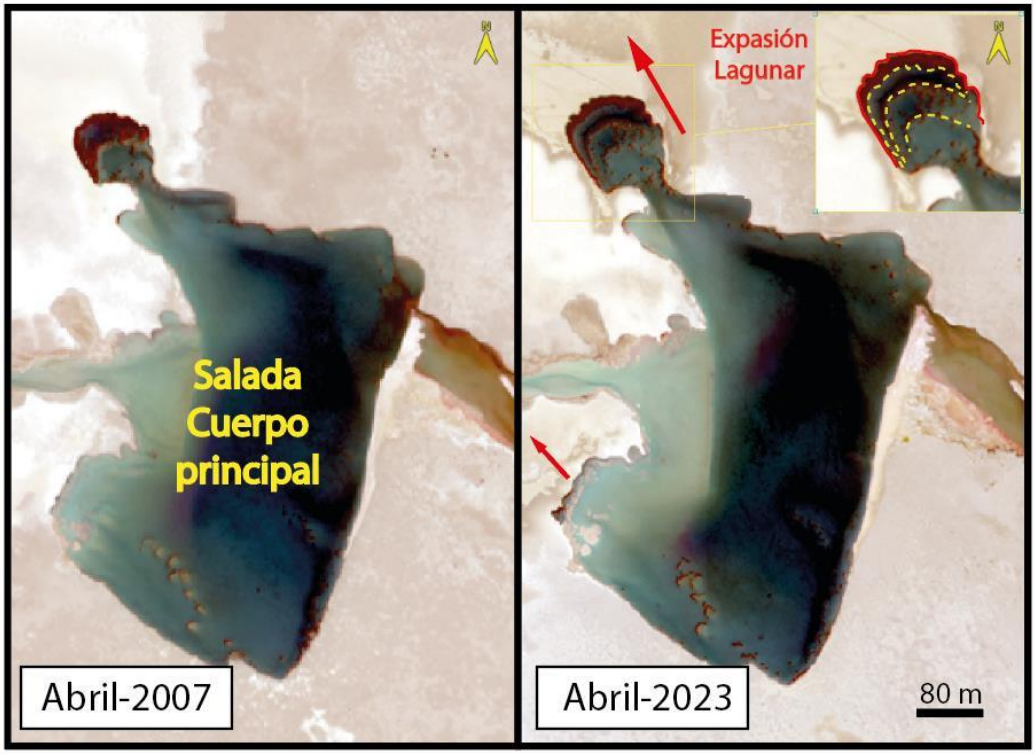


Fuente: Elaboración propia.

La evolución histórica de laguna Salada (Figura 6-95) muestra un ascenso marginal de área entre abril del 2022 y 2023. Para el presente reporte, la comparación de los meses de octubre 2022 y octubre 2023 muestra un aumento en la superficie lagunar entre estos dos años.

Dentro de los aumentos ocurridos para el sistema Salada, tal como se ha descrito en el reporte del informe anterior (PSAH N°33) el aumento ocurrido en abril de 2023 es debido a la expansión del borde en dirección noroeste el cual es esperable debido a evidencia geomorfológica en la evolución del límite y su expansión en dirección al núcleo del Salar. No obstante, es necesario destacar que esta es la Laguna que manifiesta sus bordes lagunares más estables en el tiempo del sistema lacustre (Salada-Saladita-Interna). Los mapas de la Figura 6-98 muestran la expansión de abril 2023 comparando dos imágenes satelitales del 2007.

Figura 6-98: Comparación satelital de Salada (Cuerpo principal) entre 2007 y 2023 en los meses de abril. Notar expansión lagunar en dirección noroeste.



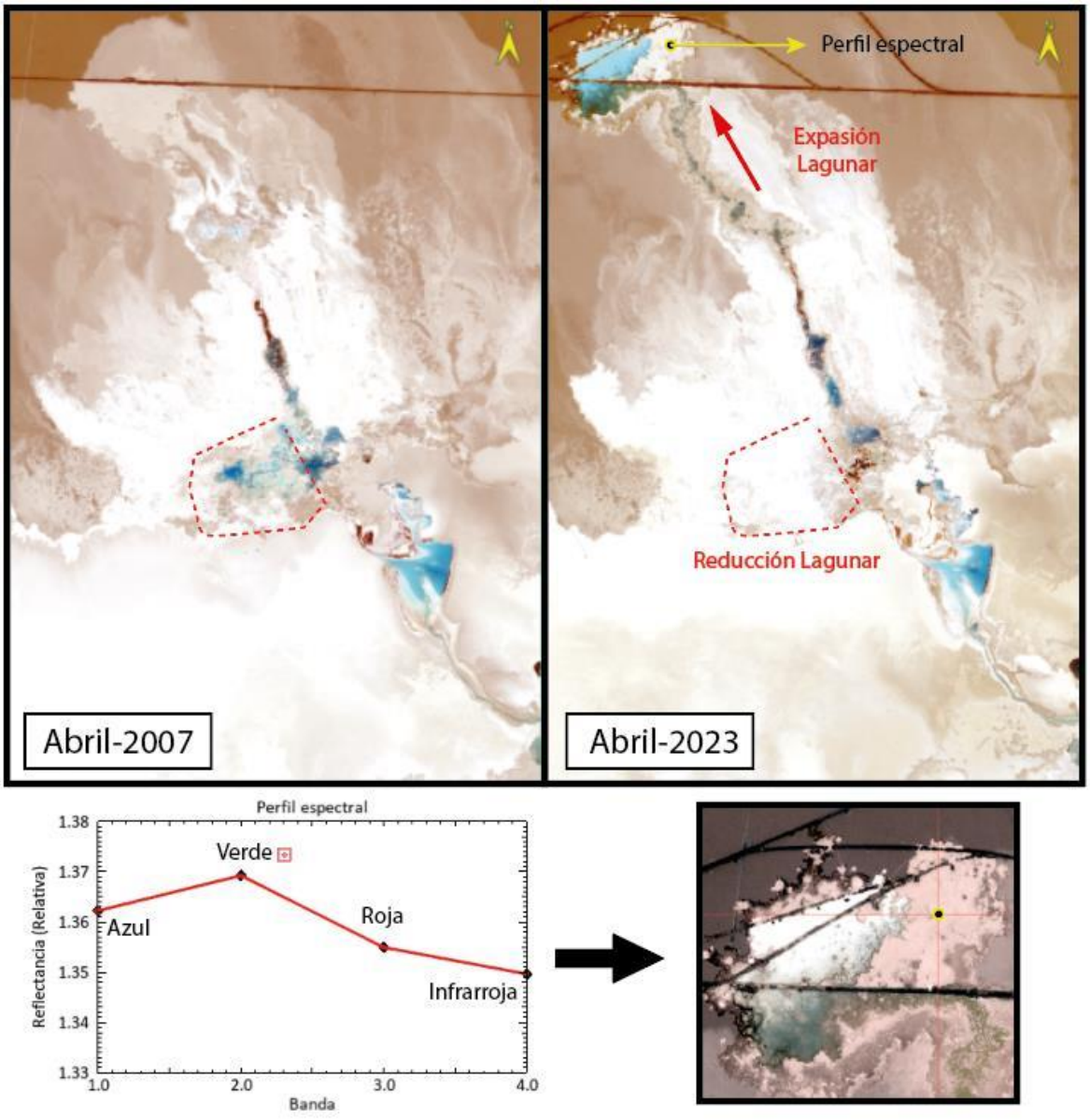
Fuente: SQM, 2023.

Por otra parte, el sistema Saladita-Interna presenta importantes variaciones espaciales de superficie lacustre. Figura 6-99 muestra las principales diferencias tomando como punto comparativo una imagen de abril de 2007. En efecto, es posible identificar: una mayor presencia de agua y migración de

esta con dirección noroeste (similar que, en laguna Salada, Figura 6-98), importantes desbordes en sector aledaño a cuerpo principal de Laguna Saladita y reducción de extensión lagunar hacia el oeste de sector sur de desborde laguna Interna. Es importante mencionar, que zonas cercanas a cuerpo distal de interna muestra similar comportamiento espectral que el agua (alta reflectancia en región verde y baja en infrarrojo) lo que puede ocasionar falsos positivos en la extracción de píxeles de agua. No obstante, esto es rectificado con la toma de puntos de control terreno, así como un correcto ajuste de colores en la imagen satelital.

Desborde Laguna Interna, recibe como entrada aguas provenientes tanto de Salada como Saladita, razón por la cual, los máximos observados ofrecen buena correlación para los años en donde se han reportado eventos anómalos de precipitación (ej. 2015, 2017 y 2019). Además, se debe destacar, que este cuerpo de agua no posee un límite definido, razón por la cual se podría esperar a futuro (con otros eventos de precipitación intensos) una migración de su parte terminal. Dicha zona, al estar en el nivel base del sistema lacustre es esperable que este más propensa a evaporarse debido a su menor canalización y bajo espesor de la película de agua, generando así una costra salina predominante, lo que, a su vez, es una superficie para tener en consideración a filtrar mediante el uso de índices espectrales.

Figura 6-99: Comparación satelital de Saladita y Desborde Laguna Interna entre 2007 y 2023 en los meses de abril. Notar expansión lagunar en dirección noroeste, así como una reducción lagunar de Desborde Interna hacia el oeste.

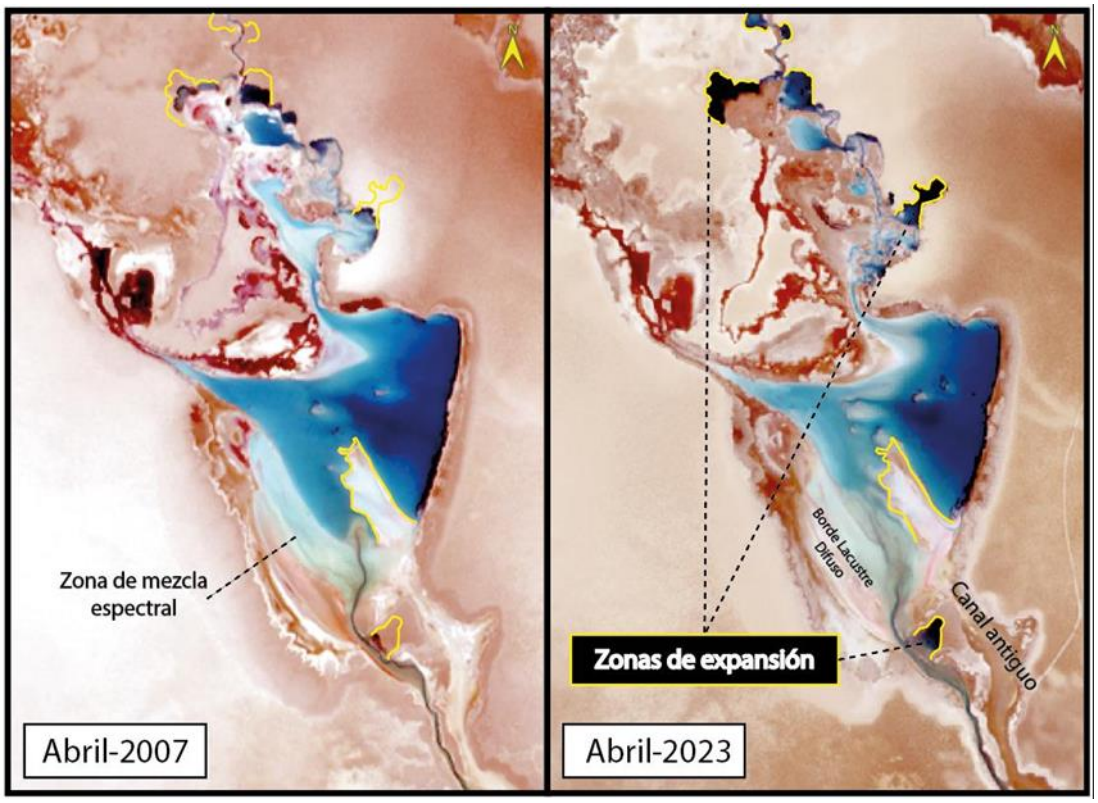


Fuente: SQM, 2023.

Bajo este contexto, la alta variabilidad de extensión lacustre en laguna Saladita puede explicarse en primer orden por dos hipótesis no excluyentes. La primera se relaciona con una elevada probabilidad de sedimentación activa hacia la zona deltaica o entrada de agua proveniente de laguna Salada; esto no solo se manifiesta por efectos de mezcla espectral en bordes lacustres difusos (Figura 6-100), sino también por el crecimiento de sectores asociados a islas o barras tipo penínsulas (notar zonas

interiores de cuerpo principal). La segunda hipótesis está relacionada con un aumento de sectores de desbordes discretos aledaños al cuerpo principal. Estos sectores, al estar fuera de los límites definidos por la mesa técnica del año 2010, no se han contabilizado históricamente como área de Saladita, dado que se reporta el cuerpo principal.

Figura 6-100: Comparación satelital de cambios observados en sector de Saladita entre año 2007 y 2023 (meses de abril). Notar bordes difusos o límites no definidos en sector suroeste de laguna, así como zonas de expansiones discretas de superficie lacustre (líneas amarillas).



Fuente: SQM, 2023.

6.1.4.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado en el segundo semestre de 2023 en el Sistema Peine, tanto en el agua superficial, como en el agua subterránea en comparación con su evolución histórica. Como se mencionó en la sección 5, no existen límites establecidos para los distintos parámetros monitoreados (normativos o de línea de base).

Como ya se ha descrito en emisiones previas de este informe (PSAH N°28 de 2020), no se pudo acceder a algunos puntos de control de este sistema con la frecuencia adecuada en el periodo 2018 a 2020[34]. Sin embargo, desde enero 2021 se ha podido ingresar a realizar los monitoreos periódicos al área contando con registros hasta la fecha.

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

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

1. Los valores de los Límite Detección o Límite de Cuantificación se presentan en los gráficos como LD o LM, y con la etiqueta "<" o ">" que indica si este es menor o mayor que el valor respectivamente.
2. En cada gráfico se muestran dos series, cada una de ellas con un color que se relaciona con el eje vertical que le corresponde (de igual color).
3. Los valores validados se muestran con resalte (ver apartado 4.5.8).

6.1.4.3.1 Calidad del agua en pozos de monitoreo

La calidad química del agua subterránea en el sistema Peine es monitoreada en los pozos L10-1, L10-4 y 1028; la evolución histórica de los distintos parámetros en estos pozos se muestra en la Figura 6-101,

[34] Un antecedente relevante asociado a la ejecución del PSAH en el período del presente reporte es la restricción de acceso a las zonas que forman parte de la Reserva Nacional Los Flamencos (en adelante RNF). Mediante Resolución N°56/2019, CONAF4 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 un procedimiento, requisitos y limitaciones para autorizar actividades de monitoreo al interior de la Reserva. A su vez, por motivos de la contingencia sanitaria producida por el COVID-19, el ingreso a las áreas silvestres protegidas, incluyendo la RNF, fue cerrado desde el mes de marzo de 2020 (Resolución Nº 162/2020). Esta medida de restricción de acceso se ha mantenido hasta el final del periodo reportado y se ha traducido en un impacto importante sobre los compromisos del monitoreo del PSAH, Cita del PSAH N°28 de 2020 pag.30.

Figura 6-102 y Figura 6-103[35, 36] respectivamente, y corresponden a: conductividad eléctrica terreno, pH terreno, densidad terreno, conductividad eléctrica, densidad, alcalinidad laboratorio, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales.

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 2023 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 18.707 µS/cm, una densidad promedio de 1,0 g/mL y valores de pH terreno entre 7,45- 8,77. Este pozo se caracteriza por presentar aguas salobres (promedio SDT 10.086 mg/L, Tabla 4-16) 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 29.200-197.300 µS/cm y densidad promedio de 1,1 g/mL, con pH terreno en torno a 7,04-7,91. Se observa desde mediados de 2015 un incremento 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

[35] 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 Environmental hasta julio de 2008, adjuntándose carta explicativa emitida por ALS Environmental, así como un breve análisis.

[36] En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Environmental 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 PSAH N°26).

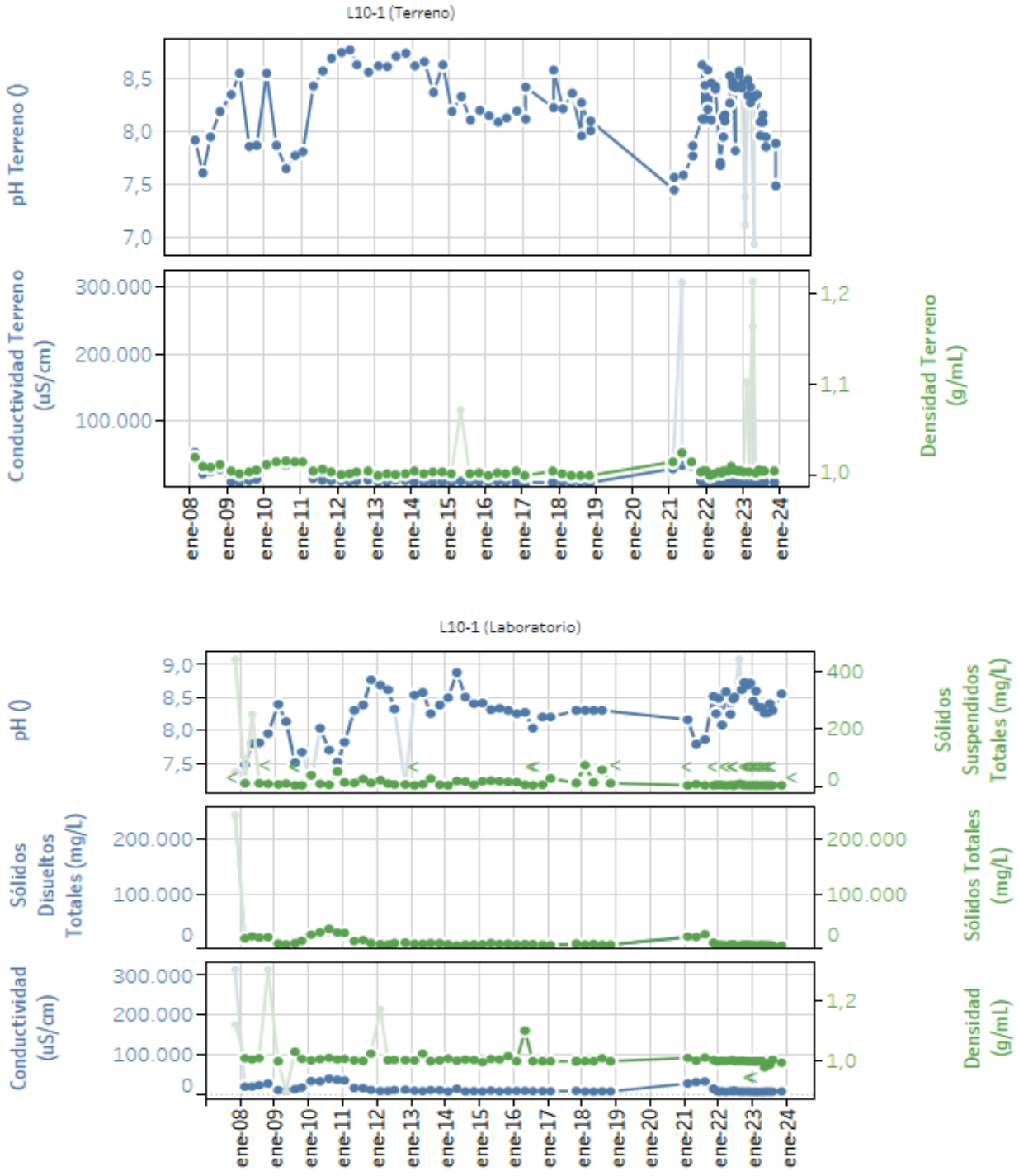
en las aguas, y por ende aumentos de la conductividad eléctrica y densidad. Adicionalmente, se observó el mismo fenómeno de ascenso para los sólidos disueltos totales y sólidos totales.

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 235.000 µS/cm consistente con un agua de tipo salmuera (Tabla 4-16) y densidad promedio de 1,2 g/mL, y un pH en el rango de 6,6-7,54. 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 230.000 mg/L para ambos parámetros, y a partir de esa fecha un aumento del registro de ambos parámetros hasta valores de 396.000 mg/L en el contenido de solidos totales y hasta 238.000 mg/L el contenido de sólidos disueltos totales. Mientras que los valores de sólidos suspendidos totales en promedio se han mantenido estables en torno a los 100 mg/L en el último periodo.

Respecto a las tendencias identificadas:

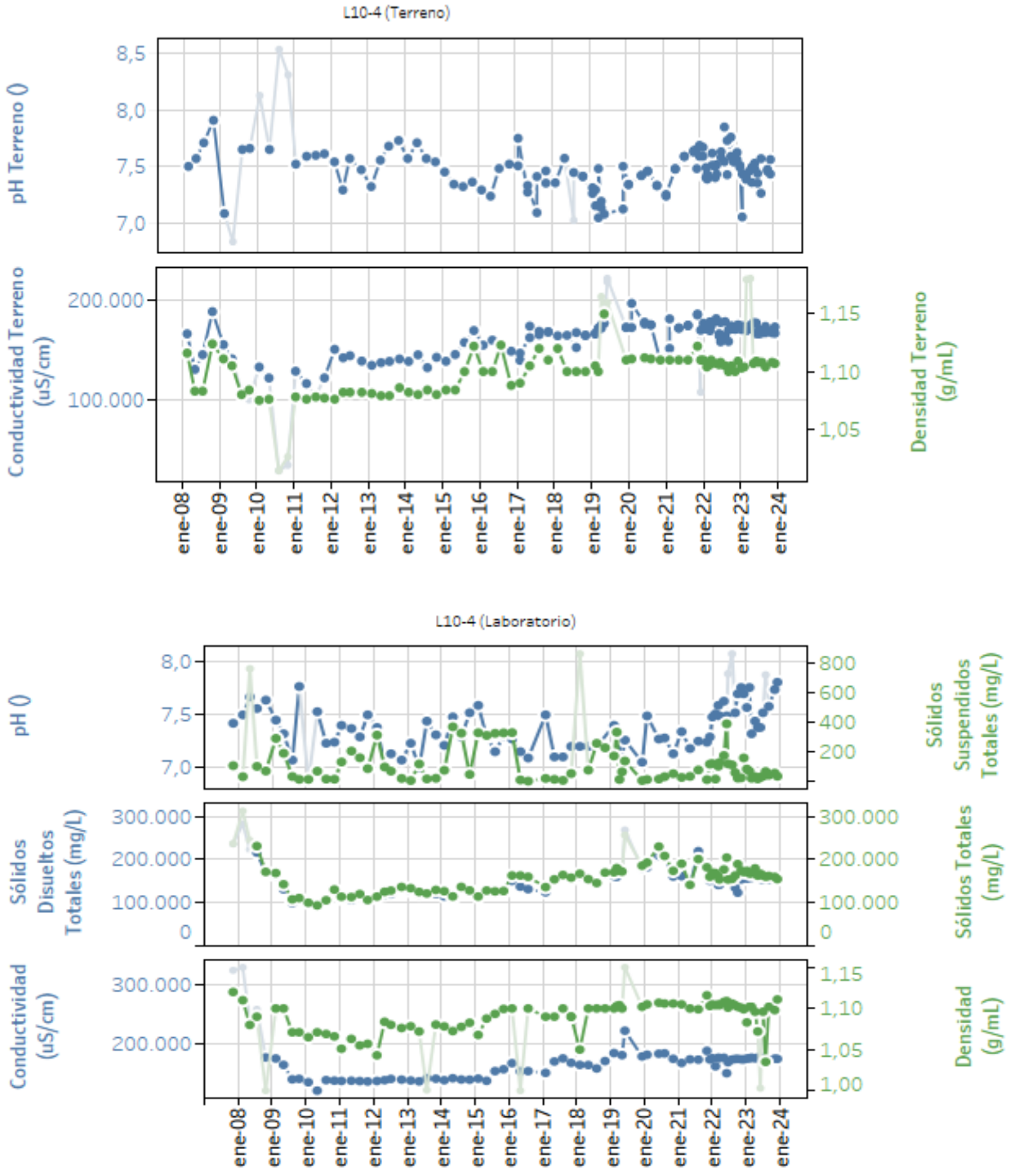
- El pozo L10-1 no presenta variaciones en las tendencias históricas para ninguno de los parámetros analizados.
- El pozo L10-4 presenta una tendencia histórica ascendente para conductividad eléctrica y densidad de terreno y laboratorio y para sólidos disueltos y totales.
- La tendencia histórica creciente 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 N°26 del año 2019.

Figura 6-101: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-1



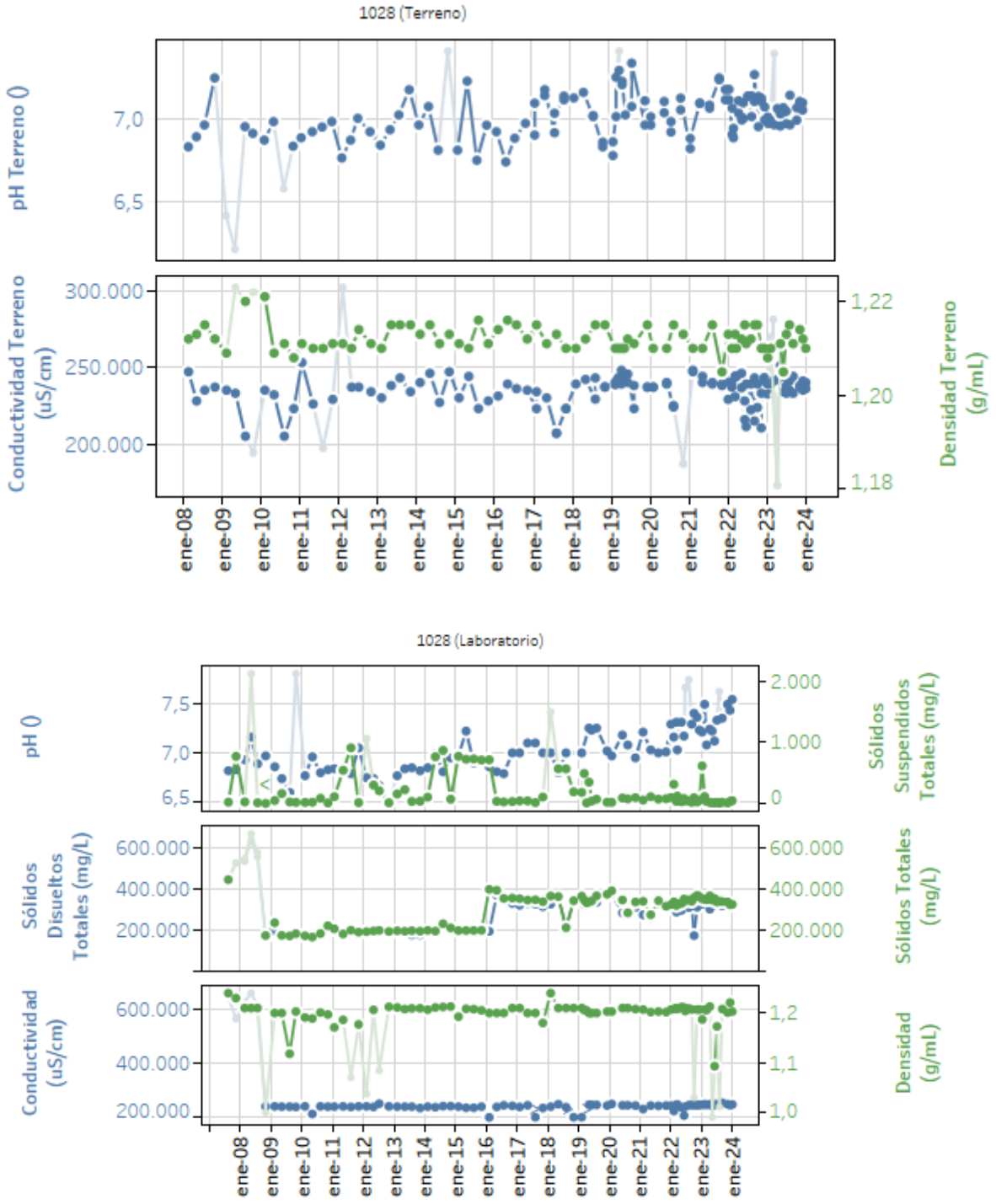
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-102: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-103: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1028



Fuente: Elaboración propia. Los valores >LQ se presentan = LQ y con la etiqueta “>” en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

6.1.4.3.2 Calidad del agua en sistemas lacustres

Durante el segundo semestre del año 2023 fue posible acceder a monitorear las tres lagunas objeto de este análisis, las cuales son las lagunas Interna, Saladita y Salada. En el periodo 2019-2021 no se cuenta con registros debido a las restricciones de las comunidades al acceso al salar (tal y como se detalló en los informes semestrales correspondientes a las fechas indicadas), únicamente resultó posible acceder a muestrear en Salada en mayo de 2021. Las Figura 6-104, Figura 6-105 y Figura 6-106, presentan la evolución histórica de los parámetros analizados, los cuales corresponden a: conductividad eléctrica terreno, pH de terreno, temperatura terreno, oxígeno disuelto terreno, dureza total, salinidad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, alcalinidad total ($CaCO_3$), arsénico, bicarbonatos, calcio, carbonatos, cloruro, fosforo, magnesio, N-nitrato, potasio, sílice, sodio y sulfato.

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 2023 para los distintos analitos y puntos se encuentran, en general, dentro del rango histórico registrado.

El pH terreno históricamente se ha registrado en torno a un valor de 8 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 53.000 µS/cm en desborde Interna (característico de agua salada, Tabla 4-16), y en torno a los 45.000 µS/cm en la laguna Saladita y bajo 39.000 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 43.000 mg/L histórico hasta fines de 2018), y disminuye en la laguna Salada (sólidos disueltos totales promedio en torno a los 34.000 mg/L histórico hasta fines de 2018). Para la salinidad, se observa la laguna Interna con registros promedio en el último periodo en torno a 26%, aunque la medición de octubre de 2023 fue menor a 10%; y las lagunas Saladita y Salada en torno a 27% y 26%, 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, observándose un aumento en el último semestre de 2023 hasta 8,56 mg/l en laguna Salada. 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 2023.

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.

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 6-104: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada

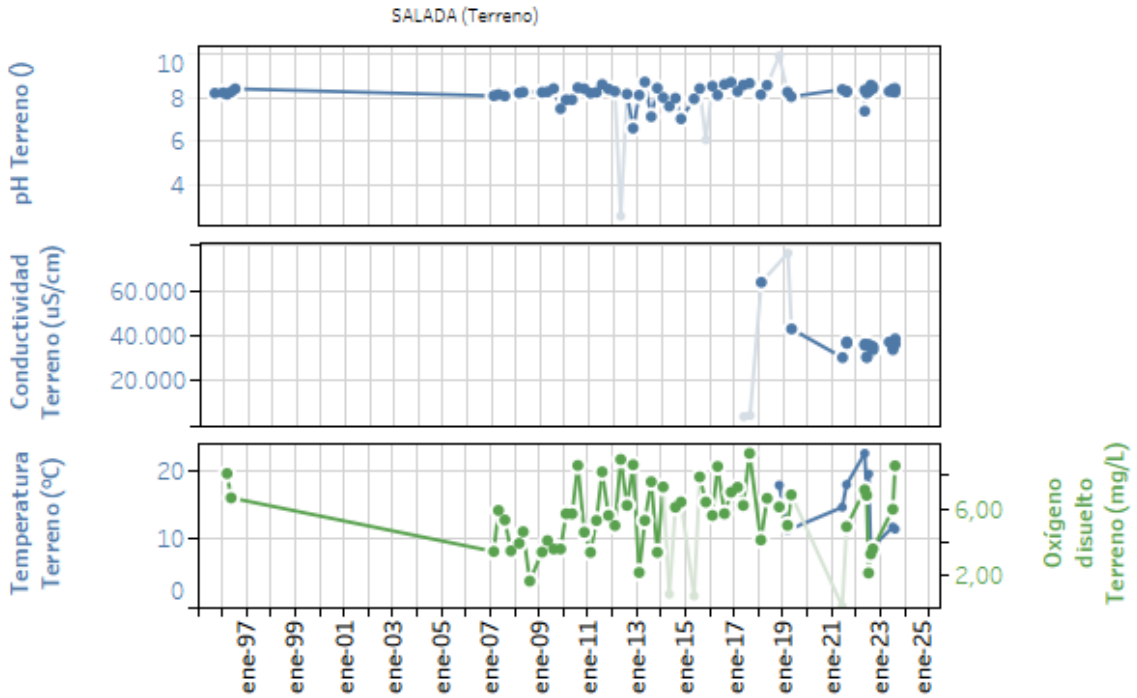


Figura 6-104 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada

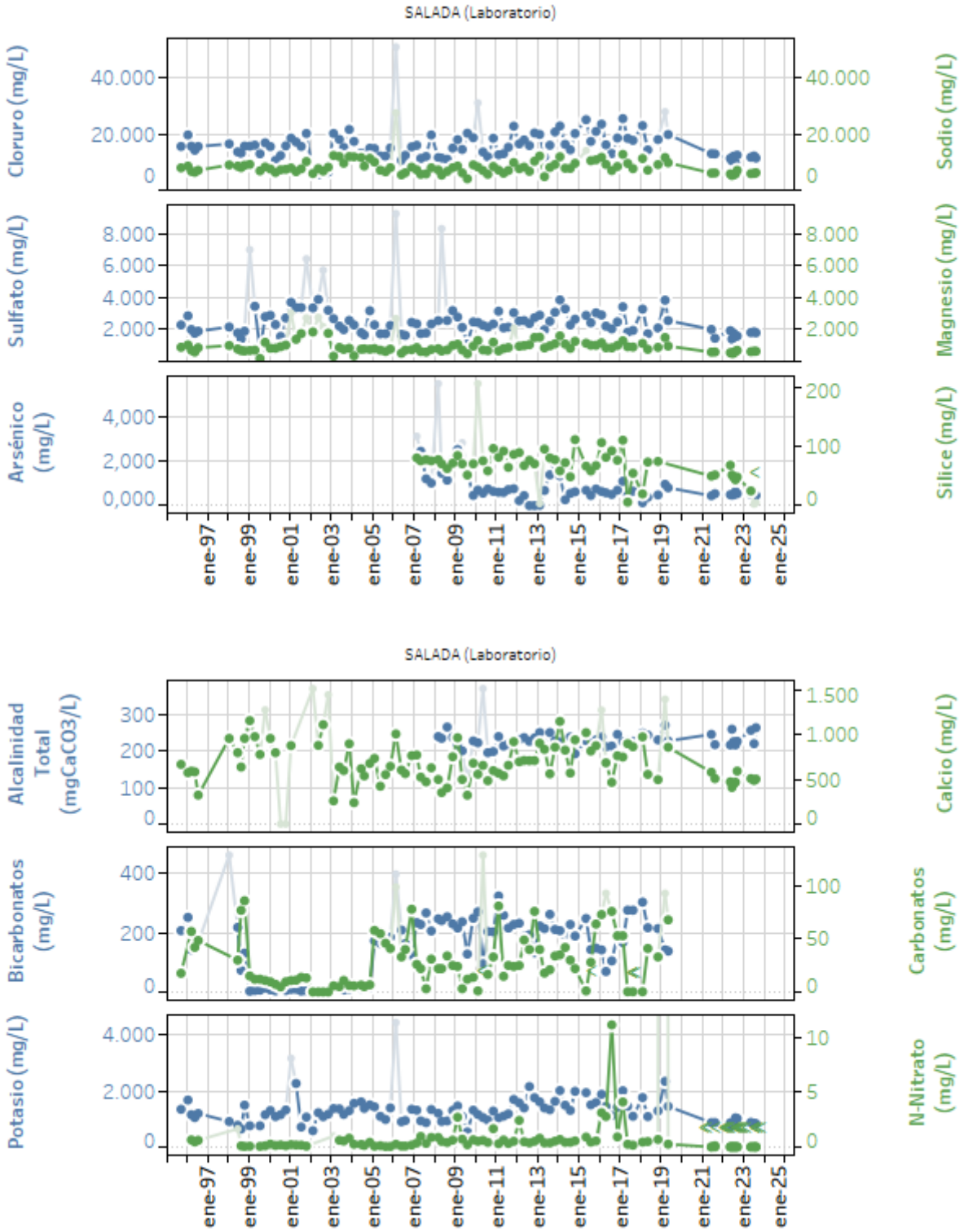
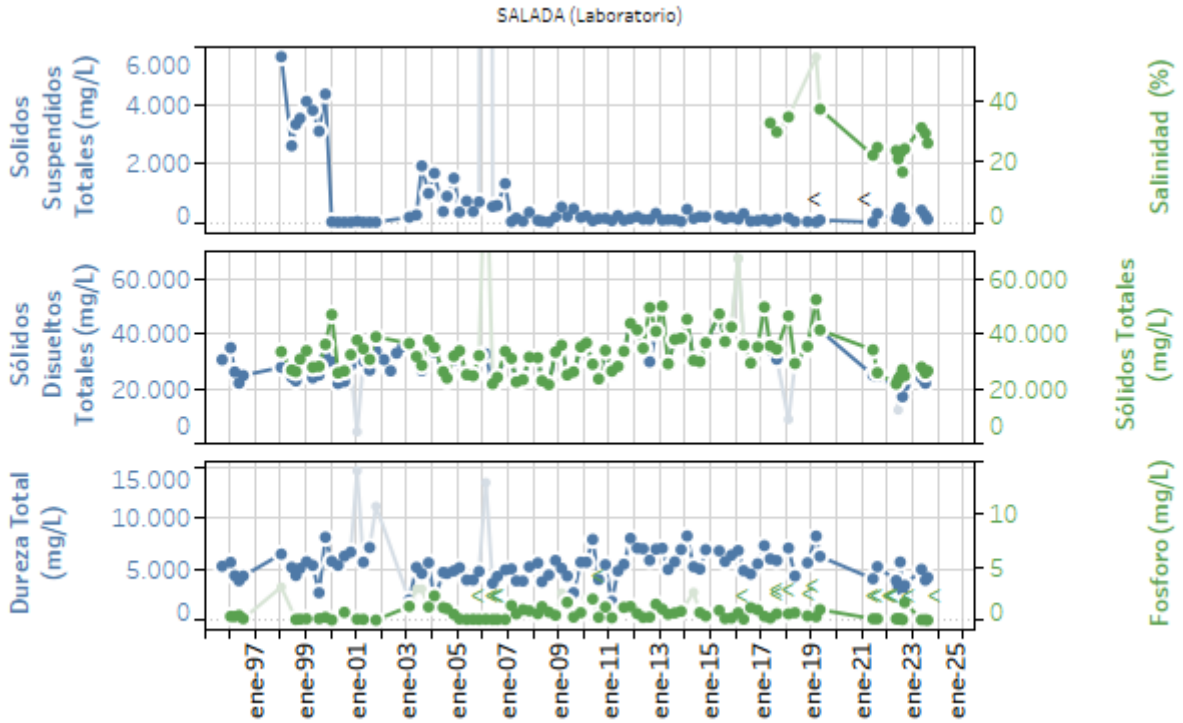


Figura 6-104 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada



Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala, se han omitido del gráfico los valores para febrero de 2006 de Sólidos Suspendidos Totales (81.260mg/L) y Sólidos Totales (113.900 mg/L) y el valor de nitrógeno nitrato para febrero de 2019 (657mg/L). Los valores <LD se presentan = LD y con la etiqueta "<" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-105: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Saladita

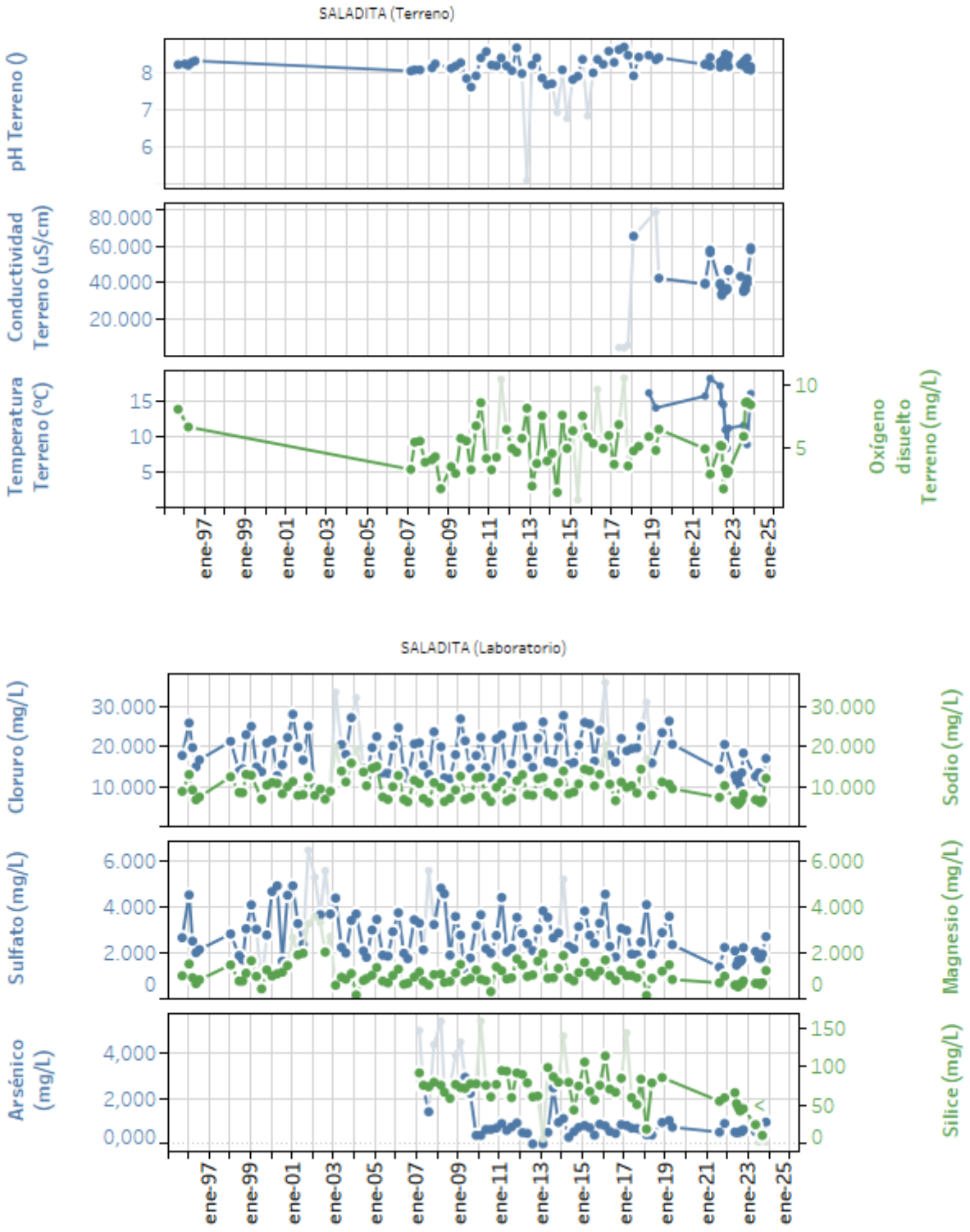
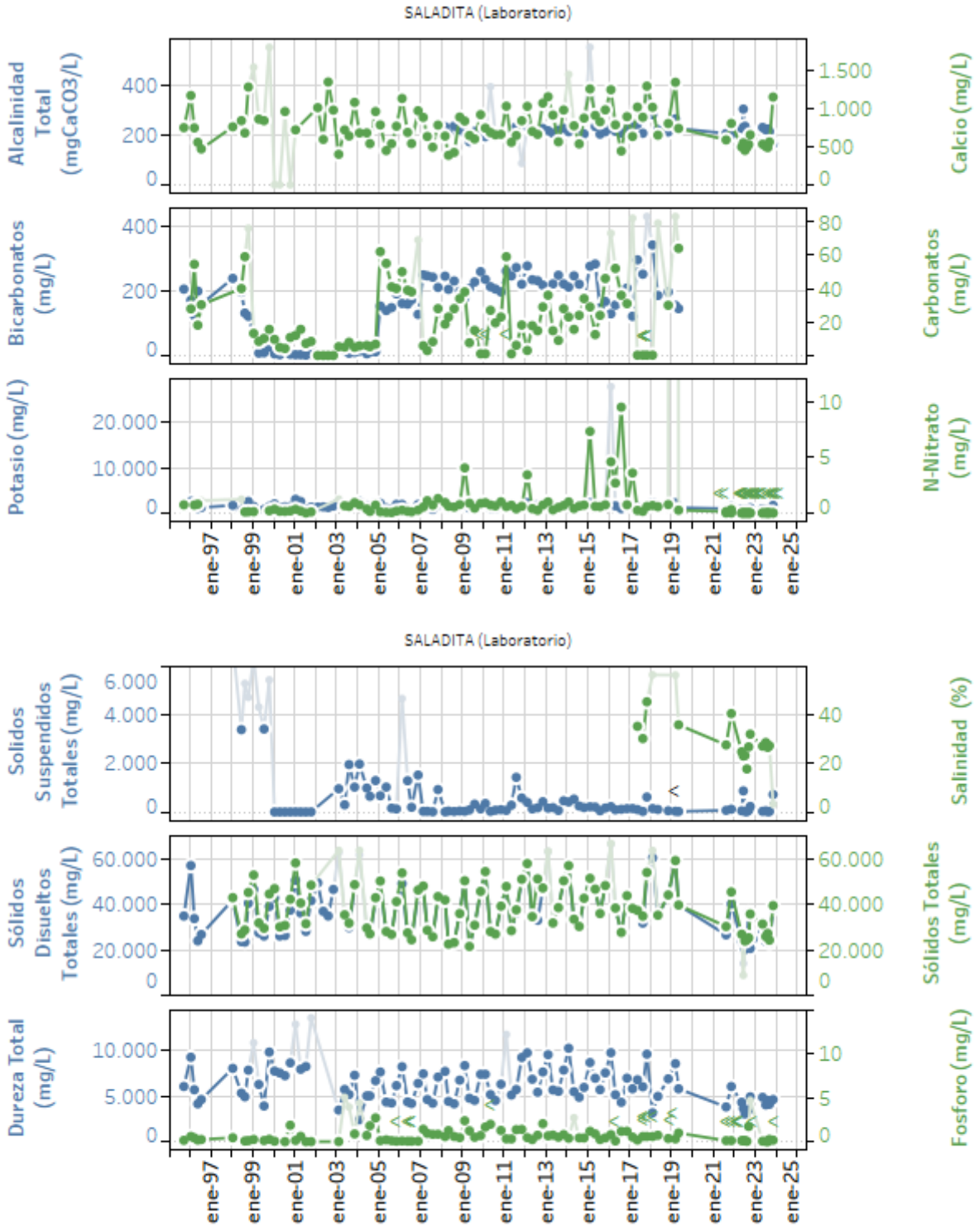


Figura 6-105 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Saladita



Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de nitrógeno nitrato de febrero de 2019 (493mg/L). Los valores <LD se presentan = LD y con la etiqueta "<" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Figura 6-106: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Interna

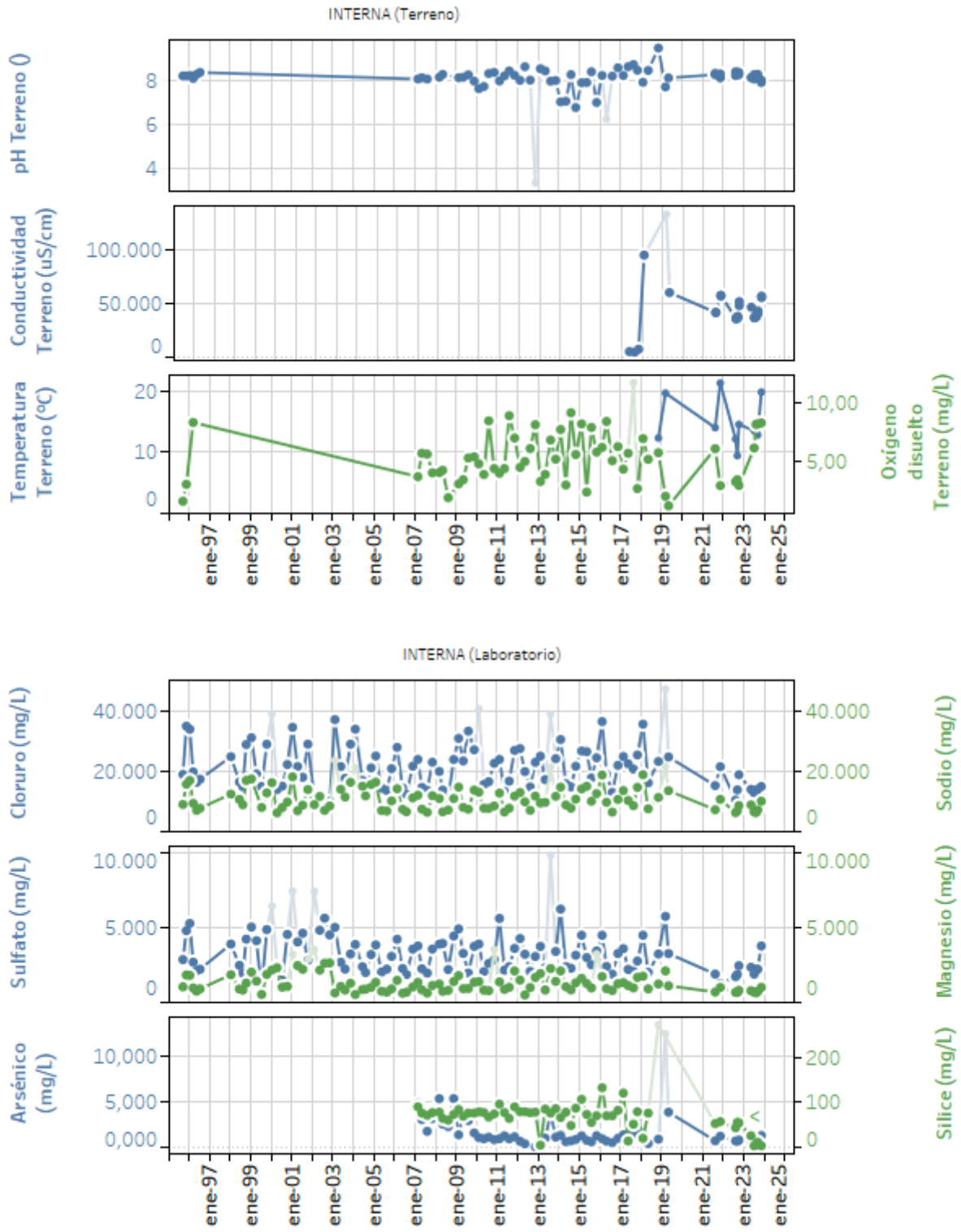
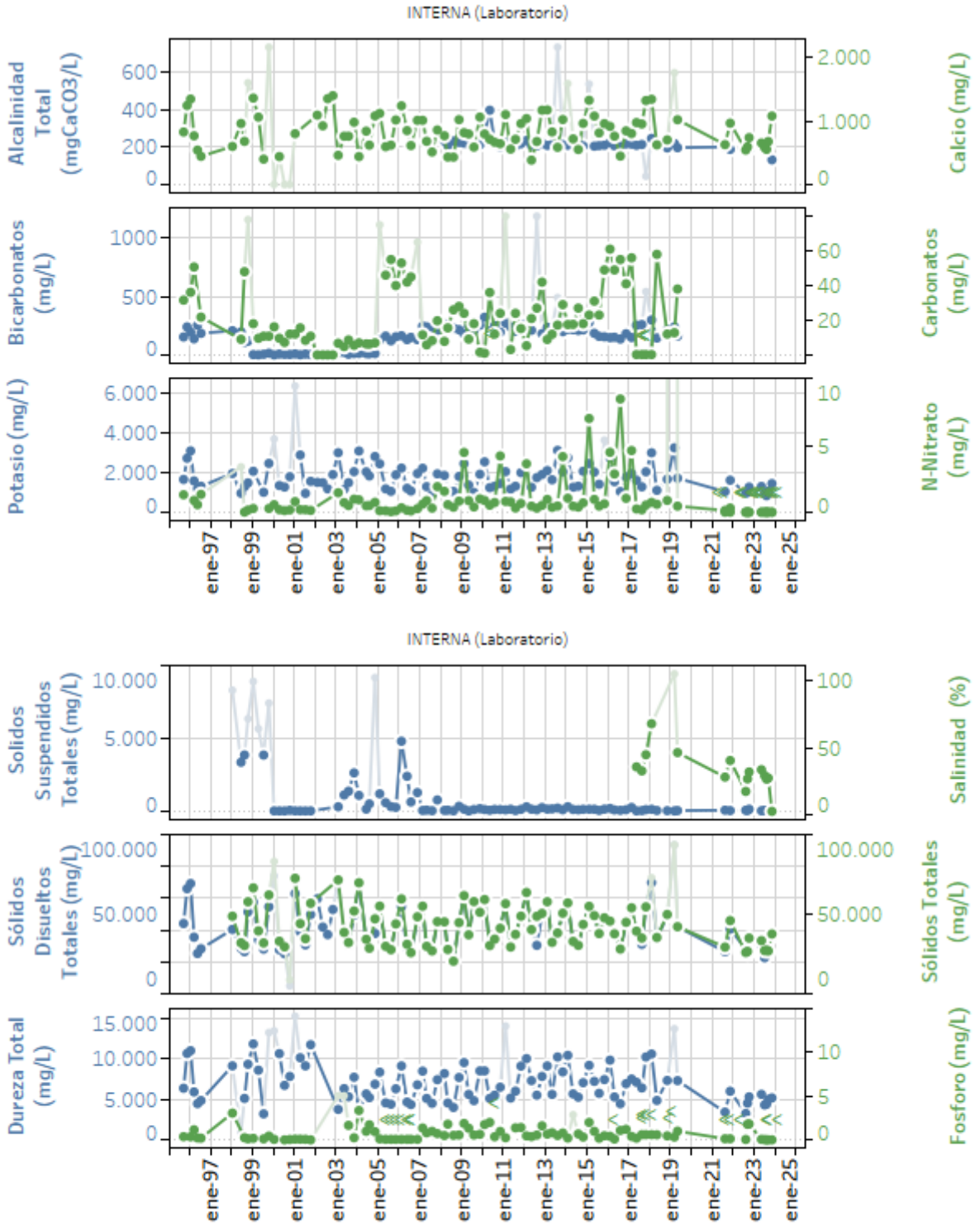


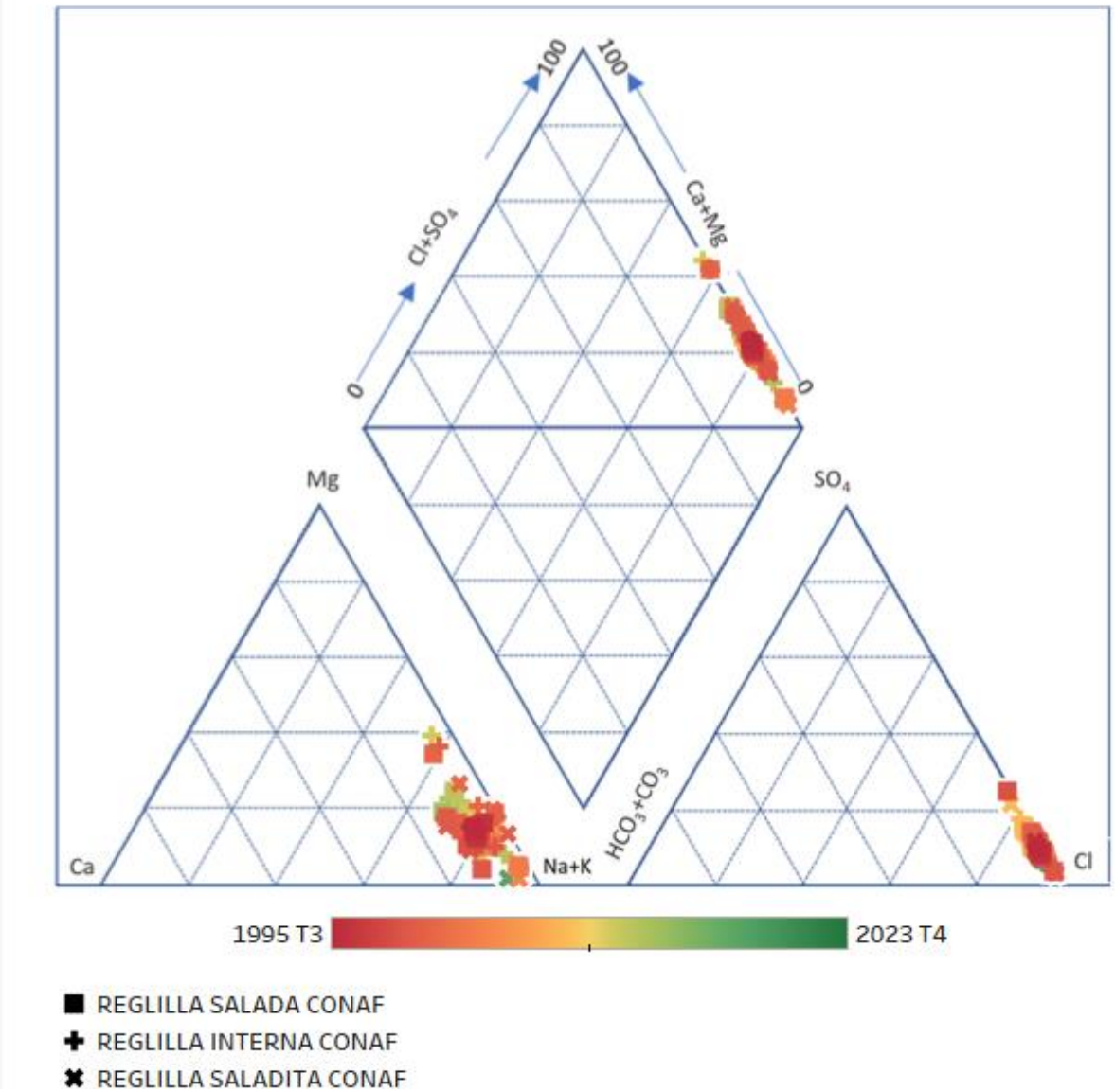
Figura 6-106 **(Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Interna**



Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de nitrógeno nitrato de febrero de 2019 (1062mg/L). Los valores <LD se presentan = LD y con la etiqueta "<" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

En cuanto a las características generales, en la Figura 6-107 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 y no se observa ninguna tendencia en el Piper ni en su evolución, mostrada en las figuras anteriores.

Figura 6-107: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine, con un BI>10%

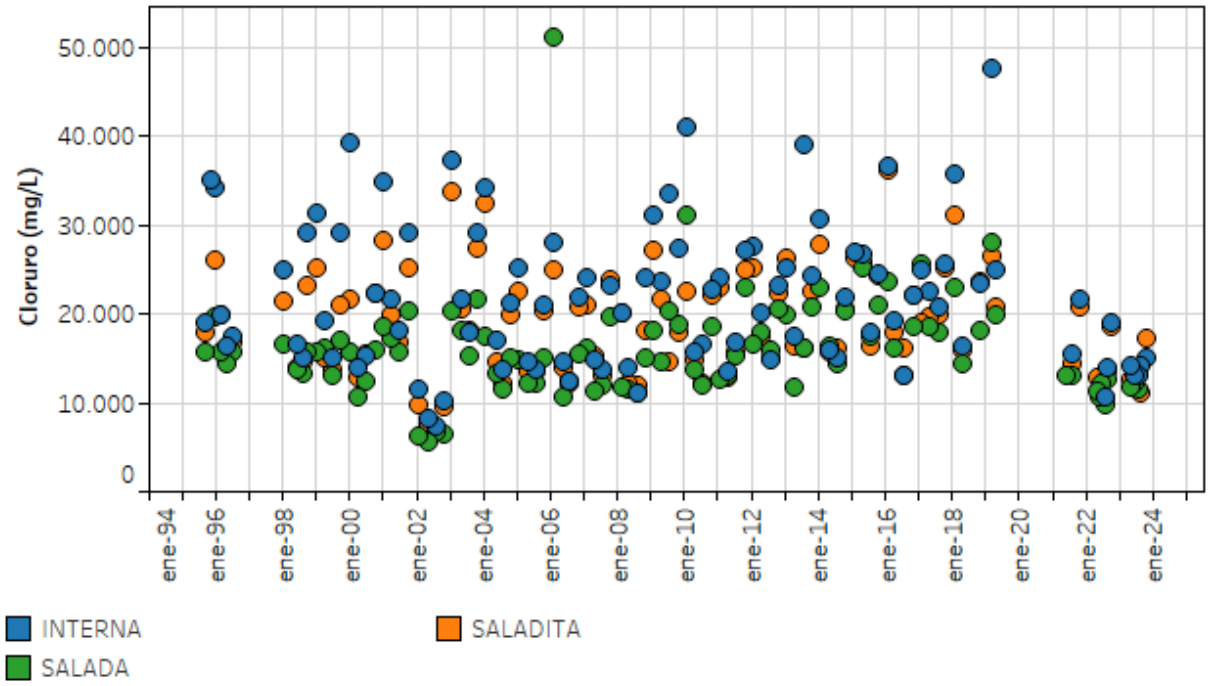


Fuente: Elaboración propia

Además, dado que en el canal que alimenta a las lagunas el flujo es de sureste- noroeste, se produce un enriquecimiento en las concentraciones de cloruro en este mismo sentido (Figura 6-108), 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 6-108: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna



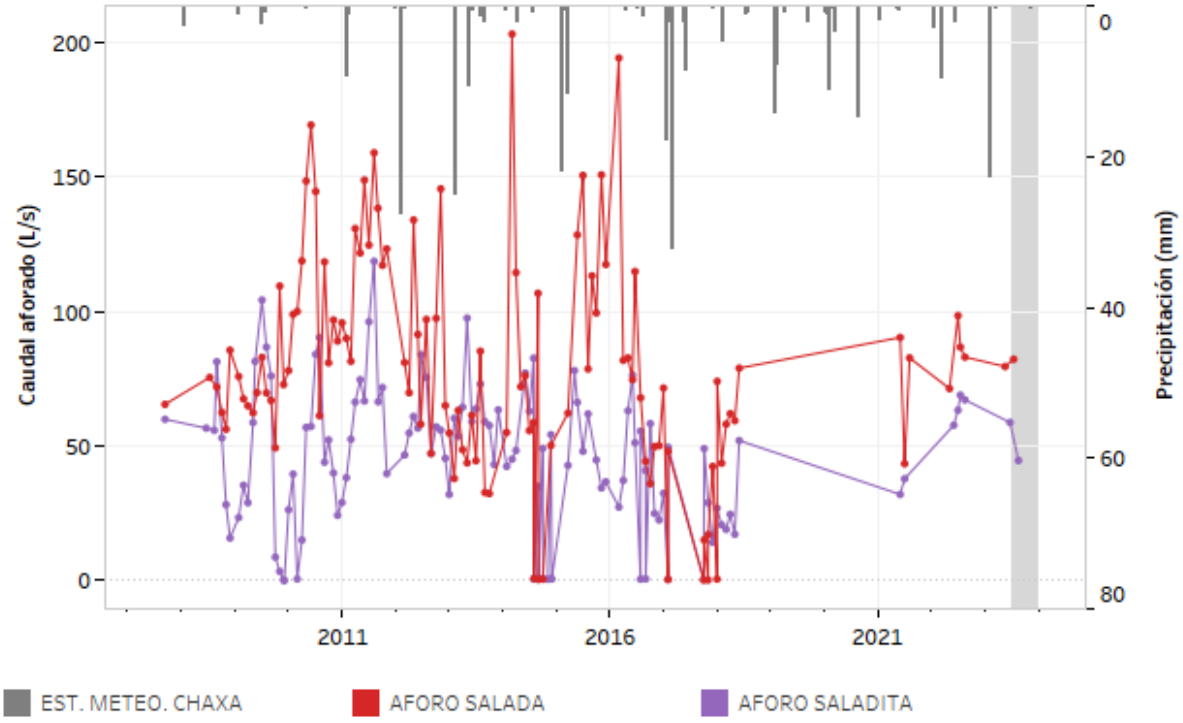
Fuente: Elaboración propia

6.1.4.4 Caudal de recarga superficial (aforos)

La red de monitoreo para la variable caudal superficial del Sistema Peine está compuesta por los puntos de aforo Salada y Saladita, ubicadas en los canales que alimentan dichas lagunas. En la Figura 6-109 se muestran las mediciones realizadas hasta el final del segundo semestre 2023.

Respecto del registro histórico (Figura 6-109), puede observarse cómo aparentemente el aforo Salada muestra una oscilación de una frecuencia mayor al año (no estacional); se intuye haberse reproducido un ciclo entre el año 2008 a 2013 y otro ciclo entre 2014 y 2017. En el año 2017 no se puedo medir con una frecuencia estable y posteriormente (junio 2018) no se pudo seguir visitando, por lo que no es posible asegurar que este comportamiento siga manteniéndose hoy en día. Tampoco es posible determinar las causas de este comportamiento ya que, no se tienen datos suficientes para obtener la frecuencia de los ciclos.

Figura 6-109: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine



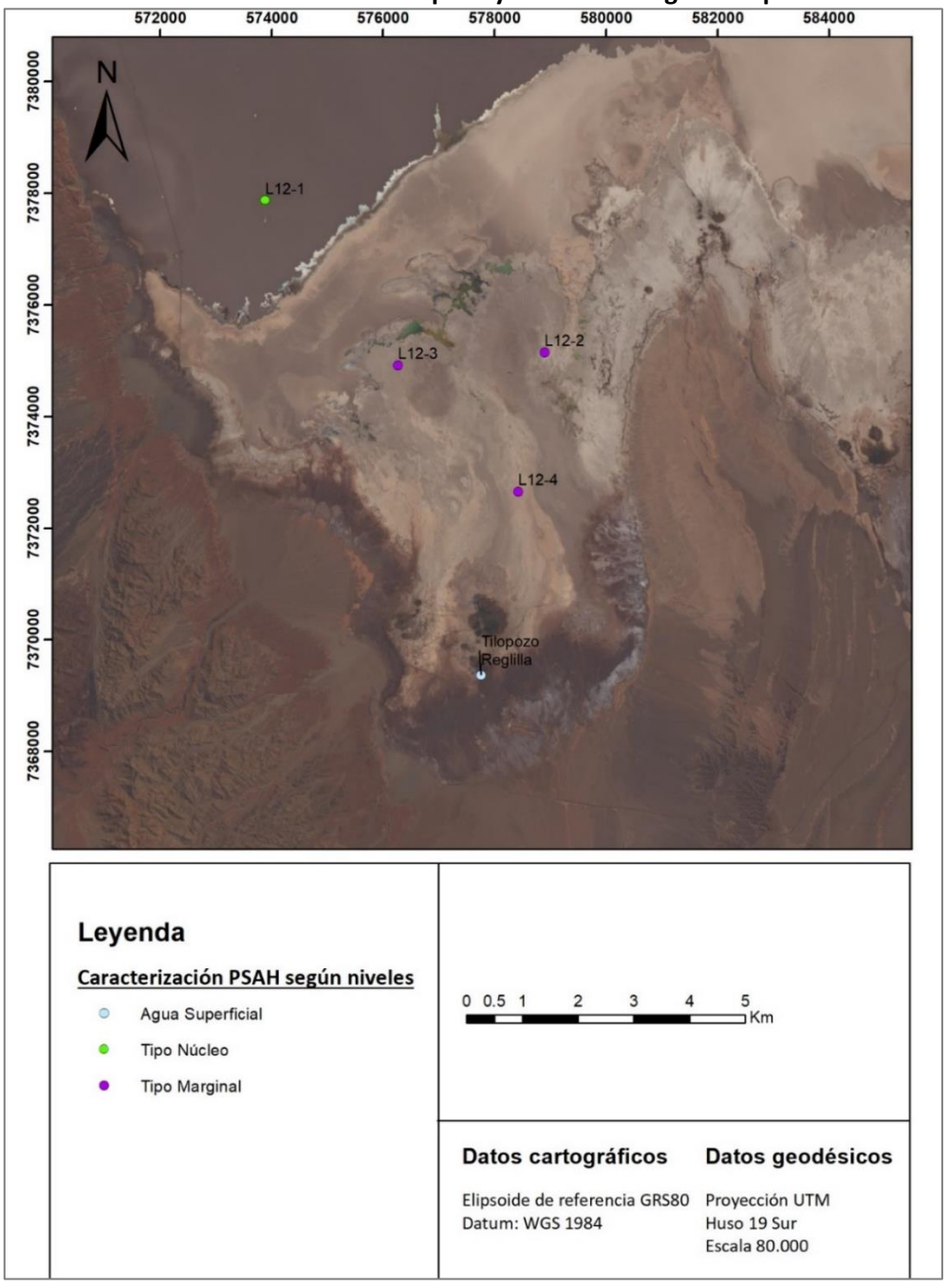
Fuente: Elaboración propia

Respecto el aforo de Saladita, es posible que también se comporte con ciclos de frecuencia menor al año, puesto que parece observarse un solo ciclo en todo el periodo de datos disponible; en el periodo entre 2009 y 2012 se produce una tendencia promedio ascendente y posteriormente, entre 2013 y 2018, la tendencia promedio es descendente, tendencia que se visto aparentemente remontada desde entonces. Dado lo estrecho de la serie de mediciones, no es posible confirmar este comportamiento ni una interpretación que respalde un cambio evidente en la tendencia. Por lo tanto, es necesario disponer de un mayor registro para ir comprobando estas variaciones. Este punto llevaba sin poder ser visitado desde 2018, no fue hasta el primer semestre 2021 donde se volvió a medir en ambas estaciones y durante el segundo semestre de 2023 solo se consiguió una medición, que se situó en el rango histórico de valores reportados para ambas estaciones.

6.1.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

Las observaciones en este sistema tienen por objetivo monitorear el comportamiento de las vegas y bofedales del sector de Tilopozo. En la Figura 6-110 se muestra la infraestructura en esta área.

Figura 6-110: Infraestructura en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de niveles



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

6.1.5.1 Niveles de agua subterránea y superficial

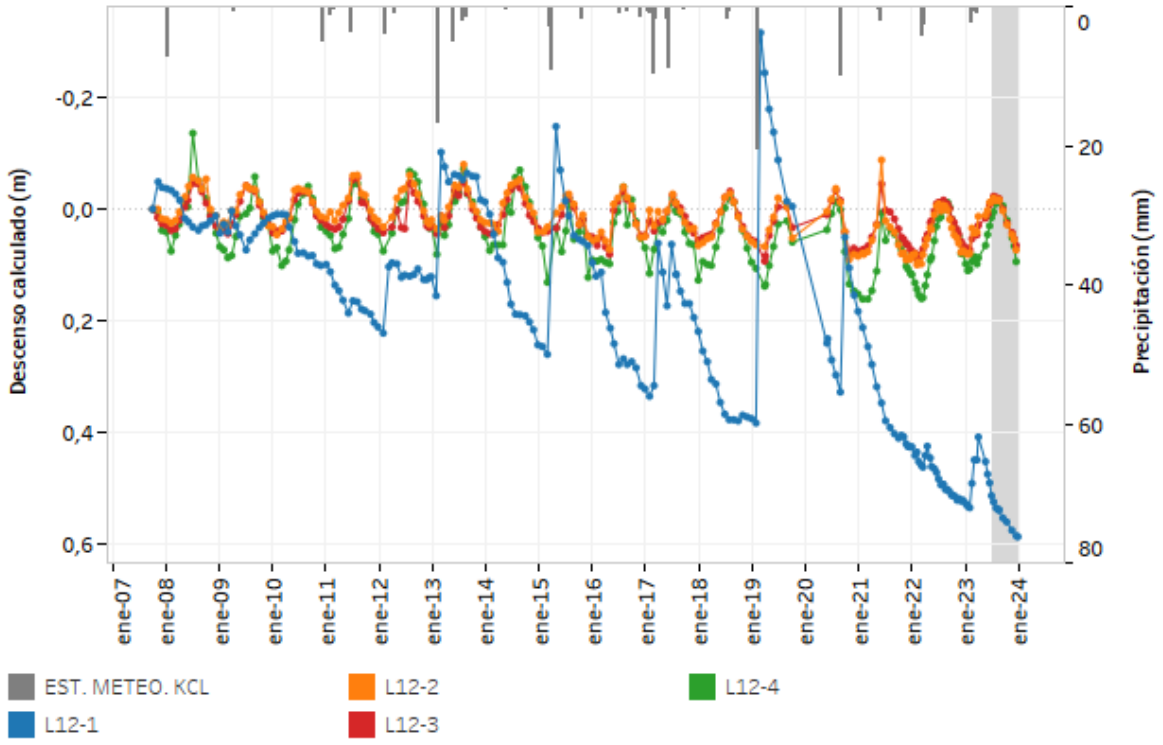
6.1.5.1.1 Pozos en zona marginal y núcleo

Los puntos de control en la zona marginal y núcleo corresponden al L12-1, L12-2, L12-3 y L12-4. En Figura 6-111 se muestran los descensos calculados, los que permiten reconocer mejor los patrones de comportamiento en comparación a los niveles, puesto que existen diferencias importantes de cotas en este grupo de pozos.

Como puede verse en la Figura 6-111, los puntos L12-2, L12-3 y L12-4 muestran una oscilación estacional bastante regular, propia de la zona marginal. Previo al año 2014, el promedio de los niveles se mantenía estable sin tendencias (de ascenso o descenso). A partir de 2014, se observa que los niveles reproducen un descenso promedio con una tasa de entre 0,5 y 0,9 cm/año. Sin embargo, a partir de 2021, se intuye como la tendencia en los tres casos se revierte y asciende; puede verse, por ejemplo, que los mínimos estacionales de los últimos años (2022 y 2023) se han estado produciendo cada vez en cotas más elevadas, las tasas obtenidas serían de entre 1,6 y 3 cm/año.

Por otro lado, se observa en la misma figura que el punto L12-1 muestra un comportamiento diferenciado al resto de los puntos graficados, refleja el comportamiento esperado para un punto situado en el núcleo; sin oscilación estacional, con respuesta inmediata y clara ante los eventos de lluvia y una tasa característica de descenso, de unos 3 cm/año. Cabe mencionar que, en el último período, desde febrero de 2019 hasta la actualidad se distingue un régimen de descenso caracterizado por una pendiente más pronunciada, con una tasa de casi 14 cm/año. Respecto a esto último, el descenso más marcado se vincularía con el aumento en la tasa de extracción de Albermarle. Al cierre del segundo semestre de 2023, el punto muestra la esperada respuesta a los eventos de precipitación registrados durante el año.

Figura 6-111: Descensos calculados en los puntos de la zona marginal y núcleo del sector Vegas de Tilopozo

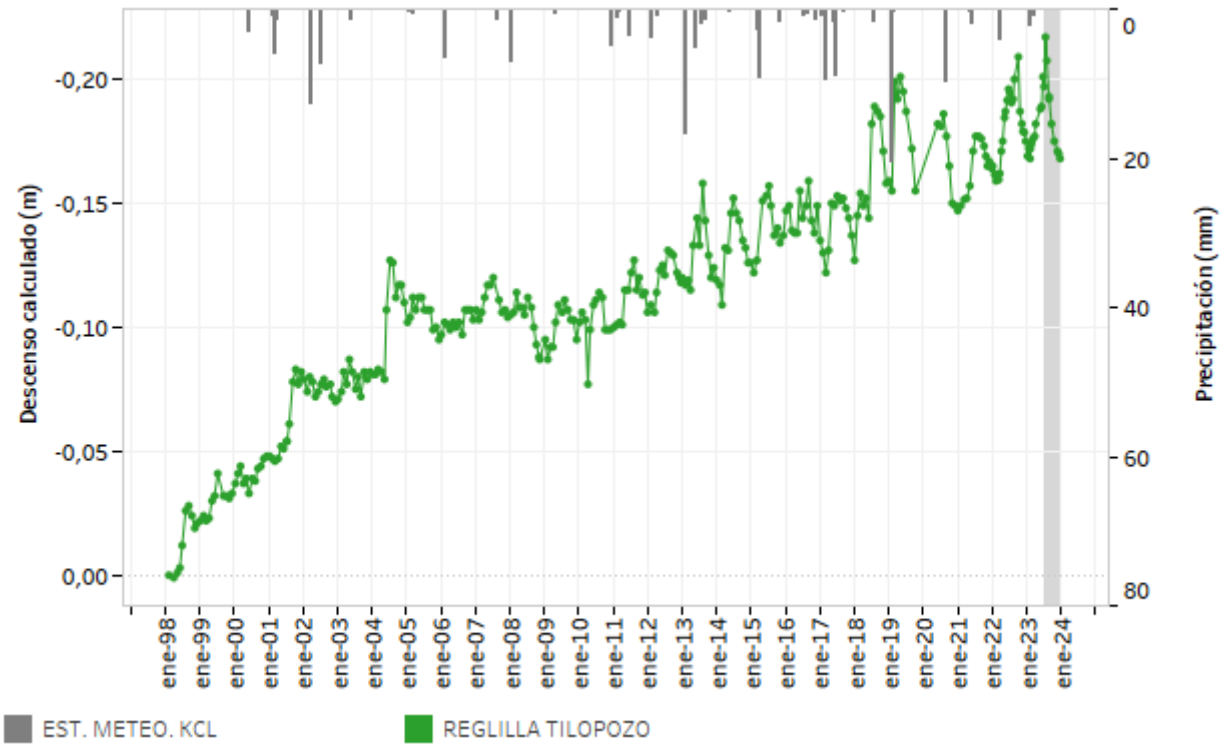


Fuente: Elaboración propia.

6.1.5.1.2 Nivel de agua superficial

Para monitorear el nivel del agua superficial en el sector se dispone de la reglilla Tilopozo, los niveles históricos registrados se muestran en la Figura 6-112. En el gráfico se observa que el nivel del agua superficial presenta fluctuaciones en el tiempo, pero con una clara tendencia de ascenso desde el inicio de las mediciones (2008) hasta la actualidad. La tasa ha ido variando levemente en el tiempo, pero si se considera el último período de entre 2008 y finales del segundo semestre 2023, se tiene una pendiente ascendente de 0,6 cm/año.

Figura 6-112: Niveles medidos en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo

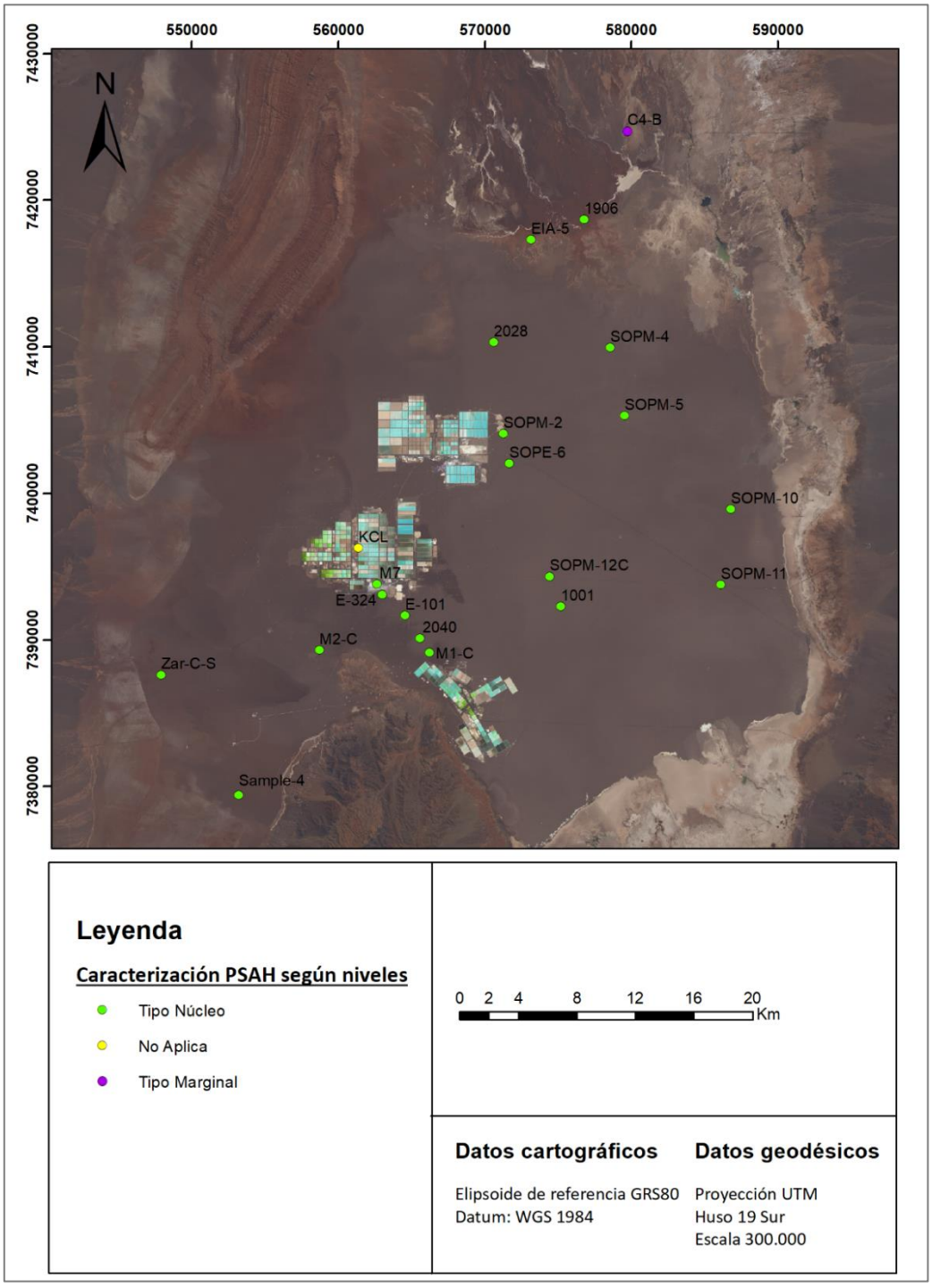


Fuente: Elaboración propia.

6.1.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

En este capítulo se describe la infraestructura situada en el Núcleo, la que incluye también la estación meteorológica KCL (ver Figura 6-113).

Figura 6-113: Infraestructura englobada en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles



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

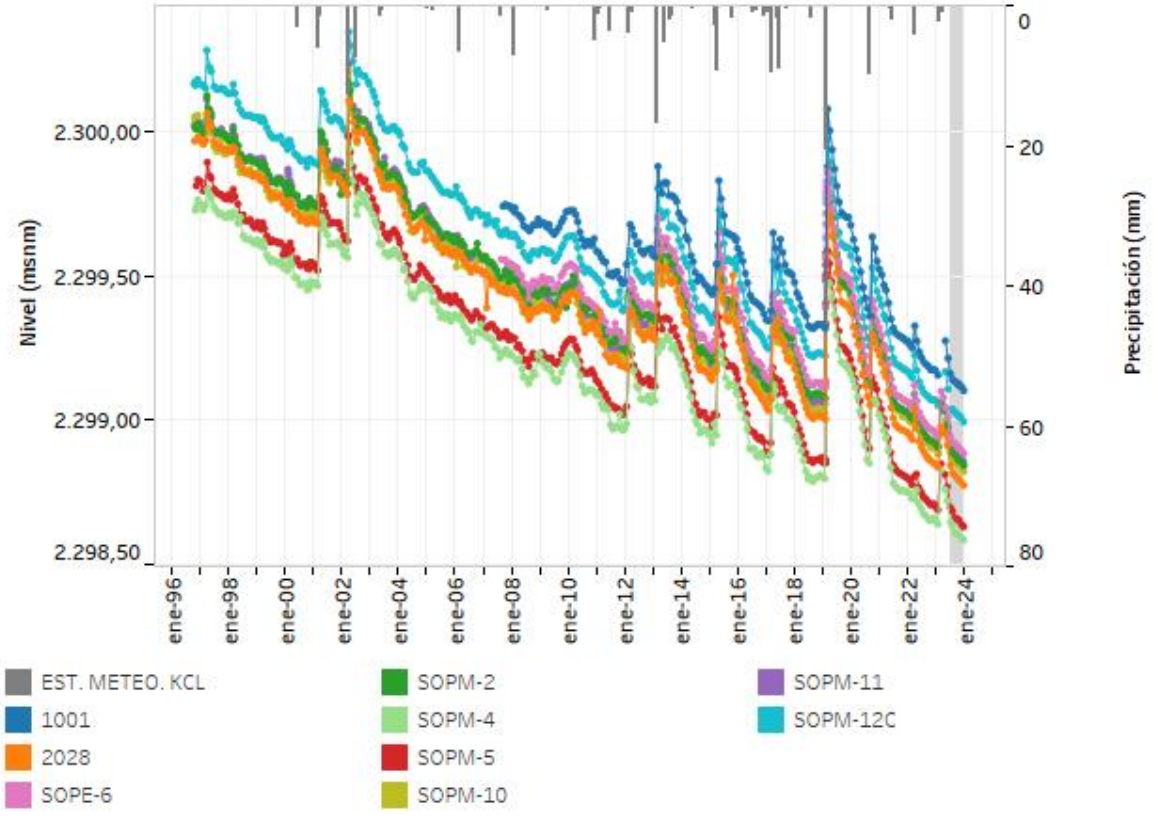
6.1.6.1 Niveles de agua subterránea

Los pozos que se encuentran ubicados en el sector Núcleo del Salar de Atacama (ver 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. Se muestran en la Figura 6-114.
- Pozos ubicados entre las pozas de SQM y de ALB: M7, E-324, E-101, 2040, M1-C. Se muestran en la Figura 6-115 y Figura 6-116.
- Pozos ubicados al Oeste del salar: M2-C, Zar-C-S y Sample-4. Se muestran en la Figura 6-117.
- Pozos ubicados al Norte del Salar: EIA-5, 1906 y C4-B. se muestran en la Figura 6-118 y en la Figura 6-119.

Respecto los puntos que se encuentran en el borde este del núcleo del salar (Figura 6-114) se observa que presentan el comportamiento asociado al núcleo de la misma forma que se ha identificado en todos los otros sistemas; los niveles muestran un descenso continuo que sólo se recupera en los episodios de precipitación. Precisamente, a inicios del 2023, se observa la respuesta de todos los puntos de este grupo a los eventos de precipitación que se han registrado mientras que a fines de este mismo año se observa la misma tendencia de descenso histórica.

Figura 6-114: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del núcleo del salar



Fuente: Elaboración propia.

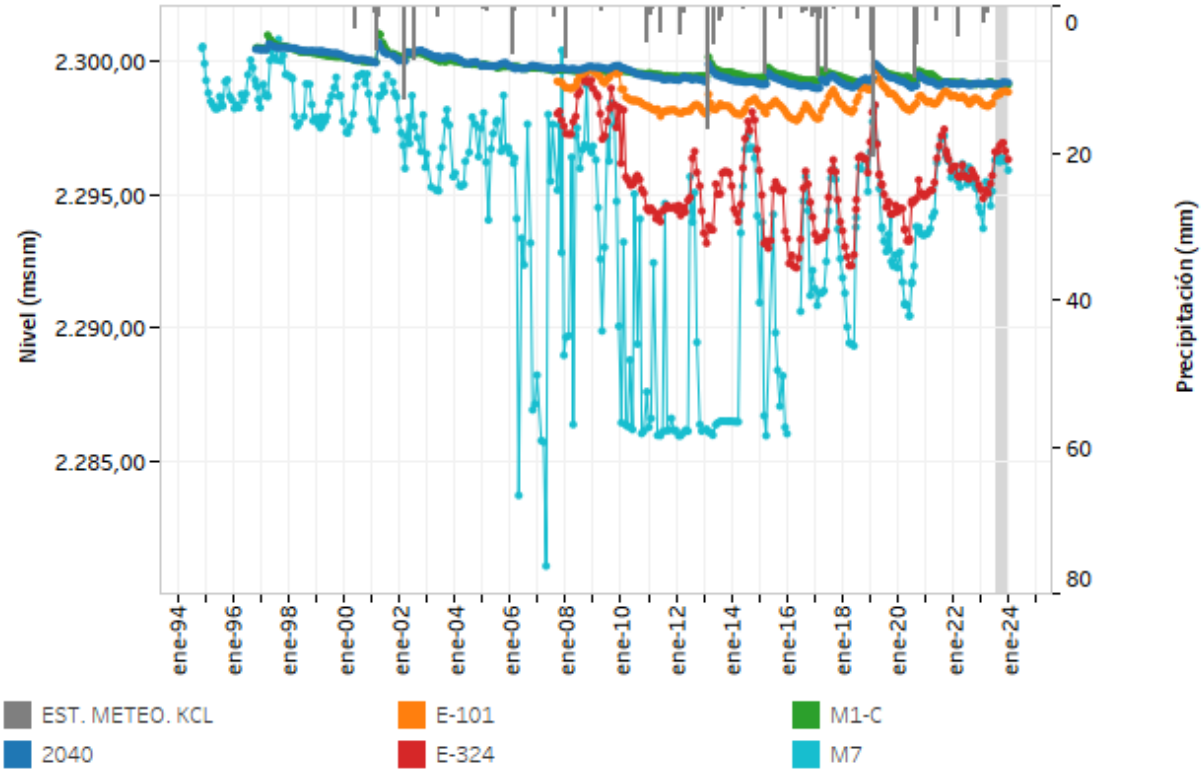
El siguiente grupo que se describe son los que se sitúan sobre la transecta entre las pozas de SQM y las de Albemarle y que, por tanto, parte se encuentra sobre el campo de pozos de producción de ese sector. Como puede verse en la Figura 6-115, los niveles de los puntos M7 y E-324, que son los que encuentran más cercanos a las pozas de SQM (se usa su ubicación a modo de referencia espacial), presentan fluctuaciones irregulares, sujetas al manejo operativo de los pozos productivos. A pesar de esto, al menos desde mayo de 2018 hasta diciembre de 2023 se observa una aparente tendencia de ascenso, diferenciada más claramente en los registros mínimos.

El punto E-101 se ubica equidistante entre ambas pozas y, el 2040 y M1-C son los más cercanos a las pozas de Albemarle; los niveles de éstos tres puntos se muestran de nuevo en la Figura 6-116, que permite distinguir mejor sus comportamientos. Puede verse como el E-101 presenta oscilaciones similares a los puntos 2040 y E-324, pero en menor proporción (amplitudes menores y nivel ubicado a una cota mayor), por lo que podría interpretarse que este pozo responde de forma residual al manejo

operacional del campo de pozos. Y, finalmente, los puntos 2040 y M1-C, no estarían tan relacionados con el manejo operacional, pero muestran un comportamiento con una clara tendencia de descenso y responden a los eventos de lluvia que estarían produciendo una recarga directa sobre esta área.

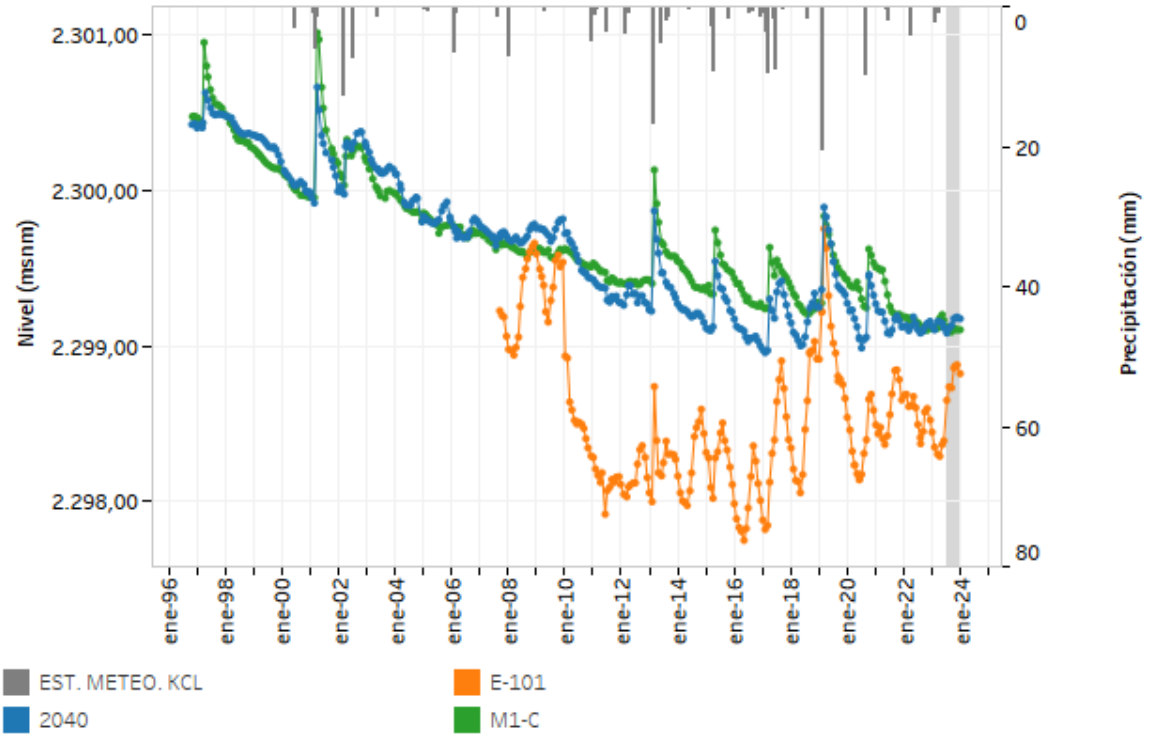
Las medidas para el segundo semestre de 2023 muestran que se mantiene el comportamiento descrito anteriormente para todos los puntos de este grupo.

Figura 6-115: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-116: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle. Detalle para los puntos 2040, E-101 y M1-C



Fuente: Elaboración propia.

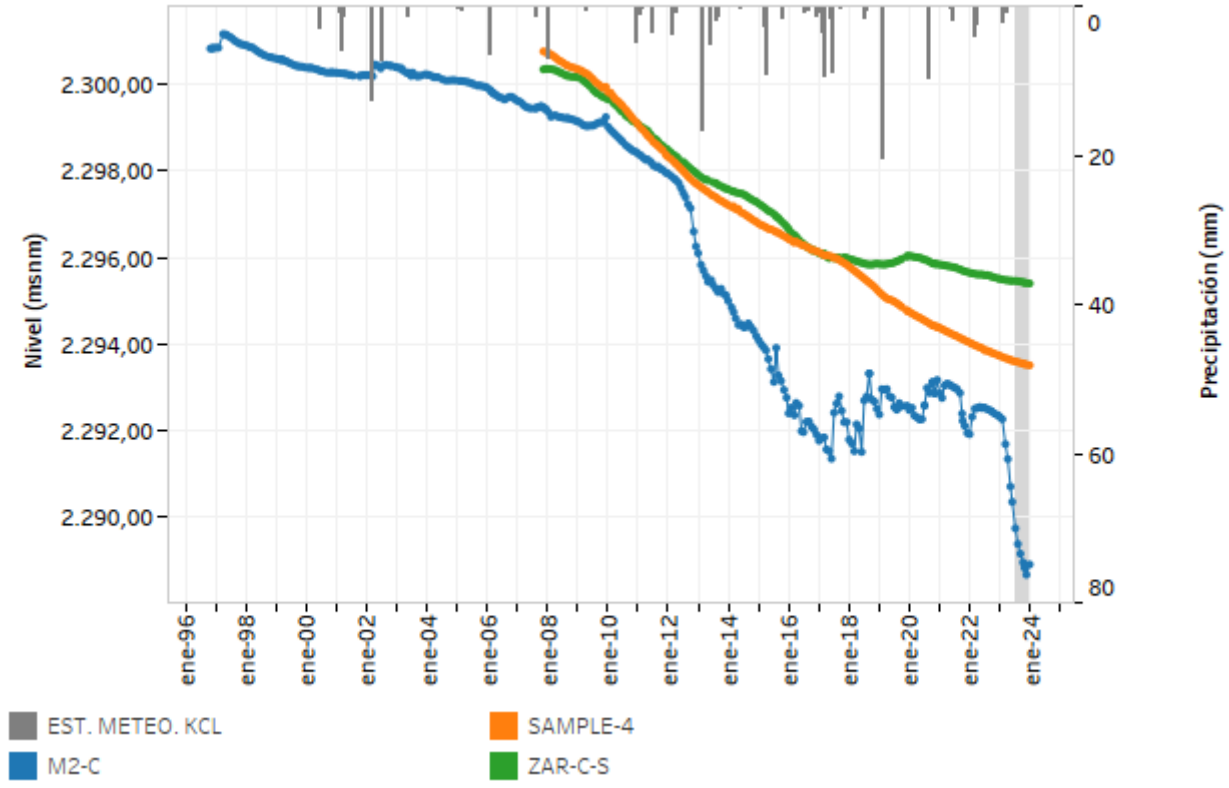
En el borde suroeste del núcleo, al oeste de la península de Chépica, se encuentran los puntos M2-C, Zar-C-S y Sample-4 (Figura 6-117). El M2-C es aquel punto localizado más cercano al campo de pozos, por lo que, como se puede observar en la variación de sus niveles, muestra una fuerte pendiente de descenso (115 cm/año de tasa promedio, medido entre abril de 2012-mayo de 2017), que a partir de mayo de 2017 cambia drásticamente hacia una tendencia ascendente (19 cm/año de tasa promedio, medido entre mayo de 2017 y diciembre de 2020), junto con variaciones irregulares. En base a lo anterior, se interpreta que el punto estaría influenciado por el manejo operacional del campo de pozos cercano.

Esta descripción se confirma con los niveles registrados durante el año 2023, en donde puede verse que se ha producido un descenso abrupto de 3,6 m desde enero (2.292,26 m.s.n.m.) alcanzando en noviembre una cota mínima histórica registrada (2.288,66 m.s.n.m.).

Los puntos Sample-4 y Zar-C-S se encuentran en el límite del salar. El primero al sur y cercano al límite rocoso mientras que el segundo al se ubica al oeste. Estos pozos muestran también clara tendencia de

descenso, pero con cambios graduales en sus pendientes a lo largo de la data histórica. Esto lleva a concluir que estos niveles responden al manejo operacional del campo de pozos, pero de forma residual, como pulsos que se producen en un punto y se transmiten a través del acuífero del núcleo, dada la forma suavizada de los cambios de tendencia. A partir de mayo de 2017, el punto Zar-C-S disminuye la tasa de descenso hasta el punto de que parece haber estabilizado los niveles en torno a los 2.295,93 m.s.n.m., coincidiendo con el cambio de comportamiento descrito en el M2-C. En cambio, el Sample-4 mantiene una tendencia de descenso, incluso aumentando la pendiente a partir de ese mismo mes (mayo 2017); desde entonces la tasa promedio es de 39,2 cm/año. Ambos pozos permanecen con el comportamiento de descenso descrito a lo largo del segundo semestre de 2023.

Figura 6-117: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde oeste del núcleo del salar



Fuente: Elaboración propia.

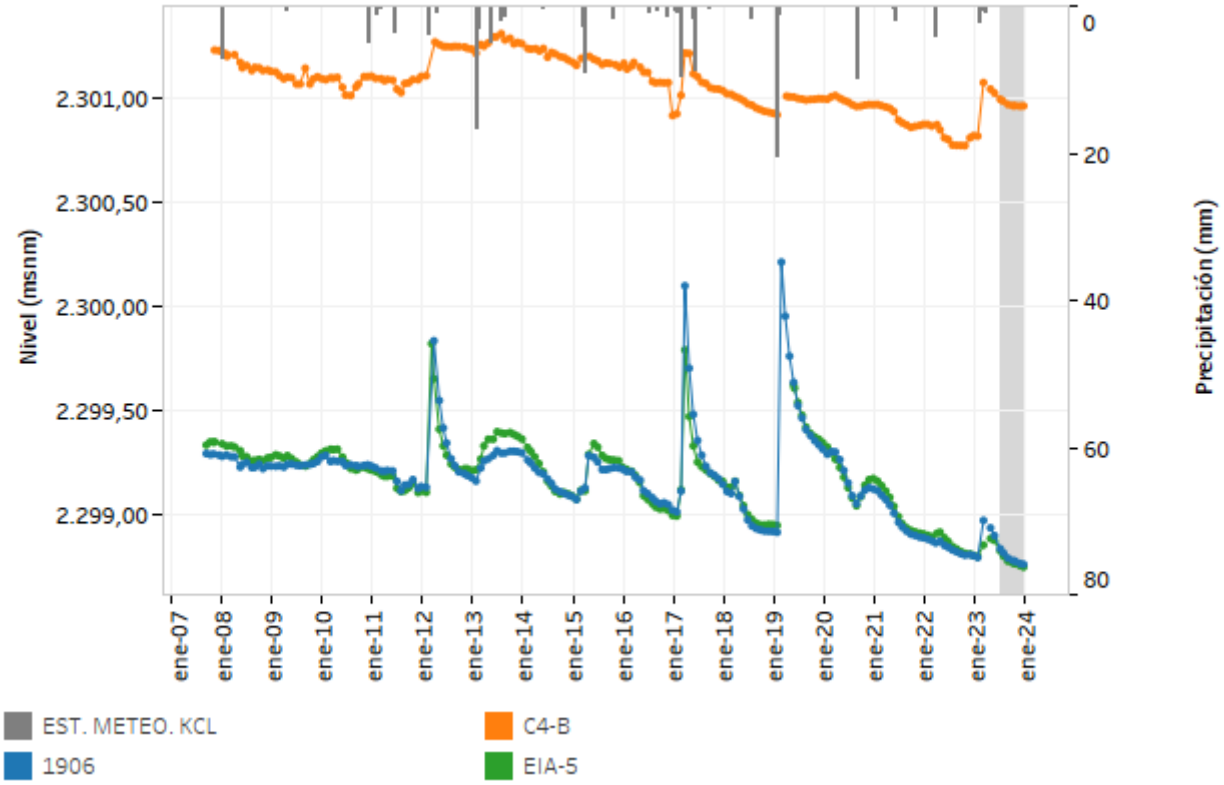
Por último, los tres puntos que restan y que se encuentran al norte del núcleo del salar son el 1906, EIA-5 (ambos al sur del delta de San Pedro) y el C4-B (más cercano a la estación de Chaxa). Los niveles se muestran en la Figura 6-118 y puede verse como es de esperar que existan diferencias entre las

cotas del 1906 y el EIA-5 con respecto el C4-B. Por esta razón, se muestra también la Figura 6-119 con los descensos calculados, lo que facilita el análisis.

Al analizar la Figura 6-119, puede verse que la tendencia promedio de los tres puntos es similar y recuerda al comportamiento descrito para los pozos tipo Núcleo descritos en todos los sistemas, con la salvedad que el C4-B no responde de misma forma a los eventos de lluvia (ascensos rápidos de nivel y recuperaciones prolongadas en el tiempo).

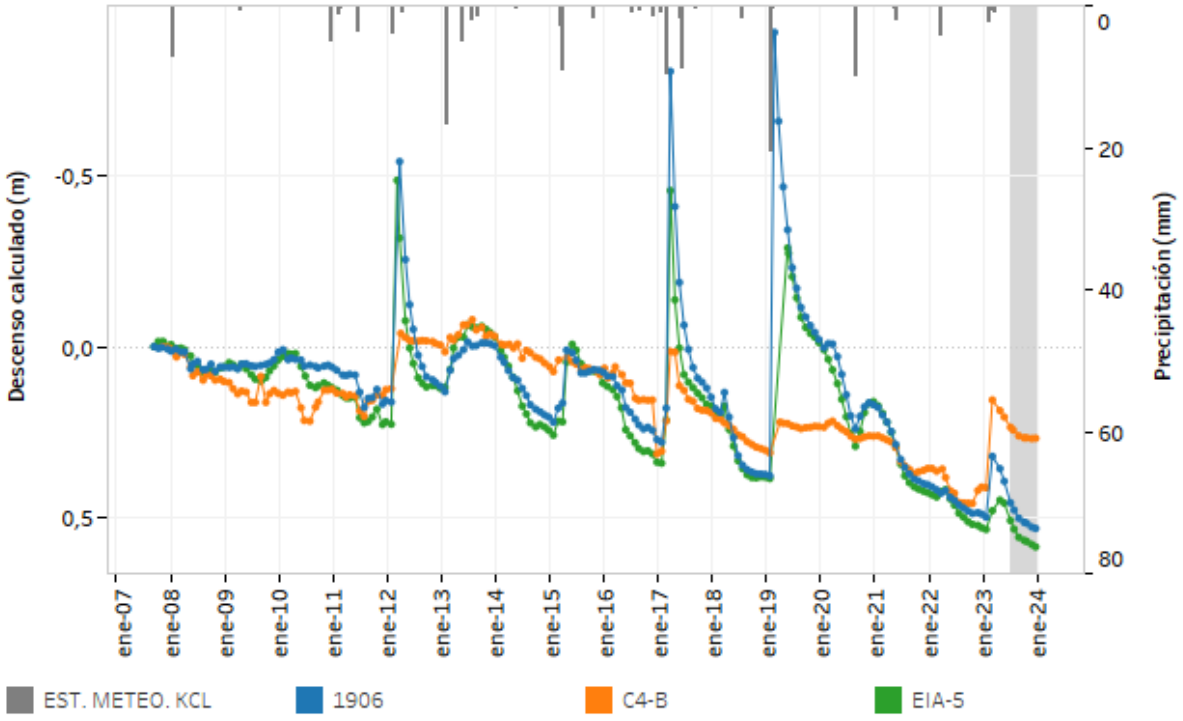
En el transcurso del año 2023, se observa que inicialmente los tres puntos presentan una respuesta a las lluvias registradas durante los primeros meses, para luego retomar una tendencia de descenso esperada durante el término del mismo año.

Figura 6-118: Niveles medidos en el sector norte del núcleo del salar



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-119: Descensos calculados para los puntos ubicados en el sector norte del núcleo del salar



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.2 Meteorología

El análisis histórico de meteorología de la Estación KCL considera la medición de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, desde el inicio del proyecto (Figura 6-120). Es importante mencionar que la precipitación, evaporación y temperatura son variables que condicionan el comportamiento de los niveles de los pozos asociado al sistema del PSAH.

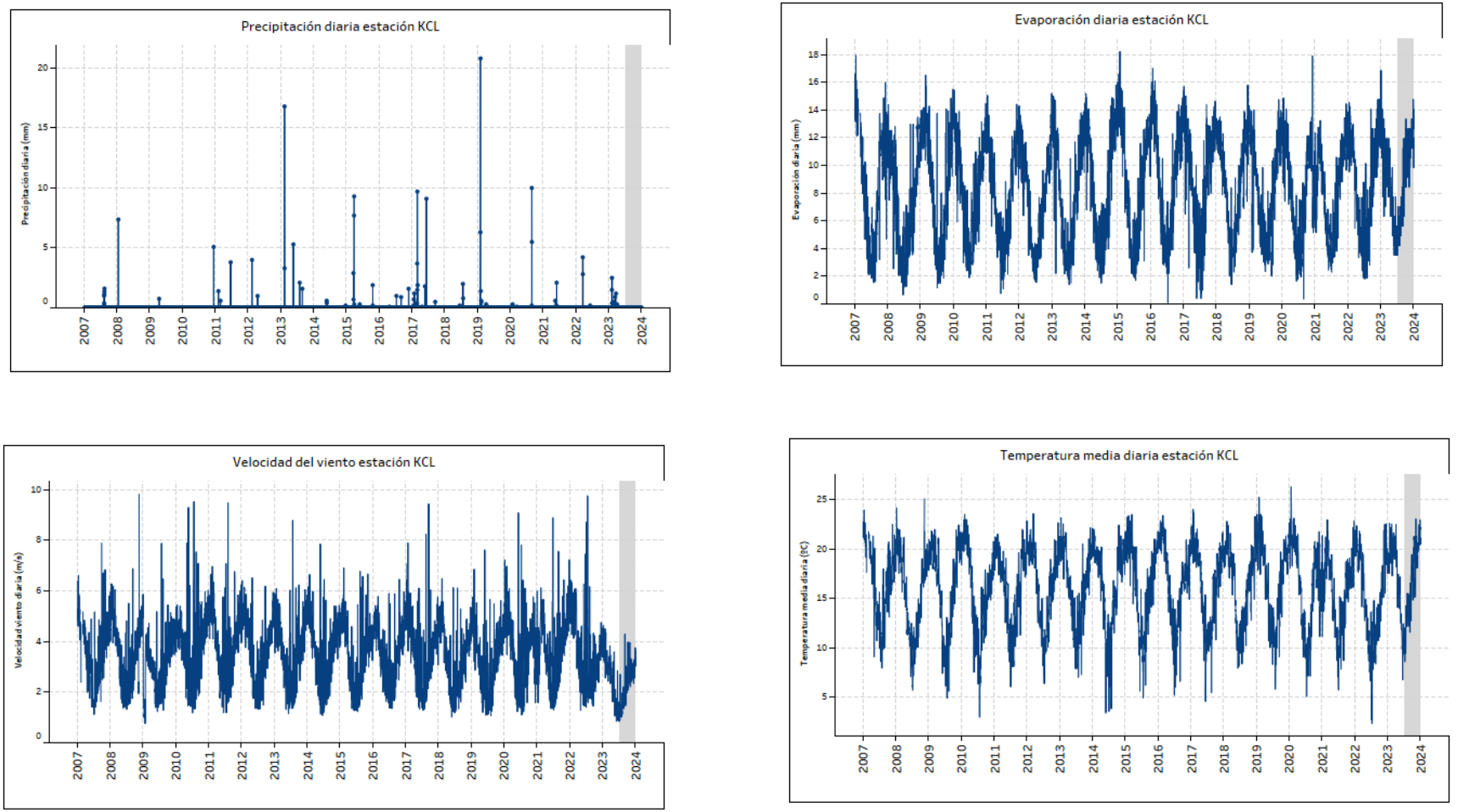
A nivel histórico, la evaporación y la temperatura presentan una oscilación anual, con incrementos de evaporación y temperatura en el verano. La temperatura promedio para el segundo semestre de 2023 ha sido de 16,8 °C, vale decir, 0,74°C superior al promedio histórico (hasta el 30 de junio de 2023) de 16,06°C. De igual forma, la evaporación promedio durante el segundo semestre de 2023 registro un promedio de 9,21 mm/día, vale decir, unos 0,86 mm/día superior al promedio histórico de valor 8,35 mm/día. Del mismo modo la velocidad del viento promedio durante el segundo semestre de 2023 registro 2,32 m/s día, unos 0,2 m/s inferior al promedio histórico de 2,52 m/s día.

La precipitación histórica, por su parte, muestra un cambio de tendencias en el tiempo, diferenciándose en dos épocas según los eventos de precipitación. Durante 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 día 14 de enero del 2008. Posterior a esta fecha, desde enero de 2013 en adelante, se observa un incremento de las precipitaciones. Lo anterior ocurre principalmente en el primer trimestre de los años 2013, 2015, 2017 y 2019, alcanzando un máximo de 20,8 mm el día 31 de enero de 2019. En el periodo a reportar, no se registraron precipitaciones. Sin embargo, en el semestre anterior se registró un total de 7,4 mm, siendo el acumulado anual.

Cabe señalar que los niveles de los pozos ubicados en el Sector Núcleo del Salar de Atacama están fuertemente influenciados por las precipitaciones. Esto debido a que la napa freática se encuentra más próxima a la superficie. De este modo, los niveles se recuperan rápidamente con eventos de precipitación.

Figura 6-120: Estación meteorológica KCL



Fuente: Elaboración propia

6.1.6.3 Calidad Química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado el segundo semestre de 2023 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 que se presentan en esta descripción pertenecen a los pozos SOPM-12C y 1001, y corresponden a: conductividad eléctrica de terreno, densidad de terreno, pH terreno, densidad y sólidos disueltos totales (Figura 6-121 y Figura 6-122 , respectivamente[37, 38]).

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

3. En cada gráfico se muestran dos series, cada una de ellas con un color que se relaciona con el eje vertical que le corresponde (de igual color).
4. Los valores validados se muestran con resalte (ver apartado 4.5.8).

Para los puntos del Sistema Núcleo, durante todo el periodo de monitoreo se ha registrado una alta conductividad eléctrica de terreno en torno a 230.000 µS/cm (característico de salmueras, Tabla 4-17). Además, el pH terreno históricamente se ha registrado en torno a un valor de 7 (neutro) en ambos pozos, sin embargo, desde 2016 en adelante se observó para el pozo 1001 un aumento paulatino del pH de terreno llegando a valores máximos de 7,47.

[37] 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 Environmental hasta julio de 2008, adjuntándose carta explicativa emitida por ALS Environmental, así como un breve análisis.

[38] En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Environmental 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 del PSAH N°26).

En el caso de la densidad, las mediciones del último periodo se comportan como el promedio registrado tanto para terreno como laboratorio, observando en el registro de densidad de terreno del pozo 1001 un aumento dentro del rango de registro histórico. Ambos pozos muestran en promedio una densidad de laboratorio en torno a 1,2 g/mL, sin embargo, la densidad de terreno desde el año 2016 en adelante en el pozo 1001 muestra una tendencia a la baja, que no se corresponde con los registros de laboratorio.

Adicionalmente, en ambos pozos se observó un incremento en el contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales a partir del 2016. Por lo tanto, ocurre una fecha común respecto a las cuales se observan los cambios en las tendencias históricas de densidad, pH y contenido de sólidos disueltos totales. Lo que indica que probablemente las variaciones observadas se deban a los cambios en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de las muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26 del año 2019.

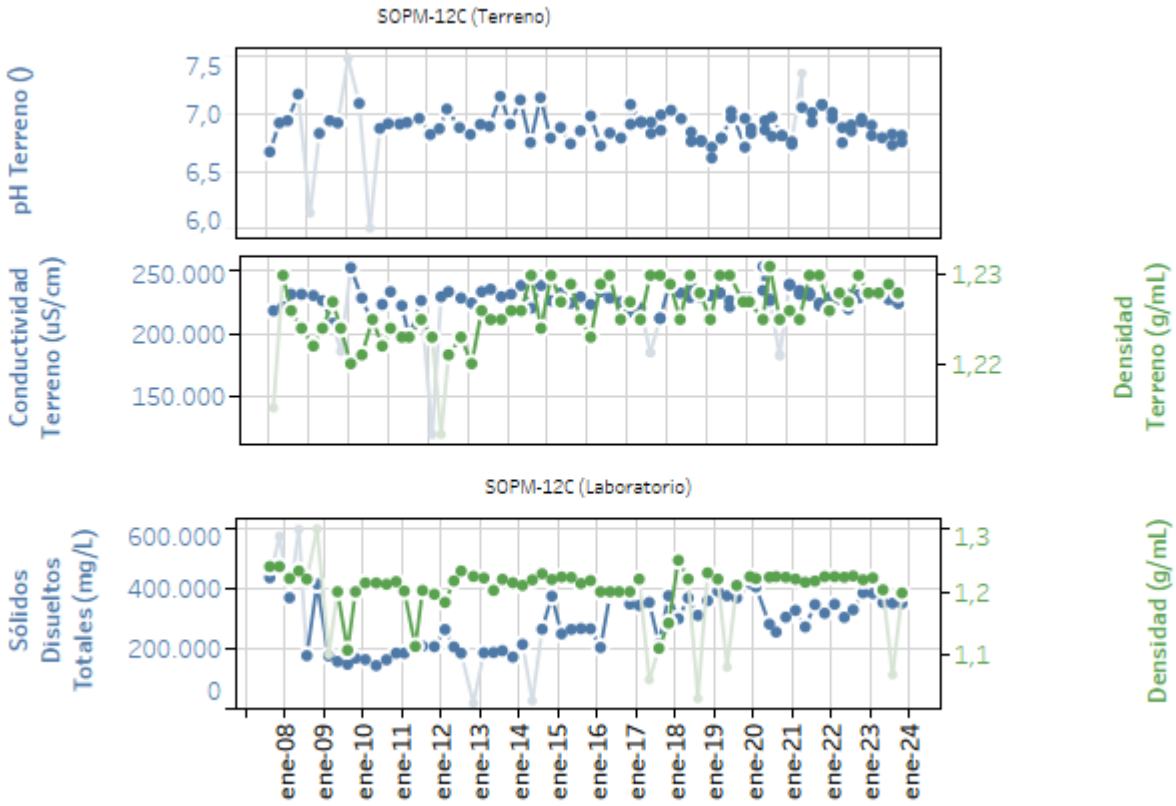
En los pozos SOPM-12C y 1001 la mayoría de las mediciones realizadas el segundo semestre de 2023 se encontró dentro del rango registrado históricamente. La única excepción corresponde a:

- El pozo SOPM-12C presentó en el tercer trimestre un valor de densidad de laboratorio por debajo de la tendencia histórica < 1,1 g/mL. Este valor no se correlaciona con los datos de laboratorio, por lo tanto, podría asociarse a un error en la medición (outlier).

Respecto a tendencias identificadas:

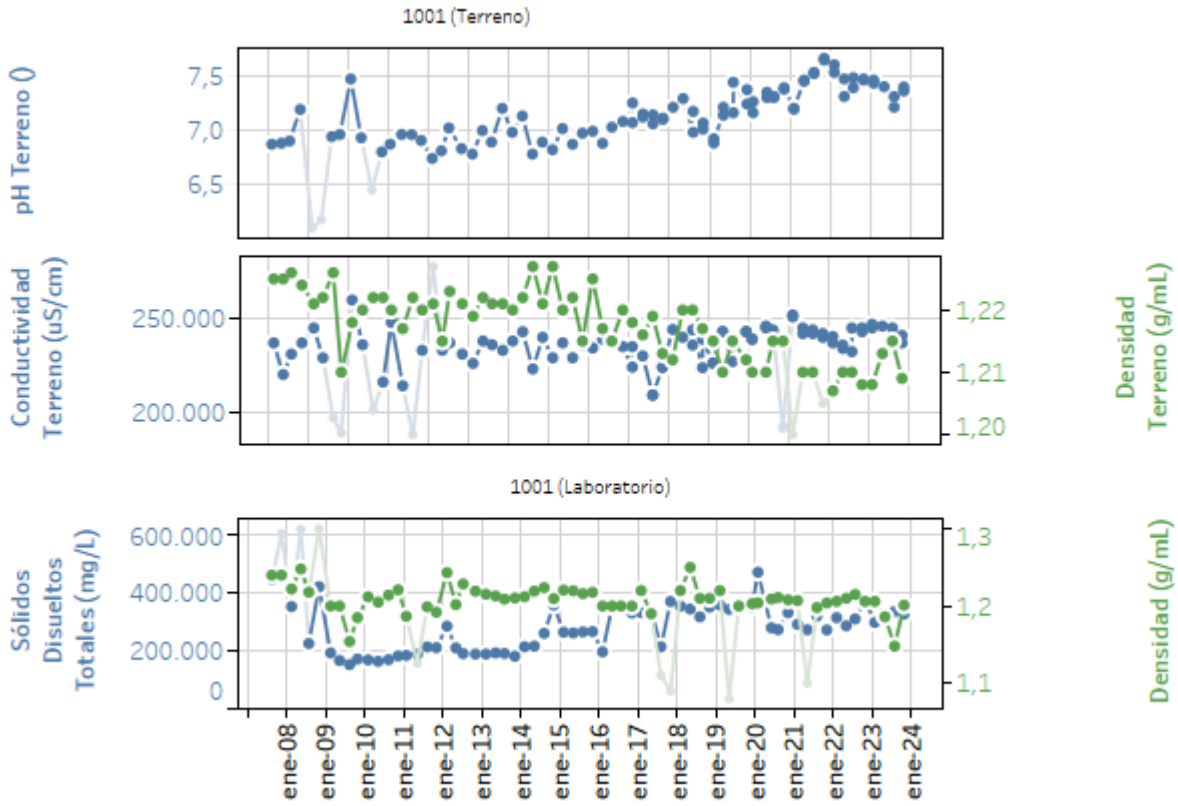
- En relación con la evolución temporal, se observan cambios en las tendencias históricas en la concentración de sólidos disueltos totales, densidad y pH de terreno, con una leve tendencia al alza. Mientras que la conductividad eléctrica presenta una menor dispersión de sus registros.
- Para ambos puntos de muestreo, SOMP-12C y 1001, se observó el aumento en sólidos disueltos totales y el ligero aumento del pH y descenso de la densidad en el pozo 1001, que se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha. Estas variaciones no se pueden asociar a cambios en el acuífero, sino a un cambio en los protocolos en las etapas de muestreo, transporte y/o tratamiento de las muestras en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26 del año 2019.

Figura 6-121: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-12C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-122: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1001



Fuente: Elaboración propia.

6.1.7 CUÑA SALINA

La cuña salina corresponde a la zona de transición entre el agua dulce del acuífero aluvial y la salmuera en el acuífero del núcleo. Para el seguimiento de la cuña salina se dispone de los pozos Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, L4-3, Cuña 6, Cuña 7 y L10-1. Todos ellos están localizados 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 junto con los pozos del Sistema Peine, por lo que no se mostrarán nuevamente en este capítulo.

En la Figura 6-123 se muestran los descensos calculados de los puntos Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, Cuña 6 y Cuña 7, ya que las diferencias existentes entre las cotas de los niveles de este grupo no permiten visualizar bien los comportamientos a describir. En la Figura 6-124 se muestran de nuevo los descensos calculados, exceptuando el punto Cuña 4, puesto que en los años 2009 y 2017 reprodujo fuertes descensos que se alejan de la escala utilizada en la gráfica de descensos de los otros pozos y que, en este caso, no permitiría un análisis lo suficientemente detallado.

En el Sistema Soncor se encuentra los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3, los dos primeros situados 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 presentaba un comportamiento oscilatorio con una tendencia descendente. Durante 2011 y luego del evento de precipitación ocurrido en 2012, los niveles aumentaron, alcanzando un primer máximo histórico en marzo de 2012. Posteriormente y de la misma forma que se ha descrito en los puntos situados en este entorno (6.1.1.1.5.3 Pozos influenciados por el Sistema lagunar Soncor – sector este del canal Burro Muerto), los niveles se muestran con una tendencia promedio característica de este sector, sin oscilación estacional sino más bien presentan respuestas rápidas a los eventos de lluvia. En consecuencia, tras las precipitaciones registradas en marzo 2019 se produjo un segundo máximo histórico. Posterior a este evento se registra un descenso bastante constante y con una pendiente elevada (9 cm/año). Durante los registros de 2022, el nivel muestra una posible estabilización del nivel, puesto que se mantienen alrededor de una misma cota. A comienzos del año 2023 (febrero y marzo) se reprodujo la respuesta a los eventos de precipitación de estos meses mientras que en el segundo semestre se registraron mínimos estacionales a cotas superiores que el año pasado, a partir de lo cual se interpretaría que el pozo está modificando su patrón de comportamiento (descendente) y aparentemente está en proceso de recuperación (ascenso).

Por su lado, el pozo Cuña 2 se muestra con un patrón de niveles oscilatorio desde el inicio de los registros, con una tendencia poco clara, pero que podría interpretarse de ascenso hasta el máximo registrado en 2013 (septiembre). Al siguiente año, el nivel promedio empieza a mostrarse descendente con una tasa de 1,6 cm/año. Durante las mediciones de 2023, el nivel se ha mantenido oscilando de forma estable alrededor de una misma cota, por lo cual se podría interpretar que el pozo está mostrando signos de

estabilización del nivel. Lo que se ha visto también en el Cuña 1, situado aguas abajo. Es necesario seguir observando estos niveles para confirmar el nuevo patrón.

El pozo Cuña 3, que se encuentra sobre el acuífero aluvial, registra una pendiente de descenso esperada para este sector y no se muestra reactivo a los eventos de precipitación. Durante el período entre 2009 y 2021 la tasa de descenso obtenido fue de 4 cm/año. No obstante, a partir de septiembre de 2021, se obtuvo un nivel que supuso una disminución de 18 cm respecto de la medición del mes anterior. Posterior a esta fecha y hasta el actual semestre reportado, el pozo ha mostrado un notorio cambio en la tendencia anterior, pasando a ser ascendente, con una tasa aproximada de 10 cm/año. Se desconoce el motivo de este salto (descenso abrupto) así como también este cambio en la tendencia. No obstante, dada su ubicación (sobre el acuífero aluvial), se esperaría que en parte también esté relacionado con la disminución de los caudales extraídos desde los pozos de agua.

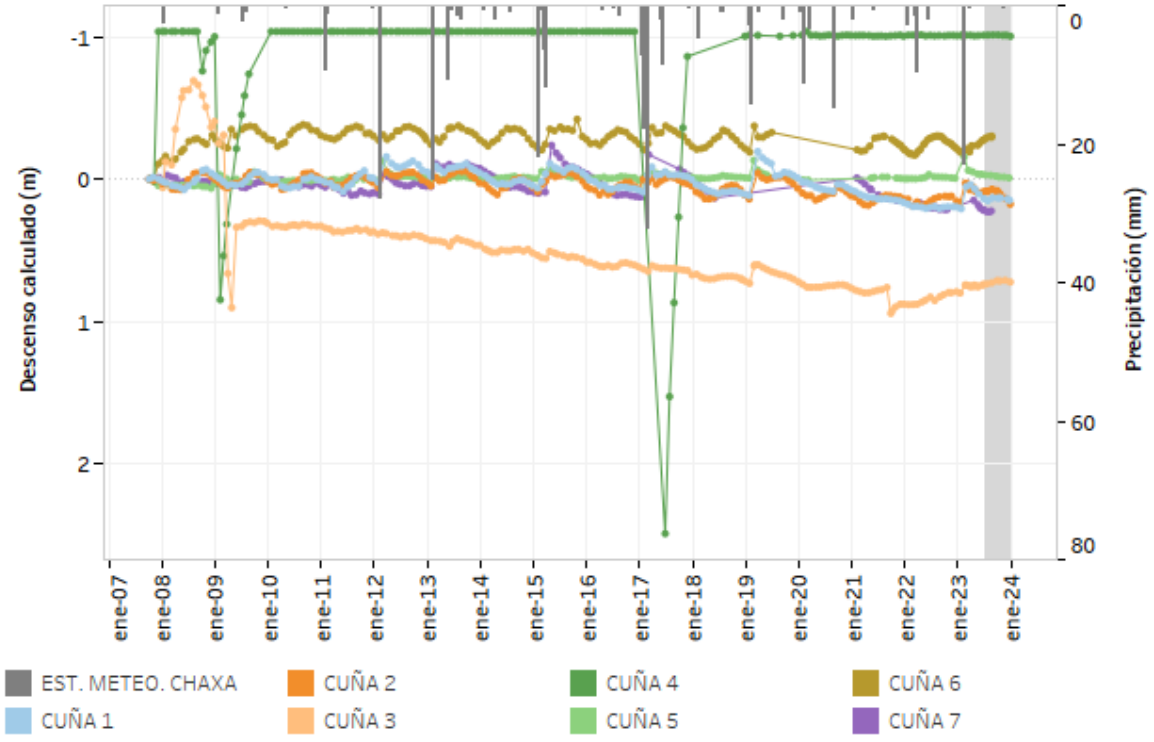
En el Sistema Aguas de Quelana se encuentran los pozos Cuña 4 y Cuña 5, ambos situados al borde oeste del acuífero aluvial, cercanos a la zona marginal. Por su parte, el Cuña 4 muestra un comportamiento anómalo en sus niveles entre el inicio de sus registros y hasta el último dato de 2017. Es a partir de la primera medición de 2018 (diciembre) que se observa un registro de niveles que se cree más representativo del medio. Por este motivo, su desarrollo y evolución se observa más claramente en la Figura 6-124. Por consiguiente, en el período comprendido entre 2018 y 2023, pozo ha permanecido con un nivel estable (ni ascenso ni descenso), incluyendo el segundo semestre 2023.

Por otra parte, el pozo Cuña 5 se muestra con una muy leve tasa de ascenso constante desde enero de 2009 (0,22 cm/año), así como también ha presentado leves respuestas frente a los episodios de precipitación. En febrero de 2023, se registró un máximo estacional, confirmando la tendencia anteriormente descrita.

En el Sistema Peine los pozos cuña 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 se ven oscilantes (estacionalidad) y con una tendencia aparentemente de descenso para el período que abarca desde 2009 hasta el último registro de 2019. Posteriormente, entre junio 2019 y enero 2021, se tiene un alto número de vacíos sin información, producto del cierre de la reserva. A partir de esta última fecha, se observa cómo el pozo ha estabilizado la tendencia (ni asciende ni desciende), comportamiento que se mantiene también

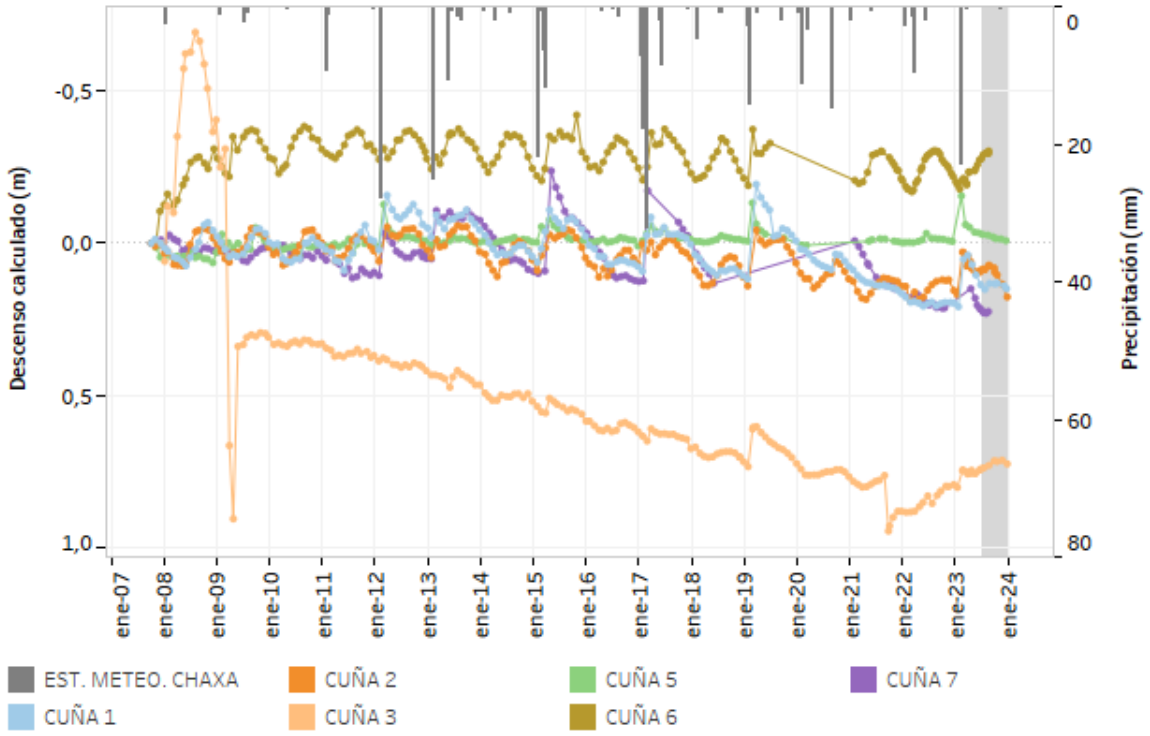
hasta la última medición obtenida (agosto 2023). Por otro lado, el pozo Cuña 7 se encuentra en el extremo de la zona marginal y de la misma forma que el resto de los pozos en esa área, los niveles muestran un comportamiento típico del núcleo, con una fuerte respuesta a los episodios de lluvia y con una tasa de descenso basal típica del acuífero del núcleo. Las mediciones obtenidas durante el segundo semestre 2023 se encuentran bajo el rango de cotas del registro histórico de estos puntos, denotando un descenso más pronunciado, con una tasa aproximada de 7 cm/año (calculada desde enero 2021 hasta agosto 2023). En ambos casos, se destaca que entre los meses de agosto y diciembre no se dispone de registros de nivel debido al cierre de la reserva durante la época de nidificación.

Figura 6-123: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-124: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 2)



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2 Perfiles de conductividad

En los pozos de la cuña salina se monitorean los perfiles de conductividad eléctrica (CE). Estos ayudan a determinar la posición de la interfaz salina originada por la mezcla entre los acuíferos del núcleo y aluviales. Adicionalmente a los pozos de cuña salina, también se cuenta con mediciones de perfiles de CE en el pozo L10-1 (del sistema Peine, zona aluvial). De acuerdo con la ubicación de los pozos en los distintos sistemas se van a agrupar para el análisis de la siguiente manera:

1. Pozos Soncor (borde norte de la interfaz): Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3.
2. Pozos Aguas de Quelana (borde central de la interfaz): Cuña 4, Cuña 5 y L4-3.
3. Pozos Peine (borde sur de la interfaz): Cuña 6, Cuña 7 y L10-1.

La evolución histórica de los pozos del norte se muestra en la Figura 6-125. En ella se observa que el punto Cuña 1 (ranurado entre 2-22 m) y Cuña 2 (ranurado entre 4-22 m), que se encuentran al oeste de la zona

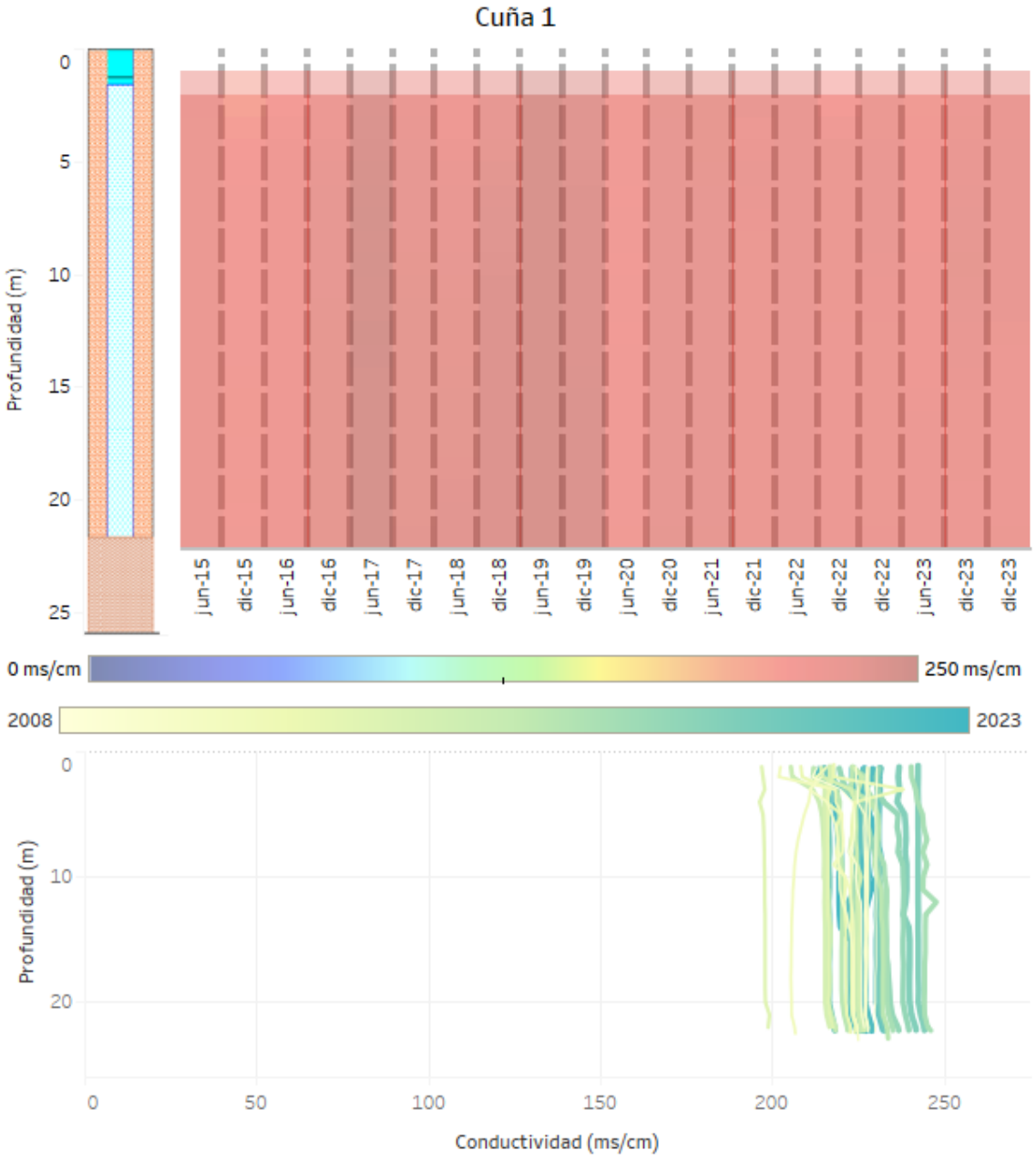
donde afora la interfaz salina, presentan valores generales de conductividad eléctrica superiores al entorno de los 200 mS/cm. Esto indica que los flujos subterráneos en el área provendrían del núcleo del salar, sin encontrarse aún con el acuífero de agua dulce-salobre del margen este. En cuanto a los registros temporales, en ambos casos se observa que la CE se mantienen superiores a 200 mS/cm, a excepción durante diciembre 2013. Sin embargo, en términos generales se interpreta que, durante todo el periodo de registros, en la zona y a la profundidad en la que éstos están habilitados, no se ha ubicado la interfaz como tal, encontrándose predominantemente el afloramiento de la interfaz al Este de Cuña 2.

En el punto Cuña 3 se observan aguas de baja CE lo que indicaría que el inicio de la interfaz se encuentra entre los pozos Cuña 2 y Cuña 3. Este punto presenta su ranurado por debajo de los 120m[39]. Respecto a su evolución temporal, no se observan variaciones durante el periodo medido, solo se observa un cambio el primer semestre de 2009, donde el estrato de menor CE disminuyó producto de un bombeo para toma de muestra, y un ascenso para los valores cercanos a 125 mS/cm desde 2014 hasta 2020, seguido de un descenso en las últimas mediciones a cotas similares a las anteriores a 2014.

Puede verse que la profundidad a la que se encuentran los valores de conductividad eléctrica próximos a 150-200 mS/cm, dentro de la zona ranurada, se ha encontrado para todo el periodo en torno a los 130 metros, mostrando oscilaciones al alza y a la baja sin una tendencia sostenida para todo el periodo de monitoreo.

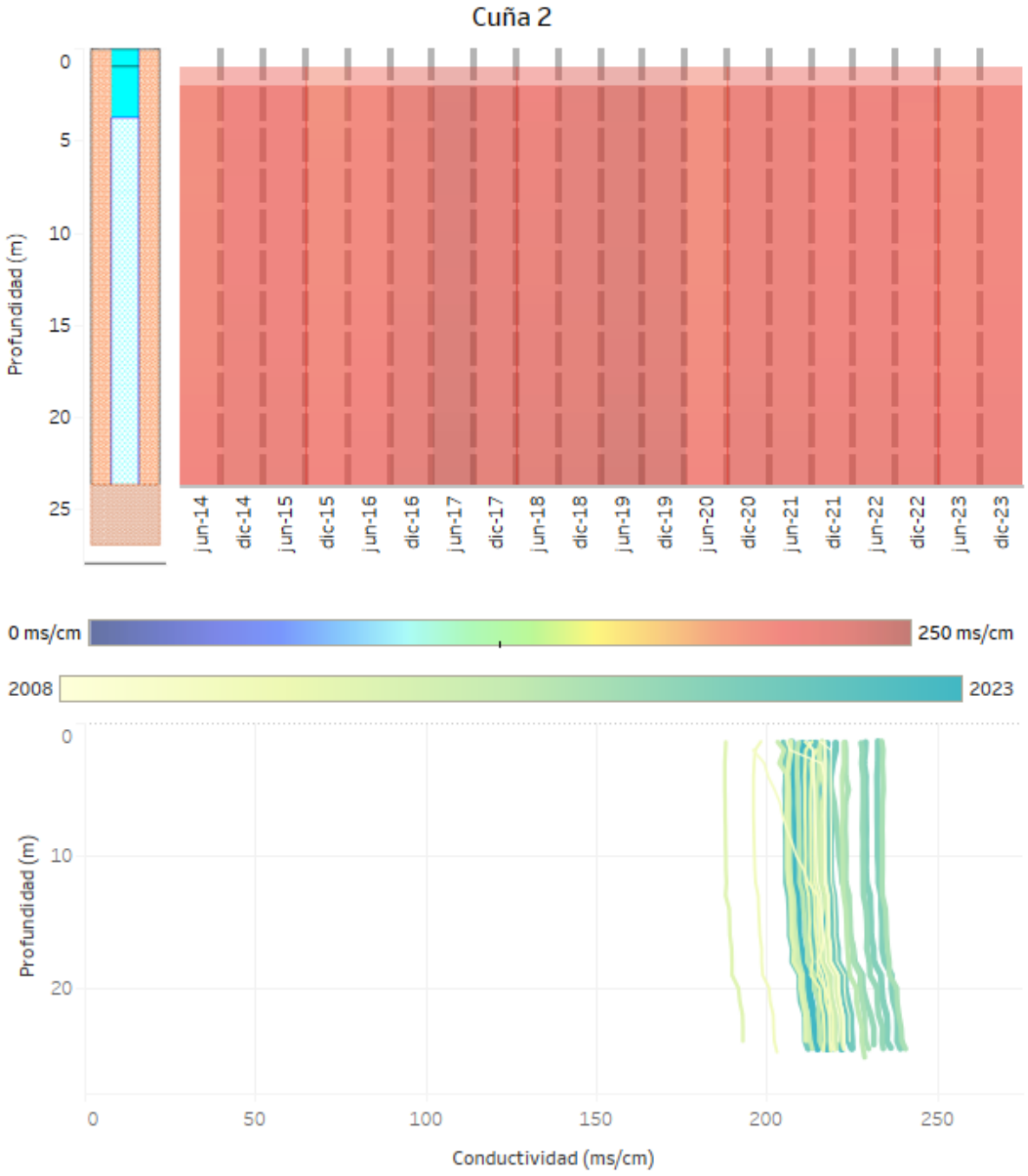
[39] Se ha confirmado esta profundidad para el ranurado en base al Strater del pozo. En anteriores informes se había confundido la profundidad del ranurado con 102m.

Figura 6-125: Evolución histórica de perfiles de conductividad eléctrica en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



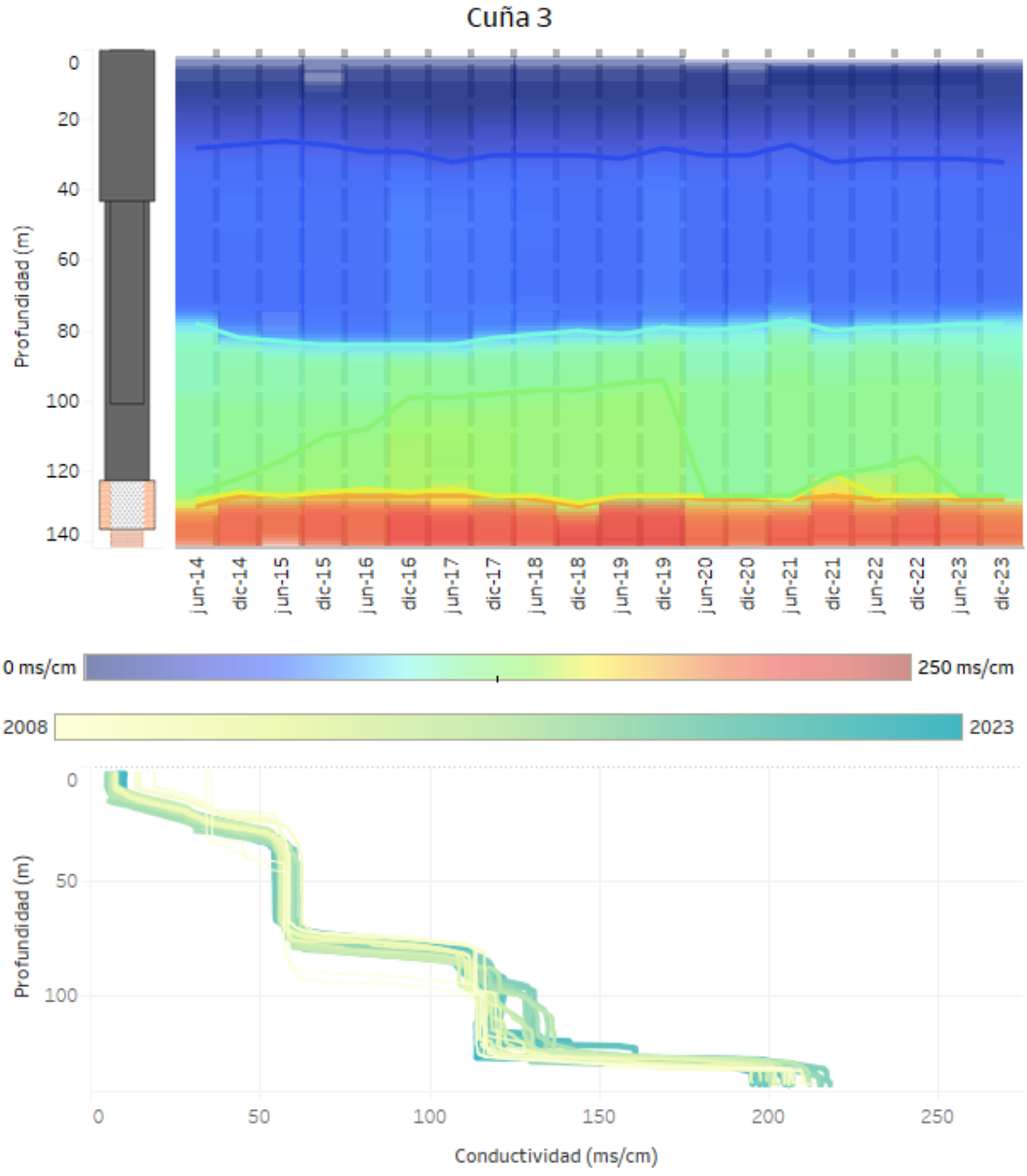
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-125 (Continuación): Evolución histórica de perfiles de conductividad eléctrica en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-125 (Continuación): Evolución histórica de perfiles de conductividad eléctrica en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



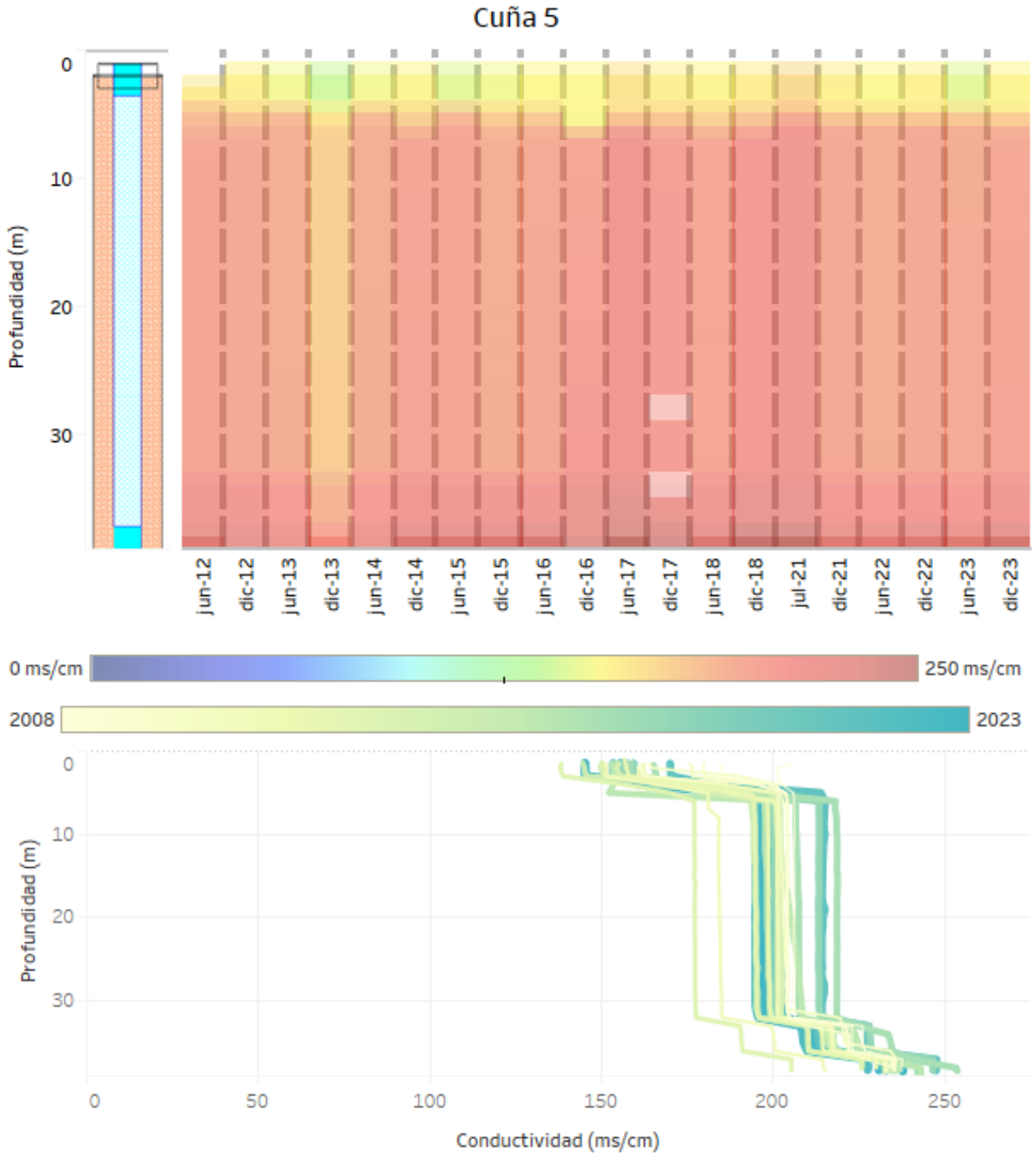
Fuente: Elaboración propia

Al mismo tiempo, la evolución histórica de los pozos en el sector de Aguas de Quelana se muestra en la Figura 6-126. En ella se observa que en el Cuña 5 el agua cercana a la superficie es de menor CE que la más profunda. De todos modos, esta última presenta también altos valores de CE lo que indica que la interfaz comienza a aflorar más al este, dado que sus valores son más representativos de salmuera

Al avanzar hacia el este (Cuña 4), se observan menores valores de la CE en el fluido próximo a la superficie. Este punto tiene comportamiento surgente y su tramo ranurado comienza a los 64 metros. Se observa que la zona en que se produce el cambio a valores de mayor conductividad eléctrica se ha mantenido estable en torno a los 55 m, sin mostrar tendencias al alza o a la baja.

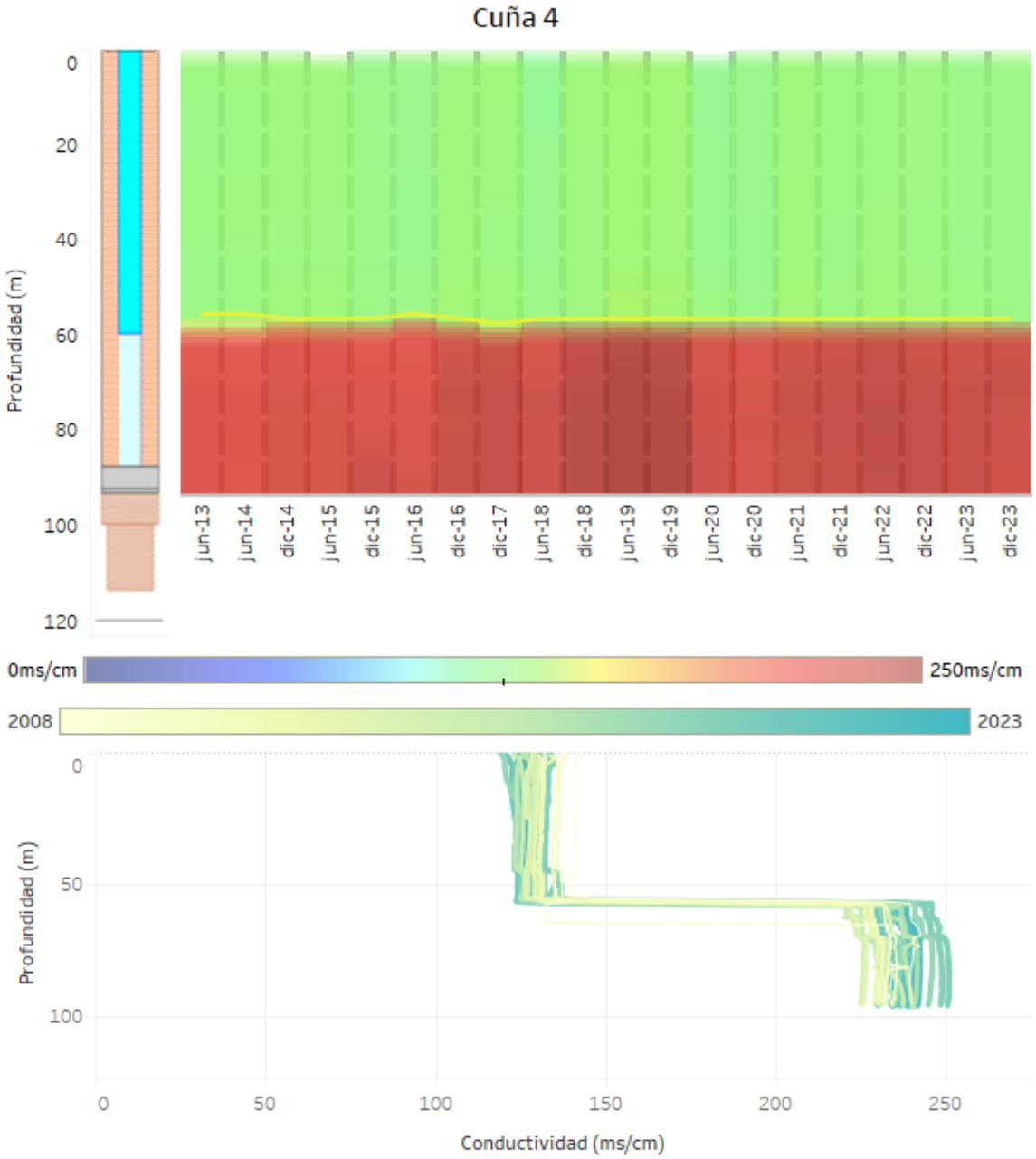
En el punto más al este de Aguas de Quelana, L4-3, existe una interfaz definida, ubicada aproximadamente a 40 m de profundidad. El equilibrio de la interfaz se mantiene en el tiempo, con oscilaciones menores entre campañas, pero sin mostrar un comportamiento de tendencia.

Figura 6-126: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este)



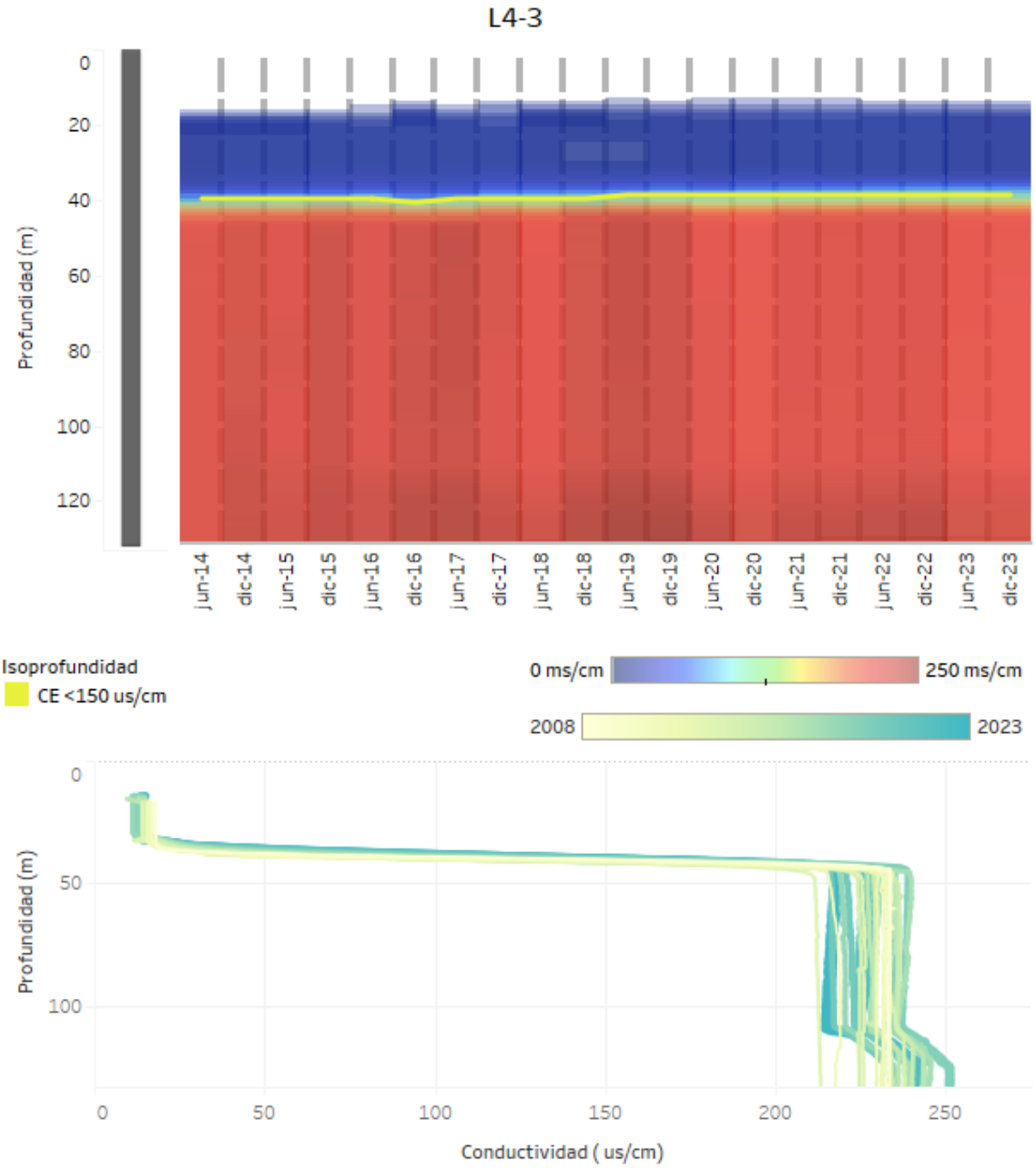
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-126 (Continuación): Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-126 (Continuación): Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este)

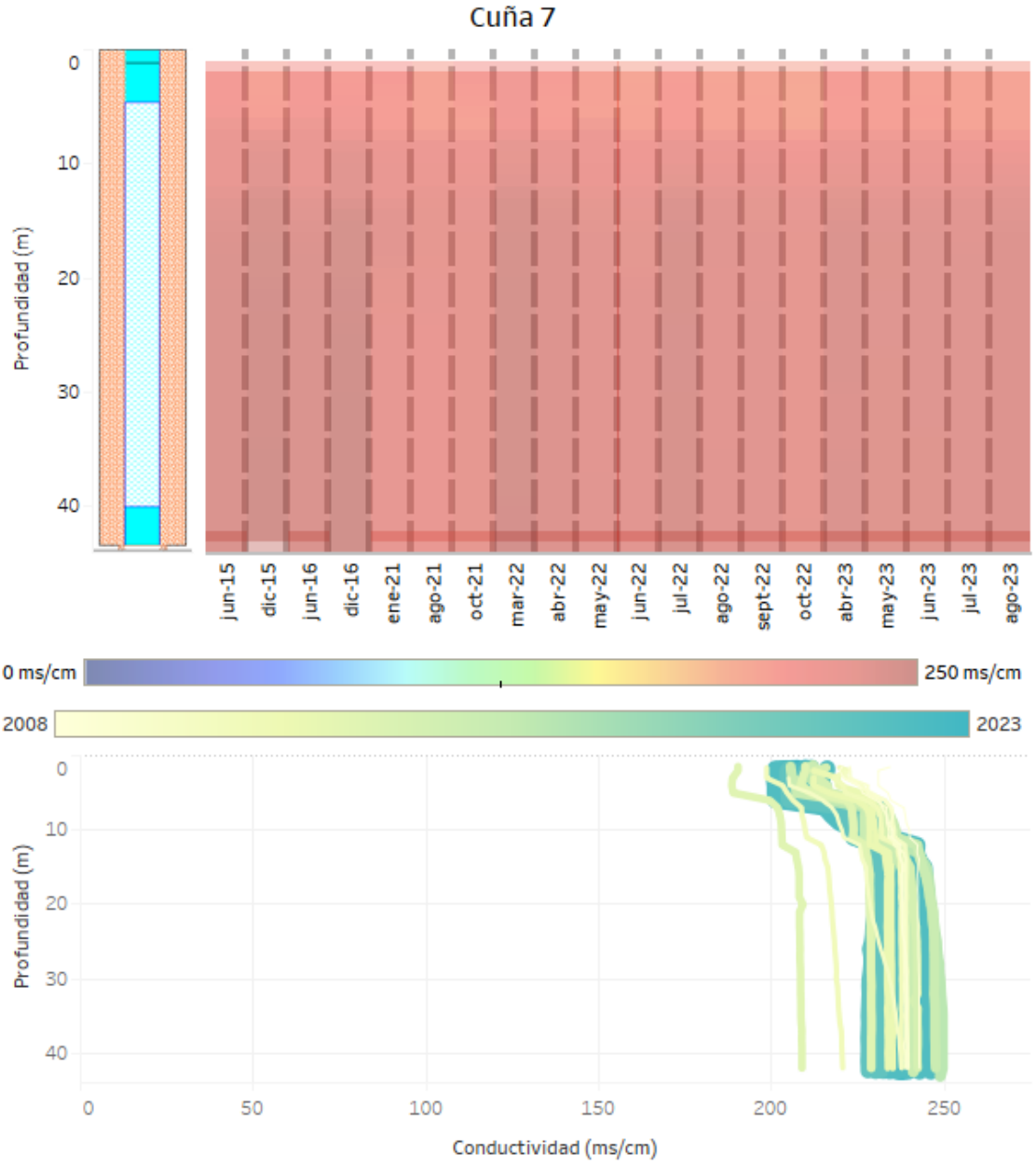


Fuente: Elaboración propia. Se quitan del gráfico algunos valores *outliers* y el perfil de junio 2008 por presentar anomalía en todo su desarrollo en L4-3.

Finalmente, la evolución histórica de los pozos del sur se muestra en la Figura 6-127. En ella se observa que en el pozo Cuña 7 el final del quiebre se encuentra cercano a la superficie. Siguiendo hacia el sureste, el pozo L10-1 ha registrado características surgentes en anteriores ocasiones, con un ranurado comenzando en 74 metros. Se observa que los acuíferos ya están en contacto a una profundidad cercana a los 50 metros y donde cambian los valores de conductividad eléctrica se ha mantenido estable en el tiempo. Cabe señalar que la medición de la isolínea de 50 mS/cm ha mostrado un cambio significativo de la profundidad en los muestreos del primer y segundo semestre de 2023. Este cambio en los valores de conductividad eléctrica en los primeros 40 metros de profundidad es coherente con los cambios expuestos en los capítulos de análisis de niveles y calidad y se atribuye a una posible extracción en el acuífero aluvial.

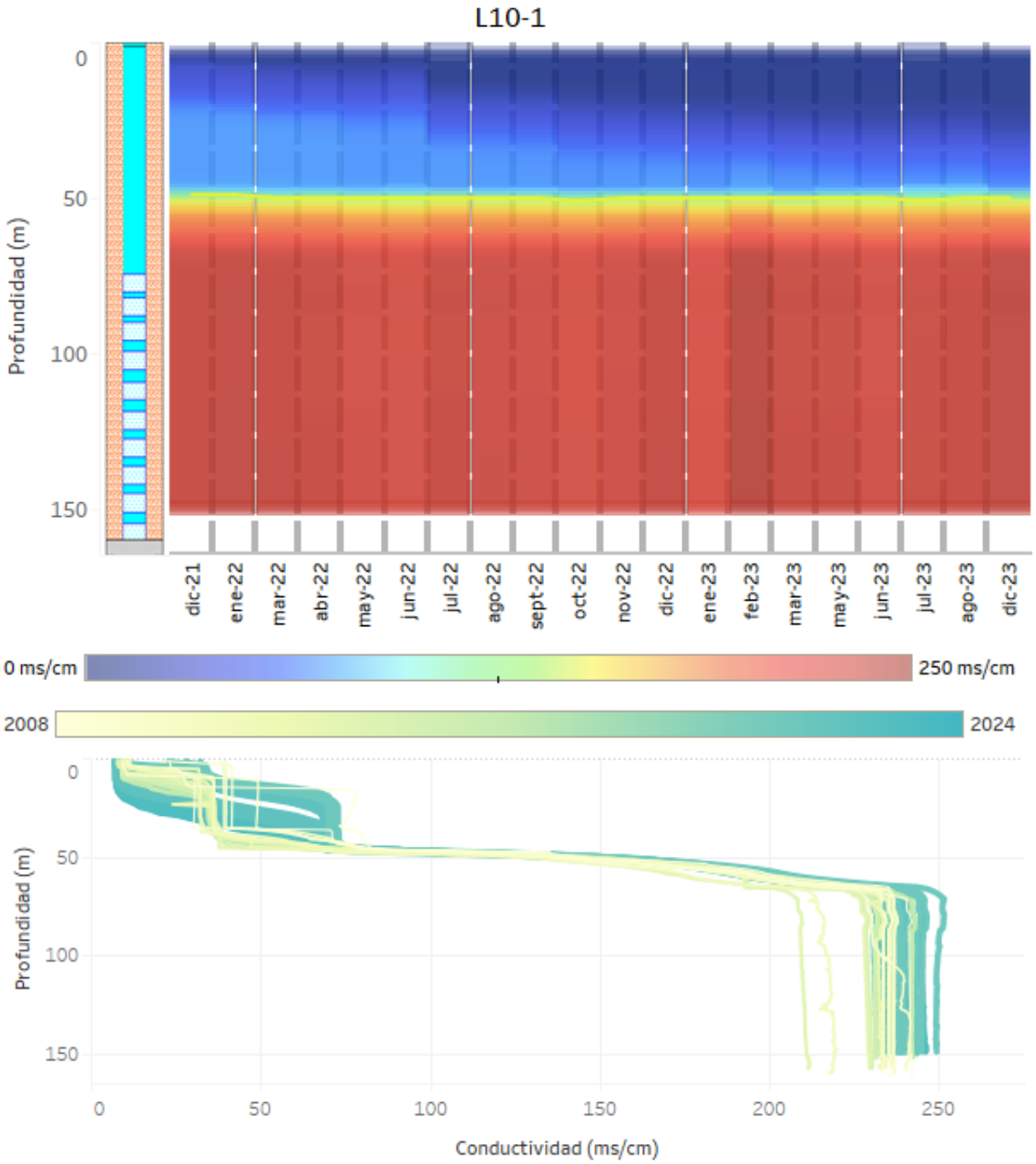
En Cuña 6, se observa un mayor predominio del acuífero del margen. Aquí el mayor quiebre en los valores de conductividad eléctrica se sitúa a una mayor profundidad: aproximadamente a 70 m desde la superficie. El equilibrio descrito no ha sufrido cambios en el tiempo, no observándose variaciones significativas en los perfiles de CE.

Figura 6-127: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste)



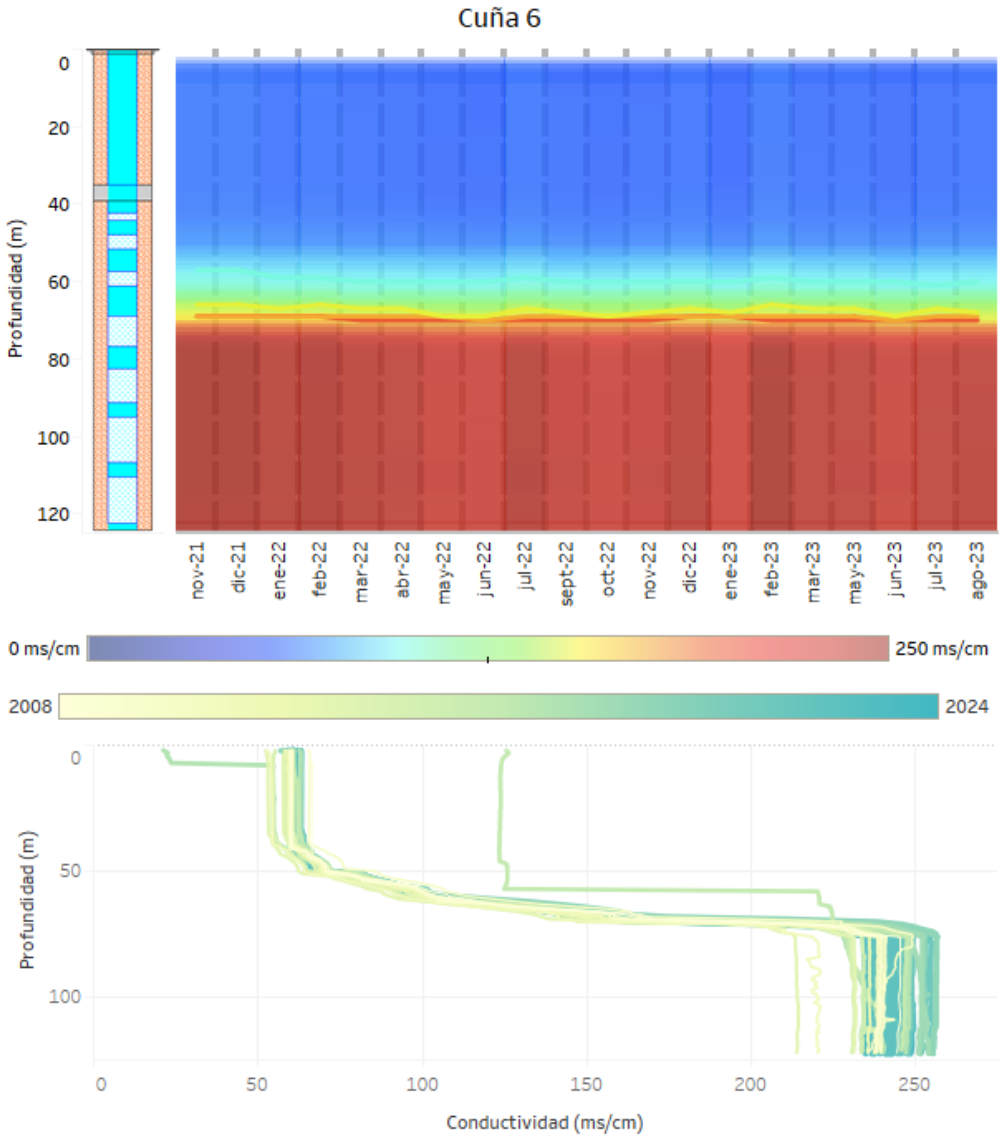
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-127 (Continuación): 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 6-127 (Continuación): Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste)



Fuente: Elaboración propia. Se ha eliminado el perfil de junio 2016, por tener resultados anómalos.

En el presente apartado se ha visto como la profundidad en la que se producen los quiebres de conductividad eléctrica se ha mantenido estable en el tiempo con algunas variaciones menores y sin mostrar tendencias al alza o a la baja para los distintos puntos. Por ende, puede decirse que la posición de la interfaz no se ha visto afectada en el periodo monitoreado.

6.2 ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS

De los 34 indicadores de estado evaluados como parte del Plan de Contingencia, durante el segundo semestre del año 2023 se presentan los estados de activación que corresponden, en este periodo, al Sistema Soncor y al Sistema Vegetación Borde Este – Brea Atriplex.

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. De manera similar, el pozo L1-4 es designado como el indicador de estado para la misma laguna, pero en referencia al posible efecto proveniente del bombeo 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, en este caso por el bombeo del pozo Mullay-1 y Allana.

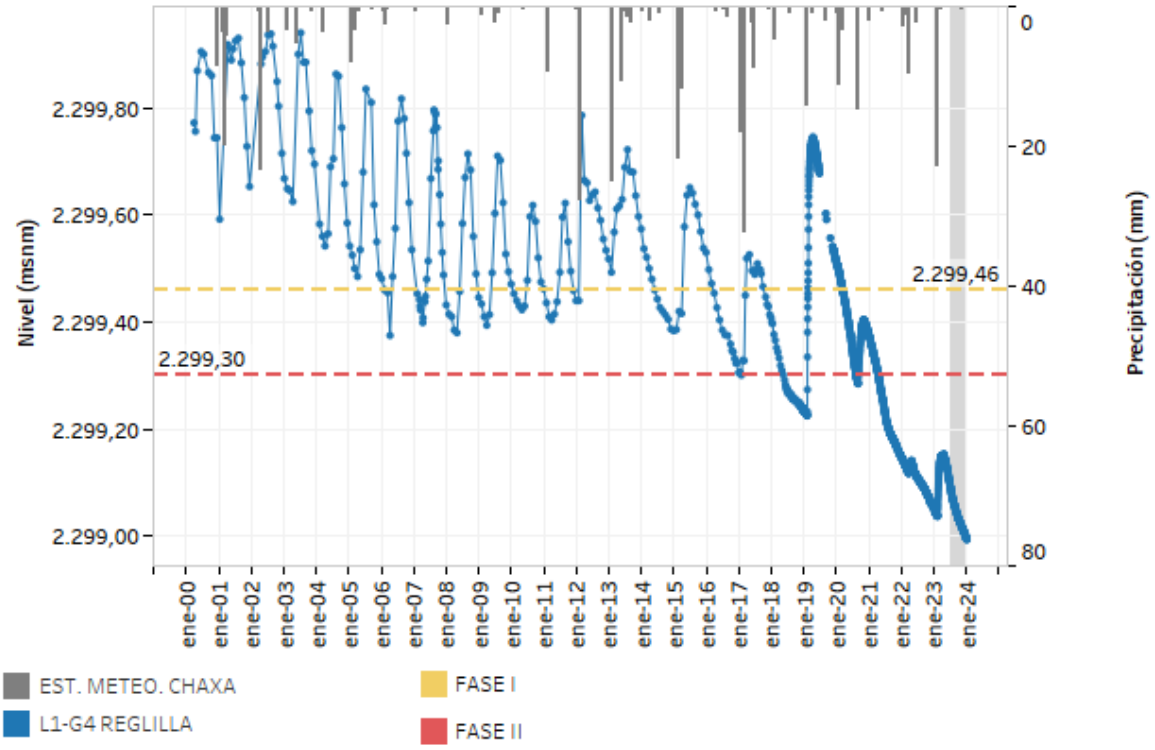
Respecto a los puntos Reglilla L1-G4 (Figura 6-128) y L1-5 (Figura 6-129) se ha determinado a través del análisis de sus niveles y de los puntos vecinos (apartado 6.1.1), que desde 2012 no volvieron a recibir de forma regular los aportes en forma de recarga directa proveniente de los desbordes de la 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 periodo de registro han sobrepasado el umbral de Fase II hasta en tres ocasiones, las que han sido detallados en los informes PSAH respectivos: en mayo de 2018 (informe PSAH N°23), en agosto de 2020 (Informe PSAH N°28) y finalmente abril de 2021 (informe N°29). Durante el segundo semestre de 2023, hasta la fecha de la elaboración de este informe, ambos indicadores se mantienen con la Fase II activada, y no es previsible que puedan llegar a desactivar hasta que no se produzca un nuevo evento de precipitación, situación que no ocurrió durante el segundo semestre del 2023.

Tal y como se viene observando desde 2018, el motivo que ha llevado a la activación en estos casos responde a que estos pozos vienen comportándose como un pozo de 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 226/2006, ya que se preveía que estos pozos reproducían la dinámica propia de la recarga del cuerpo lagunar.

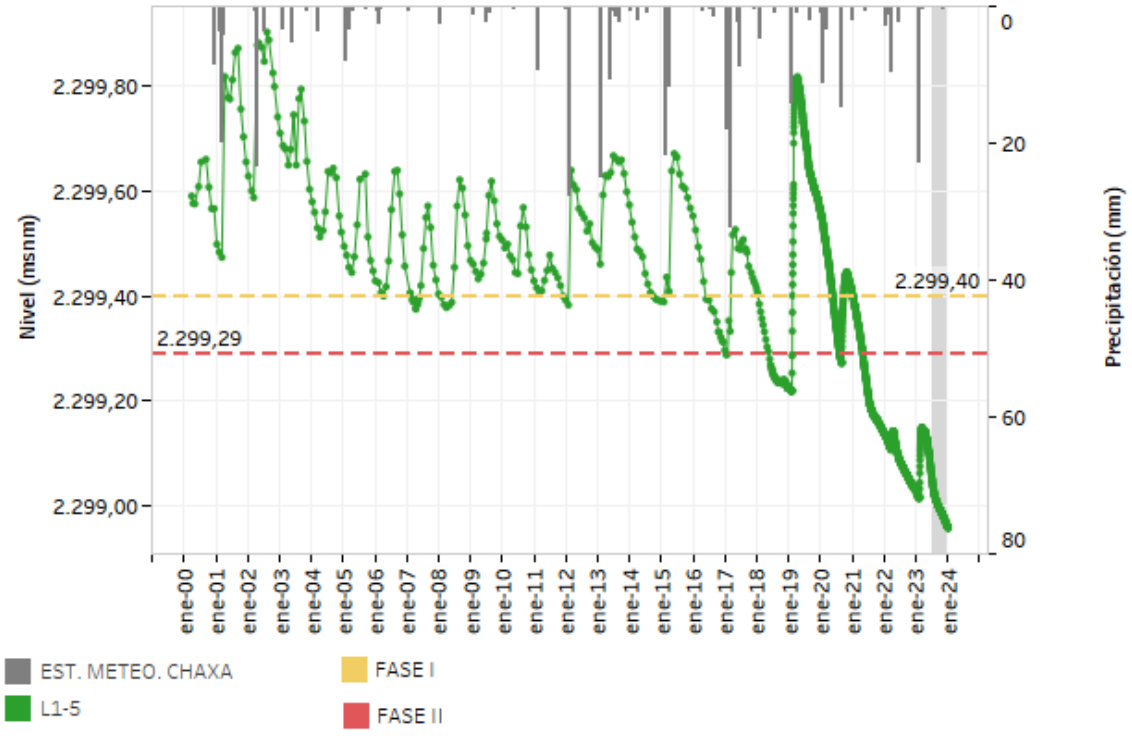
De esta forma, dados los resultados de los análisis y simulaciones implementadas durante la etapa de investigación efectuada con motivo de la activación de Fase II en mayo de 2018 de estos puntos (IDAEA-CSIC, 2018), se concluyó que la causa principal de activación correspondió al cambio en la dinámica natural de desborde de la laguna Barros Negros y no al efecto de las extracciones de salmuera efectuado por SQM en el salar. De ahí se deduce que los actuales indicadores de estado, L1-5 y L1-G4, no son eficaces para anticipar potenciales efectos sobre el sistema objeto de protección producto de las extracciones de salmuera en el núcleo, siendo recomendable establecer una optimización de los indicadores de estado considerando puntos más idóneos para estos efectos.

Figura 6-128: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-129: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia

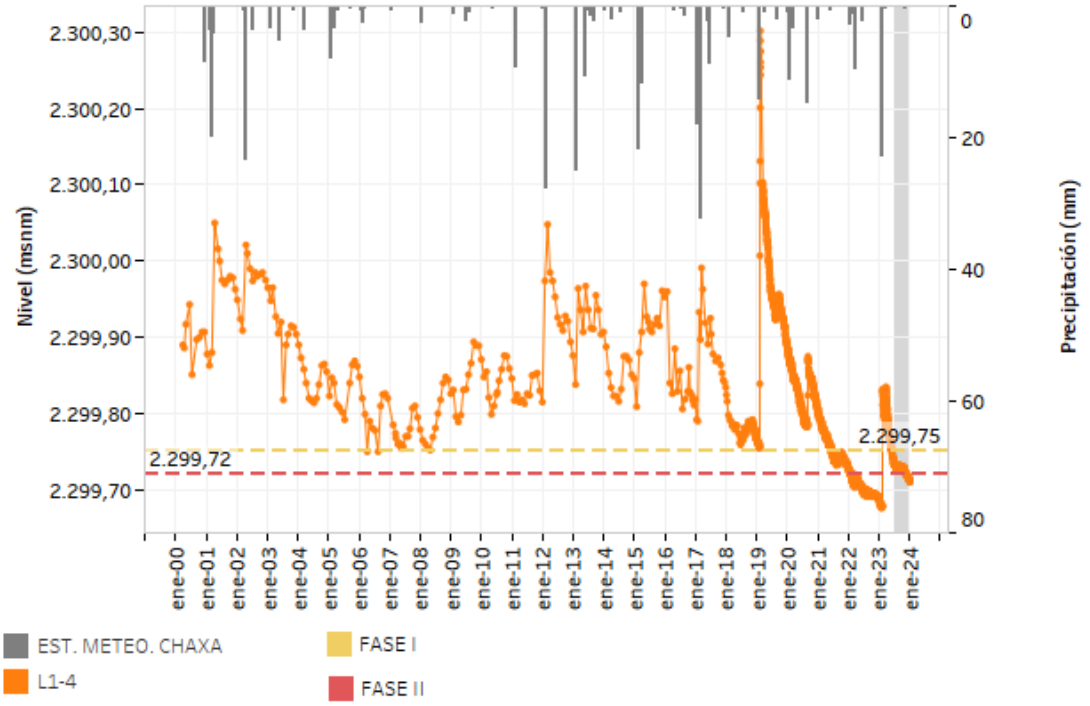


Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el punto L1-4 (Figura 6-130) se ha analizado en el apartado "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.

La Fase II del PC se activó durante el primer semestre del 2022, concretamente el día 20 de enero de 2022. Además, durante el presente semestre reportado, el indicador mostró un descenso de nivel que activó la Fase II durante el último trimestre, concretamente el día 20 de noviembre de 2023. Al cierre del semestre, e incluso durante la fecha de elaboración de este informe, el indicador se ha mantenido activo en Fase II, debido a la ausencia de precipitaciones.

Figura 6-130: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia

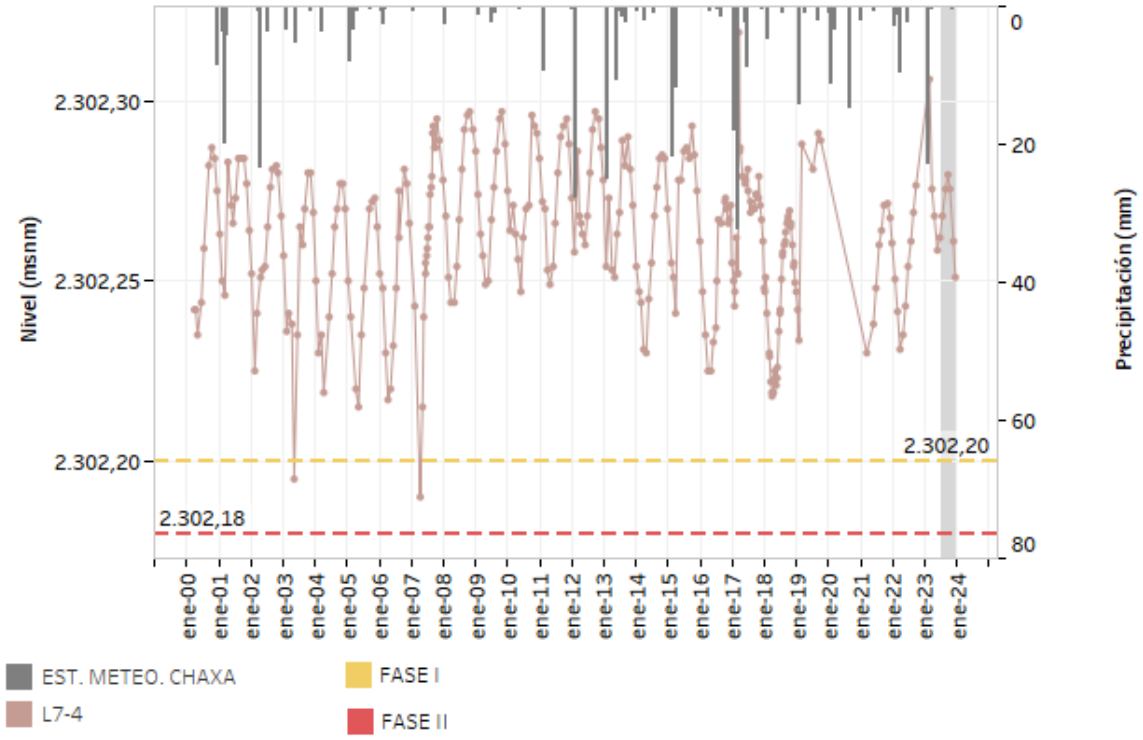


Fuente: Elaboración propia.

El L7-4 (Figura 6-131) es el indicador de estado de la laguna Puilar, y tal como se ha mencionado en el apartado 6.1.1.5 se ha podido comprobar 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 del último semestre del 2023 se encuentran dentro del rango de valores medidos en los años previos, por lo que, según la tendencia descrita, no se espera que se produzca ninguna activación en este indicador en los próximos meses. Más aún cuando se han producido importantes reducciones de extracción de agua en el acuífero aluvial, las cuales han sido efectivas en varios de los puntos del aluvial y en la parte más distal hacia el acuífero.

Figura 6-131: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia.

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 que en el conjunto de cuerpos de aguas dispersos del margen este del Salar de Atacama, que quedan dentro del perímetro de la Reserva Nacional Los Flamencos 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-5. Como indicadores de la influencia de las extracciones del núcleo, se monitorea el nivel de los pozos L3-9, L4-12 y L5-10. Como indicadores del bombeo de los pozos de agua industrial, se monitorea el nivel de los pozos L3-5, L4-8 y L5-8.

6.2.2.1 Indicadores de agua

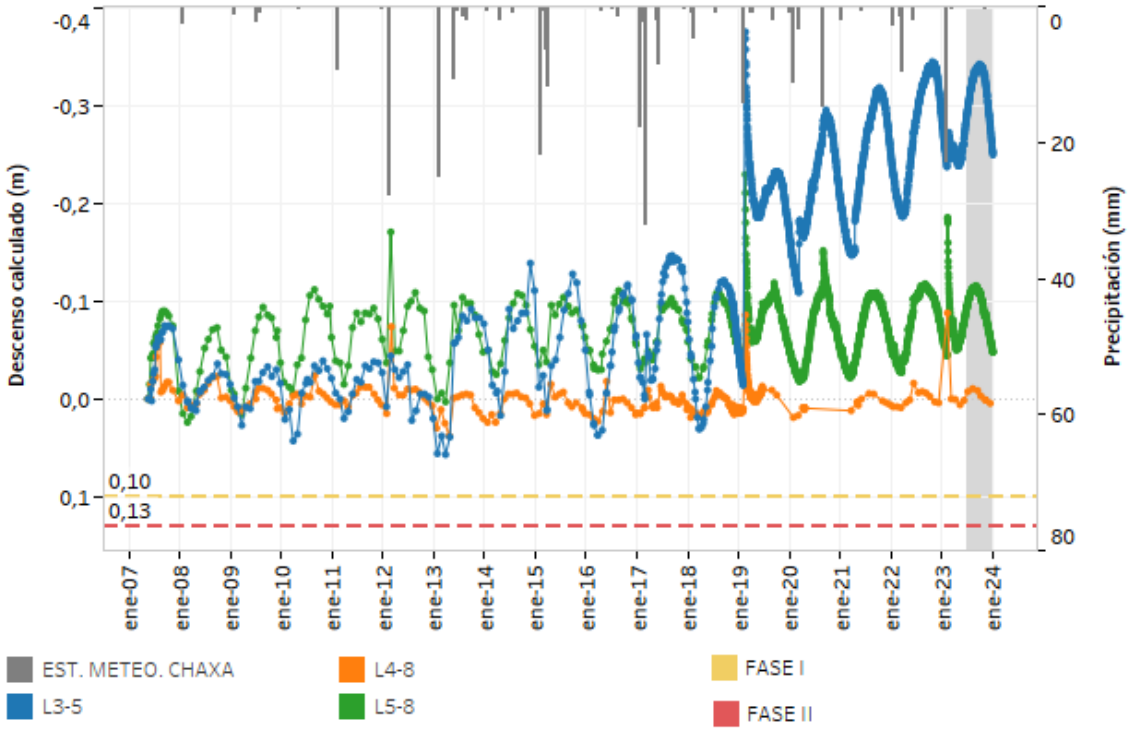
Los descensos calculados[40] de los niveles de los pozos L3-5, L4-8 y L5-8, indicadores de estado del bombeo de los pozos de agua industrial, se muestran en la Figura 6-132 junto los umbrales correspondientes. En el análisis efectuado en el apartado 6.1.2.1, se ha comprobado que estos puntos muestran la dinámica propia de los puntos influenciados por la interfaz salina (oscilaciones estacionales y sin tendencias de descenso-ascenso de los niveles) y la recarga proveniente del borde Este y de los episodios de lluvia.

El pozo L3-5, que se sitúa sobre la transecta L3 inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2, permite observar el aumento 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. Este cambio se interpreta como respuesta a la disminución de las extracciones en el acuífero aluvial, y en mayor medida por la detención del pozo Camar-2, dada su ubicación. Se destaca que en el entorno de este punto los niveles estén alcanzando cotas históricas, por ejemplo, el máximo estacional de 2022 se situó 27 cm por sobre el primer máximo estacional registrado en 2007, lo que hace que se aleje cada vez más de los umbrales que determinan el PAT, confirmando que esta medida (sin que ésta se haya tomado por una activación) es efectiva sobre el sistema. Respecto al último semestre de 2023, se observó que se alcanzó un máximo estacional similar al de 2022, sin embargo, no se observa en este caso, una tendencia creciente como se ha venido observando a partir de 2019, probablemente asociado a la ausencia de las precipitaciones durante el 2023.

De la misma forma que el pozo L3-5, a pesar de encontrarse más alejados, los pozos L4-8 y L5-8 presentan una tendencia oscilante y ambos mantienen una leve tasa de ascenso promedio durante el registro histórico de este pozo, al menos desde el 2021. Tal y como se ha observado en el capítulo 6.1.2, los niveles en estos sectores han mostrado recuperación (ascenso) de sus niveles, en distinta magnitud según su ubicación y la variabilidad del tipo de material del acuífero, producto de la detención del pozo Camar-2, llevando a que esta medida (sin que ésta se haya tomado por una activación) sea efectiva sobre el sistema.

[40] Para este apartado, la fecha de inicio que permite el cálculo del descenso se basa en lo estipulado según la RCA Nº226/2006.

Figura 6-132: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de los pozos de agua industrial junto con los umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia

6.2.2.2 Indicadores de salmuera

Los indicadores de estado para determinar la influencia de las extracciones del núcleo (L3-9, L4-12 y L5-10) se muestran en la Figura 6-133 junto con los umbrales de la Fase I y Fase II. En el apartado de análisis de estos puntos (6.1.2) se ha podido determinar que muestran un comportamiento mixto entre la zona marginal (zona de interfaz salina) y el núcleo, por lo que 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 a la vez que una tendencia promedio de descenso, esta tendrá una pendiente mayor a medida que el punto se encuentre más cercano al núcleo.

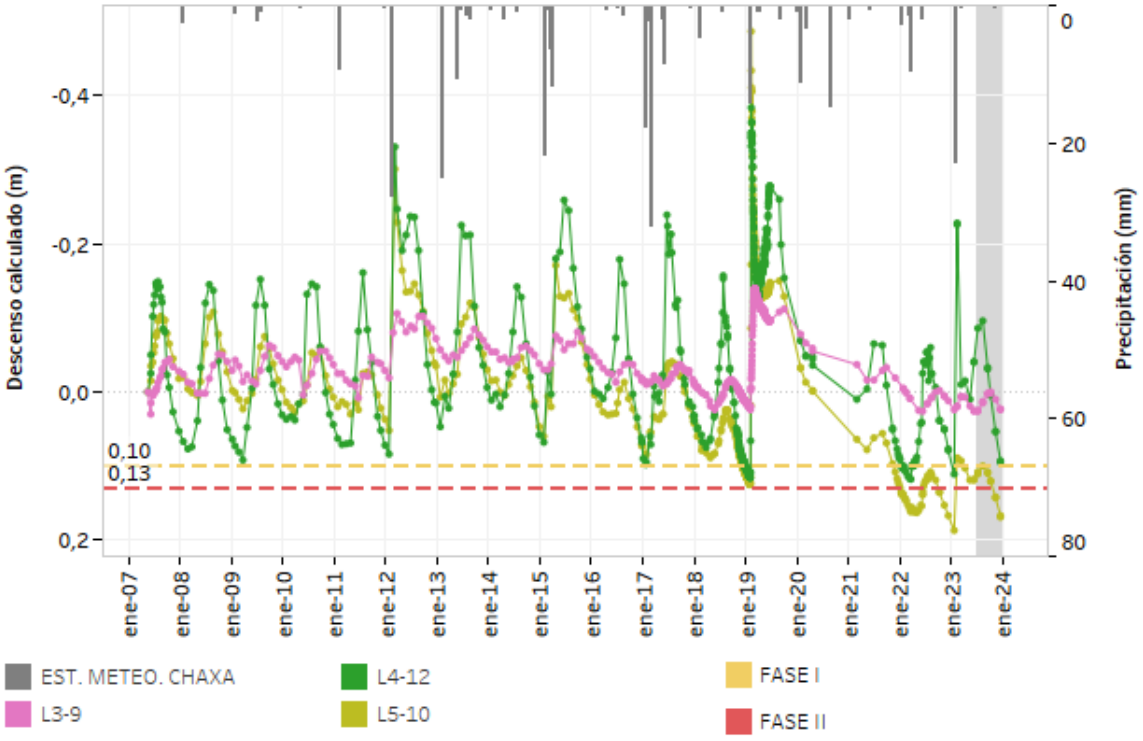
De la misma forma que ha ocurrido en todo el borde este del Salar, existe un cambio en el comportamiento de estos niveles a partir de las lluvias de 2012; desde esta fecha, la tasa de descenso promedio ha aumentado a 1,3 cm/año para el L3-9, 1,7 cm/año para el L4-12 y 2 cm/año para el L5-10.

En este caso, el 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 mantuvo hasta finales del último semestre, e incluso durante la fecha de elaboración de este informe el indicador continúa activo en Fase II, situación esperable dada la tendencia general de descenso que mantiene este punto.

En comparación con el L5-10, el L4-12 ha mostrado una menor tendencia al descenso, probablemente debido a su proximidad a los cuerpos de agua del sistema. A pesar de esto, ha entrado en Fase I en dos ocasiones y, el 21 de enero de 2024, se activó por primera vez la Fase II desde que comenzaron los registros, situación que persiste hasta la fecha de este informe. Según se detalla en la carta GMAL 55/2024, que acompaña el informe de investigación entregado, la activación de la Fase II se ha atribuido a la extracción de salmuera y a la reducción en las precipitaciones que se viene registrando desde el año 2020.

Finalmente, el L3-9 se mantiene oscilante y de forma muy estable (sin tendencia de ascenso o descenso) durante los años 2022 y 2023. Adicionalmente, debido a que el nivel se sitúa a 7,4 y 10,4 cm de la Fase I y II, no se estima probable que se produzca ninguna activación de PC por parte de este indicador si se mantiene la dinámica descrita.

Figura 6-133: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del Plan de Contingencia



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 Plan de Contingencia del subsistema Vegetación Hidromorfa busca advertir, anticipar y evitar posibles afecciones que puedan producir las extracciones de agua industrial. Para ello, se tiene como indicadores de estado los pozos: L1-17, L2-4, L2-27, L3-5, L7-3 y la Reglilla L4-10.

Los puntos L1-17, L2-4, L2-27 y L7-3 se han analizado junto con los otros puntos del sistema Soncor (apartado 6.1.3) y el punto L3-5 y la reglilla L4-10 en el sistema de Aguas de Quelana (apartado 6.1.2). Los descensos calculados para estos puntos con respecto los umbrales de Fase I y Fase II se muestran en la Figura 6-134.

Los indicadores L1-17 y L2-27 activaron sus Fases I y II entre una y tres veces entre los años 2020 y 2022, debido a un cambio en el patrón de comportamiento en estas zonas cercanas a las zonas de vegas (Vegas de Carvajal y Vegas de Quelana) desde 2020, en donde los mínimos estacionales alcanzaban cotas históricas no registradas anteriormente. Esta situación fue descrita en los informes PSAH Nº 27, 29 y 31 y desencadenó los consecuentes informes de investigación. Éstos vinculan el efecto de descensos estacionales debido a la extracción de los pozos de agua industrial como una de las causas. Sin embargo, también plantean la pregunta de si acaso, existen otros factores que puedan estar influyendo en este reciente cambio de patrón.

El segundo semestre de 2023, los niveles se encuentran sobre los umbrales tanto de Fase II como Fase I. No obstante, es esperable que las reducciones en la extracción de agua por parte de los pozos Allana y Mullay-1 y la detención del pozo Camar-2 sean efectivos también en estos puntos, tal y como se ha observado en el resto de los puntos alrededor del acuífero aluvial y su zona más distal.

En el indicador L7-3, que se encuentra al norte del sistema Soncor, muestra una reducción en la tasa de descenso entre el inicio de los registros y hasta 2021 (1 cm/año aproximadamente) y desde entonces se observa una señal de recuperación (ascenso), revertiendo el comportamiento hacia una tendencia ascendente. El comportamiento de este punto está ligado probablemente a la reducción de la extracción en el pozo Allana, que redujo el caudal a la mitad en 2020 y desde 2021 se encuentra prácticamente sin operar. Adicionalmente, durante el primer semestre 2023 se esperaba que reprodujera el mínimo estacional, el cual ha sido mezclado con la respuesta (ascenso) producto de las precipitaciones registradas estos mismos meses. Posteriormente, el segundo semestre registra mínimos de descensos, pero sin sobrepasar las Fase I y Fase II.

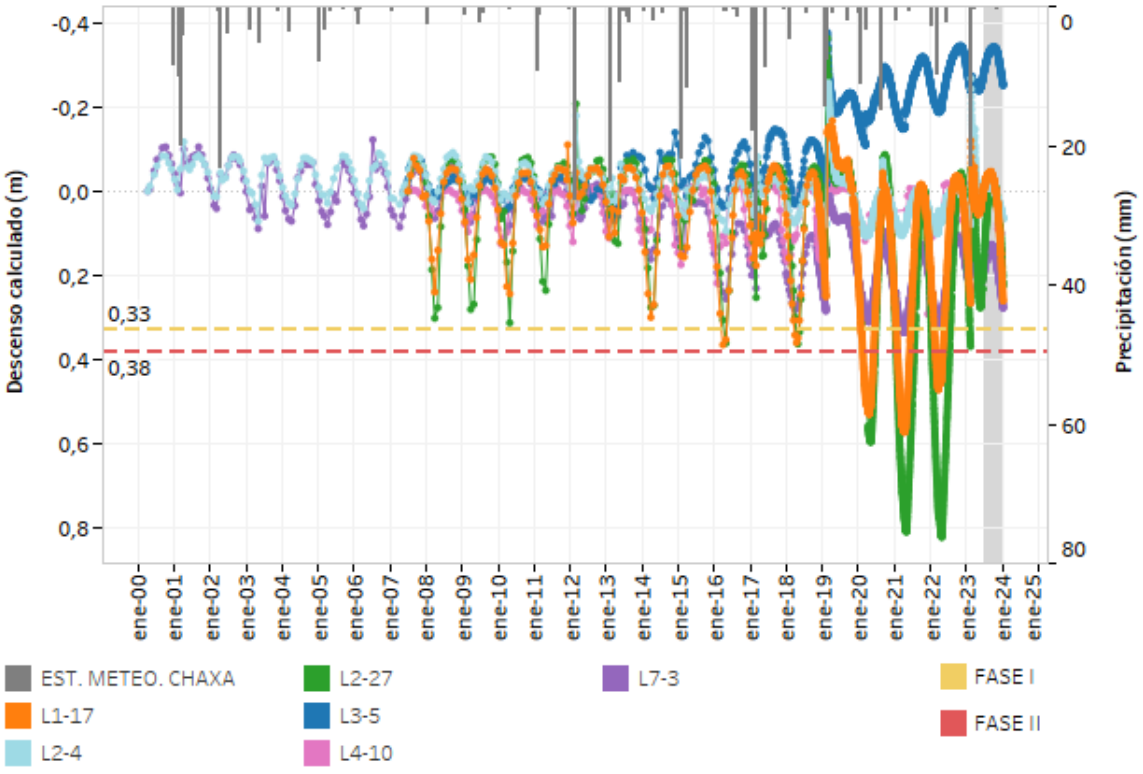
Por otro lado, el indicador L3-5 cambió la tendencia de los niveles a partir de la lluvia de 2019, volviéndose ascendente. Lo que hace que cada año el mínimo estacional se encuentre más alejado de las fases del PC. Dada su ubicación, este comportamiento está asociado a la detención del pozo Camar-2 principalmente, ya que el punto se ubica sobre la transecta L3 la cual está inmediatamente aguas abajo de este pozo de agua industrial. En el segundo semestre de 2023 se mantuvo en la misma tendencia que desde 2019.

Por su lado, el punto L2-4, que se encuentra en el extremo sur de las vegas de Carvajal, ha venido reproduciendo la estacionalidad esperada para un pozo de la zona marginal, en donde se destaca como la

amplitud de la oscilación se ha mantenido muy estable. No obstante, la tendencia ha ido variando en el tiempo: desde 2007 y hasta 2010, la tendencia se ha observado estable (sin ascenso ni descenso). Posteriormente, entre 2011 y hasta 2019, mostró una tendencia promedio de descenso (0,6 cm/año). Sin embargo, desde entonces hasta el segundo semestre 2023, se observa cómo los niveles han vuelto a mostrarse estables, sin mostrar una tendencia definida y por sobre el umbral de las fases.

Finalmente, el punto L4-10 corresponde a una reglilla del sistema Aguas de Quelana, el cual, de manera general, ha demostrado estabilidad manteniéndose en la misma cota histórica durante el segundo semestre de 2023. Además, se caracteriza por presentar una oscilación de mayor amplitud, respecto de los anteriores puntos descritos de la serie L4 (alrededor de 7 cm).

Figura 6-134: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia

6.2.4 SISTEMA BORDE ESTE - VEGETACIÓN BREA-ATRIPLEX

Los pozos del Plan de Contingencia 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 encuentran en una zona de Vegetación Brea-Atriplex (ver Anexo 2), su evaluación como indicadores sí se ha mantenido de acuerdo con lo comprometido en la RCA N°226/2006.

Estos indicadores se han analizado en conjunto con los otros puntos del PSAH considerando el sistema hidrogeológico en el que se encuentran. Por su parte, en el Sistema Soncor (Figura 6-135) se encuentra el análisis de los puntos L7-6, L1-3, L2-7 y L2-28; en el apartado 6.1.2 del Sistema Aguas de Quelana está el análisis de los indicadores L3-3 y L4-7; y, el L9-1 se ha analizado en el Sistema de Vegetación Hidromorfa (apartado 6.1.3).

Cabe señalar que el pozo L7-6, en la RCA se definió en la RCA como un pozo del PC destinado a la protección 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 Res. Ex. Nº1/Rol F-041-2016, SQM retoma el monitoreo de dicho pozo como parte del Plan de Contingencia del Sistema Vegetación Borde Este.

Por otro lado, debe recordarse que el pozo L1-3 fue reconstruido durante el año 2012, producto de que el original fue tapado por un aluvión. Esta situación se informó por medio del Informe PSAH N° 11 el mismo año 2012. Dado que el nuevo pozo (ubicado en el mismo sector del pozo original) supone una pequeña variación de las coordenadas de ubicación y de la cota del punto de referencia, implica una diferencia, entre la cota del punto de referencia del pozo destruido por el aluvión de 2012 y la del pozo de reemplazo es de 0,183 m, esto quiere decir, por tanto, que, a partir de marzo de 2012, se agregaron 0,183 m a la "medición desde punto de referencia" inicial de mayo de 2007.

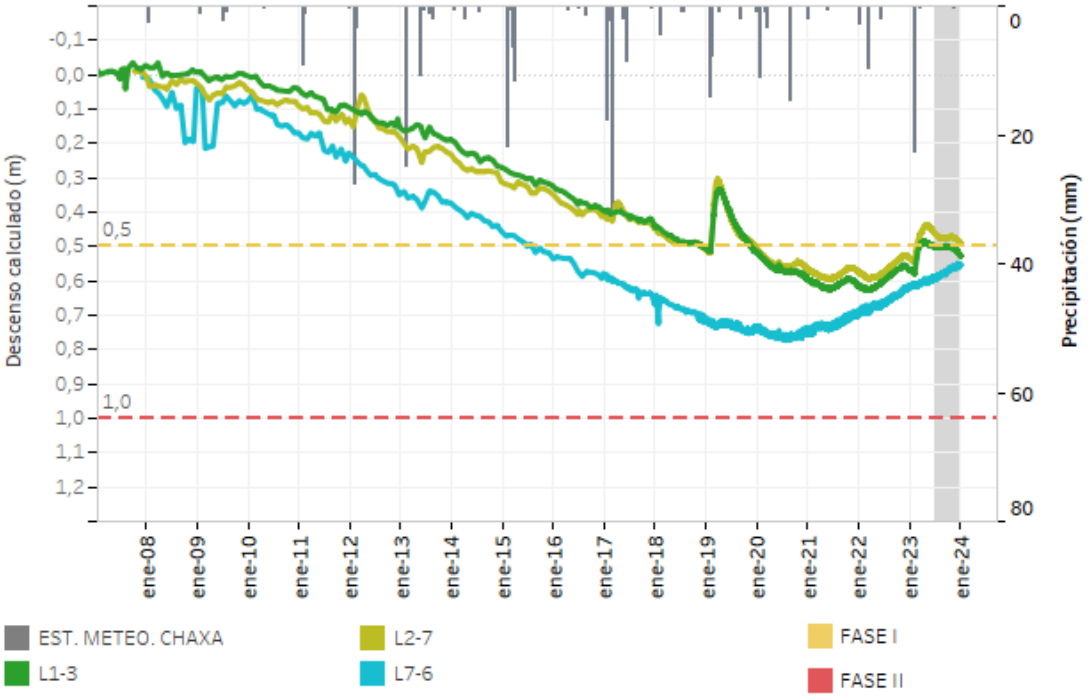
El cálculo de los descensos, con respecto a los umbrales del PC de los puntos L7-6, L1-3 y L2-7, se muestran en la Figura 6-135. El punto L7-6 se encuentra sobre la transecta L7 que se sitúa inmediatamente aguas abajo del pozo Mullay-1, a unos 4 km de distancia. Este punto ha mostrado un comportamiento 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 con la Fase I activada desde junio de 2015, pero debido a este cambio en la tendencia se prevé que en el futuro se pueda desactivar esta fase.

Por su lado, los indicadores L1-3 y L2-7 se ubican en la parte distal del acuífero aluvial, aguas abajo del área que comprenden 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 *peaks* asociados a los episodios de lluvia. Ambos indicadores se encontraban con la Fase I activada, desde junio 2019 el L1-3 y desde diciembre 2019 el 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 durante los primeros meses de 2023, lo que conllevó a que en este período se haya producido la desactivación de la Fase I. Por otro lado, a pesar de que el pozo L1-3 muestre un patrón de nivel ascendente, con evidentes respuestas frente a precipitaciones, éste ha permanecido con la Fase I activada desde junio de 2019.

Figura 6-135: 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 que muestran un comportamiento transicional entre el acuífero aluvial y en la zona marginal, relacionada con la zona de interfaz salina (Figura 6-136). Estos puntos se caracterizan por presentar oscilaciones estacionales junto con un descenso promedio de los niveles.

El L2-28 se ubica aguas abajo del área comprendida entre el pozo Allana y Camar-2. En el pasado, este pozo mostraba una marcada oscilación con una tendencia descendente constante. Sin embargo, a partir de 2020, se observa un cambio en el patrón, ya que en general, el pozo deja de descender y los máximos estacionales, por ejemplo, se empiezan a registrar en cotas similares cada año (ver años 2021 y 2022). Este cambio se relaciona principalmente con la reducción de las extracciones de agua en el acuífero aluvial, tanto por parte del pozo Mullay-1 como del pozo Allana, así como también por la detención del Camar-2. Este indicador produjo diversas activaciones (y desactivaciones) de Fase I durante los ciclos estacionales a partir de 2017, y desde 2020 los niveles se mantuvieron por debajo del umbral de Fase I. A comienzos de

2023 se produjo un mínimo estacional, pero posteriormente el indicador desactivó la Fase I durante el ascenso hacia el máximo estacional registrado en este mismo año. Esta situación se atribuye principalmente, como ocurre en todo el Borde Este, a las reducciones de las extracciones de agua del acuífero aluvial.

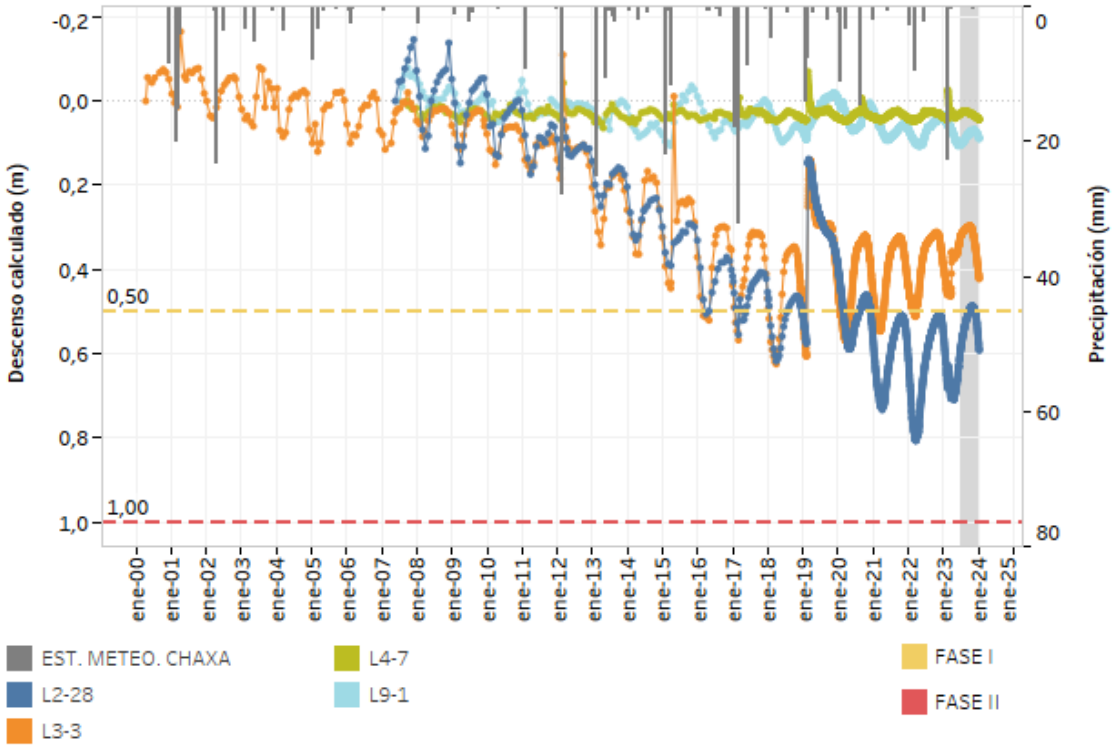
Por su parte, el L3-3 se sitúa sobre la transecta L3, inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto ha mostrado históricamente un comportamiento transicional entre el aluvial y el de la zona marginal, con una pendiente de descenso y una oscilación propia de la estacionalidad. No obstante, a partir de 2018 y más evidentemente, después de la recuperación de las lluvias de febrero 2019, el punto revirtió su tendencia y empezó a ascender, a la vez de la oscilación estacional. Este efecto se relaciona directamente con la detención del pozo Camar-2, que cesó su actividad de forma definitiva el año 2018. Este indicador ha activado y desactivado Fase I en varias ocasiones a partir del año 2017, debido a que los mínimos estacionales han sobrepasado el umbral de activación. No obstante, a partir de 2022, el mínimo estacional registrado no sobrepasó el umbral de Fase I y en base a esto, se ha interpretado que el cese del pozo Camar-2 ha sido efectivo sobre el sistema.

Con respecto al indicador L4-7, este se sitúa sobre la transecta L4, aguas abajo del pozo Socaire-5. En términos generales, este punto se ha mantenido históricamente estable (sin ascenso ni descenso) y oscilante. Sus niveles se han mantenido normalmente por sobre del umbral de Fase I, unos 50 cm en promedio.

Finalmente, el L9-1 se sitúa aguas abajo del pozo CA-2015 y muestra un comportamiento que se ha identificado en los sistemas anteriores y que ha sido definido como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, ya que presenta una oscilación poco regular. La tendencia de descenso se observa más evidentemente en el período comprendido entre 2007 y 2015, con una pendiente promedio de 1,3 cm/año.

A partir de marzo de 2015, este indicador comenzó a fluctuar con máximos y mínimos a distintas cotas cada año y con una tendencia estable, lo que le confiere un comportamiento distinto respecto del período anterior. No obstante, desde 2015 hasta el actual semestre reportado este indicador se ha mantenido unos 40 cm por sobre el umbral de Fase I.

Figura 6-136: 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 INDICADORES DE ESTADO SISTEMA PEINE

Tal como se especifica en el PdC presentado a la SMA, se comprometió aplicar los umbrales de activación de Fase I y/o II definidos para el Sistema Peine, tanto en el seguimiento del proyecto aprobado por la RCA 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[41].

Para los pozos pertenecientes al plan de seguimiento contemplado en la RCA Nº226/2006 (pozos 1028, L10-11 y L10-4), el PdC propone el contraste entre las mediciones efectuadas a partir de octubre de 2018, respecto a los umbrales establecidos (umbrales variables anualmente en forma escalonada). Para el caso de los pozos PN-05B y PN-08A de la RCA 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. Durante el segundo semestre de 2023 se recibió aviso de la SMA sobre la activación de Fase II del pozo PN-08A; el aviso oficial de la activación de la Fase I fue canalizado mediante la carta ALB-GMA-2023-SMA-051, con entrega el día 20 de diciembre de 2023. De acuerdo con el protocolo establecido, el informe de la Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico (HVES) para el umbral de la Fase I será entregado seis meses después de la notificación de activación. Por consiguiente, los resultados obtenidos serán mencionados y discutidos en la próxima actualización del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, correspondiente al reporte PSAH N°35 (primer semestre de 2024).

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. De acuerdo con lo anterior, durante el segundo semestre de 2023 se produjo un cambio de escalón y los umbrales alcanzaron cotas de 2.299,29 m.s.n.m. y de 2.299,10 m.s.n.m, para la respectiva activación de las Fases I y II.

El pozo 1028 está ubicado sobre el núcleo, en la parte distal del desborde de Interna. Según el análisis realizado con el resto de los pozos del PSAH del sistema Peine, este punto muestra un comportamiento

[41] Asimismo, mediante Res. Ex. 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 Res. Ex. 2141/2020, de 28 de octubre de 2020 y Res. Ex. Nº 962/2021, de 30 de abril de 2021.

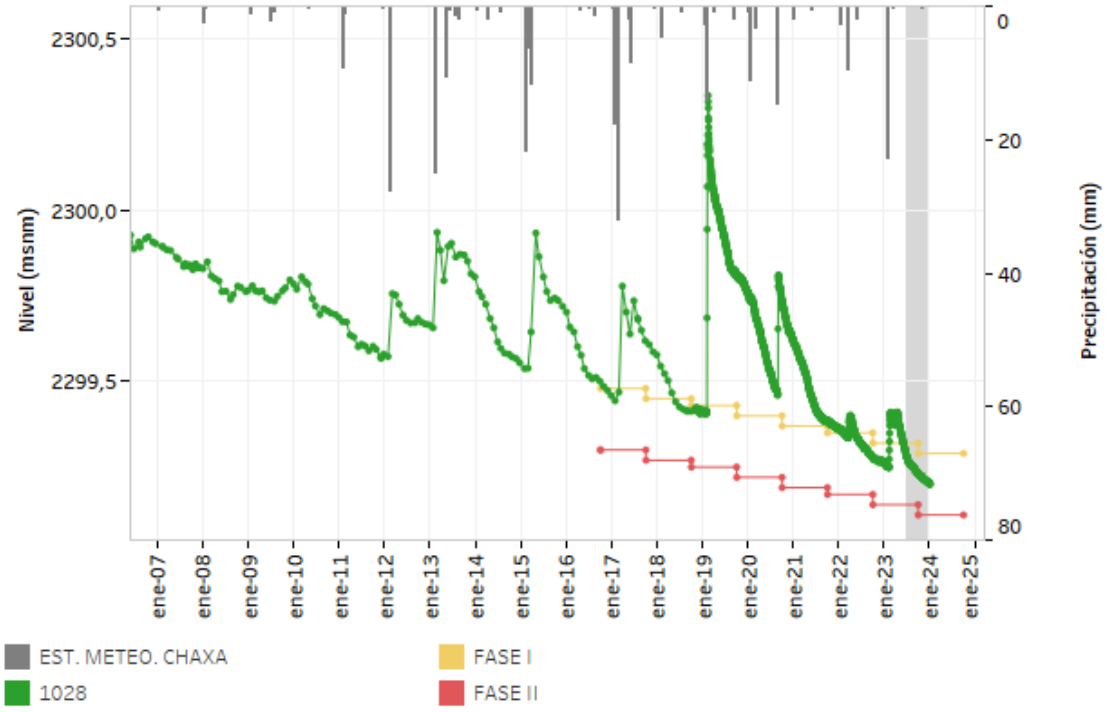
más bien relacionado con el núcleo (sección 6.1.), con tendencia general de descenso y respuestas a eventos de lluvia. Desde el año 2022, este indicador ha registrado varias activaciones – y desactivaciones – de Fase I (febrero 2022 y mayo 2022), a causa del descenso y los sucesivos peaks asociados a eventos de precipitación. Al inicio de 2023, este indicador se encontraba con la Fase I activada, y producto de los aportes registrados vinculados a eventos de lluvia, el indicador desactivó temporalmente la Fase I, desde febrero hasta mayo de 2023. Seguidamente, debido a la disminución del nivel se reactivó la Fase I, situación que se ha mantenido hasta el cierre de este reporte (segundo semestre 2023).

Así, el informe en que desarrolla la Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico (HVES) fue entregado el día correspondiente, el día 30 de noviembre de 2023a través de la carta GMAL 476/23

El indicador L10-11 (Figura 6-138) también se encuentra en el núcleo, con el consecuente patrón de comportamiento de nivel, totalmente análogo al 1028. En este caso, el indicador L10-11 sobrepasó el umbral de Fase I en septiembre de 2021 y abril de 2022. Desde esta última fecha, el indicador permaneció activado hasta que en el período comprendido entre febrero y mayo de 2023 se produjo la temporal desactivación tras el peak de ascenso del nivel asociado con las lluvias registradas durante estos meses. Posteriormente, este indicador activó de nuevo la Fase I en mayo de 2023 y permanece activada durante el actual semestre reportado.

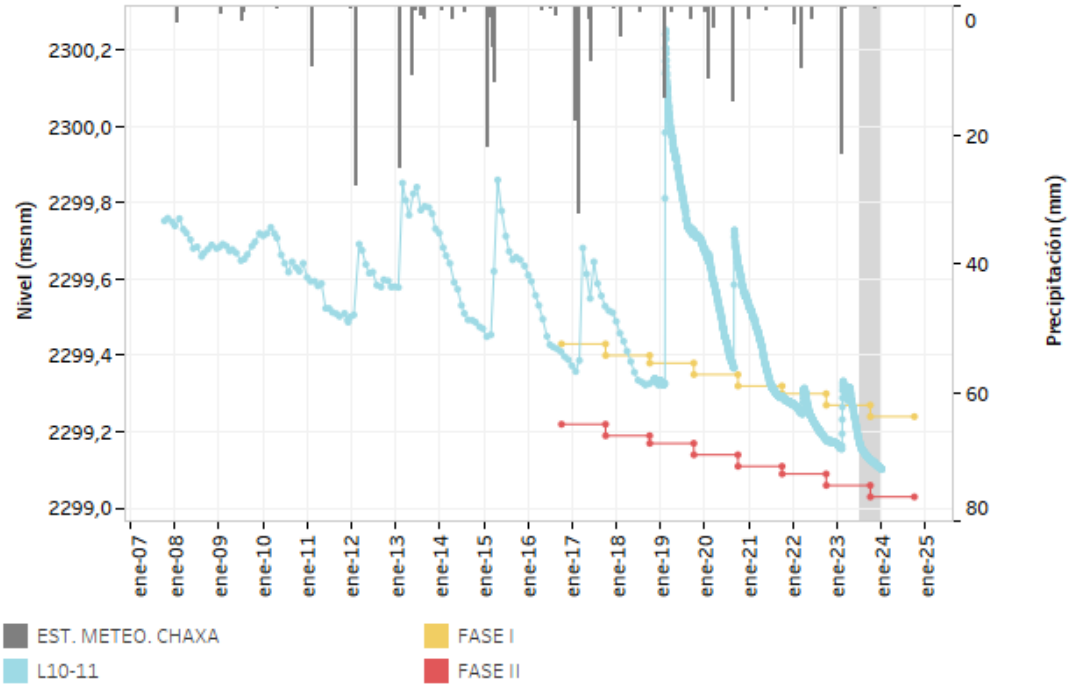
Por su parte, el L10-4 (Figura 6-139) se encuentra en el extremo de la zona marginal, a cercanías del núcleo. Sin embargo, a partir del análisis de niveles, se ha determinado que este punto muestra un comportamiento transicional entre la zona marginal y el núcleo, aunque dada su proximidad al núcleo, se registran variaciones muy similares al resto de puntos caracterizados como núcleo. De forma análoga a los dos indicadores anteriores, el punto L10-4 activó la Fase I en mayo de 2022 y permaneció así hasta el primer semestre de 2023, en donde debido al peak de lluvias registrado estos meses se produjo la temporal desactivación. Finalmente, en junio de 2023 el nivel sobrepasó nuevamente el umbral de activación de la Fase I y al cierre de este segundo semestre reportado permanece activa dicha fase. Por esta razón, se entregó a través de la carta GMAL 477/2023 el correspondiente HVES el día 7 de diciembre de 2023.

Figura 6-137: Niveles medidos en el 1028 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine



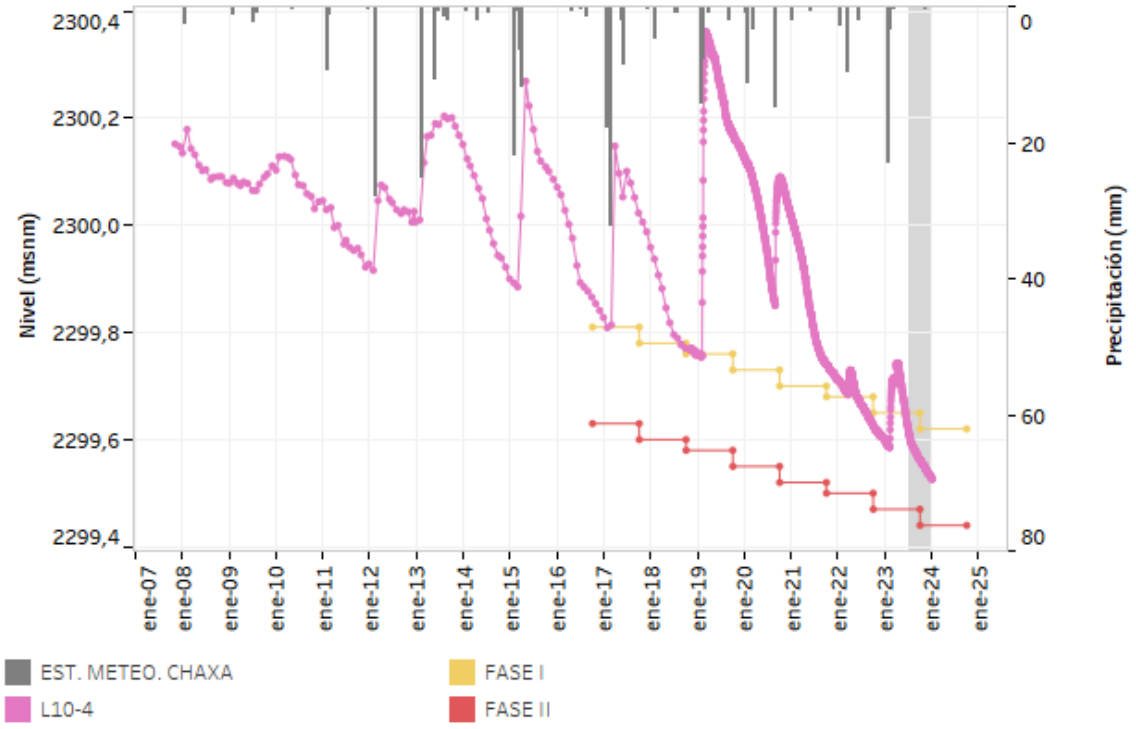
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-138: Niveles medidos en el L10-11 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-139: Niveles medidos en el L10-4 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

6.2.6 SISTEMA BORDE ESTE - ALERTA TEMPRANA

Los pozos del subsistema Alerta Temprana están ubicados al este del sistema Vegetación Brea-Atriplex, en el límite oriental del sistema de vegetación Borde Este. Estos pozos permiten observar anticipadamente los posibles efectos del bombeo de agua sobre las formaciones vegetales que se protegen. Los indicadores de estado considerados para esta zona son L4-3, L7-13, L2-25, L3-11 (ubicado al oeste del Sistema Vegetación Brea-Atriplex), y L9-1. Estos puntos fueron analizados de forma conjunta según su ubicación con respecto los sistemas hidrogeológicos de la siguiente forma: en el sistema de Soncor los pozos L7-13 y L2-25, en el sistema Aguas de Quelana el L4-3 y L3-11 y en el sistema Vegetación Borde Este el L9-1.

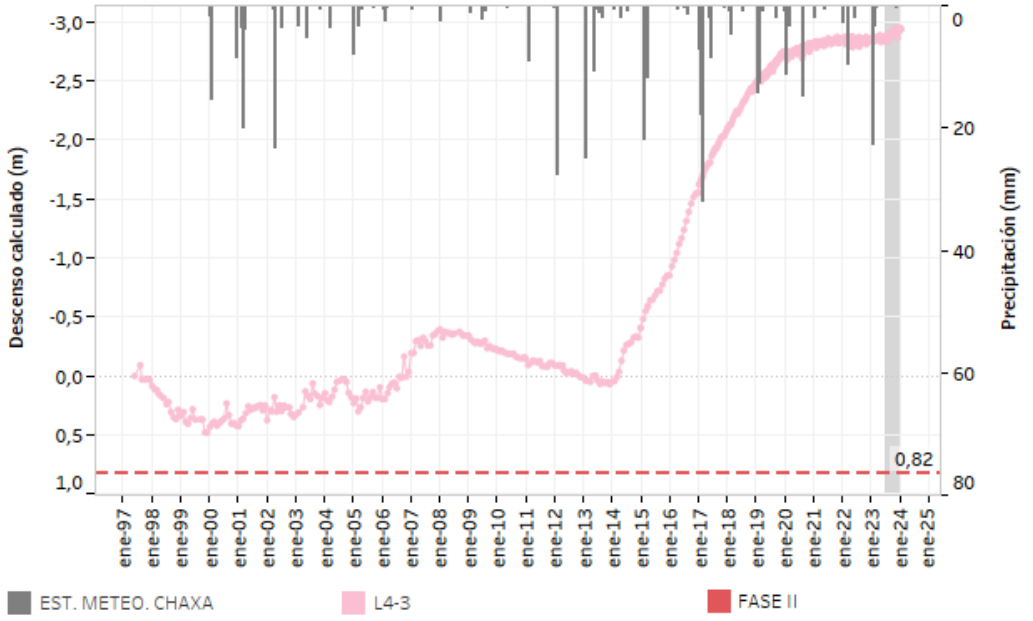
Como ya se ha descrito, el pozo L4-3 (Figura 6-140) cambió su tendencia de descenso a partir de 2014, año en donde comenzó a reproducir un ascenso regular, que se mantiene todavía durante el segundo semestre de 2023. Este comportamiento es considerado anómalo al ser comparado con el resto de los pozos vecinos.

El punto L2-25 se encuentra en el extremo oeste del acuífero aluvial y como se ha observado, presenta un comportamiento transicional entre la zona aluvial y la zona marginal (Figura 6-141). Concretamente, este punto muestra un ascenso promedio en su serie histórica. En el marco del Plan de Contingencia se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso de 1 m. Durante el segundo semestre de 2023, el comportamiento descrito para este indicador permanece estable y al cierre de este reporte, este indicador se mantiene a alrededor de 1 m por sobre el umbral.

Por su parte, el L7-13 (Figura 6-142) se ubica sobre el acuífero aluvial del sistema Soncor y muestra el comportamiento típico asociado a esta zona; una tasa de descenso constante sin oscilaciones estacionales. En el marco del Plan de Contingencia se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso de 1,25 m. En base al registro histórico, se identificó que el pozo presentaba un descenso constante hasta el año 2020, en donde hasta mediados de 2021, el nivel disminuyó la pendiente de descenso y mostró una aparente estabilización del nivel. Desde esta última fecha, el punto L7-13 ha mostrado una tendencia de ascenso del nivel más evidente, posiblemente relacionado con la disminución en la extracción del acuífero aluvial. Al cierre del segundo semestre de 2023, este indicador se encuentra a 81 cm por sobre del umbral establecido.

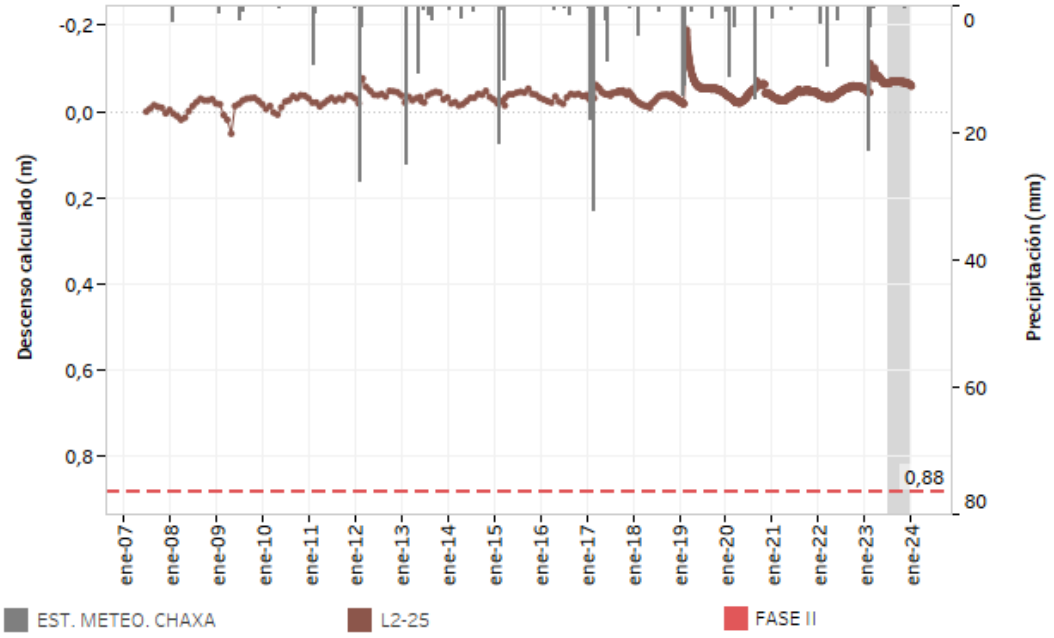
Por último, se muestran conjuntamente los puntos L3-11 y L9-1 (Figura 6-144), aunque se encuentren en sectores muy distintos, ya que comparten el mismo umbral. Se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso de 0,86 m. El indicador- L9-1 se encuentra en el sistema Vegetación Borde Este, en el extremo del acuífero aluvial, aguas abajo del pozo CA-2015. Mientras que, el punto L3-11 está ubicado 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 su parte, el indicador L9-1 se muestra oscilante y con una tendencia estable, con leves variaciones alrededor de la misma cota. A lo largo del segundo semestre de 2023, el indicador se mantiene en promedio unos 78 cm por encima del umbral de activación.

Figura 6-140: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia



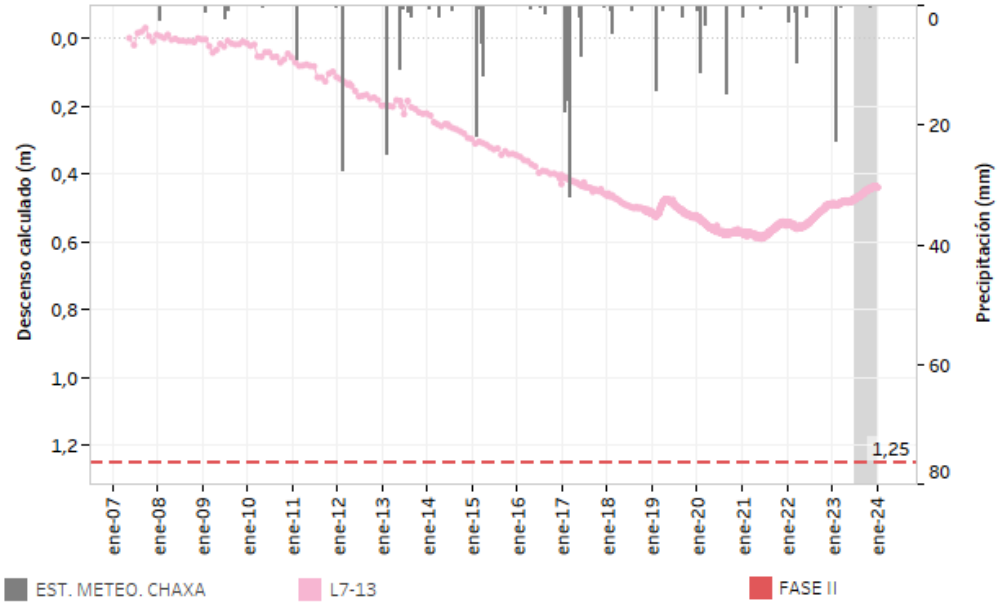
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-141: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia



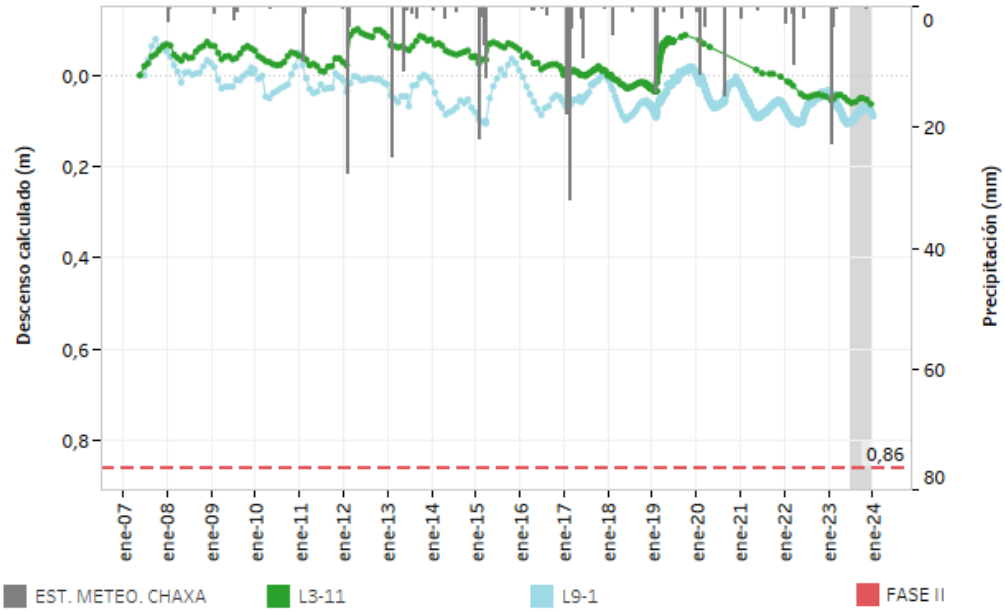
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-142: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-143: Descenso de los indicadores L3-11 y L9-1 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del PC



Fuente: Elaboración propia

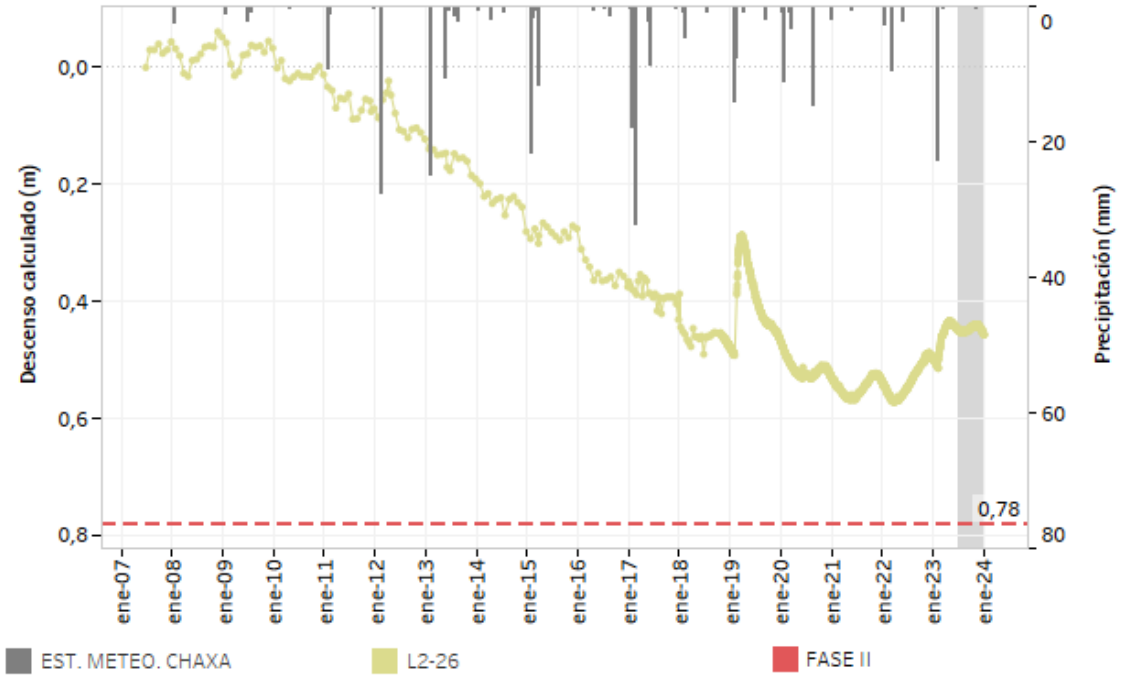
6.2.7 POZOS ADICIONALES AL PLAN DE CONTINGENCIA

Tal como se mencionó en la sección 4.3.8, con el objetivo de incrementar los resguardos sobre el Sistema Borde Este, SQM ha incluido en forma complementaria al Plan de Contingencia, mediante la misma metodología utilizada en la definición del resto de los pozos que conforman el PC) seis pozos de monitoreo 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).

Los indicadores han sido analizados durante el capítulo 6.1 de la siguiente forma: L7-14, L2-25 y L2-26 en el sistema Soncor, L4-17 y L3-15 en el sistema Aguas de Quelana, y L9-2 en el sistema Vegetación Borde Este.

Respecto del L2-26 (Figura 6-144), 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). Al cierre del actual semestre reportado, este indicador se posiciona a 33 cm por sobre del umbral y se prevé que esta distancia aumente si se mantiene el mismo comportamiento.

Figura 6-144: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC

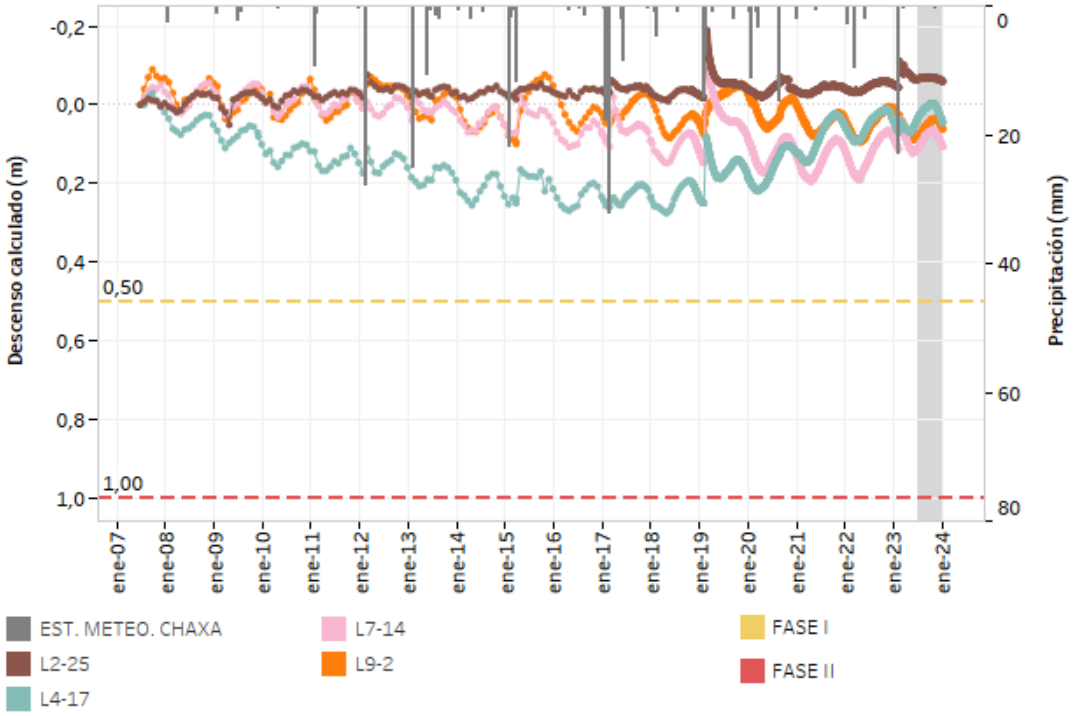


Fuente: Elaboración propia

El resto de los puntos de este grupo muestran un patrón de transición entre el acuífero aluvial y la zona marginal. Estos puntos se muestran en distintos gráficos de acuerdo con el umbral definido en el PC. Por consiguiente, en la Figura 6-145 se grafican los descensos históricos del L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 y en la Figura 6-146 el L3-15.

Respecto del primer subgrupo (Figura 6-145), para estos indicadores se asimilaron los límites de activación de Fases del subsistema Vegetación Brea-Atriplex. De esta forma, desde el 2007 hasta la fecha, ningún pozo ha descendido más allá del límite de Fase I, encontrándose al menos 23 cm por sobre el umbral definido. El pozo con mayor tasa de descenso correspondía al punto L4-17 (de casi 1 cm/año). Sin embargo, desde 2020 empezó a mostrar una tendencia de ascenso, debido al efecto de la reducción de agua, como ha ocurrido en la totalidad de pozos de este sector. Dicha tendencia se mantiene durante el segundo semestre de 2023.

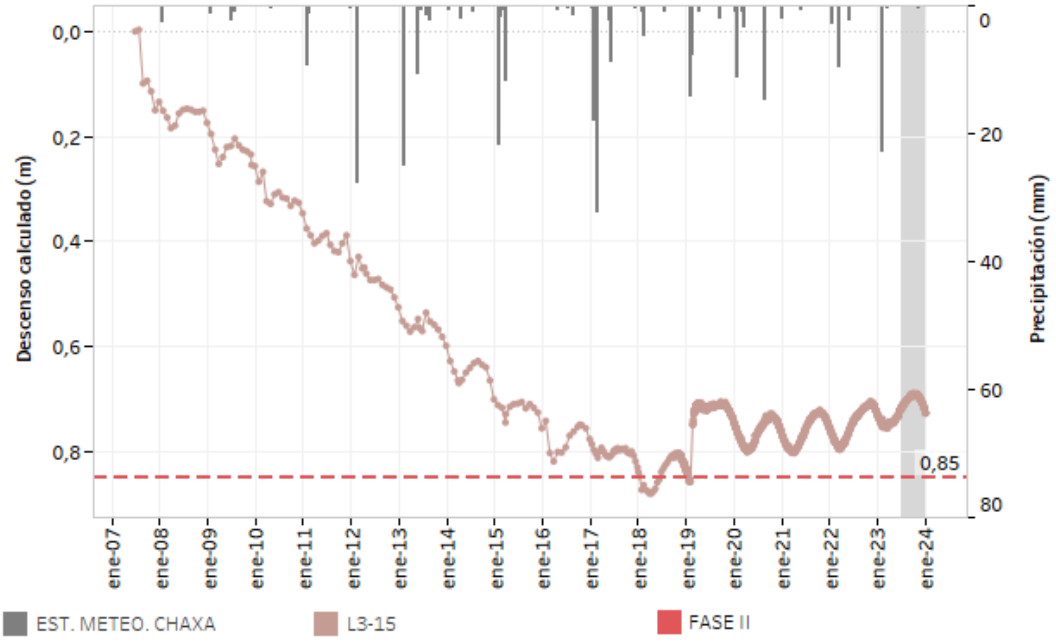
Figura 6-145: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia

Por último, el pozo L3-15 (Figura 6-146), 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 respondido 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. En el segundo semestre de 2023, el nivel se ha encontrado al menos a 13 cm por sobre el umbral (diciembre) y si se mantiene el comportamiento de recuperación (ascenso) esta distancia seguirá en aumento.

Figura 6-146: 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 226/2006 abarca una gran extensión espacial, con 225 puntos de monitoreo en los que se registran 35 medidas de parámetros, con diferentes frecuencias de medición en función del punto, variable y parámetro objeto de control (desde medición continua a frecuencia anual). El PSAH permite monitorear el comportamiento hidrogeológico del Salar de Atacama, proporcionando información importante para la protección de los sistemas lacustres y vegetativos, así como también para mejorar el conocimiento del sistema hidrogeológico de la cuenca, información con la que se sustentan las actualizaciones del modelo hidrogeológico comprometidas en la RCA indicada anteriormente.

Durante el período semestral reportado, comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre del año 2023, se efectuaron 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 es la restricción de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos para los Sistemas de Soncor y Aguas de Quelana, y de la no autorización de ingreso a las zonas sensibles del Sistema Peine, Tilopozo y sector Tambillo por parte de sus respectivas comunidades (ver comunicaciones en Anexo 4).

A continuación, se describen las principales conclusiones de las variables de seguimiento y del estado del Plan de Contingencias.

De los niveles de agua/salmuera subterránea

En el segundo semestre de 2023 y según la información de niveles registrada, todos los pozos parecen mantener el comportamiento hidrogeológico esperado según su localización. En concreto, se han reconocido cinco patrones de niveles típicos: Tipo Núcleo, Tipo Marginal, Tipo Aluvial, Influencia de agua superficial y comportamientos transicionales asociados. Se destaca la reducción en las extracciones de agua de los pozos Camar-2, Allana y Mullay-1, que han generado respuesta en casi todos los puntos del acuífero aluvial (principalmente en la zona norte) y aquellos puntos de la parte distal del acuífero aluvial, e incluso parte de la zona marginal. Por ejemplo, se han generado cambios en las tendencias de descenso

del acuífero aluvial (estabilización), que incluso han presentado patrones típicos de la zona marginal (oscilación estacional y respuesta a lluvias episódicas), mientras que en la zona de transición aluvial-marginal algunos puntos han revertido su tendencia, pasando a mostrar tasas de ascenso.

Por otro lado, el efecto del paro del pozo Camar-2 también se hizo visible en los puntos situados más al sur del pozo Socaire-5 (sin que éste haya modificado su régimen habitual de extracción), lo que finalmente confirmó que el acuífero aluvial se extiende lateralmente hasta ese sector y que los conos de descenso de los pozos de agua industrial se encuentran solapados.

También cabe señalar que los tiempos y la magnitud de la respuesta a los cambios en las extracciones de agua (reducción del caudal y paro del Camar-2, en este caso) han sido variables en toda la parte distal del acuífero aluvial y el inicio de la zona marginal. Esta zona se caracteriza por una interdigitación entre depósitos sedimentarios finos y gruesos, clásticos y evaporíticos, y pone en evidencia la heterogeneidad en las propiedades hidráulicas que le confieren los materiales allí presentes.

A inicios de 2023 se registraron eventos de precipitación que han generado *peaks* de recarga en prácticamente en todos los puntos observados (exceptuando aquellos que, debido a su patrón de comportamiento, no es esperable que respondan a estos eventos), mientras que durante el segundo semestre se han registrado los mínimos estacionales esperados durante esta época del año.

El patrón en los niveles del Núcleo ha mostrado históricamente una pendiente de descenso basal característica, sin estacionalidad y sensible a eventos de precipitación porque este sector recibe agua por recarga directa. Por ejemplo, un efecto normalmente observado ha sido un aumento centimétrico del nivel para luego mostrar un descenso gradual.

En el caso de los puntos situados sobre la zona Marginal, estos presentan comportamientos diversos según su ubicación, situación de bombeo de pozos aledaños (conos de descenso), distribución de las características hidráulicas asociadas a los distintos tipos de sedimentos en la cuenca, topografía y gradiente hidráulico, entre otros. Asimismo, se ha identificado que la fuente de recarga de los pozos de este sector es directa y también lateral (origen subterráneo). Durante el segundo semestre de 2023 se esperaría registrar los mínimos estacionales y se ha observado cómo en varios casos la cota alcanzada ha

sido menor respecto la dinámica de los anteriores años, evidenciando signos de recuperación en algunas zonas lindantes al acuífero aluvial.

Finalmente, los pozos que se encuentran en la zona Aluvial presentan un patrón histórico de descenso, con diferencias topográficas significativas en algunos casos y sus niveles normalmente no reproducen eventos de lluvia, pero sí se ven influenciados por los conos de descenso generados durante el bombeo de pozos cercanos. Esta situación no se extiende a los pozos del sistema Peine debido a que, en este caso, los niveles muestran una tasa de ascenso alta (de hasta 38 cm/año) y se vinculan directamente con los ciclos de evaporación estacional.

Del plan de contingencias

En el sistema Soncor, los indicadores L1-5 y Reglilla L1-G4 han permanecido con la Fase II del Plan de Contingencia activada desde abril de 2021. Esto se explica por la tendencia de descenso esperada en este sector, que se vio acrecentada por la merma en la infiltración que recibían desde los desbordes de Barros Negros a partir del año 2012. En particular, el desborde Cola de Pez (desborde hacia el oeste de Barros Negros) derivaba en algunos encharcamientos aislados, cercanos a los dos indicadores de estado mencionados previamente, los que fueron desapareciendo a partir de cambios en el patrón de desbordes desde el oeste hacia el sur. Esta migración de los desbordes es identificable en las imágenes satelitales históricas y estudios locales evidencian que su origen reside en cambios en la topografía de los bordes lagunares y algunos lóbulos de depositación de sedimentos (Le Roux, 2018).

El patrón de descenso en los indicadores L1-5 y Reglilla L1-G4 se ha visto alterado por eventos de precipitación que recargan directamente el sistema. A pesar de que ambos puntos mostraron un *peak* de recarga producto de los episodios de lluvia registrados a inicios de 2023, el nivel se posiciona actualmente a cotas sensiblemente por debajo del umbral de Fase II como para generar una eventual desactivación del PC. Transcurrido el segundo semestre de 2023, se ha observado que la tendencia de descenso continúa. Ya se ha descrito con detalle que esta activación no es un riesgo para el Objeto de Protección, ya que los indicadores no son los más adecuados para su función de alerta temprana.

Respecto del indicador L1-4, activó la Fase II por primera vez durante enero de 2022 y producto de las lluvias registradas en el primer semestre de 2023 se generó la desactivación del PC para este punto.

Posteriormente, en este mismo semestre se activó nuevamente la Fase I, mientras que en noviembre de 2023 se activó la Fase II, la cual se ha mantenido debido a la ausencia de precipitaciones. Cabe destacar que, este punto al estar desconectado hidráulicamente del acuífero aluvial, no se considera un buen indicador de estado para el seguimiento de los efectos provenientes de la extracción de agua. Por otro lado, el informe de efectividad de la medida que se realizó debido a la activación de 2022 da cuenta de que los pozos del acuífero aluvial y aquellos que se encuentran cercanos sí están mostrando respuesta a la reducción de extracción de agua.

En el sistema Aguas de Quelana se destaca el efecto de las reducciones en la extracción de agua por parte de los pozos de agua industrial sobre los indicadores L3-5, L4-8 y L5-8, que han tendido a estabilizar los niveles o incluso a mostrar fuertes ascensos. Lo anterior ha conllevado a mantener estable el PAT en este sector, asegurando así la natural variabilidad del objeto de protección en este sistema.

Por otro lado, respecto de los indicadores de salmuera de este mismo sistema, destacan las diversas activaciones producidas por el indicador L5-10 desde 2022. A partir de los análisis realizados en los informes de investigación correspondientes, se ha evidenciado que este punto se ve influenciado por las extracciones de salmuera por parte de SQM y, en menor magnitud, el aumento del bombeo de Albemarle desde la aprobación de la RCA de 2016. Este se considera un resultado razonable, considerando la distancia de los campos de pozos al Sistema Aguas de Quelana Durante el primer semestre 2023 y producto de las lluvias registradas en este periodo, se produjo la desactivación de las Fases I y II (en el caso de la Fase I fue una desactivación temporal, al cierre de dicho semestre reportado se encontraba activada la Fase I), mientras que durante el segundo semestre de 2023 el indicador L5-10 sobrepasó nuevamente el umbral de la Fase II, activándose las medidas correspondientes.

Del sistema de Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa, los indicadores L1-17 y L2-27 activaron sus Fases I y II entre una y tres veces entre los años 2020 y 2022 producto de un cambio en el comportamiento en estos sectores desde 2020, cercanos a las Vegas de Carvajal y Vegas de Quelana, en donde los mínimos estacionales se registraron a cotas más bajas cada año. Durante el primer semestre de 2023 se registraron eventos de lluvia que mantuvieron los niveles en cotas superiores respecto a lo que se esperaría para los mínimos estacionales de esta época del año. Por este motivo, ambos indicadores

permanecieron con sus Fases I y II desactivadas, así, al cierre del segundo semestre de 2023 los indicadores L1-17 y L2-27 se mantenían desactivados.

En el sistema de Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex los indicadores de estado L7-6, L2-7, L1-3 y L2-28 mantuvieron con la Fase I activada, al menos desde 2020 hasta 2023. En general, la mayoría de los puntos muestran ascensos tras eventos de precipitación, a excepción del indicador L7-6. Estos puntos se encuentran en un área influenciada por la reducción de las extracciones de los pozos Mullay-1 y Allana y, en consecuencia, sus niveles han tendido a estabilizarse y/o tener una recuperación de niveles (ascenso). Estos cambios generaron, por ejemplo, la desactivación de la Fase I para el indicador L2-7 en febrero de 2023, situación que se mantuvo hasta diciembre de 2023, tras alcanzar el umbral de activación de la Fase I. Asimismo, durante el segundo semestre de este mismo año se produjo la desactivación temporal de la Fase I para el indicador L2-28 (septiembre 2023) y, seguidamente (noviembre 2023), se reactivó dicha fase. A pesar de que el pozo L1-3 ha mostrado una tendencia de ascenso, éste ha permanecido con la Fase I activada desde junio de 2019.

Respecto del sistema Peine, los indicadores 1028, L10-11 y L10-4, se encuentran sobre el Núcleo (o muy próximo a este, en el caso del L10-4), por lo que muestran un comportamiento característico de este sistema. Al inicio del año 2023, los tres indicadores se encontraban con la Fase I activada y producto de la recarga asociada a la lluvia durante los primeros meses, estos puntos tuvieron un salto de nivel que dio paso a la desactivación de dicha fase. Específicamente, en mayo de 2023 se produjo la reactivación de la Fase I para los 3 indicadores (1028, L10-11 y L10-4), situación que se ha mantenido en el transcurso del segundo semestre de 2023.

En relación con los indicadores de estado PN-05B y PN-08A del PAT Sector Alerta Núcleo de Albemarle, hasta la fecha, SQM no ha recibido notificación alguna por parte de la SMA sobre la activación de PN-05B. Sin embargo, SQM ha sido informado sobre la activación de la Fase I del indicador PN-08A para el periodo reportado actualmente. La notificación oficial de la activación de la Fase I del indicador PN-08A fue recibida a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-051, con entrega el día 20 de diciembre de 2023. Conforme al protocolo establecido, el informe de la Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico (HVES) para el umbral de la Fase I será entregado seis meses después de la notificación de activación. Por lo tanto, los

resultados correspondientes podrán ser discutidos en el próximo PSAH N°35, el cual actualiza el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico durante el primer semestre de 2024.

De las variables meteorológicas

El análisis histórico de las variables meteorológicas considera la medición de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, variables que condicionan en distinta medida el comportamiento de los niveles del PSAH. El registro histórico de precipitación muestra un cambio de tendencias en el tiempo, diferenciándose dos épocas. Durante el primer periodo, entre el 2007 y el 2011, se registraron pocos eventos de precipitación, mientras que, en forma posteriormente se observa un incremento de éstas, no obstante, se producen como eventos puntuales de lluvias intensas en algunos años (2012, 2015, 2017, 2019 por ejemplo) por lo que no es un incremento lineal. Durante el periodo a reportar, se han registrado eventos de precipitación en las estaciones Chaxa y KCL, acumulando 0,6 mm y 0 mm respectivamente.

Tanto en estación Chaxa como KCL se observa una oscilación anual clara en la evaporación y la temperatura, con aumentos notorios durante el verano, situándose ambos parámetros por encima de sus promedios históricos en el segundo semestre de 2023. Además, la velocidad del viento en ambas estaciones muestra una variabilidad estacional, pero con una tendencia a disminuir ligeramente respecto a los promedios históricos recientes. Esta información es crucial para entender las dinámicas ambientales en Chaxa y KCL que podrán desarrollarse a medida que se cuente con la disponibilidad de datos en las estaciones meteorológicas.

De la extensión lagunar

Este periodo contempla el levantamiento de información respecto de esta variable mediante estacas perimetrales, las cuales se han podido llevar a cabo solo durante julio 2023 en Laguna Puilar, Chaxa, lagunas barros negros (cuerpo principal), laguna Salada y Saladita, durante octubre no fue posible realizar este tipo de mediciones, por restricción de acceso o bien por no contar con la autorización de la Comunidad de Peine.

Debido al aumento en la frecuencia de monitoreo de extensión lagunar de anual a trimestral (PdC, 2022), se ha logrado establecer aumentos de superficie lacustre entre julio y octubre del 2023. Esto pone de manifiesto la variabilidad interanual, en donde el potencial de evaporación es factor de primer orden que

influye en la extensión lacustre, debido a que su comportamiento está en desfase o de manera contra cíclica con la evaporación.

De los caudales de agua superficial

En el segundo semestre de 2023 se dispone de las mediciones continuas y validadas para el Puente San Luis (aguas arriba de la laguna Chaxa), mientras que no se dispone de datos tomados manualmente para el punto de Aforo Barros Negros, debido a restricciones de acceso a la RNF. Para los escurrimientos al sur del salar, sectores del Sistema Peine en que se sitúan los puntos Aforo Salada y Aforos Saladita, se dispone de 1 dato en el semestre reportado en este documento.

En el caso de la medición continua del punto Puente San Luis Aforo, posteriormente al cierre del presente semestre reportado, se logró acceder y se prosiguió con la descarga de los datos. Los datos muestran una variación acotada, con un comportamiento estacional similar al de los niveles (mínimos en verano – máximos en invierno) y dentro de los registros históricos de la estación.

Respecto al caudal medido en los aforos de Salada y Saladita durante el segundo semestre de 2023, este se encuentra dentro del rango histórico de data reportada, sin presentar anomalías de ascenso o descenso que representen una situación especial que mencionar.

De la calidad química de aguas superficiales y subterráneas

Las muestras corresponden a pozos de monitoreo (o punteras), pozos de agua industrial y reglillas, que se distribuyen para cada sistema desde la zona aluvial en el borde este del salar de Atacama, pasando por la zona marginal como transición hacia el oeste hasta el núcleo. La concentración de los diferentes parámetros muestra la evolución de las aguas en este sentido, enriquecimiento de sales de este a oeste, hacia el núcleo. El sistema Peine al sur del salar de Atacama cuenta con puntos analizados en la zona marginal y núcleo.

Con relación a la calidad fisicoquímica de las aguas superficiales y subterráneas es posible concluir que la gran mayoría de los parámetros monitoreados durante el segundo semestre del año 2023 se encuentran dentro de los rangos históricos, con excepciones que no sugieren cambios en las características de los sistemas o anomalías en la metodología de muestreo y/o de los análisis de muestras en laboratorio.

Los cambios de tendencia históricos observados son principalmente el aumento en sólidos disueltos totales, el cual se produjo en el 2016 y que se mantiene hasta la fecha. Este efecto fue estudiado oportunamente (PSAH N°26 del año 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.

De las extracciones de agua industrial

Los pozos que se encuentran 100% operativos son el CA-2015 (Sistema Vegetación Borde Este) y el Socaire-5 (Sistema Aguas de Quelana). Durante el segundo semestre de 2023 se han mantenido por debajo de los límites ambientalmente aprobados.

Del resto, en el Sistema Soncor, el pozo Mullay-1 permanece activo durante este semestre, con caudales inferiores a la mitad de sus límites ambientales permitidos. Por otra parte, el pozo Allana se mantiene detenido desde marzo del 2021 por decisión de carácter operacional. En el Sistema de Aguas de Quelana, el pozo Camar-2 detuvo sus operaciones a partir de enero de 2018. Durante este semestre se encuentra totalmente desmantelada la infraestructura de este pozo. Y finalmente, los pozos Socaire-5 y CA-2015 se mantienen con un régimen de extracción habitual y por debajo siempre del límite permitido.

De la posición de la cuña salina

En el segundo semestre de 2023, los perfiles de conductividad fueron medidos en todos los pozos a excepción de algunos meses en Cuña 6, Cuña 7 y en el punto L10-1, esto debido por restricción de acceso por parte de la comunidad de Peine. En términos generales, respecto de los perfiles realizados, se observa que la interfaz se mantiene con un comportamiento estable y sin tendencia en el tiempo.

8 REFERENCIAS

Amphos 21 Actualización del modelo conceptual del sector Soncor, Informe para SQM [Informe]. - Santiago : [s.n.], 2009a.

Boutt David [y otros] Imbalance in the modern hydrologic budget of topographic catchments along the western slope of the Andes (21-25ºS): 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

Antepozo: Tubería metálica o de PVC que protege a un pozo.

Cota piezométrica: Altura del agua/salmuera respecto al nivel medio del mar.

Cota de punto de referencia: Altura del punto de referencia respecto al nivel medio del mar, desde donde se mide el nivel del agua y/o salmuera.

Cota punto: Definición equivalente a Cota de punto de referencia indicada en los Informes N°1 y N°2 de Integrant, 2007.

DGA: Dirección General de Aguas.

Georreferenciación: Proceso que consiste en ligar o relacionar una información geográfica a uno o varios puntos en común.

Limnímetro: Reglilla graduada para medición de nivel.

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 mayores a 142,9 mS/cm.

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.

C.: Registros Continuos de nivel.

LD: Límite de detección.

LQ: Límite de Cuantificación (superior).

LT: Level Troll (equipo para medición en continuo de niveles 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.

PSA: Plan de Seguimiento Ambiental.

PSAH: Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico.

PSAD56: Datum geodésico o sistema de referencia geodésico provisional sudamericano del año 1956 (Provisional Sudamericano datum 1956).

Remedición: medición que se realiza sobre un punto ya medido previamente, con la finalidad de ratificar el resultado original.

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.