SQM SALAR S.A.

INFORME Nº33 DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA

INFORME DE MONITOREO SEMESTRAL ACTUALIZADO A JUNIO DE 2023

ÍNDICE

1 RESUMEN 25

2 INTRODUCCIÓN 33

3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (PSAH) 38

4 MATERIALES Y MÉTODOS 39

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 39

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS OBJETO DEL PSAH 39

4.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS O ÁREAS DE MONITOREO 45

4.3.1 Sistema Soncor 46

4.3.2 Sistema Aguas de Quelana 52

4.3.3 Sistema Vegetación Borde Este 54

4.3.4 Sistema Peine 56

4.3.5 Sector Vegas de Tilopozo 58

4.3.6 Núcleo del Salar de Atacama 59

4.3.7 Cuña Salina 62

4.3.8 Plan de Contingencias 64

4.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES 68

4.5 MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍAS DE MONITOREO 74

4.5.1 Monitoreo manual de nivel de agua y salmuera subterránea en piezómetros y pozos 74

4.5.2 Monitoreo manual de nivel de agua superficial 76

4.5.3 Monitoreo continuo de nivel de agua subterránea 78

4.5.4 Medición de superficie lacustre 81

4.5.5 Monitoreo de caudal de pozos de bombeo de agua industrial 87

4.5.6 Monitoreo manual de caudal superficial (aforos) 89

4.5.7 Monitoreo continuo de caudal superficial (aforos) 90

4.5.8 Monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas 91

4.5.9 Perfilaje de conductividad eléctrica en pozos 101

4.6 FECHA DE MEDICIÓN, MUESTREO Y/O ANÁLISIS 102

4.7 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS 103

5 RESULTADOS DEL PRIMER SEMESTRE 2023 108

5.1 MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO 110

5.1.1 Resumen de puntos no visitados 113

5.1.2 Sistema Soncor 120

5.1.3 Sistema Aguas de Quelana 180

5.1.4 Sistema Vegetación Borde Este 215

5.1.5 Sistema Peine 230

5.1.6 Sector Vegas de Tilopozo 257

5.1.7 Núcleo del Salar de Atacama 261

5.1.8 Cuña Salina 277

5.2 MONITOREO Y ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 284

5.2.1 Sistema Soncor 287

5.2.2 Sistema Aguas de Quelana 291

5.2.3 Sistema Vegetación Borde Este: Vegetación Hidromorfa 294

5.2.4 Sistema Vegetación Borde Este: Vegetación Brea-Atriplex 297

5.2.5 Sistema Vegetación Borde Este: Alerta Temprana 301

5.2.6 Sistema Peine 305

5.2.7 Pozos adicionales al Plan de Contingencias 309

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 314

6.1 ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL 314

6.1.1 Sistema Soncor – Vegetación Borde Este 317

6.1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA – VEGETACIÓN BORDE ESTE 399

6.1.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE – SECTOR POZO CA-2015 443

6.1.4 SISTEMA PEINE 453

6.1.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO 483

6.1.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA 486

6.1.7 CUÑA SALINA 499

6.2 ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIAS 515

6.2.1 SISTEMA SONCOR 515

6.2.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA 519

6.2.3 SISTEMA BORDE ESTE - VEGETACIÓN HIDROMORFA 524

6.2.4 SISTEMA BORDE ESTE - VEGETACIÓN BREA-ATRIPLEX 526

6.2.5 INDICADORES DE ESTADO SISTEMA PEINE 530

6.2.6 SISTEMA BORDE ESTE - ALERTA TEMPRANA 535

6.2.7 POZOS ADICIONALES AL PLAN DE CONTINGENCIA 538

7 CONCLUSIONES 542

8 REFERENCIAS 549

9 GLOSARIO Y ABREVIACIONES 550

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1: Ubicación esquemática de los sistemas y sectores ambientales del PSA Hidrogeológico 42
Figura 4-2: Zonificación del Salar de Atacama basado en la delimitación de las unidades hidrogeológicas (UH) 44
Figura 4-3: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH 46
Figura 4-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Soncor 48
Figura 4-5: Representación gráfica de las reglillas cercanas al puente San Luis 50
Figura 4-6: Registro fotografico de Reglilla L7-G2 50
Figura 4-7: Tendencia de niveles de pozo y reglilla L7-G2. 52
Figura 4-8: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana 53
Figura 4-9: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este 55
Figura 4-10: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Peine 57
Figura 4-11: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo 59
Figura 4-12: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama 61
Figura 4-13: Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina 63
Figura 4-14: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este 67
Figura 4-15: Ubicación Indicadores de Estado Sistema Peine 68
Figura 4-16: Esquema conceptual de pozos de monitoreo 76
Figura 4-17: Metodología para recuperación de extensión lacustre mediante imágenes satelitales de alta resolución. 85
Figura 4-18: Correlaciones CE-SDT, Densidad – CE y Densidad -SDT para las muestras colectadas desde 2016 100
Figura 5-1: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del Sistema Soncor 124
Figura 5-2: Nivel dinámico observado (m s.n.m.) en zona aluvial de Sistema Soncor – Pozos de extracción de agua industrial 125
Figura 5-3: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar 128
Figura 5-4: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector Este de las Lagunas Chaxa y Barros Negros 132

Figura 5-5: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector oeste y sur de la laguna Chaxa 134
Figura 5-6: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga oeste de Barros Negros 140
Figura 5-7: Nivel observado (m.s.n.m.) en zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros 144
Figura 5-8: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial Sistema Soncor 147
Figura 5-9: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Soncor 150
Figura 5-10: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – sector Puente San Luis 153
Figura 5-11: Nivel observado (m s.n.m.) del Sistema Soncor – niveles en las lagunas 156
Figura 5-12: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de Chaxa 158
Figura 5-13: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor 161
Figura 5-14: Resultados de calidad de agua Sistema Soncor 164
Figura 5-15: Resultados de calidad del agua en pozos de extracción Mullay-1 y Allana 166
Figura 5-16 Resultados de calidad del agua en agua superficial 169
Figura 5-17: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Soncor 172
Figura 5-18: Caudales medidos en el punto Puente San Luis Aforo, del sistema Soncor 174
Figura 5-19: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. Notar estacas perimetrales solo en canal de recarga del sistema lacustre 176
Figura 5-20: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises 177
Figura 5-21: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. 178
Figura 5-22: Mapa delimitación lacustre, sector Desborde Sur. Imagen de fondo en mapa principal corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. Mapa de detalle es mostrado a la derecha con puntos de control tanto en enero como abril de 2023. 179

Figura 5-23: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Aguas de Quelana 183
Figura 5-24: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 186
Figura 5-25: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5 190
Figura 5-26: 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 194
Figura 5-27: 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 199
Figura 5-28: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Aguas de Quelana 201
Figura 5-29: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana 204
Figura 5-30: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana en enero (izquierda) y abril (derecha) a misma escala. 206
Figura 5-31: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana 208
Figura 5-32: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana 211
Figura 5-33: Resultados del análisis fisicoquímico en Camar- 2, L4-10 y Socaire-5B 213
Figura 5-34: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Aguas de Quelana 215
Figura 5-35: Nivel observado (m s.n.m.) en zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este 220
Figura 5-36: Nivel observado (m s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este 224
Figura 5-37: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este 225
Figura 5-38: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo CA-2015 228
Figura 5-39: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Vegetación Borde Este 230
Figura 5-40: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine 233
Figura 5-41: Nivel observado (m s.n.m.) en zona núcleo del sistema Peine 237
Figura 5-42: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine 239
Figura 5-43: Resultados de calidad del agua en pozos del Sistema Peine 243
Figura 5-44: Resultados de calidad del agua en cuerpos lagunares del Sistema Peine 246

Figura 5-45: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine 251
Figura 5-46:Caudales medidos en Aforo Salada y Saladita del sistema Peine 252
Figura 5-47: Mapa delimitación lacustre, laguna Salada, sector Peine. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. 254
Figura 5-48: Mapa delimitación lacustre, laguna Saladita, sector Peine. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. 255
Figura 5-49: Mapa delimitación lacustre, laguna Interna, sector Peine. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. 256
Figura 5-50: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sector Vegas de Tilopozo 259
Figura 5-51: Nivel observado (m s.n.m.) de la reglilla del sector Vegas de Tilopozo 261
Figura 5-52: Nivel observado (m s.n.m.) alejado de la zona productiva del núcleo 264
Figura 5-53: Nivel observado (m s.n.m.) próximo a la zona productiva del núcleo 268
Figura 5-54: Nivel observado (m s.n.m.) al norte de la zona productiva del núcleo 270
Figura 5-55: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de KCL 272
Figura 5-56: Resultados calidad del agua Sistema Núcleo del Salar de Atacama 275
Figura 5-57: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Núcleo 276
Figura 5-58: Nivel observado (m s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina 279
Figura 5-59: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 281
Figura 5-60: Registro de CE para los pozos L4-3 y Cuña 4 a junio de 2023 282
Figura 5-61: Registro de CE para los pozos L10-1, Cuña 6 y Cuña 7 a junio 2023 283
Figura 5-62: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 289
Figura 5-63: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 289
Figura 5-64: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 290

Figura 5-65: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-G4 Reglilla del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 290
Figura 5-66: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes 294
Figura 5-67: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Hidromorfa 297
Figura 5-68: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex 300
Figura 5-69: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 303
Figura 5-70: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 303
Figura 5-71: Descensos observados (m) en el indicador de estado L7-13 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente 304
Figura 5-72: 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 304
Figura 5-73: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine 308
Figura 5-74: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine 308
Figura 5-75: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado 1028 del Sistema Peine 309
Figura 5-76: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex 312
Figura 5-77: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana 312
Figura 5-78: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana 313
Figura 6-1: Infraestructura englobada en el sistema Soncor – Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles 318
Figura 6-2: Niveles medidos en los puntos del sector Tambillo 320
Figura 6-3: Descensos calculados de los puntos del sector de Tambillo 320

Figura 6-4: Niveles dinámicos medidos en los pozos de agua industrial del sistema Soncor 322
Figura 6-5: Descensos calculados de los puntos del sistema Soncor que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial 324
Figura 6-6: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la laguna Puilar 326
Figura 6-7: Niveles medidos en las reglillas Puilar SQM y CONAF..... 326
Figura 6-8: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de la laguna Puilar 327
Figura 6-9: Niveles medidos en las reglillas ubicadas en el entorno de medición del aforo Puente San Luis 328
Figura 6-10: Niveles medidos en las reglillas en la salida de la laguna de Chaxa..... 329
Figura 6-11: Niveles medidos en las reglillas del cuerpo principal de la laguna Barros Negros 330
Figura 6-12: Niveles medidos en las reglillas que se encuentran entre la laguna de Chaxa y la de Barros Negros 332
Figura 6-13: Descensos calculados en los pozos ubicados en la zona marginal más cercanos al acuífero aluvial 334
Figura 6-14: Descensos calculados en los pozos asociados al comportamiento marginal 336
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) 338
Figura 6-16: Detalle de los niveles medidos en los puntos L1-16, RC-1 y la Reglilla Chaxa 339
Figura 6-17: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10)..... 340
Figura 6-18: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-4, L1-7 y L2-5) 341
Figura 6-19: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga directa del desborde de Cola de Pez 343
Figura 6-20: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga de forma indirecta del desborde de Cola de Pez 344
Figura 6-21: Niveles medidos en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 1)..... 346
Figura 6-22: Niveles medidos en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 2)..... 347

Figura 6-23: Niveles medidos en los pozos ubicados al oeste del sistema de lagunas de Soncor 348
Figura 6-24: Niveles medidos en el núcleo del sistema Soncor 350
Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar 351
Figura 6-26: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor 352
Figura 6-27: Series de tiempo históricas de superficie lacustre zonas de desbordes de Laguna Barros Negros – Soncor. 353
Figura 6-28: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR. 354
Figura 6-29: Comparación satelital en zona terminal de Desborde Sur entre enero y abril del presente PSAH. Notar presencia de cuerpos permanentes, así como sectores sujetos a mayores diferencias de extensión lagunar. 355
Figura 6-30: Comparación satelital de sector de Desborde sur en Julio-2022 (PSAH N°32) y Abril-2023 (PSAH N°33). Notar ausencia de cuerpo aislado para Julio-2022. 356
Figura 6-31: Fotografía de terreno (imagen superior) y su interpretación (imagen inferior). Notar migración en dirección al sureste con evidencia de caída y/o volcamiento de material (costra) por acción de la erosión del agua. 357
Figura 6-32: Serie histórica de variables meteorológicas de la Estación Chaxa 360
Figura 6-33: Caudal histórico de los pozos de Agua Industrial del Sistema Soncor (Zona Aluvial) 362
Figura 6-34: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-4 365
Figura 6-35: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-4 366
Figura 6-36: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-5 367
Figura 6-37: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-6 368
Figura 6-38: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-3 369
Figura 6-39: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-5 370
Figura 6-40: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L7-3 371
Figura 6-41: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-7 (L2-6) 372
Figura 6-42: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-14 373
Figura 6-43: Evolución histórica de la calidad del agua en el L1-G4 Reglilla 374
Figura 6-44: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L7-G1 375

Figura 6-45: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extraccion Mullay-1 378
Figura 6-46: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana 381
Figura 6-47: Diagrama de Piper para los puntos Mullay-1 y Allana 384
Figura 6-48: Evolución histórica de la calidad del agua en canal de Burro Muerto 386
Figura 6-49: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa 388
Figura 6-50: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros 391
Figura 6-51: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Puilar 393
Figura 6-52: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor 396
Figura 6-53: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, laguna Chaxa y laguna Barros Negros . 397
Figura 6-54: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís 398
Figura 6-55: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros 399
Figura 6-56: Infraestructura englobada en el sistema Aguas de Quelana y clasificada según comportamiento de los niveles 400
Figura 6-57: Niveles en los pozos de agua industrial del sistema Aguas de Quelana 402
Figura 6-58: Descensos calculados a partir de 2008 de los puntos del sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento asociado al acuífero aluvial 404
Figura 6-59: Descensos calculados de los puntos del sistema Aguas de Quelana que muestran un comportamiento de transición entre la zona marginal y el acuífero aluvial 406
Figura 6-60: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del sistema Aguas de Quelana 408
Figura 6-61: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13) 410
Figura 6-62: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L3) 411
Figura 6-63: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L14) 412
Figura 6-64: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L4) 413
Figura 6-65: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L5) 415

Figura 6-66: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L13) 417
Figura 6-67: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L3) 417
Figura 6-68: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L14) 418
Figura 6-69: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L4) 418
Figura 6-70: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L5) 419
Figura 6-71: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al núcleo en el sistema Aguas de Quelana 420
Figura 6-72: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial. 421
Figura 6-73: Comportamiento anual típico de extensión lagunar entre el 2006 y 2022 empleando imágenes satelitales de alta resolución espacial. 423
Figura 6-74: Caudal bombeado del sistema Aguas de Quelana (Zona Aluvial) 424
Figura 6-75: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-3 427
Figura 6-76: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-6 428
Figura 6-77: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-8 429
Figura 6-78: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-9 430
Figura 6-79: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-12 431
Figura 6-80: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L5-3 432
Figura 6-81: Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10 433
Figura 6-82 (Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10 434
Figura 6-83(Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10 435
Figura 6-84: Diagrama Piper para las muestras con balance de cargas <10% en L4-10 436
Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Camar-2 438
Figura 6-86: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Socaire-5B 440

Figura 6-87: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B 443
Figura 6-88: Infraestructura englobada en el sistema Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles 444
Figura 6-89: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al sistema de Vegetación Borde Este 446
Figura 6-90: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al sistema de Vegetación Borde Este 446
Figura 6-91: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del sistema Vegetación Borde Este 447
Figura 6-92: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial) 448
Figura 6-93: 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) 450
Figura 6-94: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para los puntos P2 (hasta enero de 2017) y CA-2015 (desde abril de 2017) 453
Figura 6-95: Infraestructura englobada en el sistema Peine y clasificada según comportamiento de los niveles 454
Figura 6-96: Niveles medidos en la zona aluvial del sistema Peine 456
Figura 6-97: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el núcleo 457
Figura 6-98: Niveles en las reglillas de agua superficial del sistema Peine 459
Figura 6-99: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el núcleo, para el sistema Peine 460
Figura 6-100: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada. 461
Figura 6-101: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita. 462
Figura 6-102: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna. 462
Figura 6-103: Comparación satelital de Salada (Cuerpo principal) entre 2007 y 2023 en los meses de abril. Notar expansión lagunar en dirección noroeste. 463
Figura 6-104: 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. En parte inferior, se muestra perfil espectral recuperado sobre zona de costra. 464

Figura 6-105: 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). 465
Figura 6-106: Toma de punto de control en terreno en zona distal de Desborde Laguna Interna. Notar caída de material a laguna y grietas de secado debido a cambios en humedad por evaporación. 466
Figura 6-107: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-1 470
Figura 6-108: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-4 471
Figura 6-109: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1028 472
Figura 6-110: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada 475
Figura 6-111: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Saladita 477
Figura 6-112: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Interna 479
Figura 6-113: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine, con un BI>10% ... 481
Figura 6-114: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna 482
Figura 6-115: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine 483
Figura 6-116: Infraestructura englobada en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles 484
Figura 6-117: Descensos calculados en los puntos de la zona marginal y núcleo del sector Vegas de Tilopozo 485
Figura 6-118: Niveles medidos en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo 486
Figura 6-119: Infraestructura englobada en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles 487
Figura 6-120: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del núcleo del salar ... 488
Figura 6-121: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle 489
Figura 6-122: 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 490
Figura 6-123: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde oeste del núcleo del salar 491
Figura 6-124: Niveles medidos en el sector norte del núcleo del salar 492
Figura 6-125: Descensos calculados para los puntos ubicados en el sector norte del núcleo del salar ... 493
Figura 6-126: Estación meteorológica KCL 6-495

Figura 6-127: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-12C 498
Figura 6-128: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1001 498
Figura 6-129: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 1) 501
Figura 6-130: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 2) 502
Figura 6-131: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este) 504
Figura 6-132: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este) 508
Figura 6-133: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste) 512
Figura 6-134: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia ... 516
Figura 6-135: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 517
Figura 6-136: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 518
Figura 6-137: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia 519
Figura 6-138: 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 521
Figura 6-139: Descensos de los indicadores de Aguas de Quelana para el bombeo de salmuera del núcleo junto con los umbrales del Plan de Contingencia 523
Figura 6-140: Descensos de los indicadores de Vegetación Hidromorfa junto con los umbrales del Plan de Contingencia 526
Figura 6-141: Descensos de los indicadores de Vegetación Brea-Atriplex con comportamiento asociado al acuífero aluvial, junto con sus umbrales del PC 528
Figura 6-142: Descensos de los indicadores L2-28, L3-3, L9-1 y L4-7, junto con sus umbrales del PC 530
Figura 6-143: Niveles medidos en el 1028 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine 533
Figura 6-144: Niveles medidos en el L10-11 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine 533
Figura 6-145: Niveles medidos en el L10-4 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine 534

Figura 6-146: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia 536
Figura 6-147: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia 537
Figura 6-148: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia 537
Figura 6-149: Descenso de los indicadores L3-11 y L9-1 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del PC 538
Figura 6-150: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC 539
Figura 6-151: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC . 540
Figura 6-152: Descenso del indicador L3-15, junto con sus umbrales del PC 541

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe 36
Tabla 2-2: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia 37
Tabla 4-1: Sistemas objeto de protección 43
Tabla 4-2: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua 49
Tabla 4-3: Detalle de los parámetros que se incluyen en la variable de calidad del agua 62
Tabla 4-4: Piezómetros Indicadores de Estado del Plan de Contingencia 65
Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH 70
Tabla 4-6: Parámetros considerados en PSAH 73
Tabla 4-7: Resumen de las metodologías de medición de nivel de agua subterránea 75
Tabla 4-8: Resumen de las metodologías de medición de nivel de agua superficial 77
Tabla 4-9: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura 79
Tabla 4-10: Métodos y frecuencias para la medición de la superficie lagunar en el PSAH..... 81
Tabla 4-11: Características generales de imágenes satelitales de alta resolución, utilizadas en los informes PSAH 82
Tabla 4-12: Relación número serial del flujómetro con el nombre de infraestructura y el periodo instalado 87
Tabla 4-13: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura y el periodo instalado 91
Tabla 4-14: Materiales y equipos para llevar a cabo el muestreo de aguas superficiales y subterráneas . 92
Tabla 4-15: Normativas de referencia para el muestreo de aguas superficiales y subterráneas 93
Tabla 4-16: Etapas de muestreo en puntos subterráneos y superficiales 93
Tabla 4-17: Rangos según SDT para definición de agua dulce, transición y salmuera..... 99
Tabla 4-18 Clasificación de tipos fluidos en base a TSD, CE y Densidad. 101
Tabla 5-1: Detalle de la frecuencia y el responsable de las mediciones según éstas sean comprometidas o tomadas de forma voluntaria..... 109
Tabla 5-2: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de ingreso a RNF..... 114
Tabla 5-3: Resumen de correspondencia emitida para la concesión de permisos de las comunidades .. 118

Tabla 5-4: Registro de niveles zona aluvial Sistema Soncor 122
Tabla 5-5: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 124
Tabla 5-6: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector Puilar 127
Tabla 5-7: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 128
Tabla 5-8: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector este de las lagunas Chaxa y Barros Negros 130
Tabla 5-9: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 131
Tabla 5-10: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector Oeste y Sur de la Laguna Chaxa 133
Tabla 5-11: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 134
Tabla 5-12: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga Cola de Pez 136
Tabla 5-13: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 139
Tabla 5-14: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector descarga sur Barros Negros 142
Tabla 5-15: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 143
Tabla 5-16: Registro de niveles zona marginal Sistema Soncor – Subsector norte 145
Tabla 5-17: Registro de niveles zona núcleo Sistema Soncor 146
Tabla 5-18: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 147
Tabla 5-19: Registro de niveles en reglillas del sector Soncor 149
Tabla 5-20: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 150
Tabla 5-21: Registro de niveles en reglillas del Sistema Soncor – subsector del Puente San Luis 152
Tabla 5-22: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 153
Tabla 5-23: Registro de niveles para las lagunas del sector Soncor 155
Tabla 5-24: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 156
Tabla 5-25: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura de la estación meteorológica de Chaxa 157
Tabla 5-26: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Soncor 160
Tabla 5-27: Resultados calidad del agua Sistema Soncor 163
Tabla 5-28: Resultados calidad del agua en pozos de extracción 165
Tabla 5-29 Resultados calidad del agua en agua superficial 168

Tabla 5-30: Resultados validación Soncor 171
Tabla 5-31: Resultados aforos manuales en el punto de Aforo Barros Negros y Puente San Luis 173
Tabla 5-32. Superficies lacustres primer semestre 2023 175
Tabla 5-33: Registro de niveles zona aluvial del sistema Aguas de Quelana 182
Tabla 5-34: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 183
Tabla 5-35: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2 185
Tabla 5-36: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 186
Tabla 5-37: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B 188
Tabla 5-38: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 190
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 191
Tabla 5-40: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 193
Tabla 5-41: Registro de niveles zona marginal del Sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5B al oeste de las lagunas difusas 196
Tabla 5-42: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 198
Tabla 5-43: Registro de niveles zona núcleo del sistema Aguas de Quelana 200
Tabla 5-44: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 201
Tabla 5-45: Registro de niveles en reglillas del sector Aguas de Quelana 203
Tabla 5-46: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 204
Tabla 5-47: Superficie lacustre para el primer semestre del año 2023 en Aguas de Quelana (SRGIS, 2023). 205
Tabla 5-48: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana 207
Tabla 5-49: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana 210
Tabla 5-50: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo SOCAIRE-5B, Camar-2 y L4-10 212
Tabla 5-51: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana 214
Tabla 5-52: Registro de niveles zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este 218
Tabla 5-53: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 219
Tabla 5-54: Registro de niveles zona marginal del sistema Vegetación Borde Este 222

Tabla 5-55: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 223
Tabla 5-56: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Vegetación Borde Este 225
Tabla 5-57: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015 227
Tabla 5-58 Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este. 229
Tabla 5-59: Registro de niveles zona marginal del Sistema Peine 232
Tabla 5-60: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 233
Tabla 5-61: Registro de niveles zona núcleo del Sistema Peine 235
Tabla 5-62: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 236
Tabla 5-63: Registro de niveles para las lagunas del sector Peine 238
Tabla 5-64: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 239
Tabla 5-65: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine 241
Tabla 5-66: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine. 245
Tabla 5-67 Resultados de la validación en el sistema Peine. 249
Tabla 5-68: Resultados aforos manuales Saladita y Salada 252
Tabla 5-69: Superficies Lacustres primer semestre 2023 Peine. 253
Tabla 5-70: Registro de niveles zona marginal del sector Vegas de Tilopozo 258
Tabla 5-71: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 259
Tabla 5-72: Registro de niveles en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo 260
Tabla 5-73: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 260
Tabla 5-74: Registro de niveles alejado de la zona productiva del núcleo 263
Tabla 5-75: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 264
Tabla 5-76: Registro de niveles próximos a la zona productiva del núcleo 266
Tabla 5-77: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 267
Tabla 5-78: Registro de niveles al norte de la zona productiva del núcleo 269
Tabla 5-79: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 269
Tabla 5-80: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura en la estación meteorológica de KCL 271
Tabla 5-81: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama 274
Tabla 5-82: Registro de niveles en pozos para el seguimiento la cuña salina 278

Tabla 5-83: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa 279
Tabla 5-84: Sistemas objeto del PC e instancia que define cada uno 284
Tabla 5-85: Estado del Plan de Contingencias..... 286
Tabla 5-86: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes 288
Tabla 5-87: Descensos observados (m) en los indicadores de estado del PC de Aguas de Quelana junto con los umbrales correspondientes 293
Tabla 5-88: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del..... 296
Tabla 5-89: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este-Vegetación Brea-Atriplex 299
Tabla 5-90: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con los umbrales correspondientes 302
Tabla 5-91: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado del Sistema Peine..... 307
Tabla 5-92: Indicadores de estado adicionales al Plan de Contingencias 310
Tabla 5-93: Descenso observado (m) en pozos adicionales de contingencia del PC Sistema Borde Este 311

LISTADO DE ANEXOS

Nombre Anexo		Tipo documento
Anexo 1	RESPONSABLES Y PARTICIPANTES	pdf
Anexo 2	CATASTRO INFRAESTRUCTURAS PSAH	pdf
Anexo 3	METODOLOGIAS	
Anexo 3.1	Instructivos y procedimientos	pdf
Anexo 3.2	Certificaciones y calibraciones de equipos utilizados (no LT)	pdf
Anexo 3.3	Certificados calibración Level troll (LT)	pdf
Anexo 3.4	Curriculums monitoreos SQM	pdf
Anexo 4	COMUNICACIONES, ORDINARIOS Y RESOLUCIONES	
Anexo 4.1	Gestión ingreso a RNF	pdf
Anexo 4.2	Gestión ingreso a Sistema Peine	pdf
Anexo 4.3	Gestión de ingreso a Tambillo	pdf
Anexo 4.4	Cartas activación de fase	pdf
Anexo 4.5	Comunicaciones varias	
Anexo 5	NIVEL AGUA SUBTERRÁNEA y SUPERFICIAL	
Anexo 5.1	Informes ETFAS	.zip
Anexo 5.2	Niveles formato RES.894	.zip
Anexo 6	CALIDAD QUÍMICA	
Anexo 6.1	Informes ETFA	pdf
Anexo 6.2	Calidad de Agua resultante formato RES. 894	.xls
Anexo 7	CAUDAL AGUA INDUSTRIAL *(formato RES. 894)*	.xls
Anexo 8	CAUDAL AGUA SUPERFICIAL *(formato RES. 894)*	.xls
Anexo 9	VARIABLES METEOROLOGICAS	
Anexo 9.1	Resultados variables meteorológicas	pdf
Anexo 9.2	Informe para el relleno de series	pdf
Anexo 10	EXTENSIÓN LAGUNAR	
Anexo 10.1	Compilado de extensión lagunar	pdf
Anexo 10.2	Cálculo de superficies lacustres – imagen satelital	pdf
Anexo 10.3	Estacas perimetrales y puntos de control	pdf
Anexo 11	ESTRATIGRAFIA Y HABILITACIÓN DE PIEZÓMETROS Y POZOS pdf	
Anexo 12	INDICADORES, UMBRALES Y MEDIDAS APLICABLES AL SISTEMA PEINE pdf	

Anexo 12.1	Anexo 4.02 del PdC: Definición de umbrales para sistema Peine PdC	pdf
Anexo 12.2	Anexo 4.03 del PdC: Definición de medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II Sistema Peine	pdf
Anexo 12.3	Anexo 4.04 del PdC: Definición medidas de control frente a la activación de Fase I y Fase II Sistema Peine, septiembre 2021	pdf
Anexo 12.4	Anexo 4.05 del PdC: Protocolo de aplicación de umbrales definidos para el Sistema Peine	pdf
Anexo 13	Workspace Proyecto GIS	.qgz

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 enero a junio 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 pasado 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] 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.

- 2 estaciones meteorológicas.

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. En cuanto a los caudales de bombeo de salmuera asociados al proyecto se diseñaron de manera que las extracciones no afectaran a los sistemas objeto de protección. Hasta el primer semestre de 2023, se han realizado cuatro aumentos de extracción de salmuera acorde a los escalones de extracción definidos en la RCA Nº 226/2006. Así, SQM se encuentra con una extracción de 1.600 l/s, que corresponde a la operación normal conforme al considerando 8.3.7 para el periodo reportado. No obstante, conforme a la aplicación del plan de contingencia establecido en el considerando 11 de la RCA 226/2006 y el año ambiental definido entre el 12 de agosto de cada año y 13 de agosto del año siguiente y habiéndose activado la fase II para indicadores del plan de contingencia de los sistemas Soncor y Aguas de Quelana en el periodo reportado aplica un caudal de contingencia de 1250 L/s. Esta medida responde adicionalmente a la acción 8 del PdC, la que

busca “Reducir progresivamente el caudal máximo de extracción de salmuera autorizado. Ponderando el caudal de salmuera autorizado por año ambiental, RCA y reducción por PdC el

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). 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, que considera, entre otras cosas, controles y autorizaciones de ingreso a diversos sectores de la Reserva por parte de CONAF.

Cabe señalar que desde el segundo semestre de 2022 y, por tanto, lo que aplica al primer 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 superficie de los sistemas (Soncor, Aguas de Quelana, Borde Este, Peine y Tilopozo), incluyendo partes del Núcleo incluso. 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. Para el actual periodo reportado, no se ha producido dicho aviso, por lo que el presente informe solo contempla los análisis derivados de los indicadores de SQM.

En el Sistema Soncor se ha mantenido la activación de Fase II en los indicadores de estado L1-5 y L1-G4 reglilla, que se produjo durante el primer semestre de 2021 y que, por tanto, fue reportado en el Informe N.º 29 del PSAH. Esta activación se vincula al cambio de la dinámica de desbordes de la laguna Barros Negros, que dio lugar a la primera activación en mayo de 2018.

Asimismo, 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, activando desde entonces, Fase I, la cual se ha mantenido en este umbral hasta el fin del periodo reportado. 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 desactivación de Fase II y Fase I del indicador L5-10 en febrero de 2023. Sin embargo, la estabilización de su pendiente de descensos permitió la activación de Fase I durante abril de 2023, manteniéndose en este umbral hasta el final del semestre reportado.

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 mayo de 2023 el pozo L1-3 activa Fase I. Al igual que los indicadores anteriores, se adoptaron las acciones de control comprometidas puesto que, de acuerdo a la RCA Nº226/2006, en el caso de activación de Fase I, corresponde dar aviso a la autoridad (Superintendencia del Medio Ambiente), en este caso se ha notificado esta situación a la SMA a través de la carga GMAL 188/23 y se ha dispuesto aumentar la frecuencia del monitoreo de estos puntos, pasando de monitoreo mensual a quincenal, lo que estaría cubierto con las medidas diarias que SQM se efectúan a los pozos pertenecientes al PC dado el contexto del compromiso ambiental adquirido en el PdC.

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 de estado se encuentran sin activación de Fase.

Respecto del sistema Peine, durante este semestre en reporte los tres indicadores de estado (1028 y L10-11 y L10-4) salieron de Fase I durante las precipitaciones de febrero 2023. Sin embargo, dado la pendiente de descensos de los mismos, los indicadores 1028 y L10-11 vuelven a activar Fase I durante mayo 2023 y en última instancia, el indicador L10-4 activa Fase I durante junio 2023. 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), informes que se encuentran en elaboración durante el semestre reportado.

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):** Durante febrero de 2023, se produce la desactivación de la Fase II y Fase I que se encontraban activas desde 2022. Sin embargo, durante mayo 2023 se vuelve activar Fase I de este indicador.

iv. **L5-10 (Sistema Aguas de Quelana):** Desactivo Fase II y Fase I durante febrero 2023, sin embargo, se produjo nuevamente la activación de Fase I en marzo de 2023.

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 final del primer semestre de 2023.

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. Cabe indicar que este punto se declaró en Fase I, posterior a la formulación de cargos por parte de la SMA aunque no representa un indicador de estado adecuado para la vegetación Brea Atriplex.

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 mayo de 2023.

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.

ix. **L2-28 (Sistema Borde Este – Vegetación Brea Atriplex)**: En noviembre de 2020 activó la Fase I y se ha mantenido en la misma situación durante el periodo en reporte.

x. **L10-11 (Sistema Peine):** Desactiva Fase I durante febrero de 2023, sin embargo, vuelve a activar Fase I durante mayo de 2023.

xi. **1028 (Sistema Peine):** Desactiva Fase I durante febrero de 2023, sin embargo, vuelve a activar esta Fase durante mayo 2023.

xii. **L10-4 (Sistema Peine):** Desactiva Fase I durante febrero de 2023, sin embargo, vuelve a activar Fase I durante junio de 2023.

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 destacando el efecto de las reducciones de agua por parte de los pozos Camar-2, Allana y Mullay-1, los que han generado una respuesta en prácticamente todos los puntos del acuífero aluvial (por sobre todo zona norte) y aquellos puntos de la parte distal del acuífero aluvial e incluso parte de la zona Marginal

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°33 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (en adelante PSAH) y tiene por objeto analizar y reportar la información recolectada durante el primer semestre de 2023 (periodo entre enero – junio 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).

El PSAH contempla mediciones en los sistemas del Salar de Atacama que son representativos de la dinámica del núcleo, en los sistemas lacustres emplazados en el borde este y sur del salar y en el acuífero aluvial que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas y sectores objeto de monitoreo del PSAH son los siguientes:

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

Adicionalmente, el presente informe da cuenta de los resultados del monitoreo de la Cuña Salina asociado a cada uno de los sistemas lacustres (Soncor, Aguas de Quelana y Peine).

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.

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[3]. Para dar cumplimiento al Decreto Supremo N°38/2013 del Ministerio del Medio Ambiente que establece el Reglamento de las Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (en adelante ETFAS) y a lo dispuesto en las Res. Ex. Nº 573 y 574 de 2022[4], respecto de aquellas actividades con frecuencias diarias son efectuadas por la ETFA, tales como, mediciones de nivel y caudal; de forma análoga, las mediciones mensuales, quincenales o de menor frecuencias que las diarias son ejecutadas por SQM. Por su parte, los muestreos, mediciones y análisis de calidad del agua fueron realizadas por la ETFA ALS Environmental.

[3] 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.

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

En caso de obtenerse permiso para puntos dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (en adelante RNF), o bien, en el área del territorio cuyo acceso se encuentra controlado por la Comunidad de Peine y que no se pudieron ser visitados por ALS Environmental dados los cortos tiempos entre el aviso y el ingreso, los muestreos fueron realizados por la ETFA SEGEA[5].

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 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 entidad ETFA ALS Environmental para el caso de calidad.

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 un 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

[5] Con código de ETFA 040-01

[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.

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 primer 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 diarias de nivel freático, caudales 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
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 de informe en que corresponde realizar la revisión del Plan de Contingencia, según lo establecido por la RCA Nº226/2006[8].

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

[8] 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, el presente Informe no contiene una revisión del Plan de Contingencias, la que 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
7ª actualización del modelo numérico	jun-22	feb-23	Entregado el 15 de febrero mediante carta GMAL 94/23.
Informe PSAH N° 34	Dic-23	Mar-24	Puede sufrir modificaciones en fecha de entrega propuesta
Informe PSAH N° 35	Jun-24	Oct-24	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 enero a junio de 2023.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se presenta la descripción de la zona de estudio, la ubicación de los puntos de monitoreo, 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 y 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 100 km de largo y 80 km de ancho aproximadamente, abarcando un área aproximada de 3.100 km^2. El núcleo del Salar, donde se ubican las faenas extractivas de salmuera, posee una superficie aproximada de 1.100 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

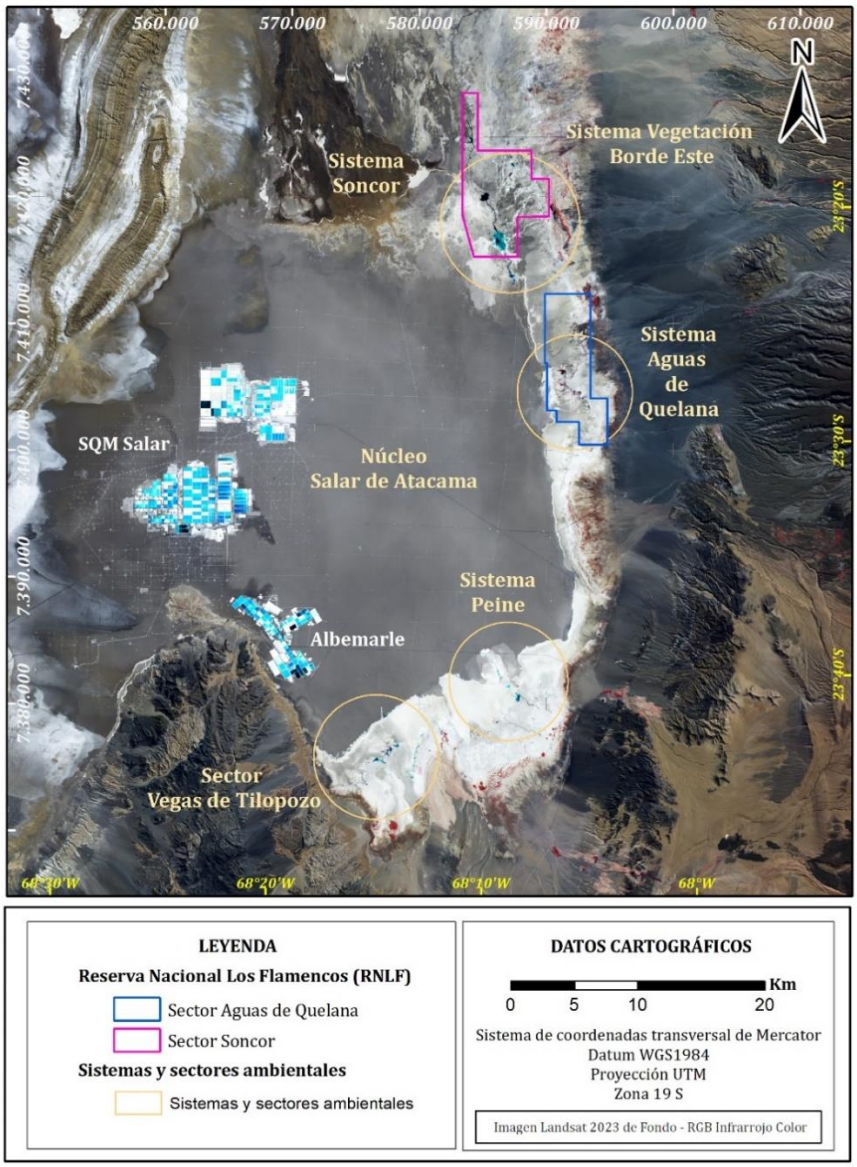
colindantes a la laguna a través de 2 puntos principales: uno ubicado al oeste de la laguna (conocido como Cola de Pez) y el otro al extremo sur de la misma (conocido como Desborde sur).

- **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 dinámico, 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 dinámica, 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 topográfico 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[9].

[9] 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 Landsat 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

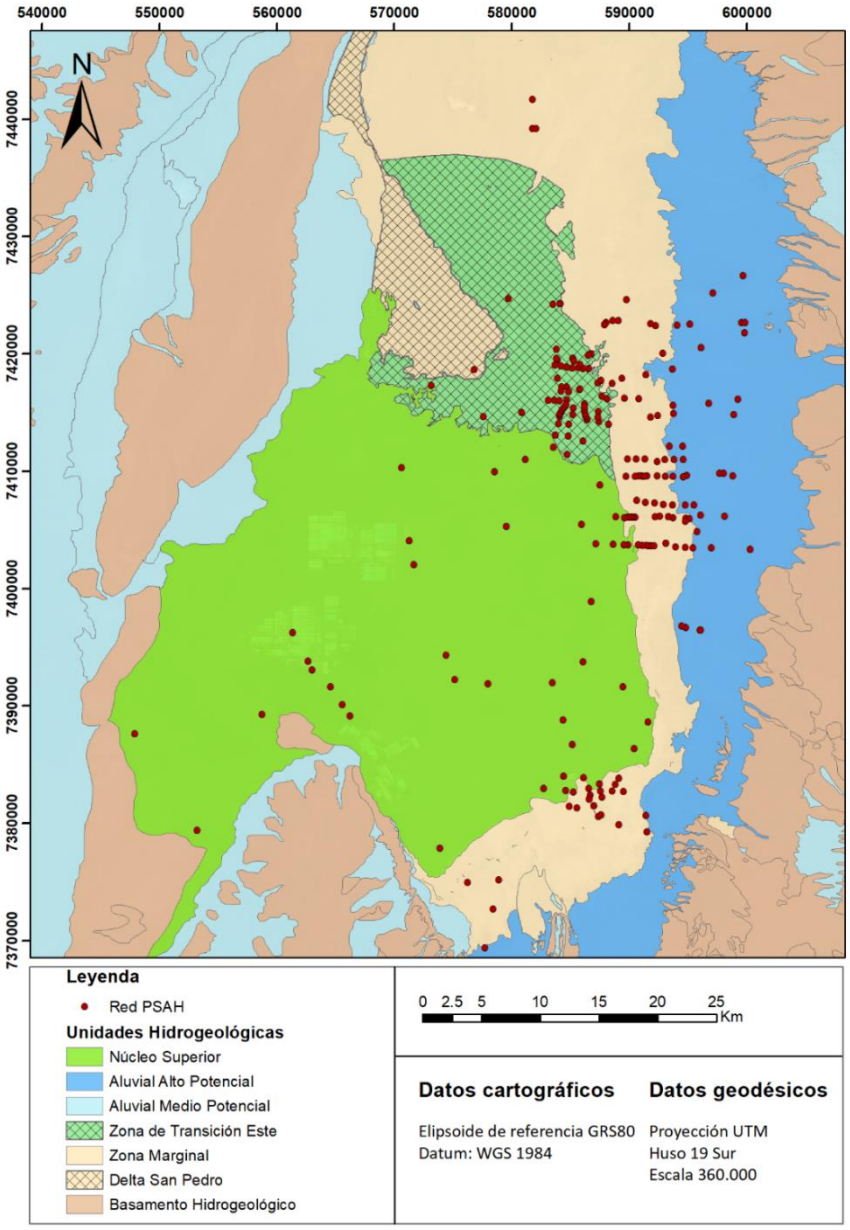
Sistema	Objetos de protección
Soncor	Lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros
Aguas de Quelana	Cuerpos lacustres dispersos y de dimensiones variables
Peine	Lagunas Salada, Saladita y Desborde Interna
Vegetación Borde Este	Zona de Vegetación hidromorfa Zona de vegetación Brea-Atriplex conectada con el acuífero

Fuente: Elaboración propia

En la anterior 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 72 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[10] de los límites de las lagunas son variables en el tiempo a escala de años, pero fijos en la medición durante el semestre reportado. 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:

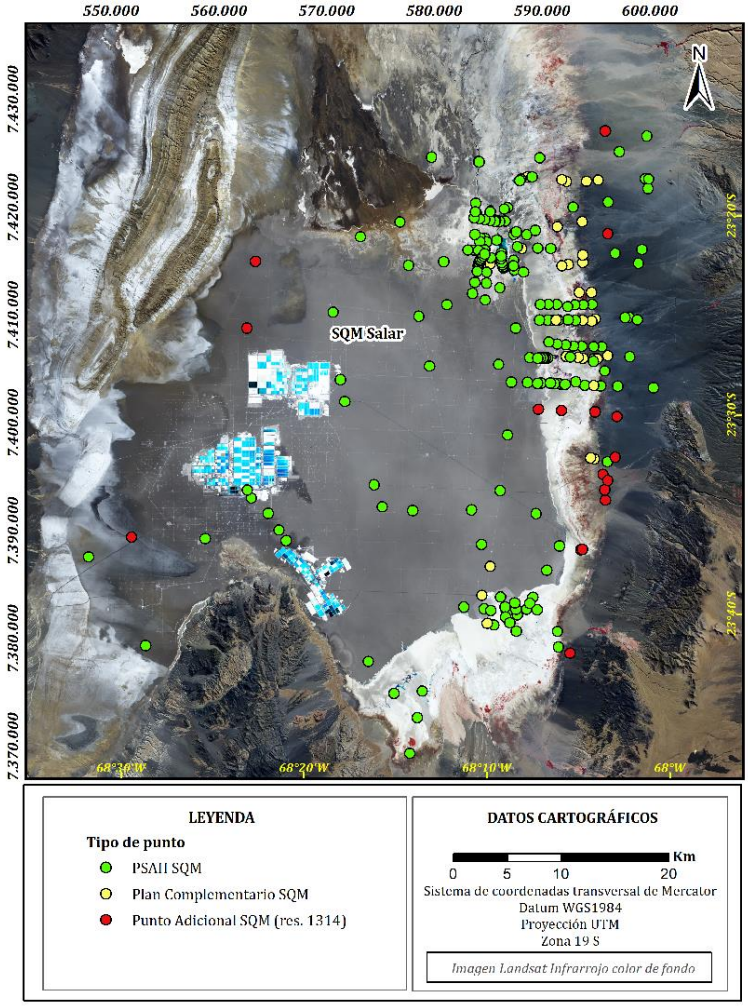
- 196 pozos de monitoreo de nivel de agua/salmuera subterránea
- 5 pozos de bombeo de agua industrial[11]
- 18 reglillas para la medición del nivel de agua superficial
- 4 estaciones de aforo de flujos de agua superficiales
- 2 estaciones meteorológicas

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.

[10] 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.

[11] 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

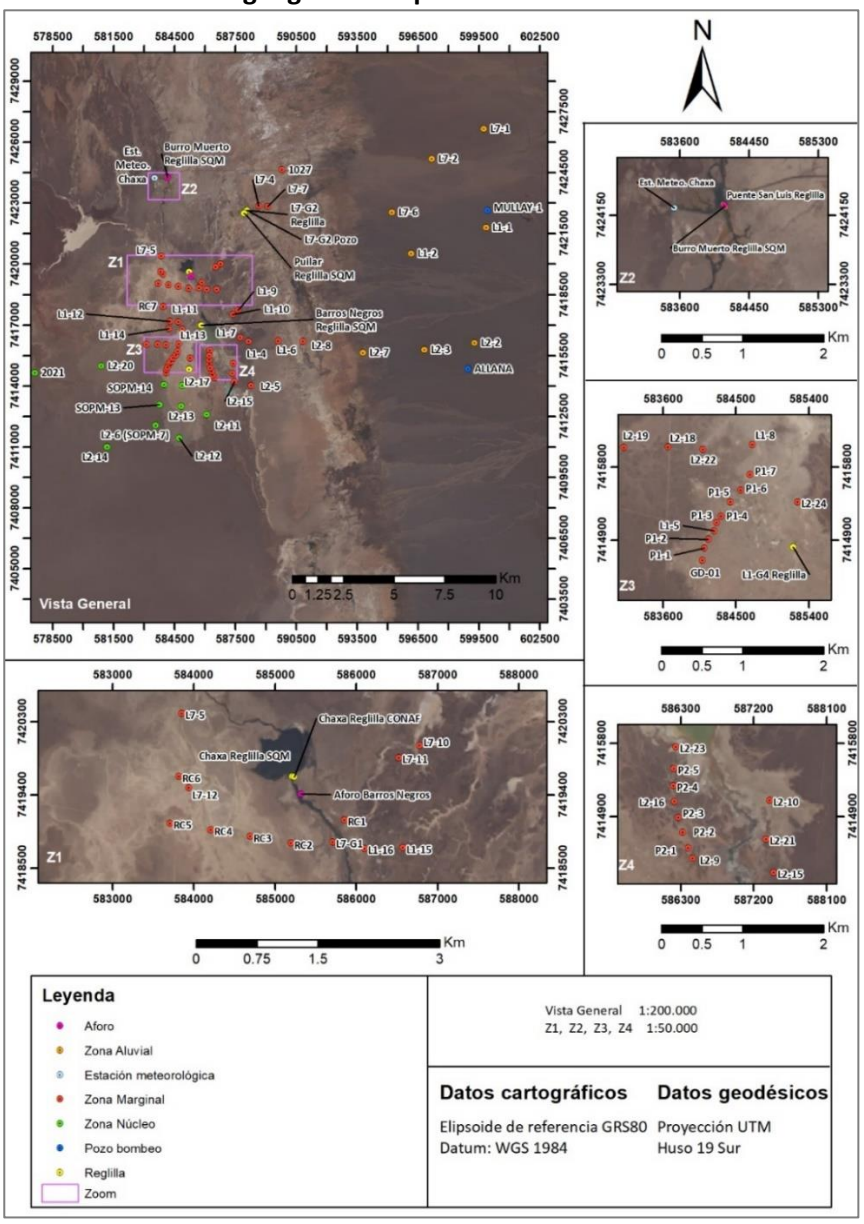
Los puntos de monitoreo del PSAH del Sistema Soncor se ubican aproximadamente entre las coordenadas UTM 7.442.000 a 7.410.000 norte y 577.000 a 600.000 este. La red de monitoreo de este sistema contempla los puntos de monitoreo de nivel de agua y salmuera del sector, la medición de la extensión lagunar 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).

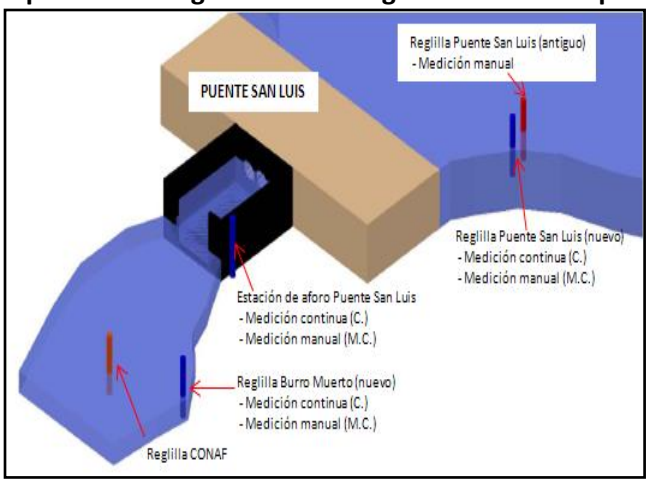
A modo explicativo, en la Figura 4-5 se presentan las reglillas y aforos instalados en el entorno del puente San Luis (Figura 4-5):

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.

Tal como también se ha anticipado en los últimos informes PSAH (PSAH N.º 29, PSAH N.° 30, PSAH N.º 31 y PSAH N.º 32), la infraestructura L7-G2 Reglilla del entorno de la laguna Puilar se encontró caída en la visita del día 21 de julio de 2021 (ver Figura 4-6). Este punto había sido medido por última vez el día 15 de junio de 2021, por lo que la caída debió producirse en el intervalo de estas dos fechas.

Figura 4-6: Registro fotografico de Reglilla L7-G2

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

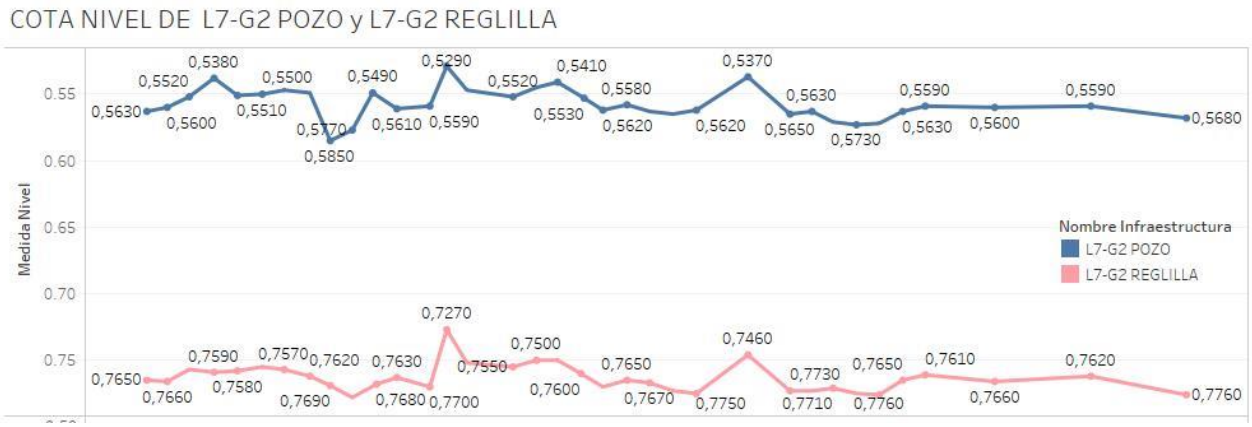
Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, esta infraestructura fue restituida el día 17 de agosto de 2021, no obstante, la obtención de la cota del punto de referencia de la nueva infraestructura repuesta, en términos de metros sobre el nivel del mar (m s.n.m), para el caso concreto de este entorno requiere de mediciones en varios hitos intermedios que precisan por tanto de una campaña extensa en tiempo y área de trabajo. Dado que el ingreso a Puilar se encuentra restringido por encontrarse dentro del sector Soncor de la RNF, restricciones de acceso establecidas por CONAF para el resguardo en periodo reproductivo de flamencos, no ha sido posible aún realizar la extensa campaña de mediciones que se precisa para obtener la cota del punto de referencia. Es por este motivo que aún no se cuenta con la elevación de referencia del punto, la que permite calcular la cota de las mediciones efectuadas en la reglilla y obtener el nivel en m s.n.m.

En el intertanto, se ha optado por calcular una elevación del punto de referencia de la nueva infraestructura en base a criterios analíticos. Para estos efectos, se han considerado las mediciones históricas del pozo más cercano que lleva el mismo nombre, el L7-G2 Pozo, que se sitúa a 2 metros de la reglilla. Ambos puntos representan el nivel del agua que discurre por el canal de entrada de la laguna Puilar, igual que la Reglilla Puilar SQM y Reglilla Puilar CONAF, pero estos últimos se ubican a unos 200 metros aguas abajo del canal.

Ambas infraestructuras (L7-G2 Pozo y L7-G2 Reglilla) han mostrado un comportamiento y pendiente similar durante los registros históricos, tal como se muestra en la Figura 4-7. Esta tendencia se observa similar en las Reglillas Puilar (SQM y CONAF), lo que permite asegurar que en los cuatro puntos se mide el nivel del mismo cuerpo de agua y que, por tanto, se justifica el análisis comparativo, que se mantiene vigente incluso una vez caída la reglilla del L7-G2 Reglilla en julio de 2021. A partir de la cota de referencia del L7-G2 pozo, de valor 2.301,750 m s.n.m, es posible obtener la cota de referencia de la nueva reglilla L7-G2, vale decir, a los 2301,796 m.s.n.m.

Figura 4-7: Tendencia de niveles de pozo y reglilla L7-G2.



Fuente: elaboración propia

4.3.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

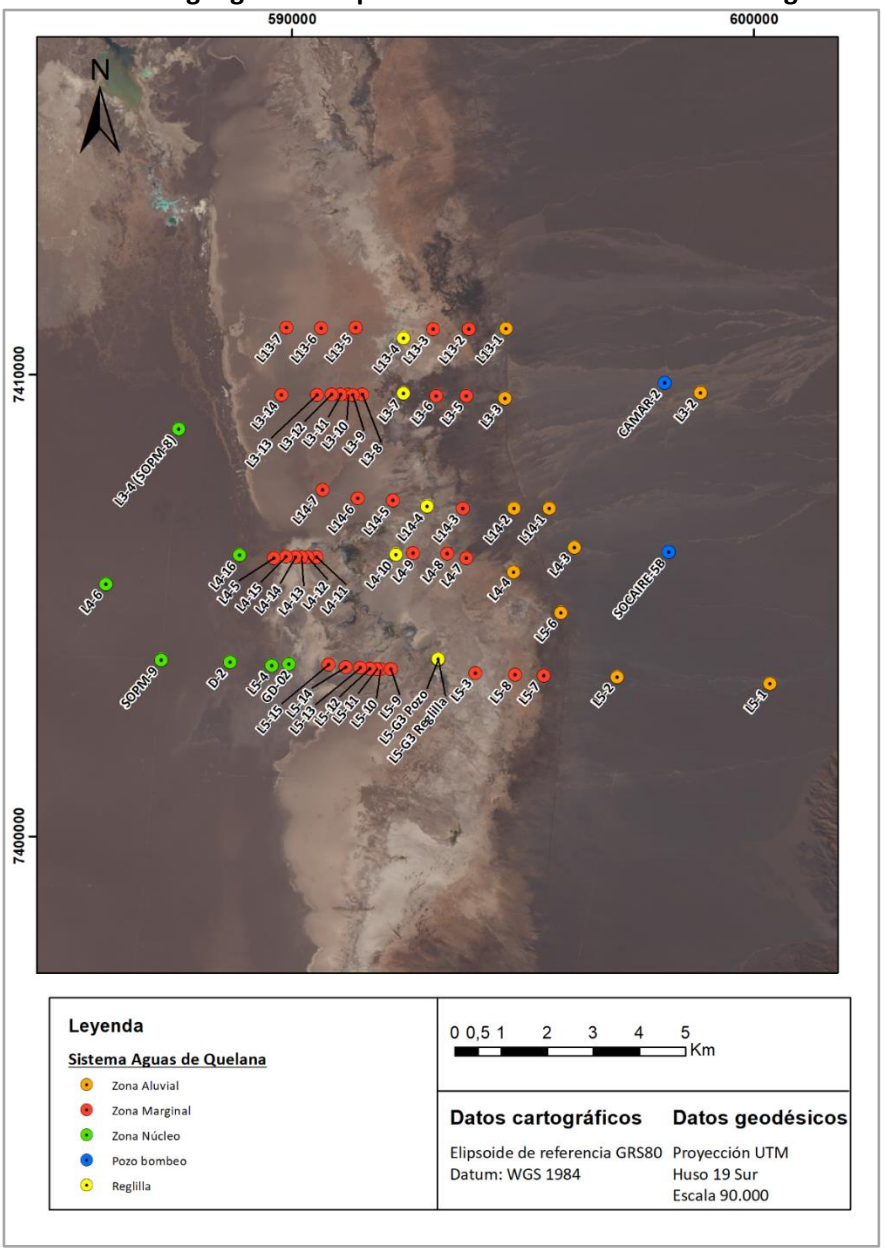
Los puntos que conforman la red de monitoreo del PSAH del Sistema Aguas de Quelana se ubica entre las coordenadas UTM 7.415.000 a 7.400.000 norte y 585.000 a 602.000 este aproximadamente.

La ubicación de los puntos que conforman la red de monitoreo de este sistema se muestra en la Figura 4-8. En el Anexo 2 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 4-8: 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).

Con fecha posterior al semestre reportado, bajo la programación de 07 de agosto de 2023 en la visita de medición de nivel de la reglilla L5-G3, se reportó que la reglilla se encontraba quebrada, perdiendo el punto de referencia histórico. La última medición realizada por un monitor SQM se realizó el día 03 de julio de 2023 con una medida de nivel igual a 0,414 (m) con una cota de referencia igual a 2301,135 m.s.n.m. Durante el segundo semestre de 2023 se realizarán las actividades correspondientes para reponer la infraestructura y continuar con las mediciones debidamente.

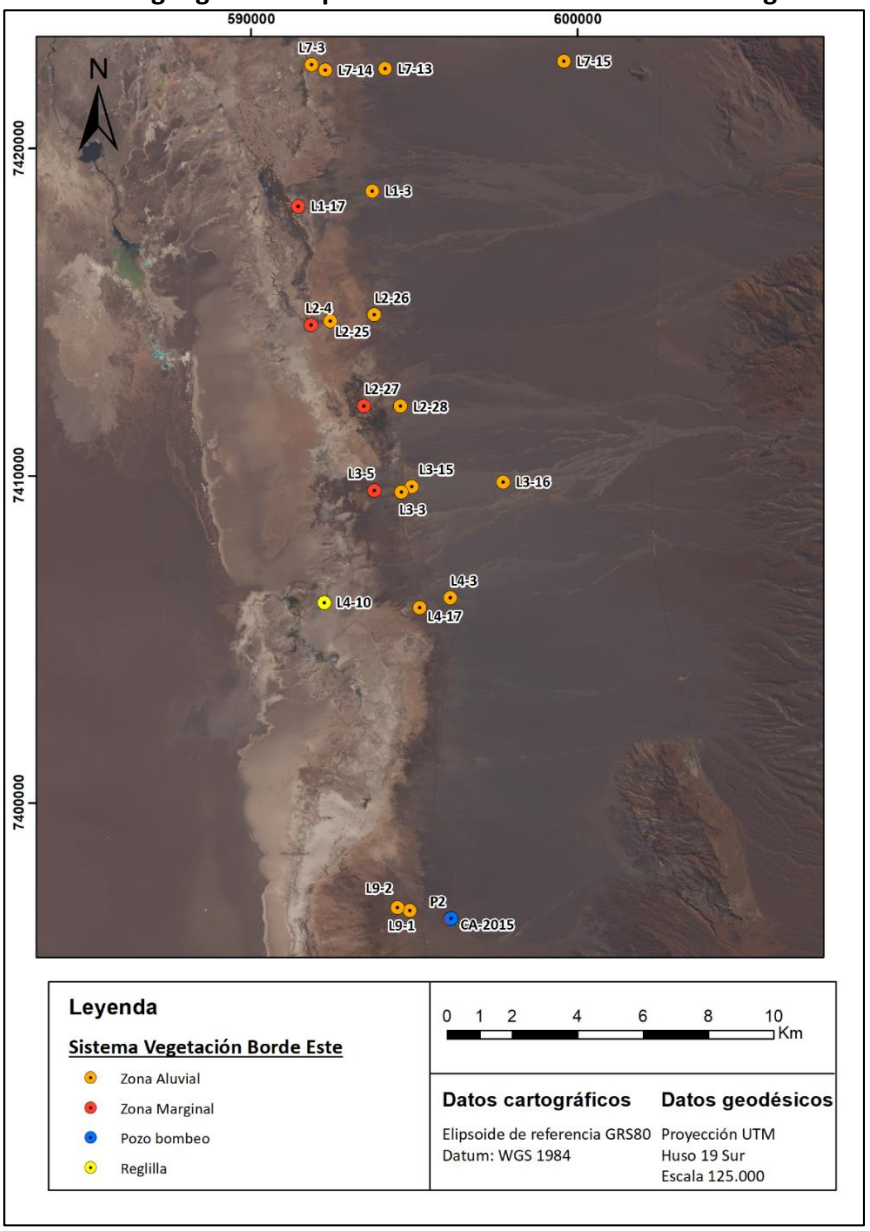
4.3.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

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 4-9 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 4-9: 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 el Anexo 2, del apartado del Sistema Soncor, se detallan los analitos medidos en cada grupo).

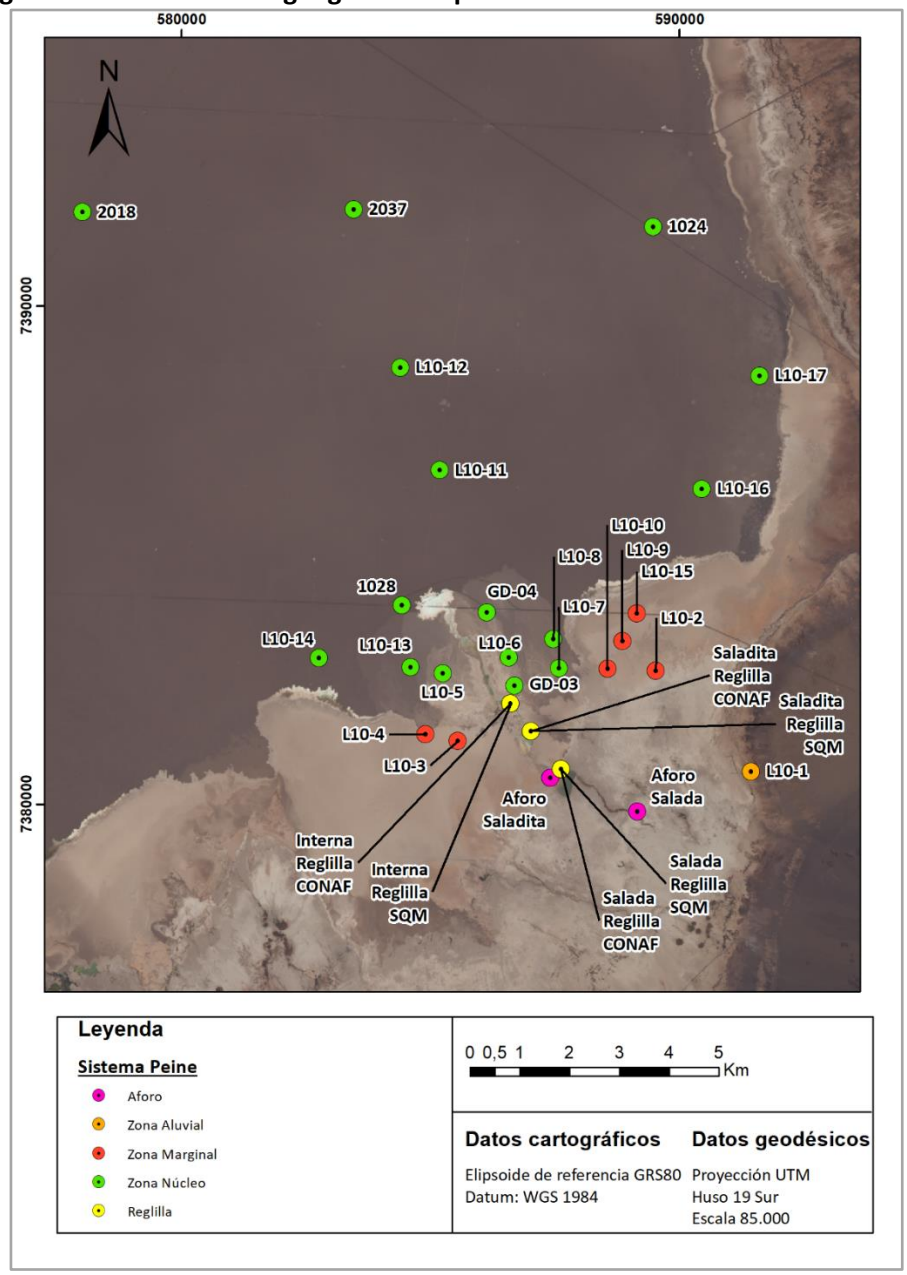
Aunque el pozo de extracción de agua industrial P2 fue reemplazado por el CA-2015, la medición mensual de nivel en este punto se ha mantenido y se incluye en el presente reporte de forma complementaria.

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 4-10. A continuación y 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 4-10: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del Sistema Peine



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

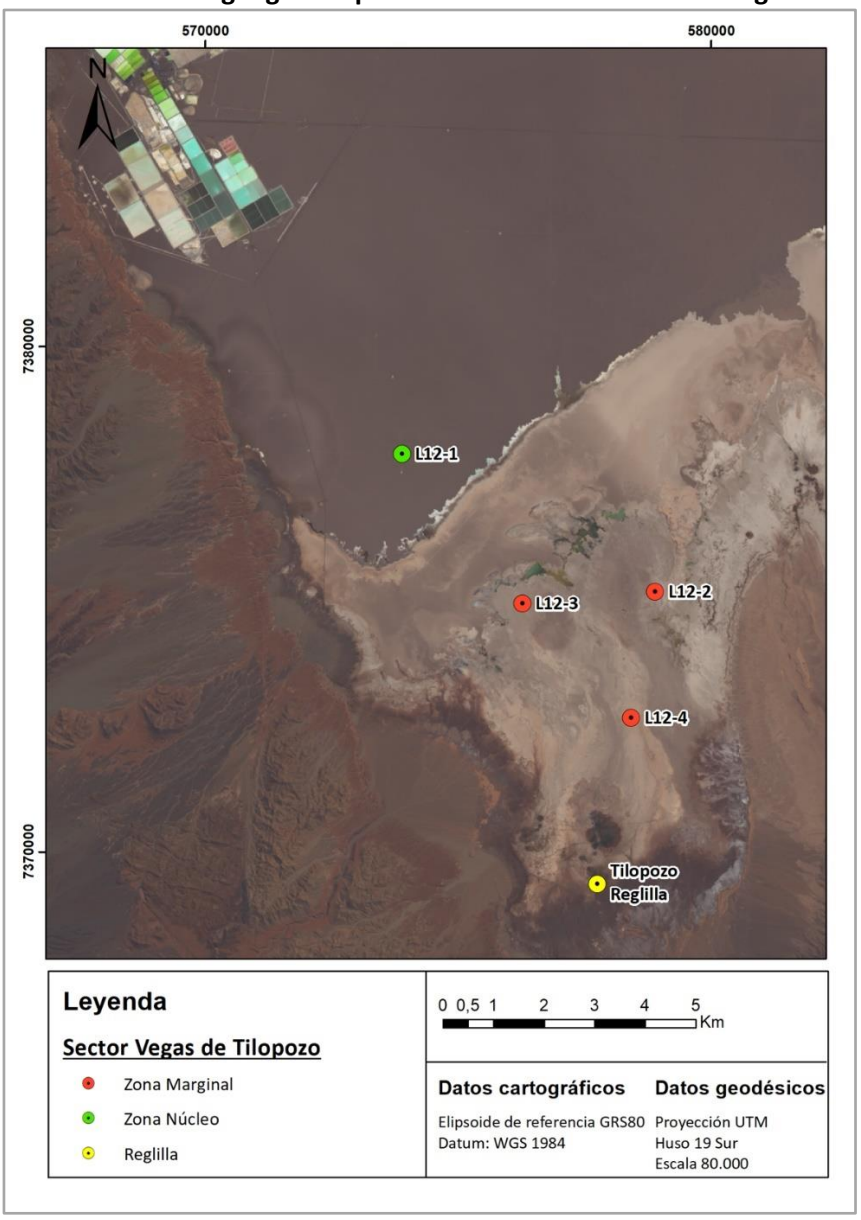
Como se observa en el Anexo 2, respecto al monitoreo de calidad del agua, y en base a los parámetros evaluados, es posible diferenciar los grupos de puntos de control denominados Calidad 1 y Calidad 3 (en el Anexo 2 del apartado del Sistema Soncor, se detallan los analitos medidos en cada grupo).

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 4-11, 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 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 4-11: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo



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

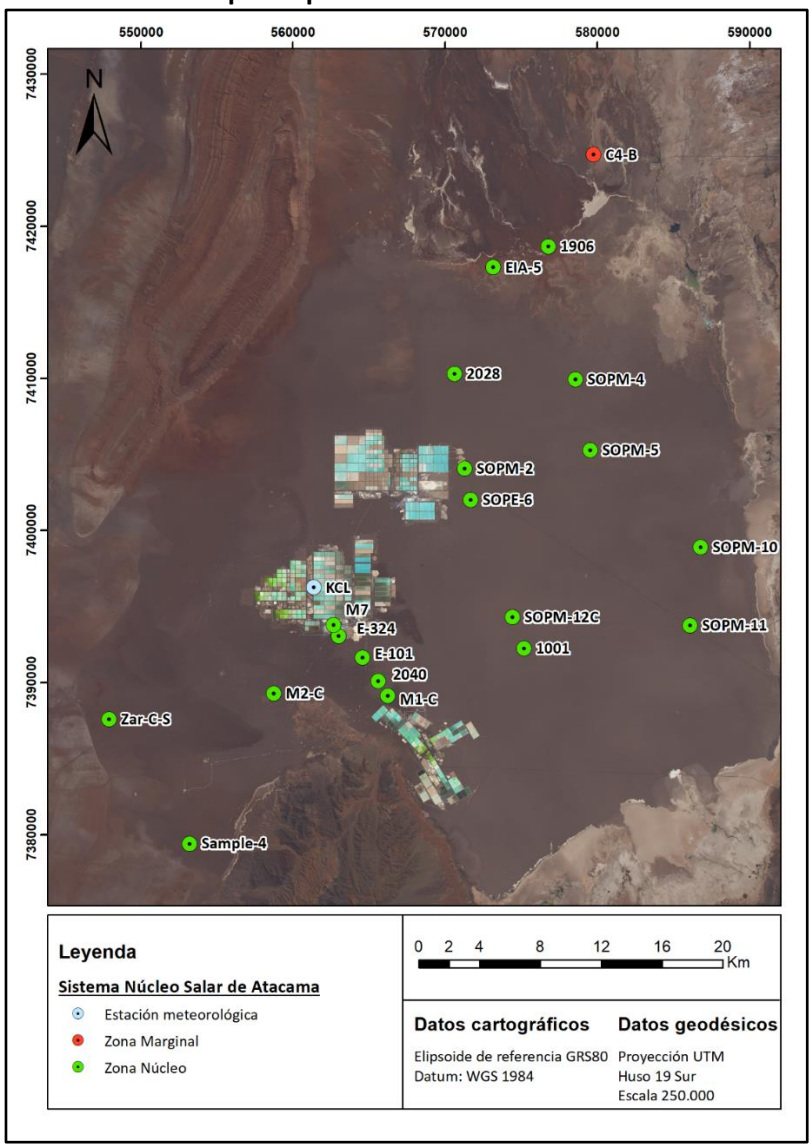
4.3.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

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 4-12. 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 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.

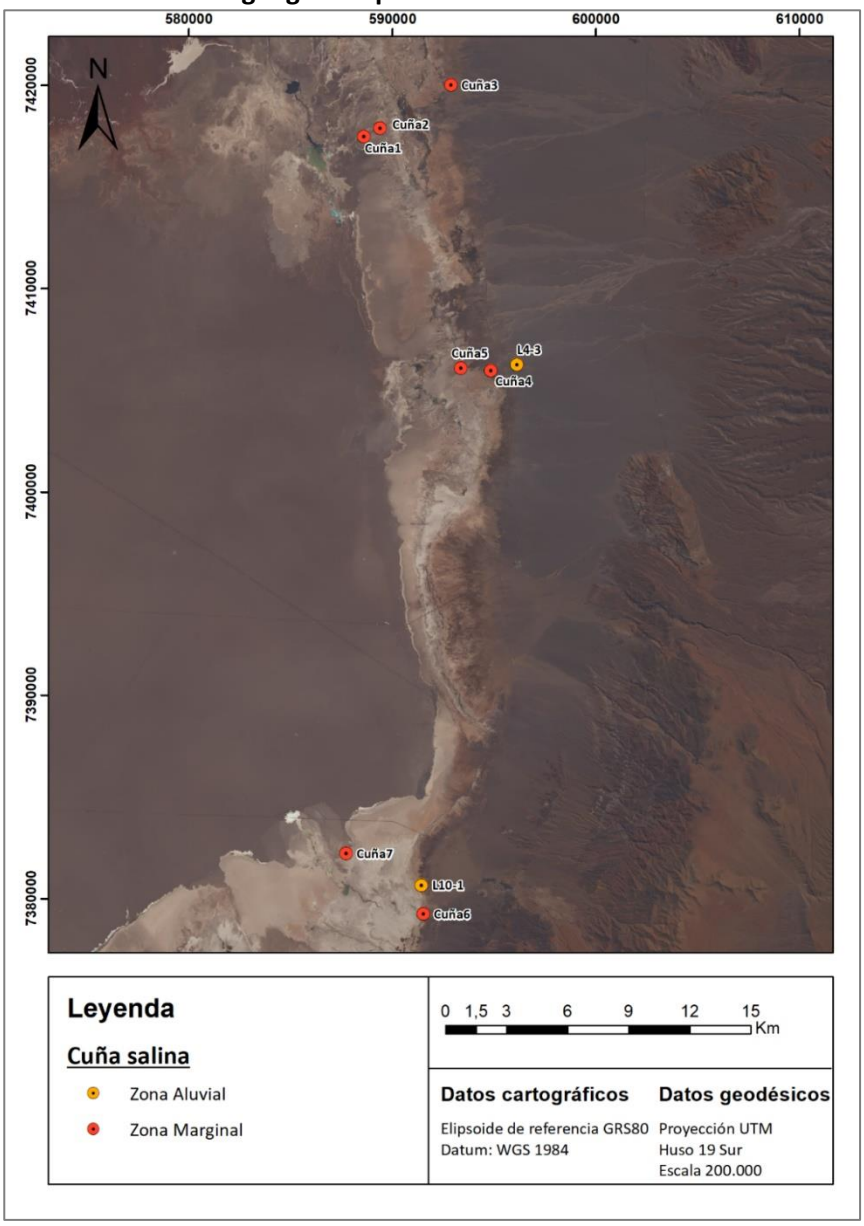
Para el caso de la Estación Meteorológica de KCL, se considera la medición de los parámetros Precipitación (mm), Evaporación (mm), Velocidad del Viento (m/s) y Temperatura (ºC).

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 4-13. A continuación, 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 4-13: Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina



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

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.

4.3.8 PLAN DE CONTINGENCIAS

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)[12].

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 del sector 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 4-14.

Tabla 4-4: Piezómetros 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	

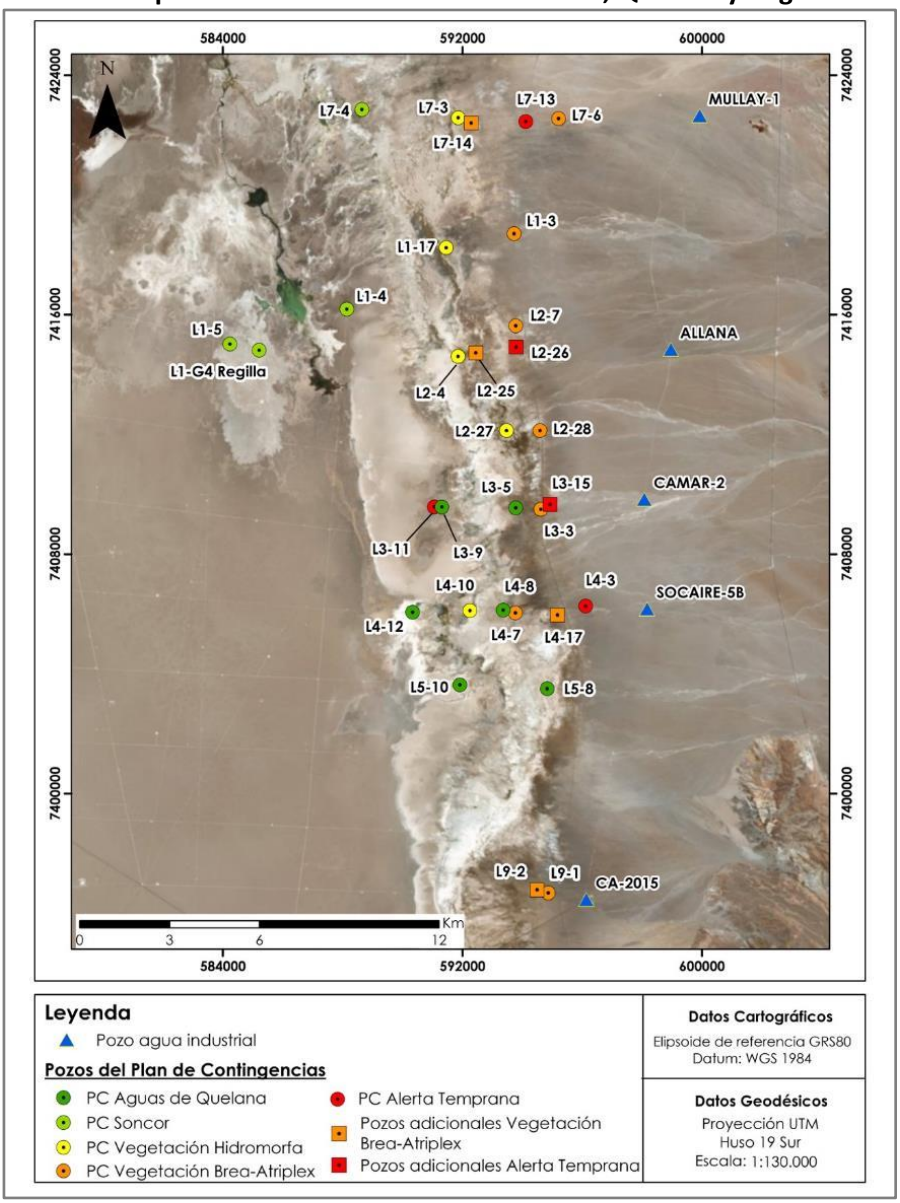
[12] Estos indicadores fueron propuestos para el Sistema Peine en el Programa de Cumplimiento presentado en el procedimiento F-041-2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente.

[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
		L5-10 L4-12	
Vegetación Borde Este	Vegetación Hidromorfa	L7-3 L2-4 L3-5 L4-10 L1-17 L2-27	
	Vegetación Brea-Atriplex	L7-6 L2-7 L3-3 L4-7 L9-1 L1-3 L2-28	
	Alerta Temprana	L7-13 L2-25 L3-11 L4-3 L9-1	
Peine	-	1028 L10-11 L10-4 PN-05B PN-08A	PdC aprobado 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	

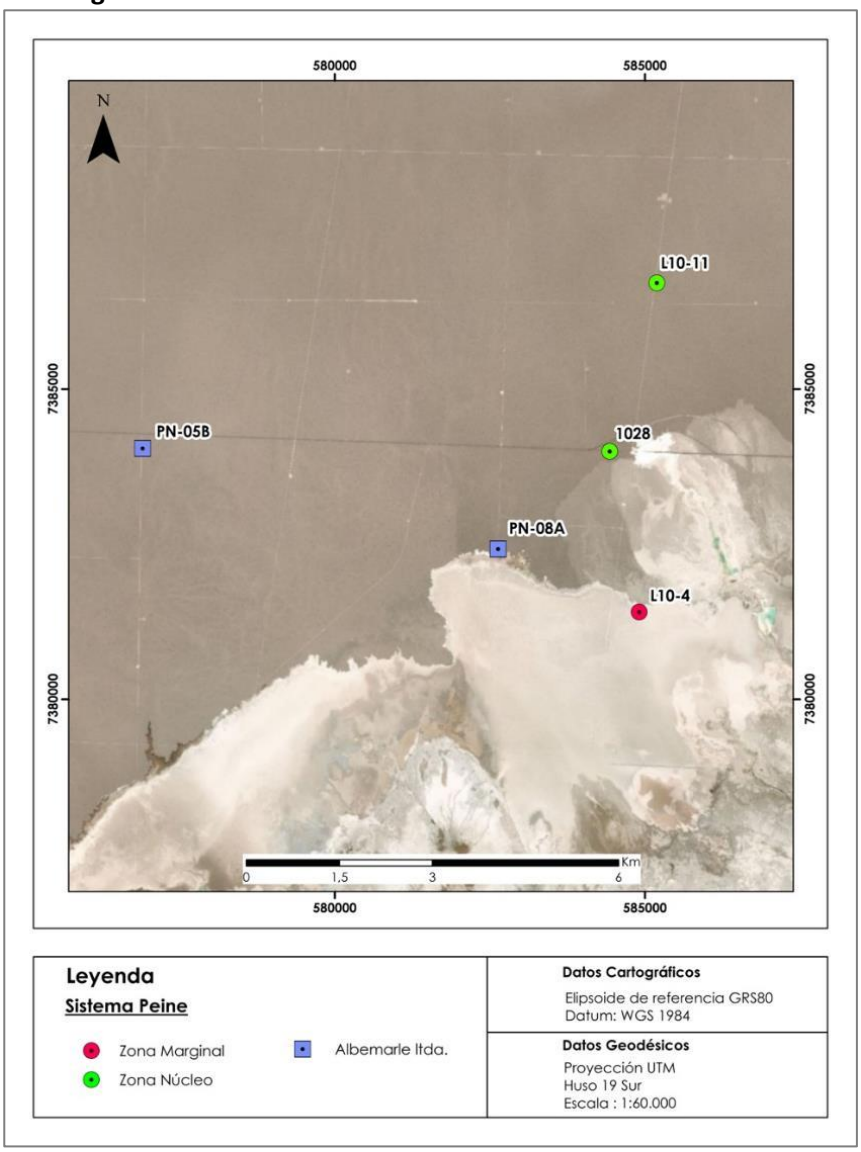
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Ubicación puntos del PC de los sistemas Soncor, Quelana y Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-15: Ubicación Indicadores de Estado Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

4.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES

Con base a la RCA N°226/2006 y la Res. Ex. N° 223, que "Dicta instrucciones generales sobre la elaboración del plan de seguimiento de variables ambientales, los informes de seguimiento ambiental y la remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental", la forma en que se reportan los parámetros que se miden en el marco del PSAH, en los anexos de este informe se basa en las indicaciones contenidas

en la Res. Ex. Nº 894/2019 que "Dicta instrucciones para la elaboración y remisión de informes de seguimiento del componente ambiental agua". En 2020, la SMA emitió una actualización de estos formatos y que aplica a los subcomponentes de Agua superficial (calidad y caudal de agua) y agua subterránea (calidad, caudal y nivel de agua).

Si bien para la elaboración del presente informe se clasifican los monitoreos meteorológicos como componente Aire, su objetivo dice relación con el complemento de la hidrología del sistema y por consiguiente no corresponde a un compromiso del componente Aire, quedando consignado en la RCA N° 226/2006 como parte del PSAH. En relación con esta variable, cabe mencionar que la Res. Ex. N° 894/2019 no menciona la forma en que debe ser reportada en los anexos. Por consiguiente, se han adaptado las planillas de las otras variables para este fin. Lo mismo ocurre con el parámetro de superficie lacustre, de la variable Cantidad de agua superficial; para el cual no se ha determinado el formato de entrega de los datos, por lo que se ha elaborado una planilla con el formato más adecuado para su reportabilidad.

En la Tabla 4-5 se muestran las variables los parámetros y las resoluciones (que indican el formado de entrega de la data) que se reportan en el presente informe y que parte del compromiso adquirido en la RCA Nº226/2006.

Cabe mencionar que la definición de la metodología, frecuencia y responsable de cada parámetro está determinada por la RCA N°226/2006 o lo comprometido en el Programa de Cumplimiento (PdC) F-041-2016, aprobado por Res. Ex. N°38/Rol F-041-2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente. Adicionalmente, desde septiembre de 2020 se dispone a la comunidad toda la información actualizada del seguimiento hidrogeológico a través del sitio web de libre acceso público https://www.sqmsenlinea.com/, tal como, monitoreo continuo de nivel (msnm) de pozos PSAH como indicadores de alerta de los Planes de Contingencia (PC), información de extracción de salmuera y de agua industrial y meteorología. Dado la aprobación del Plan de Cumplimiento, los resultados del seguimiento hidrogeológico incrementan su información de acuerdo a la frecuencia y responsable de medición tal como se muestra en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5: Parámetros considerados en PSAH

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Formato de reportabilidad de la data	Método | Frecuencia | Responsable de la medición
Agua	Agua subterránea	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. N° 894/2020	**Red PSAH:** Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM **Red PC**: Manual | Diaria | SQM[14] Continua | 1 min | SQM[15]
			Caudal bombeo	Res. Ex. N° 894/2020	Continua | Mensual | SQM
		Calidad de agua	Físico y químicos	Res. Ex. N° 894/2020	Manual | Semestral | ETFA
	Agua superficial	Cantidad de agua	Nivel	Res. Ex. N° 894/2020[16]	Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM
			Superficie Lacustre	Propio	RTK | 5 años | SQM Estacas | Trimestral | SQM Imágenes satelitales | Trimestral | SQM
			Caudal	Res. Ex. N° 894/2020	Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM
		Calidad de agua	Físico y químicos	Res. Ex. N° 894/2020	Manual | Trimestral | ETFA
Aire	Aire	Meteorología	Precipitación Evaporación Velocidad del viento Temperatura	Propio	Continua |5 min | SQM

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, con fecha 25 de abril de 2022 se publicó en el Diario Oficial las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022, que actualizan y reemplazan las resoluciones asociadas a requisitos y operatividad para las ETFAs, Inspectores/as Ambientales (IA) y titulares.

A efectos del titular, SQM, sin considerar los cambios que suponen estas nuevas resoluciones al funcionamiento interno de la misma ETFA, el principal cambio que contempla esta nueva normativa se detalla concretamente en la Res. Ex. Nº573/2022. Esta resolución señala que no se requerirá que las

[14] Pese a la Resolución exenta N° 573 publicada en abril de 2022, SQM Salar continúa realizando a través de ETFAS actividades de muestreo y/o medición en parámetros de nivel freático para puntos que no cuentan con umbral hasta septiembre 2022 y para actividades que se llevan a cabo de forma automatizada (ver anexo 3.2 y anexo 3.3 de certificaciones y calibración de equipos).

[15] 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.

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

actividades de muestreo y/o medición sean realizadas por una EFTA, en el componente agua, cuando tales actividades cumplan alguna de las tres condiciones que se reescriben a continuación. Para cada una de estas condiciones, en la parte inferior se detalla el alcance con respecto el seguimiento ambiental concreto que mantiene SQM según su RCA Nº226/2006:

i. Para los parámetros Nivel freático y Nivel de agua, cuando el punto de medición no cuente con un valor límite o umbral de cumplimiento establecido en un instrumento de carácter ambiental de competencia de la Superintendencia, las actividades de muestreo y/o medición podrán ser ejecutadas por el personal del titular del proyecto, para lo cual se deberá demostrar su competencia técnica y mantener los registros del control metrológico de los equipos utilizados en tales mediciones, en los mismos términos descritos en el párrafo anterior referido a las actividades automatizadas (condición iii).

   Considerando lo anterior, el principal cambio, en los términos en que se ha estado procediendo hasta ahora, respecto de la medición de niveles del PSAH, radica en el responsable encargado de la medición según la frecuencia comprometida. De esta manera las mediciones mensuales pasarán a ser medidas ahora por SQM, mientras que las mediciones diarias serán medidas ahora por la ETFA.

   - En la Tabla 4-6 se añade una columna en donde se especifica el cambio para este caso.
   - Respecto de la demostración de la competencia técnica del equipo de SQM designado para las mediciones correspondientes, en el Anexo 3.4 del presente informe se entregan los Currículum de los monitores.

ii. Las actividades de muestreo y/o medición con una frecuencia horaria (todas las horas) o diaria (todos los días), podrán ser ejecutadas por el personal del titular del proyecto, para los siguientes parámetros: *caudal, volumen acumulado, cloro libre residual o cloro libre, cloro total o cloro residual, conductividad, oxígeno disuelto, pH, sólidos sedimentables, temperatura, turbiedad.*

Para este efecto, se deberá demostrar su competencia técnica y mantener los registros del control metrológico de los equipos utilizados en tales mediciones, en los mismos términos descritos en el párrafo anterior referido a las actividades automatizadas (condición iii).

- Dado que los parámetros mencionados son medidos con frecuencias menores a las indicadas, esta excepción al nuevo alcance de las ETFA no aplicaría para el PSAH de SQM.
- En la Tabla 4-6 puede verse el detalle.

iii. Para cualquier parámetro del componente agua, cuando las actividades de medición son llevadas a cabo en forma automatizada, en cuyo caso, los titulares deberán mantener registros asociados al control metrológico (calibraciones, verificaciones, entre otros) y mantenciones de los equipos utilizados en tales mediciones, así como demostrar la competencia técnica de los operadores de los mencionados equipos. La competencia técnica del personal podrá ser demostrada a través de registros, capacitaciones, evaluaciones, entre otros. Conforme a lo anterior:

- Respecto de los registros asociados al control metrológico, en el Anexo 3.2 y 3.3 se entregan los certificados de calibración de todos los equipos que SQM usa para las mediciones automatizadas del PSAH.
- Respecto de la demostración de la competencia técnica del equipo de SQM designado para las mediciones correspondientes, en el Anexo 3.4 del presente informe se entregan los Currículum de los monitores.

Así, tal y como se ha descrito anteriormente, el principal cambio que afecta al seguimiento de las variables del PSAH de SQM es la nueva definición del responsable de las mediciones de nivel, y en concreto el nuevo compromiso de la medición diaria (pozos del PC) pasa a ser de la ETFA y el resto de las mediciones, de SQM. Ello ha llevado a la obligación de configurar un nuevo contrato por parte de SQM con SEGEA código 040-01 en este caso (en el Anexo 4.5 se entrega email conforme la solicitud de nuevo presupuesto a SEGEA).

De esta forma, para la aplicación de estos cambios se ha requerido de un periodo de transición y adaptación, tanto por parte de la ETFA como de SQM desde el segundo semestre de 2022, continuando así en los siguientes informes. Cambios adoptados en su totalidad en el presente semestre reportado.

Tabla 4-6: 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[17]	**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[18]	Manual | Mensual | ETFA Continua | 1 min | SQM	Manual | Mensual | SQM Continua | 1 min | SQM
			Superficie Lacustre[19]	Propio	RTK | 5 años | SQM Estacas | Trimestral | SQM Imágenes satelitales | Trimestral | 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

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 diarias, por otro lado, la ETFA es quien debe realizar las mediciones con frecuencia menor a la diaria. En este sentido, este semestre la empresa encargada de estos monitoreos corresponde a 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 los correspondientes a las ETFA, en el Anexo 5.1.

4.5.1.1 Materiales y/o equipos

- Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 de 30, 60 o 150 metros
- Vástago para proyectar medición del 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 4-7 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 código 040-01.

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

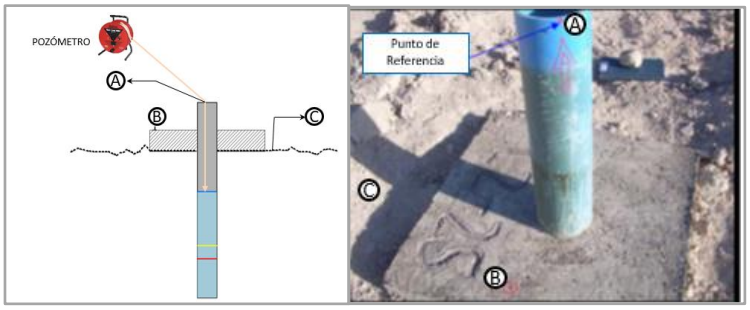
EMPRESA	Metodología de medición (resumen)
SQM	1) Verificar estado de pozómetro de acuerdo con el instructivo interno Operaciones I-009 (adjunto en Anexo 3.1). 2) Registrar fecha y hora de visita. 3) Medir con pozómetro el nivel (estático o dinámico) en el pozo desde el punto de referencia establecido 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[20]. 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.

[20] Tal y como se menciona en el capítulo 4, 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).

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 4-16 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 4-16: Esquema conceptual de pozos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.

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 (cota de referencia), 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, SQM es responsable de efectuar las mediciones manuales diarias, 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.

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
- Reglilla
- 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 4-8 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 4-8: 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, 47 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 3.2.

4.5.3.1 Materiales y/o equipos

- Sensor de presión In Situ Level Troll 500 o similar
- Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 de 30, 60 y 150 metros[21]
- 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 mensual.
3) Medición de densidad en cada visita mensual.

[21] Considerar que la certificación de dichos pozómetro se encuentran en el Anexo 3.2, considerar que alguno de ellos presenta error de tipeo en su fecha de próxima calibración, debiese considerar al menos 12 meses posterior a la fecha de emisión de documento. Se espera confirmación por parte de CESMEC S.A de esta información.

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 se trata de salmuera 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, mensualmente 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 medición.

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 mensual del mismo. De esta forma, se considera la medición manual como aquella representativa de la profundidad del nivel.

En la Tabla 4-9 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 (primer 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 6 infraestructuras (L2-16, L2-9, P1-3, P1-4, P2-3 y Reglilla Puilar SQM) no fue posible realizar la calibración recomendada según fabricante, por lo que, se prevé realizar estas calibraciones durante el siguiente periodo a reportar.

Tabla 4-9: 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– Vigente al cierre del periodo	650725
L13-1	09/02/2022 12:00 – Vigente al cierre del periodo	685575
L13-2	09/02/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	685809
L13-3	16/03/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	637817
L13-4	09/03/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	871632
L14-4	06/09/2022 12:01 - Vigente al cierre del periodo	937999
L1-G4 POZO	07/11/2021 12:01 - Vigente al cierre del periodo	713321
L2-16	15/07/2021 12:01 – Vigente al cierre del periodo	680316
L2-23	13/09/2022 00:01 - Vigente al cierre del periodo	937869
L2-9	07/12/2021 12:01 – Vigente al cierre del periodo	871606

L3-10	04/10/2022 12:01 - Vigente al cierre del periodo	833787
L3-13	04/10/2022 12:01 - Vigente al cierre del periodo	471042
L3-5	24/08/2021 12:01 – 06/02/2023 12:00	650738
	06/02/2023 12:01 – Vigente al cierre del periodo	746418
L3-6	03/10/2022 12:01 - Vigente al cierre del periodo	937852
L3-7	28/05/2022 12:00 – 06/02/2023 12:00	863758
	06/02/2023 12:01 - Vigente al cierre del periodo	685372
L3-9	08/03/2022 12:01 – 06/04/2023 12:00	724993
	06-04-2023 12:00:00 - Vigente al cierre del periodo	1000346
L4-12	08/03/2022 12:02 – Vigente al cierre del periodo	446778
L4-13	04/10/2021 12:00 - Vigente al cierre del periodo	937053
L4-7	17/04/2022 12:01 – 06/03/2023 12:00:00	830297
	06/03/2023 12:01:00 - Vigente al cierre del periodo	685813
L4-8	09/03/2022 12:01 – 06/02/2023 12:00:00	863753
	06/02/2023 12:01 - Vigente al cierre del periodo	865220
L4-9	03/10/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	937863
L5-10	08-03-2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	583551
	04/04/2023 12:01 – Vigente al cierre del periodo	1000349
L5-14	23/02/2022 13:16 – Vigente al cierre del periodo	685817
L5-3	06/09/2022 12:01- Vigente al cierre del periodo	937866
L5-6	13/04/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	833771
L5-7	08/12/2022 12:00– Vigente al cierre del periodo	745332
L5-8	08/12/2022 12:00– Vigente al cierre del periodo	751459
L5-G3 POZO	03/10/2022 12:01- Vigente al cierre del periodo	937858
L7-4	15/09/2022 12:01- Vigente al cierre del periodo	865200
L7-G2 POZO	08/03/2022 00:01 – Vigente al cierre del periodo	749163
P1-1	18/03/2022 12:01 - 13/11/2022 12:00	833773
	13/11/2022 12:00 - Vigente al cierre del periodo	526752
P1-2	13-11-2022 12:01 - Vigente al cierre del periodo	868647
P1-3	07/12/2021 12:01 - Vigente al cierre del periodo	868644
P1-4	15/07/2021 12:00 –Vigente al cierre del periodo	685815
P1-5	19/05/2022 13:01 – Vigente al cierre del periodo	863803
P1-6	19/05/2022 14:01 – Vigente al cierre del periodo	865203
P1-7	19/05/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	865207
P2-1	17/04/2022 12:00 - Vigente al cierre del periodo	830293
P2-2	17/04/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	685839
P2-3	15/07/2021 12:00 – Vigente al cierre del periodo	685355
P2-4	22/03/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	868648
P2-5	22/03/2022 12:02 – Vigente al cierre del periodo	685485

PUENTE SAN LUIS AFORO	17/05/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	593903
PUENTE SAN LUIS POZO	17/05/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	685738
REGLILLA BARROS NEGROS SQM	26/05/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	884413
REGLILLA BURRO MUERTO SQM	29/04/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	884513
REGLILLA CHAXAS SQM	26/04/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	884493
REGLILLA PUILAR SQM	21/07/2021 12:00 – Vigente al cierre del periodo	685844
Camar-2	20/11/2022 12:00- 17/02/2023 12:00	890751
	17-02-2023 12:01 Vigente al cierre del periodo	593898

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 COREMA de la Región de Antofagasta. Para el presente informe Nº 33 corresponde la medición mediante dos de las tres metodologías previstas relativa a estacas perimetrales y medición vía imágenes satelitales de alta resolución (Tabla 4-10).

Tabla 4-10: 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 por reportar en el presente informe PSAH	Próximo informe PSAH en que se reportará
Medición mediante imágenes satelitales	Anual (meses de abril) Trimestral (PdC 2022)	Si	Informe 34 (segundo semestre 2023)
Medición mediante recorrido a pie (RTK)	Cada 5 años	No	Informe 37 (Primer semestre 2025)
Medición mediante estacas perimetrales	Trimestral	Sí	Informe 34 (segundo semestre 2023)

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 para recuperación de cuerpos lagunares siguiendo como base la metodología establecida en la RES N° 244/2010. La recuperación de estas superficies es rectificada mediante puntos de control tomados 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 para los meses de enero y abril (este informe) y julio y octubre (próximo PSAH). La Tabla 4-11 entrega características espaciales y espectrales de los productos utilizados en la estimación de superficie lacustre.

Tabla 4-11: 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[22])
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]	2 (0.5 pan)

Fuente: Elaboración propia.

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

- 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)

4.5.4.1.2 Metodología de medición

La metodología que se toma como base 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 necesario considerar que la imagen multiespectral brindada por el proveedor viene en DN o niveles digitales, los cuales son necesarios corregir a valores de reflectancia (o reflectancia relativa) para su comparación con curvas espectrales de materiales (suelo, agua, vegetación, etc.). En efecto, se realizan correcciones geométricas (si aplica), radiométricas y atmosféricas al producto multiespectral y pancromático[23]. Estas correcciones son enmascaradas a un área de interés por sistema lacustre. De forma

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

paralela es generada la imagen multiespectral mejorada (*pansharpening*) la cual es utilizada en composición falso color para una correcta comparación de resultados.

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

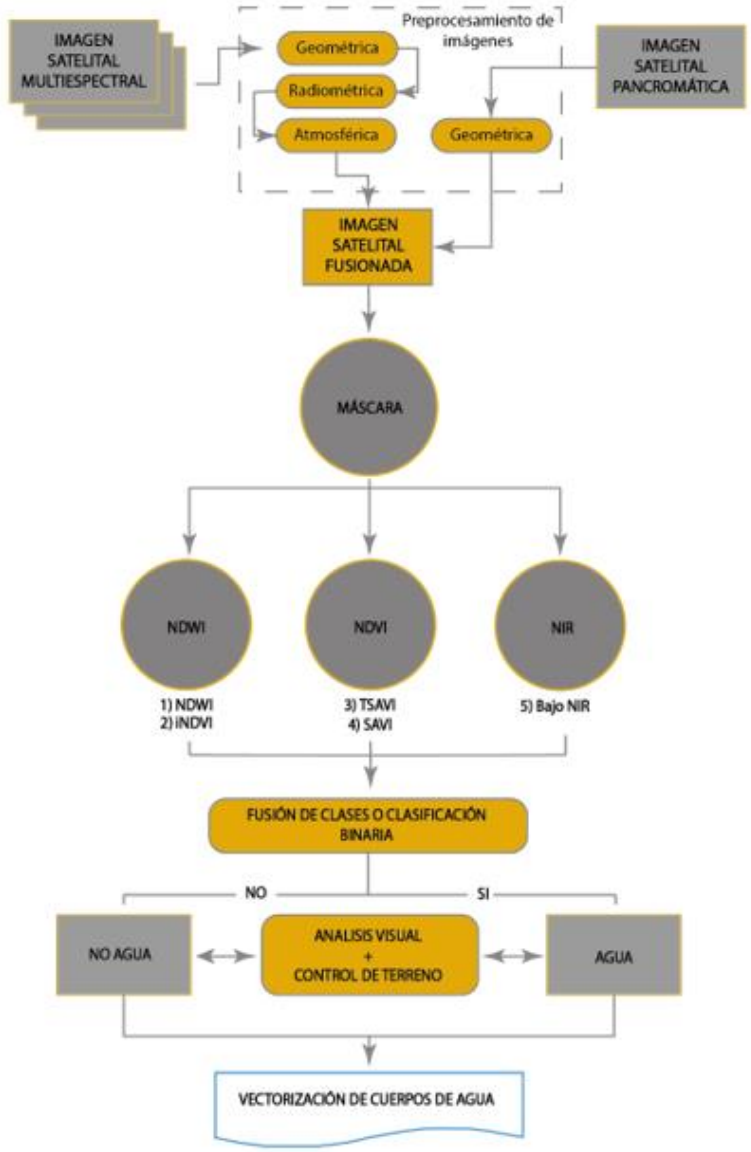
Es necesario mencionar, que la metodología empleada considera la utilización de índices especializados en la recuperación de cuerpos someros, los cuales son predominantes en zonas áridas (e.j Aguas de Quelana). También, se debe tener en cuenta la heterogeneidad de superficies que deben ser filtradas 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 4-17, muestra un diagrama de flujo resumen de la metodología para la recuperación de superficie lacustre, empleando imágenes satelitales de alta resolución.

Figura 4-17: 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 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 similar
- 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. 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 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 4-12 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 (primer semestre de 2023). Los certificados de calibración de cada flujómetro (identificado por el número se serial) está disponible en el Anexo 3.2.

Tabla 4-12: 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	28/03/2022 12:43	22/12/2022 10:28	S5W504502

	22/12/2022 10:29	Vigente al cierre del periodo	S5Y703946
Socaire-5	06/04/2022 19:26	02/03/2023 12:04	S5P800409
	02/03/2023 12:05	Vigente al cierre del periodo	A22031949
Allana-1	23/06/2022 12:14	02/03/2023 23:59	S5W905097
	03/03/2023 09:42	Vigente al cierre del periodo	A22031953
Mullay-1	27/03/2022 13:00	03/03/2023 11:46	S5P800411
	03/03/2023 11:47	07/03/2023 23:59	A22031952
	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 mes (ver Anexo 7). Las fechas de registro de cambio de flujómetro se indican en la Tabla 4-12 para cada pozo de agua industrial.

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 www.sqmsenlinea.com[24]. Esta plataforma contiene además el cálculo directo del caudal promedio mensual (l/s) y el detalle de los cambios de flujómetro

[24] https://www.sqmsenlinea.com/agua-industrial

mencionadas anteriormente. Se debe considerar además que la entrega de información 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 (Sólo en caso de que el monitor no haya realizado actividad con anterioridad).

4.5.6.2 Metodología de medición

La medición del caudal pasante por las distintas secciones de aforo es realizada por la ETFA SEGEA y se realiza mediante 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). En secciones donde la altura sea inferior a 4 cm, se debe utilizar el método del Flotador para medir las velocidades. Este método consiste en colocar un objeto flotante a 1 m aguas arriba del punto de medición y medir el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia.
- 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 silimar

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 4-13 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 (primer semestre de 2023). Los certificados de calibración de cada Level Troll (identificado por el número serial) está disponible en el Anexo 3.3.

Tabla 4-13: Relación número serial de Level Troll con el nombre de infraestructura y el periodo instalado

Infraestructura	Periodo de instalación	Serial
PUENTE SAN LUIS AFORO	17/05/2022 12:01 – Vigente al cierre del periodo	593903

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 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 4-14 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 4-14: 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	•	•
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.

4.5.9.1.2 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 4-15 según sea agua subterránea o superficial.

Tabla 4-15: 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 4-16: Etapas de muestreo en puntos subterráneos y superficiales

	Etapas de muestreo	Agua subterránea	Agua superficial
1	Medición del nivel freático, antes y después de tomar la muestra	•	
2	Purga de pozo (cuando corresponda [25])	•	
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.

[25] 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.

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
- 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 4-16 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 una ETFA autorizada por la SMA, durante este semestre la ETFA formo parte de esta actividad corresponde a SEGEA con código 029-01; al mismo tiempo existen mediciones realizadas 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 4-16).
- 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 dato. 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 EFTA 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 EFTA versus SQM

La precisión es evaluada calculando el Error Relativo (ER) entre el parámetro medido en terreno por la EFTA 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 EFTA versus SQM

Para comparar las mediciones de pH capturadas por la EFTA 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 EFTA 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 se produce 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 calculo. 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 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 primer 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 4-17. 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 4-17: 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

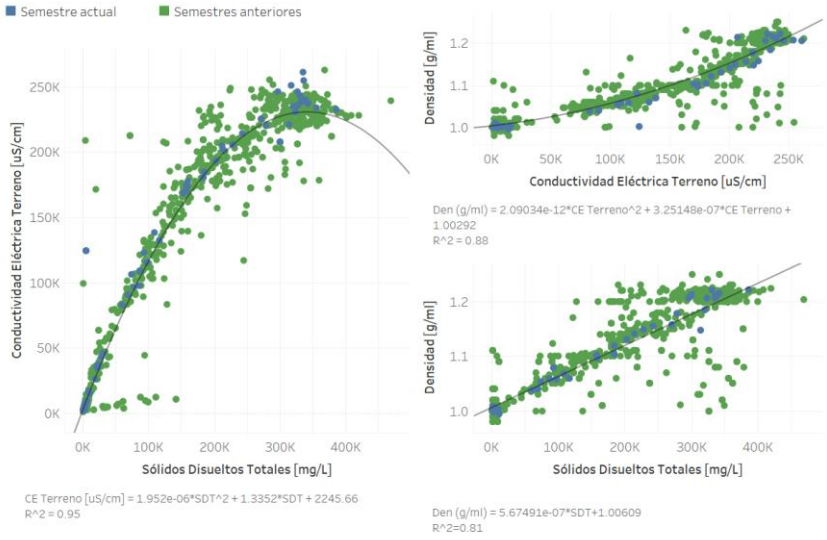
Fuente: Fetter, C.W. 2001 Applied Hydrogeology 4th Edition. Prentice Hall

En la Figura 4-18 se presentan las correlaciones entre SDT vs CE y SDT vs densidad, obtenidas con los resultados obtenidos en 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 4-18 se presenta también la correlación entre CE y densidad que resulta útil conocer para otros potenciales estudios.

Los datos empleados en la Figura 4-18 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 muy buenos para la correlación entre SDT y CE y CE-Densidad, con valores R^2 de 0,99 y 0,95, respectivamente y aceptable para SDT – densidad con un R^2 de 0,95.

Figura 4-18: 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 4-18, se obtienen los distintos rangos para SDT, CE y densidad, mostrados en la Tabla 4-18. 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 4-18 Clasificación de tipos fluidos en base a TSD, CE y Densidad.

Tipo Agua	TSD (mg/L) (Fetter modificado, Tabla 4-17)	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 publicado en el mismo sitio web, 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 primer semestre de 2023, que comprende el período de entre el 01 de enero al 30 de junio 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 terceros, 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 enero de 2023 hasta el 30 de junio 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.
- 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[26]), 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). En particular esta última depende del equipo de medición topográfica usado, además de las condiciones climáticas, el

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

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 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 9.2.

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 4-11). 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 los aforos, los caudales 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[27], 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.

[27] 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 PRIMER SEMESTRE 2023

En esta sección se presentan los resultados del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) y del Plan de Contingencias (PC), en este orden, obtenidos durante el primer semestre de 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 acciones consideradas en el Programa de Cumplimiento (PdC) aprobado mediante Res. Ex. N°29/Rol F-041-2016. En particular, se consideran aquellas acciones que se encuentran relacionadas con el PSAH y el PC, 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 (Acción 5), 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 (Acción 42).
- 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 de 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 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 (enero-junio), 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	ETFA
	Caudal de agua (aforos)	Mensual	SQM	Mensual	ETFA
	Calidad	Trimestral	SQM	-	-
	Meteorología	5 minutos	SQM	-	-

	Superficie lacustre	5 años/ trimestral/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 enero a junio 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[28] 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 RNF (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 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

[28] 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.

(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[29].

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 primer 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.

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.

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

Finalmente, en el Anexo 13 se entrega la información levantada durante el primer 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 (RNF)
- Áreas con restricción de acceso por parte de comunidades
- Perdida de autorización temporal de ETFA SEGEA durante el primer semestre de 2023.

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 (RNF)

El PSAH se caracteriza por contar con puntos de medición/muestreo en áreas con acceso restringido. En este contexto, cabe referirse al “Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos” que limita el acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos (RNF) y que entró en vigencia el 14 de junio de 2019, según Resolución Nº 56/2019 de la Región de Antofagasta. En esta reserva se ubican el sistema Soncor y Aguas de Quelana, y el detalle de los puntos que se encuentran con acceso restringido 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. Entre las infraestructuras habilitadas en esta área, se incluyen los 2 puntos de aforo (Puente San Luis y Aforo Barros Negros) y 42 puntos de medición de nivel lo que equivale al 46% de la infraestructura del Sistema Soncor. Respecto de los muestreos de calidad trimestrales comprometidos en el PSAH, se encuentran 1 reglilla (L7-G1) y las 4 lagunas (las que su muestreo correspondía al efectuado por CONAF anteriormente). Respecto de 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 también las cartas que solicitan ajustes de programación de Soncor y Aguas de Quelana para el trimestre enviada el 17 de enero de 2023 y modificaciones para el segundo trimestre enviada el 27 de marzo de 2023 a través de la cartas GMAL 20/2023 y GMAL 163/2023 respectivamente. Cada una de estas solicitudes y respuestas se encuentran en el Anexo 4.

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

		Envío solicitud SQM		Respuesta Autorización	
Entidad /Sistema	Mes	N° Carta	Fecha	N° Resolución	Fecha
CONAF- Sistema Soncor	ene-23	GMAL 232/2022	19-12-2022	Carta oficial N°1/2023	03-01-2023
	feb-23				
	mar-23				
	abr-23	GMAL 125/2023	10-03-2023	Carta oficial N°13/2023	23-03-2023
	may-23				
	jun-23				

CONAF- Sistema Aguas de Quelana	ene-23	GMAL 231/2022	19-12-2022	Carta oficial N°2/2023	05-01-2023
	feb-23				
	mar-23				
	abr-23	GMAL 126/2023	10-03-2023	Carta oficial N°14/2023	24-03-2023
	may-23				
	jun-23				

Fuente: Elaboración propia.

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. Ante tales condiciones, 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, no se han podido ejecutar todas las actividades comprometidas en el PSAH.

Respecto de los puntos del PC dentro de la reserva (6 en el sistema Aguas de Quelana y 1 en Soncor), de la misma forma que el resto de los puntos del PSAH, solo ha sido posible realizar una medición mensual conforme a las autorizaciones emitidas por CONAF y a lo indicado en la forma de implementación de la Acción 5 para estos puntos.

En el primer semestre de 2023, para el sistema Soncor, el L7-4 ha podido visitarse una vez al mes a excepción del mes de enero. Los indicadores dentro de RNF de Aguas de Quelana, que son L3-11, L3-9, L4-10, L4-12, L4-8, no han sido posible de medir diariamente, sin embargo, han sido medidos al menos 1 vez cada mes del primer semestre de 2023.

En cuanto a las mediciones de las lagunas, en Sistema Soncor, la situación se repite restringiendo el acceso durante enero 2023. Esta restricción también aplica para obtener muestras trimestrales de calidad química en las lagunas Barros Negros, Chaxa y Puilar. Durante el segundo trimestre fue posible medir la calidad, a excepción de los parámetros de terreno que mide la ETFA SEGEA y que se explican en el siguiente apartado.

Respecto a las campañas de terreno para medición de puntos de control para rectificación de limites lacustres, solo se pudo ingresar a Reserva en Aguas de Quelana durante el mes de enero de 2023 e igualmente en los sistemas lacustres de Soncor (Barros negros, Chaxa, Puilar). La restricción de acceso para realizar puntos de control fue debido a que durante enero 2023 se considera el periodo reproductivo de los Flamencos.

Finalmente, respecto de los aforos en el sistema de Soncor, en los meses de enero, febrero y marzo no se pudo realizar la medición mensual en el punto del aforo llamado Barros Negros, debido a la restricción de acceso a RNF. Para el resto de los meses se obtuvo la medición mensual comprometida.

5.1.1.2 Áreas restringidas por las comunidades

Además de las restricciones de acceso a RNF, existen también áreas con acceso controlado por comunidades; una de ellas es el área con acceso controlada por la Comunidad de Peine en la zona marginal al sur; otra es 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 detallan los puntos que presentan acceso restringido por parte de las comunidades indicadas:

- En área dentro del Sistema Peine, controlada por la Comunidad de Peine, se encuentran 16 puntos de nivel mensual (ningún punto del PC[30]), 2 puntos de aforo y 3 pozos para el seguimiento de la interfaz salina, además de las lagunas Salada, Saladita e Interna. Adicionalmente, la Comunidad de Peine controla el acceso sobre el Sector de Tilopozo, lo que implica la condición 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 condición de acceso a 2 pozos y 1 reglilla para medición mensual de nivel.

Para solicitar la autorización de ingreso a estas áreas, durante el primer semestre de 2023 SQM ha enviado una serie de cartas dirigidas a cada comunidad, detallando la propuesta de actividades a realizar cada vez (ver relación de cartas en la Tabla 5-3). Cabe decir que, en respuesta a las cartas enviadas por SQM, la Comunidad de Peine ha otorgado autorizaciones para acceder a las áreas que se encuentran controladas por ella, de forma verbal en las reuniones que ambas partes han efectuado, mediante correos electrónicos, o bien, en conversaciones telefónicas, por lo que no se cuenta con documentos formales en respuesta de

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

ello. De manera similar ocurre cuando se solicita a CONAF reprogramación en sectores de Soncor y Quelana, ya sea para monitoreo del primer o segundo trimestre de 2023. La respuesta es otorgada de manera verbal confiriendo modificaciones a las programaciones solicitadas en cartas GMAL 20/2023, GMAL 163/2023 en Soncor y en Aguas de Quelana a través de la carta GMAL 164/2023 (ver Anexo 4.1).

Para el primer semestre de 2023, en los puntos situados dentro de las áreas controladas por las comunidades, no se ha logrado medir nivel de forma regular, limitando el acceso en los meses de enero, febrero y marzo de forma general. Esta limitación también ha sido aplicada en la medición de nivel en las lagunas como también a los aforos de Salada y Saladita, añadiendo las restricciones que se presentaron en particular el mes de abril para ambas y en junio para Salada.

Respecto a las campañas de terreno para medición de estacas perimetrales y puntos de control para rectificación de limites lacustres, solo se pudo ingresar durante abril al sistema lacustre de Peine (Saladita e Interna). Puede verse más detalle en la sección 0.

Respecto del sector de Tilopozo, durante el presente semestre reportado sí se ha podido acceder para realizar las mediciones de nivel mensuales correspondientes, a excepción de las mediciones correspondientes al mes de abril 2023.

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. Como se ha indicado, 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, durante el primer semestre de 2023, adicionalmente, se solicitó autorización de ingreso al sector para mayo y junio de 2023 a través por comunidad Toconao y Solor respectivamente sin respuesta. Por tanto, no se ha podido contar con el permiso de la comunidad para la visita a estas infraestructuras en ningún momento del primer semestre 2023 (ver detalle de cartas en Tabla 5-3).

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

		ENVÍO SOLICITUD SQM		RESPUESTA AUTORIZACIÓN	
ENTIDAD/COMUNIDAD	MES	Nº CARTA	FECHA	Nº CARTA	FECHA
Comunidad de Peine (Sector del Sistema Peine)	ene-23	GMAL 233/2022	16-12-2023	S/R	
	feb-23				
	mar-23				
	abr-23	GMAL 124/2023	10-03-2023	S/R	
	may-23				
	jun-23				
Comunidad de Coyo *(Sector Tambillo)*	ene-23	-	-	-	
	feb-23	-	-	-	
	mar-23	-	-	-	
	abr-23	GMAL 148/2023	22-03-2023	S/R	
	may-23	GMAL 196/2023	28-04-2023	S/R	
	jun-23	GMAL 259/2023	31-05-2023	SR	

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

Por otra parte, se han presentado restricciones adicionales por parte de otras comunidades (Solor, Toconao, Camar, Talabre y Socaire), que principalmente se vinculan a la política de Sostenibilidad, Ética y Derechos Humanos de SQM, a partir de la cual nace a partir del compromiso más reciente de SQM de promover el involucramiento de las comunidades locales en la gestión ambiental de los proyectos de SQM, desde su diseño hasta su implementación y en el seguimiento de los compromisos asociados. El objetivo principal es promover el acceso a información periódica sobre cuestiones ambientales e implementar canales de comunicación que permitan un permanente diálogo con cada entidad.

Así, los lineamientos de la política de Sostenibilidad, Ética y Derechos Humanos de SQM consideran reconocer y respetar a todas las comunidades vecinas de SQM, buscando maximizar las interacciones positivas de SQM con ellas y trabajar de manera conjunta para generar valor sostenible en el largo plazo. Dicha política se encuentra reconocida en el PdC aprobado mediante Res. Ex. N°29/Rol F-041-2016, el que en su Acción 11 compromete diseñar e implementar de un programa de monitoreo participativo con las comunidades presentes de Toconao, Talabre, Socaire y Peine en la ejecución de las actividades del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH).

En este contexto, se ha definido un procedimiento y programación para el seguimiento ambiental que permita realizar actividades bajo el consentimiento y en algunos casos, con la participación de cada

comunidad respectiva, definiendo previamente fechas y condiciones para ejecutar cada una de ellas. Este procedimiento aplica a todas las actividades de monitoreo, medición y análisis de parámetros y variables ambientales, cualquiera sea su naturaleza o causa, que se ejecuten en la cuenca del Salar de Atacama, especialmente a aquellas que se ejecuten en la zonas marginal y aluvial, sean ejecutadas por personal propio, por entidades acreditadas, o bien, por contratistas o subcontratistas de SQM. No obstante, quedan fuera de este alcance todo procedimiento y/o actividad que se realice en el interior de faena del Salar de Atacama, donde los ingresos están controlados por garitas.

Así, bajo este compromiso, cada actividad se estructura desde una formalización, donde se presenta y propone de manera anticipada a las comunidades correspondientes, las actividades de seguimiento con el objetivo de obtener su consentimiento y programar fechas para realizarlas. Dado esto, los puntos pueden encontrarse sujetos a restricciones de acceso o inhabilitación de permisos por parte de la comunidad si así ella lo establece, limitando con ello la posibilidad de realizar la totalidad de las mediciones comprometidas por RCA. El detalle de este sistema de gestión ambiental se presenta en el Anexo 4.5, en el cual se define la programación de cada actividad realizada en la cuenca y cómo la comunidad permite cada una de ellas.

5.1.1.3 Pérdida de autorización temporal de ETFA SEGEA durante 2023

La RES EX N° 529/2019, de fecha 17 de abril de 2019 de la SMA, renovó la autorización a la Sociedad de Servicios y Estudios Geológicos y Ambientales Limitada (SEGEA), por un plazo de 4 años para actuar como entidad técnica de fiscalización ambiental (código ETFA 040-01) con diferentes alcances para la medición de agua superficial, subterránea, potable, como la medición de agua residual, e industrial (Ver Anexo 4.5). Sin embargo, el plazo de dicha autorización expiró el día 17 de abril de 2023.

Anteponiéndose a esta situación, SEGEA en diciembre del año 2022, gestionó una auditoría anual por parte de suborganismo acreditador INN, quienes verifican y aprueban las metodologías presentadas, renovando el certificado de acreditación. No obstante, la Superintendencia de Medio Ambiente informa a SEGEA, el día 18 de abril de 2023, que se renueva la autorización como ETFA, según RES EX N° 666/2023 (Anexo 4.5), rechazando algunos alcances postulados, afectando con ello, principalmente las mediciones para SQM que se realizaron durante abril en el componente ambiental agua (subterránea, superficial, aguas para

fines industriales y fuentes de captación), específicamente en los parámetros de terreno como: Oxígeno Disuelto, Temperatura, Conductividad, pH, potencial redox, turbiedad, Cloro libre o residual y Cloro total. En consecuencia, de ello, no se logró realizar debidamente las mediciones de parámetros fisicoquímicos de terreno durante abril 2023.

Inmediatamente cuando SQM toma conocimiento de esta situación, busca gestionar e incluir una nueva ETFA con alcances autorizados para realizar las mediciones de compromisos de la RCA N°226/2006 durante el mes de abril, no obstante, SEGEA recupero la autorización rápidamente, por lo que, no fue necesario por parte de SQM buscar otra ETFA. Sin embargo, durante los días que no se encontró acreditada la ETFA, SQM toma la responsabilidad y realiza los monitoreos de parámetros fisicoquímicos de terreno. Estas mediciones se encuentran en el Anexo 6.2 de forma tabulada.

De forma paralela e inmediata, SEGEA efectúa la apelación correspondiente, el 18 de abril de 2023 presentando los instructivos de trabajo que la SMA había dejado sin efecto. Así, con fecha 17 de mayo de 2023 y según la RES EX N° 829/2023, se acoge el recurso de apelación y la Superintendencia de Medio Ambiente otorga nuevamente la autorización a SEGEA en todos sus alcances postulados. De esta manera, se continúa con las mediciones tal como se habían programado para el monitoreo y medición del primer y segundo semestre 2023.

Esta situación ha afectado la medición de parámetros fisicoquímicos de terreno en 23 puntos de monitoreo. Estos corresponden a los siguientes: L1-6, L2-5, SOPM-14, SOPM-2 (L2-6), L4-6, Allana, L7-G1, Reglilla Chaxa CONAF, 1001, CA-2015, L1-5, L1-G4, L1-4, L4-3, L2-4, Camar-2, Reglilla Salada CONAF, Reglilla Saladita CONAF, Reglilla Interna CONAF, L10-4, 1028, L10-1.

5.1.2 SISTEMA SONCOR

De acuerdo con lo indicado en la Sección 4, el PSAH del Sistema Soncor considera el monitoreo de las siguientes variables: nivel del agua superficial y subterránea (86 puntos), meteorología (1 estación), caudal bombeado (2 puntos), calidad química (17 puntos), aforos de caudal (2 puntos) y superficie lacustre (3 lagunas). Los resultados para el primer semestre de 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 de la SMA. 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 la zona aluvial. 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 primer semestre de 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 ETFA y para el resto de los puntos son mediciones mensuales realizadas por SQM de acuerdo a la RES. EX. Nº573, Nº57, Nº575/2022 de la SMA.

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.)
9/1/23 09:17	2.328,625
14/2/23 11:28	2.329,637
13/3/23 10:32	2.328,648
30/3/23 15:41	2.328,690 *
10/4/23 11:36	2.328,659
20/4/23 12:15	2.328,650 *
8/5/23 10:43	2.328,649
18/5/23 12:02	2.328,670 *
12/6/23 10:44	2.328,680
15/6/23 13:40	2.328,681 *

L1-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 13:09	2.324,552
13/2/23 14:15	2.324,565
13/3/23 15:03	2.324,577
31/3/23 12:17	2.324,569 *
11/4/23 10:42	2.324,560
20/4/23 15:09	2.324,578 *
8/5/23 14:19	2.324,583
18/5/23 15:08	2.324,589 *
12/6/23 14:05	2.324,592
15/6/23 14:23	2.324,594 *

L2-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/1/23 11:26	2.323,844
17/2/23 15:16	2.323,880
20/3/23 15:35	2.321,875
17/4/23 14:27	2.323,888
15/5/23 12:10	2.323,856
20/6/23 10:24	2.323,857

L2-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/1/23 11:54	2.322,704
17/2/23 15:05	2.322,726
20/3/23 15:24	2.322,731
17/4/23 13:24	2.322,732
15/5/23 12:01	2.322,722
20/6/23 10:49	2.322,720

L7-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 10:13	2.333,368
14/2/23 11:57	2.333,379
13/3/23 11:04	2.333,387
30/3/23 15:05	2.333,409 *
10/4/23 12:18	2.333,395
20/4/23 13:16	2.333,392 *
8/5/23 11:21	2.333,377
18/5/23 12:28	2.333,414 *
12/6/23 11:21	2.333,433
15/6/23 11:16	2.333,389 *

L7-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 11:16	2.330,061
13/2/23 11:40	2.330,068
13/3/23 12:25	2.330,082
30/3/23 14:49	2.330,101 *
10/4/23 14:30	2.330,107
20/4/23 14:06	2.330,096 *
8/5/23 12:44	2.330,099
18/5/23 13:23	2.330,106 *
12/6/23 12:48	2.330,111
15/6/23 12:16	2.330,101 *

MULLAY-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 09:27	2.327,561
26/1/23 13:47	2.327,586 *
14/2/23 10:59	2.327,587
13/3/23 10:05	2.329,713
10/4/23 10:56	2.327,619
20/4/23 12:28	2.327,602 *
8/5/23 10:17	2.327,597
18/5/23 11:33	2.327,614 *
12/6/23 10:21	2.327,627

ALLANA	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/1/23 10:49	2.322,288
17/2/23 15:33	2.323,292
20/3/23 16:07	2.322,225
18/4/23 15:10	2.322,345
16/5/23 10:04	2.323,274
20/6/23 10:09	2.323,272

L1-3		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.319,839	2.319,849
Feb 2023	2.319,838	2.319,907
Mar 2023	2.319,909	2.319,930
Abr 2023	2.319,924	2.319,933
May 2023	2.319,918	2.319,929
Jun 2023	2.319,915	2.319,921

L7-6		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.325,532	2.325,542
Feb 2023	2.325,531	2.325,541
Mar 2023	2.325,538	2.325,545
Abr 2023	2.325,541	2.325,557
May 2023	2.325,542	2.325,557
Jun 2023	2.325,550	2.325,561

L2-7		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Min	Max
Ene 2023	2.318,807	2.318,818
Feb 2023	2.318,807	2.318,873
Mar 2023	2.318,874	2.318,900
Abr 2023	2.318,900	2.318,916
May 2023	2.318,904	2.318,916
Jun 2023	2.318,888	2.318,904

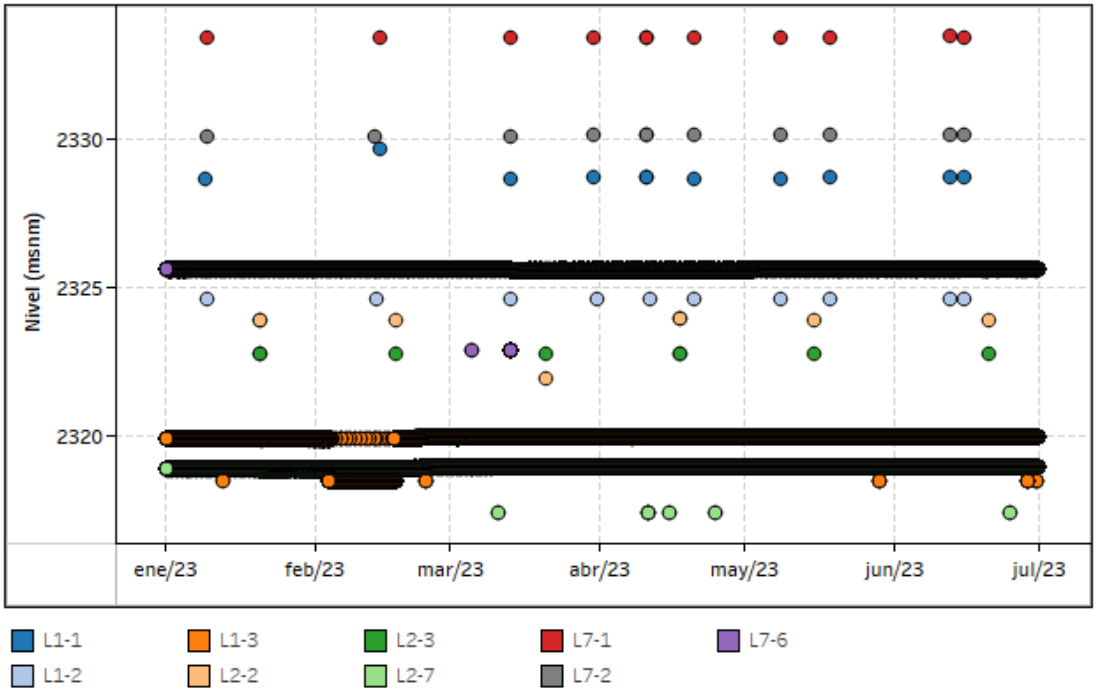
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) Corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales. En caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
ALLANA	1			1			1	1	1	1	1	1
L1-1				1			1	1	2	2	2	2
L1-2							1	1	2	2	2	2
L1-3	31	28	31	30	31	30	2	4	3	4	3	5
L2-2	1			1			1	1	1	1	1	1
L2-3	1			1			1	1	1	1	1	1
L2-7	31	28	31	30	31	30	1	3	2	2	3	4
L7-1				1			1	1	2	2	2	2
L7-2				1			1	1	2	2	2	2
L7-6	31	28	31	30	31	30	3	3	5	4	5	5
MULLAY-1	1			1			2	1	1	2	2	1

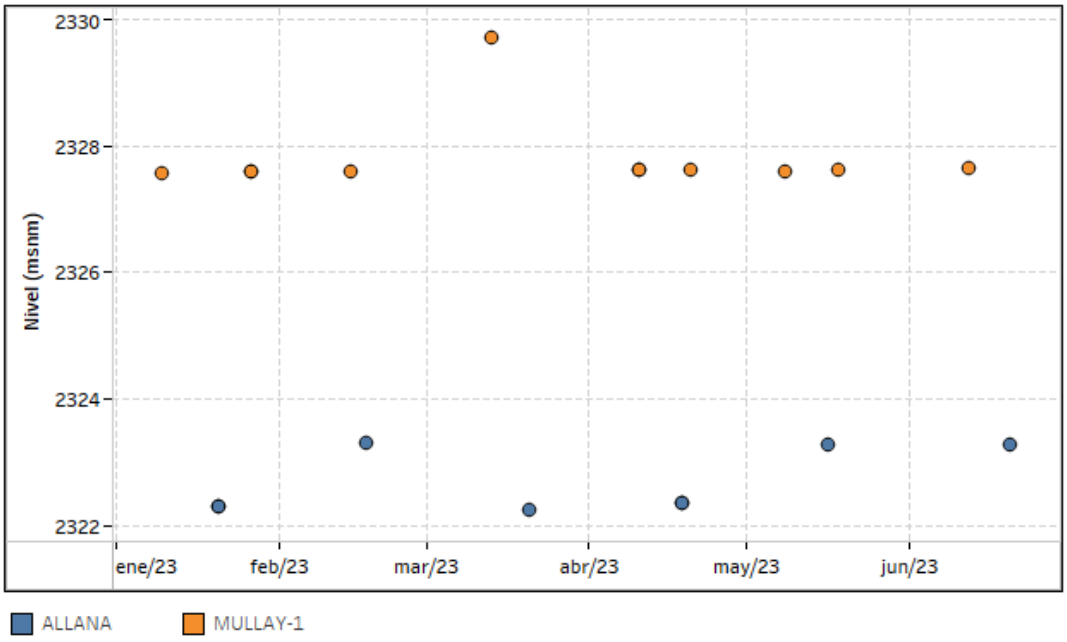
Fuente: Elaboración propia

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 primer semestre de 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. En este caso, solo el L7-3 se encuentra dentro

de la reserva, no obstante, los puntos L7-7 y 1027 si bien no se encuentran dentro, 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. 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 primer semestre de 2023 se ha logrado mantener la visita estipulada todos los puntos, a excepción del pozo L7-4 para el mes de enero (2023) que no se pudo visitar debido a restricción de acceso a RNF.

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

L7-4

Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	S/I	S/I
Feb 2023	2.302,306	2.302,306
Mar 2023	2.302,275	2.302,275
Abr 2023	2.302,268	2.302,268
May 2023	2.302,258	2.302,258
Jun 2023	2.302,262	2.302,262

1027

Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 11:33	2.307,912
10/1/23 14:18	2.307,911 *
13/2/23 12:31	2.307,975
13/3/23 12:47	2.307,913
30/3/23 14:33	2.307,886 *
10/4/23 14:49	2.307,877
20/4/23 14:26	2.307,867 *
8/5/23 13:03	2.307,871
18/5/23 13:41	2.307,880 *
12/6/23 13:19	2.307,909
15/6/23 12:54	2.307,909 *

L7-7

Fecha	Nivel (m s.n.m.)
10/1/23 14:04	2.304,176
14/2/23 14:29	2.304,307
14/3/23 13:19	2.304,279
11/4/23 12:28	2.304,237
16/5/23 10:31	2.304,157
13/6/23 12:31	2.304,157

L7-3

Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.313,439	2.313,479
Feb 2023	2.313,438	2.313,652
Mar 2023	2.313,486	2.313,556
Abr 2023	2.313,449	2.313,483
May 2023	2.313,448	2.313,468
Jun 2023	2.313,468	2.313,502

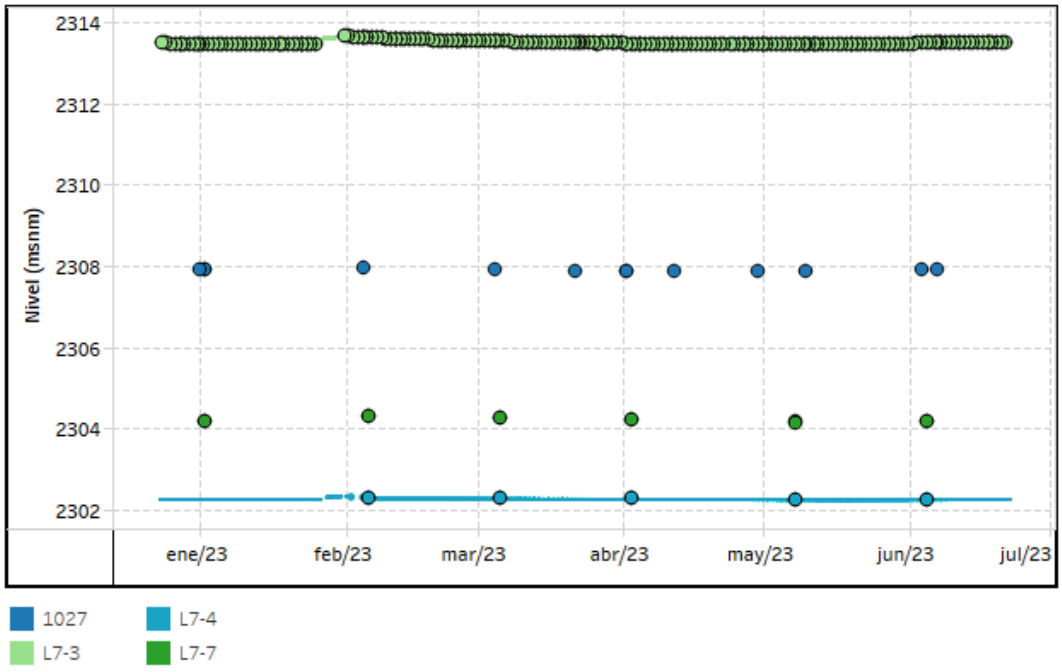
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
1027	1			1			2	1	2	2	2	2
L7-3	31	23	31	30	31	30	4	2	5	4	5	5
L7-4		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.

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 los cuales 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 5-8 se muestra el monitoreo comprometido resultante para el primer semestre de 2023, en la en la Tabla 5-9, se puede ver de forma clara el número de mediciones realizadas por cada empresa y para cada mes. Sin embargo, L1-6, L1-7, L1-9, L1-10, L1-15, L1-16, L2-8, L7-10, L7-11 no son indicadores de estado, por lo que no hay mediciones comprometidas por la ETFA, los que se presentan son únicamente de forma voluntaria. Finalmente, en la Figura 5-4 se muestra gráficamente los niveles obtenidos en el monitoreo completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las complementarias.

Los pozos L1-15, L1-16, L7-10 y L7-11 que se encuentran dentro de la reserva, no han podido visitarse regularmente durante el semestre, ya que en los meses de febrero y abril no se pudo acceder a éstos por restricción de acceso a RNF. El resto de los meses sí se ha mantenido la visita mensual 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.)
9/1/23 16:05	2.299,959
18/1/23 17:07	2.299,955 *
14/2/23 13:42	2.300,103
20/2/23 17:05	2.300,101 *
14/3/23 12:37	2.300,046
22/3/23 12:20	2.300,090 *
11/4/23 14:02	2.300,059
18/4/23 10:17	2.300,045 *
9/5/23 10:41	2.300,028
17/5/23 12:31	2.300,021 *
13/6/23 10:33	2.300,022
20/6/23 13:35	2.300,030 *

L1-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 16:28	2.299,744
20/2/23 16:49	2.299,958
22/3/23 12:33	2.299,936
20/4/23 12:31	2.299,819
17/5/23 12:17	2.299,773
20/6/23 13:50	2.299,744

L1-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 16:04	2.299,588
27/2/23 12:52	2.299,908
22/3/23 12:17	2.299,914
19/4/23 11:34	2.299,844
24/5/23 13:34	2.299,770
28/6/23 11:40	2.299,705

L1-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 16:10	2.299,614
27/2/23 12:59	2.300,024
22/3/23 12:25	2.300,012
19/4/23 11:29	2.299,957
24/5/23 13:41	2.299,863
28/6/23 11:33	2.299,797

L1-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 16:36	2.299,853
27/2/23 13:31	2.300,309
22/3/23 13:00	2.300,298
19/4/23 11:45	S/I
24/5/23 14:31	2.300,238
28/6/23 12:23	2.300,182

L1-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 16:31	2.299,950
27/2/23 13:23	2.300,114
22/3/23 12:51	2.300,101
19/4/23 11:45	S/I
24/5/23 14:23	2.300,089
28/6/23 12:37	2.300,098

L7-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 16:48	2.300,110
27/2/23 13:43	2.300,342
22/3/23 13:22	2.300,328
19/4/23 11:45	S/I
24/5/23 14:44	2.300,264
28/6/23 12:06	2.300,232

L7-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 16:56	2.299,939
28/2/23 12:01	S/I
22/3/23 13:14	2.300,274
19/4/23 11:45	S/I
24/5/23 14:52	2.300,229
28/6/23 12:13	2.300,192

L2-8	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 14:42	2.301,627
13/2/23 16:03	2.301,765
17/2/23 16:16	2.301,758 *
14/3/23 11:08	2.301,711
20/3/23 14:54	2.301,739 *
11/4/23 12:18	2.301,684
17/4/23 14:57	2.301,683 *
9/5/23 12:35	2.301,666
15/5/23 12:42	2.301,666 *
12/6/23 14:59	2.301,710
19/6/23 11:50	2.301,724 *

SQM

L1-4		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.299,676	2.299,685
Feb 2023	2.299,678	2.299,832
Mar 2023	2.299,781	2.299,835
Abr 2023	2.299,766	2.299,806
May 2023	2.299,744	2.299,769
Jun 2023	2.299,732	2.299,748

L2-4		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.303,390	2.303,415
Feb 2023	2.303,390	2.303,735
Mar 2023	2.303,499	2.303,616
Abr 2023	2.303,465	2.303,502
May 2023	2.303,459	2.303,467
Jun 2023	2.303,465	2.303,477

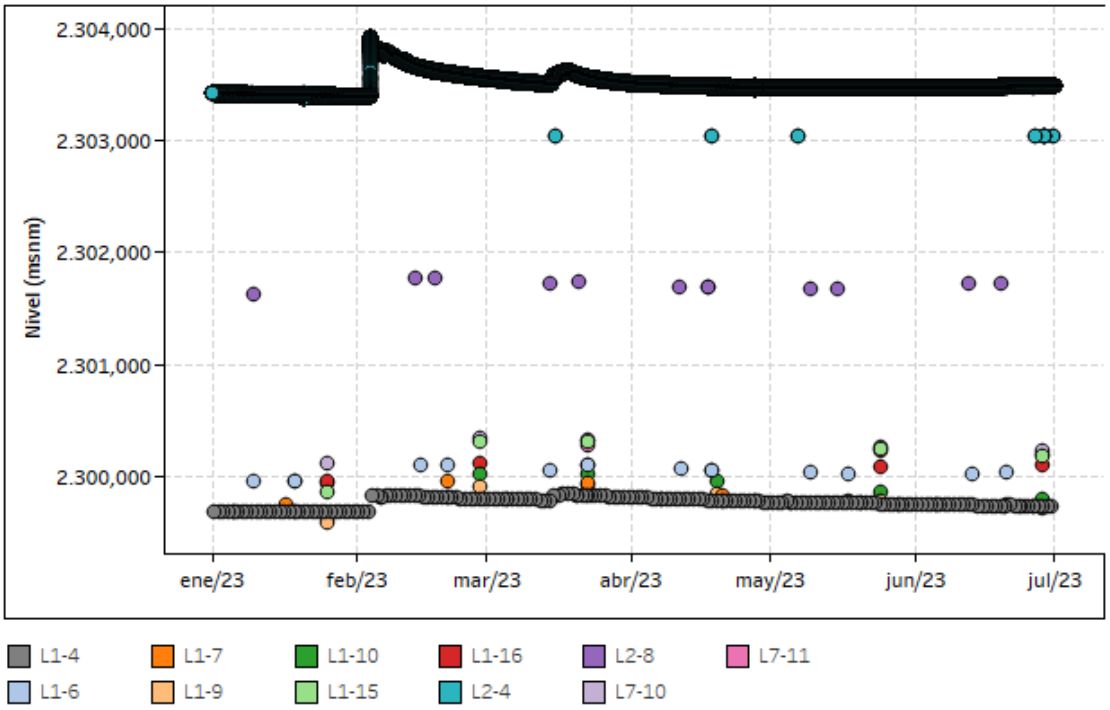
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) corresponde a una remedición.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L1-4	31	28	31	30	31	30	2	2	3	3	3	4
L1-6	1			1			2	2	2	2	2	2
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
L1-16							1	1	1		1	1
L2-4	31	23	31	30	31	30	2	2	2	3	3	4
L2-8				1			1	2	2	2	2	2
L7-10							1	1	1		1	1
L7-11							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 que ninguno cuenta con medición continua. Además, 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 primer semestre 2023. Se observa que todos los pozos de este grupo fueron medidos con la frecuencia comprometida a excepción durante el mes de febrero que mantuvieron restricción de acceso a RNF y durante enero en los pozos RC-1 y RC-2. Finalmente, en la Figura 5-5 se muestra gráficamente los niveles obtenidos en el monitoreo completo, incluyendo las mediciones comprometidas y las complementarias.

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.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 10:48	2.300,078
18/4/23 15:50	2.300,052
23/5/23 11:35	2.300,065
27/6/23 13:32	2.300,163

RC-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 10:49	2.299,812
19/4/23 13:57	2.299,784
23/5/23 15:06	2.299,750
27/6/23 13:59	2.299,740

RC-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 11:04	2.299,732
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 10:54	2.299,849
19/4/23 14:03	2.299,815
23/5/23 15:13	2.299,780
27/6/23 14:04	2.299,769

RC-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 10:58	2.299,468
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 11:01	2.299,612
19/4/23 14:09	2.299,567
23/5/23 15:25	2.299,520
27/6/23 14:07	2.299,491

RC-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 10:37	2.299,282
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 11:07	2.299,426
19/4/23 14:16	2.299,408
23/5/23 15:27	2.299,367
27/6/23 14:12	2.299,332

RC-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 10:28	2.299,778
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 11:18	2.299,941
19/4/23 13:43	2.299,905
23/5/23 15:47	2.299,858
27/6/23 14:20	2.299,832

RC-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 11:28	2.298,961
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 11:37	2.299,047
19/4/23 14:25	2.299,039
24/5/23 12:32	2.299,009
27/6/23 14:35	2.298,979

L7-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 10:01	2.299,886
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 11:24	2.300,042
19/4/23 13:36	2.300,003
23/5/23 15:39	2.299,959
27/6/23 14:25	2.299,946

L7-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
24/1/23 10:29	2.299,616
28/2/23 12:01	S/I
21/3/23 11:13	2.299,789
19/4/23 13:47	2.299,740
23/5/23 15:51	2.299,682
27/6/23 14:16	2.299,649

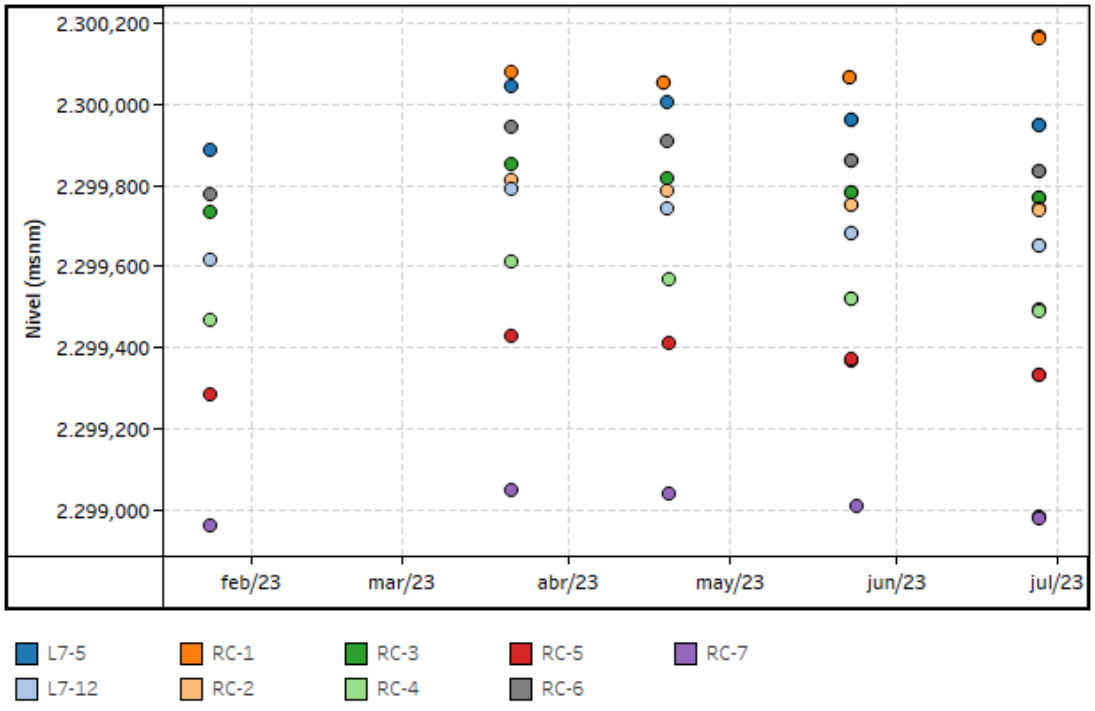
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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

	SEGEA			SQM					
	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L7-5		1	1	1		1	1	1	1
L7-12		1	1	1		1	1	1	1
RC-1	1	1	1			1	1	1	1
RC-2		1	1			1	1	1	1
RC-3		1	1	1		1	1	1	1
RC-4		1	1	1		1	1	1	1
RC-5		1	1	1		1	1	1	1
RC-6		1	1	1		1	1	1	1
RC-7			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 primer semestre de 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 5-5 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.)
25/1/23 13:57	2.299,019
27/2/23 10:58	2.299,097
21/3/23 11:53	2.299,109
19/4/23 14:44	2.299,113
24/5/23 12:04	2.299,087
27/6/23 14:50	2.299,059

L1-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 10:55	2.299,219
15/2/23 12:31	2.299,313
27/2/23 11:37	2.299,335 *
15/3/23 11:35	2.299,344
12/4/23 13:19	2.299,343
17/5/23 12:42	2.299,299
14/6/23 13:01	2.299,256

L1-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 10:47	2.298,960
15/2/23 12:22	2.299,041
27/2/23 11:28	2.299,042 *
15/3/23 11:41	2.299,046
12/4/23 13:26	2.299,042
17/5/23 12:54	2.299,005
14/6/23 12:57	2.298,970

L1-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 11:06	2.299,191
15/2/23 12:38	2.299,359
27/2/23 11:46	2.299,340 *
15/3/23 11:29	2.299,327
12/4/23 13:39	2.299,311
17/5/23 11:22	2.299,262
14/6/23 12:35	2.299,221

L1-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 11:14	2.298,827
15/2/23 12:48	2.298,896
27/2/23 11:56	2.298,909 *
15/3/23 11:22	2.298,916
12/4/23 13:11	2.298,919
17/5/23 13:03	2.298,889
14/6/23 13:08	2.298,859

GD-01	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
22/1/23 11:27	2.298,575
27/2/23 16:05	2.298,718
22/3/23 15:21	2.298,705
19/4/23 15:54	2.298,700
19/5/23 11:01	2.298,664
29/6/23 13:04	2.298,607

L2-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 15:23	2.298,601
20/2/23 18:30	2.298,775
21/3/23 13:50	2.298,735
20/4/23 14:15	2.298,724
16/5/23 12:55	2.298,686
22/6/23 14:14	2.298,646

L2-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 15:12	2.298,560
20/2/23 18:21	2.298,732
21/3/23 14:04	2.298,697
20/4/23 14:05	2.298,689
16/5/23 13:09	2.298,644
22/6/23 12:21	2.298,596

L2-18	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 13:32	2.298,737
27/2/23 15:53	2.298,817
22/3/23 14:54	2.298,833
19/4/23 15:13	2.298,835
18/5/23 16:04	2.298,813
29/6/23 12:14	2.298,772

L2-19	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 13:28	2.298,611
27/2/23 15:45	2.298,709
22/3/23 14:49	2.298,720
19/4/23 15:08	2.298,718
18/5/23 15:58	2.298,693
29/6/23 12:10	2.298,649

L2-22	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
25/1/23 14:40	2.298,740
27/2/23 10:47	2.298,830
21/3/23 11:46	2.298,845
12/4/23 12:58	2.298,846
19/4/23 14:36	2.298,844 *
24/5/23 11:54	2.298,815
27/6/23 14:43	2.298,783

L2-24	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 12:07	2.299,001
15/2/23 13:37	2.299,090
15/3/23 12:29	2.299,116
12/4/23 12:01	2.299,116
17/5/23 14:12	2.299,086
14/6/23 13:52	2.299,056

P1-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 11:47	2.298,896
27/2/23 16:20	2.299,018
22/3/23 15:25	2.299,015
19/4/23 16:00	2.299,010
19/5/23 11:13	2.298,978
29/6/23 13:19	2.298,927

P1-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 11:58	2.298,833
27/2/23 16:24	2.298,955
22/3/23 15:30	2.298,953
19/4/23 16:05	2.298,949
19/5/23 11:24	2.298,915
22/6/23 13:36	2.298,867

P1-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 12:13	2.298,922
27/2/23 16:37	2.299,043
22/3/23 15:36	2.299,039
19/4/23 16:11	2.299,037
19/5/23 11:32	2.299,007
29/6/23 13:23	2.298,955

P1-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 12:06	2.299,050
27/2/23 16:50	2.299,166
22/3/23 15:39	2.299,163
19/4/23 16:17	2.298,991
19/5/23 11:37	2.299,130
29/6/23 13:27	2.299,083

P1-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 11:30	2.298,924
15/2/23 13:07	2.298,979
15/3/23 12:01	2.299,019
12/4/23 12:17	2.299,027
17/5/23 13:30	2.299,003
14/6/23 13:23	2.298,973

P1-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 11:39	2.298,881
15/2/23 13:13	2.298,912
15/3/23 12:10	2.298,974
12/4/23 12:28	2.298,991
17/5/23 13:44	2.298,972
14/6/23 13:28	2.298,944

P1-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
11/1/23 11:46	2.299,055
15/2/23 13:19	2.299,132
15/3/23 12:15	2.299,189
12/4/23 12:40	2.299,165
17/5/23 13:52	2.299,135
14/6/23 13:33	2.299,107

L2-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 15:06	2.298,597
20/2/23 18:14	2.298,763
21/3/23 13:57	2.298,722
20/4/23 13:55	2.298,722
16/5/23 13:03	2.298,675
22/6/23 12:14	2.298,619

L2-17	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 13:48	2.298,641
20/2/23 11:54	2.298,767
21/3/23 14:26	2.298,766
20/4/23 13:37	2.298,761
16/5/23 13:34	2.298,729
22/6/23 12:44	2.298,681

L1-5		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.299,014	2.299,025
Feb 2023	2.299,014	2.299,147
Mar 2023	2.299,140	2.299,149
Abr 2023	2.299,126	2.299,142
May 2023	2.299,088	2.299,124
Jun 2023	2.299,047	2.299,086

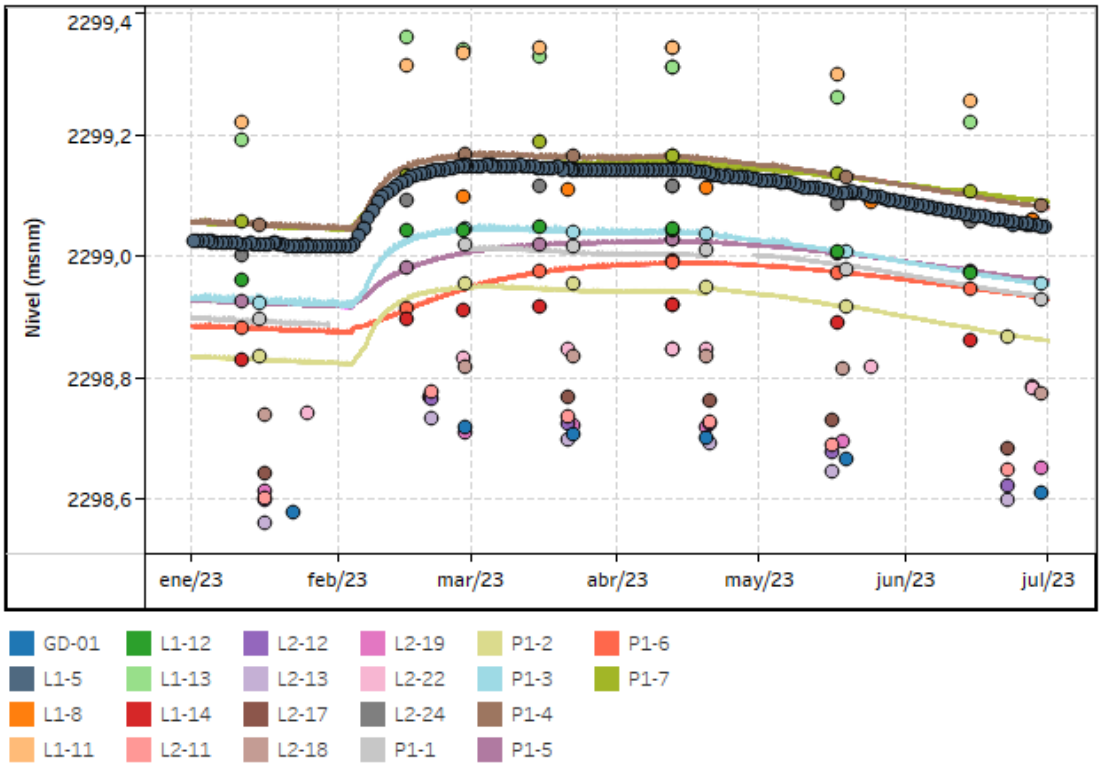
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) corresponde a una remedición.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
GD-01							1	1	1	1	1	1
L1-5	31	28	31	30	31	30	2	3	3	3	3	4
L1-8						1	1	1	1	1	1	1
L1-11				1			1	2	1	1	1	1
L1-12				1			1	2	1	1	1	1
L1-13				1			1	2	1	1	1	1
L1-14				1			1	2	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	1	1	1	1	1
L2-22				1		1	1	1	1	2	1	1
L2-24				1			1	1	1	1	1	1
P1-1							1	1	1	1	1	1
P1-2							1	1	1	1	1	1
P1-3							1	1	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.

Como puede verse, durante el primer semestre 2023 todos los pozos ubicados fuera de la reserva cuentan con las mediciones mensuales comprometidas. Por otro lado, en el caso de los pozos dentro de la reserva,

la frecuencia de visita es menor en los pozos L2-23, P2-4 y P2-5, visitados durante mayo y junio; febrero y abril y adicionalmente en los pozos P2-4 y P2-5. En todos estos pozos, la restricción se debió a prohibición de acceso a RNF.

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

L2-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 15:40	2.299,401
18/1/23 15:56	2.299,350 *
20/2/23 15:37	2.299,399
22/3/23 13:25	2.299,427
18/4/23 11:06	2.299,392
17/5/23 14:09	2.299,375
22/6/23 14:29	2.299,365

L2-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 13:26	2.298,705
27/2/23 17:21	2.298,929
22/3/23 15:56	2.298,932
19/4/23 16:44	2.298,911
17/5/23 14:40	2.298,879
29/6/23 13:48	2.298,855

L2-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 16:16	2.299,502
20/2/23 16:35	2.299,655
22/3/23 12:48	2.299,674
20/4/23 12:42	2.299,643
17/5/23 12:51	2.299,617
22/6/23 15:08	2.299,599

L2-21	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 15:59	2.299,390
20/2/23 16:22	2.299,587
22/3/23 13:12	2.298,601
20/4/23 13:03	2.299,566
17/5/23 13:32	2.299,558
22/6/23 14:49	2.299,552

L2-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 15:47	2.299,089
20/2/23 15:51	2.299,283
22/3/23 13:02	2.299,336
20/4/23 12:55	2.299,306
17/5/23 13:08	2.299,296
22/6/23 14:37	2.299,346

L2-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 12:48	2.299,334
27/2/23 17:49	2.299,571
22/3/23 16:14	2.299,590
19/4/23 17:07	2.299,556
17/5/23 15:10	2.299,540
29/6/23 14:04	2.299,530

L2-23	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
30/4/23 12:00	S/I
17/5/23 14:50	2.299,884
14/6/23 14:25	2.299,889

P2-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 13:17	2.298,781
27/2/23 17:27	2.298,988
22/3/23 16:02	2.299,008
19/4/23 16:51	2.298,993
17/5/23 14:46	2.298,958
29/6/23 13:51	2.298,927

P2-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 13:09	2.298,948
27/2/23 17:33	2.299,123
22/3/23 16:06	2.299,146
19/4/23 16:56	2.299,129
17/5/23 14:52	2.299,100
29/6/23 13:56	2.299,071

P2-3		P2-4		P2-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)	Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 12:59	2.299,118	31/1/23 12:00	S/I	31/1/23 12:00	S/I
27/2/23 17:44	2.299,290	15/2/23 14:09	2.299,857	15/2/23 14:08	2.299,992
22/3/23 16:10	2.299,313	31/3/23 12:00	S/I	31/3/23 12:00	S/I
19/4/23 17:01	2.299,286	12/4/23 11:42	2.299,795	12/4/23 11:37	2.299,877
17/5/23 14:59	2.299,262	17/5/23 14:28	2.299,777	17/5/23 14:30	2.299,874
29/6/23 14:01	2.299,234	14/6/23 14:07	2.299,762	14/6/23 14:15	2.299,866

SQM

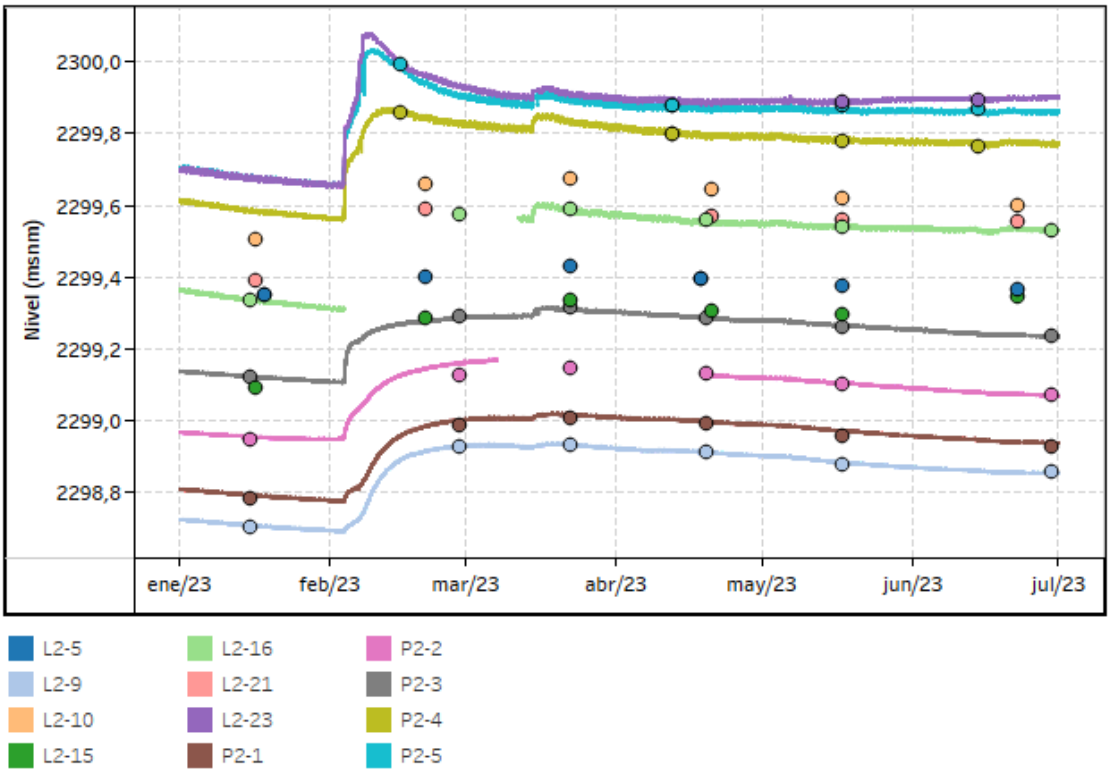
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) corresponde a una remedición

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

	SEGEA		SQM					
	01/23	04/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L2-5	1	1	2	1	1	1	1	1
L2-9			1	1	1	1	1	1
L2-10			1	1	1	1	1	1
L2-15			1	1	1	1	1	1
L2-16			1	1	1	1	1	1
L2-21			1	1	1	1	1	1
L2-23							1	1
P2-1			1	1	1	1	1	1
P2-2			1	1	1	1	1	1
P2-3			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 <u>Subsector norte del Salar</u>

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 primer 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.)
31/1/23 12:00	S/I	31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I	28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I	31/3/23 12:00	S/I
30/4/23 12:00	S/I	30/4/23 12:00	S/I
31/5/23 12:00	S/I	31/5/23 12:00	S/I
30/6/23 12:00	S/I	30/6/23 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, solo 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 a excepción de marzo que no se logró visitar los puntos L2-14 y 2021, y en mayo, cuando para este último punto también se restringió el acceso.

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. Notar que, las mediciones continuas son entregadas de forma bruta, por lo que, los outliers se visualizan como líneas fuera de tendencia en la misma figura.

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

SOPM-7 (L2-6)	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 14:59	2.298,592
18/1/23 13:23	2.298,590 *
20/2/23 18:04	2.298,787
21/3/23 14:12	2.298,735
18/4/23 12:56	2.298,730
16/5/23 13:16	2.298,678
22/6/23 12:30	2.298,617

SOPM-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 13:58	2.298,560
20/2/23 12:10	2.298,724
21/3/23 14:18	2.298,688
20/4/23 13:45	2.298,685
16/5/23 13:22	2.298,645
22/6/23 12:34	2.298,590

SOPM-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 13:42	2.298,547
18/1/23 14:00	2.298,546 *
20/2/23 11:44	2.298,697
21/3/23 14:31	2.298,671
18/4/23 12:25	2.298,665
16/5/23 13:27	2.298,629
22/6/23 12:39	2.298,578

L2-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 14:49	2.298,632
27/2/23 15:22	2.298,808
31/3/23 12:00	S/I
19/4/23 15:37	2.298,773
19/5/23 10:39	2.298,725
29/6/23 12:42	2.298,665

L2-20	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 13:14	2.298,558
27/2/23 15:05	2.298,724
22/3/23 15:06	2.298,693
19/4/23 14:49	2.298,681
18/5/23 15:40	2.298,645
29/6/23 11:42	2.298,586

2021	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 11:14	2.298,687
27/2/23 12:50	2.298,820
31/3/23 12:00	S/I
19/4/23 11:54	2.298,802
31/5/23 12:00	S/I
22/6/23 13:07	2.298,716

SQM

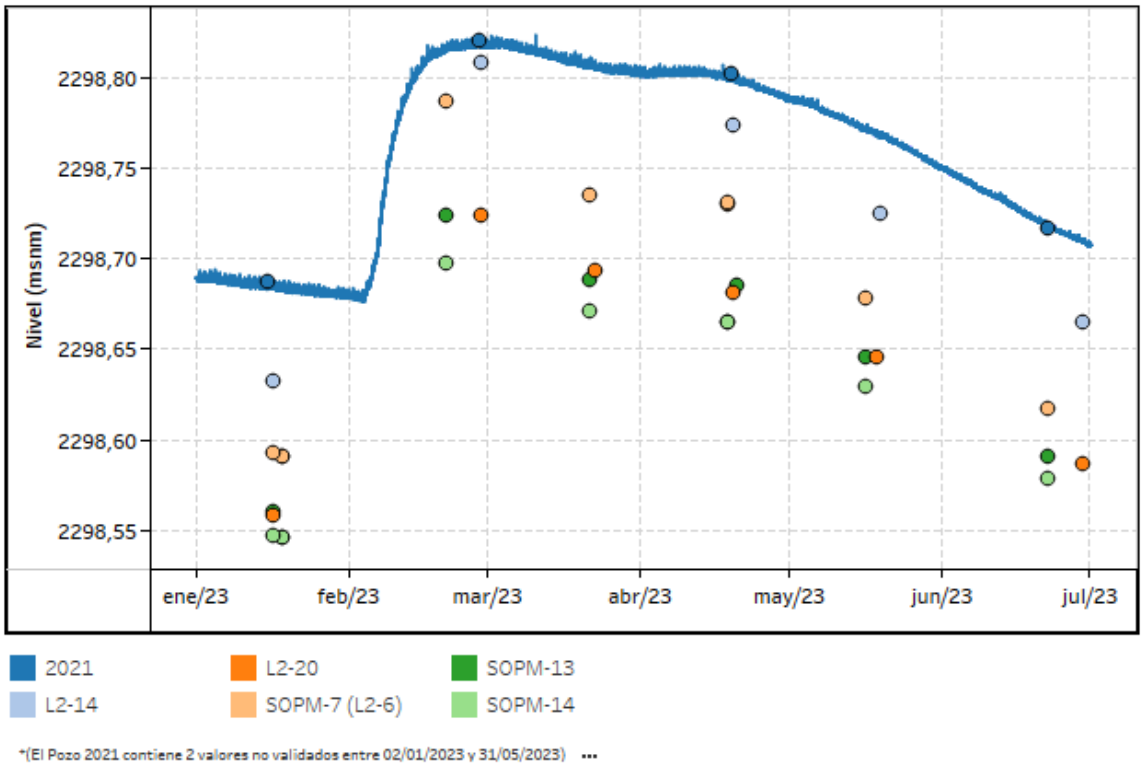
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA.

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

	SEGEA		SQM					
	01/23	04/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
2021			1	1		1		1
L2-14			1	1		1	1	1
L2-20			1	1	1	1	1	1
SOPM-7 (L2-6)	1	1	2	1	1	1	1	1
SOPM-13			1	1	1	1	1	1
SOPM-14	1	1	2	1	1	1	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 ver Figura 4-4). De éstos, el L7-G1 y L7-G2 se encuentran dentro de la reserva y, por otro lado, el L1-G4 es indicador de estado. Respecto de las mediciones continuas, son el L7-G2 y el L1-G4 los que cuentan con instalación de este tipo. Cabe decir que los transductores de presión se encuentran en las infraestructuras denominadas "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 primer semestre 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 manuales como continuos.

Puede verse en la Tabla 5-20 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 abril, mayo y junio 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 desde noviembre de 2019, impidiendo el acceso a la zona.

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

L11-G1	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
30/4/23 12:00	S/I
31/5/23 12:00	S/I
30/6/23 12:00	S/I

L7-G1	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
18/4/23 15:48	2.300,178
23/5/23 11:32	2.300,238
27/6/23 13:42	2.300,298

L7-G2 POZO	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
11/4/23 14:14	2.301,196
16/5/23 11:16	2.301,203
13/6/23 13:25	2.301,191

L7-G2 REGLILLA	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
11/4/23 14:20	2.301,213
16/5/23 11:23	2.301,207
13/6/23 13:28	2.301,211

L1-G4 REGLILLA		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Ene 2023	2.299,039	2.299,048
Feb 2023	2.299,037	2.299,136
Mar 2023	2.299,137	2.299,151
Abr 2023	2.299,142	2.299,154
May 2023	2.299,120	2.299,143
Jun 2023	2.299,090	2.299,118

L1-G4 POZO		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Ene 2023	2.299,046	2.299,050
Feb 2023	2.299,056	2.299,139
Mar 2023	2.299,144	2.299,151
Abr 2023	2.299,147	2.299,152
May 2023	2.299,121	2.299,142
Jun 2023	2.299,090	2.299,113

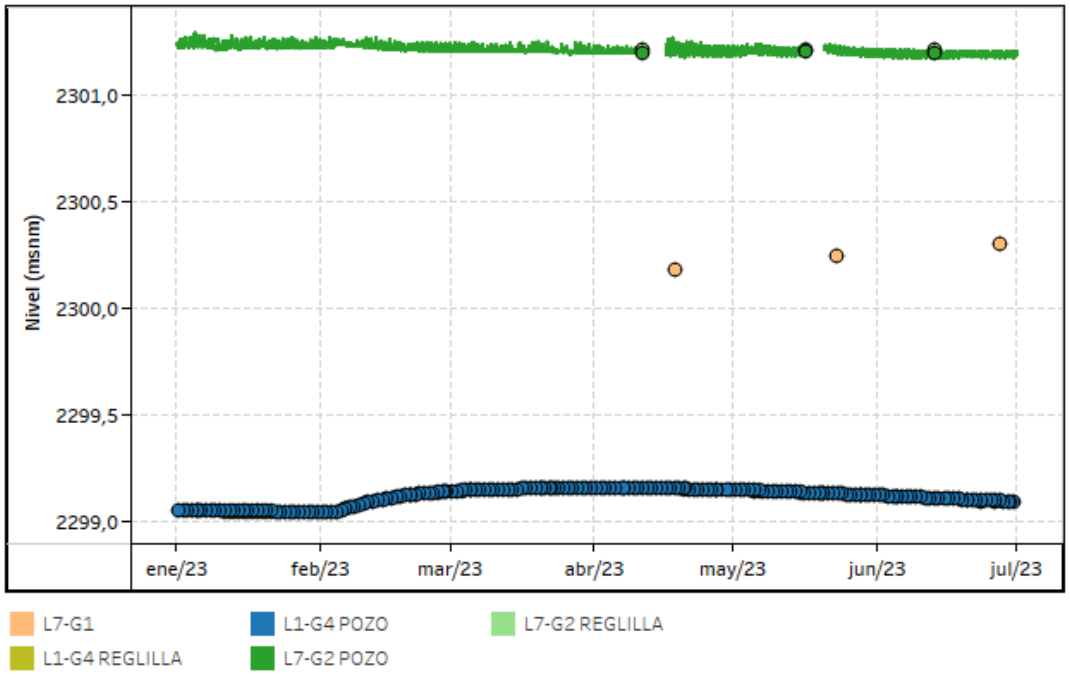
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L1-G4 POZO	31	28	31	28	31	30	2	3	3	3	4	5
L1-G4 REGLILLA	31	28	31	30	31	30	2	3	3	3	3	4
L7-G1				1	1	1				1	1	1
L7-G2 POZO				1	1	1				1	1	1
L7-G2 REGLILLA				1	1	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 con 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 primer 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.)
10/1/23 13:33	2.301,265
14/2/23 10:59	2.301,321
14/3/23 10:17	2.301,295
11/4/23 10:19	2.301,295
16/5/23 12:59	2.301,300
13/6/23 11:22	2.301,308

PUENTE SAN LUIS REGLILLA	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
10/1/23 13:35	2.301,273
14/2/23 11:07	2.301,326
14/3/23 10:23	2.301,300
11/4/23 10:27	2.301,303
16/5/23 13:05	2.301,306
13/6/23 11:26	2.301,312

REGLILLA BURRO MUERTO SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
10/1/23 13:36	2.301,088
14/2/23 11:20	2.301,101
14/3/23 10:34	2.301,098
11/4/23 10:34	2.301,103
16/5/23 13:16	2.301,102
13/6/23 11:36	2.301,102

REGLILLA BURRO MUERTO CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
10/1/23 13:36	2.301,076
14/2/23 11:28	2.301,091
14/3/23 10:40	2.301,088
11/4/23 10:42	2.301,091
16/5/23 13:21	2.301,091
13/6/23 11:42	2.301,091

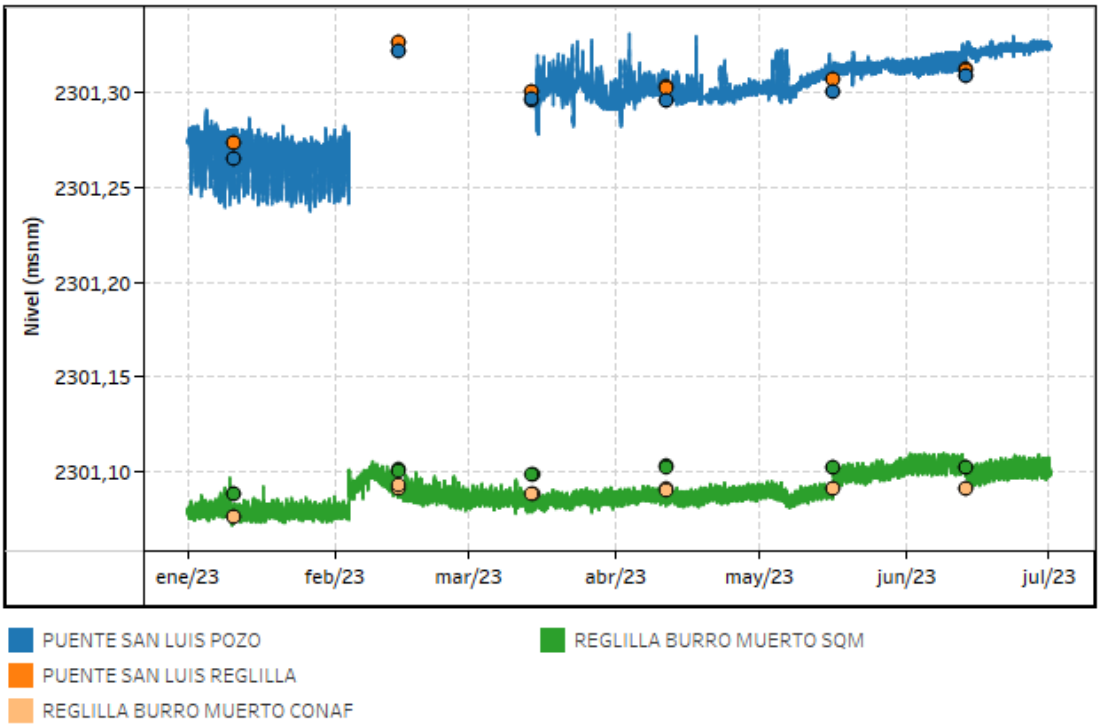
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
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



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 primer 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 en la Tabla 5-24, 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 Chaxa y Puilar han sido medidas entre los meses de abril a junio y Barros Negros solo en los meses de abril y mayo. 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.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 14:28	2.299,958
17/5/23 12:02	2.299,952
14/6/23 12:01	2.299,910

REGLILLA PUILAR SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
11/4/23 14:01	2.301,135
16/5/23 11:42	2.301,211
13/6/23 13:07	2.301,211

REGLILLA CHAXAS SQM	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
18/4/23 12:09	2.300,166
23/5/23 12:30	2.300,180
27/6/23 10:55	2.300,197

REGLILLA BARROS NEGROS CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 14:36	2.299,961
17/5/23 12:07	2.299,964
14/6/23 12:06	2.299,963

REGLILLA PUILAR CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
11/4/23 13:28	2.301,188
16/5/23 11:53	2.301,185
13/6/23 13:15	2.301,185

REGLILLA CHAXAS CONAF	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
18/4/23 12:10	2.300,196
23/5/23 12:31	2.300,214
27/6/23 11:01	2.300,229

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					
	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
REGLILLA BARROS NEGROS CONAF	1						1	1	1
REGLILLA BARROS NEGROS SQM	1						1	1	1
REGLILLA CHAXAS CONAF	1	1	1				1	1	1
REGLILLA CHAXAS SQM	1	1	1				1	1	1
REGLILLA PUILAR CONAF	1	1	1				1	1	1
REGLILLA PUILAR SQM	1	1	1				1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

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

Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.2.2 Meteorología

En la Tabla 5-25 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 enero y junio 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 primer semestre de 2023 no fue posible realizar todas las mantenciones necesarias a la estación meteorológica. Por lo que, para algunos periodos se ha tenido que rellenar una o más variables, la descripción de esta acción se detalla en el Anexo 9.2.

En el caso de la evaporación, no se ha podido acceder con continuidad a realizar los ajustes al sensor del tanque de agua para la bandeja en las fechas necesarias, lo que hace que no existan mediciones representativas en algunos periodos. Por lo anterior, se ha tenido que rellenar esta información a partir de otras estaciones representativas (detalle de la metodología en Anexo 9.2). 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).

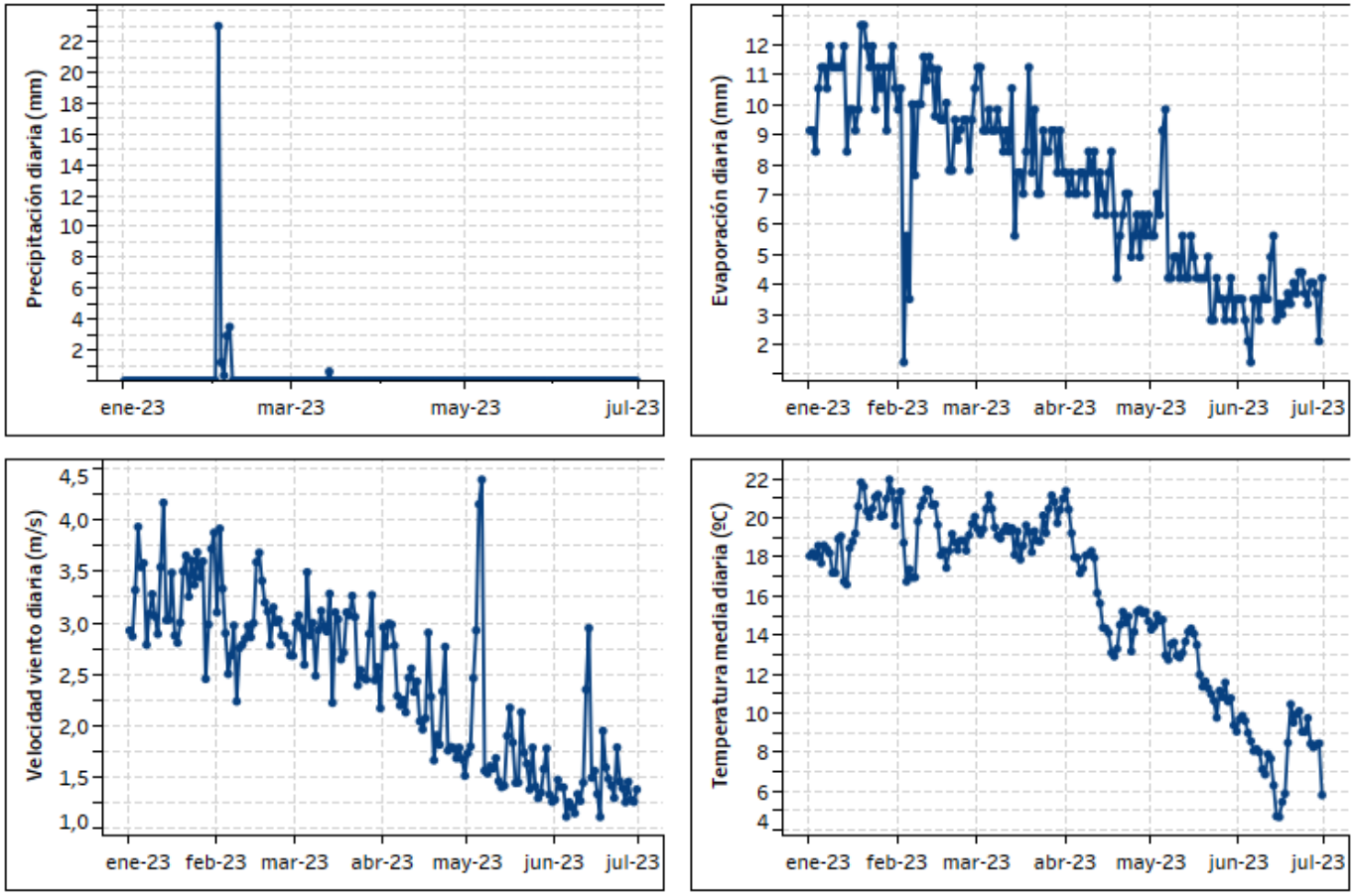
Tabla 5-25: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura de la estación meteorológica de Chaxa

Parametros	Unidad	Mín. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. están. de Valor
Precipitación*	mm/día	0,00	23,00	0,17	1,74
Evaporación*	mm/día	1,41	12,66	7,27	2,91
Velocidad del viento*	m/s	1,12	4,39	2,44	0,80
Temperatura media diaria*	ºC	4,67	21,97	15,76	4,56

* 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-1. 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 enero a junio 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 4-12, 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.

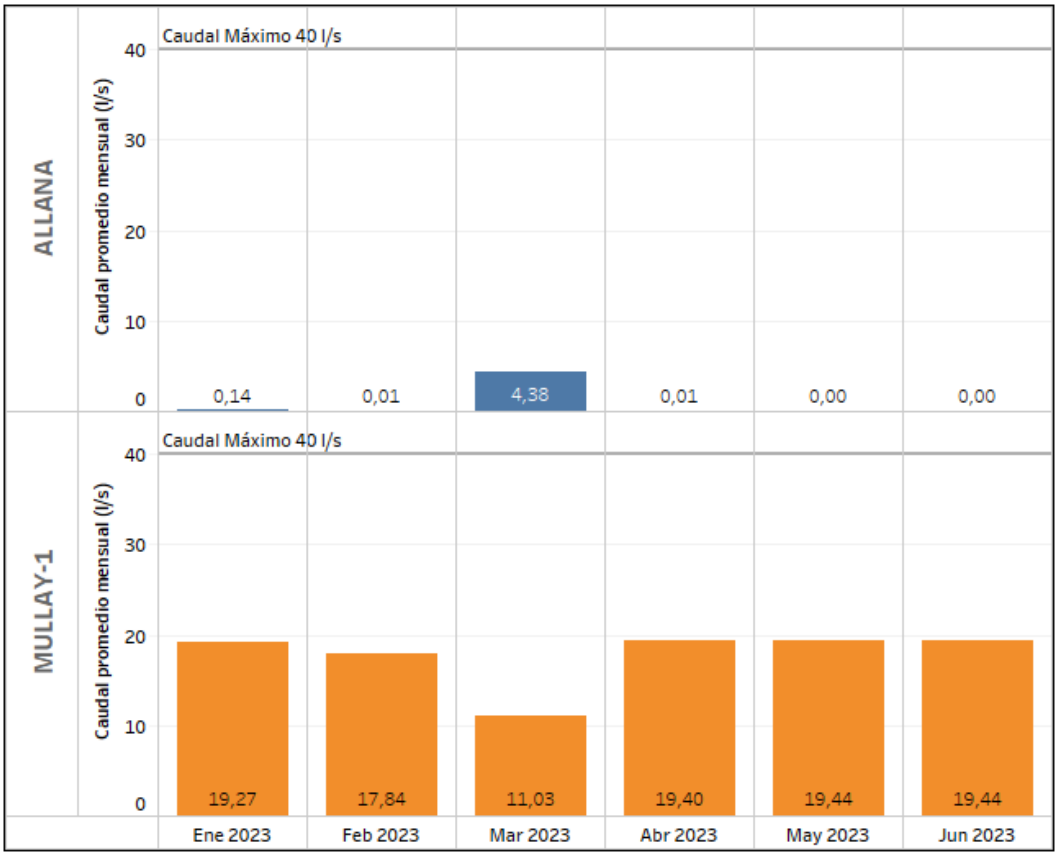
Por su parte, en la Figura 5-13 se muestran los resultados en forma gráfica. Como se observa, los flujos de extracción para Mullay-1 y Allana-1 se mantuvieron por debajo del máximo establecido en la autorización ambiental, que para ambos es de 40 L/s. El promedio semestral de los flujos medios en Allana-1 es de 0,75 L/s y en Mullay-1 es de 17,73 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	Ene 2023	01/01/2023	01/02/2023	S5W905097	41.919	42.284	365	0,14
	Feb 2023	01/02/2023	01/03/2023	S5W905097	42.284	42.299	15	0,01
	Mar 2023	01/03/2023	03/03/2023	S5W905097	42.299	42.299	0	0,00
		03/03/2023	04/03/2023	A22031953	0	459	459	8,92
		04/03/2023	01/04/2023	A22031953	5	10.223	10.218	4,22
	Abr 2023	01/04/2023	01/05/2023	A22031953	10.223	10.261	38	0,01
	May 2023	01/05/2023	01/06/2023	A22031953	10.261	10.261	0	0,00
	Jun 2023	01/06/2023	01/07/2023	A22031953	10.261	10.261	0	0,00
MULLAY-1	Ene 2023	01/01/2023	01/02/2023	S5P800411	438.294	489.906	51.612	19,27
	Feb 2023	01/02/2023	01/03/2023	S5P800411	489.906	533.070	43.164	17,84
	Mar 2023	01/03/2023	03/03/2023	S5P800411	533.070	537.147	4.077	18,95
		03/03/2023	07/03/2023	A22031952	0	2.870	2.870	7,37
		08/03/2023	08/03/2023	A22031951	0	533	533	6,17
		09/03/2023	01/04/2023	A22031951	535	23.635	23.100	11,62
	Abr 2023	01/04/2023	01/05/2023	A22031951	23.635	73.927	50.292	19,40
	May 2023	01/05/2023	01/06/2023	A22031951	73.927	125.986	52.059	19,44
	Jun 2023	01/06/2023	01/07/2023	A22031951	125.986	176.367	50.381	19,44

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 primer 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 primer 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 y en el Anexo 6.2 los resultados tabulados del primer semestre 2023. Además, en el Anexo 6.1 se presentan los certificados de autorización de las 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 (enero y abril[31] de 2023), a los pozos de monitoreo durante el primer semestre de 2023. La representación gráfica de estos resultados se presenta en la Figura 5-14 para las campañas realizadas durante el primer semestre de 2023. Como se observa, durante el periodo en reporte se realizaron los dos monitoreos trimestrales comprometidos (T1 y T2 en Figura 5-14). Únicamente el punto L7-G1 no contó con el permiso de ingreso a la Reserva Nacional los Flamencos durante enero 2023. Estos detalles se encuentran en el respaldo en el informe realizado por la ETFA en el Anexo 6.1.

[31] Dado que la ETFA que realiza mediciones de parámetros fisicoquímicos de terreno SEGEA pierde autorización temporal por parte de SMA durante abril 2023. Los parámetros, como, pH de terreno, Conductividad eléctrica de Terreno, Temperatura de terreno y oxígeno disuelto de terreno no se encuentran con medición en algunos puntos que son detallados en cada tabla de Resultados de Calidad según sistema ambiental.

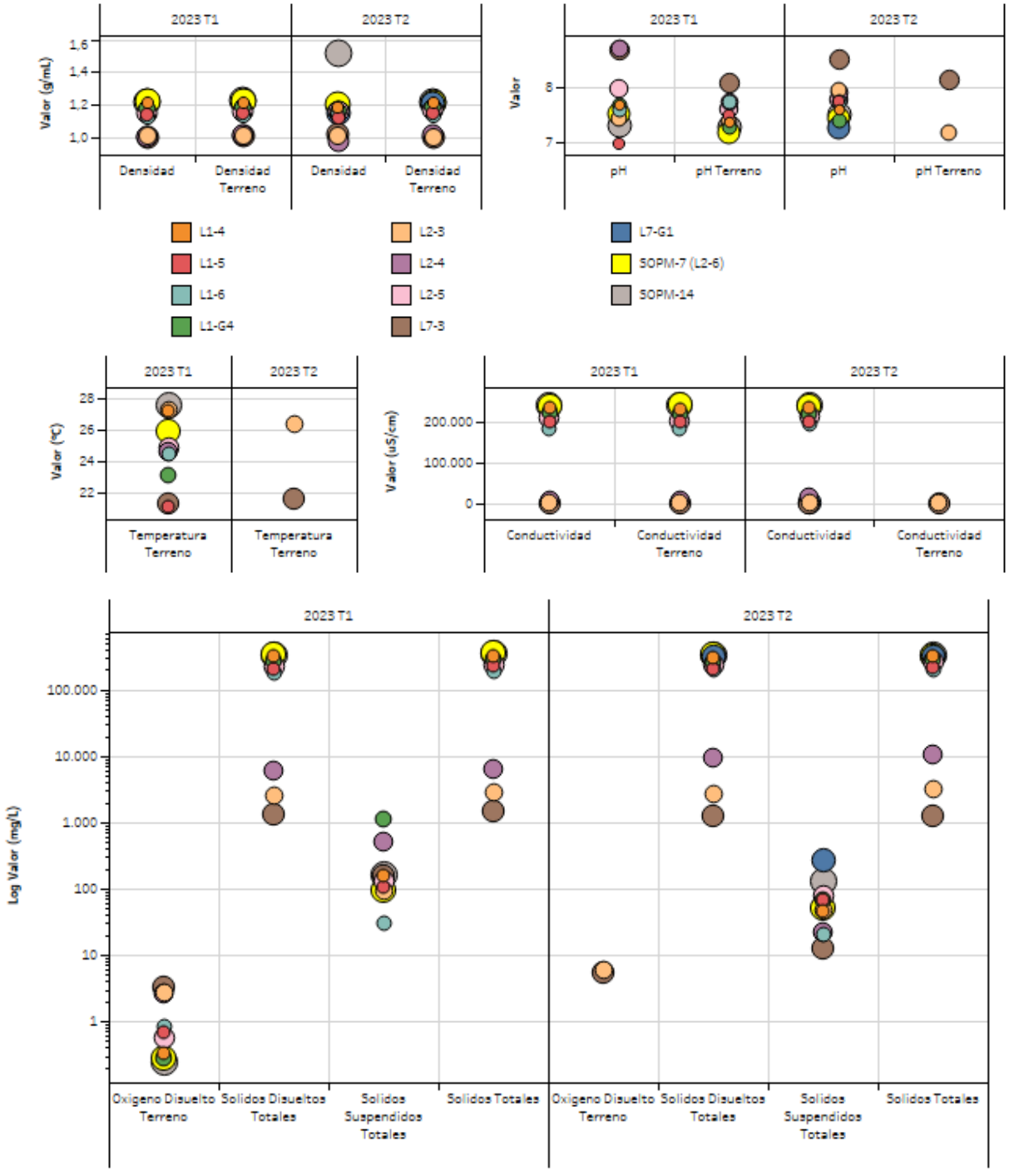
Tabla 5-27: Resultados calidad del agua Sistema Soncor

Parámetro	L1-4		L1-5		L1-6		L2-3		L2-4		L1-G4	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	234.000	235.000	202.000	199.200	185.000	194.700	3.640	3.810	10.210	15.180	224.000	218.000
Conductividad Terreno (uS/cm)	231.600	-	200.000	-	184.000	-	3.686	3.830	9.839	-	219.100	-
Densidad (g/mL)	1,206	1,184	1,141	1,121	1,120	1,131	1,002	1,009	1,001	0,975	1,178	1,158
Densidad Terreno (g/mL)	1,210	1,210	1,148	1,148	1,128	1,135	1,002	1,000	1,005	1,006	1,185	1,183
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	0,33		0,69		0,85		2,79	5,94	2,75		0,29	
pH ()	7,68	7,59	6,97	7,74	7,60	7,72	7,43	7,95	8,70	7,91	7,68	7,39
pH Terreno ()	7,36		7,50		7,73		7,37	7,18	7,73		7,27	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	323.795	320.590	214.130	212.535	184.440	202.870	2.554	2.660	6.050	9.630	278.695	271.525
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	157	47	111	70	31	21	93	48	519	22	1.144	70
Sólidos Totales (mg/L)	338.595	339.365	230.870	227.995	191.590	206.130	2.820	3.184	6.635	10.660	296.840	293.055
Temperatura Terreno (°C)	27,2		21,1		24,5		27,2	26,3	24,5		23,1	

Parámetro	L2-5		L7-3		SOPM-7 (L2-6)		SOPM-14		L7-G1	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	209.000	213.000	1.988	1.916	239.000	237.000	242.000	241.000	-	2.250
Conductividad Terreno (uS/cm)	203.900	-	1.924	1.906	241.700	-	241.000	-	-	-
Densidad (g/mL)	1,149	1,155	1,000	1,012	1,215	1,198	1,211	1,520		1,147
Densidad Terreno (g/mL)	1,156	1,161	1,001	1,000	1,223	1,213	1,220	1,219		1,209
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	0,57		3,31	5,64	0,28		0,25			
pH ()	7,96	7,78	8,67	8,49	7,53	7,43	7,30	7,51		7,27
pH Terreno ()	7,59		8,08	8,14	7,18		7,27			
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	228.210	242.990	1.326	1.260	342.475	342.785	336.105	331.775	-	314.152
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	130	80	164	13	95	51	167	131	-	280
Sólidos Totales (mg/L)	242.115	265.730	1.500	1.274	366.030	336.000	358.825	344.055	-	321.760
Temperatura Terreno (°C)	24,8		21,2	21,6	25,9		27,6			

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

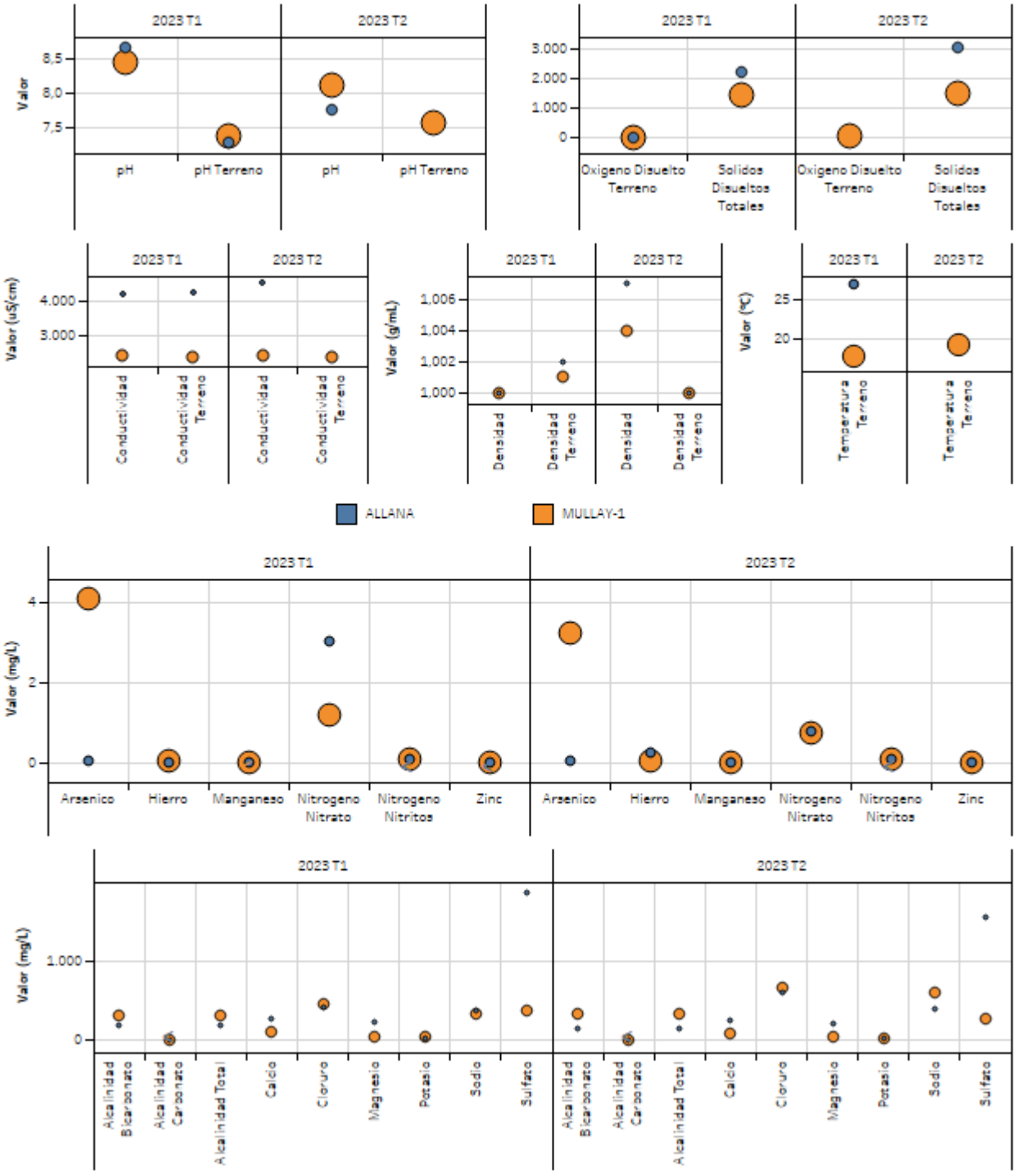
En la Tabla 5-27 se presentan los resultados del monitoreo trimestral de calidad efectuado a los pozos de bombeo Mullay-1 y Allana durante el primer semestre 2023. Se debe recordar que las mediciones de los parámetros de terreno durante abril, las realizó SQM debido a que la ETFA SEGEA perdió la autorización temporalmente para dicho efecto. Estas mediciones se presentan en el Anexo 6.2. Los resultados gráficos se muestran en la Figura 5-15.

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

Parámetro	ALLANA		MULLAY-1	
	enero	abril	enero	abril
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	181	150	302	321
Arsénico (mg/L)	0,0556	0,0457	4,0899	3,2454
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	181	150	302	321
Bicarbonatos (mg/L)	221	183	368	392
Calcio (mg/L)	255,69	241,16	91,31	85,59
Carbonatos (mg/L)	<1	<1	<1	<1
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	<1	<1
Cloruro (mg/L)	403,2	585,3	456,8	657,3
Conductividad (uS/cm)	4.200	4.540	2.400	2.420
Conductividad Terreno (uS/cm)	4.270	-	2.368	2.370
Densidad (g/mL)	1,000	1,007	1,000	1,004
Densidad Terreno (g/mL)	1,002	1,000	1,001	1,000
Hierro (mg/L)	0,021	0,241	0,051	0,046
Magnesio (mg/L)	218,013	206,620	32,612	29,483
Manganeso (mg/L)	0,0080	0,0163	0,0001	0,0005
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<3,02	<0,77	<1,21	<0,73
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	3,23		3,93	6,80
pH ()	8,67	7,75	8,45	8,11
pH Terreno ()	7,26		7,36	7,56
Potasio (mg/L)	25,3	24,9	29,6	26,9
Sodio (mg/L)	366	378	322	590
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.220	3.064	1.454	1.504
Sulfato (mg/L)	1.856	1.548	371	266
Temperatura Terreno (°C)	26,8		17,8	19,2
Zinc (mg/L)	0,0007	0,0013	0,0171	0,0041

Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.4.2 Mediciones realizadas en cuerpos lagunares SQM

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

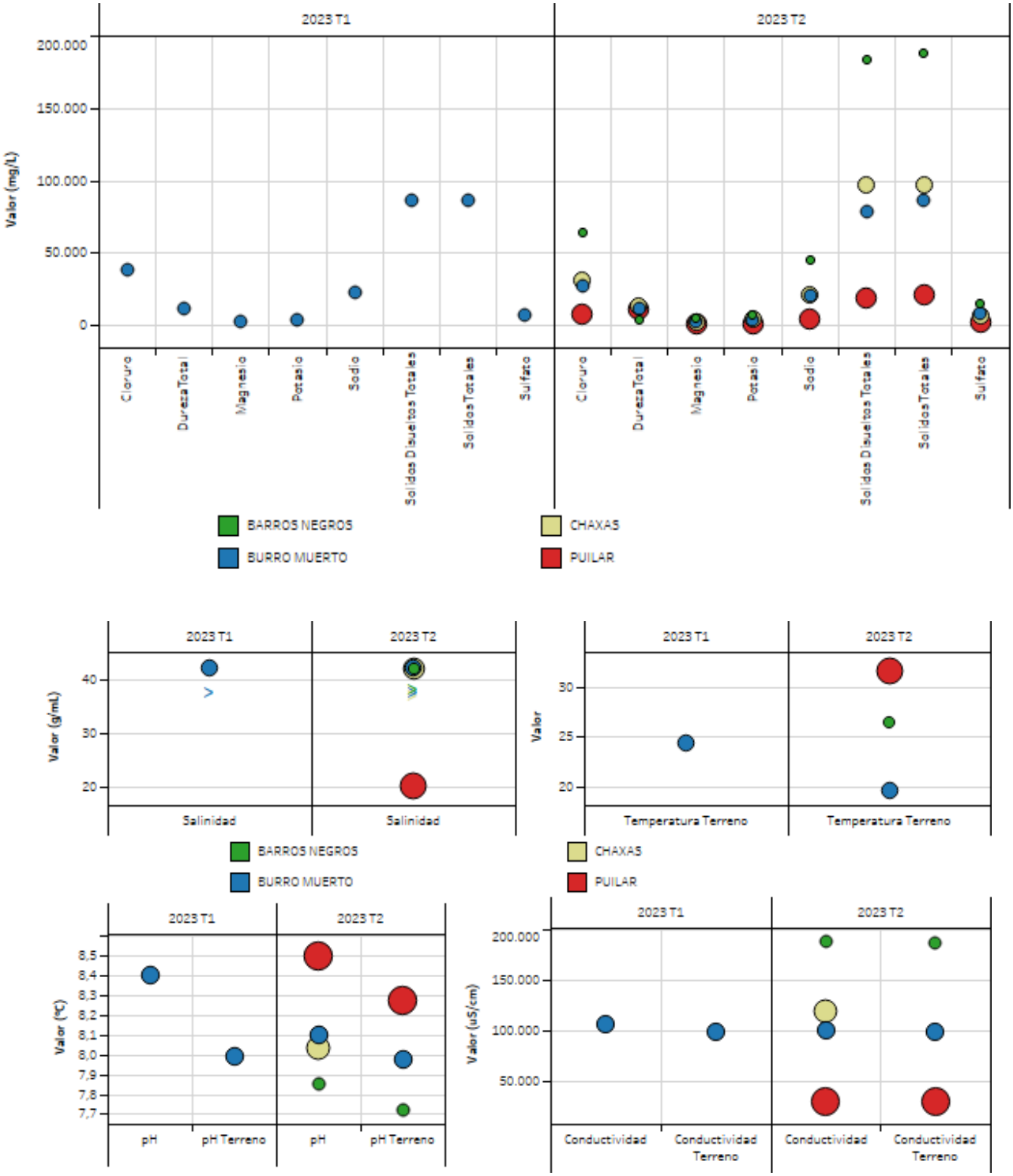
El personal de SEGEA solo pudo ingresar en ambos trimestres al punto de Burro Muerto. El resto de las reglillas solo fueron posibles de visitar durante el mes de abril, esto debido a que, en las visitas de enero no se contaba con el permiso de acceso la Reserva Nacional Los Flamencos. Considerar que los parámetros de terreno de Reglilla Chaxa no contaron con mediciones por la pérdida de acreditación de la ETFA mencionada en la sección 5.1.1. Para ver los respectivos respaldos de esta situación, se solicita 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	enero	abril	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)		779	491	400		450		296
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)		<1.00	<1.00	<1.00		<1.00		<1.00
Alcalinidad Total (CaCO3) (mgCaCO3/L)		779	491	400		450		296
Arsenico (mg/L)		3.47	2.13	1.85		1.42		1.48
Calcio (mg/L)		898	776	793		684		165
Cloruro (mg/L)		64381	37691	27193		30277		7519
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)		<1.80				<1.80		
Coliformes Totales (NMP/100 mL)		<1.80				<1.80		
Conductividad (uS/cm)		187500	106400	100300		118500		30100
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	186100	99320	99400	-	-	-	29200
Densidad (g/ml)		1.104				1.058		
Densidad Terreno (g/ml)		1.124	1.064	1.057		1.066		1.012
Detergentes (mg/L)		0.296				<0.010		
Dureza Total (mg/L)		2963	11295	10890		12772		10610
Fosforo (mg/L)			2.70	0.058				0.081
Fosforo Fosfato (mg/L)		<0.130	<0.130	<0.130		<0.130		<0.130
Hidrocarburos Totales (mg/L)		<2.00				<2.00		
Hidrocarburos Volátiles C6-C10 (mg/L)		<0.500				<0.500		
Magnesio (mg/L)		4476	2122	2244		2218		451
Nitrogeno Amoniacal (mg/L)		0.240				<0.030		
Nitrogeno Nitrato (mg/L)		<0.050	<0.050	<0.050		13.65		13.82
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	-	5.95	1.51	3.15	-	-	-	6.32
pH Terreno (pH)	-	7.72	7.99	7.97	-	-	-	8.28
Potasio (mg/L)		7082	3191	2958		3494		790
Potasio Disuelto (mg/L)				2876				775
Salinidad (‰)		>42.00	>42.00	>42.00		>42.00		20.10
Silice (mg/L)		10.14	45.29	<25.00		<25.00		<10.00
Sodio (mg/L)		44643	22920	20095		20794		4032
Sodio Disuelto (mg/L)				17721				3974
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)		183970	86070	78140		97275		18520
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)		75.00	26.00	71.00		62.00		16.00
Sólidos Totales (mg/L)		187960	86305	86320		97035		20300
Sulfato (mg/L)		14735	7025	7380		6355		1457
Temperatura Terreno (ºC)	-	26.40	24.38	19.60	-	-	-	31.60

Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia.

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 Figura 5-17 muestra los resultados de la validación para las campañas del primer semestre en el sistema Soncor. En las dos campañas del primer semestre, las muestras con análisis de sólidos (totales, disueltos y suspendidos) fueron validadas para los balances de masas a excepción de los puntos (Allana y Mullay-1) que se clasifican como Calidad 4 y que, por tanto, no permite el cálculo de balances de masas por los parámetros a analizar de acuerdo con la Tabla 4-2 y lo descrito en la RCA N° 226/2006.

Ahora bien, los balances iónicos del primer trimestre para Allana, Barros Negros y Mullay-1 aprueban el criterio de validación inferiores al 10% de desviación para los cálculos presentados en la sección 4.5.8.3 Validación de los datos de calidad del agua.

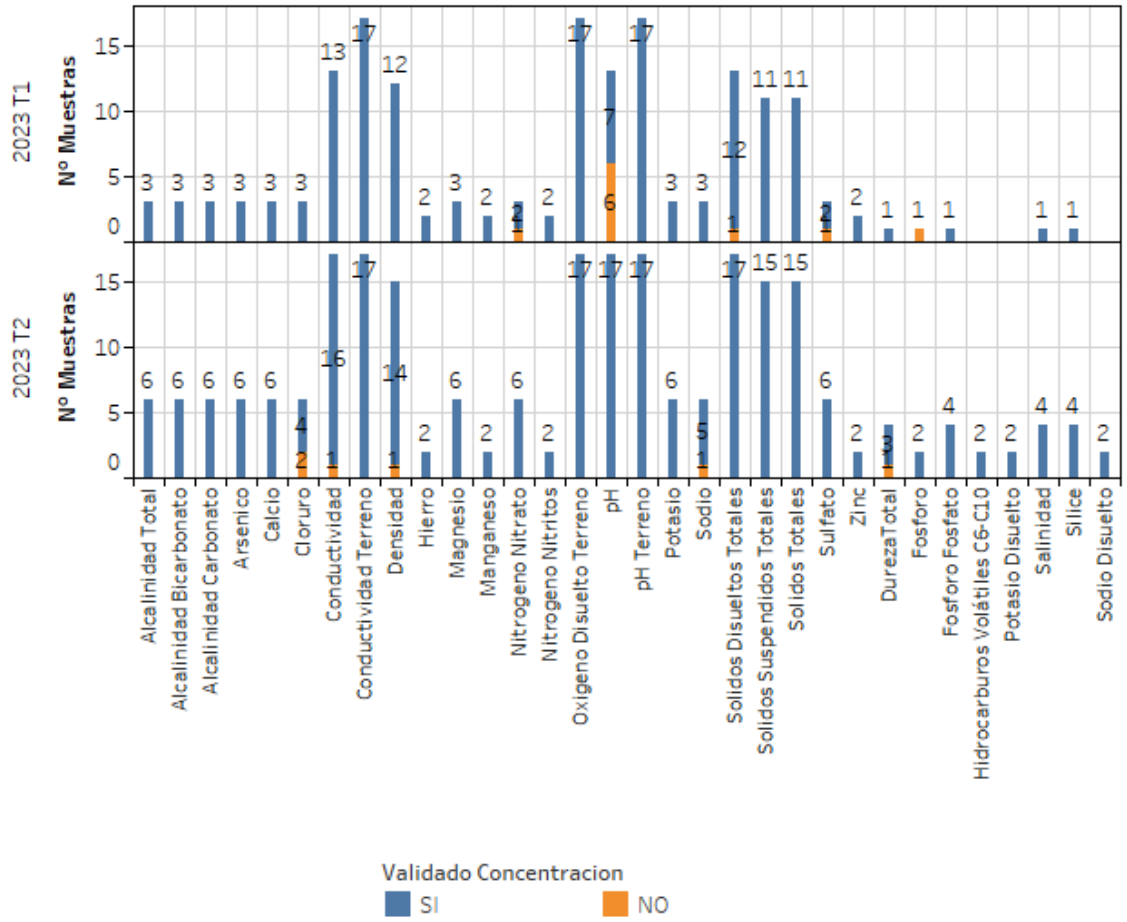
Tabla 5-30: Resultados validación Soncor

Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
1	ALLANA	NA*	6,5
	BARROS NEGROS	NA*	NA*
	BURRO MUERTO	-0,2	2,9
	CHAXAS	NA*	NA*
	L1-4	-4,3	NA*
	L1-5	-7,2	NA*
	L1-6	-3,7	NA*
	L1-G4	-5,7	NA*
	L2-3	-6,1	NA*
	L2-4	-1,0	NA*
	L2-5	-5,7	NA*
	L7-3	-0,7	NA*
	L7-G1	NA*	NA*
	MULLAY-1	NA*	9,3
	PUILAR	NA*	NA*
	SOPM-7 (L2-6)	-6,4	NA*
	SOPM-14	-6,3	NA*
2	ALLANA	NA*	5,8
	BARROS NEGROS	-2,1	8,5
	BURRO MUERTO	-9,4	11,7
	CHAXAS	0,3	9,7
	L1-4	-5,5	NA*
	L1-5	-6,8	NA*
	L1-6	-1,6	NA*
	L1-G4	-7,3	NA*
	L2-3	-14,9	NA*
	L2-4	-9,5	NA*
	L2-5	-8,5	NA*
	L7-3	-0,1	NA*
	L7-G1	-2,3	NA*
	MULLAY-1	NA*	4,1
	PUILAR	-8,7	1,9
	SOPM-7 (L2-6)	2,0	NA*
	SOPM-14	-3,5	NA*

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

La 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 primer semestre de 2023, 16 resultados no validados. Estas desviaciones representan un 3,85% del total de 415 análisis en el sistema Soncor durante el primer 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: (i) en el Puente San Luís donde se mide de forma continua y con medidas manuales mensuales, esto último de manera voluntaria, y (ii) 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 primer semestre de 2023. Puede observarse que el aforo del Puente San Luís se ha podido medir durante todos los meses del primer semestre 2023. 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. Se debe mencionar, asimismo, que en el Anexo 8 se entrega de forma tabulada el total de mediciones (continuas, manuales, validados y no validados) de aforo realizadas en este semestre reportado.

Por su parte, en el punto de Barros Negros solo ha sido posible su medición en los meses de abril, mayo y junio de 2023, debido a que en los meses anteriores (entre enero y marzo) se prohibió el ingreso a RNF. En la

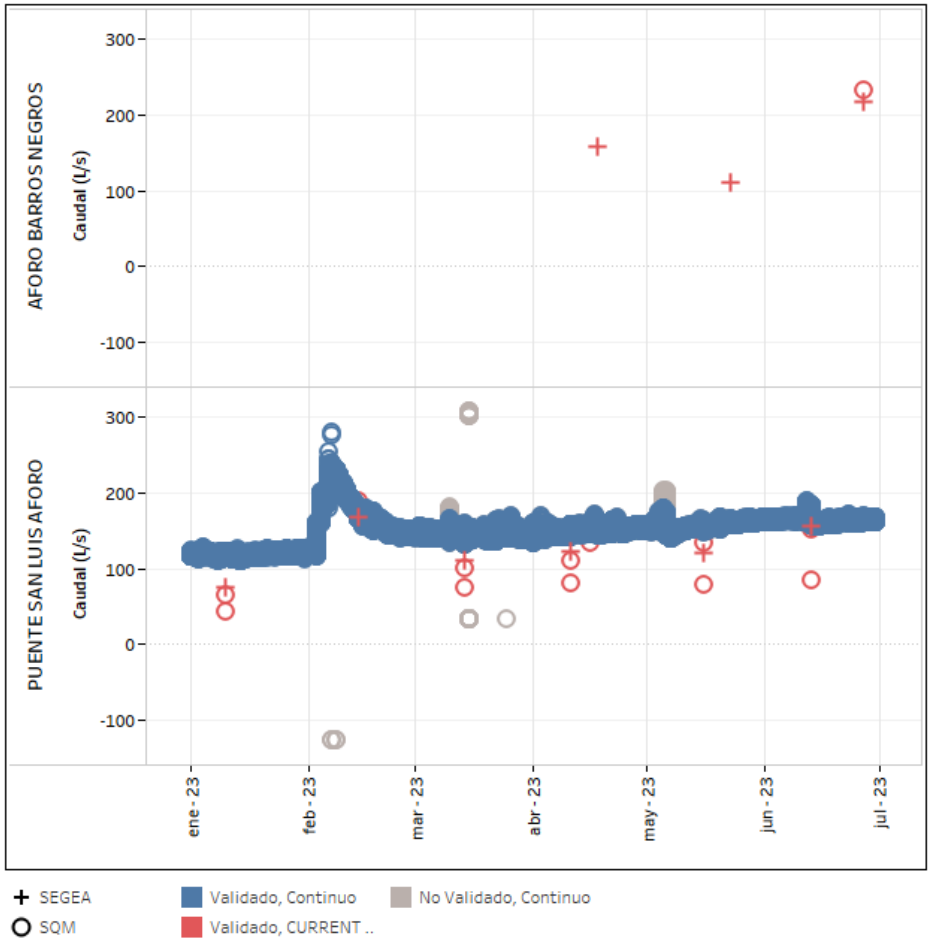
Figura 5-18 se muestra gráficamente los registros obtenidos.

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

	AFORO BARROS NEGROS	PUENTE SAN LUIS AFORO
enero de 2023	S/I	74,30
febrero de 2023	S/I	168,20
marzo de 2023	S/I	109,50
abril de 2023	157,31	121,40
mayo de 2023	111,01	120,80
junio de 2023	217,27	154,60

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 mediante estacas perimetrales.

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 abril, 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 enero 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. No obstante, y debido a que el sector de Desborde Sur de Barros Negros se encuentra fuera de los límites de la reserva, se logró acceder a esta zona y tomar puntos de control para rectificación de metodología satelital de enero 2023.

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

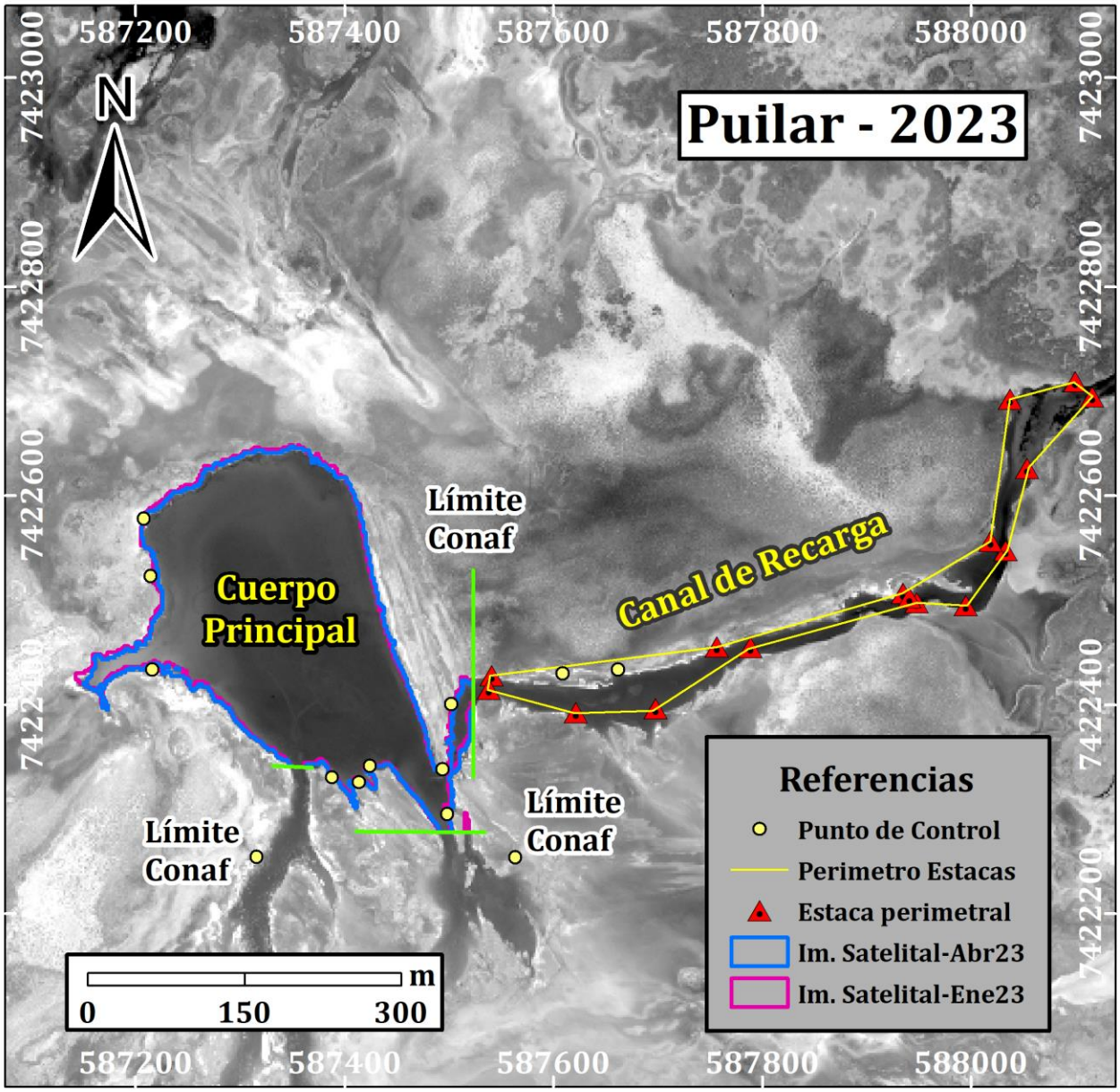
Tabla 5-32. Superficies lacustres primer semestre 2023

Periodo de medición	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m^2)			
			Laguna Chaxa	Laguna Barros Negros	B. Negros Z. Aledañas + Desborde Sur	Laguna Puilar
Ene 2023	ATyGEO	Estacas Perimetrales	S/I	S/I	N/A	S/I
Ene 2023	SRGIS	Imagen Satelital	274.955	825.562	104.574	62.184
Abr 2023	ATyGEO	Estacas Perimetrales	275.815	1.053.609	N/A	19.374
Abr 2023	SRGIS	Imagen Satelital	282.449	964.733	290.789	62.149

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

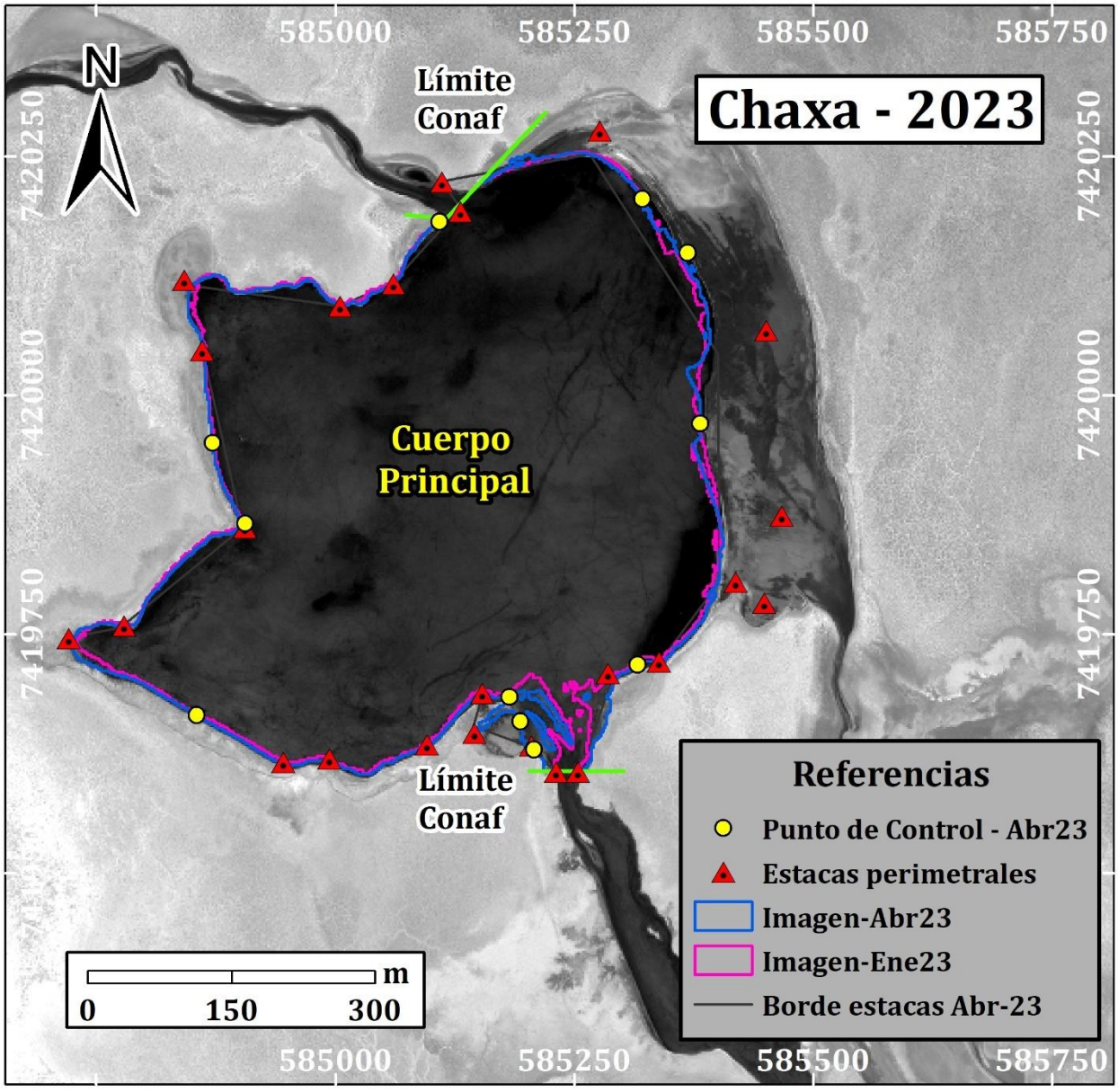
En las siguientes figuras, se muestran mapas con los resultados de las metodologías previamente señaladas para el primer semestre de 2023.

Figura 5-19: Mapa delimitación lacustre, sector Puilar. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. Notar estacas perimetrales solo en canal de recarga del sistema lacustre.



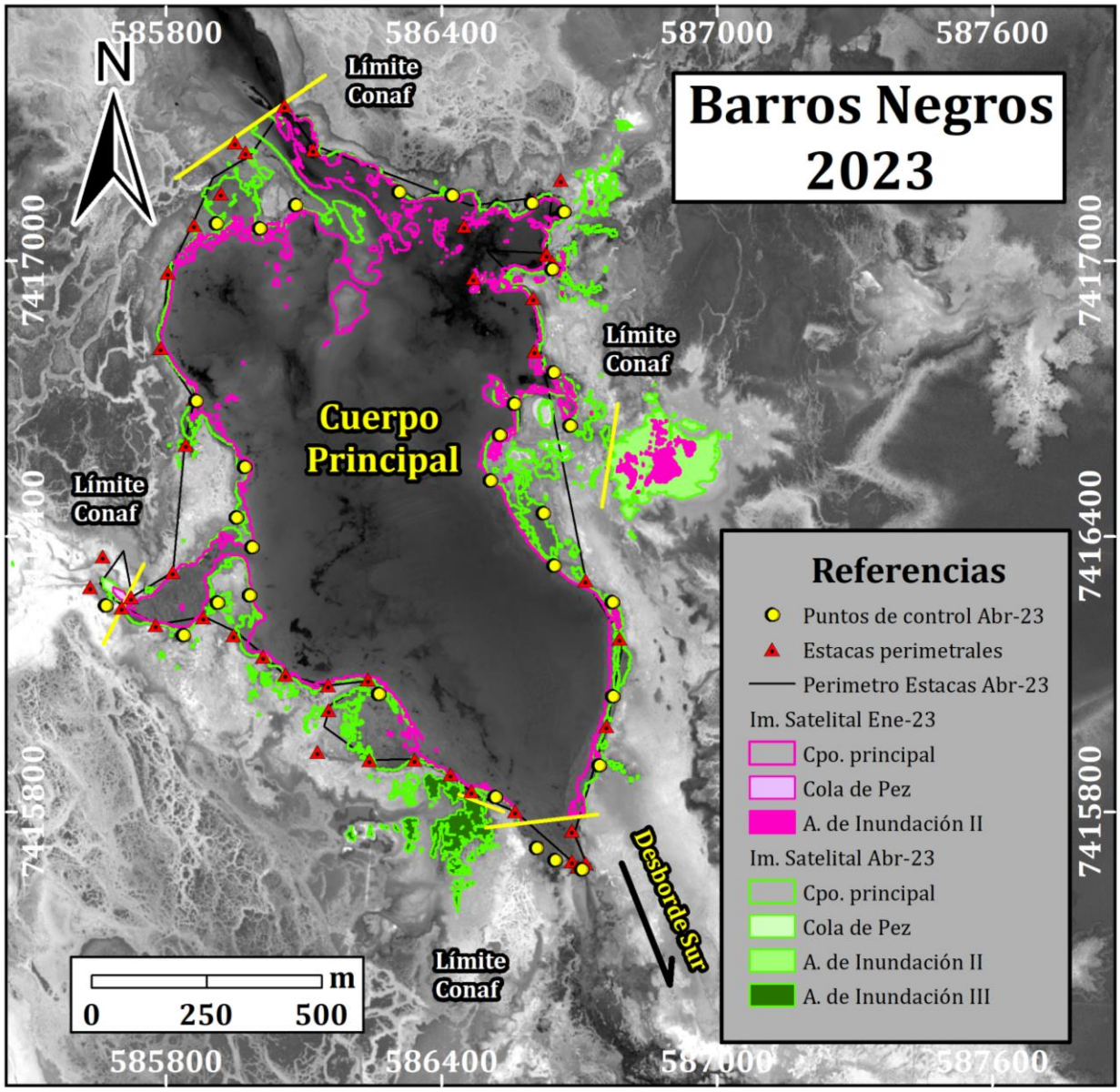
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20: Mapa delimitación lacustre, sector Chaxa. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises



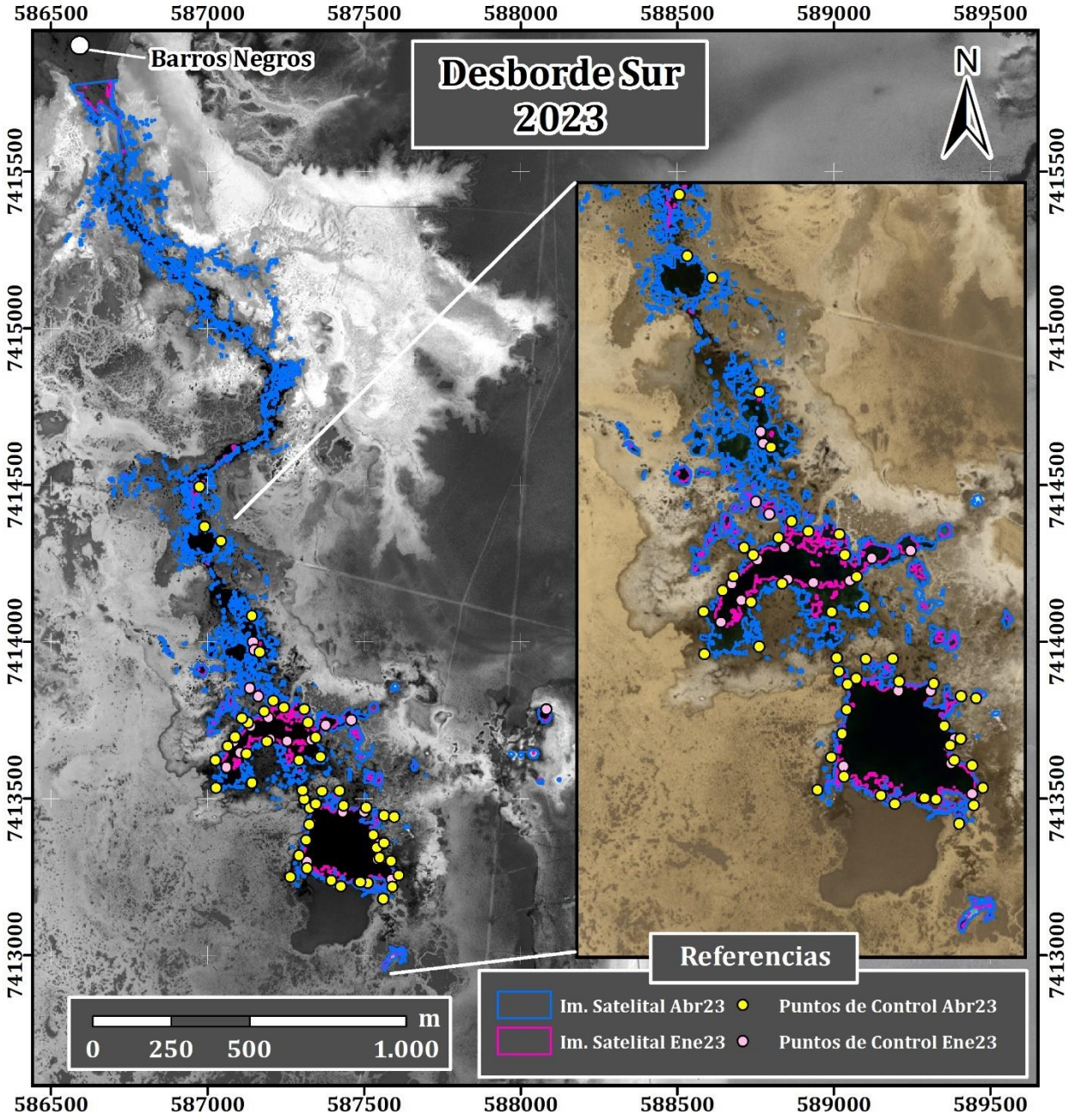
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-21: Mapa delimitación lacustre, sector Barros Negros. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-22: Mapa delimitación lacustre, sector Desborde Sur. Imagen de fondo en mapa principal corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises. Mapa de detalle es mostrado a la derecha con puntos de control tanto en enero como abril de 2023.



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 primer 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. Por otra parte, todos los indicadores de estado ubicados dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos presentaron al menos 1 medición mensual a excepción de L4-8 durante enero por contar con restricción de acceso.

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 4-8 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 de la SMA, otorgando así, más información de pozos PSAH, principalmente los que se encuentran dentro de RNF.

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, donde se han realizado todas las mediciones comprometidas para cada mes. 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, cuando 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 5-23. 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[32] se muestran los resultados del monitoreo comprometido efectuado para el primer 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 5-23 se muestra gráficamente el resultado completo de monitoreo, con las mediciones comprometidas, adicionales, manuales y continuas.

[32] El gap de información continua se ha extraído del gráfico, dado que, representan dados outliers que corrompe la escala de la figura, sin embargo, estos datos brutos se pueden observar en el Anexo 5.

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

L3-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/1/23 14:06	2.322,999
17/2/23 12:44	2.323,002
20/3/23 12:40	2.322,988
17/4/23 10:14	2.323,012
15/5/23 09:49	2.323,000
20/6/23 09:35	2.323,011

L4-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:16	2.304,549
23/1/23 10:50	2.304,548 *
17/2/23 10:36	2.304,577
20/3/23 10:32	2.304,399
17/4/23 11:39	2.304,192
15/5/23 10:40	2.304,327
20/6/23 11:31	2.304,333

L5-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
29/1/23 16:14	2.322,336
27/2/23 13:56	2.322,319
27/3/23 10:31	2.322,298
24/4/23 10:03	2.322,276
29/5/23 11:03	2.322,284
27/6/23 10:50	2.322,268

L5-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
29/1/23 16:22	2.315,132
17/2/23 11:06	2.315,117
27/2/23 11:02	2.315,114 *
27/3/23 10:51	2.315,109
24/4/23 10:36	2.315,107
29/5/23 10:47	2.315,115
27/6/23 10:35	2.315,101

CAMAR-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/1/23 13:32	2.322,402
17/2/23 12:26	2.322,392
20/3/23 12:23	2.322,390
27/4/23 14:45	2.322,422
16/5/23 10:22	2.322,389
20/6/23 09:48	2.322,139

SOCAIRE-5B	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
20/1/23 14:42	2.304,648
17/2/23 18:17	2.304,882
20/3/23 10:05	2.304,584
17/4/23 10:48	2.304,572
9/5/23 14:41	2.304,584
15/5/23 10:16	2.304,577 *
20/6/23 09:19	2.304,590

L4-3		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.306,869	2.306,908
Feb 2023	2.306,875	2.306,898
Mar 2023	2.306,897	2.306,915
Abr 2023	2.306,867	2.306,921
May 2023	2.306,870	2.306,889
Jun 2023	2.306,885	2.306,918

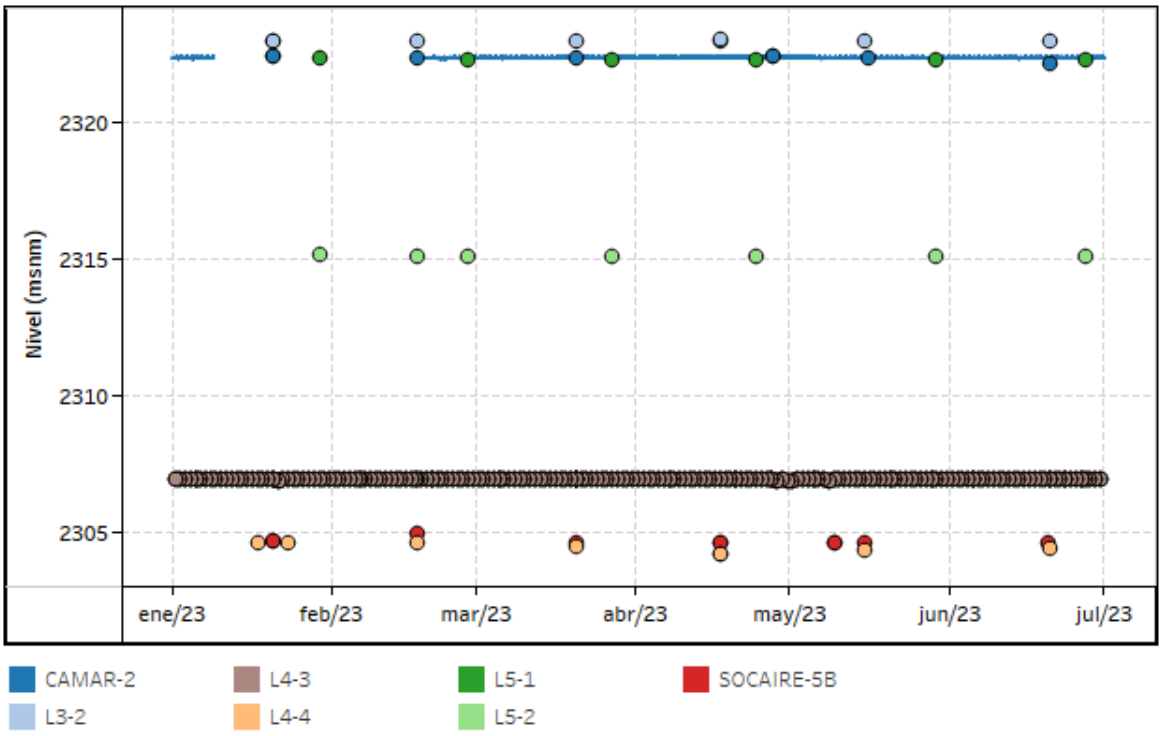
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (1) corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
CAMAR-2	1			1			1	1	1	1	1	1
L3-2	1			1			1	1	1	1	1	1
L4-3	31	28	31	30	31	30	2	3	3	3	3	4
L4-4				1			2	1	1	1	1	1
L5-1							1	1	1	1	1	1
L5-2							1	2	1	1	1	1
SOCAIRE-5B	1			1	1		1	1	1	1	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-23: 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. Todos poseen medición continua de niveles a excepción del L3-3.

En la Tabla 5-35 se muestran las mediciones manuales comprometidas del primer 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. Asimismo, la ETFA SEGEA ha realizado mediciones puntuales complementarias. Finalmente, en la Figura 5-24 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 a excepción de los puntos L3-6 y L13-3 durante enero debido a restricción de acceso.

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.)
15/1/23 15:59	2.315,265
17/2/23 13:48	2.315,251
20/3/23 13:27	2.315,219
17/4/23 12:40	2.315,212
15/5/23 11:31	2.315,215
19/6/23 12:42	2.315,264

L13-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 15:39	2.307,169
17/2/23 13:58	2.307,239
20/3/23 13:48	2.307,158
17/4/23 12:58	2.307,131
15/5/23 11:40	2.307,222
19/6/23 12:30	2.307,295

L13-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 15:36	2.302,798
6/3/23 13:18	2.302,748
3/4/23 13:29	2.302,725
8/5/23 13:39	2.302,723
5/6/23 13:24	2.302,765

L3-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 14:38	2.302,270
6/3/23 12:32	2.302,189
3/4/23 15:18	2.302,197
8/5/23 12:56	2.302,187
5/6/23 12:57	2.302,204

L3-3		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.310,768	2.310,820
Feb 2023	2.310,763	2.310,791
Mar 2023	2.310,760	2.310,866
Abr 2023	2.310,849	2.310,860
May 2023	2.310,856	2.310,881
Jun 2023	2.310,881	2.310,908

L3-5		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.304,219	2.304,258
Feb 2023	2.304,216	2.304,251
Mar 2023	2.304,224	2.304,238
Abr 2023	2.304,217	2.304,231
May 2023	2.304,217	2.304,239
Jun 2023	2.304,239	2.304,274

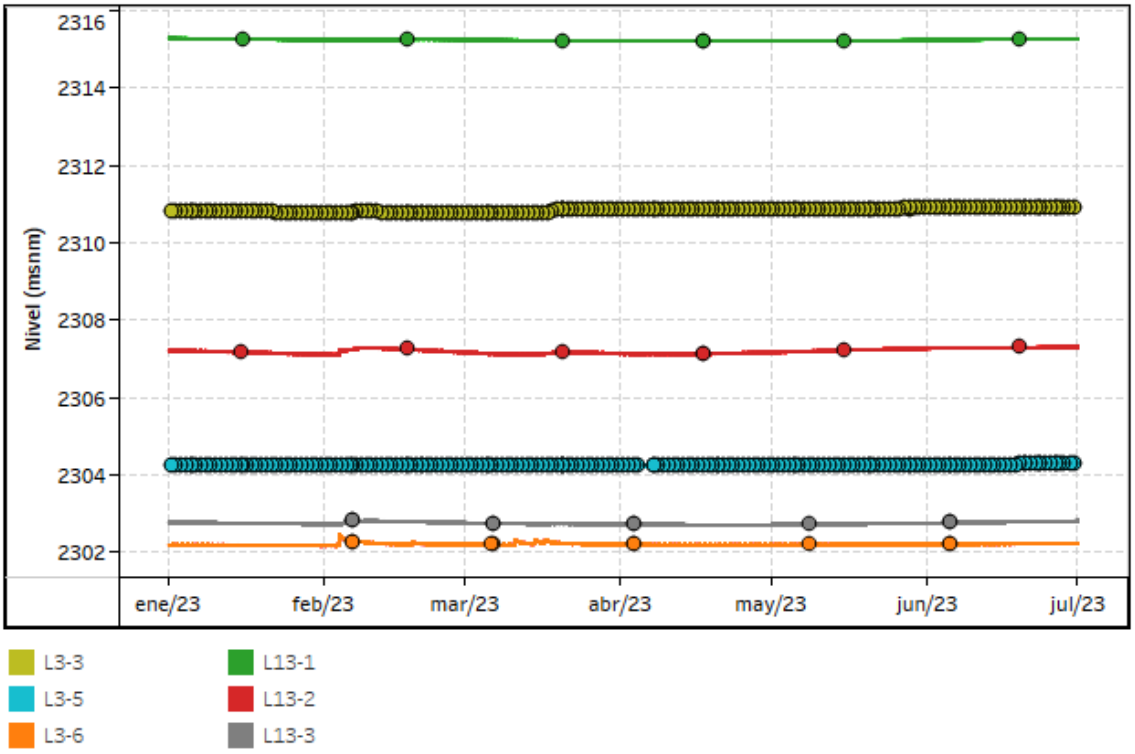
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L3-3	31	28	31	30	31	30	1	3	3	2	3	4
L3-5	31	28	31	28	31	30	2	3	3	2	3	4
L3-6		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

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-24: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Camar-2



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 primer semestre de 2023. En la Tabla 5-38 se detalla el recuento de las mediciones realizadas por SEGEA y SQM en cada mes. Finalmente, en la Figura 5-25 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 en reporte, todos los puntos han podido ser medidos con la frecuencia esperada, a excepción de los pozos L4-8, L4-9 y L5-3 los cuales no contaron con la medición de enero debido a restricción de acceso a RNF.

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.)
17/1/23 13:42	2.311,783
20/1/23 16:59	2.311,775 *
17/2/23 11:36	2.311,754
20/3/23 11:31	2.311,750
17/4/23 12:06	2.311,774
15/5/23 10:58	2.311,799
20/6/23 11:21	2.311,838

L14-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:36	2.304,324
20/1/23 17:05	2.304,324 *
31/1/23 12:00	S/I
17/2/23 11:45	2.304,320
20/3/23 11:39	2.304,318
17/4/23 11:57	2.304,325
15/5/23 11:06	2.304,315
20/6/23 11:16	2.304,329

L14-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:55	2.301,643
20/1/23 17:16	2.301,649 *
17/2/23 11:56	2.301,683
20/3/23 11:49	2.301,657
17/4/23 12:21	2.301,655
15/5/23 11:17	2.301,656
20/6/23 11:10	2.301,672

L14-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 11:39	2.300,380
7/2/23 11:34	2.300,545
7/3/23 14:04	2.300,486
4/4/23 14:21	2.300,491
9/5/23 12:24	2.300,464
6/6/23 12:16	2.300,475

L14-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 11:46	2.300,036
7/2/23 11:41	2.300,109
7/3/23 13:54	2.300,096
4/4/23 14:02	2.300,104
9/5/23 12:32	2.300,088
6/6/23 12:24	2.300,093

L14-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 11:55	2.299,852
7/2/23 11:48	2.299,870
7/3/23 13:43	2.299,888
4/4/23 13:53	2.299,896
9/5/23 12:39	2.299,887
6/6/23 12:33	2.299,886

L4-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 12:15	2.301,114
6/3/23 11:09	2.300,991
3/4/23 16:58	2.300,991
8/5/23 11:44	2.300,990
5/6/23 10:47	2.301,010

L5-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 10:01	2.302,201
6/3/23 09:47	2.302,030
3/4/23 10:31	2.302,027
8/5/23 10:50	2.302,036
5/6/23 09:12	2.302,069

L5-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 17:07	2.309,024
22/1/23 15:24	2.309,018 *
17/2/23 17:55	2.309,037
20/3/23 10:24	2.309,018
17/4/23 11:31	2.309,022
15/5/23 10:33	2.309,040
20/6/23 11:37	2.309,080

L5-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
15/1/23 17:44	2.306,966
17/2/23 11:22	2.307,033
27/2/23 11:35	2.306,986 *
27/3/23 10:59	2.306,949
24/4/23 10:45	2.306,934
29/5/23 10:31	2.306,984
27/6/23 10:26	2.307,027

L4-8		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	S/I	S/I
Feb 2023	2.301,368	2.301,368
Mar 2023	2.301,280	2.301,280
Abr 2023	2.301,279	2.301,280
May 2023	2.301,274	2.301,274
Jun 2023	2.301,278	2.301,279

L4-7		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.301,392	2.301,397
Feb 2023	2.301,392	2.301,462
Mar 2023	2.301,401	2.301,413
Abr 2023	2.301,394	2.301,401
May 2023	2.301,396	2.301,403
Jun 2023	2.301,402	2.301,408

L5-8		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.303,710	2.303,728
Feb 2023	2.303,708	2.303,850
Mar 2023	2.303,724	2.303,745
Abr 2023	2.303,714	2.303,723
May 2023	2.303,721	2.303,741
Jun 2023	2.303,740	2.303,761

SQM

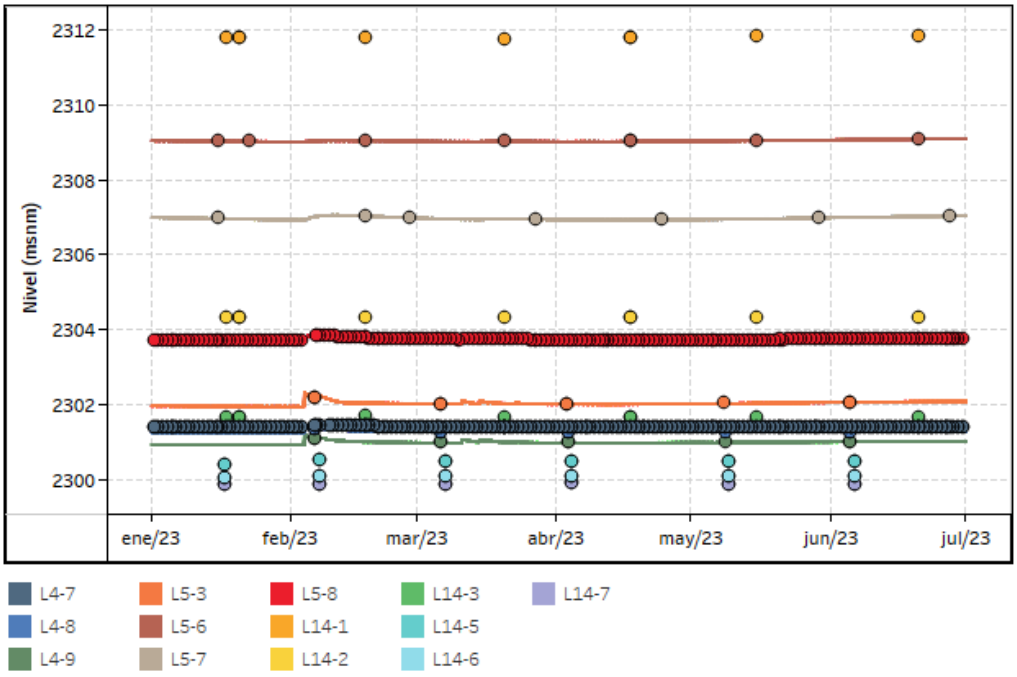
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L4-7	31	25	31	30	31	30	2	3	3	2	3	4
L4-8		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L4-9		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L5-3		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L5-6				1			2	1	1	1	1	1
L5-7							1	2	1	1	1	1
L5-8	31	26	31	30	31	30	2	4	3	4	4	4
L14-1	1			1			2	1	1	1	1	1
L14-2	1			1			2	1	1	1	1	1
L14-3	1			1			2	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 5-25: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Aguas de Quelana – área del pozo Socaire-5



*(El Pozo L4-7 contiene 24.234 valores no validados entre 01/01/2023 y 27/06/2023)
*(El Pozo L4-8 contiene 23 valores no validados entre 06/02/2023 y 06/02/2023)
*(El Pozo L4-9 contiene 1 valores no validados entre 16/04/2023 y 16/04/2023)
*(El Pozo L5-3 contiene 3 valores no validados entre 14/02/2023 y 25/06/2023)
*(El Pozo L5-6 contiene 7 valores no validados entre 07/04/2023 y 12/06/2023)
*(El Pozo L5-7 contiene 11 valores no validados entre 05/01/2023 y 13/06/2023)
*(El Pozo L5-8 contiene 30.032 valores no validados entre 15/01/2023 y 24/06/2023)

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 primer 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 incorporó mediciones complementarias a las que realiza SQM cada mes para la mayoría de los pozos. En la Figura 5-26 se presentan gráficamente los niveles resultantes del monitoreo tanto comprometido como del adicional, así como todas las mediciones manuales y continuas, donde estos últimos presentan outliers en los pozos L3-9, L3-10, y L3-13 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 se tiene 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

L3-9		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Máx
Ene 2023	2.300,329	2.300,329
Feb 2023	2.300,333	2.300,334
Mar 2023	2.300,346	2.300,347
Abr 2023	2.300,346	2.300,346
May 2023	2.300,334	2.300,334
Jun 2023	2.300,327	2.300,328

L3-11		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.300,207	2.300,208
Feb 2023	2.300,210	2.300,211
Mar 2023	2.300,218	2.300,219
Abr 2023	2.300,219	2.300,219
May 2023	2.300,213	2.300,213
Jun 2023	2.300,205	2.300,207

L13-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 10:01	2.300,469
7/2/23 12:45	2.300,480
7/3/23 12:36	2.300,487
4/4/23 14:53	2.300,485
9/5/23 13:24	2.300,469
6/6/23 13:18	2.300,462

L13-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 10:07	2.300,148
7/2/23 12:57	2.300,163
7/3/23 12:27	2.300,173
4/4/23 14:47	2.300,177
9/5/23 13:31	2.300,163
6/6/23 13:28	2.300,156

L13-7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 10:54	2.299,887
23/1/23 12:00	2.299,889 *
20/2/23 15:06	2.299,936
21/3/23 13:28	2.299,920
20/4/23 14:42	2.299,919
16/5/23 12:36	2.299,902
22/6/23 11:36	2.299,889

L3-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 10:54	2.300,263
7/2/23 12:16	2.300,264
7/3/23 13:06	2.300,273
4/4/23 15:29	2.300,275
9/5/23 13:07	2.300,264
6/6/23 13:01	2.300,258

L3-8	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 11:11	2.300,352
7/2/23 12:06	2.300,358
7/3/23 12:50	2.300,378
4/4/23 15:05	2.300,376
9/5/23 13:15	2.300,358
6/6/23 13:09	2.300,354

L3-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 10:35	2.300,158
7/2/23 12:26	2.300,166
7/3/23 13:19	2.300,167
4/4/23 15:41	2.300,170
9/5/23 12:59	2.300,163
6/6/23 12:53	2.300,157

L3-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 10:30	2.300,123
7/2/23 12:31	2.300,140
7/3/23 13:27	2.300,141
4/4/23 15:51	2.300,140
9/5/23 12:55	2.300,134
6/6/23 12:48	2.300,128

L3-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/1/23 11:50	2.299,729
20/2/23 14:55	2.299,768
21/3/23 13:15	2.299,748
20/4/23 14:50	2.299,746
16/5/23 12:28	2.299,731
22/6/23 11:25	2.299,721

L3-9		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Máx
Ene 2023	2.300,329	2.300,329
Feb 2023	2.300,333	2.300,333
Mar 2023	2.300,346	2.300,346
Abr 2023	2.300,346	2.300,346
May 2023	2.300,334	2.300,334
Jun 2023	2.300,327	2.300,327

L3-11		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.300,208	2.300,208
Feb 2023	2.300,210	2.300,210
Mar 2023	2.300,218	2.300,218
Abr 2023	2.300,219	2.300,219
May 2023	2.300,213	2.300,213
Jun 2023	2.300,205	2.300,205

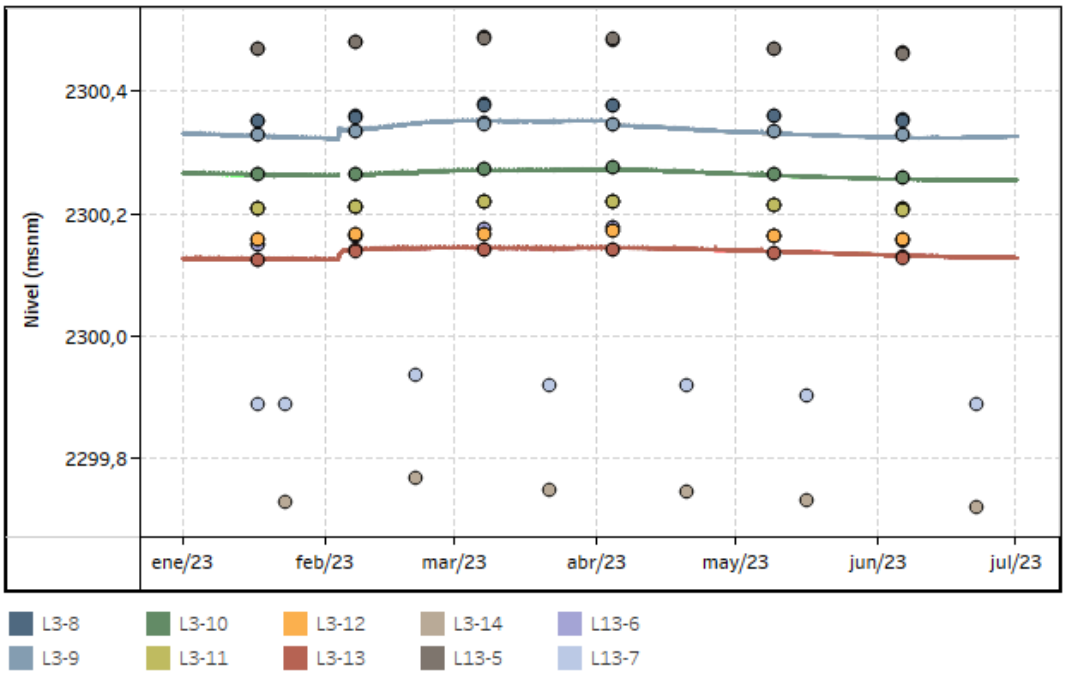
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L3-8	1	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	1
L3-14							1	1	1	1	1	1
L13-5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L13-6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L13-7							2	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 Camar-2 al oeste de los cuerpos de agua



*(El Pozo L3-9 contiene 296 valores no validados entre 01/01/2023 y 30/06/2023)
*(El Pozo L3-10 contiene 6.073 valores no validados entre 17/01/2023 y 04/04/2023)
*(El Pozo L3-13 contiene 2 valores no validados entre 17/01/2023 y 17/01/2023)

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. 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 primer semestre de 2023, y en la Tabla 5-42 se encuentra el detalle del número de mediciones mensuales realizadas por cada empresa en cada pozo. En la Figura 5-27 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.)
17/1/23 12:27	2.298,906
17/2/23 16:37	2.299,138
20/2/23 13:37	2.299,124 *
28/2/23 11:43	2.299,091 *
21/3/23 12:04	2.299,057
27/3/23 16:31	2.299,060 *
17/4/23 17:03	2.299,041
25/4/23 10:52	2.299,016 *
16/5/23 11:32	2.298,983
30/5/23 11:33	2.298,966 *
22/6/23 10:27	2.298,931
28/6/23 11:45	2.298,925 *

L4-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 11:36	2.299,166
23/1/23 11:30	2.299,163 *
20/2/23 14:18	2.299,232
21/3/23 12:44	2.299,244
17/4/23 17:24	2.299,250
16/5/23 12:00	2.299,229
22/6/23 10:58	2.299,225

L4-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 12:24	2.299,677
7/2/23 10:47	2.299,977
7/3/23 11:49	2.299,826
4/4/23 13:19	2.299,840
9/5/23 11:38	2.299,836
6/6/23 11:26	2.299,917

L4-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:25	2.299,541
7/2/23 10:57	2.299,917
7/3/23 11:34	2.299,667
4/4/23 12:32	2.299,676
9/5/23 11:47	2.299,652
6/6/23 11:36	2.299,690

L4-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:31	2.299,591
7/2/23 11:04	2.299,933
7/3/23 11:28	2.299,702
4/4/23 12:23	2.299,707
9/5/23 11:51	2.299,686
6/6/23 11:40	2.299,707

L4-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
23/1/23 11:33	2.299,348
20/2/23 14:24	2.299,461
21/3/23 12:47	2.299,457
17/4/23 17:29	2.299,446
16/5/23 12:05	2.299,430
22/6/23 11:03	2.299,437

L5-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 14:36	2.299,832
7/2/23 10:05	2.299,968
7/3/23 10:24	2.299,938
4/4/23 11:35	2.299,932
9/5/23 10:55	2.299,918
6/6/23 10:37	2.299,922

L5-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 14:41	2.299,729
7/2/23 10:09	2.299,789
7/3/23 10:16	2.299,813
4/4/23 11:24	2.299,811
9/5/23 11:00	2.299,794
6/6/23 10:40	2.299,789

L5-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 14:47	2.299,729
7/2/23 10:15	2.299,794
7/3/23 10:10	2.299,819
4/4/23 11:18	2.299,817
9/5/23 11:04	2.299,799
6/6/23 12:00	2.299,792

L5-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 14:56	2.299,551
7/2/23 10:20	2.299,614
7/3/23 10:55	2.299,649
4/4/23 11:11	2.299,663
9/5/23 11:08	2.299,636
6/6/23 10:51	2.299,628

L5-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 15:06	2.299,452
7/2/23 10:25	2.299,530
7/3/23 10:01	2.299,569
4/4/23 10:59	2.299,571
9/5/23 11:13	2.299,543
6/6/23 10:56	2.299,529

L5-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:56	2.299,989
7/2/23 09:57	2.300,394
7/3/23 10:43	2.300,122
4/4/23 11:52	2.300,102
9/5/23 10:49	2.300,079
6/6/23 10:26	2.300,085

L4-12		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.299,623	2.299,623
Feb 2023	2.299,960	2.299,960
Mar 2023	2.299,744	2.299,744
Abr 2023	2.299,749	2.299,749
May 2023	2.299,724	2.299,724
Jun 2023	2.299,774	2.299,774

L5-10		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.299,883	2.299,883
Feb 2023	2.299,980	2.299,980
Mar 2023	2.299,977	2.299,977
Abr 2023	2.299,967	2.299,967
May 2023	2.299,951	2.299,951
Jun 2023	2.299,951	2.299,951

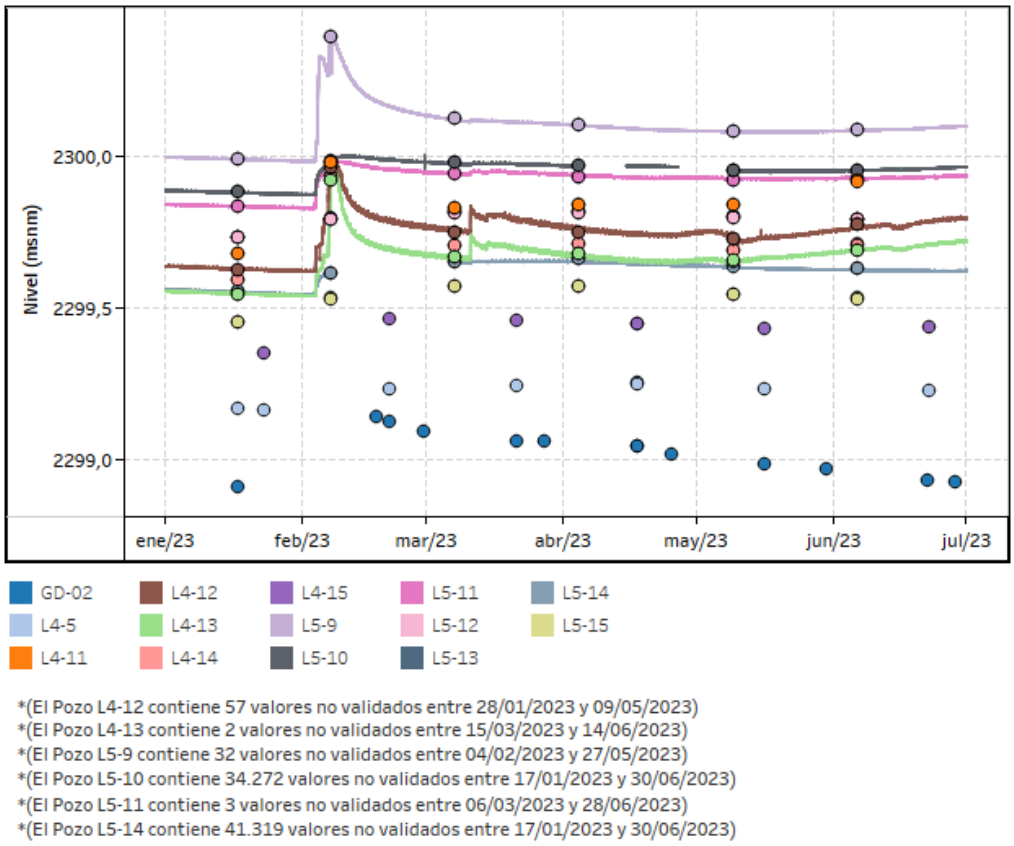
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

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

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
GD-02				1			1	3	2	2	2	2
L4-5				1			2	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	2	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	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	2	1
L5-11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L5-12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L5-13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L5-14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L5-15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-27: 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



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 indicar que ninguno se encuentra dentro de la reserva, y que ninguno es indicador de estado. Ninguno de estos pozos cuenta con mediciones continuas.

El resultado del monitoreo manual comprometido para el primer 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 mediciones adicionales por parte de SEGEA durante enero para el pozo L4-6 y en abril para los pozos D-2, L4-16, L4-6, L5-4 y SOPM-9. En la Figura 5-28 se muestra gráficamente el resultado completo del semestre, incluyendo las mediciones comprometidas como las adicionales.

Como puede verse, el monitoreo para el primer semestre 2023 de 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.)
17/1/23 12:19	2.298,772
22/1/23 12:13	2.298,771 *
20/2/23 13:27	2.298,996
28/2/23 11:24	2.298,961 *
21/3/23 11:53	2.298,922
28/3/23 12:08	2.298,928 *
17/4/23 16:53	2.298,921
25/4/23 10:38	2.298,885 *
16/5/23 11:24	2.298,853
30/5/23 11:16	2.298,833 *
22/6/23 10:17	2.298,796
28/6/23 11:30	2.298,790 *

L4-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 11:30	2.298,740
22/1/23 11:57	2.298,739 *
20/2/23 14:09	2.298,889
21/3/23 12:39	2.298,855
17/4/23 17:18	2.298,860
16/5/23 11:54	2.298,818
22/6/23 10:54	2.298,769

L4-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 09:53	2.298,681
18/1/23 12:37	2.298,685 *
20/2/23 13:59	2.298,877
21/3/23 12:28	2.298,820
18/4/23 13:48	2.298,819
16/5/23 11:45	2.298,761
22/6/23 10:44	2.298,700

L5-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 12:23	2.298,758
17/2/23 16:04	2.298,998
20/2/23 13:33	2.298,978 *
28/2/23 11:33	2.298,941 *
21/3/23 11:58	2.298,906
27/3/23 16:22	2.298,911 *
17/4/23 16:57	2.298,898
25/4/23 10:46	2.298,871 *
16/5/23 11:28	2.298,837
30/5/23 11:24	2.298,821 *
22/6/23 10:23	2.298,786
28/6/23 11:38	2.298,781 *

SOPM-8 (L3-4)	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
22/1/23 11:46	2.298,558
20/2/23 14:41	2.298,845
21/3/23 13:02	2.298,696
20/4/23 15:02	2.298,680
16/5/23 12:17	2.298,632
20/6/23 14:16	2.298,588

SOPM-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 12:14	2.298,750
22/1/23 12:08	2.298,752 *
20/2/23 13:46	2.298,949
28/2/23 11:12	2.298,914 *
21/3/23 12:18	2.298,880
28/3/23 12:16	2.298,882 *
17/4/23 16:48	2.298,894
25/4/23 10:29	2.298,853 *
16/5/23 11:19	2.298,820
30/5/23 11:45	2.298,800 *
20/6/23 14:26	2.298,778
28/6/23 11:21	2.298,757 *

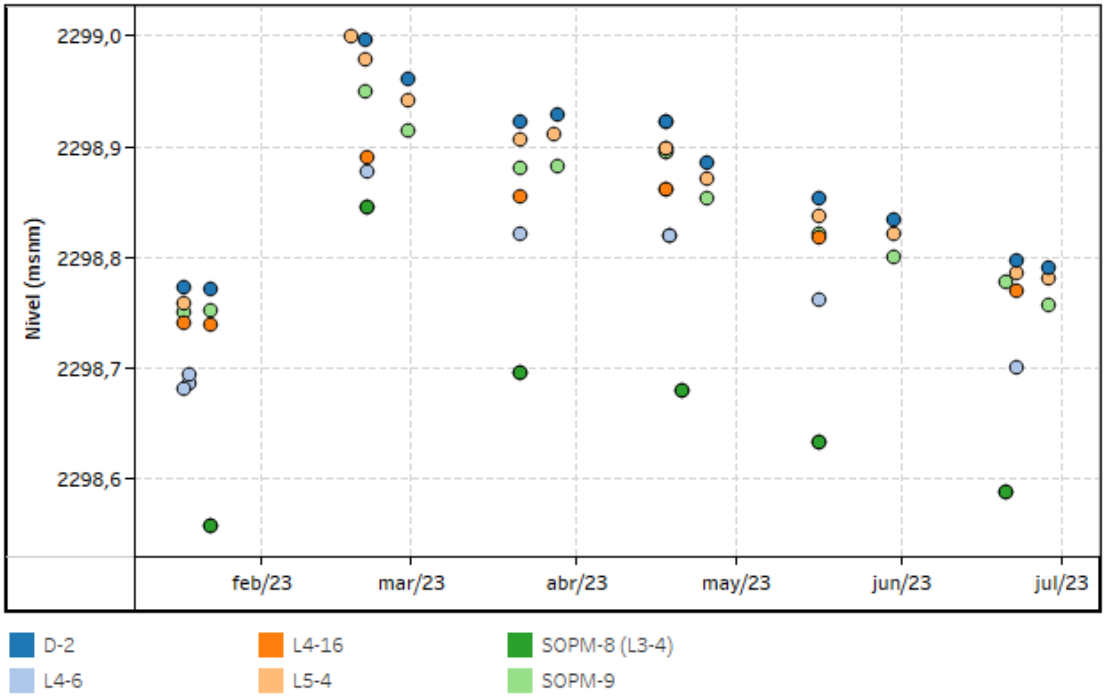
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la SQM en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de ETFA.

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

	SEGEA		SQM					
	01/23	04/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
D-2		1	2	2	2	2	2	2
L4-6	1	1	2	1	1	1	1	1
L4-16		1	2	1	1	1	1	1
L5-4		1	1	3	2	2	2	2
SOPM-8 (L3-4)			1	1	1	1	1	1
SOPM-9		1	2	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-28: 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 (ver Figura 4-8), 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 del PSAH, 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 SQM para pozos PSAH y la ETFA en los indicadores de estado.

En la Tabla 5-45 se presenta el resultado del monitoreo manual comprometido del primer semestre de 2023, en la Tabla 5-46 se muestra el recuento de mediciones realizadas por SQM, y de forma complementaria la ETFA en pozos PSAH para cada mes. Finalmente, en la Figura 5-29 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 dispone de solo ocho mediciones semestrales realizadas por la ETFA aun cuando al ser indicador de estado debiera tener una medida diaria. Esta incapacidad de medir se debe a la restricción de acceso a RNF. Esta situación restringe además la medición para los pozos L3-7, L5-G3 Pozo, L5-G3 Reglilla, L13-4 y L14-4.

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

L13-4	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 15:45	2.301,552
6/3/23 13:27	2.301,456
3/4/23 13:17	2.301,448
8/5/23 14:14	2.301,469
5/6/23 13:33	2.301,513

L14-4	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 14:10	2.301,035
6/3/23 12:08	2.300,900
3/4/23 12:26	2.300,931
8/5/23 12:26	2.300,873
5/6/23 12:21	2.300,845

L3-7	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 14:56	2.301,327
6/3/23 12:48	2.301,138
3/4/23 15:19	2.301,147
8/5/23 13:04	2.300,347
5/6/23 12:46	2.301,206

L5-G3 POZO	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 10:50	2.300,723
6/3/23 10:13	2.300,670
3/4/23 11:41	2.300,700
8/5/23 11:01	2.300,705
5/6/23 09:26	2.300,718

L5-G3 REGLILLA	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 10:56	2.300,725
6/3/23 10:19	2.300,684
3/4/23 11:41	2.300,703
8/5/23 11:02	2.300,709
5/6/23 09:30	2.300,719

L4-10		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Ene 2023	S/I	S/I
Feb 2023	2.300,691	2.300,691
Mar 2023	2.300,661	2.300,661
Abr 2023	2.300,673	2.300,673
May 2023	2.300,684	2.300,684
Jun 2023	S/I	S/I

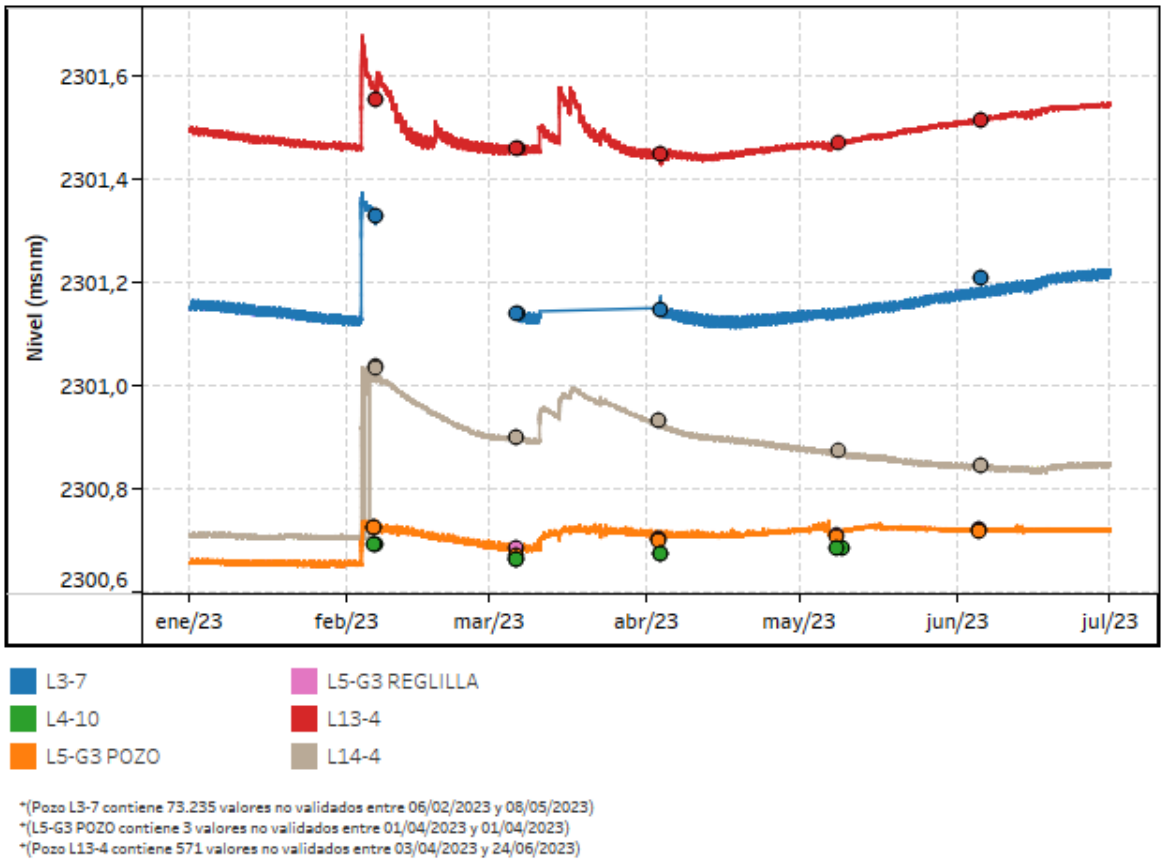
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

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

	SEGEA						SQM					
	1/23	2/23	3/23	4/23	5/23	6/23	1/23	2/23	3/23	4/23	5/23	6/23
L3-7		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L4-10		2	2	2	2			2	2	2	2	
L5-G3 POZO		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L5-G3 REGLILLA		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L13-4		1	1	1		1		1	1	1	1	1
L14-4		1	1	1		1		1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-29: Nivel observado (m s.n.m.) en las reglillas del Sistema Aguas de Quelana



*(Pozo L3-7 contiene 73.235 valores no validados entre 06/02/2023 y 08/05/2023)
*(L5-G3 POZO contiene 3 valores no validados entre 01/04/2023 y 01/04/2023)
*(Pozo L13-4 contiene 571 valores no validados entre 03/04/2023 y 24/06/2023)

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 enero y abril. Para el semestre reportado no se tuvo acceso al interior de RNF por periodo reproductivo de anidación de flamencos, imposibilitando la toma de puntos de control para rectificación de bordes lagunares. No obstante, se pudo acceder a cuerpos dispersos de agua fuera de la reserva para la imagen de abril 2023 (Figura 5-30). Se debe destacar, que producto de la dispersión, reducido tamaño y alta variación espacial en los cuerpos de agua dispersos no es viable la realización de estacas perimetrales ni levantamiento de perímetro lagunar con GNSS diferencial.

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

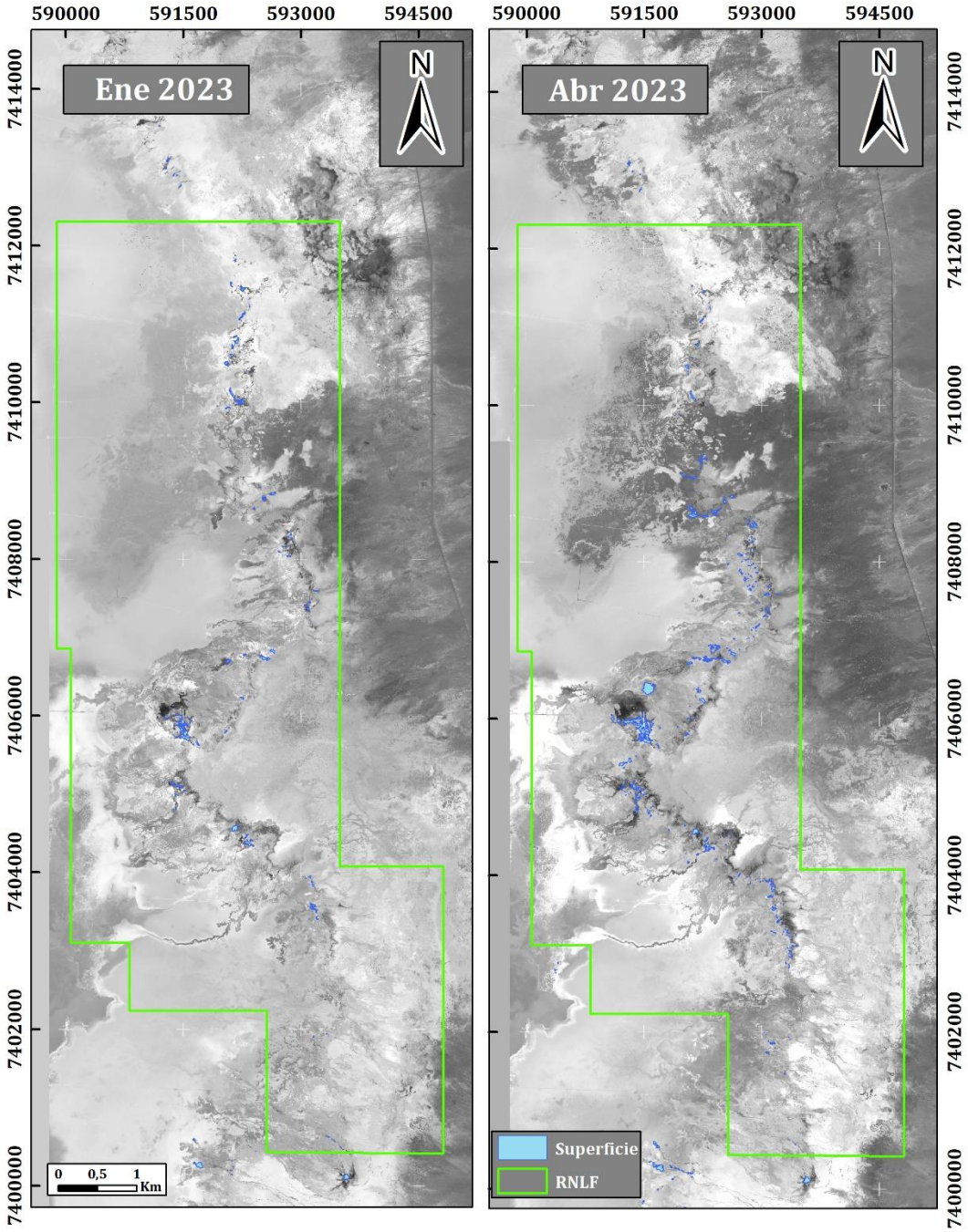
Tabla 5-47: Superficie lacustre para el primer semestre del año 2023 en Aguas de Quelana (SRGIS, 2023).

Periodo de medición	Responsable	Metodología	Sistema Lacustre de Aguas de Quelana [m2]
Enero 2023	SRGIS	Imagen Satelital	74.268
Abril 2023	SRGIS	Imagen Satelital	165.850

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en un mapa las delimitaciones lacustres (Figura 5-30).

Figura 5-30: Mapas de extensión lagunar en Aguas de Quelana en enero (izquierda) y abril (derecha) a misma escala.



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

5.1.3.3 Caudal bombeado

En el sector aluvial del Sistema Aguas de Quelana es posible extraer agua industrial únicamente desde el pozo Socaire-5. Tal como se ha indicado en informes PSAH anteriores (informe PSAH N°30, N°31 y N°32) 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-041-2016. Así, los caudales medios mensuales extraídos del pozo Socaire-5 durante el período del primer semestre 2023 se presentan en la Tabla 5-48 y Figura 5-31.

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.

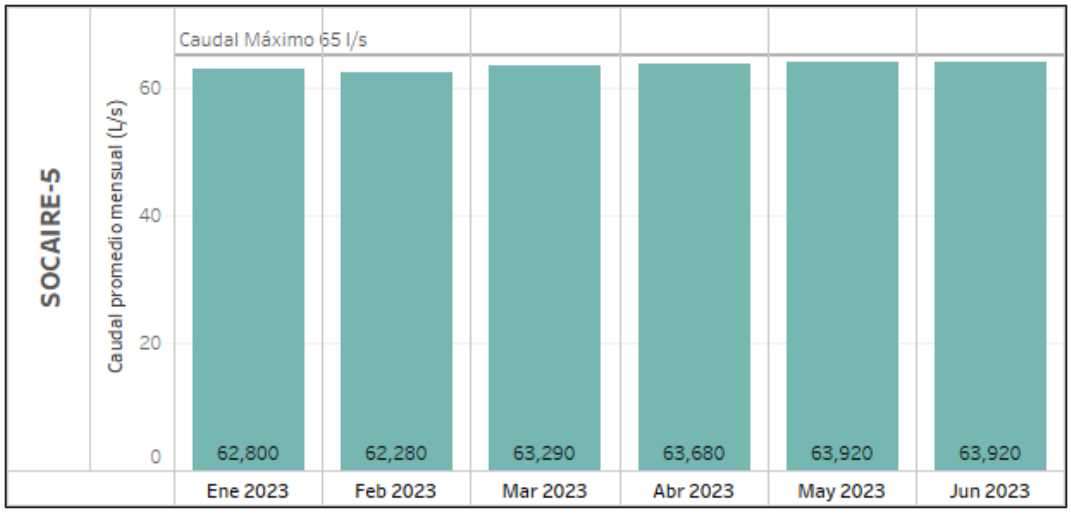
Como se observa, el flujo de extracción se mantuvo por debajo de los máximos establecidos en la autorización ambiental del pozo Socaire-5, con un promedio semestral de 63,31 L/s.

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	Ene 2023	01/01/2023	01/01/2023	S5P800409	1.439.598	1.439.598	0	62,80
			01/02/2023	S5P800409	1.439.598	1.607.796	168.198	62,80
	Feb 2023	01/02/2023	01/03/2023	S5P800409	1.607.796	1.758.458	150.662	62,28
	Mar 2023	01/03/2023	02/03/2023	S5P800409	1.758.458	1.766.426	7.968	63,29
		02/03/2023	01/04/2023	A22031949	0	161.560	161.560	63,29
	Abr 2023	01/04/2023	01/05/2023	A22031949	161.560	326.620	165.060	63,68
	May 2023	01/05/2023	01/06/2023	A22031949	326.620	497.835	171.215	63,92
	Jun 2023	01/06/2023	01/07/2023	A22031949	497.835	663.519	165.684	63,92

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-31: Caudal medio mensual bombeado desde el Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Aguas de Quelana durante el primer semestre de 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 4-8 de la sección 4.3.2 y el Anexo 2 se 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 primer 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 (enero[33] y abril), a los pozos de monitoreo en el primer semestre del año. La representación gráfica de estos resultados se presenta en la Figura 5-32.

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

[33] Las mediciones que no se lograron realizar durante enero por restricción de acceso se logró obtener permiso para realizar el muestreo trimestral durante febrero de 2023.

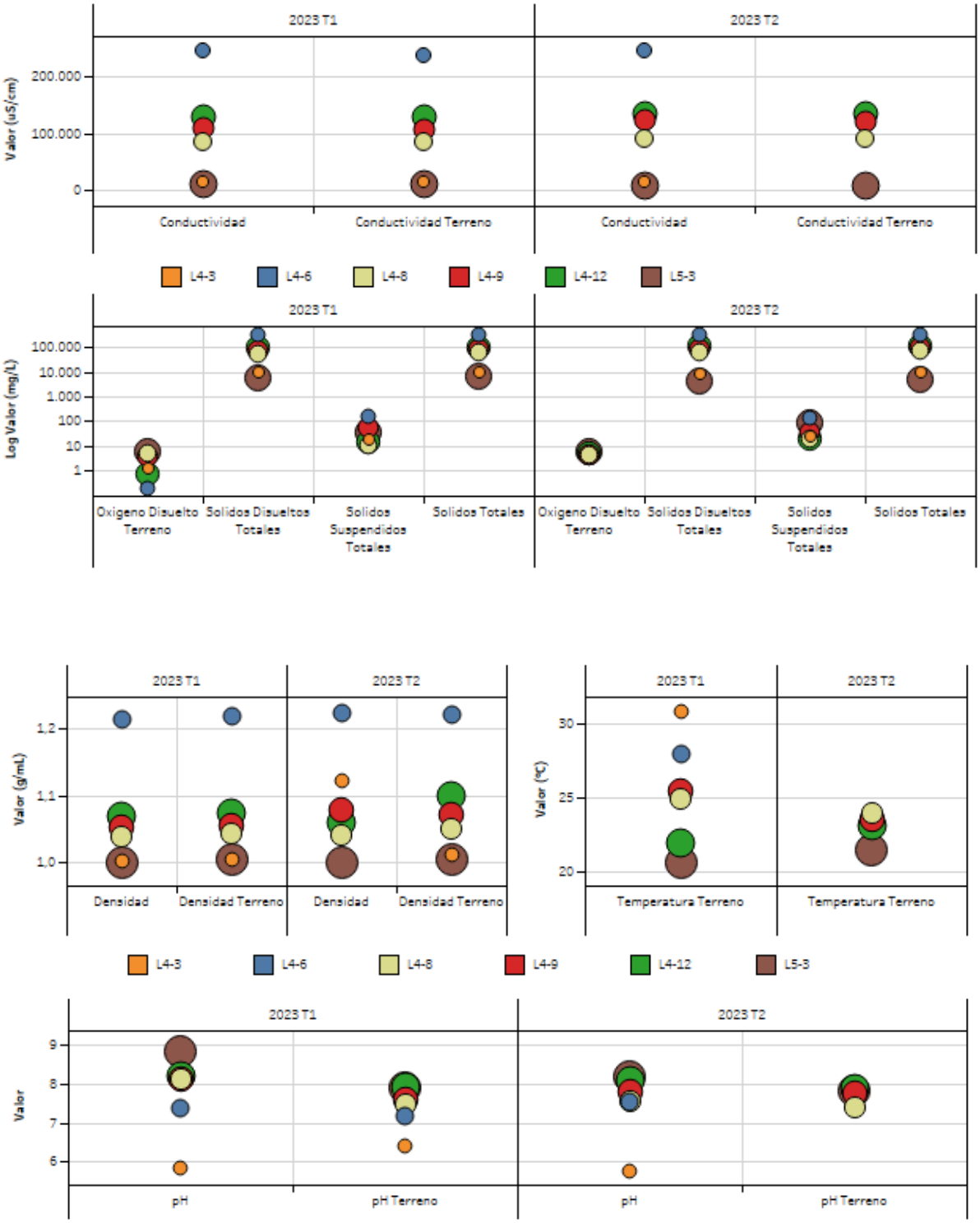
Tabla 5-49: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana

Parámetro	L4-3		L4-6		L4-8		
	enero	abril	enero	abril	enero	febrero	abril
Conductividad (uS/cm)	16.130	15.800	244.000	245.000	-	86.400	91.900
Conductividad Terreno (uS/cm)	16.170	-	237.900	-	-	83.900	91.400
Densidad (g/mL)	1,003	1,121	1,212	1,222		1,038	1,040
Densidad Terreno (g/mL)	1,005	1,011	1,218	1,220		1,042	1,050
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	1,21		0,21			5,07	4,49
pH ()	5,82	5,75	7,36	7,53		8,09	7,56
pH Terreno ()	6,38		7,16			7,48	7,39
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	9.740	9.200	338.885	330.975	-	60.300	68.385
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	18	27	161	139	-	12	20
Sólidos Totales (mg/L)	10.150	10.150	358.510	341.830	-	69.600	78.160
Temperatura Terreno (°C)	30,8		27,9			24,9	23,9

Parámetro	L4-9			L4-12		L5-3		
	enero	febrero	abril	enero	abril	enero	febrero	abril
Conductividad (uS/cm)	-	108.800	121.700	128.800	134.700	-	10.570	7.280
Conductividad Terreno (uS/cm)	-	105.900	120.100	127.800	133.300	-	10.690	7.340
Densidad (g/mL)		1,053	1,079	1,069	1,060		1,000	1,000
Densidad Terreno (g/mL)		1,054	1,070	1,074	1,100		1,004	1,005
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)		4,06	4,90	0,73	5,09		6,56	5,97
pH ()		8,12	7,80	8,19	8,05		8,81	8,18
pH Terreno ()		7,58	7,73	7,90	7,88		7,89	7,79
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	-	73.700	93.050	108.655	116.695	-	6.268	4.240
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	-	59	35	15	21	-	38	94
Sólidos Totales (mg/L)	-	89.000	107.620	108.635	116.050	-	6.752	4.825
Temperatura Terreno (°C)		25,4	23,5	21,9	23,1		20,6	21,4

pH() se presenta sin unidad de medida ya que es una medida adimensional. Fuente: Elaboración propia

Figura 5-32: Resultados calidad del agua Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

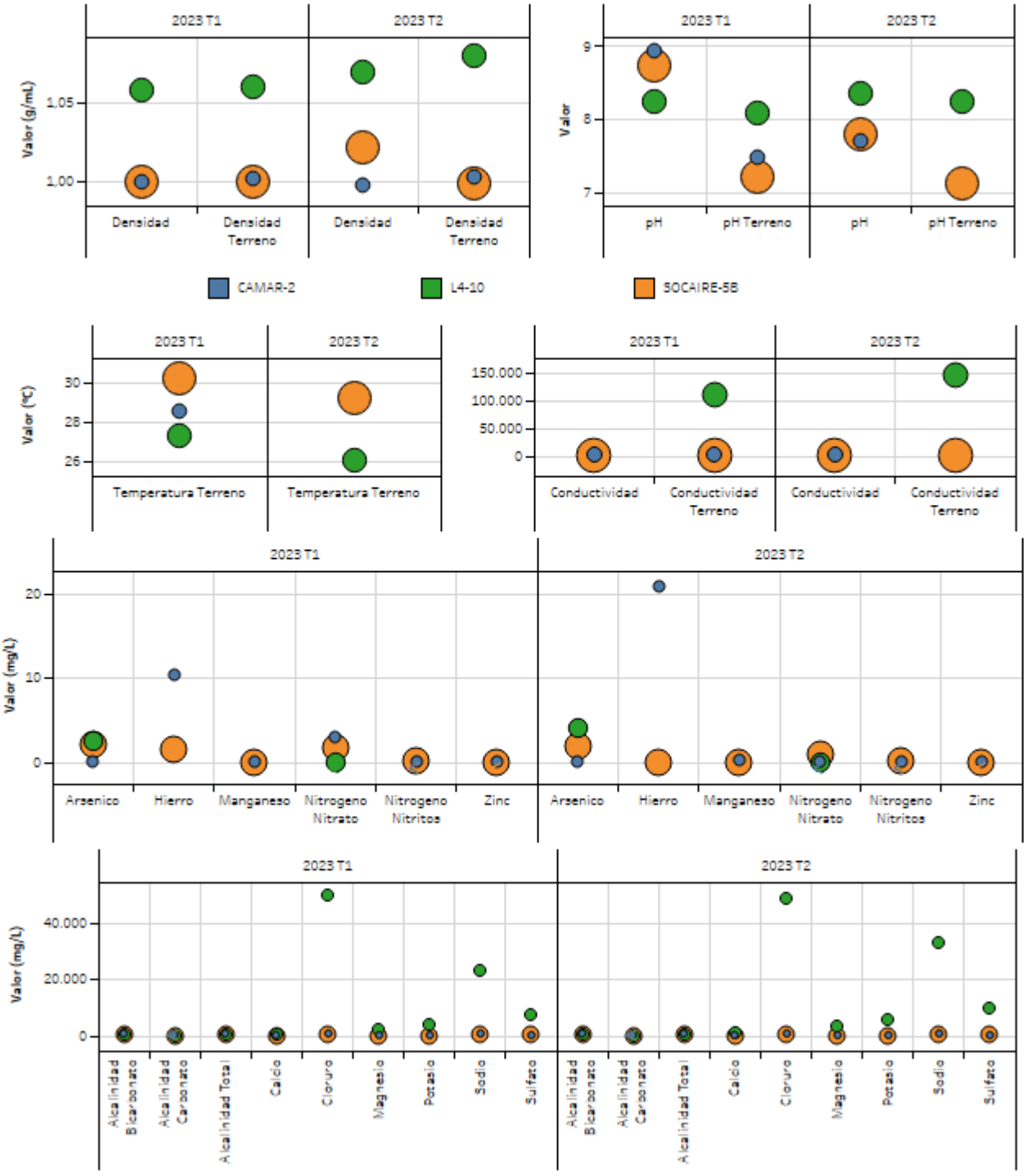
A continuación, en la Tabla 5-50 se presentan los resultados del monitoreo de calidad para el primer semestre de 2023 en los pozos de Socaire-5B, Camar-2 y L4-10. Dado que la ETFA que mide los parámetros fisicoquímicos de terreno perdió la autorización durante abril, (información descrita en la sección 5.1.1),los parámetros de temperatura de terreno, pH de terreno, conductividad de terreno y oxígeno disuelto de terreno no se presentan en la tabla inferior. Sin embargo, son entregados de forma tabulada según RES 894/2019 de la SMA, en el Anexo 6.2.

Tabla 5-50: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo SOCAIRE-5B, Camar-2 y L4-10

	CAMAR-2		L4-10			SOCAIRE-5B	
Parámetro	enero	abril	enero	febrero	abril	enero	abril
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	540	533	-	462	493	368	441
Arsénico (mg/L)	0,102	0,020		2,423	3,985	2,117	1,843
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	540	533	-	462	493	368	441
Calcio (mg/L)	43	118	-	669	775	100	92
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1		<1	<1	<1	<1
Cloruro (mg/L)	815	756	-	49.885	48.623	417	410
Conductividad (uS/cm)	4.020	3.950	-	-	-	2.710	2.720
Conductividad Terreno (uS/cm)	4.039	-	-	109.900	145.600	2.876	2.730
Densidad (g/mL)	1,000	0,998		1,058	1,069	1,000	1,022
Densidad Terreno (g/mL)	1,002	1,003		1,060	1,080	1,000	0,999
Dureza Total (mg/L)	-	-	-	9.630	16.615	-	-
Fosforo (mg/L)							
Hierro (mg/L)	10,347	20,912				1,603	0,013
Magnesio (mg/L)	111	117	-	2.081	3.142	48	44
Manganeso (mg/L)	0,104	0,292				0,004	0,001
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<2,90	<0,05		<0,05	<0,05	<1,65	<0,91
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<0,09	<0,09				<0,09	<0,09
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	1,71			2,23	12,41	2,73	5,41
pH ()	8,91	7,71		8,24	8,34	8,71	7,78
pH Terreno ()	7,47			8,08	8,22	7,22	7,14
Potasio (mg/L)	28	32	-	3.892	5.469	31	27
Salinidad (%)	-	-	-	42	42	-	-
Sodio (mg/L)	510	516	-	23.256	33.070	384	352
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2.254	2.520	-	87.100	133.775	1.446	1.772
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	-	-	-	33	158	-	-
Sólidos Totales (mg/L)	-	-	-	97.750	138.615	-	-
Sulfato (mg/L)	380	428	-	7.421	9.611	328	442
Temperatura Terreno (°C)	28,5			27,3	26,1	30,2	29,2
Zinc (mg/L)	0,006	0,010				0,001	0,001

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-33: Resultados del análisis fisicoquímico en Camar- 2, L4-10 y Socaire-5B



Fuente: Elaboración propia. * Los valores <LD se representan como = LD. El color 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 primer 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 del primer semestre 2023. Recordar, que tanto los puntos Camar-2 y Socaire-5B son clasificados como Calidad 4 en la Tabla 4-2, por lo que, los parámetros para calcular el balance de masa no son compromiso para estos puntos según RCA 226/2006.

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

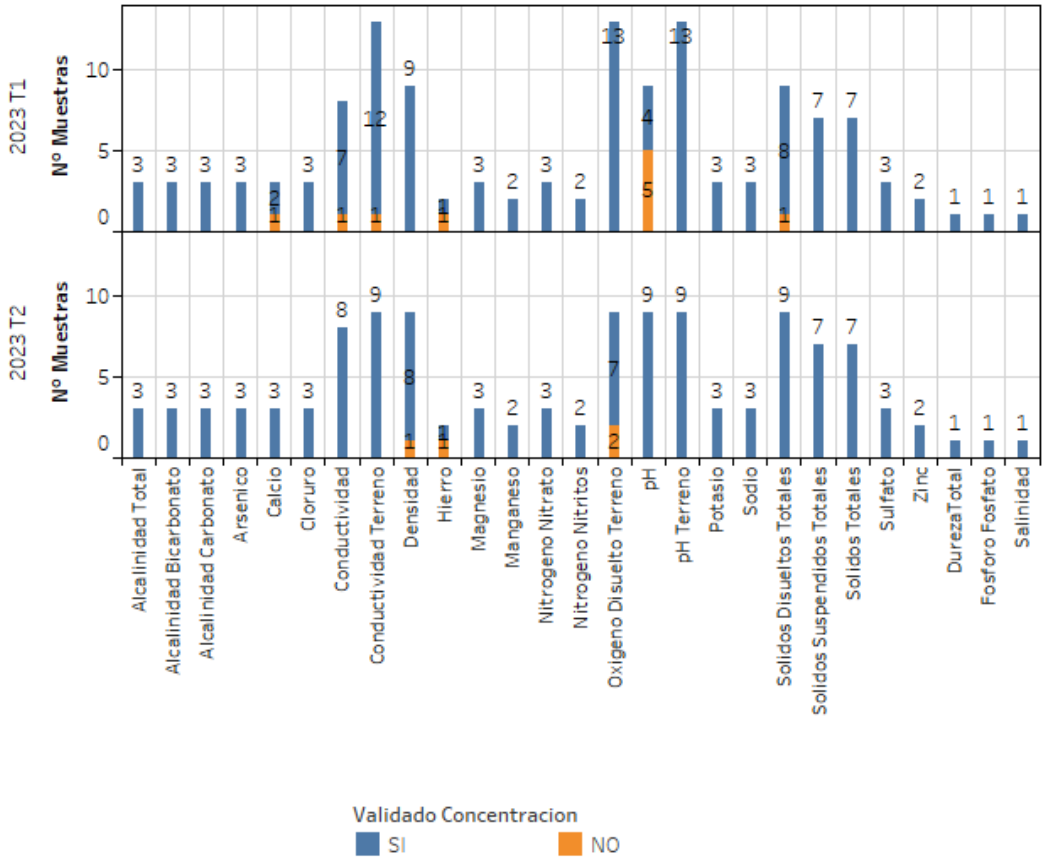
Tabla 5-51: Resultados de la validación en el sistema Aguas de Quelana

Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
1	CAMAR-2	NA*	9,5
	L4-3	-3,9	NA*
	L4-6	-5,4	NA*
	L4-8	-13,3	NA*
	L4-9	-17,1	NA*
	L4-10	-10,9	8,8
	L4-12	NA*	NA*
	L5-3	-6,6	NA*
	SOCAIRE-5B	NA*	1,0
2	CAMAR-2	NA*	1,8
	L4-3	-9,1	NA*
	L4-6	-3,1	NA*
	L4-8	-12,5	NA*
	L4-9	-13,5	NA*
	L4-10	-3,4	8,5
	L4-12	0,6	NA*
	L5-3	-10,2	NA*
	SOCAIRE-5B	NA*	NA*

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

Respecto a la validación por concentraciones (ver capítulo 4.5.8), en la Figura 5-34 se observa que durante los ambos trimestres se registraron 14 desviaciones. Esto implica que la desviación de los analitos con respecto a desviaciones semestrales representa solo un 5,55 % del total de 252 análisis en el sistema Aguas de Quelana durante el primer semestre de 2023.

Figura 5-34: 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 primer 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 4-9 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 Este ya fueron presentado 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 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 enero y abril que son parte de las mediciones que se realizan de manera voluntaria. Así, en la Figura 5-35[34] se muestra gráfica el resultado de los niveles medidos en el presente semestre reportado.

Como puede verse, en primer 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. Así, los indicadores cuentan con las mediciones diarias comprometidas.

[34] L2-26*, L9-1* y L9-2* contienen mediciones de SQM en la figura. Esto para mostrar continuidad de la ubicación y medición de los pozos en cuestión.

Tabla 5-52: Registro de niveles zona aluvial del sistema Vegetación Borde Este

CA-2015	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
19/1/23 10:33	2.304,259
17/2/23 12:17	2.311,860
27/2/23 13:32	2.304,144 *
27/3/23 15:33	2.311,846
24/4/23 16:56	2.304,192
11/5/23 12:38	2.304,095
25/5/23 14:19	2.304,080 *
29/5/23 11:56	2.304,111 *
3/6/23 10:05	2.304,090
27/6/23 11:45	2.304,064 *

L3-16	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
20/1/23 13:19	2.321,622
17/2/23 12:18	2.321,614
20/3/23 12:13	2.321,613
17/4/23 10:31	2.321,611
15/5/23 09:59	2.321,604
20/6/23 09:43	2.321,613

P2	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
14/1/23 15:25	2.311,967
19/1/23 10:54	2.311,950 *
17/2/23 12:23	2.312,330
27/3/23 15:26	2.312,301
24/4/23 17:21	2.311,955
11/5/23 12:42	2.311,921
25/5/23 14:23	2.311,913 *
29/5/23 12:13	2.311,915 *
3/6/23 10:09	2.311,909
27/6/23 11:50	2.311,905 *

L7-15	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
9/1/23 09:44	2.329,335
14/2/23 11:13	2.329,354
13/3/23 10:19	2.329,404
30/3/23 16:03	2.329,415 *
10/4/23 10:33	2.329,374
20/4/23 12:40	2.329,376 *
8/5/23 10:32	2.329,368
18/5/23 11:46	2.329,389 *
12/6/23 10:28	2.329,406
15/6/23 13:21	2.329,397 *

L7-13		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Ene 2023	2.323,180	2.323,184
Feb 2023	2.323,178	2.323,185
Mar 2023	2.323,184	2.323,190
Abr 2023	2.323,187	2.323,193
May 2023	2.323,186	2.323,193
Jun 2023	2.323,190	2.323,200

L2-26		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Ene 2023	2.318,282	2.318,297
Feb 2023	2.318,280	2.318,335
Mar 2023	2.318,334	2.318,352
Abr 2023	2.318,351	2.318,361
May 2023	2.318,351	2.318,361
Jun 2023	2.318,343	2.318,353

L9-1		
Mes	**Nivel (m s.n.m.)**	
	Mín	Max
Ene 2023	2.309,681	2.309,696
Feb 2023	2.309,678	2.309,696
Mar 2023	2.309,661	2.309,680
Abr 2023	2.309,641	2.309,662
May 2023	2.309,630	2.309,646
Jun 2023	2.309,633	2.309,637

L9-2		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.308,887	2.308,908
Feb 2023	2.308,880	2.308,898
Mar 2023	2.308,861	2.308,880
Abr 2023	2.308,843	2.308,860
May 2023	2.308,835	2.308,844
Jun 2023	2.308,836	2.308,845

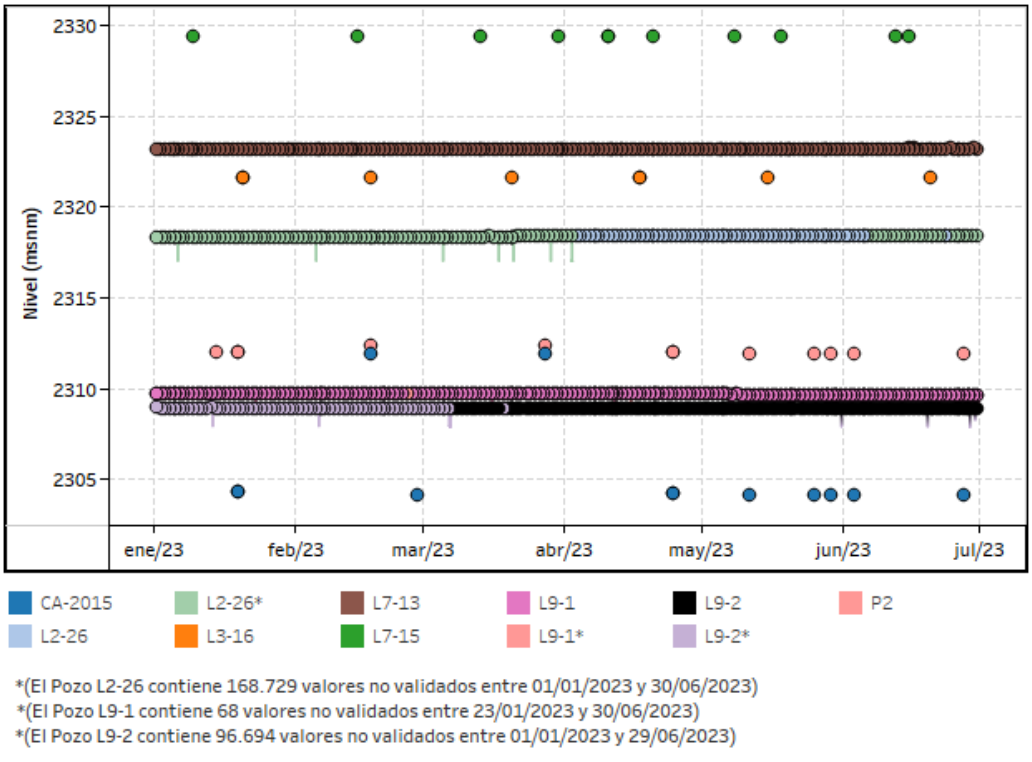
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. (*) corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

Tabla 5-53: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
CA-2015	1			1			1	2	1	1	3	2
L2-26	31	28	31	30	31	30	1	3	2	2	3	4
L3-16	1			1			1	1	1	1	1	1
L7-13	31	28	31	30	31	30	3	3	5	4	5	5
L7-15				1			1	1	2	2	2	2
L9-1	31	28	31	30	31	30	1	2	2	4	4	4
L9-2	31	28	31	30	31	30	1	2	2	4	4	4
P2	1			1			2	1	1	1	3	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-35: 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 indicar que ninguno de ellos se encuentra dentro de la reserva, y que ninguno dispone de medición continua y finalmente, se hace presente que los siete corresponden a indicadores de estado.

En la Tabla 5-54 se muestra el resultado del monitoreo manual efectuado en este primer 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 5-36 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 SMA. De la misma forma que en todos los anteriores casos, estos puntos han sido adicionalmente medidos por SQM desde esta fecha con al menos 1 dato mensual.

Tabla 5-54: Registro de niveles zona marginal del sistema Vegetación Borde Este

L1-17		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.306,475	2.306,589
Feb 2023	2.306,464	2.306,851
Mar 2023	2.306,682	2.306,787
Abr 2023	2.306,676	2.306,709
May 2023	2.306,678	2.306,711
Jun 2023	2.306,711	2.306,747

L2-25		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.308,822	2.308,831
Feb 2023	2.308,822	2.308,890
Mar 2023	2.308,856	2.308,880
Abr 2023	2.308,853	2.308,862
May 2023	2.308,842	2.308,852
Jun 2023	2.308,841	2.308,845

L2-27		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.310,598	2.310,786
Feb 2023	2.310,580	2.311,002
Mar 2023	2.310,788	2.310,921
Abr 2023	2.310,693	2.310,820
May 2023	2.310,672	2.310,716
Jun 2023	2.310,716	2.310,834

L2-28		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.316,162	2.316,261
Feb 2023	2.316,152	2.316,206
Mar 2023	2.316,128	2.316,156
Abr 2023	2.316,126	2.316,147
May 2023	2.316,148	2.316,204
Jun 2023	2.316,204	2.316,260

L3-15		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.315,495	2.315,514
Feb 2023	2.315,493	2.315,509
Mar 2023	2.315,490	2.315,503
Abr 2023	2.315,498	2.315,505
May 2023	2.315,501	2.315,516
Jun 2023	2.315,513	2.315,532

L4-17		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.306,395	2.306,416
Feb 2023	2.306,392	2.306,422
Mar 2023	2.306,397	2.306,414
Abr 2023	2.306,393	2.306,402
May 2023	2.306,392	2.306,410
Jun 2023	2.306,410	2.306,432

L7-14		
Mes	Nivel (m s.n.m.)	
	Mín	Max
Ene 2023	2.315,642	2.315,664
Feb 2023	2.315,639	2.315,713
Mar 2023	2.315,663	2.315,705
Abr 2023	2.315,639	2.315,664
May 2023	2.315,627	2.315,639
Jun 2023	2.315,630	2.315,643

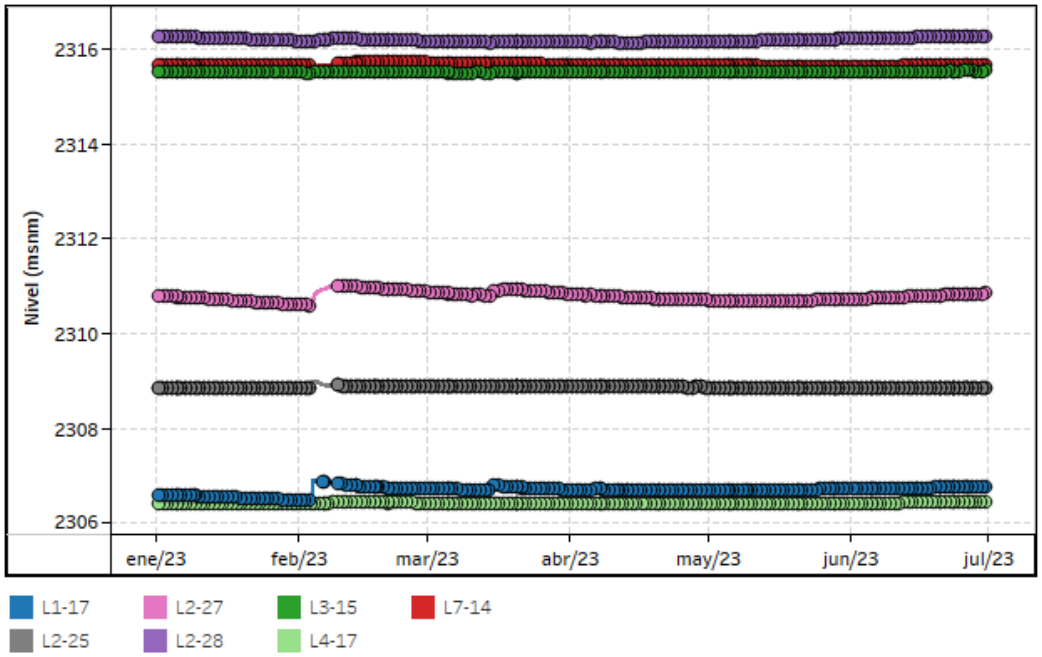
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de SQM.

Tabla 5-55: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L1-17	31	24	31	30	31	30	2	4	4	4	4	5
L2-25	31	23	31	30	31	30	1	2	2	2	3	4
L2-27	31	23	31	30	31	30	1	1	2	2	3	4
L2-28	31	28	31	30	31	30	1	3	2	2	3	4
L3-15	31	28	31	30	31	30	1	3	2	2	3	4
L4-17	31	28	31	30	31	30	1	3	2	2	3	4
L7-14	31	23	31	30	31	30	3	2	5	4	5	5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-36: Nivel observado (m s.n.m) en zona marginal del sistema Vegetación Borde Este



*(El Pozo L1-17 contiene 8 valores no validados entre 14/01/2023 y 01/06/2023)
*(El Pozo L2-25 contiene 96 valores no validados entre 07/02/2023 y 28/06/2023)
*(El Pozo L2-27 contiene 2.742 valores no validados entre 11/01/2023 y 30/06/2023)
*(El Pozo L3-15 contiene 13 valores no validados entre 07/01/2023 y 30/06/2023)
*(El Pozo L4-17 contiene 3.581 valores no validados entre 06/01/2023 y 30/06/2023)
*(El Pozo L7-14 contiene 36 valores no validados entre 09/01/2023 y 28/06/2023)

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 enero a junio de 2023 es 32,26 L/s y se presenta en la Tabla 5-56 y gráficamente en la Figura 5-37. Así, durante el periodo que se reporta, los caudales bombeados no sobrepasan el caudal máximo autorizado de 35 L/s.

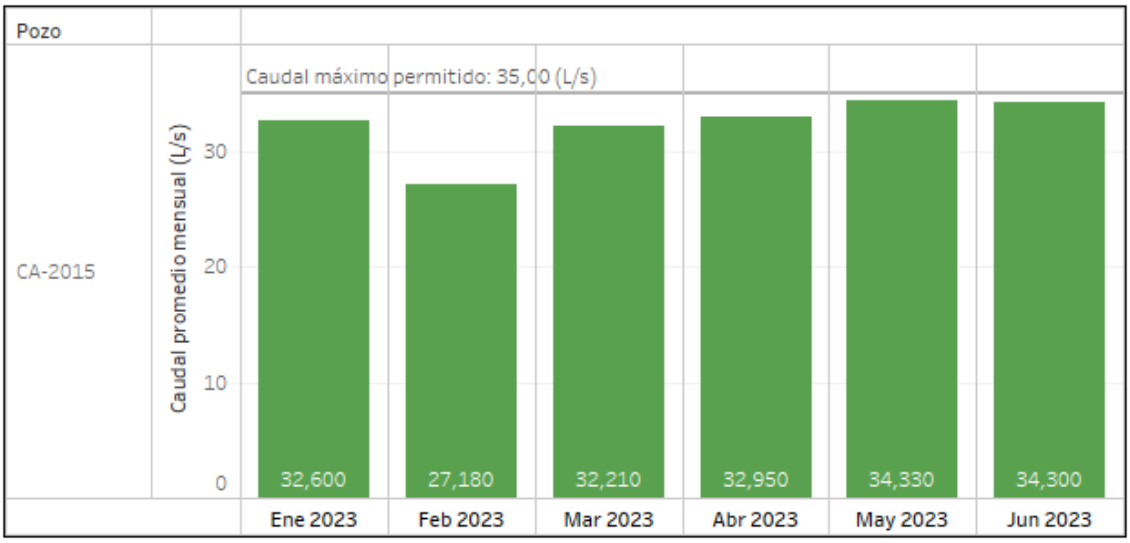
A modo de respaldo, en la Tabla 5-56 se muestra también la medida del flujómetro en el primer instante de cada mes y volumen mensual resultante. En el Anexo 7 se entrega este registro de forma tabulada y en el Anexo 3.2 se presentan los certificados de calibración del flujómetro en uso durante este semestre.

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	Ene 2023	01/01/2023	01/02/2023	S5Y703946	24.841	112.150	87.309	32,60
	Feb 2023	01/02/2023	01/03/2023	S5Y703946	112.150	177.907	65.757	27,18
	Mar 2023	01/03/2023	01/04/2023	S5Y703946	177.907	264.171	86.264	32,21
	Abr 2023	01/04/2023	01/05/2023	S5Y703946	264.171	349.584	85.413	32,95
	May 2023	01/05/2023	01/06/2023	S5Y703946	349.584	441.539	91.955	34,33
	Jun 2023	01/06/2023	01/07/2023	S5Y703946	441.539	530.447	88.908	34,30

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-37: 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 primer semestre de 2023.

Como se señaló en la sección 0, 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 4-9 de la Sección 4.3.3 y el Anexo 2 se presentan los demás 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).

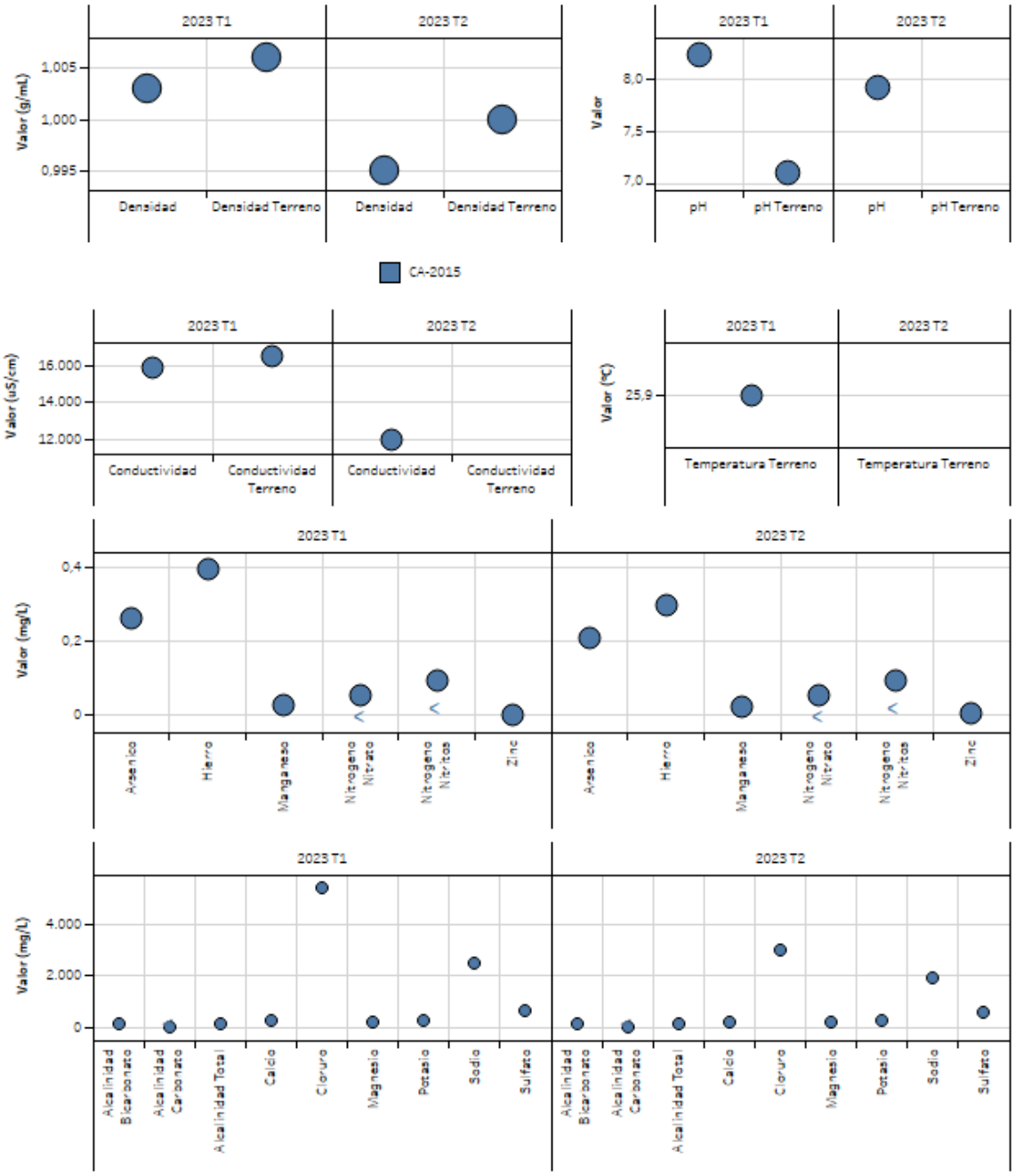
A continuación, en la Tabla 5-57 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de agua tomadas en terreno (SEGEA en ambos trimestres) y analizadas por el laboratorio ALS, al pozo de bombeo CA-2015 en el primer semestre de 2023. Estos resultados se presentan de manera gráfica en la Figura 5-38. Como se observa, durante el periodo se realizaron los dos monitoreos comprometidos con frecuencia trimestral para el semestre en reporte. Al igual que en puntos de otros sistemas ambientales, debido a la perdida de la autorización temporal por parte de la SMA para la medición de parámetros fisicoquímicos de terreno que realiza SEGEA, no se cuentan con estas mediciones del mes de abril en el pozo CA-2015.

Tabla 5-57: Resultados de análisis fisicoquímico para el pozo CA-2015

Parámetro	CA-2015	
	19/01/23	24/04/23
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	159	158
Arsénico (mg/L)	0,260	0,209
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	159	158
Bicarbonatos (mg/L)	194	193
Calcio (mg/L)	267	203
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1
Carbonatos (mg/L)	<1	<1
Cloruro (mg/L)	5.372	2.965
Conductividad (uS/cm)	15.850	11.950
Conductividad Terreno (uS/cm)	16.450	-
Densidad (g/mL)	1,003	0,995
Densidad Terreno (g/mL)	1,006	1,000
Hierro (mg/L)	0,392	0,295
Magnesio (mg/L)	215	171
Manganeso (mg/L)	0,027	0,020
Nitrógeno Nitrato (mg/L)	<0,05	<0,05
Nitrógeno Nitritos (mg/L)	<0,09	<0,09
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	2,09	
pH ()	8,22	7,91
pH Terreno ()	7,11	
Potasio (mg/L)	285	233
Sodio (mg/L)	2.467	1.892
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	9.310	10.700
Sulfato (mg/L)	638	579
Temperatura Terreno (°C)	25,9	
Zinc (mg/L)	0,001	0,006

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-38: Resultados del análisis fisicoquímico del pozo CA-2015



Fuente: Elaboración propia. * Los valores <LD representan bajo el límite de detección. El color se refiere a la infraestructura CA-2015.

5.1.4.3.2 Validación Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el primer 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, las que no pueden ser validadas por balance de masa en sólidos, dado que, se miden únicamente los sólidos disueltos según la clasificación de Calidad 4, clasificación que considera los analitos que se muestran en la Tabla 4-2. Respecto del balance iónico, ambos trimestres se ajustan a un desbalance inferior al 10% entre las cargas principales de sus iones, por lo que se considera una diferencia aceptable entre macroelementos de la muestra obtenida en este punto.

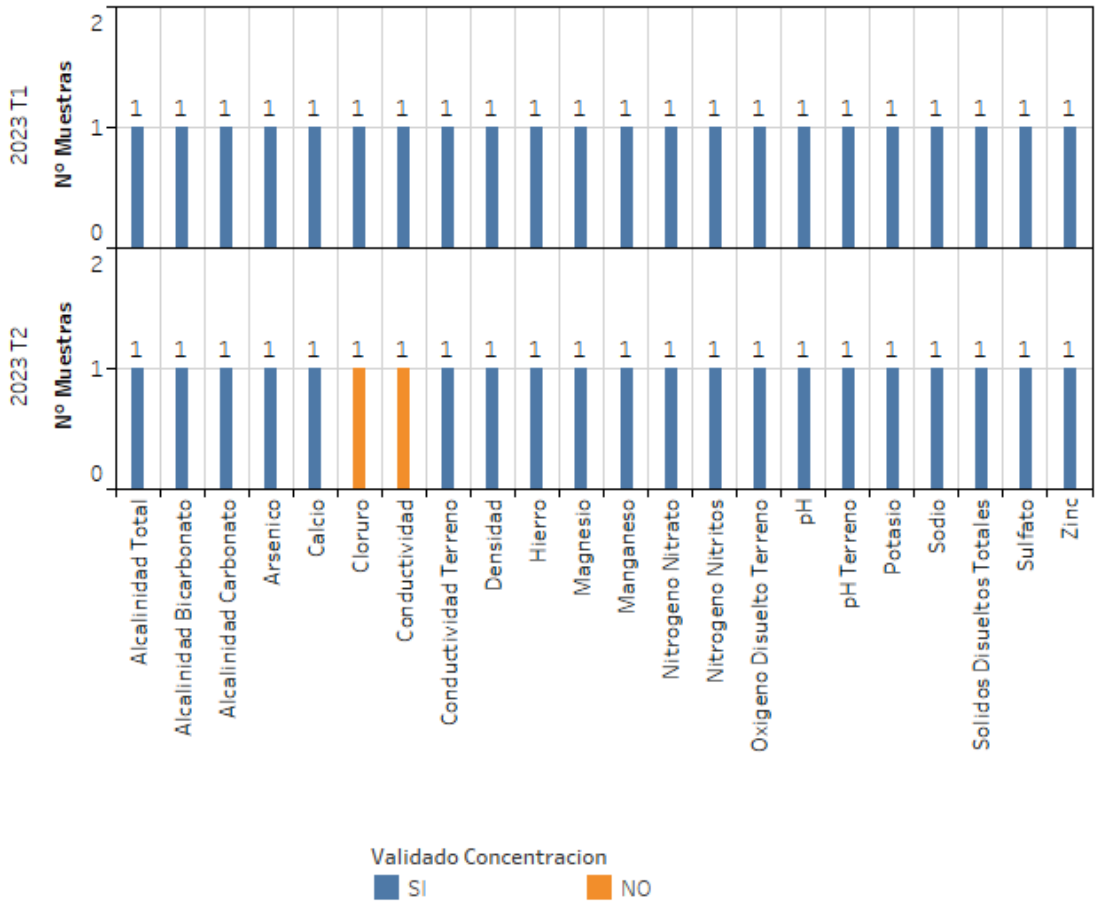
Tabla 5-58 Resultados de la validación en el sistema Vegetación Borde Este.

Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
3	CA-2015	NA*	2,0
4	CA-2015	NA*	2,9

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 5-39 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 segundo trimestre todos los parámetros fueron validados a excepción del cloruro y la conductividad. Sin embargo, en la campaña del primer trimestre se observan todos los parámetros validados. Los dos datos anómalos durante el semestre en reporte corresponden a un 4,54% del total de análisis realizados en el sistema de Vegetación Borde Este.

Figura 5-39: 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 primer 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 4-10 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, 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 primer semestre de 2023 y la Tabla 5-60 se muestra el detalle del número de mediciones efectuadas mensualmente por cada empresa, integrando además mediciones complementarias por parte de SEGEA como también por parte de SQM. Finalmente, en la Figura 5-40 se muestra gráficamente el resultado completo (mediciones comprometidas y adicionales) del monitoreo de estos puntos.

Como puede verse, los pozos L10-2, L10-3, L10-9, L10-10 y L10-15 no pudieron ser visitados durante todos los meses del semestre en reporte debido a la restricción de acceso por parte de Comunidad Peine. Para el resto de los meses y 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 de 2022 según las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022 de la SMA.

Tabla 5-59: Registro de niveles zona marginal del Sistema Peine

L10-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/1/23 09:52	2.305,375
26/1/23 10:52	2.305,404 *
8/2/23 12:28	2.305,360
20/2/23 10:00	2.305,474 *
25/2/23 10:31	2.305,440 *
14/3/23 12:20	2.305,476
15/3/23 13:56	2.305,483 *
30/3/23 10:59	2.305,518 *
31/3/23 10:44	2.305,473 *
28/4/23 15:05	2.305,543
8/5/23 12:18	2.305,508
14/5/23 09:41	2.305,489 *
28/5/23 11:39	2.305,520 *
11/6/23 09:57	2.305,515
24/6/23 09:20	2.305,491 *

L10-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 15:02	2.300,680
12/5/23 15:35	2.300,680
26/5/23 12:05	2.300,676 *
14/6/23 17:45	2.300,678
23/6/23 15:24	2.300,677 *

L10-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
13/1/23 11:01	2.300,066
28/1/23 12:49	2.300,064 *
10/2/23 13:13	2.300,109
20/2/23 13:10	2.300,153 *
25/2/23 12:31	2.300,161 *
26/2/23 13:56	2.300,164 *
14/3/23 14:11	2.300,168
15/3/23 15:42	2.300,171 *
26/3/23 11:02	2.300,183 *
30/3/23 13:29	2.300,193 *
31/3/23 11:58	2.300,193 *
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 14:19	2.300,164
28/5/23 10:43	2.300,143 *
11/6/23 16:53	2.300,128
24/6/23 11:33	2.300,106 *

L10-9	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 14:35	2.299,965
12/5/23 15:14	2.299,967
26/5/23 11:26	2.299,957 *
14/6/23 17:24	2.299,951
23/6/23 15:06	2.299,946 *

L10-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 14:30	2.300,370
12/5/23 15:09	2.300,371
26/5/23 11:18	2.300,363 *
14/6/23 17:18	2.300,365
23/6/23 15:00	2.300,360 *

L10-15	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
13/1/23 09:41	2.299,745
28/1/23 10:19	2.299,743 *
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 14:42	2.299,819
12/5/23 15:20	2.299,815
26/5/23 11:37	2.299,799 *
14/6/23 17:29	2.299,787
23/6/23 10:48	2.299,777 *

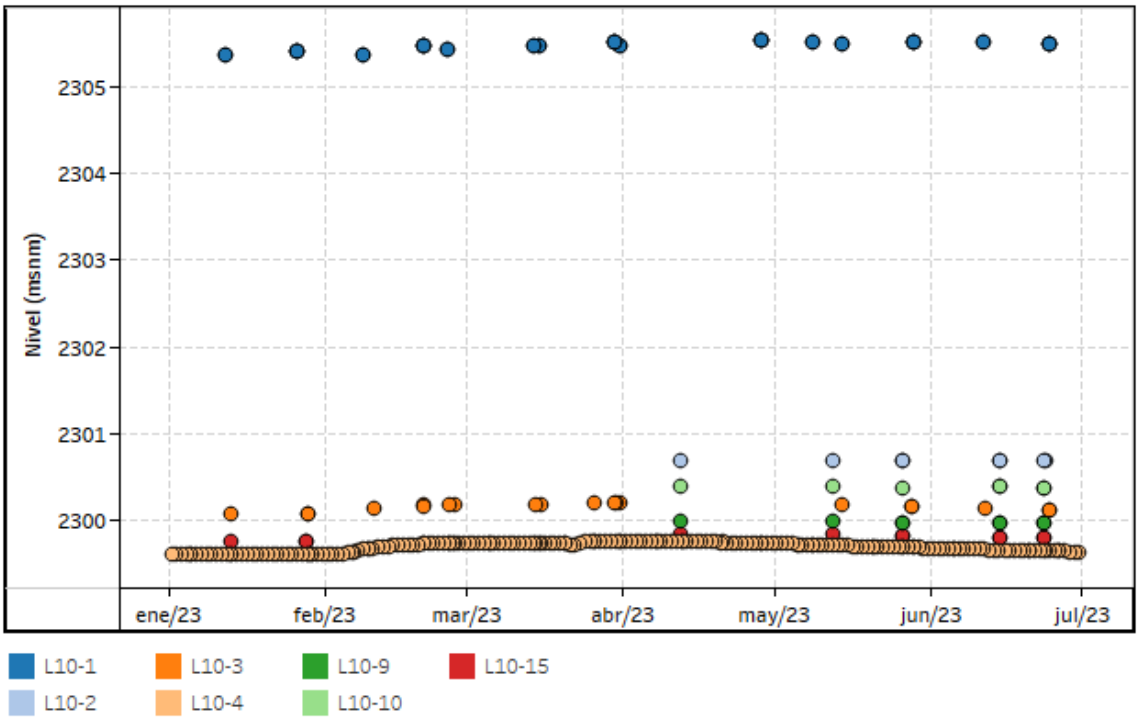
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a SQM en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones a SEGEA.

Tabla 5-60: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L10-1	2	2	2	2	2	2	4	6	8	2	6	4
L10-2					1	2				1	2	2
L10-3	1	1	1		1	1	2	4	5		2	2
L10-4	31	28	31	30	31	30	4	5	6	4	5	4
L10-9					1	2				1	2	2
L10-10						2				1	2	2
L10-15	1				1	2	2			1	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-40: 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 primer 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 5-41 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 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 1024, 2018, 2037, GD-03, GD-04, L10-6, L10-7, L10-8, L10-12, L10-13, L10-14 no pudieron ser visitados durante todos los meses comprometidos 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 para ambos indicadores de estado, pozos L10-11 y 1028.

Tabla 5-61: Registro de niveles zona núcleo del Sistema Peine

1024	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
14/1/23 12:58	2.299,019
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
30/4/23 12:00	S/I
11/5/23 11:09	2.299,088
25/5/23 11:26	2.299,065 *
8/6/23 11:14	2.299,043
22/6/23 11:46	2.299,025 *

2018	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/1/23 15:41	2.299,110
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
24/4/23 14:09	2.299,225
29/5/23 16:38	2.299,166
27/6/23 15:16	2.299,116

2037	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 18:15	2.299,088
19/1/23 16:01	2.299,089 *
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
24/4/23 13:37	2.299,207
29/5/23 15:57	2.299,146
27/6/23 15:08	2.299,095

GD-03	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 11:55	2.299,646
12/5/23 14:36	2.299,596
26/5/23 10:09	2.299,573 *
14/6/23 16:21	2.299,550
23/6/23 14:04	2.299,538 *

GD-04	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 15:38	2.299,358
12/5/23 16:48	2.299,303
26/5/23 09:55	2.299,274 *
23/6/23 15:48	2.299,235

L10-12	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
14/1/23 14:46	2.299,115
19/1/23 16:21	2.299,114 *
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
25/4/23 14:38	2.299,231
29/5/23 15:30	2.299,175
27/6/23 14:09	2.299,123

L10-13	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
13/1/23 10:33	2.299,299
28/1/23 11:38	2.299,295 *
9/2/23 10:41	2.299,392
20/2/23 12:45	2.299,439 *
25/2/23 12:05	2.299,431 *
14/3/23 13:47	2.299,415
15/3/23 15:16	2.299,423 *
30/3/23 13:03	2.299,434 *
31/3/23 11:37	2.299,432 *
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 13:54	2.299,394
28/5/23 10:13	2.299,361 *
11/6/23 16:30	2.299,351
24/6/23 11:10	2.299,321 *

L10-14	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
13/1/23 10:19	2.299,368
28/1/23 11:26	2.299,364 *
9/2/23 10:31	2.299,432
20/2/23 12:36	2.299,484 *
25/2/23 11:55	2.299,482 *
14/3/23 13:39	2.299,473
15/3/23 15:07	2.299,485 *
30/3/23 12:50	2.299,493 *
31/3/23 11:30	2.299,492 *
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 13:44	2.299,454
28/5/23 09:59	2.299,420 *
11/6/23 16:18	2.299,414
24/6/23 11:00	2.299,384 *

L10-16	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
14/1/23 14:01	2.299,245
19/1/23 16:56	2.299,244 *
17/2/23 14:08	2.299,422
27/2/23 15:53	2.299,399 *
27/3/23 13:59	2.299,373
12/4/23 17:27	2.299,385
25/4/23 13:48	2.299,355 *
11/5/23 10:24	2.299,329
25/5/23 10:33	2.299,304 *
29/5/23 14:58	2.299,305 *
8/6/23 10:22	2.299,286
22/6/23 11:11	2.299,267 *
27/6/23 13:43	2.299,258 *

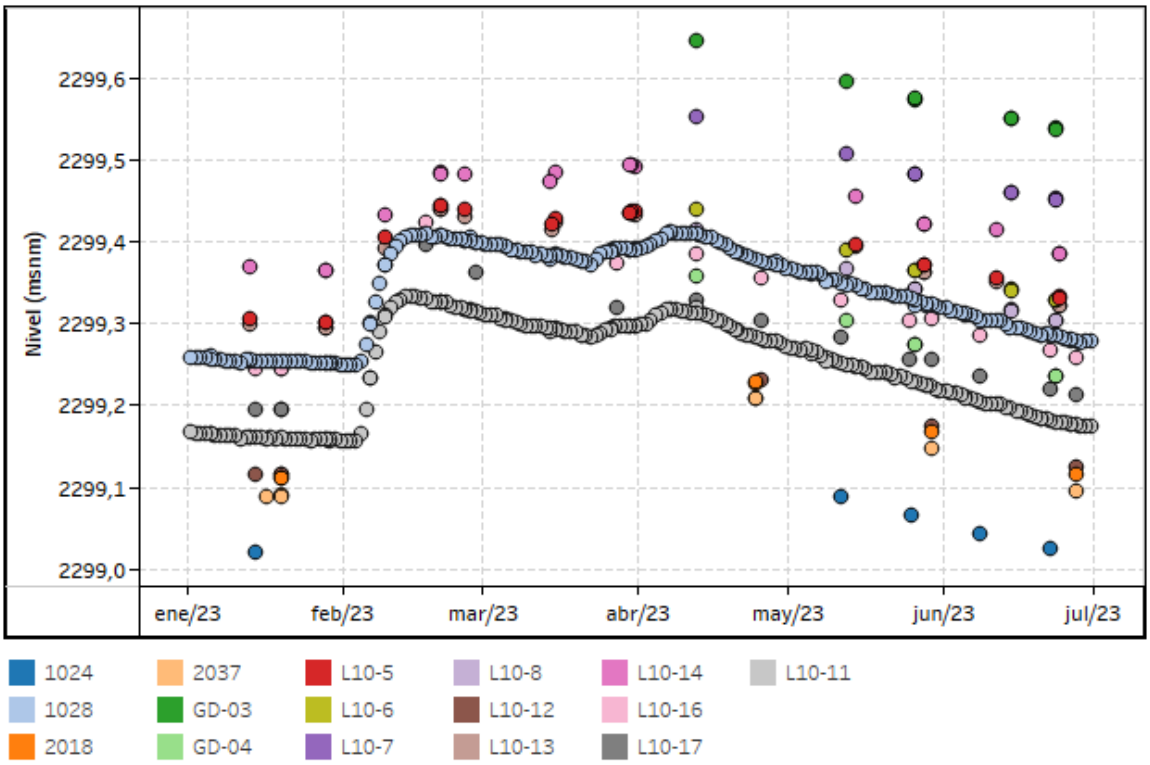
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. (*) Corresponde a una remedición. Los valores mostrados corresponden a SQM en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de la ETFA.

Tabla 5-62: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
1024							1				2	2
1028	31	28	31	30	31	30	4	5	7	4	5	4
2018	1			1			1			1	1	1
2037	1			1			2			1	1	1
GD-03					1	2				1	2	2
GD-04					1	1				1	2	1
L10-5	1	1	1		1	1	2	3	4		2	2
L10-6					1	2				1	2	2
L10-7					1	2				1	2	2
L10-8					1	2				1	2	2
L10-11	31	28	31	30	31	30	4	6	7	3	4	3
L10-12	1						2			1	1	1
L10-13	1	1	1		1	1	2	3	4		2	2
L10-14	1	1	1		1	1	2	3	4		2	2
L10-16	1						2	2	1	2	3	3
L10-17	1						2	2	1	2	3	3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-41: 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 una 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 Tabla 5-63 se muestra el monitoreo resultante para este primer 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 5-42 se muestra el resultado del monitoreo completo (mediciones comprometidas y adicionales).

Como puede verse, la reglilla de Salada y Saladita no pudieron ser medidas ni por la ETFA ni por SQM durante enero, febrero, marzo y mayo debido a la restricción de acceso por parte de Comunidad de Peine, destacando que en mayo la restricción se debió a la presencia de flamencos en la zona.

Al mismo tiempo, la Reglilla de Interna no pudo ser medida en ningún caso, dado que, la Comunidad de Peine restringió el acceso durante enero, febrero y marzo y en las ocasiones que se visitó el punto durante abril, mayo y junio, la reglilla se encontraba fuera del canal, por lo que fue reportada como reglilla seca.

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.)
31/1/23 12:00	S/I	31/1/23 12:00	S/I	31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I	28/2/23 12:01	S/I	28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I	31/3/23 12:00	S/I	31/3/23 12:00	S/I
28/4/23 10:42	2.301,175	28/4/23 11:31	2.300,932	28/4/23 12:10	S/I
31/5/23 12:00	S/I	31/5/23 12:00	S/I	12/5/23 14:27	S/I
14/6/23 13:45	2.301,181	14/6/23 14:42	2.300,941	14/6/23 15:03	S/I
23/6/23 11:50	2.301,177 *	23/6/23 12:50	2.300,937 *	23/6/23 13:36	S/I

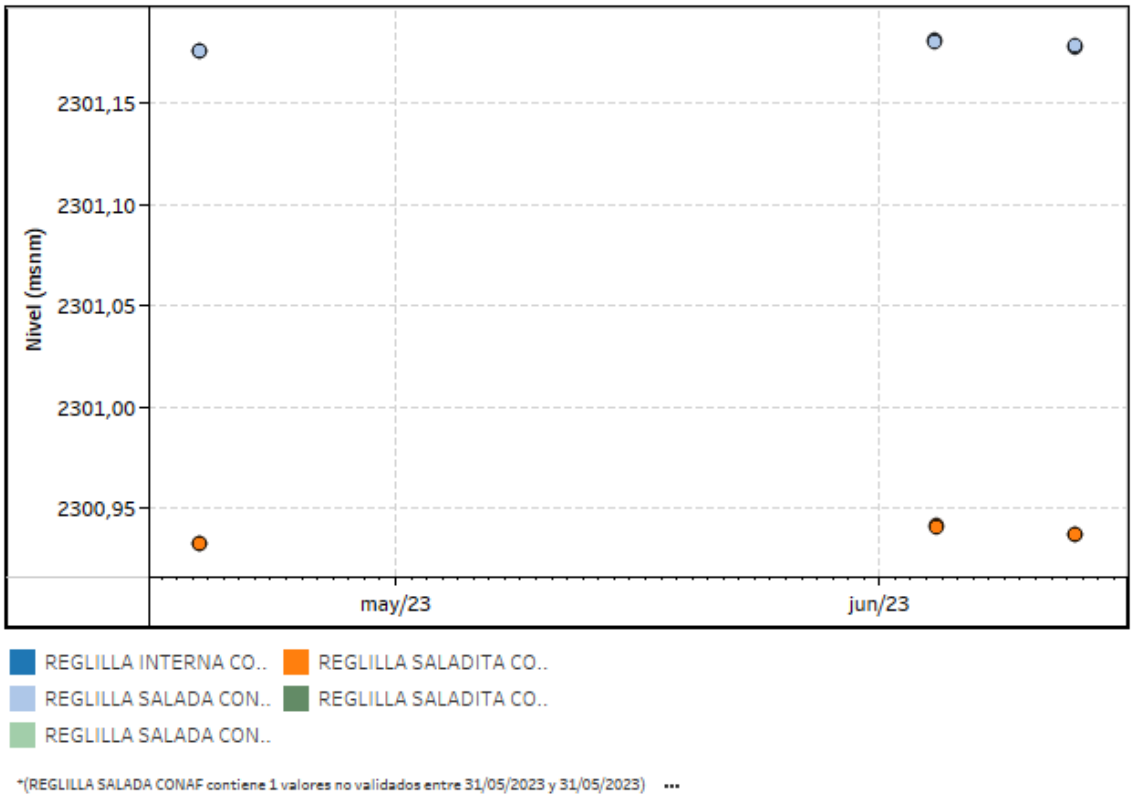
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a la ETFA.

Tabla 5-64: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA		SQM					
	04/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
REGLILLA INTERNA CONAF								
REGLILLA SALADA CONAF	1	2				1		2
REGLILLA SALADITA CONAF	1	2				1		2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-42: Nivel observado (m s.n.m.) en zona marginal del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.5.2 Calidad química

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

Específicamente en la Figura 4-10 de la Sección 4.3.4 y el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Peine. 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. El monitoreo de calidad química en los pozos y lagunas del Sistema Peine se debe realizar 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 5-43. Como se observa, durante el periodo se efectuaron los dos monitoreos comprometidos en los pozos L10-1, 1028 y L10-4 según RCA N°226/2006 y además de las mediciones mensuales de calidad (frecuencia aplicable a acción 40 del PdC como medida de control a la activación de

Fase I) 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.

Tal como se observa en la Tabla 5-65, los resultados entregados por parte de la ETFA ALS de solidos disueltos totales del pozo L10-4 durante julio presento valores inconsistentes, superando el total de solidos totales. Dado que los resultados son entregados en una fecha superior al holding time de 7 días, la reanálisis de la muestra no fue posible de realizar. Ahora bien, el dato fue validado ya que este, se encuentra dentro del rango histórico, tal como se observa en la sección 6.1.4.3 Calidad Química Sector Peine.

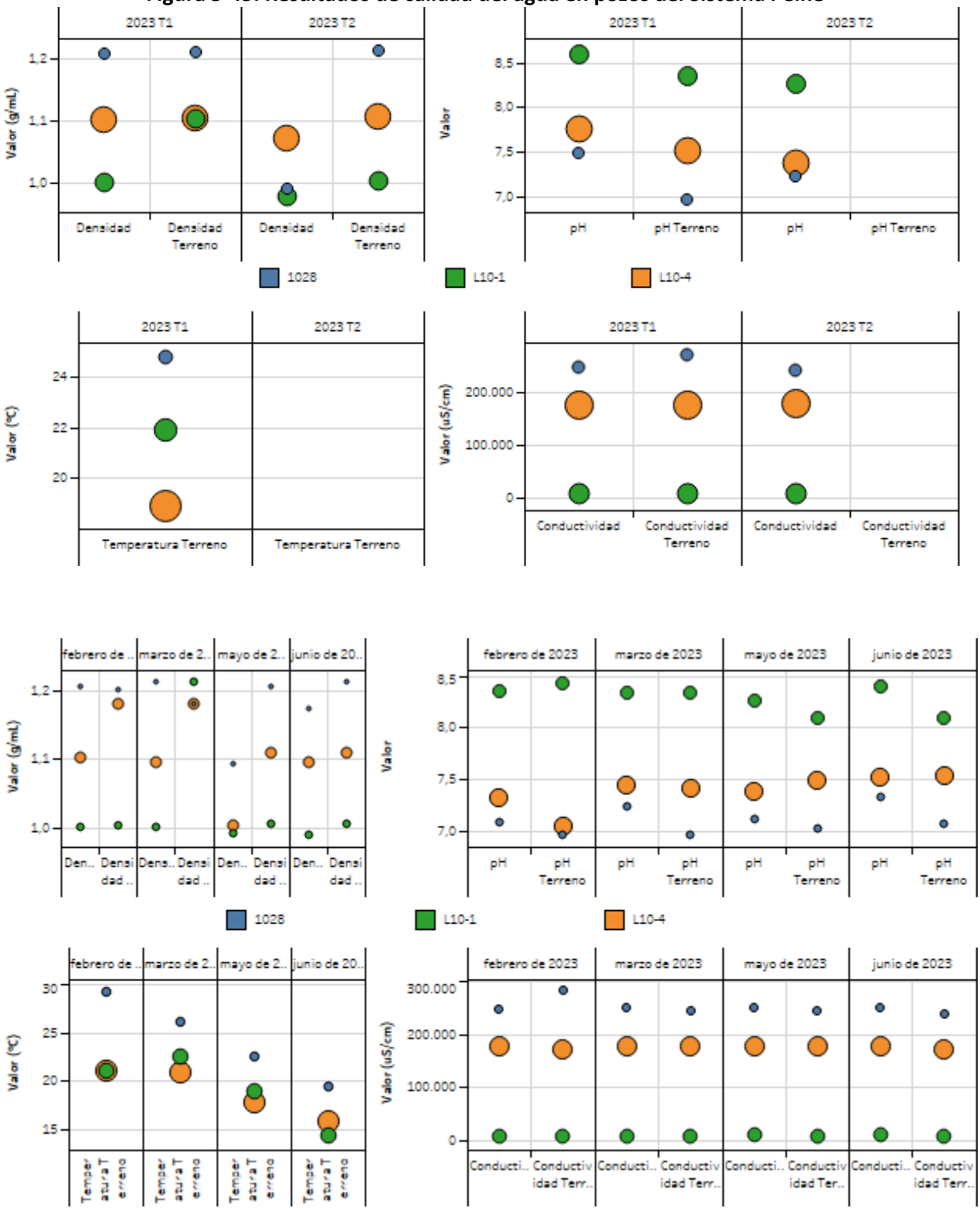
Tabla 5-65: Resultados calidad del agua en pozos del sistema Peine

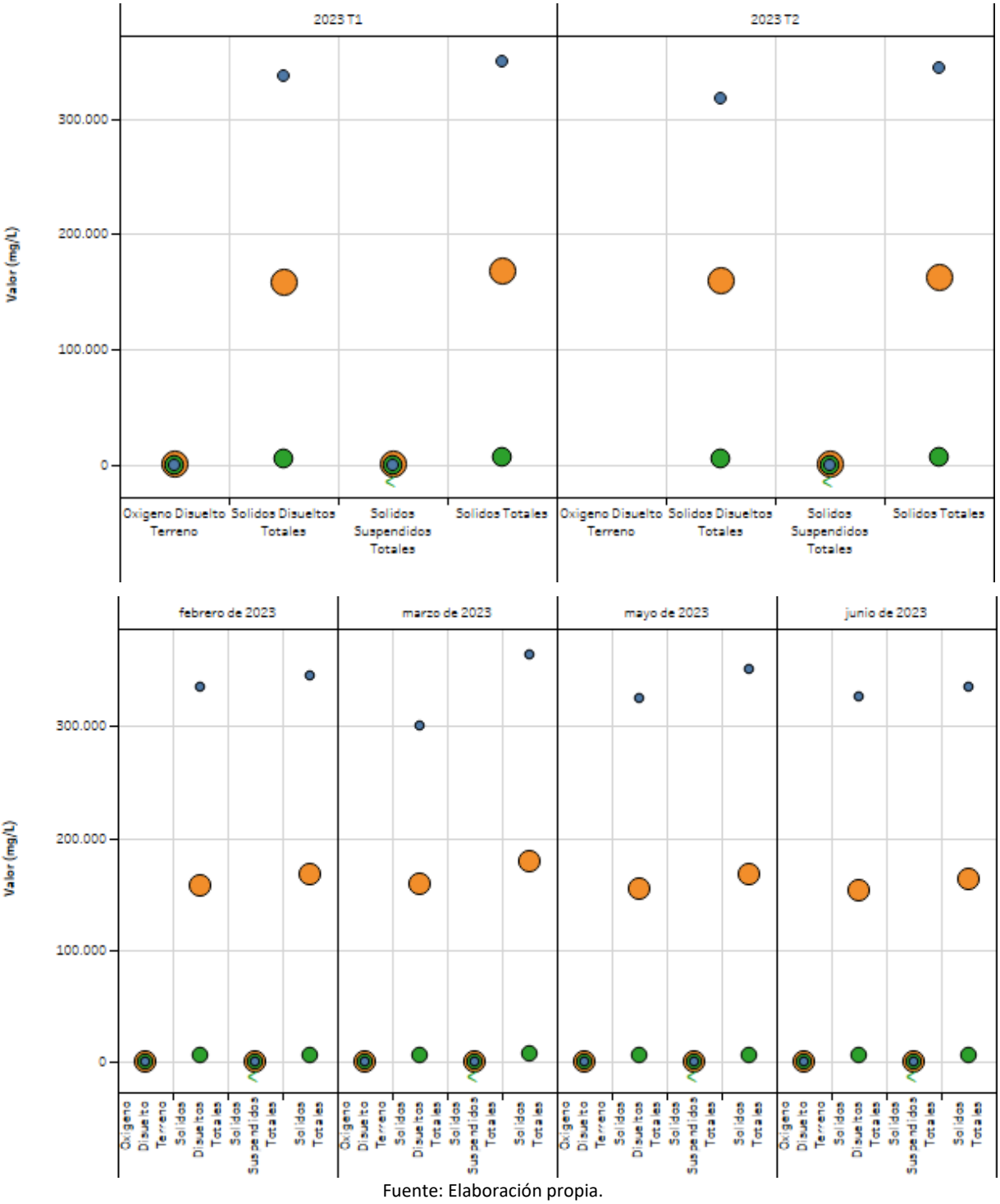
Parámetro	1028		L10-1		L10-4	
	enero	abril	enero	abril	enero	abril
Conductividad (uS/cm)	248.000	242.000	8.030	8.300	176.300	177.500
Conductividad Terreno (uS/cm)	269.600	-	8.270	-	174.100	-
Densidad (g/mL)	1,207	0,990	1,000	0,980	1,102	1,072
Densidad Terreno (g/mL)	1,210	1,211	1,103	1,003	1,104	1,107
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	0,41		2,40		0,56	
pH ()	7,49	7,22	8,59	8,26	7,76	7,38
pH Terreno ()	6,97		8,34		7,51	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	336.670	317.530	5.608	5.590	158.335	159.675
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	115	14	3	3	72	20
Sólidos Totales (mg/L)	349.350	343.675	5.768	5.985	167.545	162.500
Temperatura Terreno (°C)	24,7		21,9		18,9	

Parámetro	1028				L10-1				L10-4			
	febrero	marzo	mayo	junio	febrero	marzo	mayo	junio	febrero	marzo	mayo	junio
Conductividad (uS/cm)	246000	248000	248000	248000	8010	7950	8690	8550	177300	176200	176200	177000
Conductividad Terreno (uS/cm)	281100	242000	244000	238000	7920	8010	8090	8200	170700	175200	177600	170600
Densidad (g/ml)	1.206	1.213	1.093	1.173	1.000	1.001	0.992	0.989	1.102	1.096	1.003	1.096
Densidad Terreno (g/ml)	1.200	1.181	1.205	1.213	1.004	1.213	1.006	1.005	1.180	1.181	1.109	1.108
Oxígeno Disuelto Terreno (mg/L)	4.94	5.15	5.50	5.70	6.15	6.02	5.25	6.05	1.87	3.91	4.10	5.21
pH (pH)	7.08	7.24	7.12	7.33	8.35	8.34	8.26	8.40	7.32	7.44	7.38	7.52
pH Terreno (pH)	6.97	6.96	7.03	7.06	8.42	8.33	8.09	8.09	7.05	7.41	7.49	7.53
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	335675	300290	324655	327140	5464	5690	5840	4985	157960	159410	154895	153540
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	37.00	19.00	12.00	18.00	< 3.00	< 3.00	< 3.00	< 3.00	24.00	35.00	31.00	38.00
Sólidos Totales (mg/L)	345530	364640	351725	334925	5740	6870	6070	6040	167965	179420	167060	162910
Temperatura pH (ºC)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Temperatura Terreno (ºC)	29.30	26.20	22.50	19.40	21.10	22.60	18.90	14.40	21.10	20.90	17.80	15.90

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-43: Resultados de calidad del agua en pozos del Sistema Peine





Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.2.2 Muestreo realizado en el marco del ex convenio con CONAF

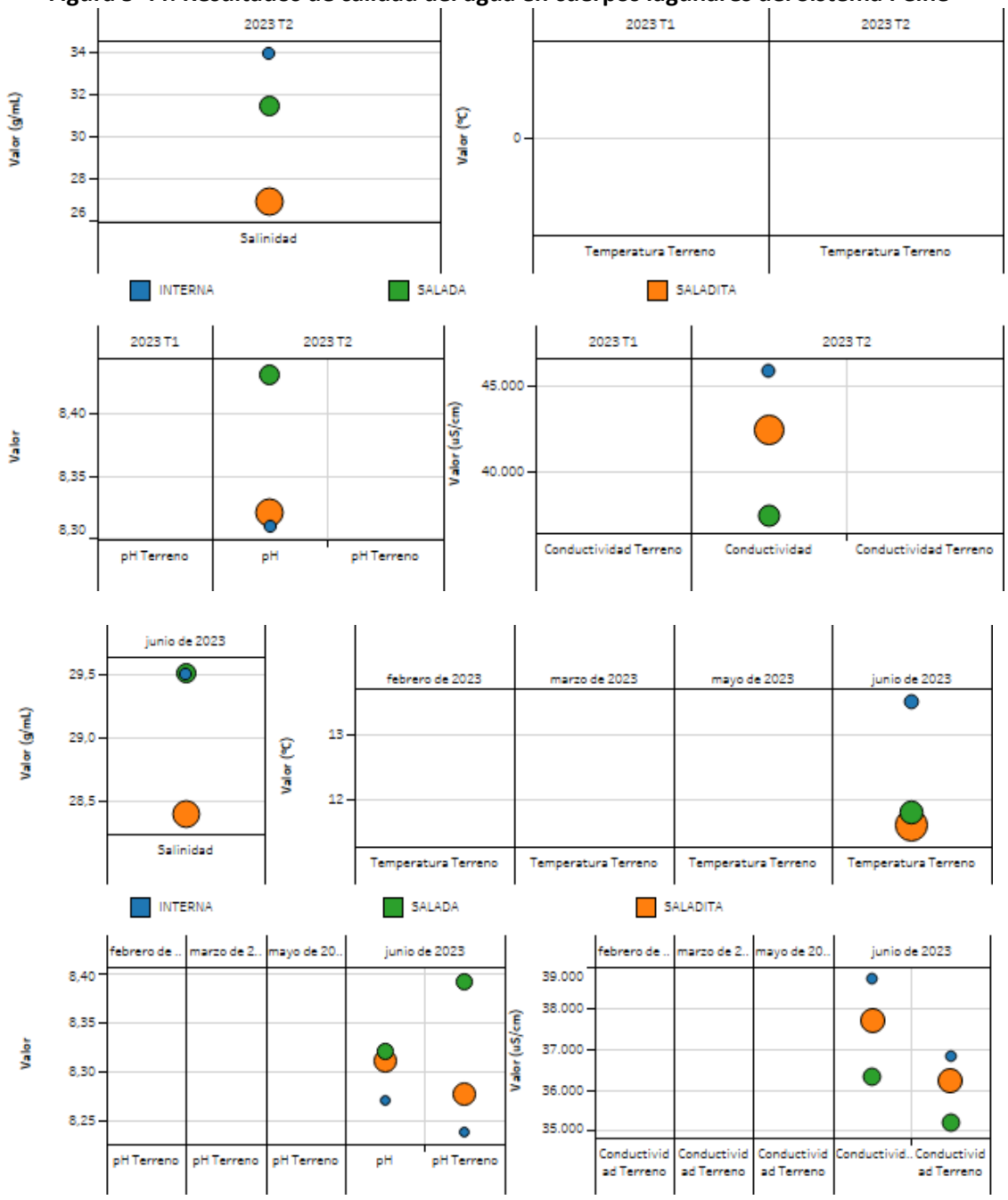
En el primer semestre de 2023 se pudo realizar todos los muestreos semestrales comprometidos por RCA N°226/2006, tanto en Interna, Salada como también en Saladita. Los parámetros como oxígeno disuelto de terreno, pH de terreno y temperatura de terreno no lograron ser medidos por la ETFA debido a su perdida temporal de autorización para hacer estas mediciones durante el mes de abril. Así, en la Tabla 5-66 se muestran las fechas en las que se contó con autorización por parte de la Comunidad de Peine para realizar el muestreo, asimismo, en el Anexo 6.1 se encuentran los certificados de laboratorio.

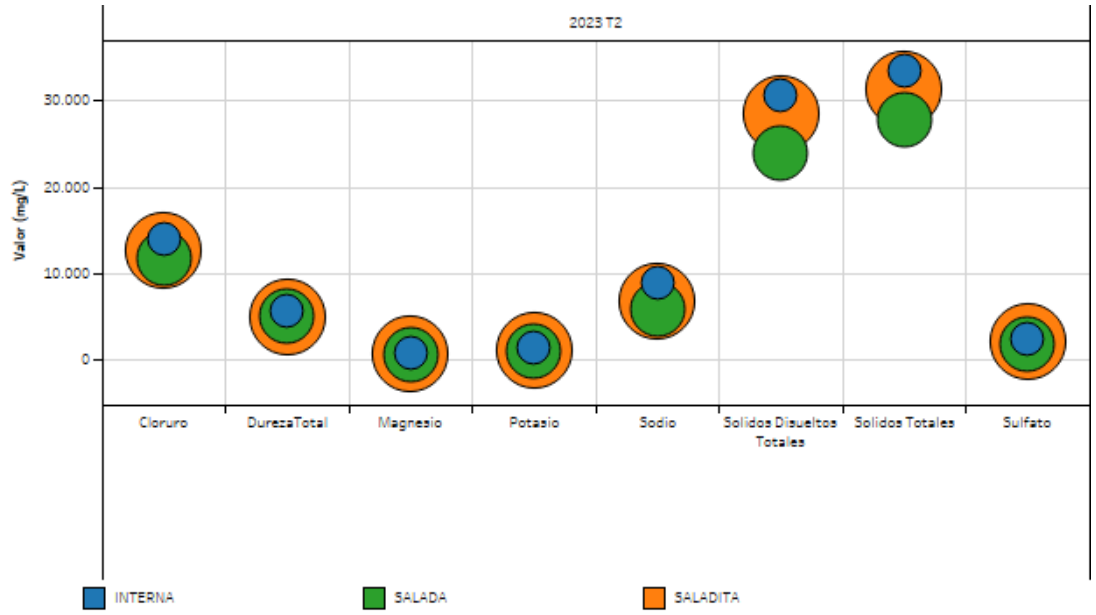
Tabla 5-66: Resultados calidad del agua en cuerpos lagunares del sistema Peine.

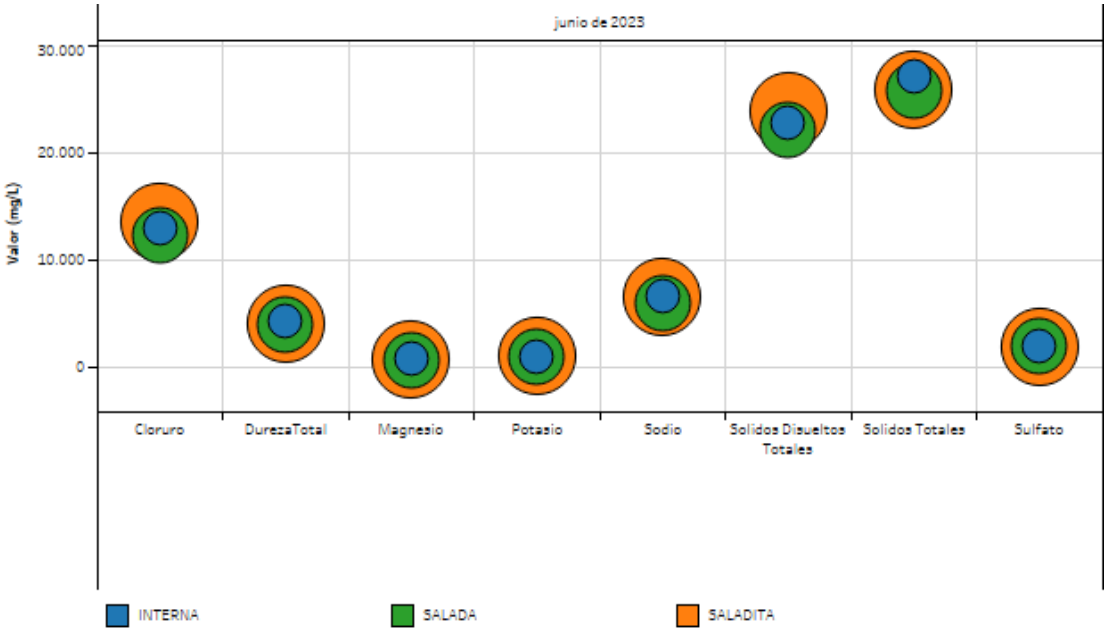
Parámetro	INTERNA		SALADA		SALADITA	
	abril	junio	abril	junio	abril	junio
Alcalinidad Total (mgCaCO3/L)	217	212	256	220	231	222
Arsénico (mg/L)	0,659	0,615	0,504	0,484	0,539	0,496
Alcalinidad Bicarbonato (mgCaCO3/L)	217	212	256	220	231	222
Bicarbonatos (mg/L)	265	258	312	268	282	271
Calcio (mg/L)	655	585	510	490	534	505
Alcalinidad Carbonato (mgCaCO3/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Carbonatos (mg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cloruro (mg/L)	14.047	12.904	11.706	12.166	12.561	13.457
Dureza Total (mg/L)	5.605	4.301	5.005	3.944	4.844	4.023
Fosforo (mg/L)	<0,06	<0,03	<0,04	<0,04	<0,07	<0,04
Magnesio (mg/L)	783	685	611	631	678	667
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)		6,15		5,97		5,96
pH ()	8,31	8,27	8,43	8,32	8,32	8,31
pH Terreno ()		8,24		8,39		8,28
Potasio (mg/L)	1.320	954	889	859	1.055	917
Salinidad (%)	34	30	31	30	27	28
Sodio (mg/L)	8.887	6.553	5.880	5.964	6.725	6.411
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	30.525	22.650	23.825	21.975	28.425	23.725
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	16	43	416	235	30	48
Sólidos Totales (mg/L)	33.352	27.100	27.825	25.725	31.300	25.850
Sulfato (mg/L)	2.342	1.887	1.806	1.854	2.073	1.793
Temperatura Terreno (ºC)		13,5		11,8		11,6

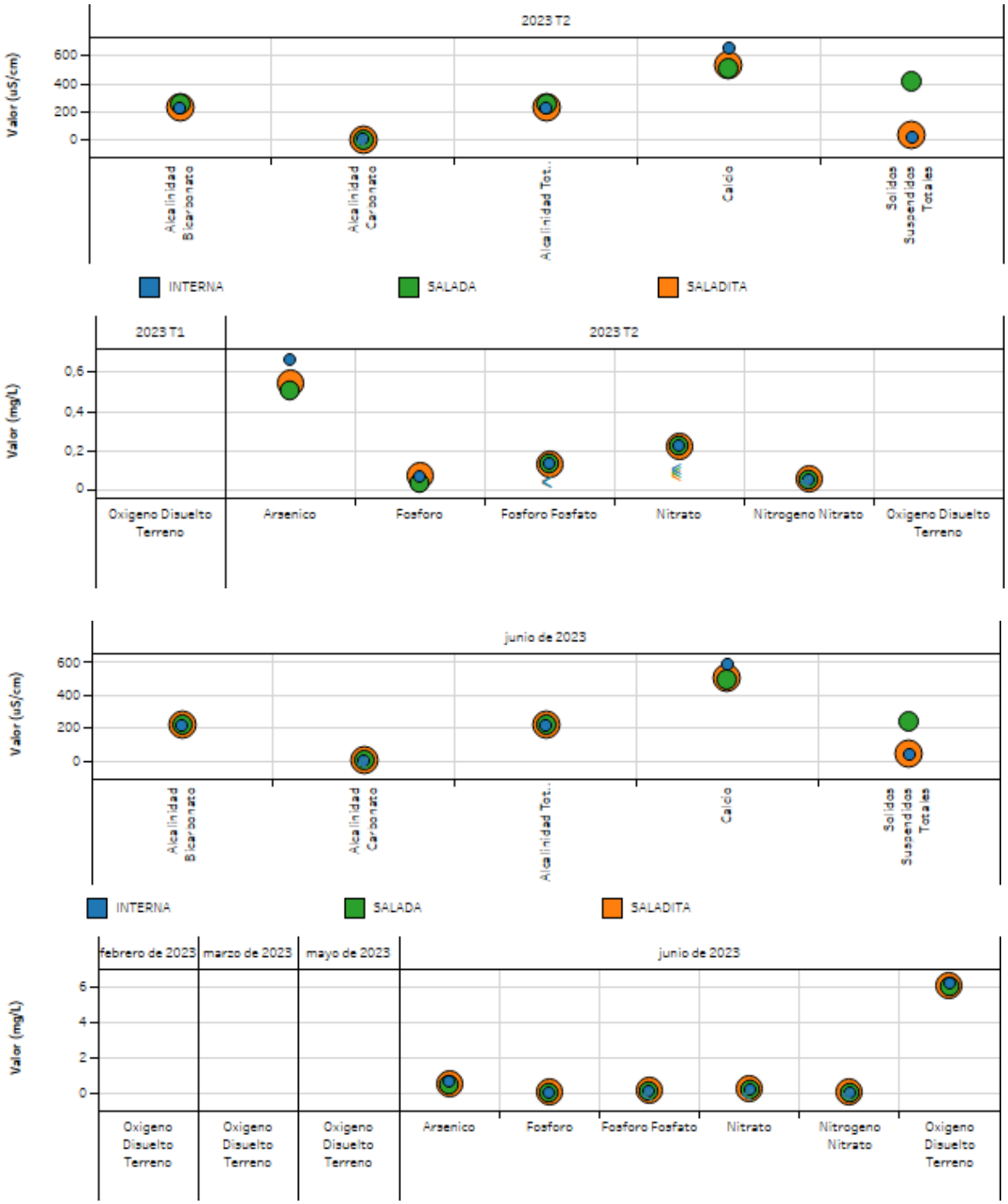
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-44: Resultados de calidad del agua en cuerpos lagunares del Sistema Peine




2023 T2
30.000
20.000
10.000
0
Valor (mg/L)
Cloruro
DurezaTotal
Magnesio
Potasio
Sodio
Solidos Disueltos Totales
Solidos Totales
Sulfato
INTERNA
SALADA
SALADITA


junio de 2023
30.000
20.000
10.000
0
Valor (mg/L)
Cloruro
DurezaTotal
Magnesio
Potasio
Sodio
Solidos Disueltos Totales
Solidos Totales
Sulfato
INTERNA
SALADA
SALADITA



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.2.3 Validación resultados

En el presente apartado se muestran los resultados de la validación para el primer semestre de 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 (enero y abril) 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% de desviación. Asimismo, los balances iónicos se encontraron dentro del rango máximo de 10% de desviación en todos los puntos en los que se cuentan con medición de iones que permiten evaluar la relación entre cationes y aniones.

Tabla 5-67 Resultados de la validación en el sistema Peine.

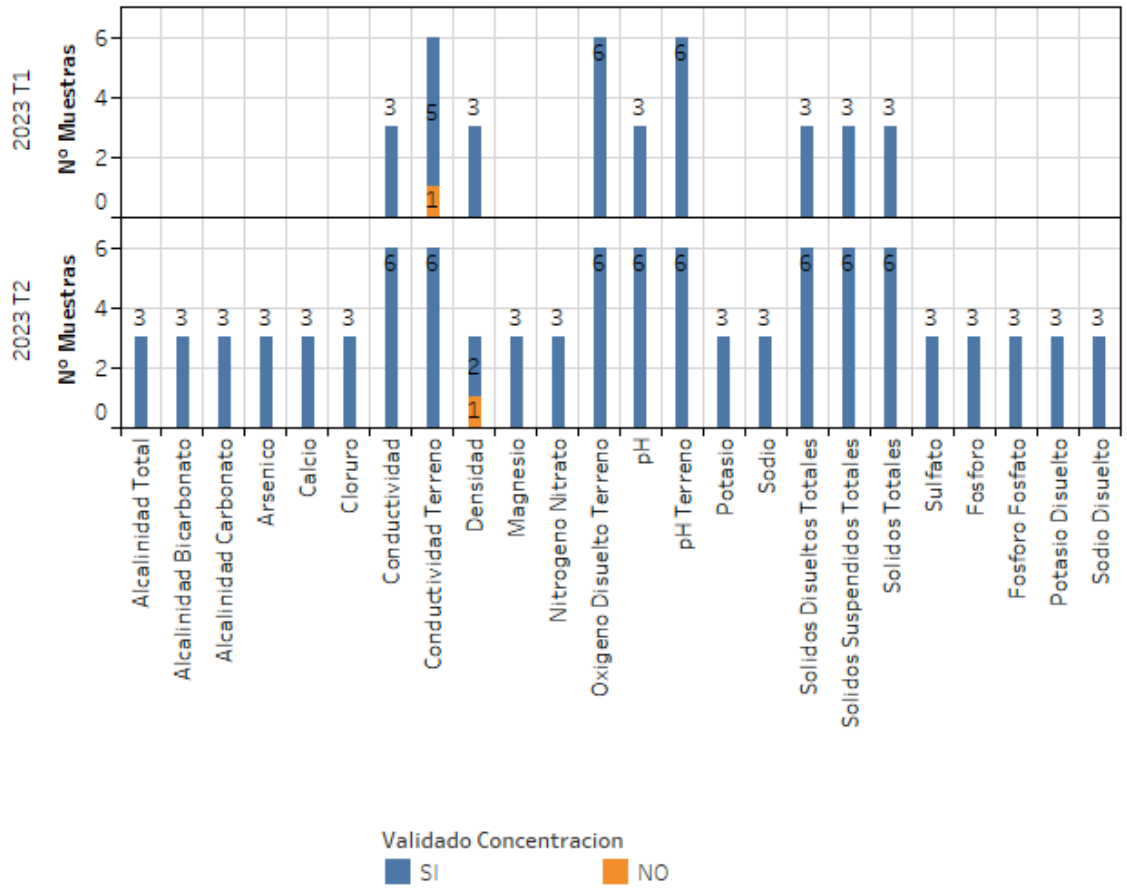
Trimestre	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
1	1028	-3,6	NA*
	INTERNA	NA*	NA*
	L10-1	-2,7	NA*
	L10-4	-5,5	NA*
	SALADA	NA*	NA*
	SALADITA	NA*	NA*
2	1028	-7,6	NA*
	INTERNA	-8,4	7,0
	L10-1	-6,5	NA*
	L10-4	-1,7	NA*
	SALADA	-12,9	2,6
	SALADITA	-9,1	NA*

Mes	Punto de control	Validado Balance Masa Sólidos (%)	Balance Iónico (%)
Enero	1028	-3,6	NA*
	INTERNA	0,0	NA*
	L10-1	-2,7	NA*
	L10-4	-5,5	NA*
	SALADA	0,0	NA*
	SALADITA	0,0	NA*
Febrero	1028	-2,8	NA*
	INTERNA	0,0	NA*
	L10-1	-4,8	NA*
	L10-4	-5,9	NA*
	SALADA	0,0	NA*
	SALADITA	0,0	NA*
Marzo	1028	-17,6	NA*
	INTERNA	0,0	NA*
	L10-1	-17,1	NA*
	L10-4	-11,1	NA*
	SALADA	0,0	NA*
	SALADITA	0,0	NA*
Abril	1028	-7,6	NA*
	INTERNA	-8,4	7,0
	L10-1	-6,5	NA*
	L10-4	-1,7	NA*
	SALADA	-12,9	2,6
	SALADITA	-9,1	NA*
Mayo	1028	-7,7	NA*
	INTERNA	0,0	NA*
	L10-1	-3,7	NA*
	L10-4	-7,3	NA*
	SALADA	0,0	NA*
	SALADITA	0,0	NA*
Junio	1028	-2,3	NA*
	INTERNA	-16,3	1,6
	L10-1	-17,4	NA*
	L10-4	-5,7	NA*
	SALADA	-13,7	3,8
	SALADITA	-8,0	4,8

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

La muestra los resultados de la validación por concentraciones históricas en relación con cada analito y punto. Todos los análisis se encontraron dentro de lo esperable en base a su evolución histórica a excepción de 2 mediciones de pH de laboratorio, representando así, una desviación de 1,51% del total de muestras recolectadas durante los dos primeros trimestres de 2023 en el sector de Peine.

Figura 5-45: Resultados de la validación en base a la evolución histórica de cada parámetro en el sistema Peine



5.1.5.3 Caudal agua superficial (aforos)

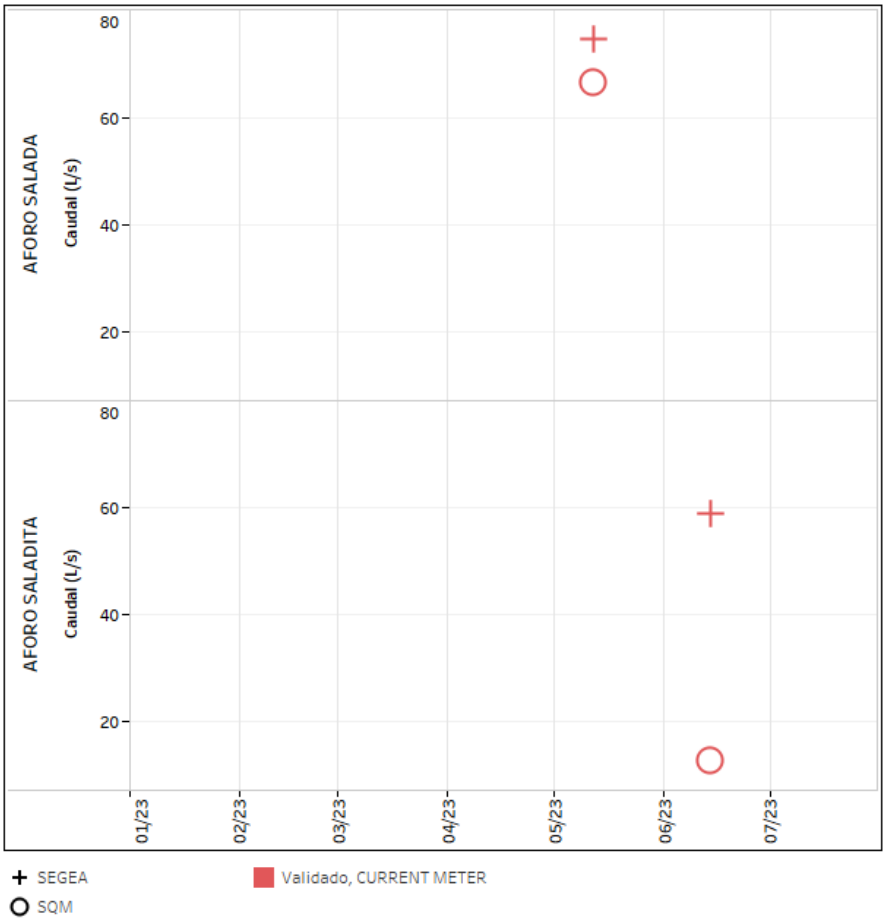
La red de monitoreo del PSAH en el Sistema Peine contempla dos estaciones de aforo de caudal pasante superficial, que son las estaciones de Salada y Saladita. Tal y como se ha descrito en la Tabla 5-68 durante el semestre objeto del presente informe no fue posible la realización completa de los aforos mensuales de caudal superficial en las estaciones Salada y Saladita, debido a que la Comunidad de Peine no concedió permiso al personal de SQM ni a la ETFA para ingresar al sector. Los únicos ingresos posibles fueron durante mayo y junio para el monitoreo de aforo de Salada y Saladita, respectivamente.

Tabla 5-68: Resultados aforos manuales Saladita y Salada

	AFORO SALADA	AFORO SALADITA
enero de 2023	S/I	S/I
febrero de 2023	S/I	S/I
marzo de 2023	S/I	S/I
abril de 2023	S/I	S/I
mayo de 2023	66,50	S/I
junio de 2023	S/I	12,80

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

Figura 5-46:Caudales medidos en Aforo Salada y Saladita del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.4 Superficie lacustre

Para el primer semestre de 2023 y en particular, para el mes de abril, se realizaron mediciones en Lagunas Salada, Saladita e Interna con la metodología de estacas perimetrales y puntos de control de terreno. Cabe mencionar que la toma de estacas perimetrales no se realiza en Laguna interna. Por otro lado, en el mes de enero no se pudieron efectuar mediciones de terreno por periodo reproductivo de flamencos en el Sistema Peine. El cálculo de superficie lacustre mediante metodología de imagen satelital fue efectuado en enero y abril, tal como lo establece la acción 19 del PdC (2022).

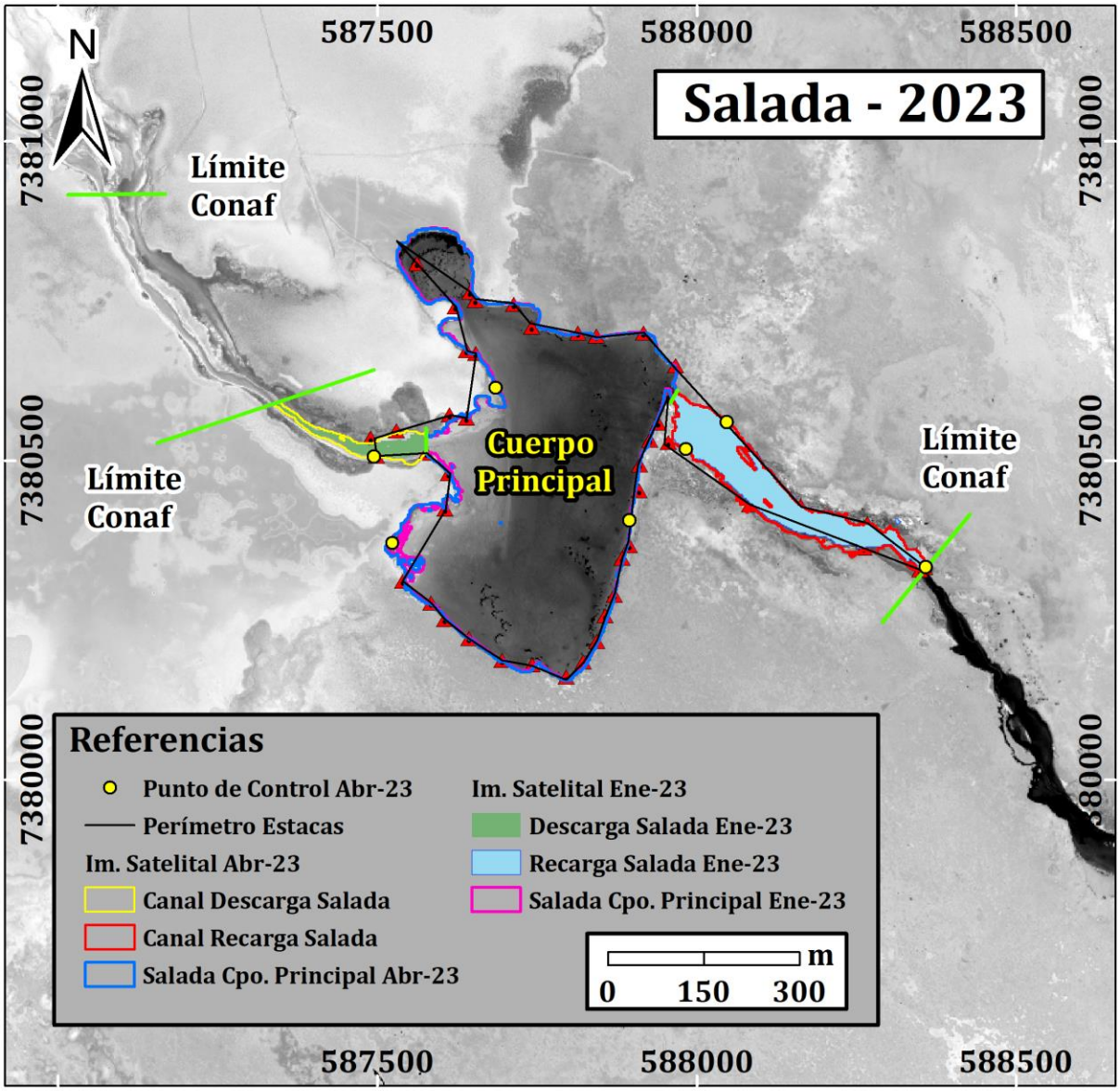
La consultora a cargo del levantamiento topográfico y estacas perimetrales fue ATyGEO ltda, mientras que la consultora encargada del cálculo de superficie lacustre con imagen satelital de alta resolución fue SRGIS ltda. A continuación, se reportan los resultados obtenidos para el primer semestre del año 2023 (Tabla 5-69).

Tabla 5-69: Superficies Lacustres primer semestre 2023 Peine.

Periodo	Responsable	Tipo de medición realizada	Superficie (m^2)		
			Interna	Salada	Saladita
Ene 2023	ATyGEO	Estacas perimetrales	N/A	S/I	S/I
Ene 2023	SRGIS	Imagen Satelital	25.489	196.304	66.738
Abr 2023	ATyGEO	Estacas perimetrales	N/A	188.760	95.382
Abr 2023	SRGIS	Imagen Satelital	212.488	201.098	90.220

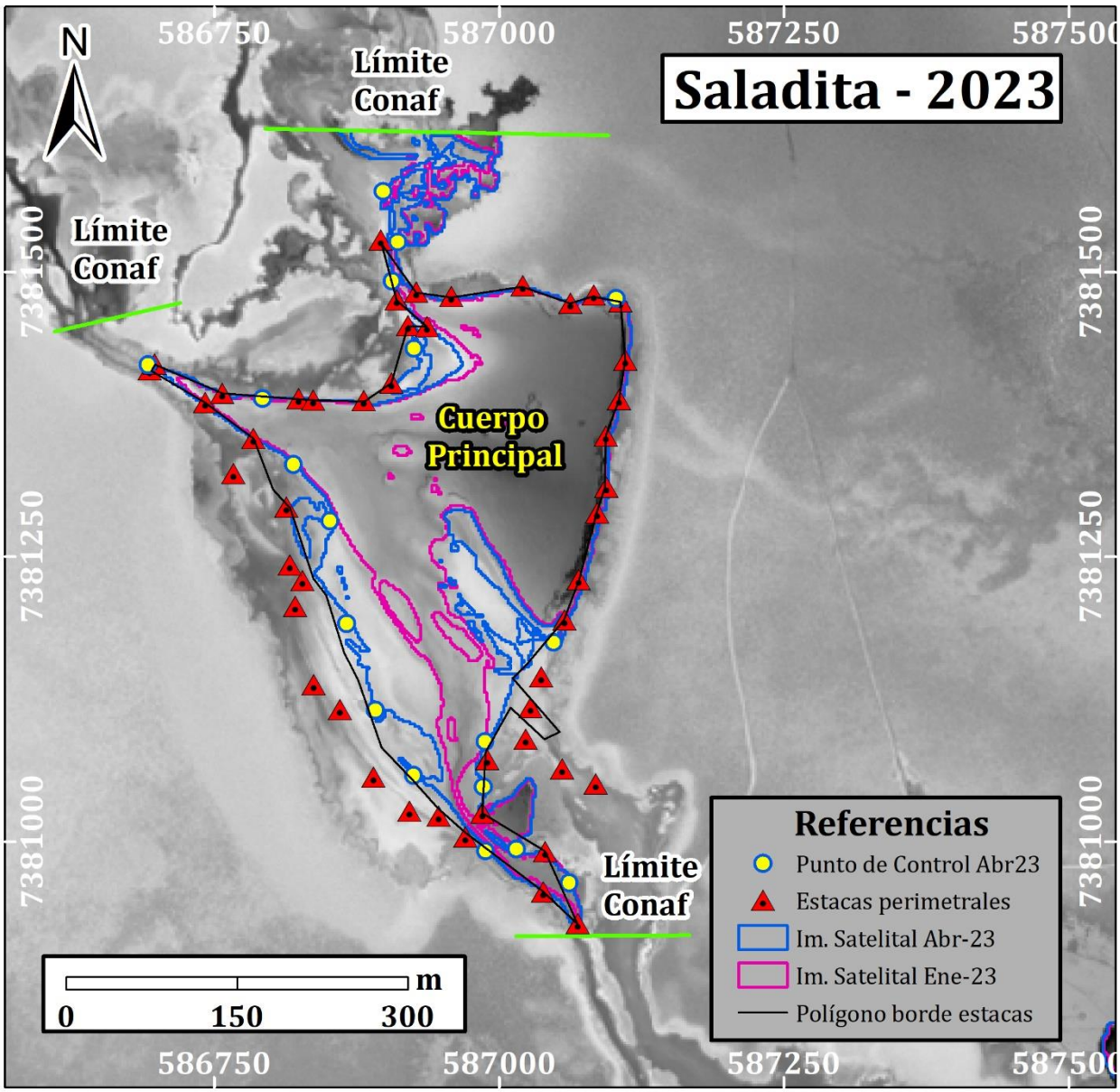
Fuente: Elaboración propia. S/I: Sin información (el dato no pudo ser medido). N/A significa: No Aplica (no corresponde esta medición. * = Dato no considera zona distal de interna. Datos de Salada corresponden a la superficie total (canal de descarga, cuerpo principal y canal de descarga). ** = Dato con puntos de control, detalle Anexo 10.

Figura 5-47: Mapa delimitación lacustre, laguna Salada, sector Peine. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises.



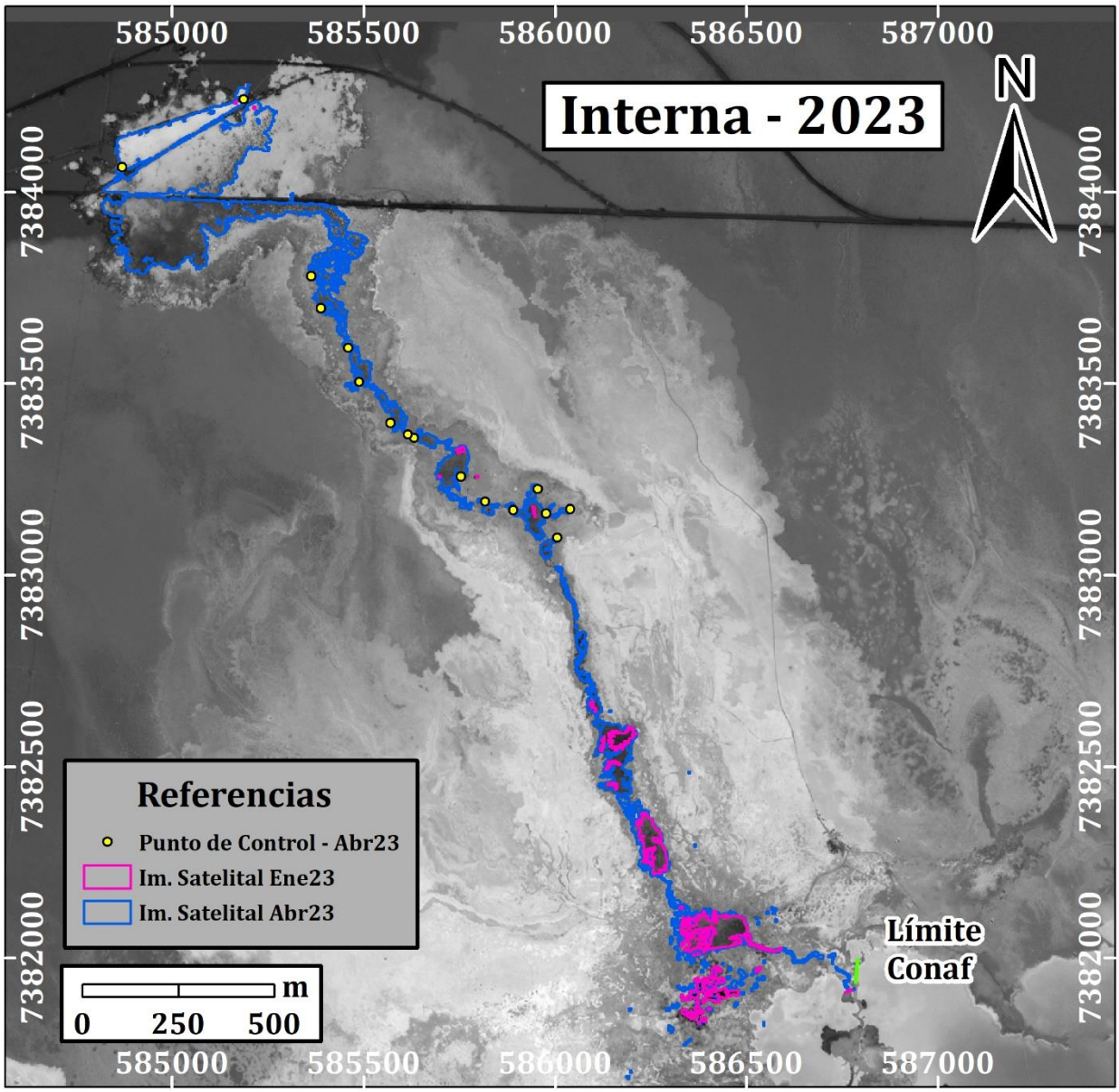
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-48: Mapa delimitación lacustre, laguna Saladita, sector Peine. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-49: Mapa delimitación lacustre, laguna Interna, sector Peine. Imagen de fondo corresponde a la banda roja de la imagen satelital de abril 2023, en escala de grises.



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 en el sector Vegas de Tilopozo, sólo considera el monitoreo del nivel del agua en 5 puntos: 4 pozos y una reglilla. Los resultados obtenidos para el primer semestre 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 4-11 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 5-70 se muestra el resultado del monitoreo comprometido para este semestre y en la Tabla 5-71 se muestra el recuento de mediciones realizadas por SQM y SEGEA. En la Figura 5-50 se muestra gráficamente el resultado completo de las mediciones en estos puntos, contando con las mediciones de ambas empresas.

Puede verse que para el primer semestre de 2023 se han realizado la mayoría de las visitas estipuladas en todos los pozos. No fue posible de realizar las mediciones para todos los meses, ya que el mes de abril se presentó una restricción de acceso.

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, ajustado según acuerdo de Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022 de la SMA.

Tabla 5-70: Registro de niveles zona marginal del sector Vegas de Tilopozo

L12-1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/1/23 15:55	2.299,676
26/1/23 16:24	2.299,674*
10/2/23 12:30	2.299,717
26/2/23 13:08	2.299,759*
16/3/23 12:17	2.299,759
26/3/23 11:44	2.299,800*
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 13:20	2.299,756
28/5/23 15:34	2.299,733*
11/6/23 15:45	2.299,718
24/6/23 12:16	2.299,695*

L12-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/1/23 14:12	2.302,482
26/1/23 13:55	2.302,484*
10/2/23 10:57	2.302,529
26/2/23 11:19	2.302,520*
16/3/23 11:23	2.302,522
26/3/23 12:40	2.302,550*
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 12:01	2.302,552
28/5/23 13:45	2.302,560*
11/6/23 13:55	2.302,575
24/6/23 13:24	2.302,575*

L12-3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/1/23 14:48	2.301,651
26/1/23 14:47	2.301,648*
10/2/23 11:23	2.301,668
26/2/23 11:52	2.301,677*
16/3/23 10:54	2.301,675
26/3/23 13:05	2.301,692*
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 12:20	2.301,705
28/5/23 14:09	2.301,711*
11/6/23 14:17	2.301,729
24/6/23 14:03	2.301,733*

L12-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/1/23 15:10	2.303,768
26/1/23 15:34	2.303,771*
10/2/23 11:40	2.303,785
26/2/23 12:11	2.303,793*
16/3/23 10:37	2.303,780
26/3/23 13:26	2.303,791*
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 12:37	2.303,813
28/5/23 14:27	2.303,833*
11/6/23 14:34	2.303,848
24/6/23 14:22	2.303,863*

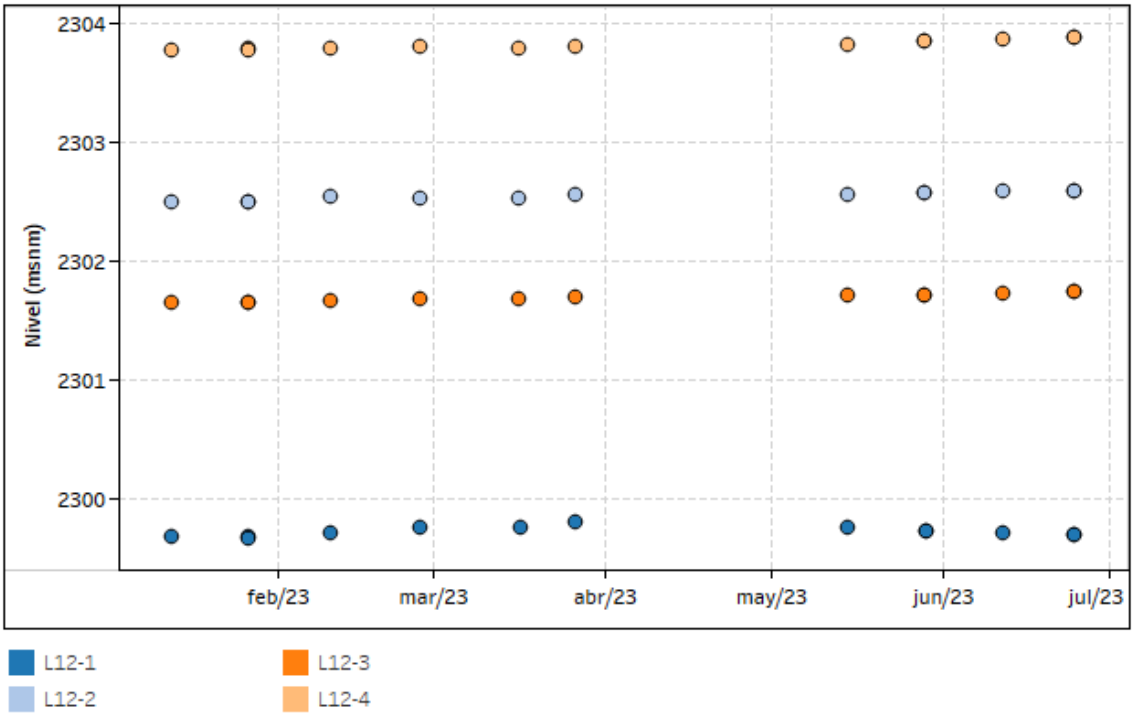
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden SQM en caso de mediciones mensuales, en caso de valores diarios (en forma de máximo y mínimo) corresponde a las mediciones de ETFA.

Tabla 5-71: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA			SQM					
	01/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
L12-1	1	1	1	2	2	2		2	2
L12-2	1	1	1	2	2	2		2	2
L12-3	1	1	1	2	2	2		2	2
L12-4	1	1	1	2	2	2		2	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-50: 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 5-72 se muestran las medidas tomadas en el primer semestre

de 2023, en la Tabla 5-73 se muestra el recuento de mediciones efectuadas por cada empresa y finalmente, en la Figura 5-51 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 SQM desde septiembre de 2022 de acuerdo con las Resoluciones Exentas N.º 573, N.º 574 y N.º 575/2022 de la SMA, el resto de las mediciones (mayor frecuencia o mediciones realizadas por la ETFA) se presentan de forma adicional principalmente en enero, mayo y junio. Durante abril no fue posible ir a medir nivel a la reglilla debido a restricción de acceso en el sector.

Tabla 5-72: Registro de niveles en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo

REGLILLA TILOPOZO	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
12/1/23 15:32	2.309,314
26/1/23 15:57	2.309,310 *
29/1/23 13:12	2.309,314 *
10/2/23 12:05	2.309,316
26/2/23 12:40	2.309,318 *
16/3/23 10:16	2.309,319
26/3/23 12:06	2.309,324 *
30/4/23 12:00	S/I
14/5/23 12:58	2.309,330
28/5/23 15:06	2.309,331 *
11/6/23 14:58	2.309,343
24/6/23 12:43	2.309,339 *

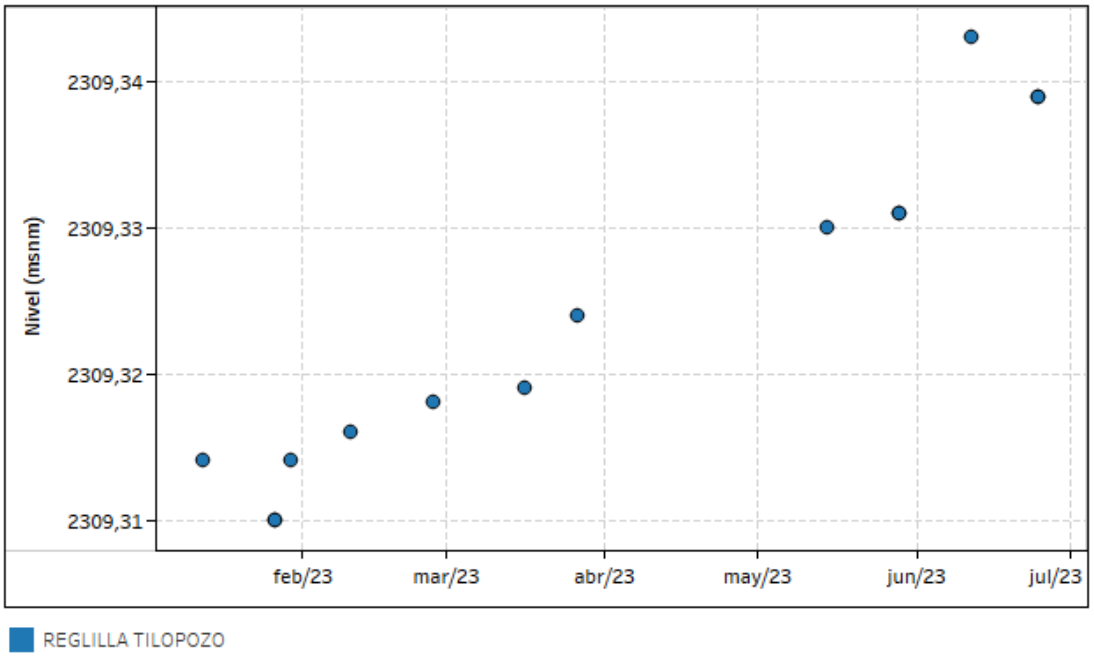
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tabla 5-73: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA			SQM					
	01/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
REGLILLA TILOPOZO	1	1	1	3	2	2		2	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-51: 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 primer 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 primer semestre de 2023, de acuerdo con la distribución señalada en la Figura 4-12 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 5-74 se presenta el resultado del monitoreo comprometido, en la Tabla 5-75 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.

Para el presente semestre reportado, no fue posible realizar todas las visitas con la debida frecuencia. Durante febrero no se contó con autorización de ingreso en los pozos 1001, SOPM-10, SOPM-11, SOPM-12C, además en este último se restringió su acceso también durante junio y para el pozo SOPM-11 también se restringió su acceso durante abril. Tampoco fue posible realizar el monitoreo durante marzo por suspensión de actividad por parte de la comunidad Camar, quien no aprobó realizar medición durante el mes señalado.

Tabla 5-74: Registro de niveles alejado de la zona productiva del núcleo

1001	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/1/23 14:58	2.299,155
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
24/4/23 12:22	2.299,272
29/5/23 16:25	2.299,214
27/6/23 15:03	2.299,161

2028	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 16:06	2.298,837
28/2/23 13:20	2.298,976
30/3/23 09:32	2.298,954
19/4/23 11:08	2.298,957
19/5/23 09:21	2.298,913
28/6/23 10:33	2.298,843

SOPE-6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 14:31	2.298,943
28/2/23 12:58	2.299,100
29/3/23 14:42	2.299,078
30/4/23 11:33	2.299,044
21/5/23 09:54	2.299,012
28/6/23 09:53	2.298,941

SOPM-10	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 12:43	2.298,882
22/1/23 12:25	2.298,884*
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
24/4/23 16:04	2.298,995
29/5/23 17:29	2.298,940
28/6/23 13:00	2.298,889

SOPM-11	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
14/1/23 17:06	2.298,907
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
30/4/23 12:00	S/I
11/5/23 12:18	2.298,999
25/5/23 13:11	2.298,973*
8/6/23 12:12	2.298,950
22/6/23 12:25	2.298,927*

SOPM-12C	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
19/1/23 12:10	2.299,051
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
24/4/23 15:03	2.299,166
29/5/23 16:54	2.299,107
30/6/23 12:00	S/I

SOPM-2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 15:48	2.298,906
28/2/23 13:36	2.299,061
28/3/23 13:57	2.299,034
19/4/23 10:52	2.299,032
19/5/23 08:49	2.298,982
28/6/23 10:52	2.298,908

SOPM-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 10:08	2.298,640
27/2/23 12:06	2.298,829
31/3/23 12:00	S/I
19/4/23 11:43	2.298,760
18/5/23 12:51	2.298,720
29/6/23 09:26	2.298,647

SOPM-5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 09:58	2.298,689
27/2/23 11:54	2.298,848
31/3/23 12:00	S/I
19/4/23 11:33	2.298,812
18/5/23 12:36	2.298,769
29/6/23 09:14	2.298,697

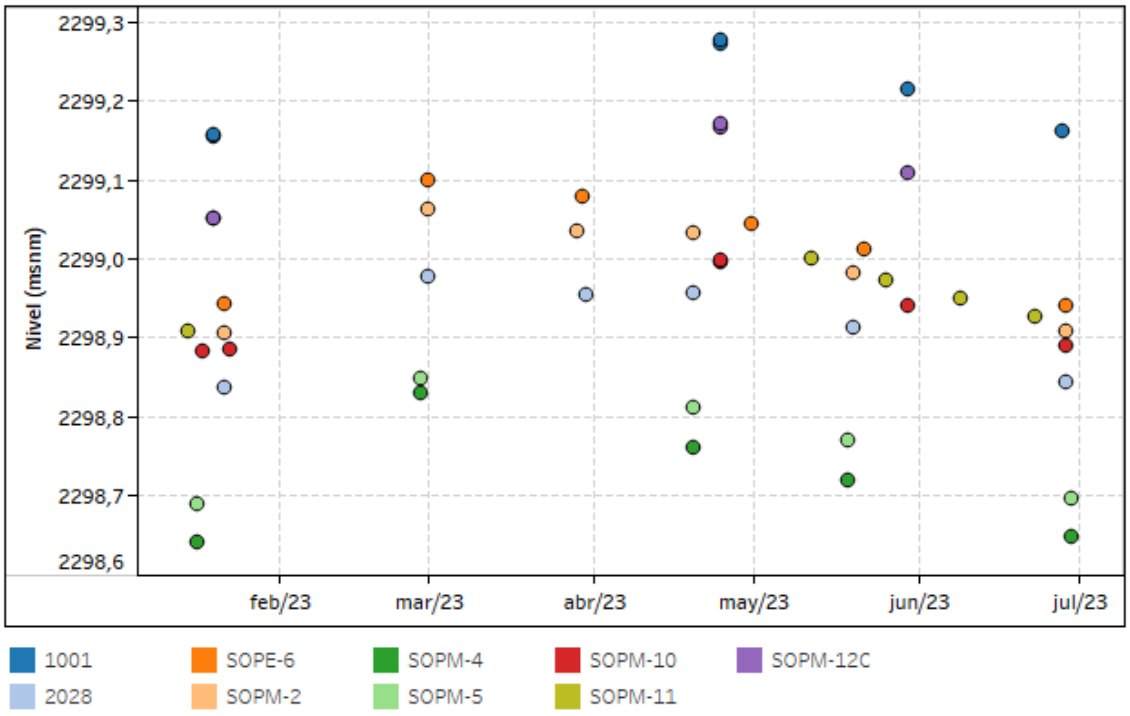
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA y SQM.

Tabla 5-75: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA		SQM					
	01/23	04/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
1001	1	1	1			1	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
SOPM-5			1	1		1	1	1
SOPM-10		1	2			1	1	1
SOPM-11			1				2	2
SOPM-12C	1	1	1			1	1	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-52: 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 5-76 se presenta el resultado del monitoreo, en la Tabla 5-77 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. 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 5-76: Registro de niveles próximos a la zona productiva del núcleo

2040	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 12:04	2.299,104
28/2/23 08:40	2.299,157
29/3/23 13:56	2.299,156
30/4/23 12:43	2.299,146
21/5/23 10:19	2.299,115
28/6/23 11:30	2.299,084

E-101	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 11:55	2.298,351
28/2/23 09:21	2.298,307
29/3/23 14:08	2.298,292
30/4/23 14:30	2.298,367
21/5/23 10:50	2.298,392
28/6/23 12:24	2.298,652

E-324	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 11:46	2.294,843
28/2/23 09:35	2.295,150
29/3/23 14:17	2.295,031
30/4/23 14:45	2.295,395
21/5/23 11:04	2.295,701
28/6/23 12:38	2.296,590

M1-C	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 12:11	2.299,119
28/2/23 08:52	2.299,114
29/3/23 13:46	2.299,180
30/4/23 12:58	2.299,202
21/5/23 10:30	2.299,166
28/6/23 11:57	2.299,122

M2-C	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 11:19	2.292,262
28/2/23 10:03	2.291,685
29/3/23 13:18	2.291,339
30/4/23 15:19	2.290,703
21/5/23 11:44	2.290,348
28/6/23 14:09	2.289,736

M7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 11:35	2.293,725
28/2/23 09:46	2.295,471
29/3/23 15:08	2.295,404
30/4/23 14:58	2.294,569
21/5/23 11:16	2.295,116
28/6/23 12:51	2.296,279

SAMPLE-4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 10:58	2.293,702
28/2/23 10:28	2.293,674
29/3/23 11:53	2.293,657
30/4/23 15:45	2.293,631
21/5/23 12:07	2.293,618
28/6/23 14:34	2.293,596

ZAR-C-S	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
21/1/23 10:31	2.295,495
28/2/23 11:06	2.295,481
29/3/23 11:10	2.295,475
30/4/23 16:22	2.295,466
21/5/23 12:52	2.295,464
28/6/23 15:02	2.295,463

SAMPLE-4	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
21/1/23 10:58	2.293,702
28/2/23 10:28	2.293,674
29/3/23 11:53	2.293,657
30/4/23 15:45	2.293,631
21/5/23 12:07	2.293,618
28/6/23 14:34	2.293,596

ZAR-C-S	
Fecha	**Nivel (m s.n.m.)**
21/1/23 10:31	2.295,495
28/2/23 11:06	2.295,481
29/3/23 11:10	2.295,475
30/4/23 16:22	2.295,466
21/5/23 12:52	2.295,464
28/6/23 15:02	2.295,463

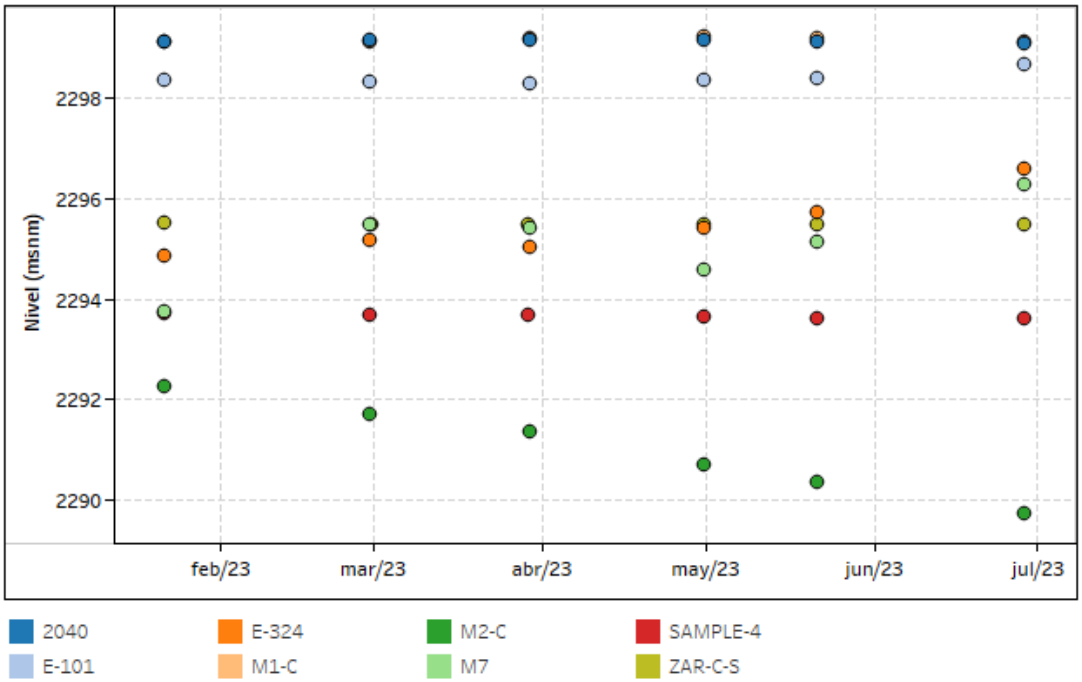
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA.

Tabla 5-77: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
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 5-53: 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 5-78 se presenta el resultado del monitoreo, en la Tabla 5-79 se muestra el recuento de las mediciones realizadas por cada empresa y finalmente, en la Figura 5-54 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 2022 de acuerdo con 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, a excepción del mes de marzo, donde no se logró realizar el monitoreo por suspensión de actividad por parte de la comunidad Camar, comunidad quien no aprobó el monitoreo en esta zona.

Tabla 5-78: 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.)
16/1/23 11:15	2.298,793	16/1/23 11:50	2.300,817	16/1/23 10:47	2.298,798
27/2/23 13:32	2.298,971	27/2/23 14:00	2.301,074	27/2/23 13:16	2.298,853
31/3/23 12:00	S/I	31/3/23 12:00	S/I	31/3/23 12:00	S/I
19/4/23 12:33	2.298,935	19/4/23 13:53	2.301,043	19/4/23 12:16	2.298,884
18/5/23 14:24	2.298,898	18/5/23 14:55	2.301,024	18/5/23 13:28	2.298,875
29/6/23 10:07	2.298,835	29/6/23 10:40	2.300,994	29/6/23 09:48	2.298,824

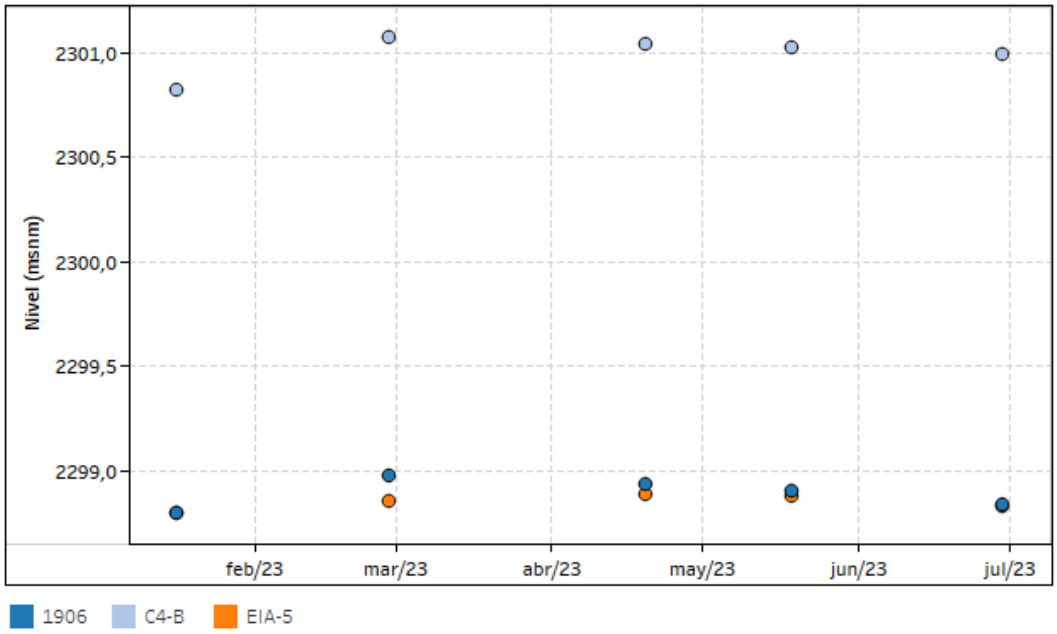
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. Los valores mostrados corresponden a la ETFA.

Tabla 5-79: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
1906	1	1		1	1	1
C4-B	1	1		1	1	1
EIA-5	1	1		1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-54: 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 5-55 se presentan las variables registradas por la estación meteorológica KCL para el período comprendido entre enero y junio de 2023, y que forman parte del PSAH: precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura a nivel diario. En la Tabla 5-80 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 para las variables de velocidad del viento, temperatura y evaporación, en el caso de la precipitación se obtiene el acumulado total diario.

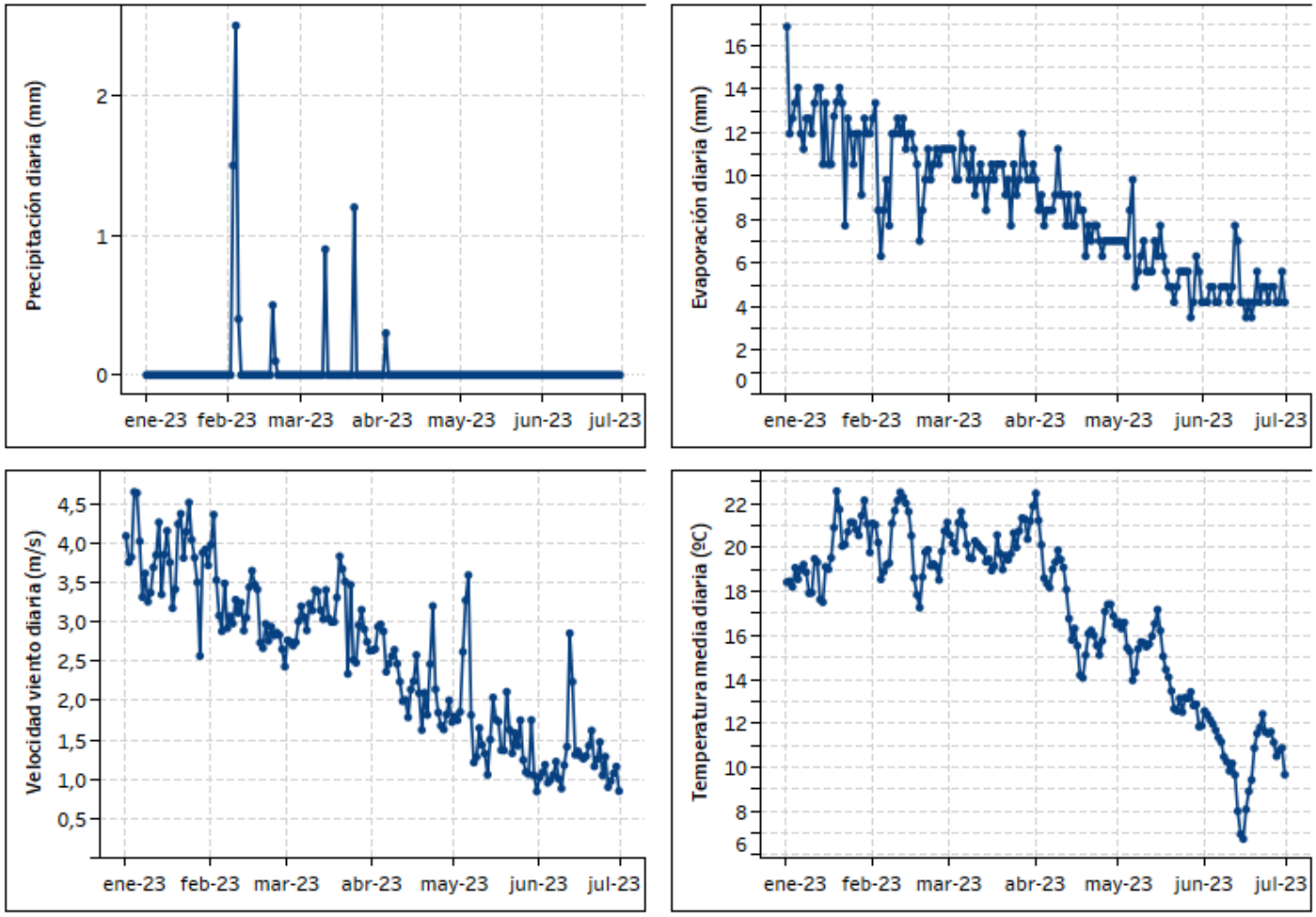
Tabla 5-80: Estadígrafos series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura en la estación meteorológica de KCL

Parametros	Unidad	Mín. Valor	Máx. Valor	Prom. Valor	Desv. están. de Valor
Precipitación*	mm/día	0,00	2,50	0,04	0,25
Evaporación*	mm/día	3,52	16,87	8,64	2,99
Velocidad del viento	m/s	0,84	4,65	2,52	1,00
Temperatura media diaria	ºC	6,73	22,57	17,06	3,85

* Esta variable contempla uno o más periodos de rellenado

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-55: Series de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura Estación Meteorológica de KCL



Fuente: Elaboración propia.

5.1.7.3 Calidad química

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones y análisis fisicoquímicos efectuados sobre los puntos de control que componen el monitoreo de calidad para el Sistema Núcleo del Salar de Atacama del primer semestre de 2023.

En la Figura 4-12 de la Sección 4.3.6 y en el Anexo 2 se presentan los puntos de monitoreo del Sistema Núcleo del Salar de Atacama. 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).

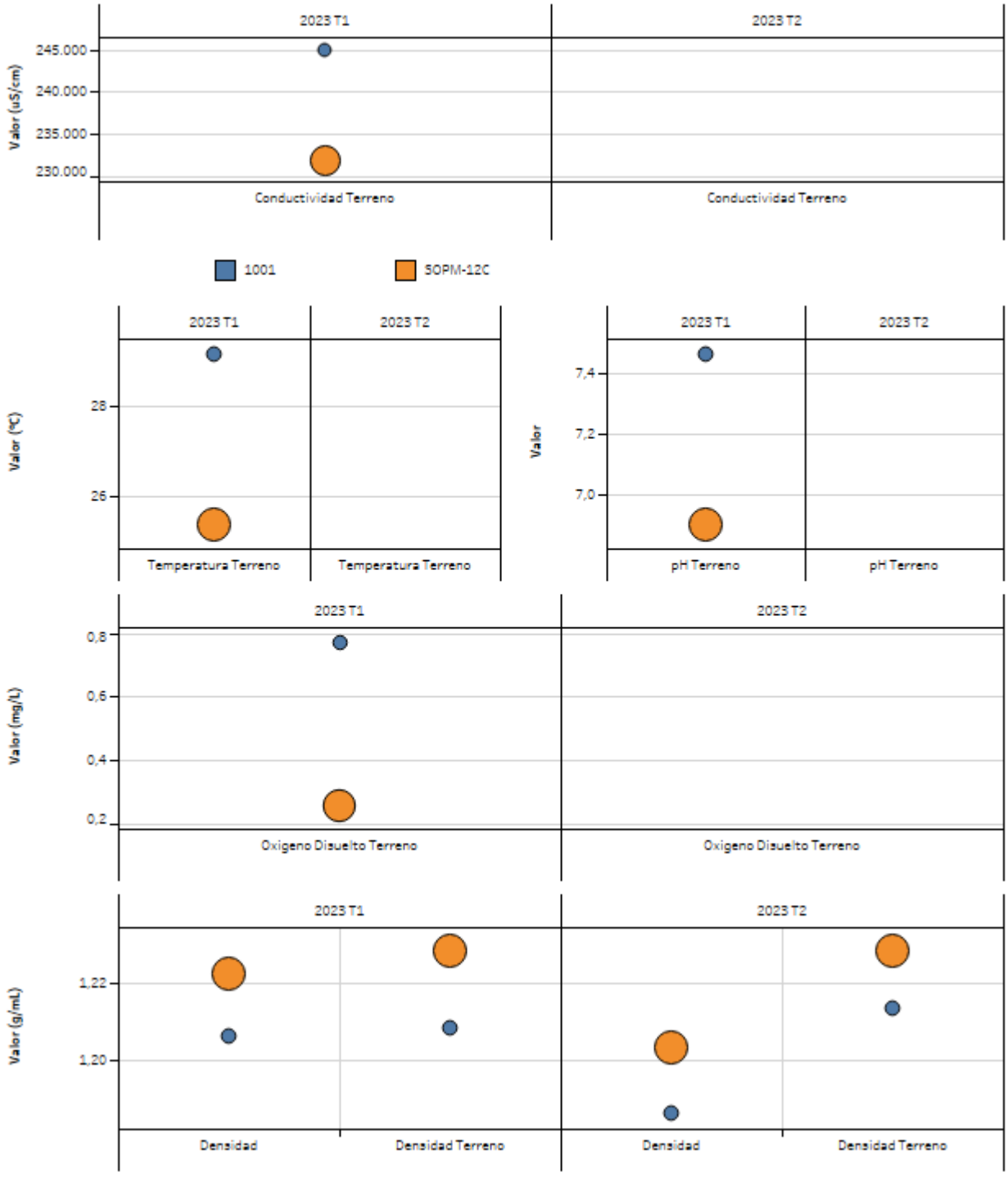
A continuación, en la Tabla 5-81 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de muestras de salmuera tomadas en terreno por SEGEA y analizadas por el laboratorio ALS, a los pozos de monitoreo en el periodo a reportar. Estos resultados se presentan gráficamente en la Figura 5-56. Como se observa, durante el periodo se realizaron los monitoreos trimestrales comprometidos, a excepción de los monitoreos de parámetros fisicoquímicos de terreno, debido a que, en abril, dado a la pérdida temporal de autorización de la ETFA SEGEA para la medición de dichos parámetros. Por esta razón, no se cuentan con datos de la ETFA en la tabla inferior, pero si se cuentan con estas mediciones de terreno medidas por SQM que se encuentran en el Anexo 6.2.

Tabla 5-81: Resultados calidad del agua del Sistema Núcleo del Salar de Atacama

Parámetro	1001		SOPM-12C	
	enero	abril	enero	abril
Conductividad Terreno (uS/cm)	245.000	-	231.800	-
Densidad (g/mL)	1,206	1,186	1,222	1,203
Densidad Terreno (g/mL)	1,208	1,213	1,228	1,228
Oxígeno disuelto Terreno (mg/L)	0,77		0,26	
pH Terreno ()	7,46		6,90	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	296.600	326.685	386.280	355.795
Temperatura Terreno (°C)	29,2		25,4	

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-56: Resultados calidad del agua Sistema Núcleo del Salar de Atacama



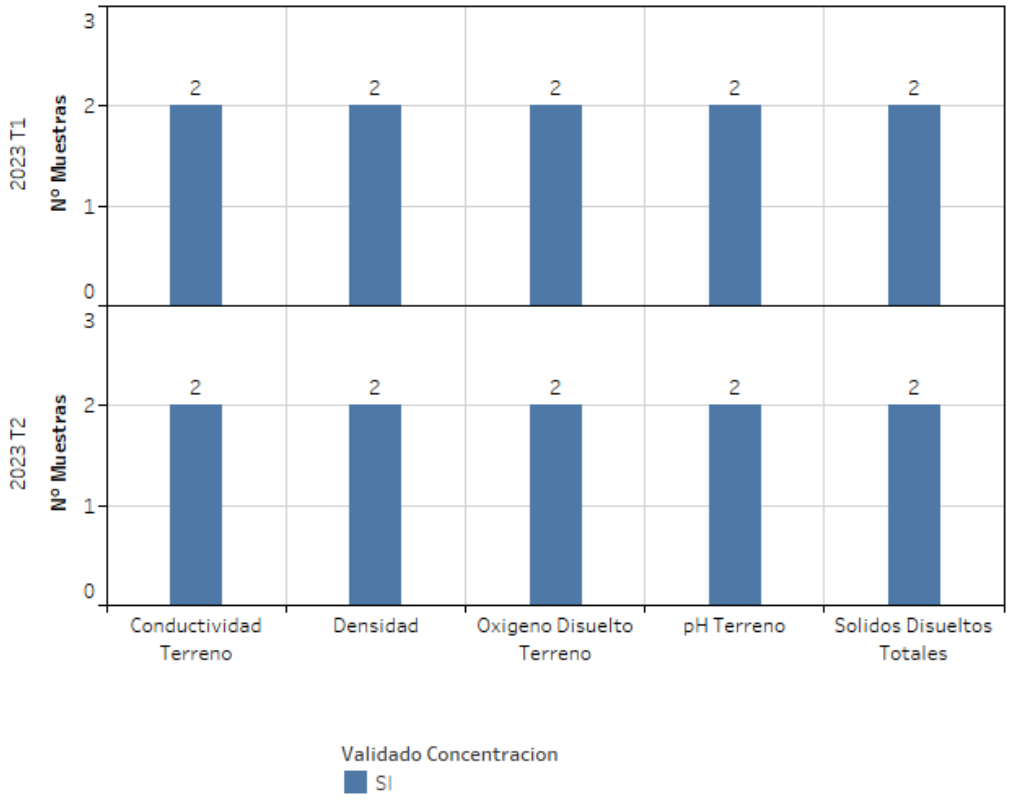
Fuente: Elaboración propia

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, conforme a lo cual, sólo se mide en laboratorio la densidad y Sólidos Disueltos Totales.

Los parámetros analizados por SQM 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 5-57 se observa que para el primer semestre todos los analitos y parámetros analizados cumplieron con este criterio.

Figura 5-57: 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, en relación con 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 primer 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 5.1.4. Por otro lado, el punto L10-1 es también parte 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 5-82 se muestra el resultado del monitoreo para este semestre y en la Tabla 5-83 se muestra el recuento de mediciones realizadas por SQM y SEGEA. En la Figura 5-58 se muestra gráficamente el resultado completo de las mediciones en estos puntos, contando con las mediciones de ambas empresas.

Puede verse que para el primer semestre de 2023 se han realizado las visitas estipuladas en todos los pozos, a excepción del Cuña 5 y Cuña 7. La medición de enero en Cuña 5 fue restringida por restricción de acceso a RNF sector Aguas de Quelana. En Cuña 7 se restringió el acceso por parte de la Comunidad de Peine el acceso para los meses de enero, febrero y marzo y de igual forma para el mes de abril en Cuña 6 dado que la misma comunidad no autorizó el monitoreo a SQM para realizar las mediciones. Por otra parte, la ETFA ha realizado mediciones adicionales para la mayoría de los pozos Cuña.

Tabla 5-82: Registro de niveles en pozos para el seguimiento la cuña salina

CUÑA 1	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
16/1/23 16:37	2.299,812
20/2/23 17:18	2.299,968
22/3/23 12:01	2.299,981
20/4/23 12:15	2.299,950
17/5/23 12:04	2.299,916
20/6/23 12:57	2.299,884

CUÑA 2	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 16:21	2.300,346
20/2/23 17:27	2.300,484
14/3/23 12:56	2.300,440
22/3/23 11:54	2.300,472 *
11/4/23 14:19	2.300,454
18/4/23 09:56	2.300,432 *
9/5/23 11:02	2.300,422
17/5/23 11:55	2.300,420 *
13/6/23 10:54	2.300,420
20/6/23 12:49	2.300,427 *

CUÑA 3	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
9/1/23 13:37	2.318,728
13/2/23 14:36	2.318,783
17/2/23 16:39	2.318,785 *
13/3/23 15:29	2.318,779
21/3/23 10:18	2.318,772 *
11/4/23 10:59	2.318,774
17/4/23 15:40	2.318,784 *
8/5/23 15:54	2.318,774
15/5/23 13:37	2.318,774 *
13/6/23 13:02	2.318,785
19/6/23 11:00	2.318,788 *

CUÑA 4	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
17/1/23 13:25	2.306,175
23/1/23 10:42	2.306,177 *
17/2/23 11:08	2.306,177
20/3/23 10:38	2.306,177
17/4/23 11:46	2.306,173
15/5/23 10:48	2.306,175
19/6/23 13:01	2.306,177

CUÑA 5	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
6/2/23 12:05	2.301,304
6/3/23 10:55	2.301,210
3/4/23 15:57	2.301,201
8/5/23 11:33	2.301,185
5/6/23 11:04	2.301,184

CUÑA 6	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
12/1/23 11:52	2.305,110
26/1/23 12:09	2.305,097 *
8/2/23 14:36	2.305,125
20/2/23 11:11	2.305,133 *
25/2/23 10:50	2.305,126 *
14/3/23 12:46	2.305,111
15/3/23 11:41	2.305,116 *
30/3/23 10:22	2.305,153 *
31/3/23 10:27	2.305,154 *
30/4/23 12:00	S/I
8/5/23 15:16	2.305,157
14/5/23 09:54	2.305,163 *
28/5/23 12:48	2.305,176 *
11/6/23 11:50	2.305,193
24/6/23 10:16	2.305,195 *

CUÑA 7	
Fecha	Nivel (m s.n.m.)
31/1/23 12:00	S/I
28/2/23 12:01	S/I
31/3/23 12:00	S/I
12/4/23 12:30	2.300,205
12/5/23 15:53	2.300,174
26/5/23 10:39	2.300,151 *
14/6/23 15:26	2.300,140
23/6/23 14:23	2.300,137 *

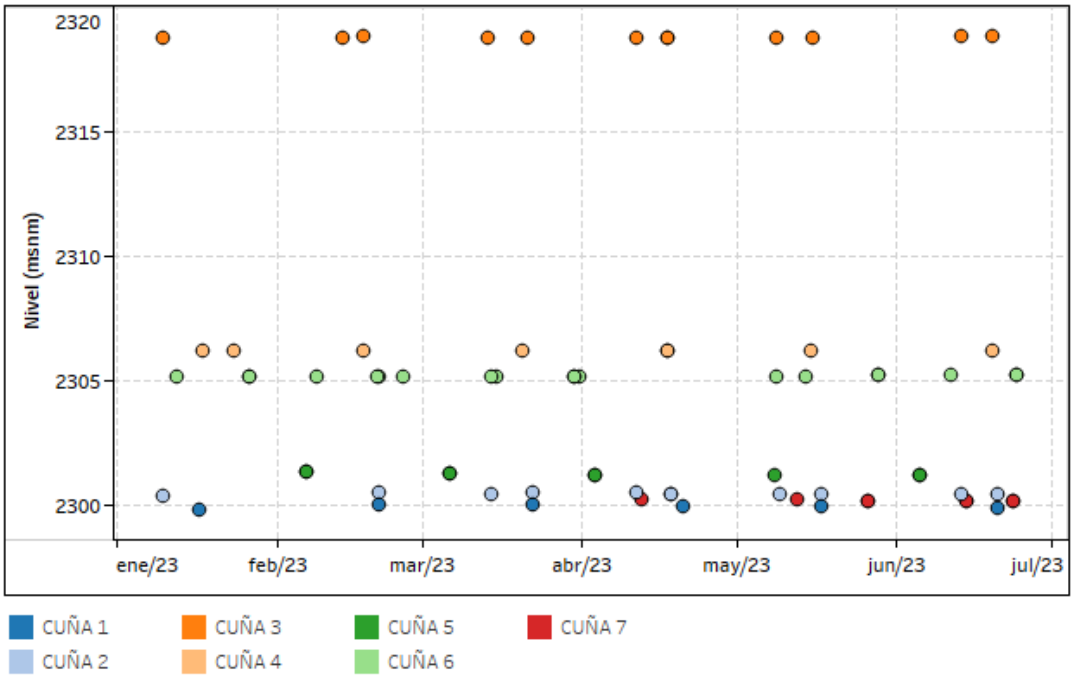
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84. S/I: Sin Información. Los valores mostrados corresponden a la ETFA y SQM

Tabla 5-83: Recuento de mediciones de nivel en cada mes y para cada empresa

	SEGEA						SQM					
	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23
CUÑA 1							1	1	1	1	1	1
CUÑA 2				1			1	1	2	2	2	2
CUÑA 3				1			1	2	2	2	2	2
CUÑA 4				1			2	1	1	1	1	1
CUÑA 5		1	1	1		1		1	1	1	1	1
CUÑA 6	1	1	1		1	1	2	3	4		3	2
CUÑA 7					1	2				1	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-58: Nivel observado (m s.n.m.) en los pozos para el seguimiento de la cuña salina



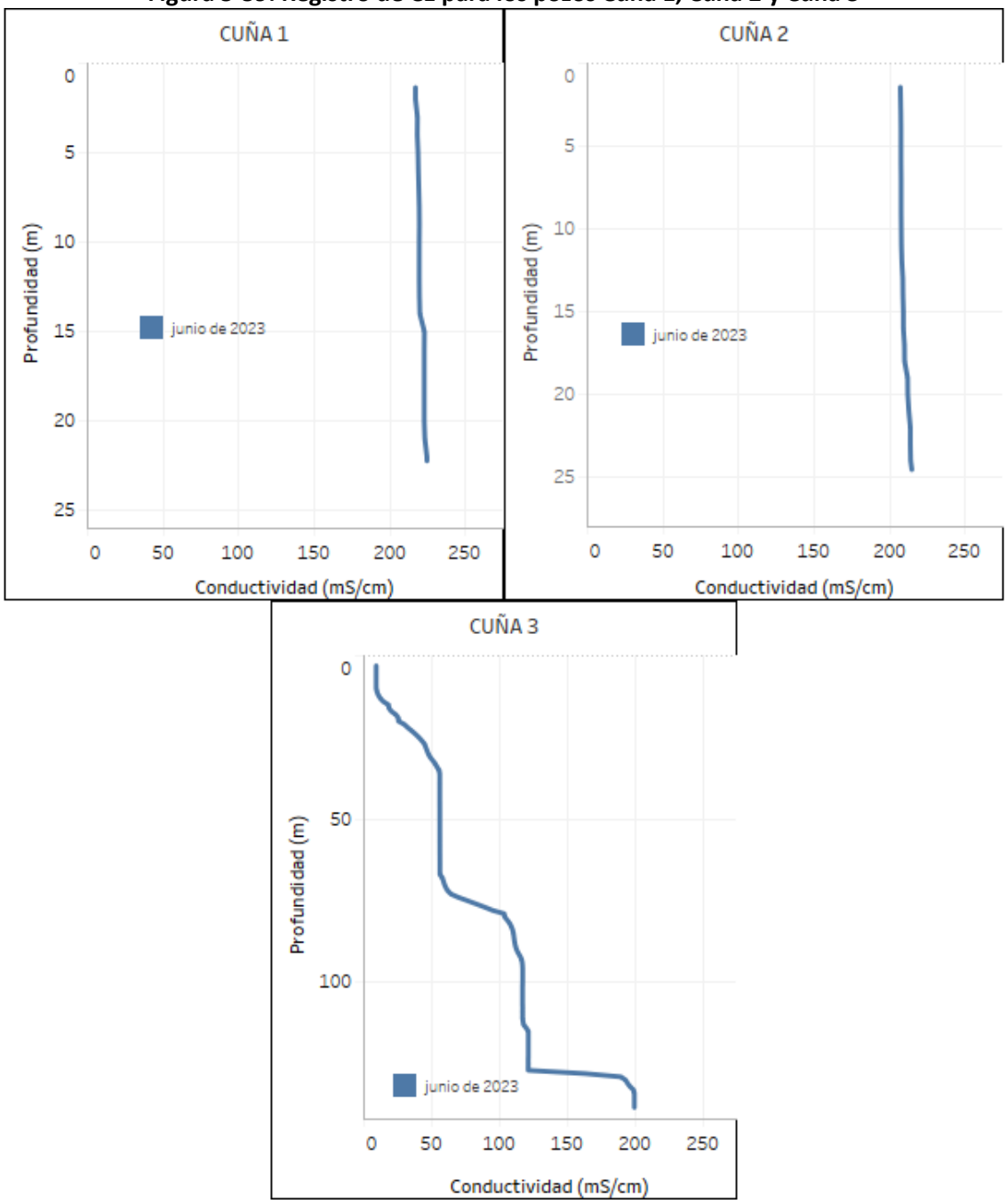
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

5.1.8.2 Calidad química

En el primer semestre de 2023, los perfiles de conductividad fueron medidos en todos los pozos a excepción de los meses comentados para el pozo Cuña 7 (enero, febrero y marzo) como también para el pozo Cuña 6.

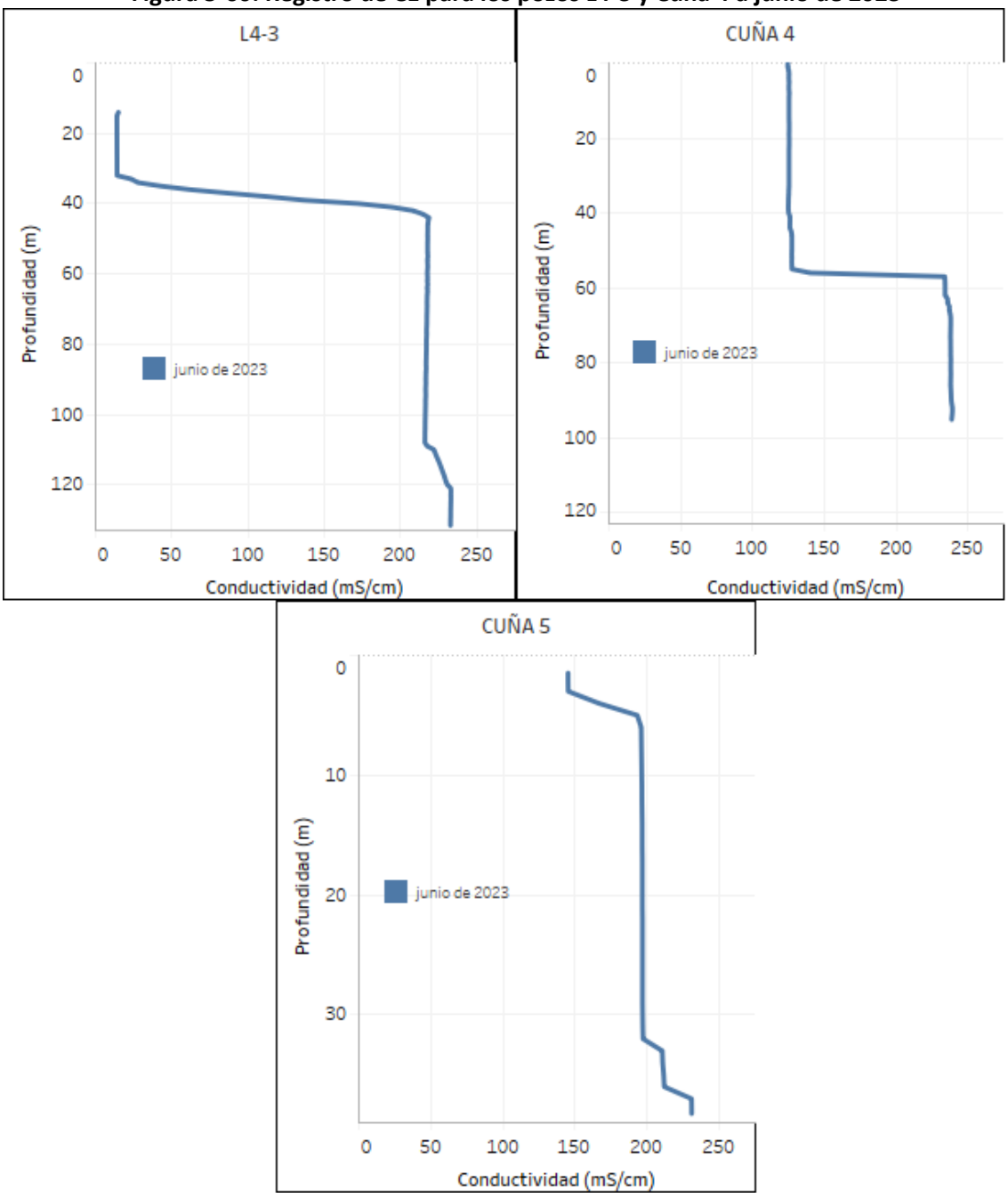
Las mediciones del perfil de CE obtenidas durante el presente período de reporte en los pozos monitoreados se presentan en la Figura 5-59, Figura 5-60 y Figura 5-61, ordenados de norte a sur para cada perfil cuña. La Figura 5-59 presenta los perfiles semestrales de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 y la Figura 5-60 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 se visualizan en la Figura 5-61. Además, en el Anexo 6.3 se entregan todos los valores según el formato definido por la RES.894/2019 de la SMA.

Figura 5-59: Registro de CE para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3



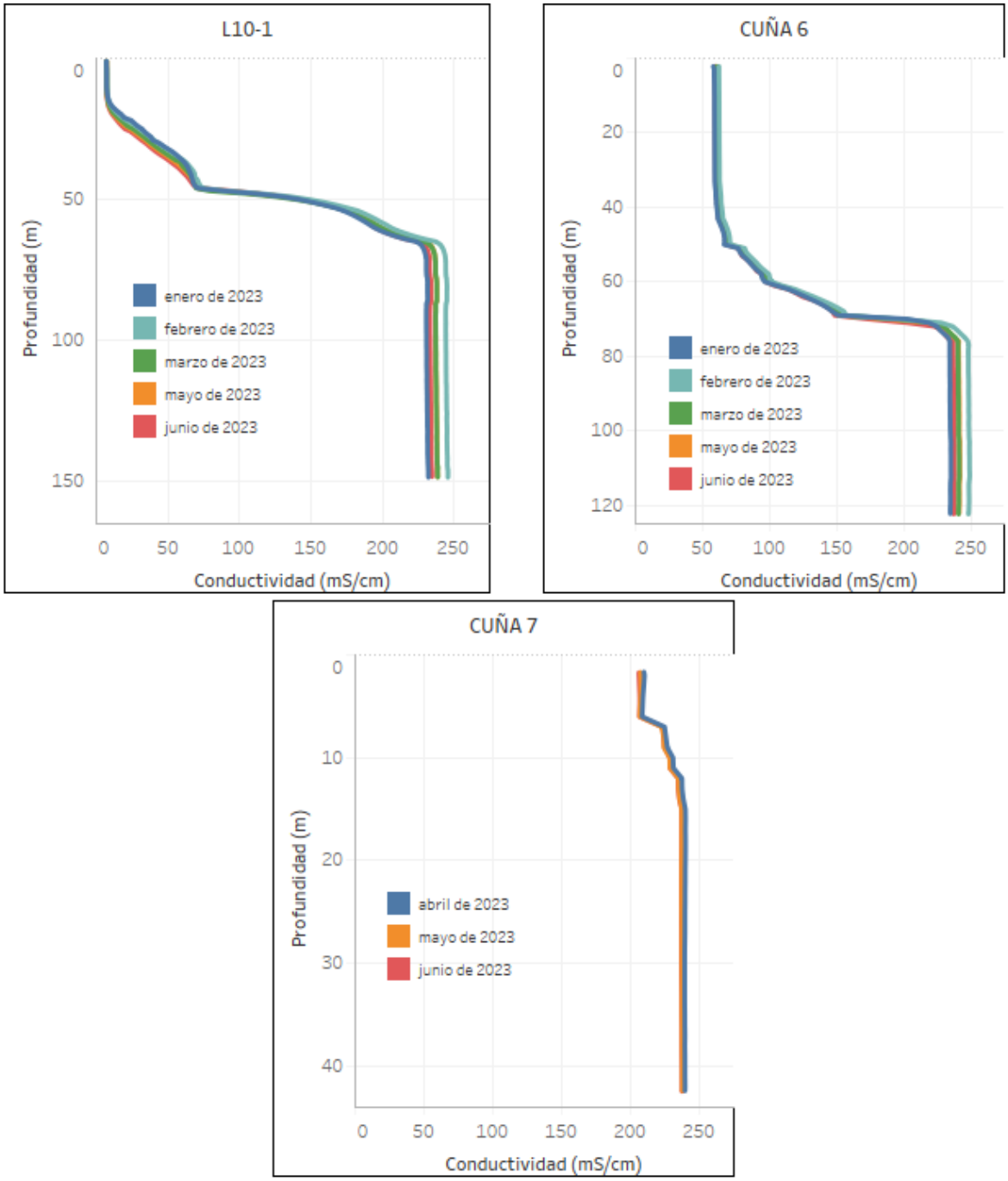
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-60: Registro de CE para los pozos L4-3 y Cuña 4 a junio de 2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-61: Registro de CE para los pozos L10-1, Cuña 6 y Cuña 7 a junio 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 (PC) 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 5-84).

Tabla 5-84: 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 primer 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.

La Tabla 5-85 muestra un resumen del estado de todos los indicadores para este periodo. Es importante destacar que, finalizando esta primera mitad del año, los indicadores L1-5 y L1-G4 REGLILLA del Sistema Soncor permanecieron con la Fase II activada. A continuación, se detalla cada uno de los sistemas, mientras que el análisis de la superación de umbrales y sus causas, (si las hubiera), se presentan en el Capítulo 6 de este informe (capítulo de discusión).

Tabla 5-85: Estado del Plan de Contingencias

Compromiso	Sistema	Subsistema	Indicador de Estado	2023					
				enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
RCA 226/2006	Soncor	Soncor	L1-4	●	●	●	●	●	●
			L1-5	●	●	●	●	●	●
			L1-G4 REGLILLA	●	●	●	●	●	●
			L7-4	✕	●	●	●	●	●
	Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	L3-5	●	●	●	●	●	●
			L3-9	●	●	●	●	●	●
			L4-8	✕	●	●	●	●	●
			L4-12	●	●	●	●	●	●
			L5-8	●	●	●	●	●	●
			L5-10	●	●	●	●	●	●
	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L2-25	●	●	●	●	●	●
			L3-11	●	●	●	●	●	●
			L4-3	●	●	●	●	●	●
			L7-13	●	●	●	●	●	●
			L9-1	●	●	●	●	●	●
		Brea-Atriplex	L1-3	●	●	●	●	●	●
			L2-7	●	●	●	●	●	●
			L2-28	●	●	●	●	●	●
			L3-3	●	●	●	●	●	●
			L4-7	●	●	●	●	●	●
			L7-6	●	●	●	●	●	●
			L9-1	●	●	●	●	●	●
		Hidromorfa	L1-17	●	●	●	●	●	●
			L2-4	●	●	●	●	●	●
			L2-27	●	●	●	●	●	●
			L3-5	●	●	●	●	●	●
			L4-10	✕	●	●	●	●	✕
			L7-3	●	●	●	●	●	●
PdC presentado en proceso SMA F-041-2016	Peine	Alerta Temprana	1028	●	●	●	●	●	●
			L10-4	●	●	●	●	●	●
			L10-11	●	●	●	●	●	●
			PN-05B_RWL	●	●	●	●	●	
			PN-08A_RWL	●	●	●	●	●	
Pozos adicionales	Vegetación Borde Este	Alerta Temprana	L2-26	●	●	●	●	●	●
			L3-15	●	●	●	●	●	●
		Brea-Atriplex	L2-25	●	●	●	●	●	●
			L4-17	●	●	●	●	●	●
			L7-14	●	●	●	●	●	●
			L9-2	●	●	●	●	●	●

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 5-86) y gráfica (Figura 5-62, Figura 5-63 y Figura 5-65); 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 primer 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 II luego de haber activado en enero del 2022, sin embargo, después de eventos de precipitaciones ocurridas en febrero 2023, registros que se describe en la sección 5.1.2.2, se desactivó las Fases II y I específicamente el día 04 de febrero de 2023 volviendo a activarse Fase I el 28 de mayo del mismo año.

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 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 lo que se entiende que este indicador no es representativo del propósito por el que fue diseñado. De ahí que la superación del umbral, tanto de Fase I como de Fase II no supone *per se* un 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 5-86: 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	
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	2.299,014	2.299,025
Feb 2023	2.299,014	2.299,150
Mar 2023	2.299,140	2.299,150
Abr 2023	2.299,126	2.299,142
May 2023	2.299,088	2.299,124
Jun 2023	2.299,047	2.299,086

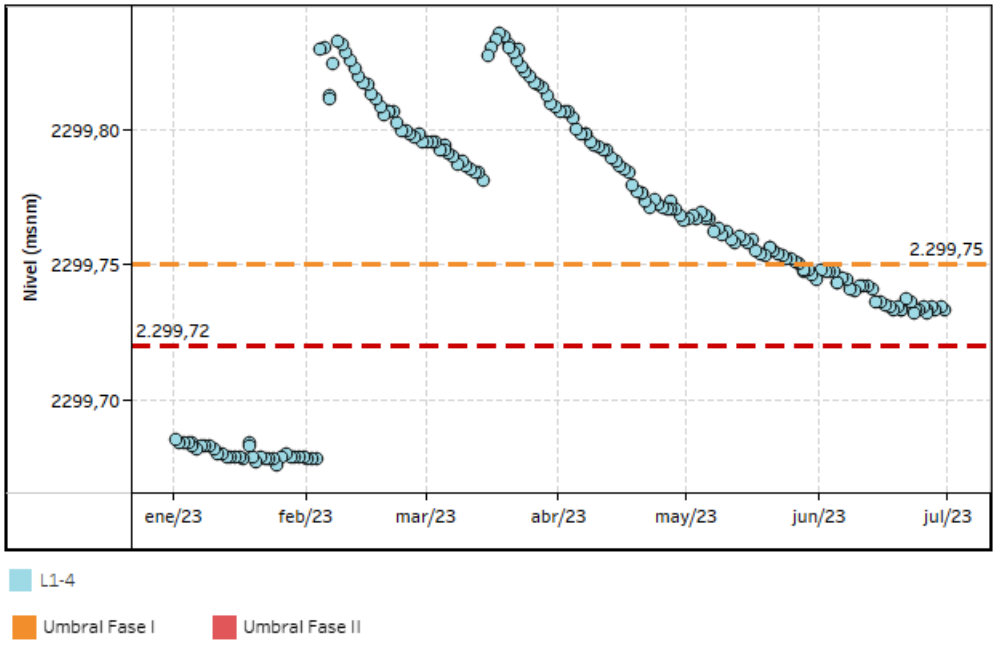
L7-4		
Umbral Fase I	2.302,20	
Umbral Fase II	2.302,18	
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	S/I	S/I
Feb 2023	2.302,306	2.302,306
Mar 2023	2.302,275	2.302,276
Abr 2023	2.302,268	2.302,268
May 2023	2.302,258	2.302,259
Jun 2023	2.302,262	2.302,262

L1-G4 REGLILLA		
Umbral Fase I	2.299,46	
Umbral Fase II	2.299,30	
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	2.299,039	2.299,048
Feb 2023	2.299,037	2.299,138
Mar 2023	2.299,137	2.299,151
Abr 2023	2.299,142	2.299,154
May 2023	2.299,120	2.299,143
Jun 2023	2.299,090	2.299,118

L1-4		
Umbral Fase I	2.299,75	
Umbral Fase II	2.299,72	
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	2.299,676	2.299,685
Feb 2023	2.299,678	2.299,832
Mar 2023	2.299,781	2.299,835
Abr 2023	2.299,766	2.299,806
May 2023	2.299,744	2.299,769
Jun 2023	2.299,732	2.299,748

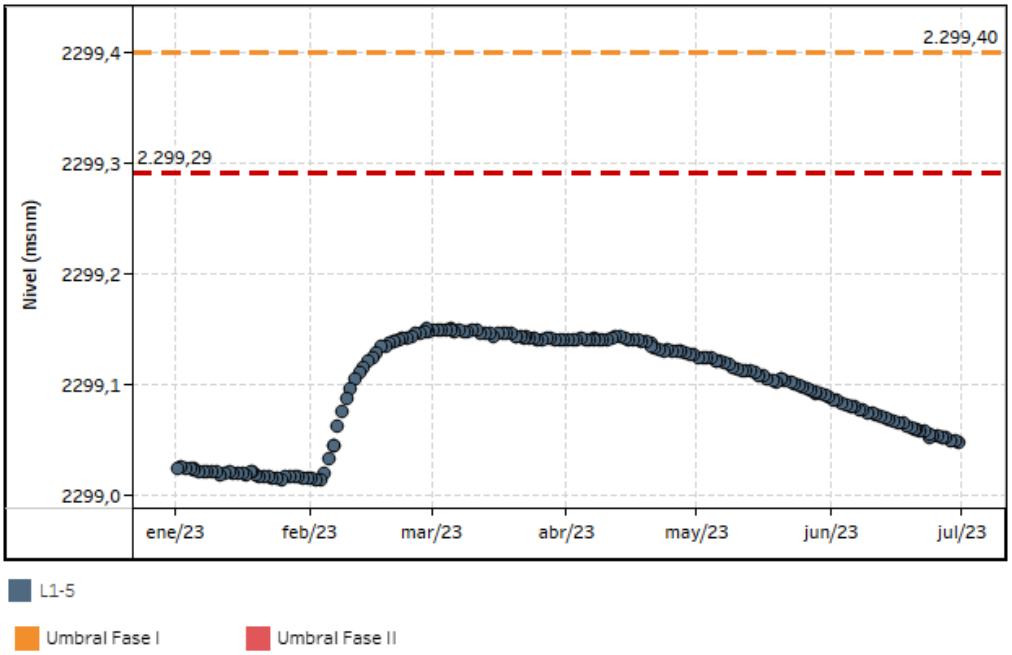
Fuente: Elaboración propia. S/I: Sin Información. Sistema referencia WGS-84. El sombreado amarillo indica valores inferiores a la Fase I del PC. El sombreado naranjo indica valores inferiores a la Fase II del PC.

Figura 5-62: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



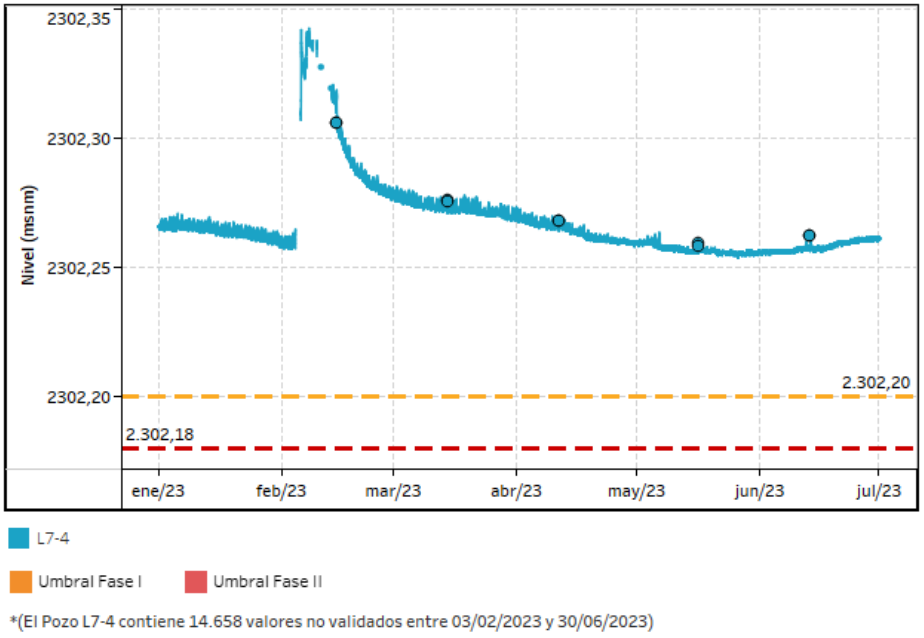
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-63: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L1-5 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



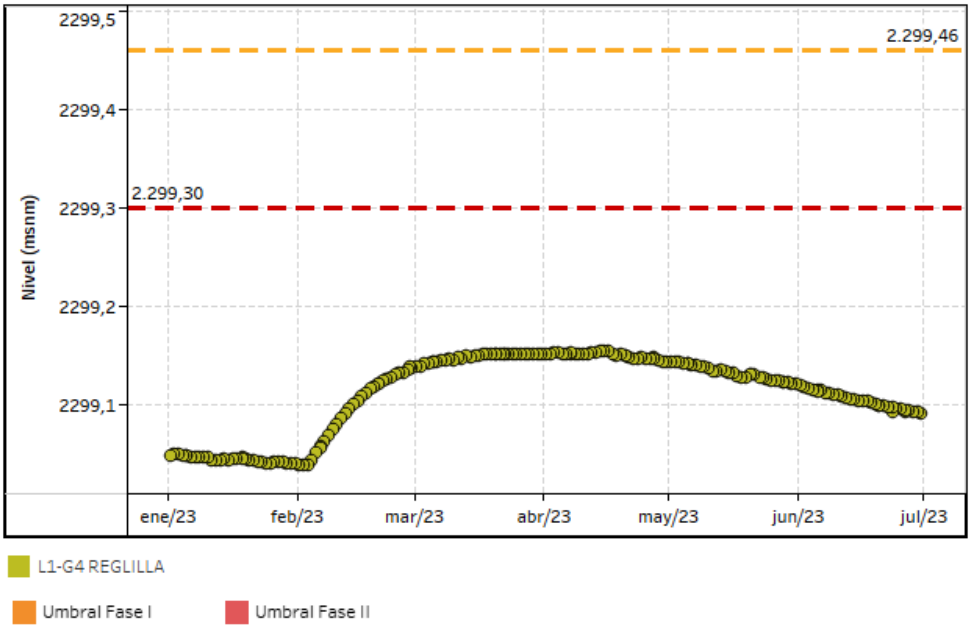
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-64: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado L7-4 del PC del Sistema Soncor junto con los umbrales correspondientes



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-65: 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 capítulo se muestran los descensos resultantes en comparación con los umbrales del PC. De esta forma se presentan numéricamente en la Tabla 5-87 y de forma gráfica en la Figura 5-66. 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 primer semestre 2023, los indicadores L3-5, L3-9, L4-8, y L5-8 se han mantenido por sobre los umbrales de Fase, sin producir activación en ningún caso.

Por otro lado, el nivel continuo del indicador L4-12 activó Fase I el 06 de enero de 2023. Aunque en función de los datos continuos, estos experimentaron oscilaciones cercanas a la fase que generaban desactivaciones y activaciones temporales. En este contexto, el 12 de enero volvió a activar Fase I, confirmando situación con nivel manual el día 17 de enero de 2023, esta condición se mantuvo hasta el 03 de febrero, día en que se iniciaron precipitaciones. En esa fecha, debido a estos eventos, el nivel del pozo aumentó significativamente.

En relación al indicador L5-10, como se mencionó en el informe PSAH N°32, el nivel continuo de este pozo ya se encontraba en Fase II desde 2022. Sin embargo, debido al evento de precipitaciones de febrero mencionado anteriormente, 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. Al igual que el pozo L4-12, éste experimentó oscilaciones cercanas a la Fase I que generaban desactivaciones y activaciones temporales. El 01 de abril volvió a activar Fase I y se mantuvo en esta condición hasta que, debido a un nuevo evento de precipitaciones (ver 5.1.7.2), desactivó Fase I el día 04 del mismo mes. Finalmente, el pozo L5-10 reactivó la Fase I el 12 del mismo mes, terminando el semestre en esa condición. El informe referente a la efectividad de la medida asociado a esta activación deberá ser entregado durante octubre 2023. Estos hechos, junto con las conclusiones extraídas de los informes elaborados serán debidamente detallados en el próximo informe PSAH Nº 34, el que corresponde al segundo semestre 2023.

Tabla 5-87: 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
Ene 2023	-0,280	-0,241
Feb 2023	-0,273	-0,238
Mar 2023	-0,260	-0,246
Abr 2023	-0,253	-0,239
May 2023	-0,261	-0,239
Jun 2023	-0,296	-0,261

L3-9		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,024	0,024
Feb 2023	0,019	0,020
Mar 2023	0,006	0,007
Abr 2023	0,007	0,007
May 2023	0,019	0,019
Jun 2023	0,025	0,026

L4-8		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	S/I	S/I
Feb 2023	-0,088	-0,088
Mar 2023	0,000	S/I
Abr 2023	0,000	0,001
May 2023	0,006	0,006
Jun 2023	0,001	0,002

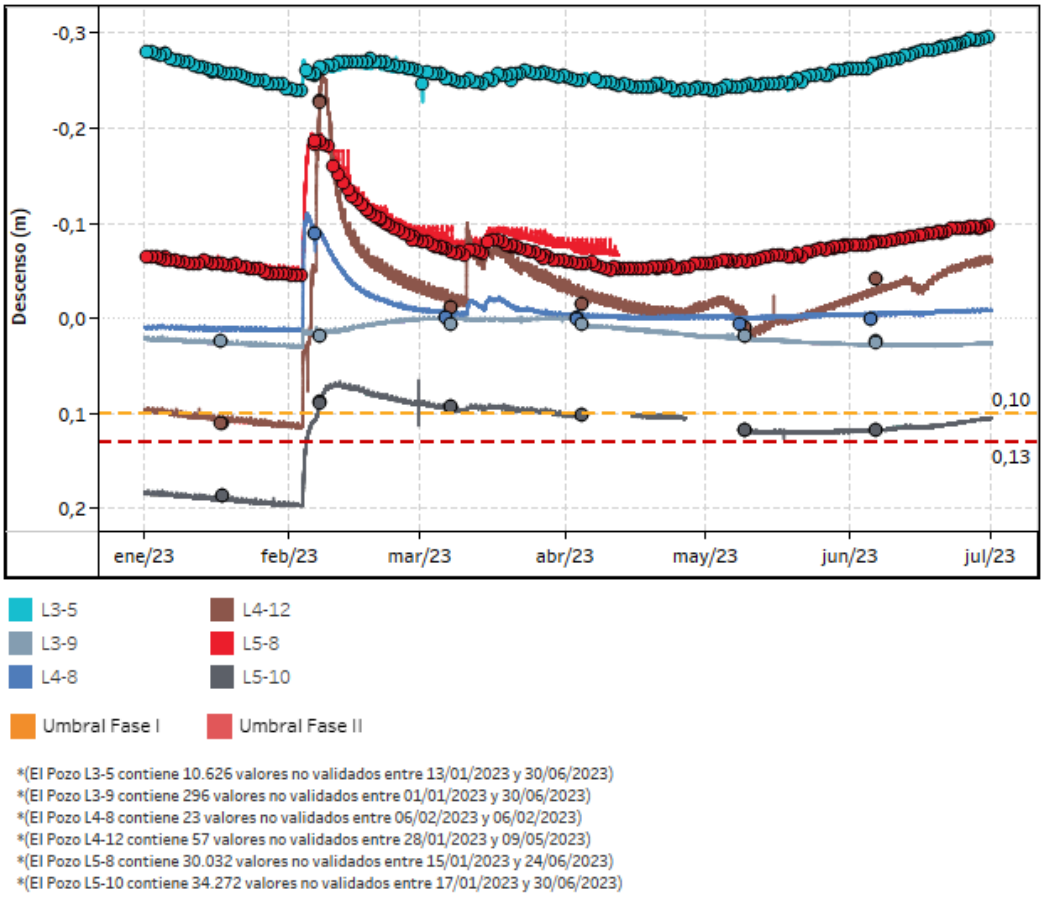
L4-12		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,111	0,111
Feb 2023	-0,228	-0,226
Mar 2023	-0,010	-0,010
Abr 2023	-0,015	-0,015
May 2023	0,010	0,010
Jun 2023	-0,041	-0,040

L5-8		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	-0,064	-0,046
Feb 2023	-0,186	-0,044
Mar 2023	-0,081	-0,060
Abr 2023	-0,059	-0,050
May 2023	-0,077	-0,057
Jun 2023	-0,097	-0,076

L5-10		
Umbral Fase I	0,10	
Umbral Fase II	0,13	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,187	0,187
Feb 2023	0,089	0,090
Mar 2023	0,093	0,093
Abr 2023	0,103	0,103
May 2023	0,119	0,119
Jun 2023	0,118	0,119

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

Figura 5-66: 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 5-88) 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 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).

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 una vez 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 5-88: 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
Ene 2023	0,178	0,218
Feb 2023	0,005	0,219
Mar 2023	0,101	0,175
Abr 2023	0,174	0,208
May 2023	0,189	0,210
Jun 2023	0,155	0,189

L2-4		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,062	0,087
Feb 2023	-0,258	0,087
Mar 2023	-0,139	-0,022
Abr 2023	-0,025	0,012
May 2023	0,010	0,018
Jun 2023	S/I	0,014

L3-5		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	-0,280	-0,241
Feb 2023	-0,273	-0,238
Mar 2023	-0,260	-0,246
Abr 2023	-0,253	-0,239
May 2023	-0,261	-0,239
Jun 2023	-0,296	-0,261

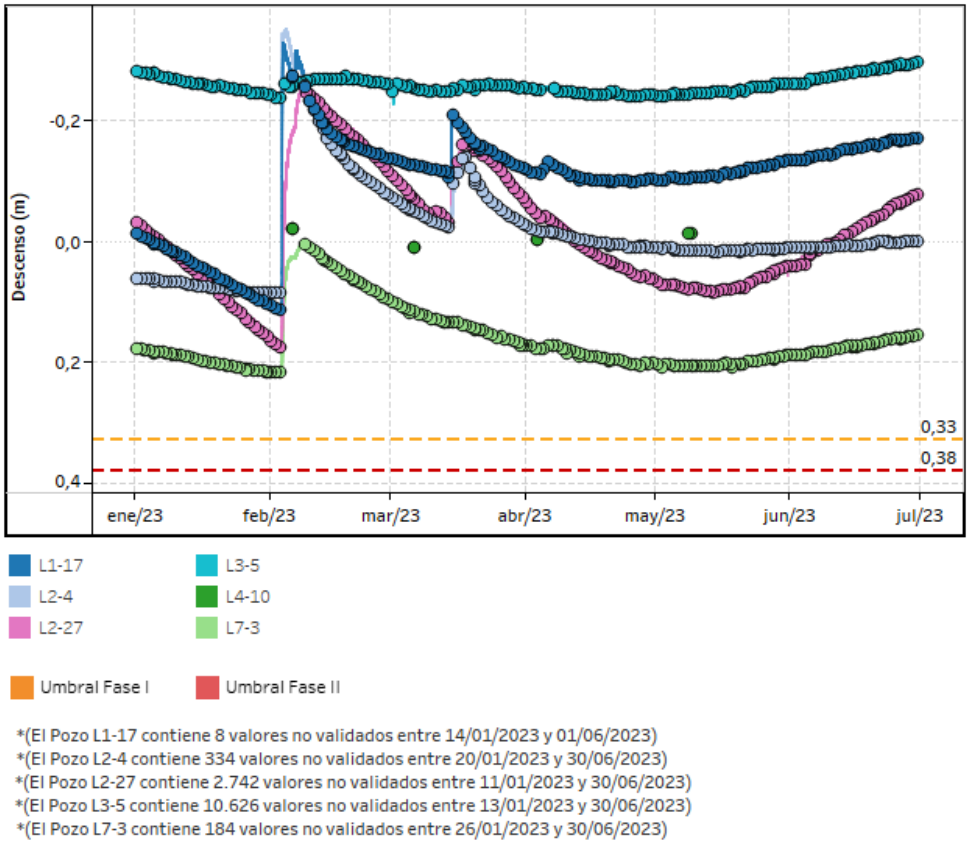
L4-10		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	S/I	S/I
Feb 2023	-0,020	-0,020
Mar 2023	0,010	0,010
Abr 2023	-0,003	-0,002
May 2023	-0,013	-0,012
Jun 2023	S/I	S/I

L1-17		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	-0,011	0,103
Feb 2023	-0,273	0,114
Mar 2023	-0,209	-0,104
Abr 2023	-0,131	-0,098
May 2023	-0,133	-0,100
Jun 2023	-0,169	-0,133

L2-27		
Umbral Fase I	0,33	
Umbral Fase II	0,38	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	-0,029	0,159
Feb 2023	-0,245	0,177
Mar 2023	-0,164	-0,031
Abr 2023	-0,063	0,064
May 2023	0,041	0,085
Jun 2023	-0,077	0,041

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

Figura 5-67: 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 (Tabla 5-89) y gráfica (Figura 5-68). 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 L1-3, L2-28 y L7-6 se han mantenido durante este periodo con la Fase I activada. Esta situación se ha mantenido invariable desde 2015 en el caso del L7-6 y desde la segunda mitad del año 2019 en el caso del L1-3. En el caso del indicador L2-28 se mantiene que con la Fase I activada desde el pasado noviembre de 2020 y para el cierre del presente semestre reportado se mantiene en la misma situación. Ahora bien, el indicador L2-7 que llevaba con activación de Fase I desde diciembre de 2019, logró salir de ella durante febrero de 2023 asociado a los eventos de precipitación durante los primeros días de dicho mes. El indicador ha mantenido la tendencia y recuperación de pendiente de descensos sobre el umbral de Fase I hasta el final del periodo reportado.

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 5-89: 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
Ene 2023	0,607	0,620
Feb 2023	0,608	0,618
Mar 2023	0,594	0,611
Abr 2023	0,592	0,608
May 2023	0,586	0,607
Jun 2023	0,579	0,599

L2-7		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,534	0,545
Feb 2023	0,479	0,545
Mar 2023	0,452	0,478
Abr 2023	0,436	0,452
May 2023	0,436	0,449
Jun 2023	0,448	0,464

L3-3		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,376	0,428
Feb 2023	0,405	0,433
Mar 2023	0,330	0,436
Abr 2023	0,336	0,347
May 2023	0,315	0,341
Jun 2023	0,288	0,315

L1-3		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,576	0,586
Feb 2023	0,518	0,587
Mar 2023	0,495	0,516
Abr 2023	0,492	0,501
May 2023	0,496	0,507
Jun 2023	0,503	0,510

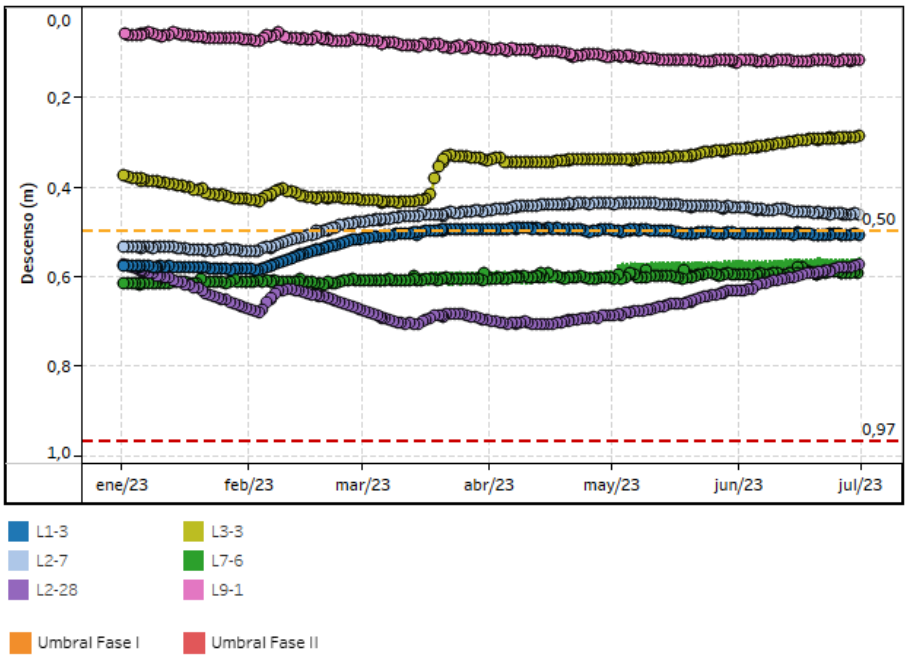
L2-28		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,574	0,673
Feb 2023	0,629	0,683
Mar 2023	0,679	0,707
Abr 2023	0,688	0,709
May 2023	0,631	0,687
Jun 2023	0,575	0,631

L4-7		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,038	0,043
Feb 2023	-0,027	0,043
Mar 2023	0,022	0,034
Abr 2023	0,034	0,041
May 2023	0,032	0,039
Jun 2023	0,027	0,033

L9-1		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,057	0,072
Feb 2023	0,057	0,075
Mar 2023	0,073	0,092
Abr 2023	0,091	0,112
May 2023	0,107	0,123
Jun 2023	0,116	0,120

Fuente: Elaboración propia. El sombreado amarillo indica valores inferiores a la Fase I del PC.

Figura 5-68: Descensos observados (m) en indicadores de estado del PC del Sistema Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex



*(El Pozo L1-3 contiene 39.688 valores no validados entre 12/01/2023 y 30/06/2023)
*(El Pozo L2-7 contiene 521.280 valores no validados entre 01/01/2023 y 30/06/2023)
*(El Pozo L3-3 contiene 7.154 valores no validados entre 03/01/2023 y 29/06/2023)
*(El Pozo L7-6 contiene 206.162 valores no validados entre 01/01/2023 y 13/03/2023)
*(El Pozo L9-1 contiene 68 valores no validados entre 23/01/2023 y 30/06/2023)

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 la Acción 5 del 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 5-90) y gráfica (Figura 5-69, Figura 5-70, Figura 5-71 y Figura 5-72), 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 1 medición mensual efectuada por ETFA SEGEA. 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 5-90: 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
Ene 2023	-2,545	-2,506
Feb 2023	-2,535	-2,512
Mar 2023	-2,552	-2,534
Abr 2023	-2,558	-2,504
May 2023	-2,526	-2,507
Jun 2023	-2,555	-2,522

L2-25		
Umbral Fase II	0,88	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	-0,061	-0,052
Feb 2023	-0,120	-0,052
Mar 2023	-0,110	-0,086
Abr 2023	-0,092	-0,083
May 2023	-0,082	-0,072
Jun 2023	-0,075	-0,071

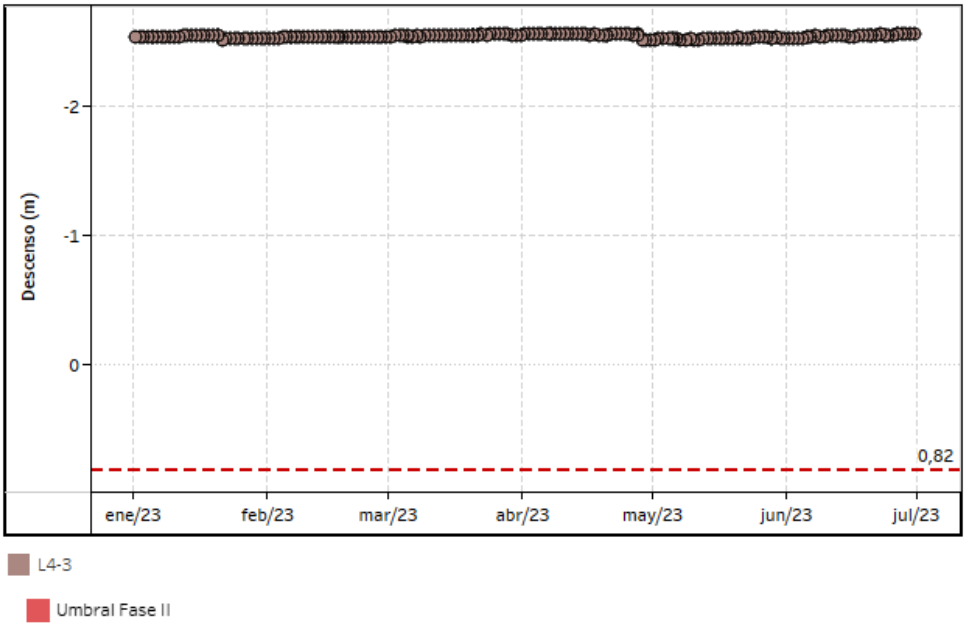
L7-13		
Umbral Fase II	1,25	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,487	0,492
Feb 2023	0,486	0,493
Mar 2023	0,480	0,488
Abr 2023	0,478	0,484
May 2023	0,476	0,485
Jun 2023	0,470	0,481

L3-11		
Umbral Fase II	0,86	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,054	0,055
Feb 2023	0,051	0,052
Mar 2023	0,043	0,044
Abr 2023	0,043	0,043
May 2023	0,049	0,049
Jun 2023	0,055	0,057

L9-1		
Umbral Fase II	0,86	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,057	0,072
Feb 2023	0,057	0,075
Mar 2023	0,073	0,092
Abr 2023	0,091	0,112
May 2023	0,107	0,123
Jun 2023	0,116	0,120

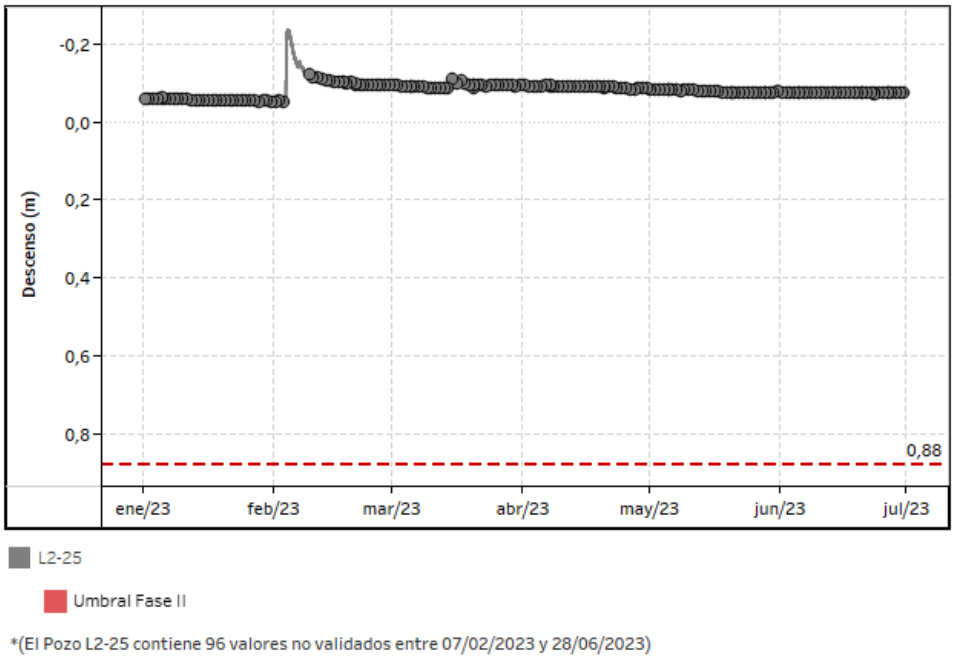
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-69: Descensos observados (m) en el indicador de estado L4-3 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente



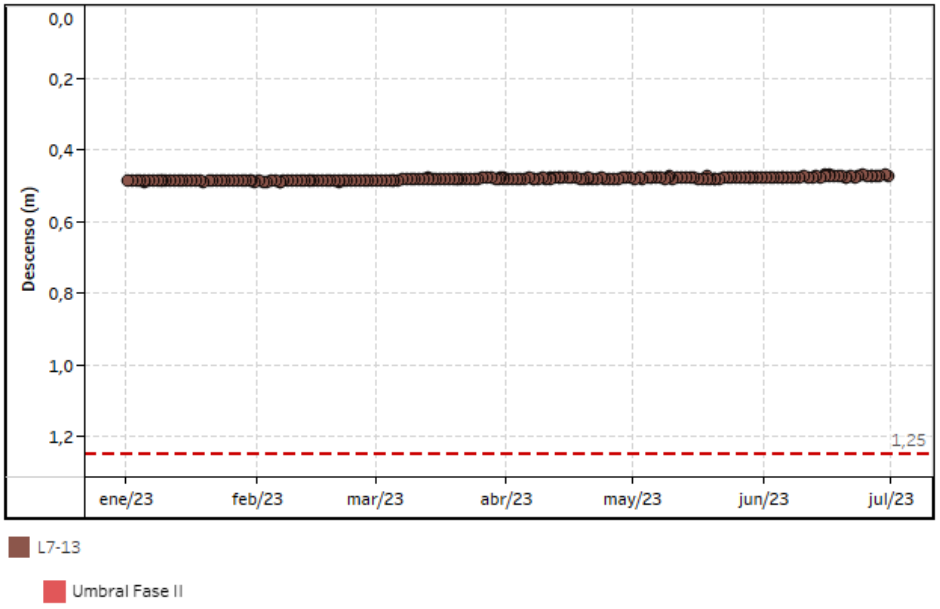
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-70: Descensos observados (m) en el indicador de estado L2-25 del PC Sistema Borde Este Alerta Temprana junto con el umbral correspondiente



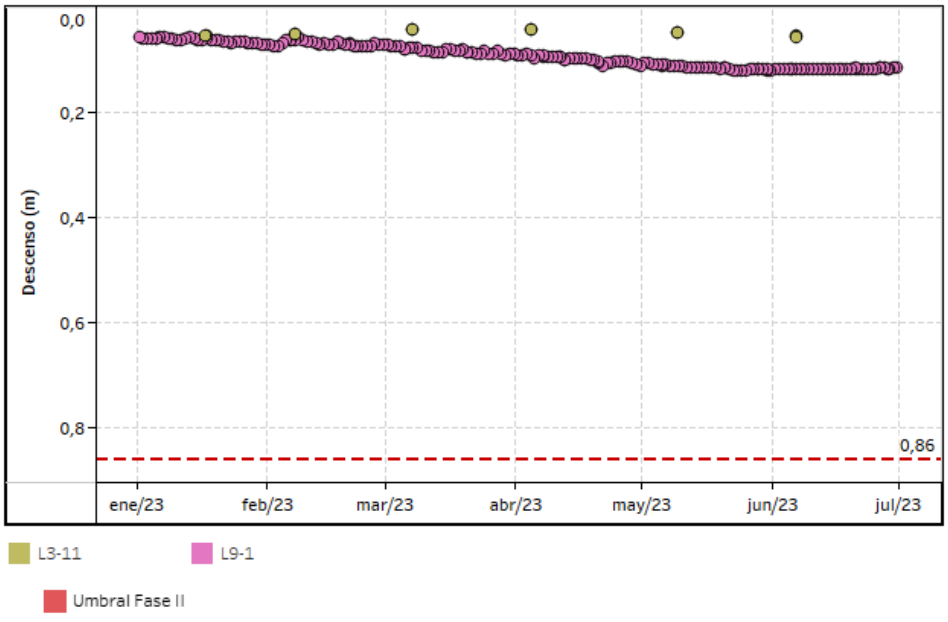
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-71: 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 5-72: 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, de 6 de 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)[35]. 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[36]. 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. Para el periodo reportado, no se ha producido dicha comunicación, por lo que se entiende que no ha habido activación de la Fase I ni Fase II en estos indicadores.

[35] 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.

[36] 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.

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 5-91) y gráfica (Figura 5-73, Figura 5-74 y Figura 5-75). 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 primer semestre de 2023 se han prolongado las activaciones de Fase I que se describieron para el semestre pasado en el informe PSAH N°32, sin embargo, luego de las precipitaciones de febrero de 2023 los tres indicadores de estado de SQM (1028, L10-4 y L10-11) registraron niveles sobre Fase I desactivando temporalmente esta fase. Este evento fue informado a través de las cartas GMAL 66/2023 y GMAL 67/2023 enviadas el 07 y 08 de febrero de 2023 para los pozos 1028 y L10-11, respectivamente; de igual forma a través de la carta conductora GMAL 84/2023, se informa el día 10 de febrero de 2023, la desactivación de L10-4.

Sin embargo, los pozos L10-11 y 1028 permanecieron sobre el umbral de Fase I solo hasta mayo 2023, sobrepasando este umbral durante el mes mencionado. Esta información fue comunicada a través de la carta GMAL 198/2023 el día 02 de mayo para el pozo L10-11 y de igual forma, a través de la carta GMAL 263/2023 enviada el día 31 de mayo para el pozo 1028. De manera similar, en el mes siguiente (junio) el pozo L10-4 vuelve a activar Fase I posterior al retorno de tendencia de descensos, situación que fue comunicada a través de la carta GMAL 228/2023 el día 08 de junio de 2023.

Dado que, la condición de encontrarse sobre el umbral de Fase I solo fue consecutivo durante 3 meses en un solo indicador de Peine, no se considera desactivación como tal según se dispone en el Anexo 4.04 del PdC, donde la condición de desactivación requiere que el nivel registrado “esté por sobre umbral de Fase I, en todos los puntos de activación durante tres meses consecutivos”.

Considerar que la activación de las fases, según la Acción 41 del PdC asociada a la activación de umbrales, se encuentra la aplicación la Herramienta de Verificación de Efecto Sinérgico (HVES) a los 6 meses de la activación. Esta última involucra el uso de un modelo numérico para evaluar causas de la activación de umbrales en los diferentes indicadores y establecer los porcentajes de contribución de cada proyecto de

extracción. Adicionalmente, en caso de activación se establece también la aplicación de las siguientes medidas: aumento de la frecuencia de monitoreo de niveles de los pozos del sistema (mensual a quincenal), aumento de la frecuencia de muestreo de calidad de acuífero y lagunas (trimestral a mensual) y aumento de la frecuencia de medición de la posición de cuña (trimestral a mensual).

Tabla 5-91: Niveles observados (m s.n.m.) en indicadores de estado del Sistema Peine

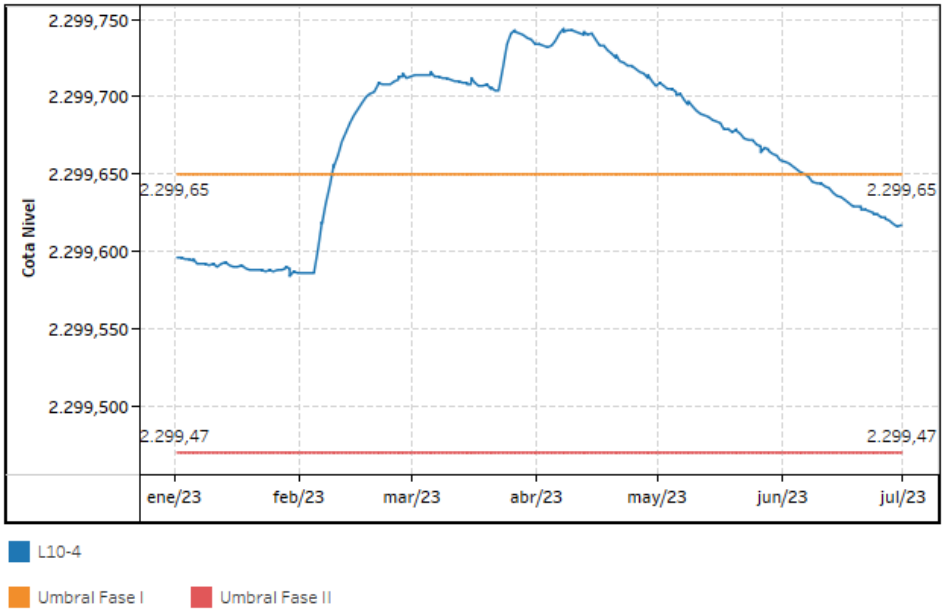
L10-4		
Umbral Fase I	27-9-22 al 26-9-23	2.299,65
Umbral Fase II	27-9-22 al 26-9-23	2.299,47
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	2.299,584	2.299,596
Feb 2023	2.299,586	2.299,715
Mar 2023	2.299,704	2.299,743
Abr 2023	2.299,707	2.299,744
May 2023	2.299,659	2.299,709
Jun 2023	2.299,616	2.299,658

1028		
Umbral Fase I	27-9-22 al 26-9-23	2.299,32
Umbral Fase II	27-9-22 al 26-9-23	2.299,14
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	2.299,249	2.299,259
Feb 2023	2.299,249	2.299,410
Mar 2023	2.299,372	2.299,397
Abr 2023	2.299,367	2.299,411
May 2023	2.299,318	2.299,366
Jun 2023	2.299,276	2.299,318

L10-11		
Umbral Fase I	27-9-22 al 26-9-23	2.299,27
Umbral Fase II	27-9-22 al 26-9-23	2.299,06
Mes	Nivel (m s.n.m.) Min	Max
Ene 2023	2.299,156	2.299,166
Feb 2023	2.299,156	2.299,333
Mar 2023	2.299,282	2.299,310
Abr 2023	2.299,272	2.299,318
May 2023	2.299,218	2.299,269
Jun 2023	2.299,173	2.299,217

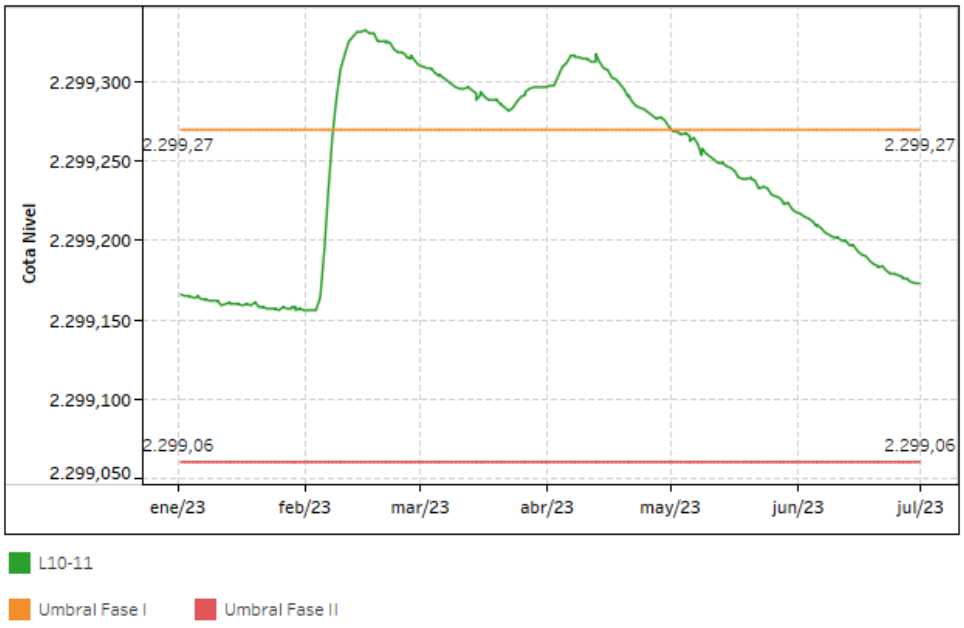
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-73: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-4 del Sistema Peine



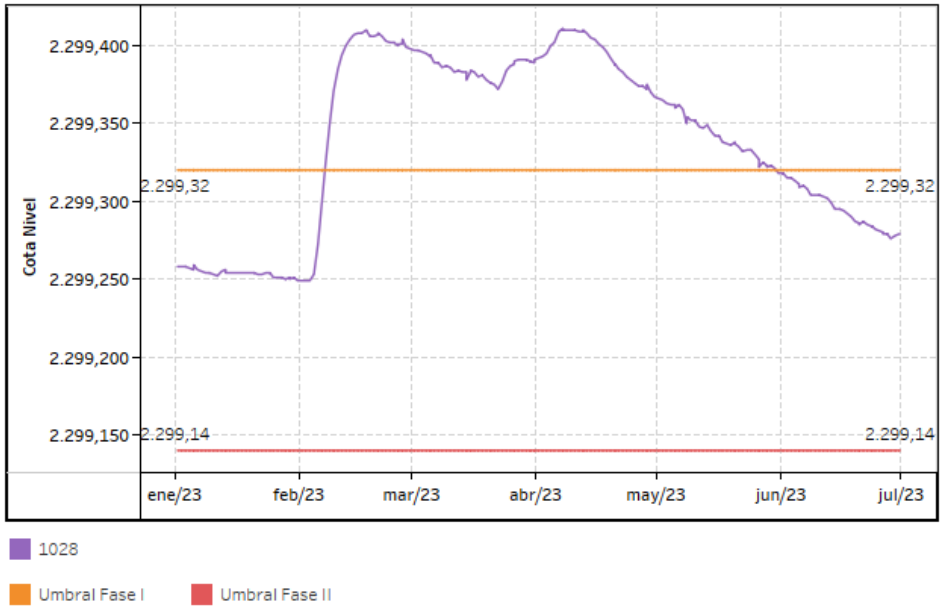
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-74: Niveles observados (m s.n.m.) en el indicador de estado L10-11 del Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 5-75: 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 5-92[37].

[37] 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 5-92: 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 5-93) y gráfica (Figura 5-76, Figura 5-77 y Figura 5-78), 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 5-93: 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
Ene 2023	-0,061	-0,052
Feb 2023	-0,120	S/I
Mar 2023	-0,110	-0,086
Abr 2023	-0,092	-0,083
May 2023	-0,082	-0,072
Jun 2023	-0,075	-0,071

L4-17		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,030	0,051
Feb 2023	0,024	0,054
Mar 2023	0,032	0,049
Abr 2023	0,044	0,053
May 2023	0,036	0,054
Jun 2023	0,014	0,036

L7-14		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,064	0,086
Feb 2023	S/I	0,089
Mar 2023	0,023	0,065
Abr 2023	0,064	0,089
May 2023	0,089	0,101
Jun 2023	0,085	0,098

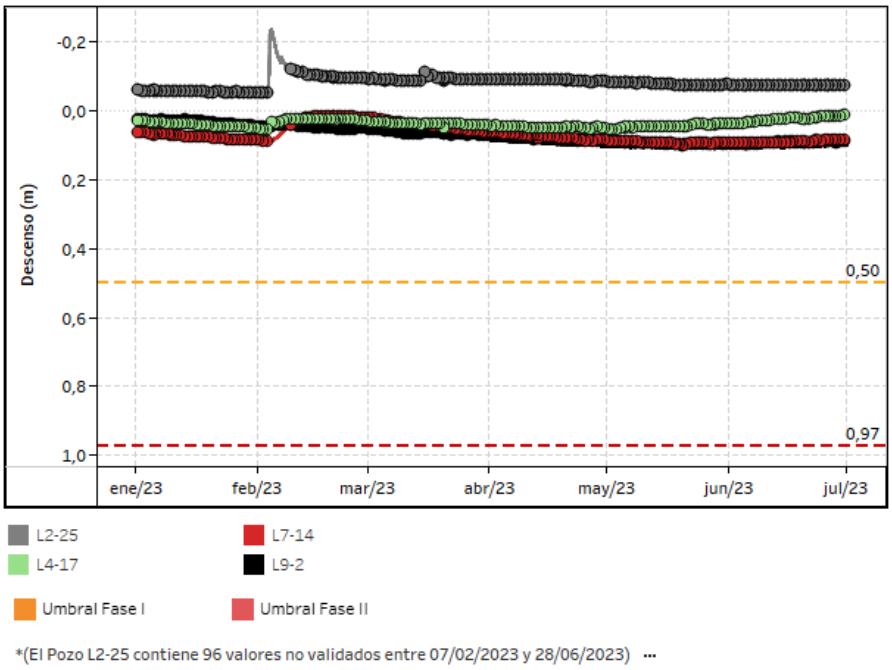
L9-2		
Umbral Fase I	0,50	
Umbral Fase II	1,00	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,025	0,046
Feb 2023	0,035	0,053
Mar 2023	0,053	0,072
Abr 2023	0,073	0,090
May 2023	0,089	0,098
Jun 2023	0,088	0,097

L2-26		
Umbral Fase II	0,78	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,498	0,513
Feb 2023	0,460	0,515
Mar 2023	0,443	0,461
Abr 2023	0,434	0,444
May 2023	0,434	0,445
Jun 2023	0,442	0,452

L3-15		
Umbral Fase II	0,85	
Mes	Descenso (m)	
	Min	Max
Ene 2023	0,686	0,705
Feb 2023	0,691	0,707
Mar 2023	0,697	0,710
Abr 2023	0,695	0,702
May 2023	0,684	0,699
Jun 2023	0,668	0,687

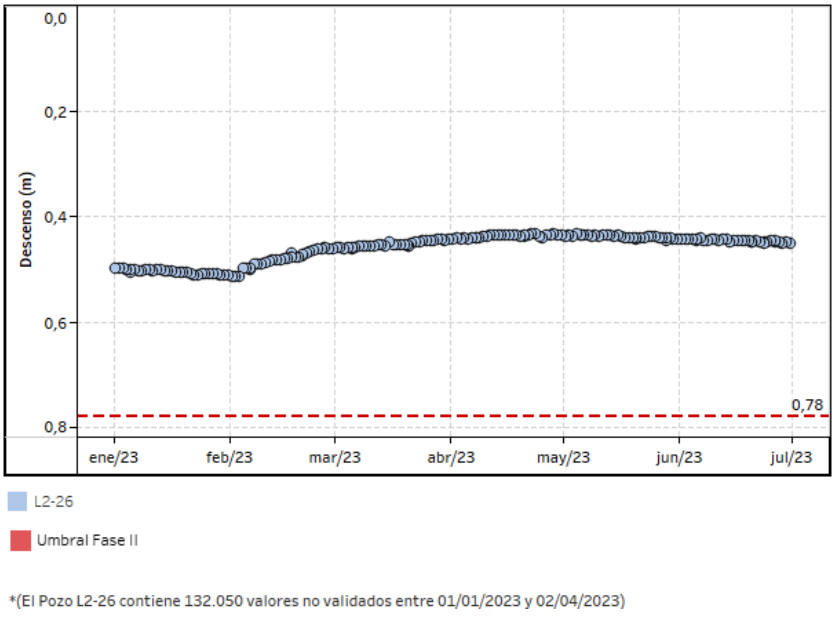
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-76: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 del PC Sistema Borde Este, Vegetación Brea Atriplex



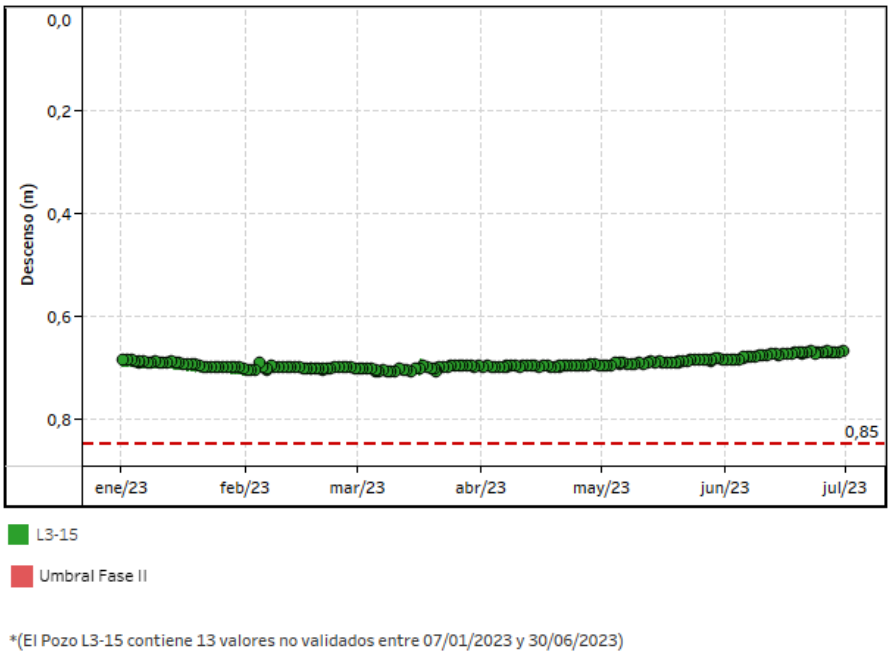
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-77: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L2-26 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-78: Descenso observado (m) pozos adicionales de contingencia L3-15 del PC Sistema Borde Este, Alerta Temprana



*(El Pozo L3-15 contiene 13 valores no validados entre 07/01/2023 y 30/06/2023)

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 uno de los sistemas ambientales. En particular, se incluye el análisis de niveles de aguas subterráneas y superficiales, superficies lacustres, caudales de extracción, calidad química, meteorología y aforos de caudal.

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

6.1 ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL

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

El objetivo principal consiste en reconocer las dinámicas hidrológicas e hidrogeológicas que se dan en los sistemas considerados objeto de protección a nivel histórico, a partir de la evaluación del comportamiento de los parámetros en el tiempo. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo secundario consiste en poder analizar los nuevos datos medidos del presente semestre a reportar y valorar si se muestran desviaciones respecto a estas dinámicas históricas.

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, este mecanismo influye en la dinámica de los cuerpos de agua y canales de Soncor, así como en la zona de lagunas difusas de Quelana, ya que reciben aportes y ejercen influencia en su entorno. Por lo anterior, se propone 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 hasta el núcleo. No obstante, se

mantiene la distinción del sistema Vegetación Borde Este para los puntos del entorno del pozo de agua industrial CA-2015. En el caso del sistema Peine, no es necesario reagrupar los puntos, dado que la delimitación de este sector abarca las distintas zonas del sistema: aluvial, marginal, núcleo y lagunas.

En la misma línea, para exponer este análisis global, se incluyen los niveles de los puntos que forman parte del Plan de Contingencia, ya que también forman parte de la red PSAH y permiten robustecer las conclusiones sobre las dinámicas que mueven los sistemas de protección. De esta manera, en el siguiente apartado (6.2. Análisis del Plan de Contingencia) se podrá abordar un análisis más preciso sobre las tendencias de los indicadores de estado del Plan de Contingencia con respecto a los umbrales definidos en el mismo.

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

i. **Estacionalidad en los niveles**: cuando los niveles están influenciados por las componentes naturales del medio (atmosféricas), suelen presentar una fuerte estacionalidad (registro de los máximos durante los meses de invierno y los mínimos en los meses de verano). Es esperable reconocer este tipo de comportamiento en medios donde hay una fuerte influencia de la evaporación o influencia de la dinámica estacional y propia de los cuerpos lagunares. Para este análisis resulta también relevante caracterizar aquellos niveles que se presentan sin evidencia de variabilidad estacional. Significa, entonces, que los niveles reflejan eventos puntuales como, por ejemplo, la respuesta directa a los eventos de precipitación y su posterior recuperación a una tendencia base.

ii. **Tendencias en los niveles**: se identifica la tendencia de descenso, ascenso o estable (ni ascenso ni descenso) para la serie promedio de los datos. En ocasiones es conveniente fijar la atención a la tendencia de los mínimos y los máximos de forma separada, ya que, en estos casos los fenómenos que rigen el comportamiento de los niveles pueden ser distintos entre 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 mucho más adecuada cuando el objetivo es, por ejemplo, comparar las pendientes de descenso entre los puntos graficados, la amplitud de la oscilación o el grado de respuesta a las precipitaciones. El cálculo del descenso se ha obtenido a partir de aplicar la siguiente expresión: $h'_t = h_{inicial} - h_t$, donde (h'_t) es el descenso en un tiempo (t), (h_t) es el nivel para el mismo tiempo (t) y ($h_{inicial}$) es un nivel inicial de referencia. A modo de unificar, cuando se requiere el cálculo del descenso en el análisis, se toma enero de 2008 como $h_{inicial}$ con el objetivo de asegurar un valor inicial para todos los pozos para la misma fecha inicial, dado que es a partir de esta fecha cuando el total de los puntos cuenta con mediciones de nivel.

iv. **Diferencias de altura piezométrica**: Se basa en el concepto de las redes de flujo, donde los niveles situados a una misma cota (m s.n.m.) constituyen las líneas equipotenciales, de esta forma, las direcciones de flujo son perpendiculares a éstas y en sentido de mayor a menor cota piezométrica.

v. **Efecto de la precipitación:** una característica que se puede identificar sobre los niveles es el efecto que les produce un evento de recarga por lluvia; permite diferenciar si el punto se ve influenciado de forma directa por la lluvia (respuesta inmediata) o bien en forma de recarga indirecta o lateral (respuesta más tardía y en ocasiones suavizada). Todos los gráficos de niveles (no dinámicos) se muestran con el registro de la estación meteorológica de Chaxa, que es la estación más representativa de la zona en la que se encuentra la red de monitoreo y los sistemas a proteger, especialmente, del sector norte del Salar.

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

Para aquellos puntos con información disponible se realizan diagramas de Piper, que permiten clasificar los distintos tipos de agua en la cuenca y también evaluar si existen cambios en el registro histórico 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 el que se muestra un análisis solo descriptivo. Estas dos variables son más bien explicativas de posibles cambios que puedan observarse en el sistema y los objetos de protección.

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 primer semestre de 2023. De esta forma se facilita visualmente el análisis del comportamiento medido en este periodo con respecto las tendencias históricas.

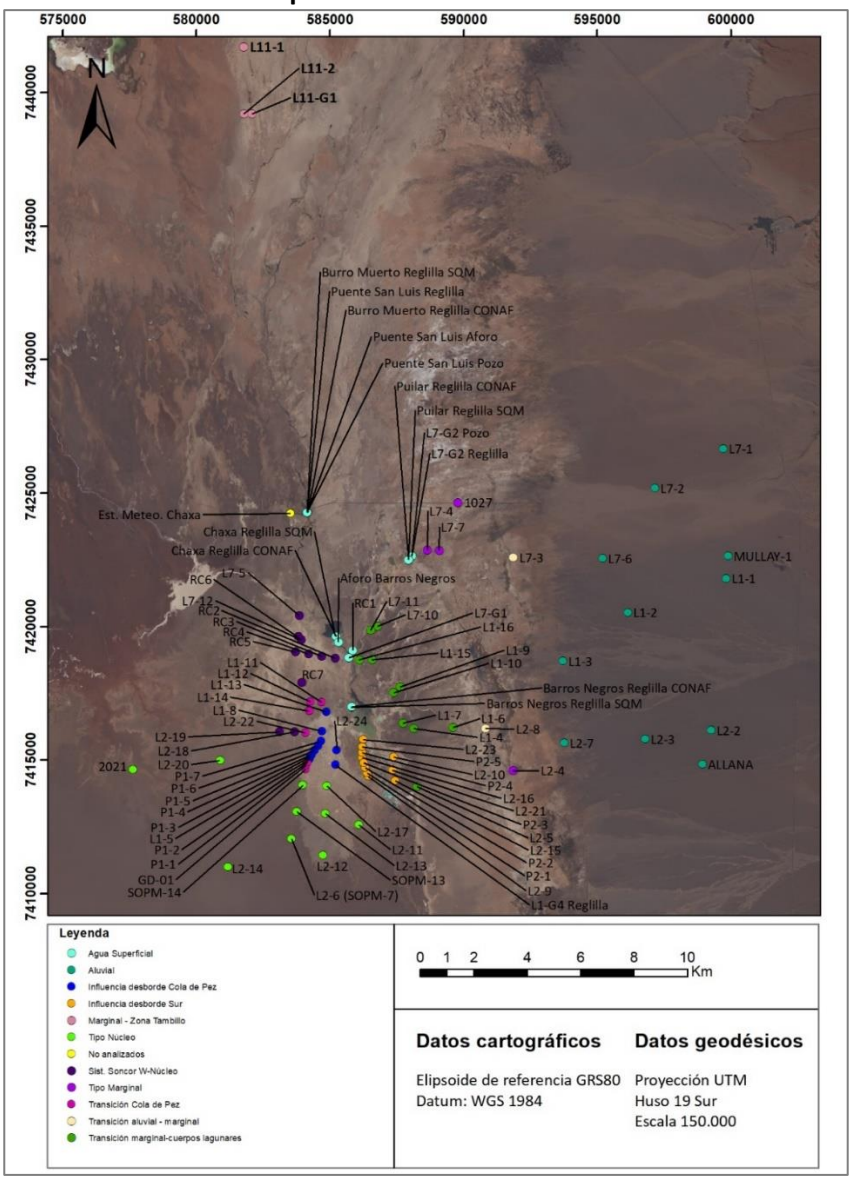
6.1.1 SISTEMA SONCOR – VEGETACIÓN BORDE ESTE

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

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

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

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



Fuente: Elaboración propia.

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, haciendo hincapié en la comparación entre las mediciones obtenidas durante el primer semestre 2023 con respecto el registro histórico.

El análisis se presenta según sean pozos de agua industrial (nivel dinámico), reglillas de medición de cuerpos de agua superficiales o piezómetros de control. El orden en que se presentan es partiendo de la infraestructura presente sobre el acuífero aluvial, siguiendo a la zona marginal y hasta llegar a los puntos que se caracterizan por mostrar comportamientos típicos del acuífero del núcleo.

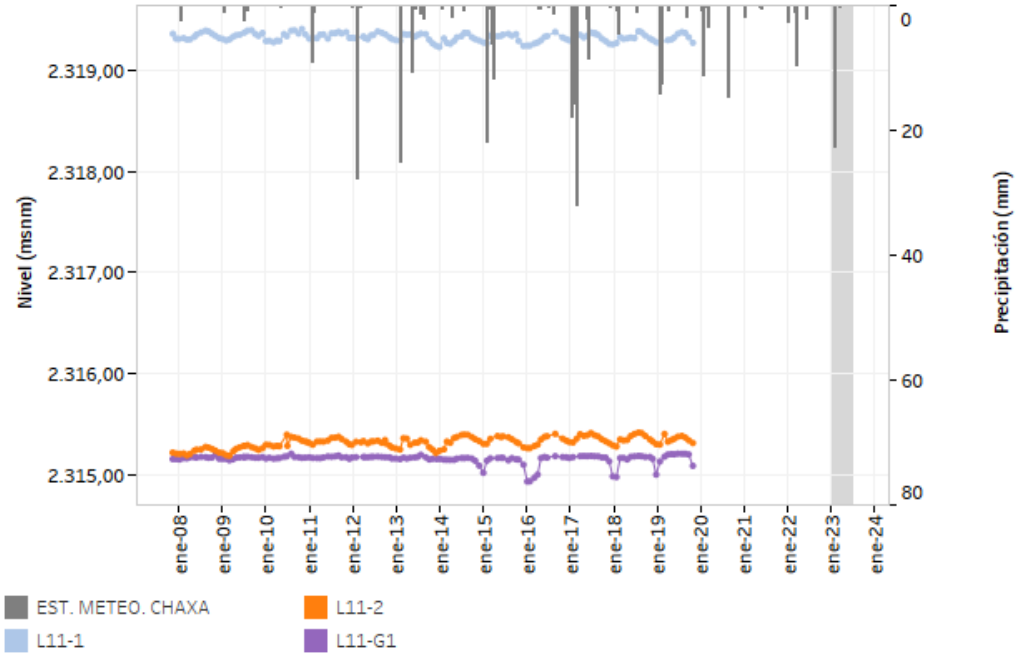
6.1.1.1.1 Niveles en el sector Tambillo

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. En la Figura 6-2 se muestran los niveles medidos históricamente en estos puntos y en la Figura 6-3 se muestran los descensos calculados resultantes. Puede verse en la que la Figura 6-2 la cota piezométrica del nivel del L11-1 queda 4 metros por encima de los otros dos puntos, lo que es debido a que el primero se sitúa a unos 2.5 km hacia el norte y por ende, a una cota topográfica mayor. De forma que en este sector se confirma una recarga proveniente del norte, donde la pendiente de la lámina de agua es del 0.16%.

En la Figura 6-3, se observa con más detalle el comportamiento histórico del nivel en estos puntos. Puede verse como todos muestran una oscilación irregular que, por lo tanto, no estaría ligada solo a las variaciones estacionales interanuales. Se destaca que, para el periodo en que se dispone de datos (hasta octubre 2019), el L11-G1 se ha mantenido estable y sin tendencia, pero con un registro de niveles mínimos destacables en el mes de diciembre de los años 2014, 2015, 2017 y 2018. Por otro lado, los pozos L11-1 y L11-2 registraron variaciones equivalentes en amplitud y oscilación desde el inicio de las mediciones y hasta noviembre 2019, donde el L11-2 empezó a registrar un comportamiento con tendencia de ascenso y que se mantiene hasta la última fecha registrada (octubre 2019), mientras que el L11-1 ha mantenido un comportamiento con tendencia prácticamente nula.

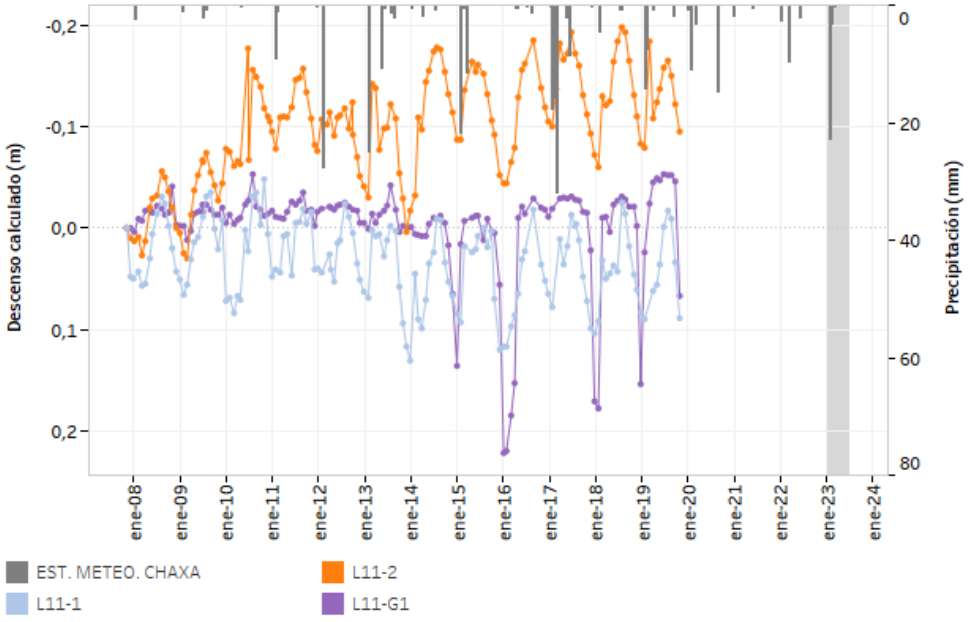
Estos tres puntos no han podido ser visitados desde octubre 2019, por lo que no se puede actualizar el análisis de los niveles a partir de esta fecha.

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.

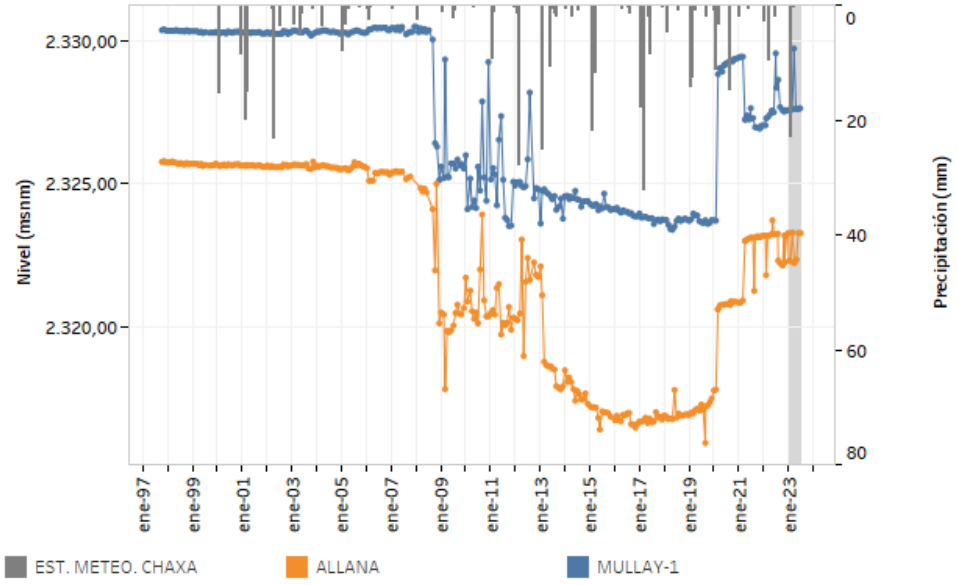
6.1.1.1.2 Niveles en pozos de bombeo de agua industrial

En el sistema Soncor, los pozos de agua industrial presentes son el Mullay-1 (ubicado más al norte del sistema) y el Allana. En la Figura 6-4 se muestran los niveles hasta el mes de junio 2023. Los niveles medidos en estos pozos están influenciados por el manejo operacional de los mismos, por lo que el nivel mostrado en la figura se describe como nivel dinámico.

El pozo Allana mostraba un descenso constante entre 2013 y mediados del 2016. A partir de entonces se empezó a medir una recuperación del nivel, cuya tasa aumentó en 2018, sin que este pozo hubiera modificado su caudal de extracción, ni tampoco el pozo Mullay-1 (ubicado al norte a 8 km de distancia) para esa fecha. Por lo que este cambio en la tendencia del nivel puede ser debido a la detención del pozo Camar-2 a partir de 2016 (ubicado al sur a 5 km de distancia). El primer cambio en el régimen de extracción de este pozo (Allana) es en febrero 2020, donde se redujo el caudal desde los 40 L/s hasta los 18 L/s aproximadamente, lo que se reflejó en una recuperación del nivel de 4,5 m (con respecto la cota medida en enero de 2007). 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 detiene completamente este pozo (el Camar-2); a partir de entonces se observa una leve recuperación cuya tasa es de unos 0,10 cm/año.

Por su lado, el pozo Mullay-1 mostró un ascenso de nivel de 5 m en el mes de 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 el mes de febrero 2021. Debido al reinicio de su operación en marzo 2021, con un régimen a la mitad del caudal históricamente extraído, se notó en el nivel un descenso de 2 metros para ese mismo mes. Desde entonces, 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. Sistema referencia WGS-84.

6.1.1.1.3 Pozos en zona aluvial

El siguiente grupo de pozos se encuentra sobre el acuífero aluvial. Se caracterizan todos por presentar una tendencia histórica al descenso, incluso antes del inicio de la operación de los pozos de extracción de agua industrial del sector. Tampoco se descartan otros efectos como, por ejemplo, un aumento de la demanda hídrica del sistema desde las quebradas que recargan el acuífero, así como otras hipótesis del desbalance histórico que se han observado en este tipo de cuencas endorreicas; es necesario observar las tendencias resultantes de un periodo mucho mayor, pues 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 que es esperable que, en la cuenca del Salar de Atacama, como ocurre en cuencas similares, se dé la situación de balances no cerrados, puesto que el acuífero todavía no se encuentra en equilibrio.

De esta forma, y con la información disponible desde 2007, se observa en este grupo de pozos una tendencia de descenso que se interpreta como una etapa de transición hacia un nuevo equilibrio; se ha

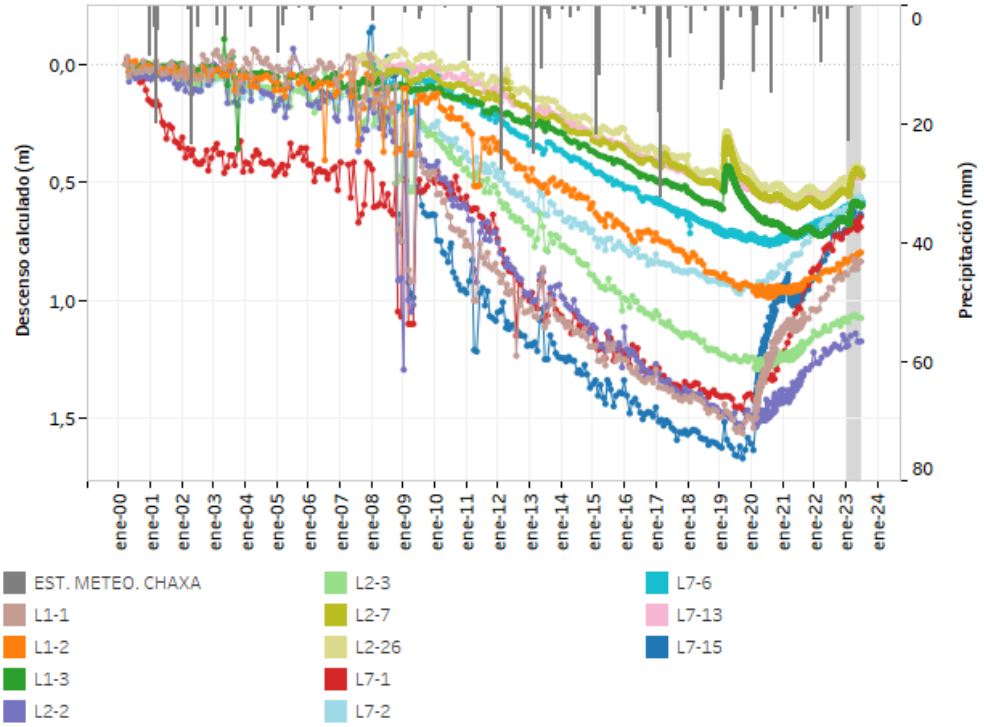
detectado que en una época anterior se produjo un máximo de recarga desde la cordillera oriental la cual se sobrepone el efecto inducido por la explotación de agua industrial de los pozos.

En este grupo existen fuertes diferencias de cota en los niveles (de casi 20 metros) que, a su vez, es una situación esperable para este sector con altos gradientes hidráulicos, pero que no permite visualizar las variaciones del nivel con detalle. Por este motivo se muestra en la Figura 6-5 el descenso calculado.

En general, los niveles en esta área no presentan respuestas a las precipitaciones. A excepción de los pozos L1-3, L2-7, L2-26 y L7-13 que mostraron un ascenso de los niveles producto de las lluvias excepcionales de febrero de 2019, lo que puede explicarse porque son los puntos más someros (profundidad con respecto la superficie del terreno) y más próximos a la zona marginal y que, por tanto, reciben la recarga de forma directa e indirecta (a través del acuífero, preveniente de las partes altas de la cordillera). Para estos puntos, se observaba un leve descenso (entre 4 y 6 cm/año). Pero a mediados del 2021 el comportamiento cambia y los puntos muestran una oscilación estacional más propia de la zona marginal, sin tendencia promedio de ascenso o descenso, lo que se interpreta como el momento a partir del cual parece haber llegado la respuesta a la disminución general de las extracciones en el aluvial del (Mullay-1 y Allana). Es a partir de la segunda mitad del año 2022, que el máximo estacional se sitúa por encima de los dos años anteriores, dando lugar a un nuevo cambio en la tendencia de este sector, mostrando ahora un aparente ascenso del nivel.

El resto de los pozos de este grupo, que se encuentran más alejados de la zona marginal y por tanto más próximos a los pozos de bombeo, han mostrado descensos de entre 6 y 10 cm/año desde el inicio del seguimiento (2007) y hasta inicios del 2020. En este grupo, la respuesta de la reducción de las extracciones de los pozos de agua industrial se observa antes que el grupo anterior, debido a su cercanía. Esta situación lleva a que estos puntos reproducen una recuperación (ascenso) de los niveles; los pozos que presentan una alta recuperación son el L7-15 y L1-1 ya que se encuentran a unos 300 m y 850 m, respectivamente, del pozo Mullay-1 (con tasas actuales de ascenso de 18 y 11 cm/año respectivamente). No obstante, se destaca que los puntos L7-1 y L7-2, que se encuentran en la parte más norte de este sistema, muestran una notoria tasa de ascenso de 16 y 12 cm/año respectivamente. El resto de los puntos de este subgrupo (L1-2, L2-3 y L7-6) muestran tasas de ascenso de entre 6 y 7 cm/año. Durante el primer semestre 2023 los niveles se mantienen con las tendencias anteriormente descritas.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

6.1.1.1.4 Niveles de reglillas para agua superficial

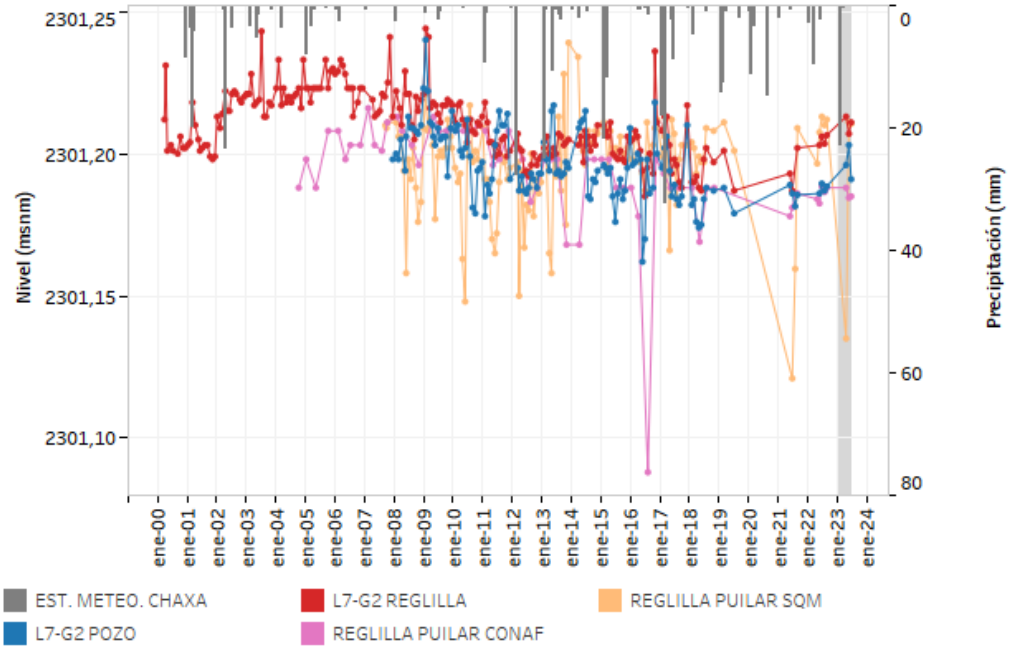
A continuación, se analizan los puntos que miden los niveles de los cuerpos de agua superficiales. Para esto es necesario mencionar que, el punto L1-G4 (Reglilla y Pozo) originalmente instalado con el propósito de medir los niveles de los cuerpos de agua superficiales en el entorno de desborde de Cola de Pez (área de desborde de la laguna Barros Negros), en realidad, se ha observado al menos a partir desde 2012, que los niveles corresponden al acuífero de ese sector (IDAEA-CSIC, 2018). Es por este motivo que 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 muestran los niveles de los puntos en el entorno de la laguna Puilar: Reglilla Puilar (SQM y CONAF) y L7-G2 (Reglilla y Pozo). Históricamente, los niveles en esta área muestran oscilaciones irregulares. Los puntos L7-G2 (Reglilla y Pozo) muestran una tendencia estable de descenso, con una pendiente promedio de 0,2 cm/año. Este comportamiento es análogo al de la reglilla Puilar CONAF donde,

a pesar de contar con una menor frecuencia en las mediciones se observa una tendencia de descenso promedio de 0,22 cm/año. En cambio, la reglilla Puilar SQM, en el periodo entre 2007 y 2011 muestra oscilaciones irregulares, sin una tendencia clara y habiendo registrado los mínimos históricos. Probablemente este comportamiento esté ligado al periodo de pocas lluvias que caracteriza estos años. No obstante, a partir de 2012 se observa una tendencia promedio de ascenso sostenida hasta 2014, año a partir del cual los niveles se mantienen con oscilaciones (irregulares) de menor amplitud y sostenidos alrededor de la cota 2.301,20 m.s.n.m.

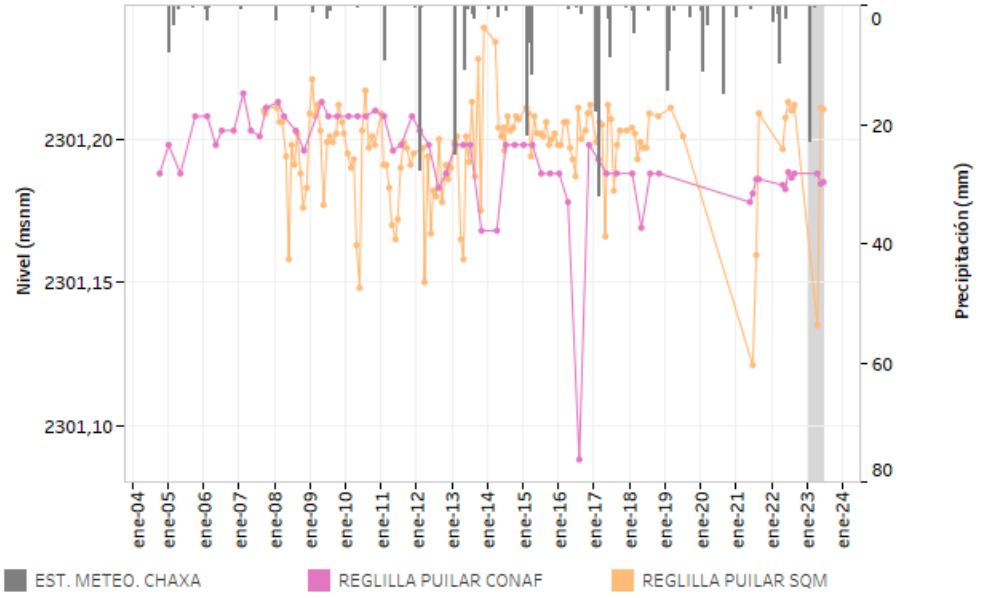
En esta área no se pudo ingresar entre los meses de junio 2019 y hasta junio del año 2021. Debido a ello es complicado verificar la tendencia actual. No obstante, a partir de los registros del primer semestre 2023, los niveles parecen mostrar una tasa de ascenso, más evidente en el caso del L7-G2 (Pozo y Reglilla) (ver Figura 6-7) y más atenuado en el caso de la Reglilla Puilar CONAF (Figura 6-8). Mientras tanto, en la Reglilla Puilar SQM se registran mediciones que en ocasiones son muy variables respecto de la tendencia general (Figura 6-8). Los puntos L7-G2 son los que se encuentran más cercanos a la surgencia de agua que alimenta el canal de recarga, mientras que las Reglillas Puilar se encuentran metros aguas abajo del canal. Es posible que las respuestas de los niveles descritas se deban precisamente a la ubicación de los puntos, considerando que el canal de recarga, como todos los cuerpos de agua superficiales, es dinámico en el tiempo. En términos generales, no se observa en estos puntos un comportamiento estacional, pero sí una oscilación de periodo de varios años, lo cual puede estar siendo un reflejo de la recarga proveniente del desborde de agua por sobre la interfaz salina.

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



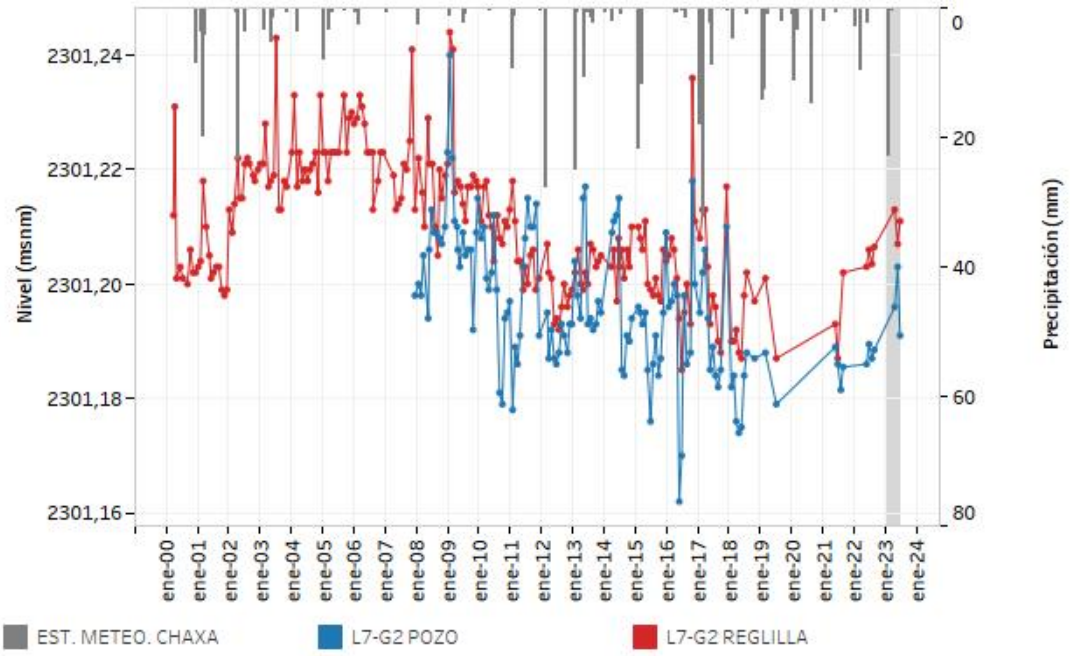
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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



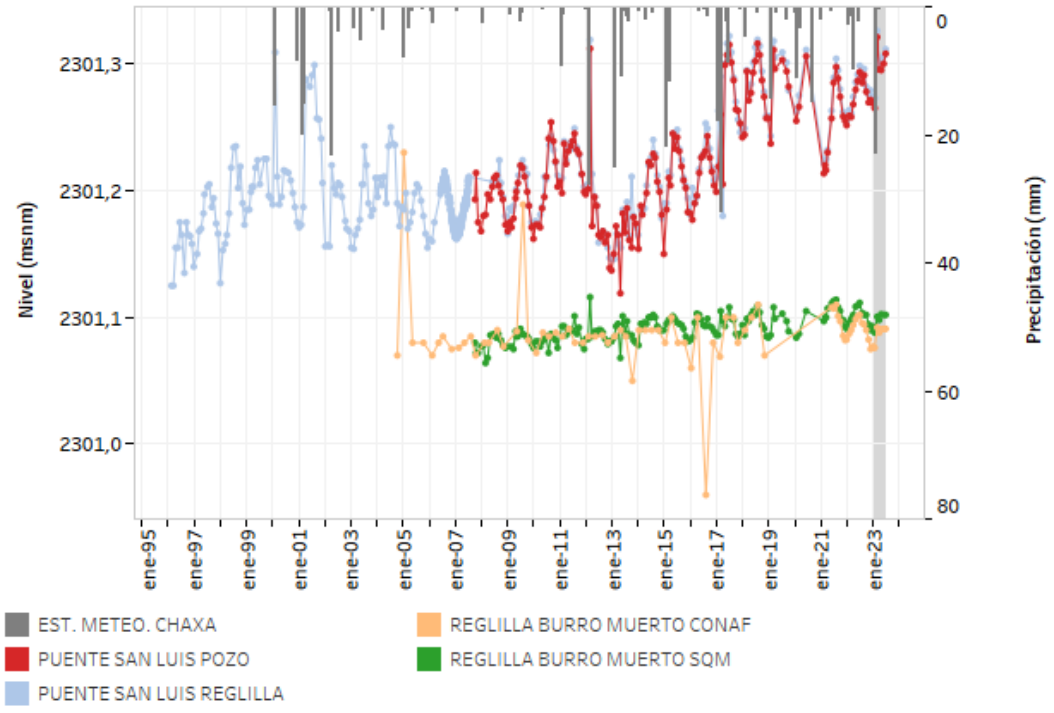
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Se centra a continuación el análisis en el sistema de canales y lagunas que alimentan finalmente la laguna de Barros Negros. Empezando por los puntos ubicados aguas más arriba del sistema, se muestra en la Figura 6-9 los niveles de Puente San Luis Pozo y Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF).

A partir de los datos históricos, se observa que las mediciones de Puente San Luis (Reglilla y Pozo) son equivalentes y lo mismo pasa entre las Reglilla Burro Muerto SQM y CONAF. Respecto de las tendencias, se observa de los puntos Puente San Luis (Reglilla y Pozo) una oscilación poco regular, aunque sí mantienen la coherencia de máximos en invierno y mínimos en verano. Se puede ver también que, a partir del año 2013, el nivel se ha mostrado ascendente con una tasa promedio de unos 2 cm/año. Tal comportamiento se confirma para el presente semestre reportado, en donde la tendencia ascendente junto con la precipitación de febrero, han resultado en un registro de máximo histórico en los puntos del Puente San Luis (Reglilla y Pozo).

Por su parte, los puntos de Reglilla Burro Muerto (SQM y CONAF), durante el primer semestre 2023 han registrado los máximos estacionales esperados, pero que sin embargo se encuentran en cotas levemente menores a las del verano del año anterior.

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

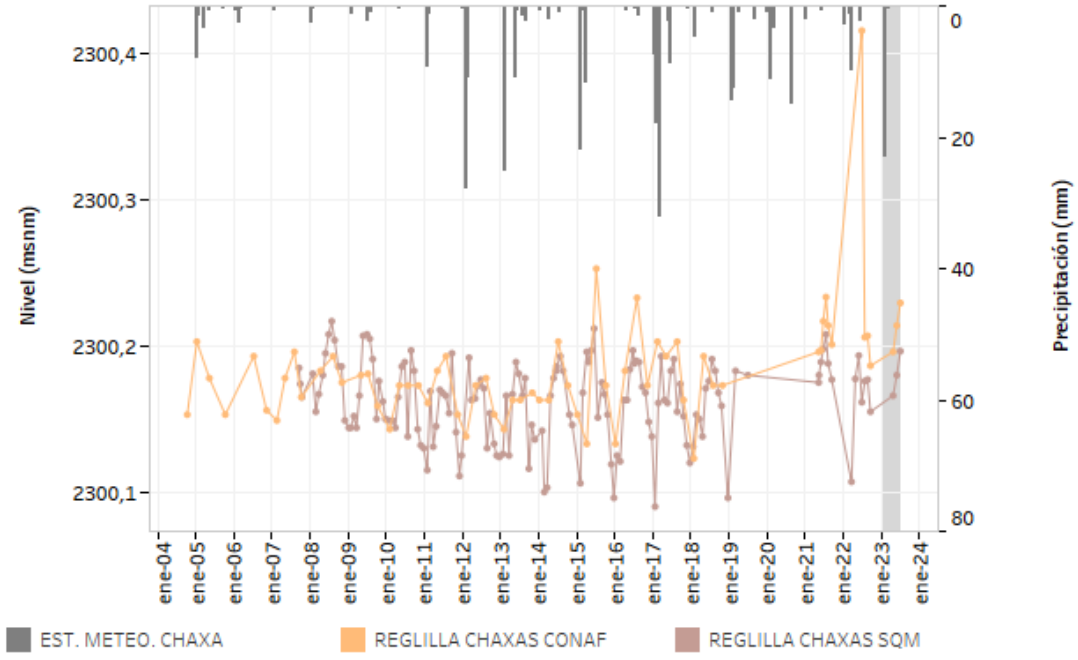


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Aguas abajo del sistema, los siguientes puntos de medición de nivel de agua superficial quedan a la salida de la laguna de Chaxa. Se trata de los puntos Reglilla Chaxas SQM y CONAF y se muestran los niveles registrados 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 este punto (Reglilla Chaxas SQM), previo a 2014, el nivel mostraba una tendencia a descender a la vez que una oscilación estacional de unos 6 cm de amplitud. Posteriormente, el nivel se mantiene estable sin tendencia e incluso aumenta la amplitud de la oscilación a más de 10 cm.

Se produjo una falta de mediciones desde junio 2019 (octubre 2018 en el caso del punto de CONAF) hasta mayo 2021, debido al cierre de la reserva durante la pandemia de COVID-19. Adicionalmente, anualmente se produce el cierre de las reservas durante la época de nidificación, lo que lleva, por ejemplo, a una falta de registros entre septiembre 2022 y abril 2023. Esta situación lleva a que sea complejo definir el comportamiento del nivel en esta sección del sistema para los últimos años. No obstante, en términos generales, los dos puntos vienen registrando mediciones dentro del rango de variabilidad histórico, por lo que se podría decir que el comportamiento en este entorno se mantiene estable.

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



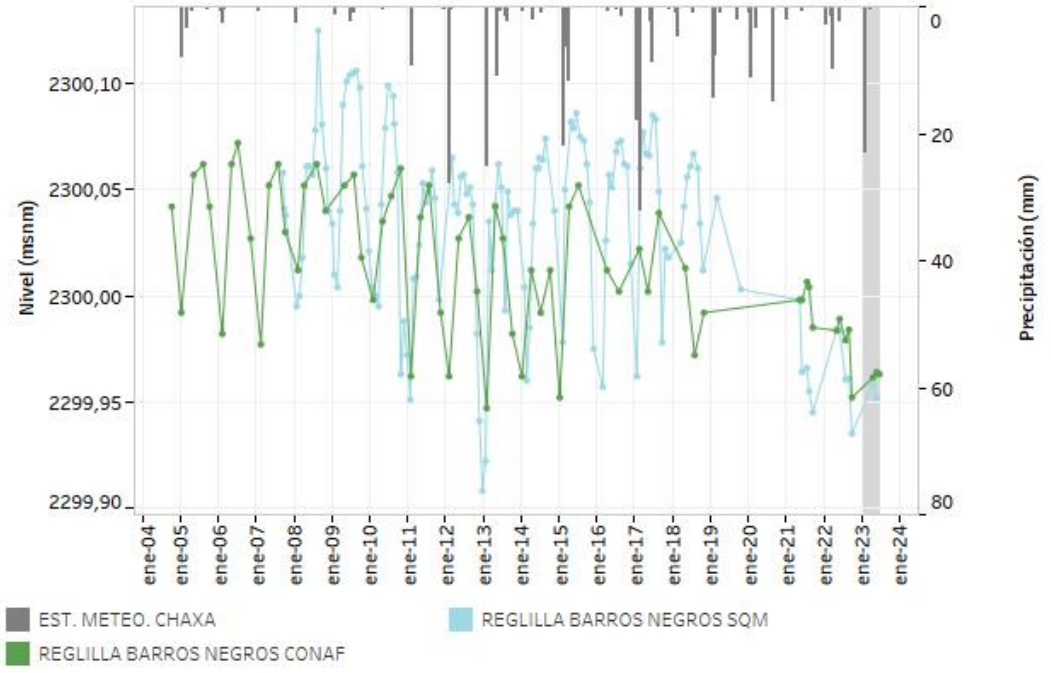
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Llegado a la laguna de Barros Negros, dentro de la laguna se encuentran los puntos de medición de Reglilla Barros Negros SQM y CONAF, cuyos niveles registrados se muestran en la Figura 6-11 observa un comportamiento análogo al de la laguna de Chaxa, donde previo al año 2011 la cota promedio es de 2.300,05 m s.n.m. y pasada esta fecha, la cota desciende unos 3 cm (2.300,02 m s.n.m.).

Estos puntos venían sin ser medidos desde octubre 2019 (octubre 2018 en el caso del punto de CONAF), y tampoco contemplan registros en las épocas de nidificación, cuando la reserva cierra el ingreso. Esto lleva

a que sea complejo establecer tendencias con certeza. No obstante, se viene observando que, en términos generales, la reglilla muestra una tendencia de descenso probablemente desde 2018, resultando una tasa de 2 cm/año. Este comportamiento puede estar relacionado con el aumento de la extensión lacustre del Desborde Sur observada en los últimos años, lo que llevaría a reforzar la característica variable de los sistemas lagunares a evolucionar en el tiempo.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

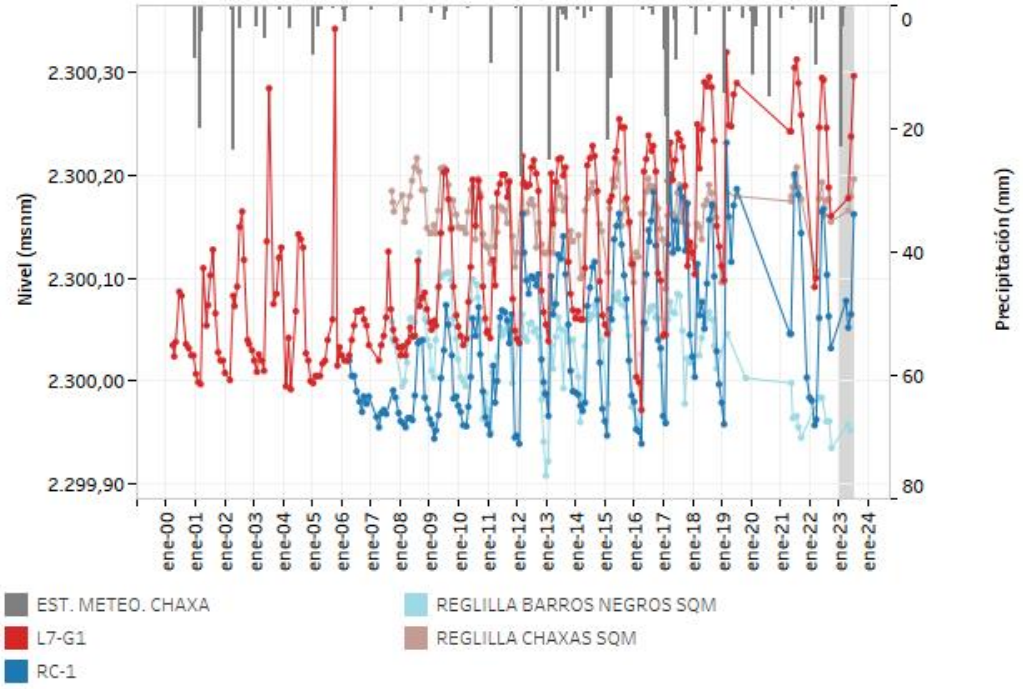
Por último, se centra el análisis en el canal de Burro Muerto, que conecta la laguna de Chaxa con la de Barros Negros. El análisis de este grupo de puntos se ha dejado para el final, una vez analizados los niveles a la salida de Chaxa y en la laguna Barros negros, pues es esperable que los puntos en el canal muestren relación con la infraestructura anteriormente descrita. En este tramo fluvial se encuentra la reglilla L7-G1 y en la Figura 6-12 se muestran los niveles medidos en este punto, junto con las reglillas de Chaxa y Barros Negros. Como puede verse, se incluye también el nivel del punto RC-1 ya que, si se observa la altura piezométrica de los niveles y la oscilación estacional puede verse que, a pesar de ser un punto construido para medir el acuífero en esa zona, se interpreta que está midiendo en realidad el nivel de los cuerpos de

agua superficial. Esto se analiza de nuevo en el siguiente apartado (Pozos en zona marginal). De la Figura 6-12 se extraen las siguientes conclusiones:

- Entre la laguna Chaxa y Barros Negros existe un gradiente hidráulico, de unos 12 cm, que se ha mantenido durante todo el periodo medido y que, como es de esperar, determina la dirección del flujo. Incluso, como ya se ha mencionado, ambos cuerpos de agua sostienen una disminución de la cota del nivel promedio a partir del año 2010-2011 que, por otro lado, esta diferencia de cota es esperable puesto que se trata de un curso fluvial.

  No obstante, lo anterior, la reciente tendencia observada en la Reglilla de Barros Negros, hacia el descenso, no se observa en la Reglilla de Chaxa, ya que ésta se mantiene estable (sin ascenso ni descenso). Tampoco se observa en los pozos del canal de Burro Muerto RC-1 y L7-G1.
- El punto el punto L7-G1, que se ubica entre ambas lagunas, muestra una oscilación propia de la estacionalidad y de la recarga por precipitación. Se hace notar que el promedio de los niveles mostró una tendencia al ascenso entre 2009 y 2019 en donde los máximos superan la cota de laguna Chaxa a partir de 2011. De los máximos estacionales registrados en 2012 y hasta 2023 se observa una estabilización (deja de ascender), quedando una diferencia de cota estable, con respecto la laguna de Chaxa, de 10 cm. Esta variación entre las cotas de ambos puntos define las líneas de flujo que confirman la recarga de agua proveniente del borde este.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

6.1.1.1.5 Pozos en zona marginal

En esta sección se hace el análisis para aquellos puntos que se encuentran en la zona marginal. Se trata de un área con diversidad de comportamientos, puesto que existen varios elementos hidrogeológicos que modifican los niveles de forma local y distinta según el sector. Al oeste de la zona marginal se ubica el afloramiento de la interfaz salina y en el centro se encuentra el sistema lagunar definido por la laguna Chaxa - Canal Burro Muerto – laguna Barros Negros y sus desbordes (Desborde Sur y Cola de Pez).

Empezando el análisis en los puntos más cercanos al acuífero aluvial, se identifica un comportamiento que se reconoce 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 presentan una tendencia de descenso propia del acuífero aluvial y posiblemente influenciados por los conos de bombeo de los pozos de agua industrial, pero además muestran una oscilación estacional más propia de la zona marginal. Como existen diferencias de cota importantes que

no permiten apreciar el comportamiento a describir, se presenta la Figura 6-13 donde se muestran los descensos calculados para este grupo.

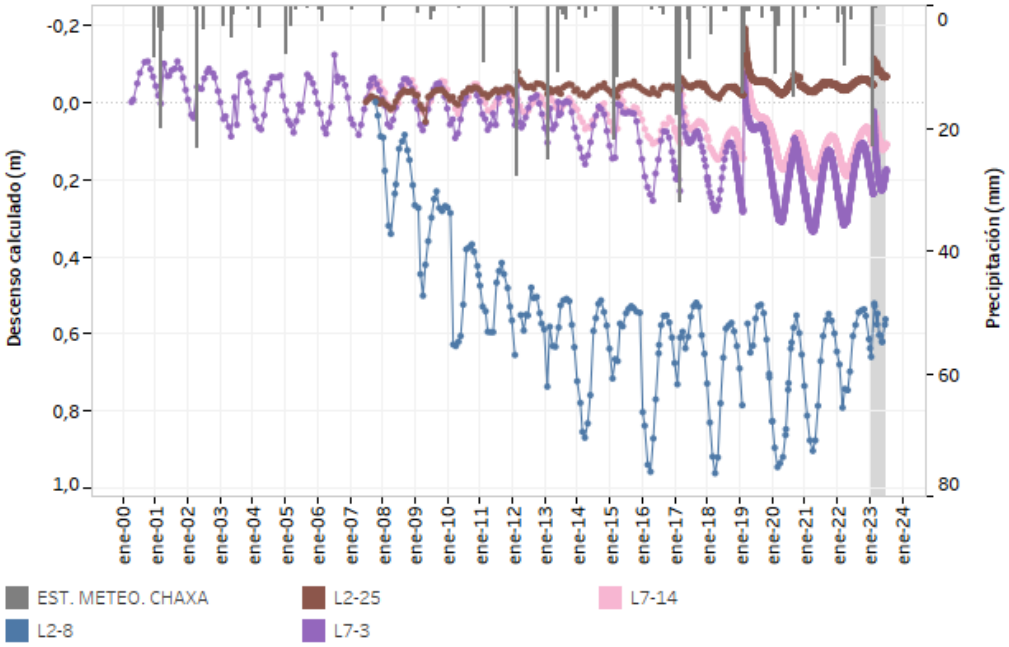
Para la descripción del comportamiento de los niveles, es necesario previamente describir la ubicación de estos puntos con respecto los pozos de agua; Los puntos L7-3 y L7-14 se encuentran aguas arriba del sistema Puilar, sobre la transecta de los pozos L7 que se sitúa frente el pozo Mullay-1. Por su parte, el L2-8 se sitúa en el entorno de las Vegas de Carvajal. Finalmente, el L2-25 se sitúa sobre la transecta de los pozos L2, al frente del pozo Allana. Como puede verse 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. Confirmando así la alta variabilidad en la distribución de los tipos de sedimentos en este sector de la cuenca, lo que lleva a una alta heterogeneidad en la conductividad hidráulica del acuífero en esta zona.

El punto que mostró mayor efecto de la extracción fue L2-8, en donde mostró un descenso continuado desde el inicio de los registros y hasta 2016 con una tasa promedio de 6,5 cm/año para ese periodo. Entre 2016 y 2018 el punto estabilizó (sin ascenso ni descenso) y posteriormente, desde 2019 se observa una recuperación del nivel (ascenso) que se hace más evidente en los registros de los mínimos estacionales; en el primer semestre de 2023 la amplitud de la oscilación ha resultado de 10 cm, mientras que, por ejemplo, en 2018 resultó ser de 44 cm. Estos cambios en el patrón de comportamiento se asocian al manejo operacional del pozo Camar-2, que en 2016 se detuvo temporalmente y en 2018 se desmanteló definitivamente.

Los puntos L7-3 y L7-14 por su lado, mostraron menores tasas de descenso entre el inicio de los registros y hasta 2021 (1 cm/año aproximadamente). Es a partir de 2021 cuando estos puntos muestran una señal de recuperación (ascenso). El comportamiento de estos puntos 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.

Finalmente, el L2-25 ha mostrado un singular comportamiento de ascenso continuado, con una tasa promedio de 0,3 cm/año, la que se mantiene también durante el primer 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 son los que se encuentran alrededor de la interfaz salina y que, por tanto, muestran el comportamiento más relacionado con la zona marginal. Se caracterizan por mostrar una tasa de descenso casi nula y una fuerte estacionalidad. Como existen diferencias de cota entre ellos que no permite distinguir el comportamiento a describir, se muestran de forma agrupada en la Figura 6-14, con 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 1027 (ubicado más al norte), L7-4 y L7-7 (ubicados cerca de la laguna Puilar), el L1-17 (ubicado sobre las vegas de Carvajal) y el L2-4 (ubicado más al sur, próximo al sistema Aguas de Quelana).

De la Figura 6-14 se observa que el L7-4 es el que muestra menor amplitud de la oscilación (una variación entre máximos y mínimos estacionales de 2,5 cm aprox.). De la figura también se extrae que los mínimos se observan a cotas menores (aumentando la amplitud de las oscilaciones) en los años hidrológicos secos

(ver el periodo 2008-2010 y los años 2014, 2016 y 2018). De esta forma, se interpreta que estos puntos están ligados a la recarga proveniente del borde este, además de la recarga directa por lluvia de los eventos más intensos. De la misma forma que en todos los puntos de RNF, este punto no se pudo medir entre los meses de septiembre 2019 y marzo 2021, así como tampoco durante los meses de nidificación, ya que la reserva se mantiene cerrada. No obstante, las mediciones registradas, incluyendo el primer semestre de 2023 estarían mostrando que el punto se encuentra estable (sin ascenso ni descenso en su tendencia).

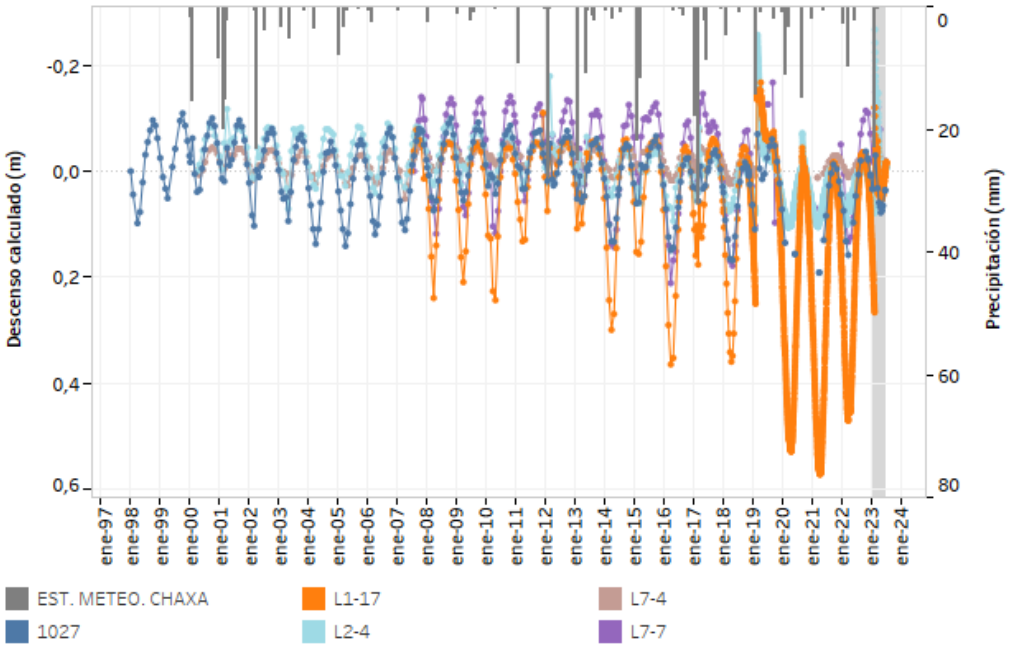
En el caso del pozo L7-7 se encuentra más al norte del sistema, a menos de 500 metros del L7-4. Este punto mostraba una oscilación estacional con bastante variabilidad en la amplitud, debido a que los mínimos estacionales parecen estar fuertemente ligados a si acaso los años hidrológicos se dieron secos o húmedos; niveles en años secos se registraban a menores cotas, dando lugar a los registros mínimos históricos de 2016 y 2018, por ejemplo. Actualmente, observando el primer semestre 2023, se puede ver como este punto mantiene el mismo comportamiento, sin evidenciar ningún cambio que destacar.

Destacar el caso del punto L1-17, indicador de estado que se activó la Fase II del PC en marzo 2021 producto de alcanzar un nuevo mínimo histórico y es que 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 año 2019, el pozo empezó a mostrar un nuevo patrón de comportamiento, donde la amplitud de la oscilación aumentó hasta los 58 cm debido a la fuerte disminución de las cotas en las que se reproducen los mínimos estacionales. Según se extrajo de los análisis presentados en el informe de investigación asociado (Hidroestudios, 2021), se concluyó que el cambio en el comportamiento del pozo fue producto de las extracciones de agua industrial en el acuífero aluvial. Ya el mínimo estacional del año 2022 (primer semestre) se registró a mayor cota que el mínimo anterior, lo que estaría llevando 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 primer semestre 2023, se ha reproducido un mínimo estacional a una cota mayor que los años precedentes (42 cm en comparación al mínimo del año 2022); si bien el pozo viene mostrando una recuperación, lo más probable es que los registros de este semestre reportado estén influenciados por las lluvias que se dieron este mismo semestre, por lo que será necesario seguir observando los niveles en este pozo para cuantificar de mejor forma las tasas de recuperación.

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), 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) y finalmente, desde entonces y hasta el primer semestre 2023, se observa como los niveles han vuelto a mostrarse estables sin tendencia.

Finalmente, el punto 1027 que se ubica al norte del sistema, mantiene aproximadamente la 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 retoma el comportamiento descendente, que es posible que se esté manteniendo también hasta el primer semestre 2023 si se observan los registros generales (ver Figura 6-14); será necesario seguir observando el punto para determinar su comportamiento actual.

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 es L7-10, L7-11, L1-15 y L1-16 (Figura 6-15), L1-9 y L1-10 (Figura 6-17) y, finalmente, L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5 (Figura 6-18). 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.

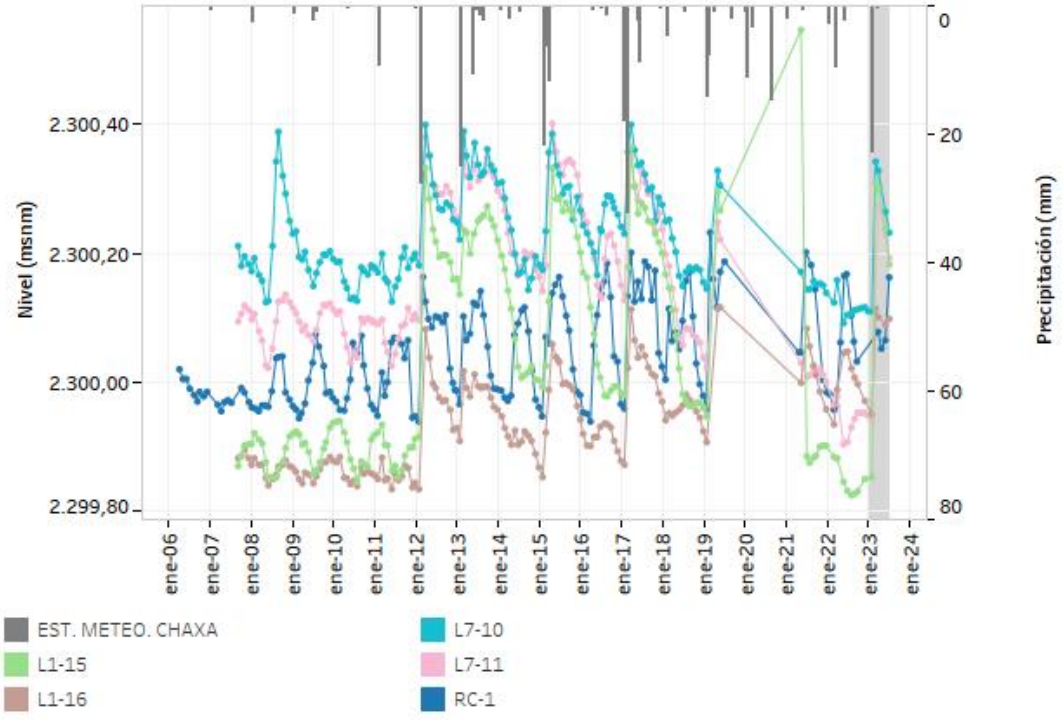
Se destaca el comportamiento observado en los puntos L1-16 y L1-15 (Figura 6-15), para ello es necesario detallar que el L1-16 es el punto más cercano al canal de Burro Muerto, a unos 180 m del canal, mientras que, el L-15 se encuentra unos 500 m en dirección al borde este. En el periodo 2007-2011 (periodo seco), ambos puntos muestran niveles a cotas similares, pero, a partir de la lluvia de 2012, se genera un salto de la cota promedio significativo, que es más fuerte en el L1-15 (15 cm) que en el L1-16 (10 cm) diferencia de sus cotas piezométricas aumente de los 4 cm (promedio del periodo 2007-2011) hasta los 20 cm (promedio del periodo 2012-2018). Ello hace pensar que, a partir de esta fecha, se empieza a producir una vía preferente de recarga subterránea desde el borde este. Los años 2019 y 2020 no pudieron ser visitados por lo que se produce un vacío de información en este periodo. Se observa desde la restitución de las medidas, en mayo 2021, que el L1-16 ha mantenido constante el ascenso del nivel (considerando el primer semestre 2023, correspondería una tasa de 0,7 cm/año), mientras que, L1-15 registró mediciones a cotas inferiores al L1-16 por primera vez durante el periodo de 2021 y hasta las lluvias de este primer semestre 2023. Lo anterior lleva a que la dirección de flujo en este entorno se haya invertido (pasando a ser, en ese periodo, en dirección hacia el borde este). Posterior a las lluvias, a partir del registro de febrero (2023), de nuevo se vuelve a invertir el sentido flujo ahora en dirección hacia el canal. Esto lleva a confirmar la dinámica de recarga subsuperficial proveniente del borde este, la que se observa que se acentúa en los periodos de lluvia.

Respecto de los puntos L7-10 y L7-11 se encuentran más al norte y ambos distan más de 1 km del canal de Burro Muerto. Dada esta ubicación, es comprensible observar que el comportamiento observado en estos puntos es similar al descrito anteriormente del L1-15; fuertes ascensos producto de las lluvia y recuperación (descenso) hacia unos niveles con pendiente de descenso estable, que en este caso es de 2

y 2,7 cm/año consecutivamente y, tal y como puede observarse en la Figura 6-15, las cotas piezométricas entre estos tres puntos son similares.

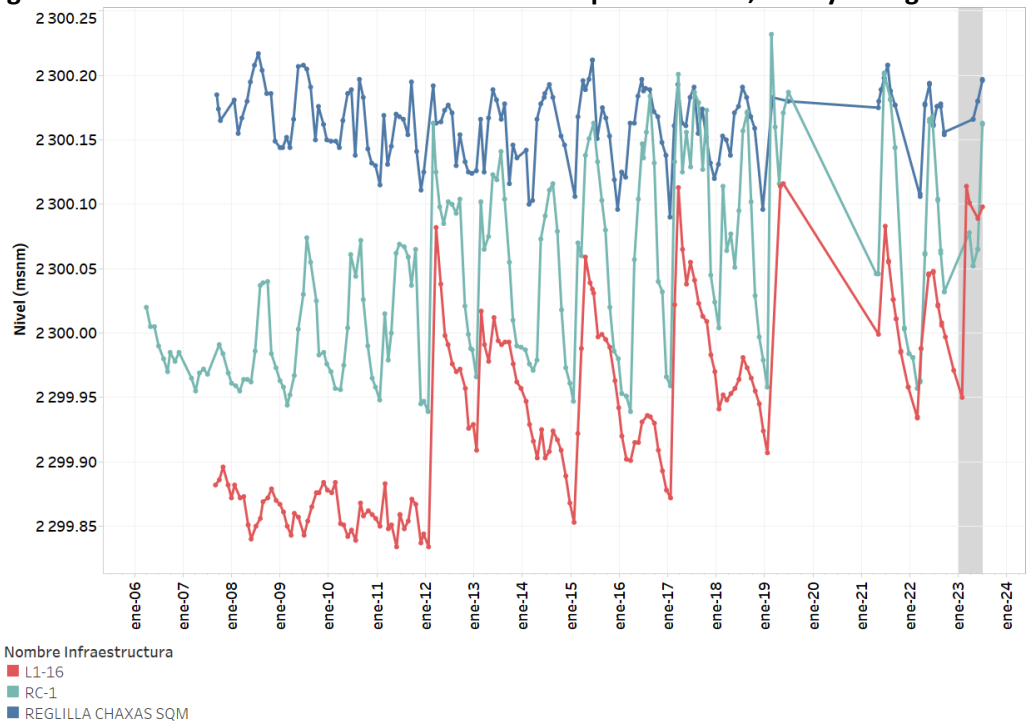
En la Figura 6-16 se muestra un detalle de la relación de las cotas piezométricas entre la reglilla de Chaxa (como nivel de referencia aguas arriba del sistema), el punto RC-1 que sería el siguiente aguas abajo tal y como se ha descrito anteriormente y finalmente el punto L1-16; puede verse como el punto RC-1 se solapa en cota a los niveles máximos de la reglilla, lo que significa que cuando se dan estas situación la lámina de agua de la laguna se mantiene horizontal (misma cota) hasta la zona del RC-1. Puede verse como el L1-16, desde 2019, aproxima los niveles mínimos a cotas similares al punto RC-1, tal y como se ve por ejemplo en febrero 2022.

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



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

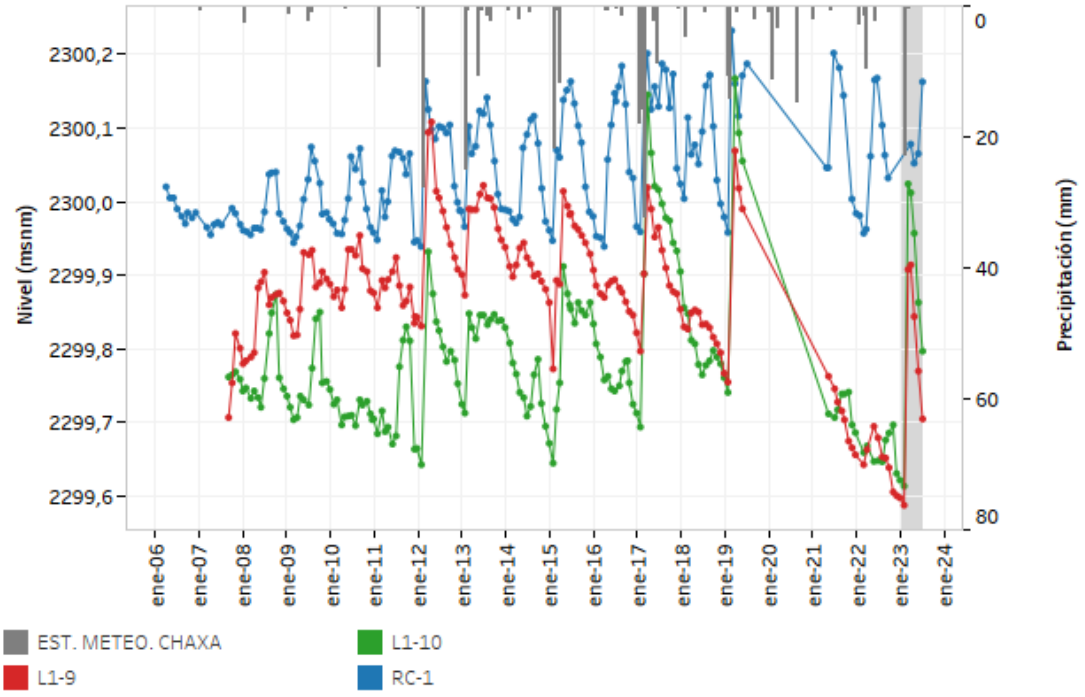
Figura 6-16: Detalle de los niveles medidos en los puntos L1-16, RC-1 y la Reglilla Chaxa



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Respecto de los puntos L1-9 y L1-10 se muestran en la Figura 6-17 junto el punto RC-1 como referencia para el análisis, tal y como se ha hecho en la figura anterior. Estos puntos se sitúan 1 km aproximadamente del cuerpo principal de Barros Negros, siendo que el L1-10 es el más próximo a éste. Como puede verse, están fuertemente ligados a la recarga que suponen las precipitaciones de los años húmedos. No obstante, se observa que las tendencias en ambos puntos han ido variando en cada período; entre 2007 y previo a las lluvias de 2012, el L1-9 mostraba una tendencia de ascenso y, al contrario, el L1-10 la tendencia era de descenso. A partir de 2012 en ambos casos se invierten las tendencias, lo que lleva a que ambos puntos se solapen a una misma cota posterior a las lluvias registradas en 2017. Desde ese momento, incluyendo el primer trimestre 2023, ambos puntos muestran una tasa de descenso promedio, de unos 4 cm/año aproximadamente, 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.

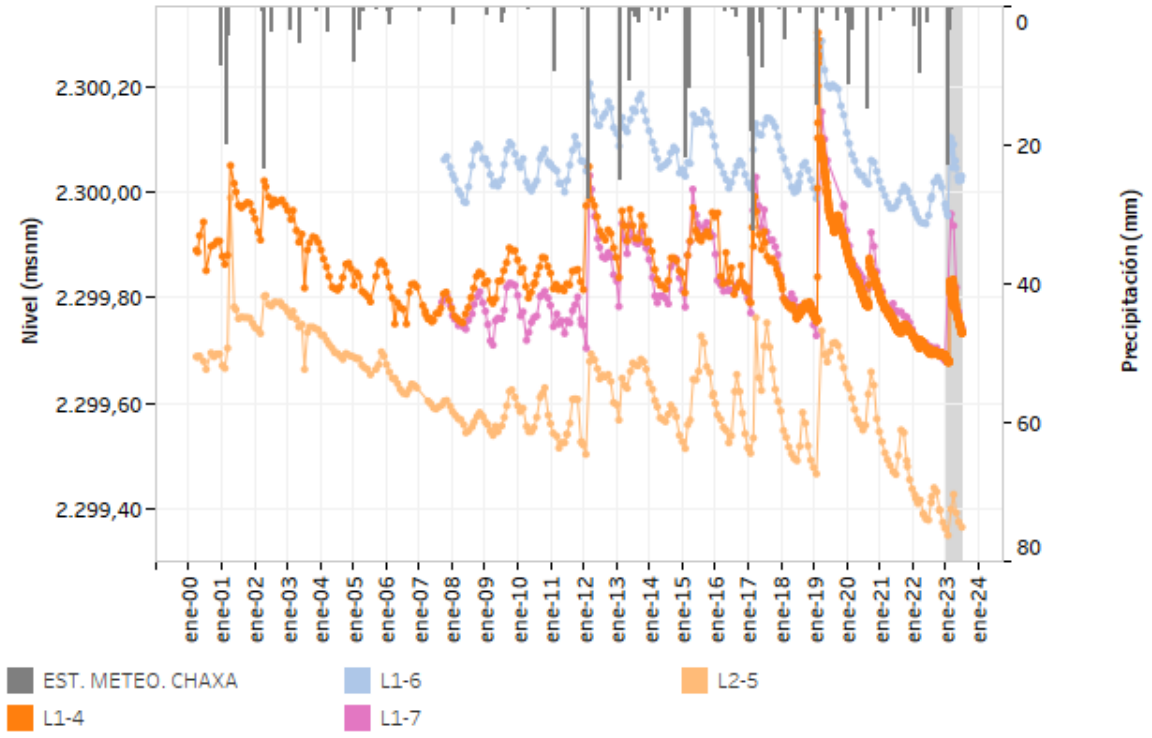
Figura 6-17: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-9 y L1-10)



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Los puntos ubicados más al sur (L1-7, L1-4, L1-6 y L2-5) se muestran en la Figura 6-18. Se observa, de la misma forma que los anteriores grupos, 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 periodo entre 2007 y 2011 que resultó ser más seco. A partir de 2012, e incluyendo el primer semestre 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, incluyendo, por ejemplo, la respuesta a las precipitaciones registradas en el presente semestre reportado. En todos los casos, la tendencia generalizada es de descenso, con unas pendientes de entre 1,3 cm/año el L1-16 (que se encuentra más cercano al borde este) y 2 cm/año el L2-5 que está más al sur, a la altura del actual Desborde Sur.

Figura 6-18: Niveles medidos en los pozos influenciados por el sistema lagunar de Chaxa y Barros Negros (L1-4, L1-7 y L2-5)



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Al oeste y al sur de la laguna Barros Negros es donde históricamente se han producido los eventos de desborde de la laguna. En el sector de desborde de Cola de Pez (al oeste del cuerpo principal), en los pozos influenciados por estos episodios de desborde se han observado dos grupos; el primero es el que recibe el aporte directo del evento de desborde y que se caracteriza por mostrar respuestas inmediatas en sus niveles. El otro grupo es el que, por su ubicación, reciben la recarga de los desbordes de forma residual, es decir, en forma de recarga subterránea (*peaks* suavizados, de menor amplitud y más tardíos) y no en forma de recarga directa.

En la Figura 6-19 se muestran los niveles de los puntos que reciben en forma de recarga directa el desborde (L1-5, L1-8, L1-13, L1-G4 Pozo y Reglilla, L2-24, P1-3, P1-4, P1-5, P1-6 y P1-7). Al inicio de las mediciones, en éstos se observaba una marcada estacionalidad (oscilación), que disminuía en la medida que el punto se encuentra más alejado de la zona por la que se producía el desborde, es decir, que se reducía la amplitud

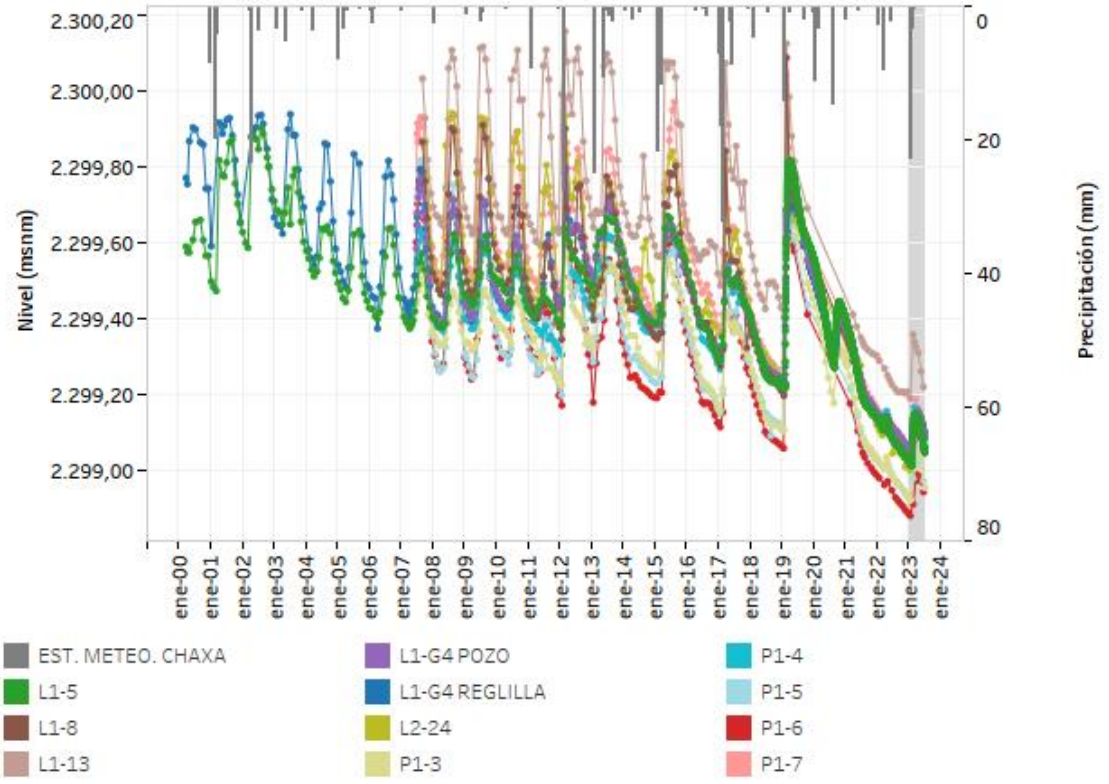
de la oscilación (por ejemplo, el L1-13 tiene una amplitud de 24 cm y para la misma fecha, en el P1-3 es de 7 cm). Se interpreta, por tanto, como un pulso que se producía localmente (punto de desborde) y que se propagaba en dirección del sentido del flujo del acuífero (desde la laguna y en dirección suroeste), dando lugar a una reducción progresiva de la respuesta al desborde.

No obstante, es posible observar cómo esta dinámica cambió de forma progresiva durante el año 2011 y más evidente a partir de la lluvia de 2012; 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 pierde la regularidad de la oscilación, 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 mide un pulso cada vez más tenue dando a entender que durante estos años se produjeron 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. El acuífero en esta zona se caracteriza 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, los puntos dentro de RNF (P1-7, P1-6, P1-5, L1-13, L2-24 y L1-8) dejaron de medirse durante la pandemia (desde octubre 2019 y hasta febrero 2021). No obstante, todos los puntos de esta sección muestran, incluyendo el primer semestre 2023, la misma tendencia al descenso basal (sin contabilizar los ascensos producto de las lluvias), que es de unos 4 cm/año.

[38] Esta referencia bibliográfica se refiere al Informe de Investigación que se elaboró producto de la activación de los indicadores L1-5 y L1-G4 Reglilla, donde se presentó un análisis exhaustivo de la dinámica de la laguna Barros Negros y sus efectos sobre el acuífero.

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



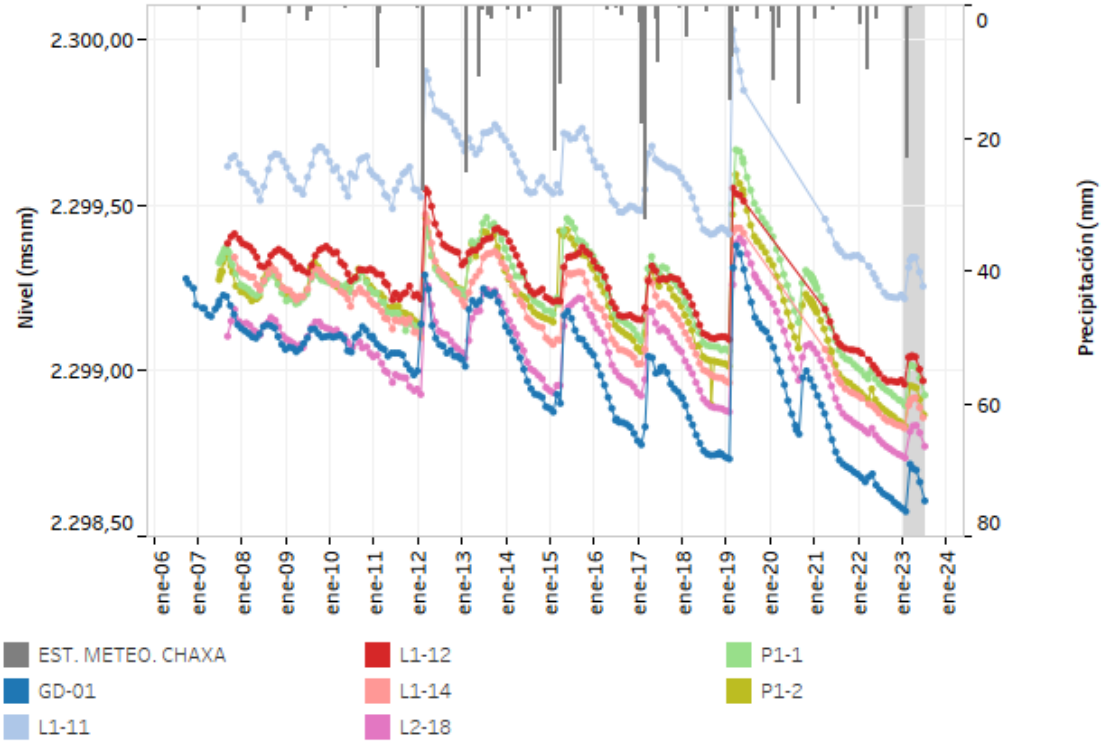
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Los pozos que se sitúan 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 muestran en la Figura 6-20. En general, se caracterizan porque durante los episodios de descarga hacía Cola de Pez, presentaban una amplitud de la oscilación que disminuía y se suavizaba en la medida que el pozo se encuentra más alejado del punto de descarga. Se diferencian además de los anteriores (influenciados de forma directa) porque las cotas en este caso eran inferiores; disminuye la cota de forma gradual a medida que el punto se encuentra más alejado de la zona de desborde. Todo esto conduce a concluir que el agua proveniente de la descarga llegaba a estos puntos como un pulso de recarga subterránea.

De la misma forma que se ha identificado 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 estos puntos presentan la respuesta debida

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 primer semestre 2023) de este subgrupo es el mismo que el observado para el anterior grupo, y muestran una misma pendiente basal (sin contabilizar los aumentos producidos por la lluvia) de unos 4 cm/año.

Figura 6-20: Niveles medidos en los pozos que reciben la recarga de forma indirecta del desborde de Cola de Pez



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

El siguiente grupo de puntos a analizar son los que se encuentran influenciados por el desborde hacia el sector 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). Se conoce a partir de los estudios que se han elaborado en la cuenca en los últimos años (IDAEA-CSIC, 2018) y como se mencionaba anteriormente, que la dinámica de desborde de la laguna cambió a partir de las lluvias de febrero de 2012; a partir de esta fecha los desbordes hacia Cola de Pez

perdieron intensidad para favorecer la salida a través del límite sur de la laguna. Ello produce una serie de cambios en los niveles de los puntos de control de esta zona, los que se describen a continuación.

Los pozos influenciados por el Desborde Sur se han dividido en dos figuras (Figura 6-21 y Figura 6-22) para mostrar mejor los distintos comportamientos. En ambas, se acompañan de los niveles de la Reglilla Barros Negros SQM como referencia para el análisis.

En la Figura 6-21 se muestra un primer grupo de pozos, que se caracteriza por estar estrechamente ligados al nivel de la reglilla de Barros Negros. Como puede verse, el punto L2-23 se solapa completamente (en cota y 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. Es decir, que se podría decir que el límite de la laguna habría aumentado hasta alcanzar este punto.

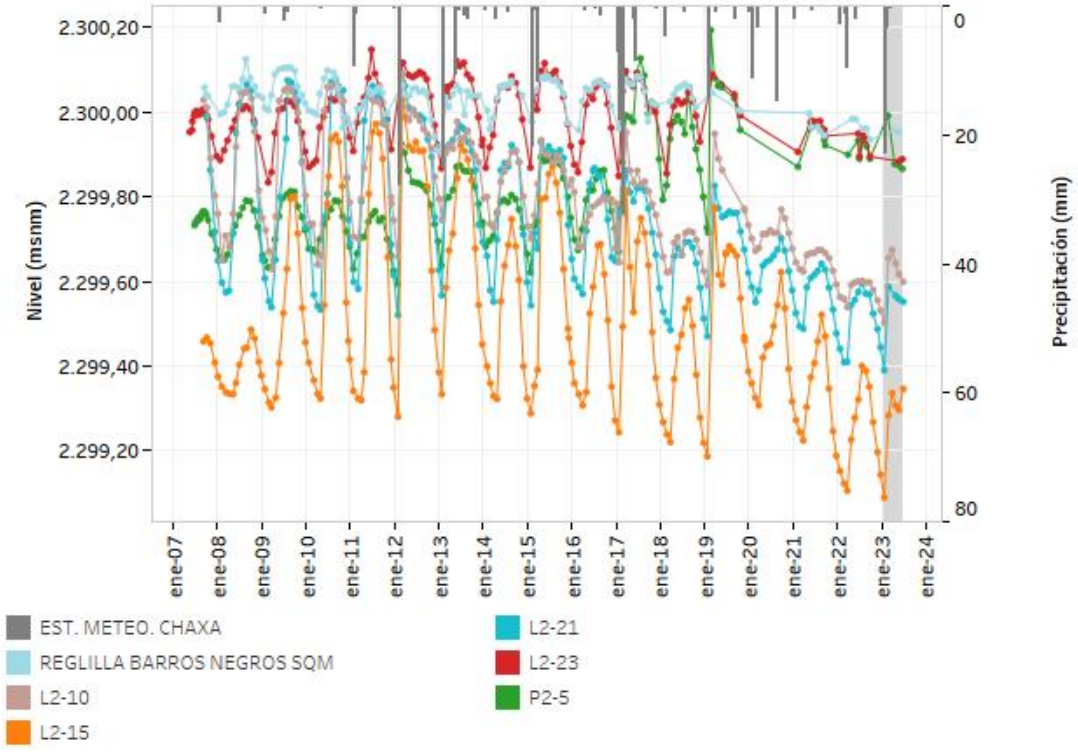
Ocurre algo similar con el punto P2-5, que durante el periodo de entre 2007-2017 se muestra oscilante a una cota inferior a la de la laguna. Pero, a partir de 2017, se observa cómo se solapan los niveles durante los meses de (niveles) máximos y ya en 2018, incluyendo el primer semestre 2023, se solapan completamente en cota. Lo que lleva a que la lámina de agua de la laguna Barros Negros se muestra horizontal (misma cota) desde la Reglilla Barros Negros y hasta el sector del P2-5.

En el lado este del Desborde Sur, se encuentran los puntos L2-10, L2-21 y L2-15. En la Figura 6-21 se puede ver como en los puntos L2-10 y L2-21, durante el periodo 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 (los mínimos se mantienen estables). Esto significa que, a partir de ese año, el Desborde Sur dejó de recargar con la misma intensidad la zona de estos puntos durante los meses de crecidas. Algo similar se observa en el punto L2-15, que a partir del año 2009 va aumentando la cota de los máximos hasta alcanzar prácticamente la de la reglilla de la laguna en 2012. Posterior a este año, empiezan a mostrar 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 2,8 y 3,8 cm/año, y se observa también en todos los casos que las oscilaciones se vuelven menos regulares en frecuencia y amplitud. Se extrae, por tanto, que durante el periodo entre 2009-2012 aproximadamente, el Desborde Sur llegó a cubrir el área de estos puntos y posteriormente, esta área dejó

de acumular el aporte de la laguna, alcanzando el desborde zonas más al sur, lo que confirma el aumento del desborde hacia este sector.

El análisis que se deriva de estos tres puntos da cuenta de que la dinámica de desborde hacia este sector es una dinámica cambiante con los años, tal y como es esperable para un sistema lagunar que se encuentra sobre 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 6-21: Niveles medidos en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 1)

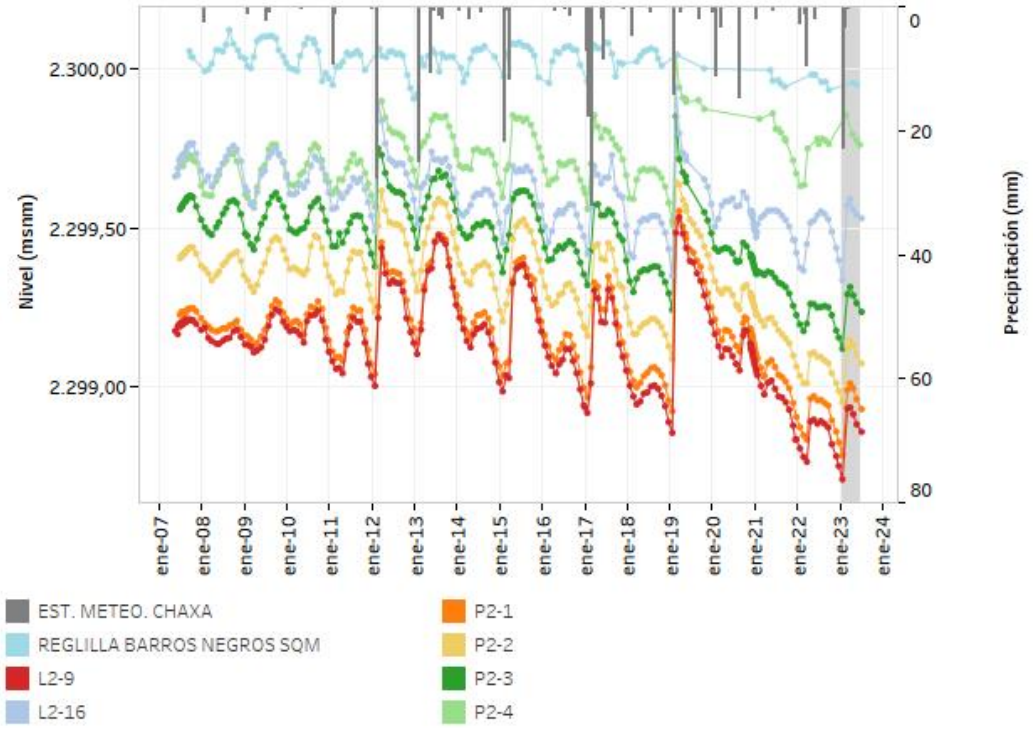


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Del segundo grupo de puntos influenciados por el Desborde Sur (Figura 6-22) situados al oeste y hacia el sur del mismo punto de desborde (L2-9, L2-16, P2-1, P2-2, P2-3 y P2-4), se destaca el gradiente hidráulico que hay 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) de una forma suavizada, a

la vez que también responden a los eventos de lluvia. Se interpreta por tanto que estos puntos reciben la recarga proveniente del desborde, pero a través del acuífero, en forma de pulso, además de la recarga directa por lluvia. Se observa también que los mínimos reproducen también una tendencia al descenso desde el inicio de las mediciones de 2007 y hasta el segundo semestre 2022 de entre 1,6 y 2,7 cm/año, ya que durante el primer semestre de 2023 los niveles reproducen la respuesta debida a las lluvias registras este mismo semestre.

Figura 6-22: Niveles medidos en los pozos influenciados por la descarga a través de Desborde Sur (parte 2)

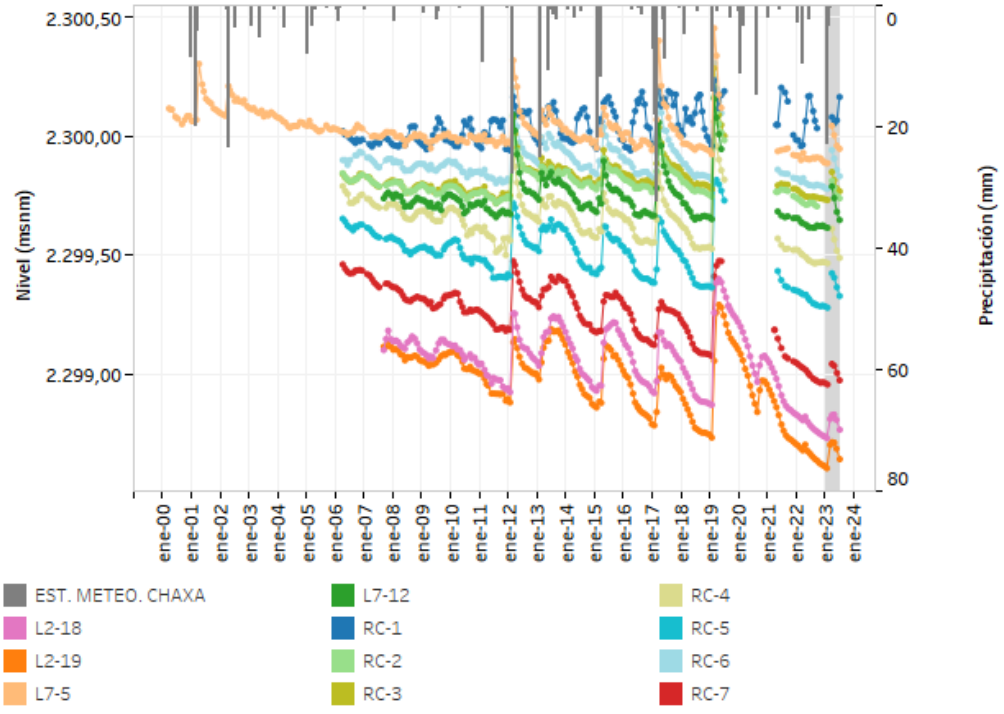


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 6-23 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 como referencia para el análisis.

Los niveles del acuífero en este sector no muestran un comportamiento estacional, aunque sí se presentan algunas oscilaciones poco regulares y esporádicas. Por otro lado, se observa que la respuesta a los eventos de precipitación no es siempre proporcional a la intensidad de la lluvia y el tiempo de respuesta también varía. Este grupo de pozos destacan también por presentar un gradiente hidráulico con respecto el punto RC-1 (usado como referencia de los cuerpos de agua superficial). Se destaca también que la pendiente de descenso que describen los mínimos de los niveles (cuando no hay efecto de recuperación de las lluvias), aumenta en la medida que los puntos se encuentran más cercanos al núcleo; si se toma el periodo a partir de 2012 para la comparación, el punto L7-5 no muestra apenas descenso, el punto RC-5 tiene un descenso de unos 2,5 cm/año y el punto L2-19 es de 3,3 cm/año. Estos aspectos descritos llevan a la conclusión de que esta zona es una transición desde el área de recarga del norte y hacia el núcleo.

Figura 6-23: Niveles medidos en los pozos ubicados al oeste del sistema de lagunas de Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tal y como se ha descrito, en la zona marginal es donde 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 primer semestre 2023, puede concluirse que el sistema se mantiene con las variaciones esperadas según el tipo de comportamiento (tasa de descenso casi nula y una fuerte estacionalidad). Por lo que los objetos de protección también se mantienen fluctuando dentro de comportamiento estacional esperado. En el capítulo 6.2 Análisis del Plan de Contingencia se analiza el estado de los objetos de protección a través de la revisión de los indicadores de estado, por lo que puede encontrarse más detalle.

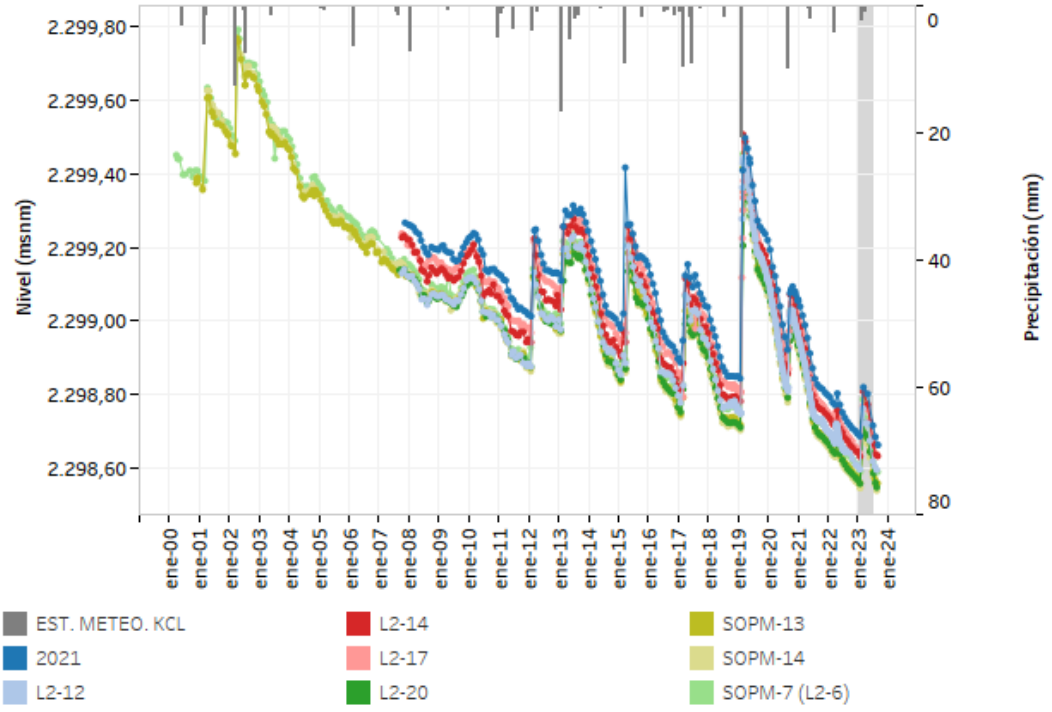
6.1.1.1.6 Pozos en Zona núcleo

Cerrando el análisis de los puntos del sistema Soncor, el último grupo de puntos son los que se encuentran 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, de los que se muestran sus niveles en la Figura 6-24. Estos no presentan estacionalidad, responden a los episodios de lluvia y muestran una tendencia general al descenso. Además, se caracterizan por el bajo gradiente hidráulico que se observa entre ellos (los niveles se presentan en cotas piezométricas similares), dando cuenta de lo plana que se encuentra la superficie piezométrica en este sector.

Este comportamiento es característico de este tipo de acuífero, dominado por fracturas o disoluciones. La tendencia histórica del núcleo ha sido, de acuerdo con lo esperado, siempre con tendencia al descenso y presentando recuperaciones solo debido a los episodios de precipitación, que actúan como recarga directa. A la tendencia de descenso base (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 acusada. Estos puntos han demostrado ser sensibles a las modificaciones de las tasas de extracción de salmuera, tal como se comprobó en el informe de Efectividad de Acción, producto de la activación de los indicadores de Soncor (IDAEA-CSIC, 2018), con la estabilización del descenso observado en los puntos L2-17, L2-14 y SOPM-14 y una recuperación observada en el punto L2-12.

La conclusión general del sistema Soncor – Vegetación Borde Este, es que los niveles mantienen las tendencias esperadas y dentro de los rangos históricos.

Figura 6-24: Niveles medidos en el núcleo del sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.1.2 Superficie de los sistemas lacustres

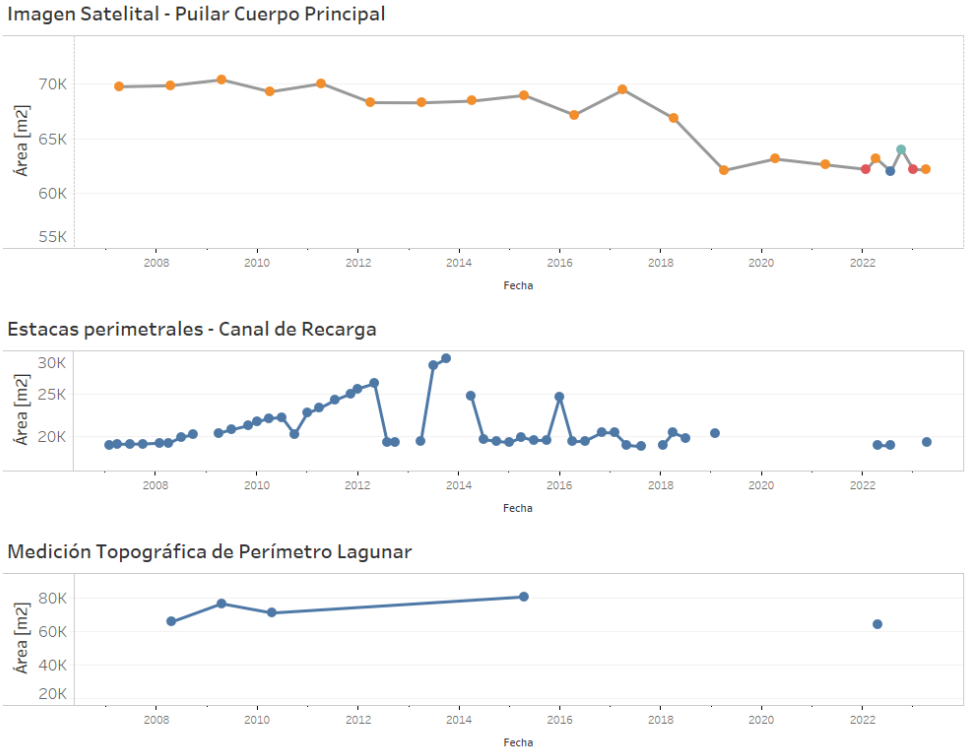
El presente apartado muestra las series de tiempo históricas de datos recuperados de las mediciones de extensiones lagunares para el sistema lacustre de Soncor. En efecto, la Figura 6-25, Figura 6-26, Figura 6-27 y Figura 6-28 muestran la evolución histórica de los cuerpos principales de las lagunas: Puilar, Barros Negros y sus desbordes y Chaxa.

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.

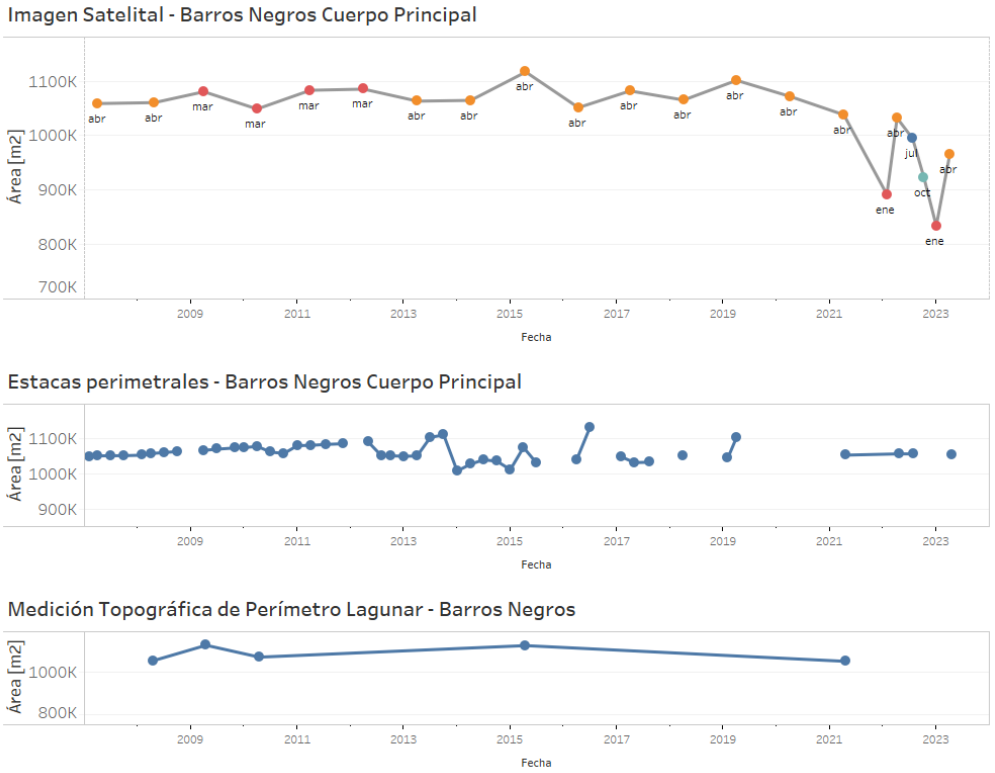
A continuación, se exponen las series históricas de cada sector del sistema lacustre de Soncor.

Figura 6-25: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal Puilar



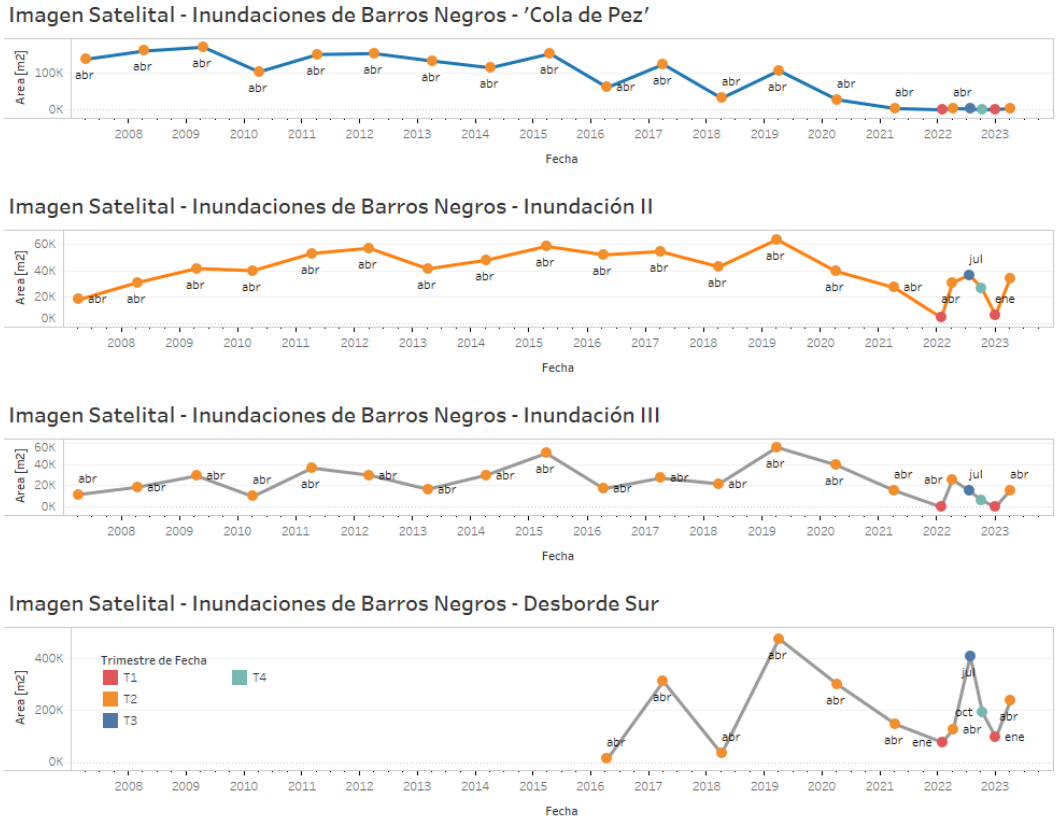
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-26: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en el cuerpo principal de Barros Negros – Soncor.



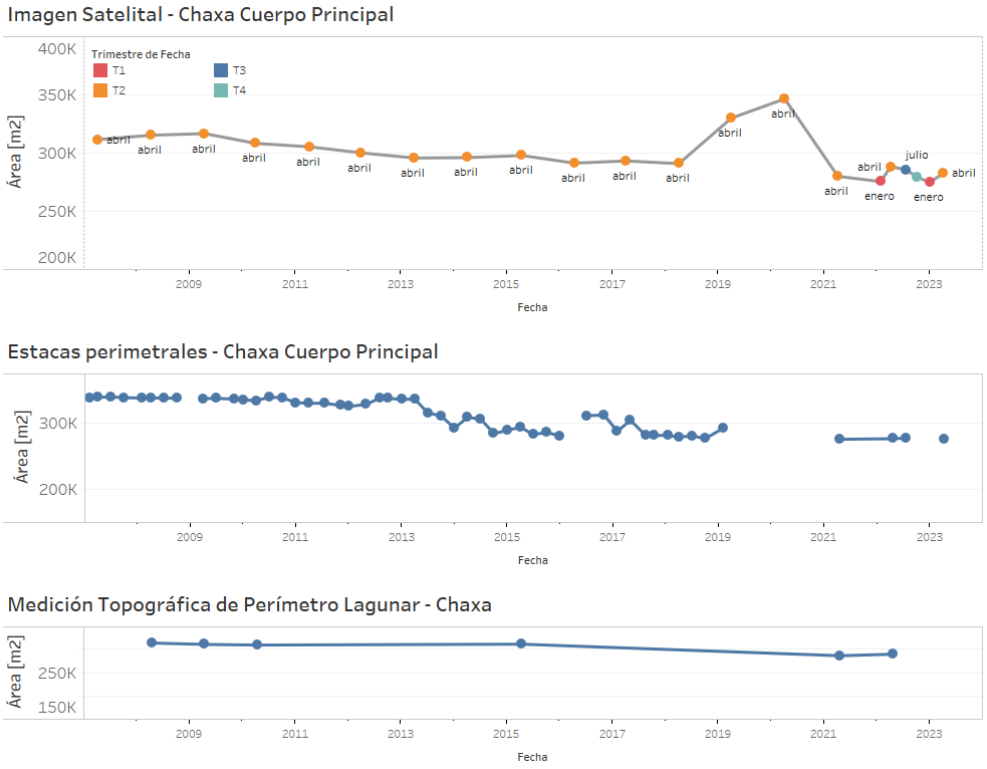
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-27: Series de tiempo históricas de superficie lacustre zonas de desbordes de Laguna Barros Negros – Soncor.



Fuente: Elaboración propia

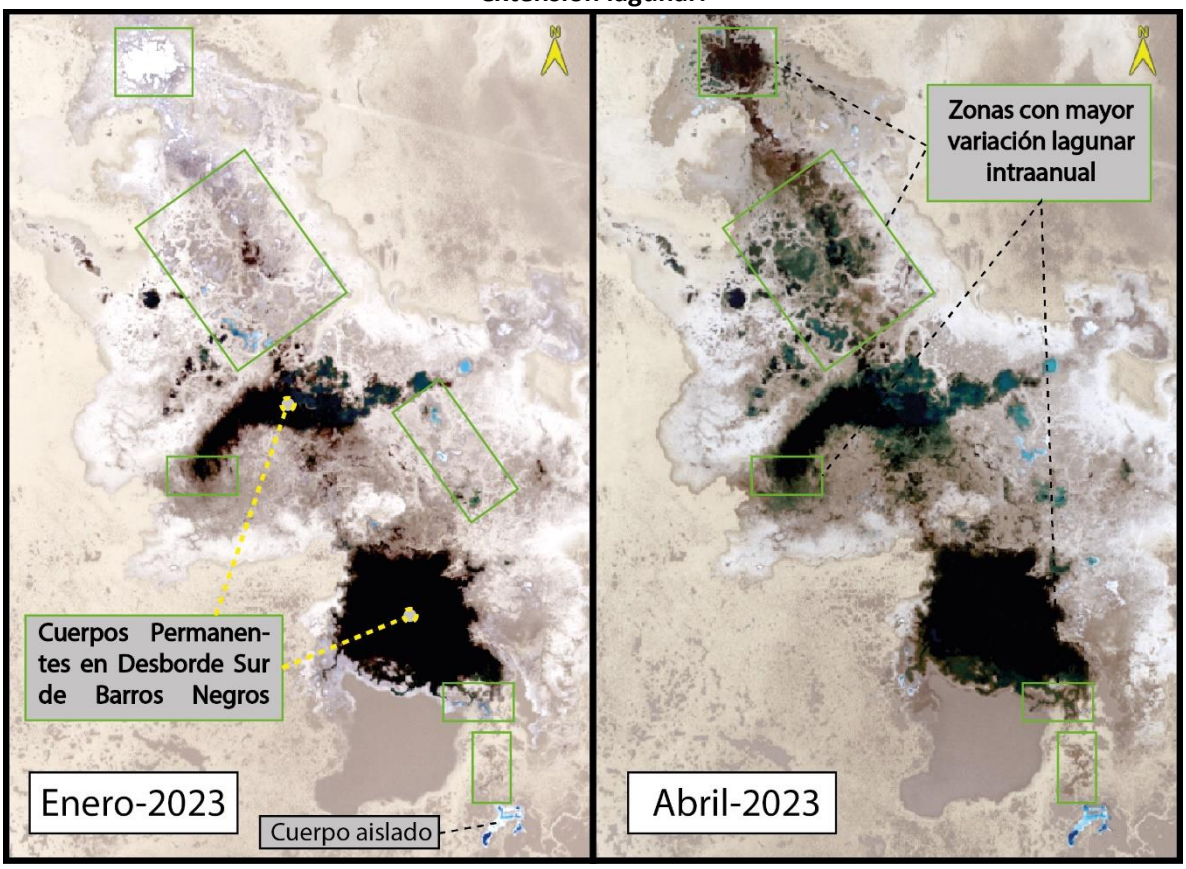
Figura 6-28: Superficie histórica de laguna Chaxa – SONCOR.



Fuente: Elaboración propia

Para el presente reporte semestral, es importante mencionar que se ha detectado una dinámica lacustre alta a escala intraanual especialmente en la parte distal del sistema lacustre de Soncor, correspondiente en la actualidad al Desborde Sur de Laguna Barros Negros (de ahora en adelante Desborde Sur). La Figura 6-29 muestra una comparación entre imágenes del primer y segundo trimestre, en ellas es posible notar tanto una expansión en el área de lagunar (recuadros verdes en Figura 6-29) así como una laguna discreta sin conexión o recarga superficial de los cuerpos principales estables. De las series de tiempo de Barros Negros y Desborde Sur (inundaciones), es posible notar una disminución de la tendencia en el cuerpo principal de Barros Negros y un aumento en el área de Desborde Sur, si son comparados con áreas del PSAH N°31 (enero y abril 2022).

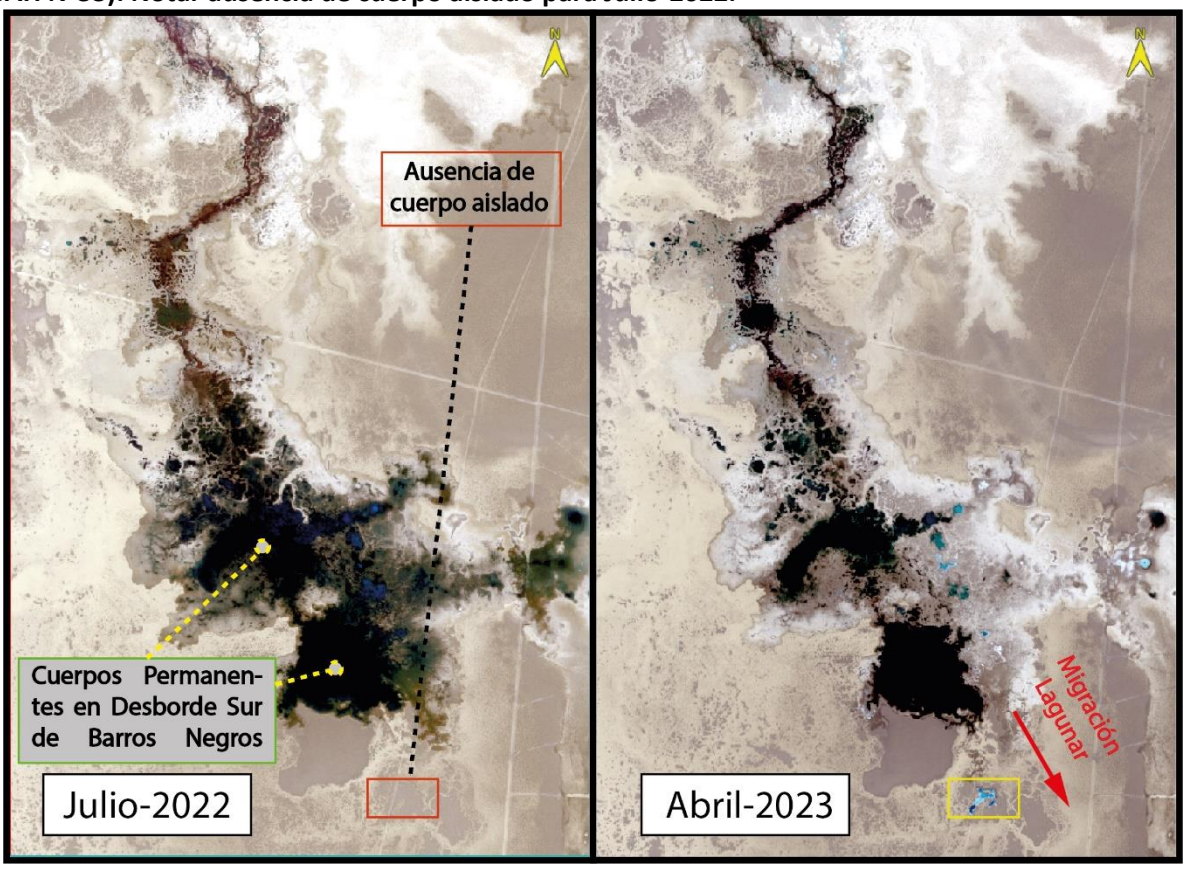
Figura 6-29: Comparación satelital en zona terminal de Desborde Sur entre enero y abril del presente PSAH. Notar presencia de cuerpos permanentes, así como sectores sujetos a mayores diferencias de extensión lagunar.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el cuerpo aislado marcado en la Figura 6-29, no se evidencia en la imagen satelital de julio 2023 (considerado que corresponde a un trimestre en el que se alcanza la superficie lacustre máxima de dicho año). Esto sugiere que su formación ocurrió después de la fecha de captura satelital, y con una posible génesis subsuperficial, lo que sostiene a su vez la alta dinámica lagunar hacia zonas distales de los sistemas lacustres.

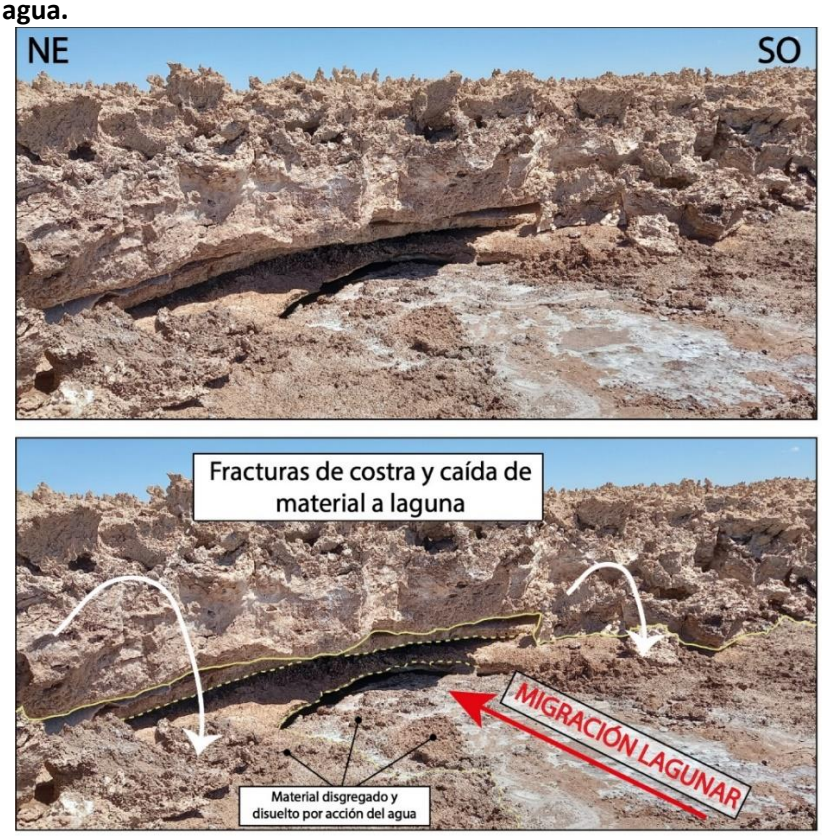
Figura 6-30: Comparación satelital de sector de Desborde sur en Julio-2022 (PSAH N°32) y Abril-2023 (PSAH N°33). Notar ausencia de cuerpo aislado para Julio-2022.



Fuente: Elaboración propia

De manera paralela, el control espacial del borde lagunar es mejorado con puntos de control, estos también aportan con información relevante del comportamiento lagunar y en particular, las evidencias morfológicas de dirección de migración o progradación lacustre. En efecto, en la Figura 6-31 se observa evidencia de terreno de costra con fracturas tensionales paralelas al borde lacustre, lo que propicia el volcamiento de material hacia el cuerpo de agua y es evidencia de la dinámica lagunar activa.

Figura 6-31: Fotografía de terreno (imagen superior) y su interpretación (imagen inferior). Notar migración en dirección al sureste con evidencia de caída y/o volcamiento de material (costra) por acción de la erosión del agua.



Fuente: Elaboración propia

Actualmente SQM se encuentra trabajando en la redefinición de zona de inundación de Desborde Sur y una serie de tiempo extendida que dé cuenta de la alta variabilidad intraanual y migración evidenciada en este Sector. Es necesario destacar que, para un seguimiento coherente de los desbordes de Barros Negros es necesario considerar Desborde Sur como la extensión de Laguna Barros Negros desde su límite CONAF de la desembocadura del cuerpo principal hacia el sur (detalles en Anexo 10).

En síntesis, debido a la reciente incorporación de seguimiento de superficie lacustre con frecuencia trimestral, se ha logrado observar una variabilidad importante controlada en primer orden por el potencial de evaporación, la cual conlleva un aumento sostenido en la superficie lacustre entre enero y abril. Esta elevada dinámica lagunar, es observable tanto en imágenes satelitales como en la toma de puntos de control de terreno, siendo más evidente hacia zonas distales de los sistemas lacustres.

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 6-32). 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 sucesivos eventos de precipitación extremas, los que ocurren 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 y un acumulado anual de 124,1 mm/año en 2017.

Durante el periodo a reportar se registran eventos de precipitación durante febrero y marzo, acumulando un total semestral de 31,57 mm. Vale decir, unos 7,22 mm adicionales al promedio de los primeros semestres de los últimos 22 años de registros en la estación Chaxa[39].

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 primer semestre de 2023 ha sido de 15,8 °C, vale decir 0,5°C superior a los primeros semestres de los últimos 22 años (registros desde 01 de enero hasta el 30 de junio, desde el año 2000 hasta el año 2022) y cuenta con una máxima registrada de 21,97°C; 3,19°C menos al máximo histórico registrado en enero de 2020 de 25,16°C en estación Chaxa.

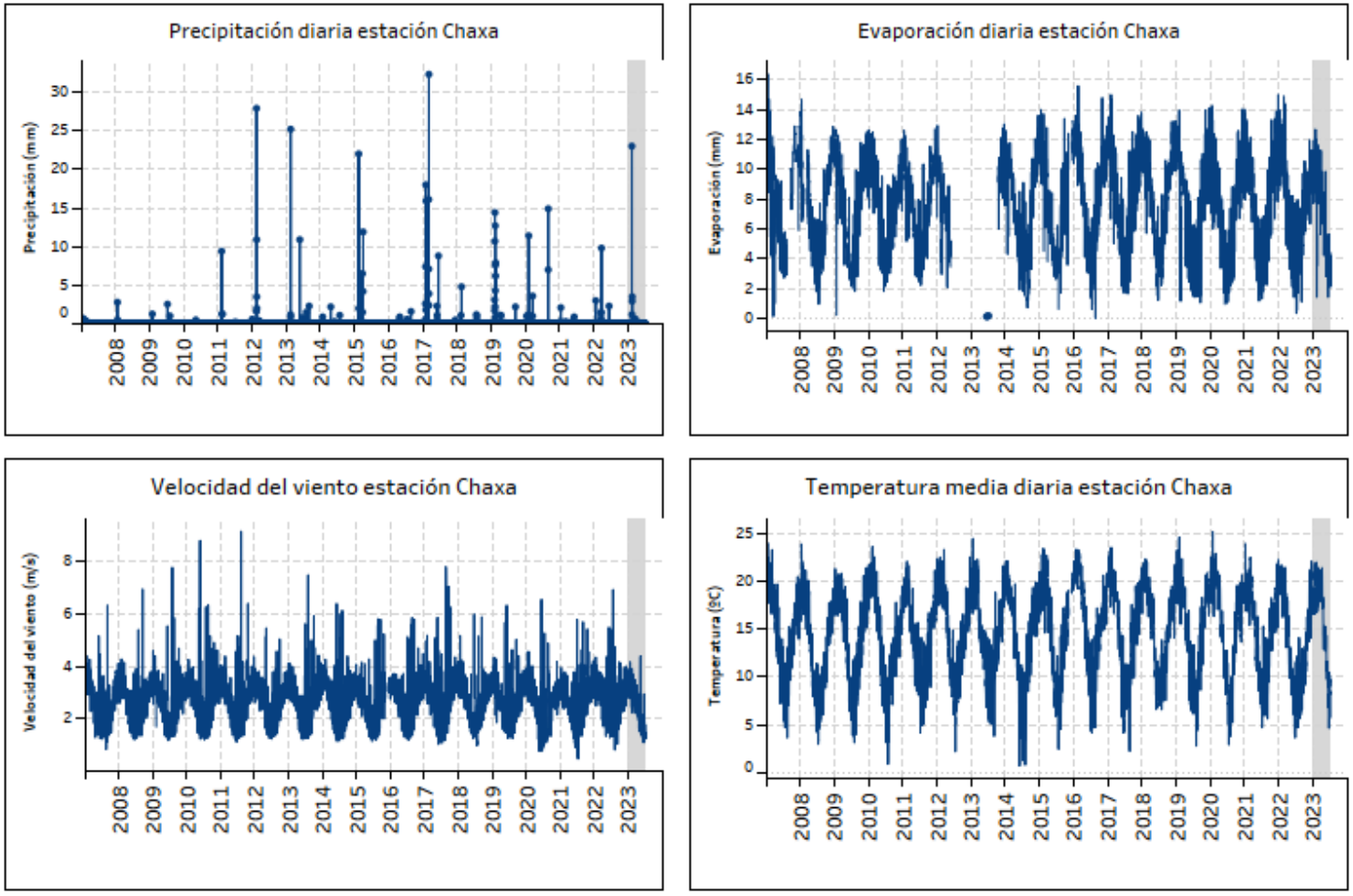
[39] El promedio de precipitación acumulada (mm/año) desde 2000 a 2022 es de 24,34 mm/año en Estación Meteorológica Chaxa

La evaporación promedio durante el primer semestre de 2023 registro un promedio de 7,27 mm/día en la bandeja de evaporación de Chaxa, vale decir, 0,13 mm/día inferior al promedio histórico de los últimos 22 primeros semestres registrados desde 2000 a 2022 (de valor 7,40 mm/día).

Del mismo modo, la velocidad del viento promedio durante el primer semestre de 2023 registro 2,44 m/s día, unos 0,19 m/s inferior al promedio histórico de 2,71 m/s día de cada primer semestre de los últimos 22 años de registros.

Mencionar, además, que la falta de datos de evaporación entre mediados de mayo de 2012 hasta octubre de 2013, que se reportó en el informe Nº10 del PSAH. Por otro lado, el equipo de medición de evaporación de la estación presento falla en sensor durante julio a octubre de 2022. El acceso restringido a esta estación no permitió realizar un debido mantenimiento a los sensores, por lo que, estos datos han debido ser rellenados. Situación que se replica durante febrero de 2023, donde existe desconfiguración del Levell Troll de la bandeja causado por las intensas precipitaciones ocurridas durante el mes mencionado. Los datos rellenados y su metodología se pueden observar en el Anexo 9.2

Figura 6-32: Serie histórica de variables meteorológicas de la Estación Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

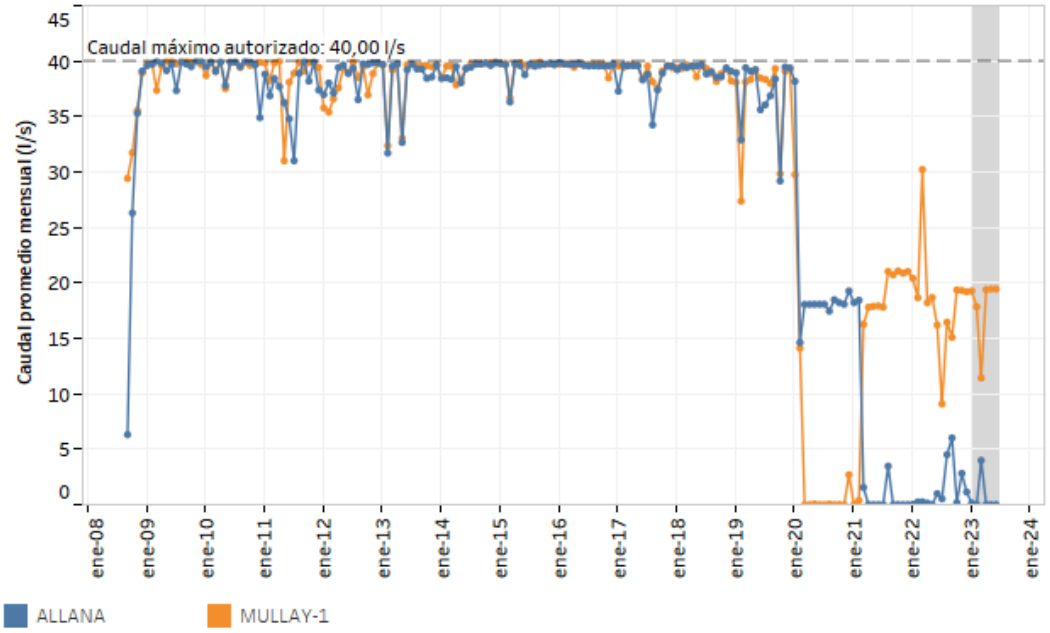
6.1.1.4 Caudal bombeado

Los pozos de bombeo de agua industrial Mullay-1 y Allana (ubicados en el sector aluvial frente al sistema Soncor) iniciaron sus operaciones el día 15 de septiembre de 2008. En la **Figura** 6-33 se muestran los caudales medios mensuales históricos hasta el 30 de junio de 2023. Desde su puesta en marcha, ambos pozos han bombeado caudales menores a los derechos otorgados y autorizados ambientalmente (40 L/s cada uno). A partir de junio 2018 ambos se mantuvieron alrededor de los 39 L/s y en 2019 disminuyó el régimen de extracción, registrando mínimos sobre los 27 L/s. En 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 donde se bombea menos de 10 L/s mensuales en el pozo Allana-1 y a su vez, se reincorpora la operación en Mullay-1. Este escenario se mantiene hasta el presente periodo a reportar.

Así, los caudales de Allana variaron durante el primer semestre de 2023 entre los 0,00 L/s hasta los 3,99 L/s, unos 36,01 L/s menos del caudal ambiental aprobado para este pozo. De igual forma, el pozo Mullay-1 fluctuó su caudal durante el semestre entre los entre los 11,42 L/s y los 19,44 L/s, reduciendo su caudal a casi la mitad del autorizado de 40 L/s. Estas medidas buscan reducir el límite otorgado por RCA de 240 L/s al 50% menos, 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 6-33: 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 primer semestre de 2023 en el Sistema Soncor - VBE, 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 hacía el oeste, en su trayecto desde el este hacía 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 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 Medición 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 4.5.8.3).

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 - VBE es monitoreada en los puntos L2-4, L1-4, L1-5, L1-6, L2-3, L2-5, L7-3, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla, L7-G1, respectivamente[40, 41], y corresponden a: conductividad terreno, densidad terreno, pH terreno, conductividad, densidad, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales (Figura 6-34, Figura 6-35, Figura 6-36, Figura 6-37, Figura 6-38, Figura 6-39**,** Figura 6-40**,** Figura 6-41, Figura 6-42, Figura 6-43 y Figura 6-44).

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 - VBE. Los resultados del primer semestre para los distintos analitos y puntos se encuentran en general dentro del rango histórico registrado.

[40] 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.

[41] En el informe N° 26 del PSAH de SQM, disponible y publicado en la página web de SNIFA 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.

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 con registros máximos en torno a los 15.000 µS/cm, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales menores a 20.000 mg/L, y una densidad de terreno y laboratorio en torno a 1,0 g/mL. En el último semestre de registro, el punto L2-4 muestra una disminución de la densidad de laboratorio fuera del comportamiento histórico, registrando en abril de 2023 con un mínimo histórico de 0,97 gr/mL. Dado que es un comportamiento puntual no registrado en el periodo histórico, se hará seguimiento a este parámetro en los siguientes monitoreos trimestrales.

La estacionalidad propia de puntos más someros, mostrando valores máximos en verano y mínimos en invierno, se comienza a apreciar en los puntos de monitoreo en la zona marginal hacia el núcleo al oeste (puntos L1-4, L1-5, L1-6, L2-5, SOPM-7 (L2-6), SOPM-14, L1-G4 Reglilla, L7-G1). Se observa que la conductividad de terreno se encuentra por sobre los 200.000 µS/cm, observándose una disminución de la dispersión de los registros en los puntos L1-5 y L1-G4 desde 2018 a la fecha. La densidad de terreno muestra una tendencia levemente a la baja en el punto L1-4 desde 2018 a la fecha.

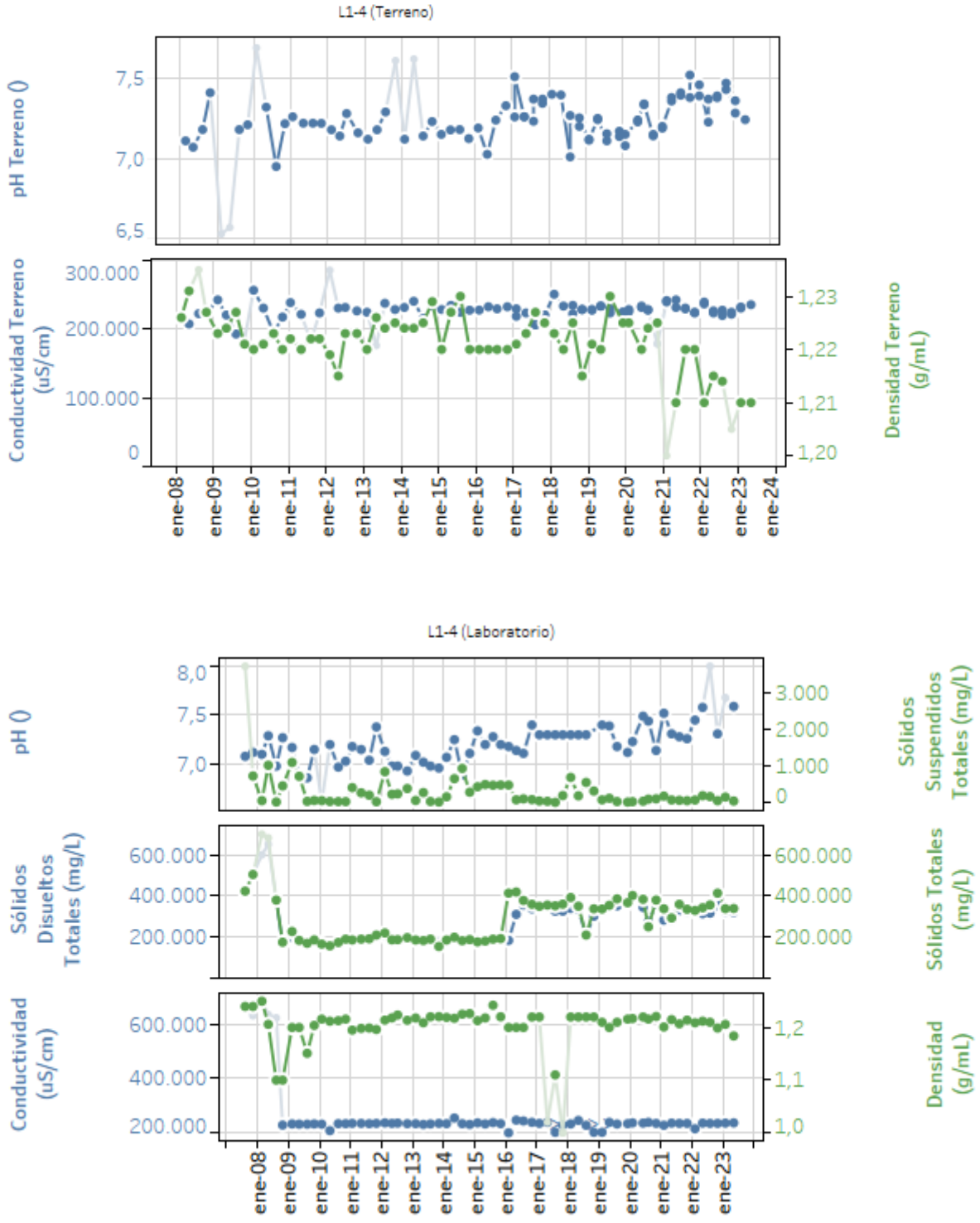
El punto L1-4 presenta características de salmuera (densidad de terreno >1,2 g/mL, sólidos disueltos totales laboratorio >200.000 mg/L y conductividad terreno > 200.000 µS/cm, Tabla 4-17), y los puntos L2-5 y L1-6 con registros de conductividad terreno también del orden de 200.000 µS/cm y densidad de 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 y los sólidos disueltos y totales (terreno y laboratorio), mostrando valores máximos en verano y mínimos en invierno, coincidente con el régimen de evaporación.

Figura 6-34: 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 6-35: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-36: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-5

Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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.

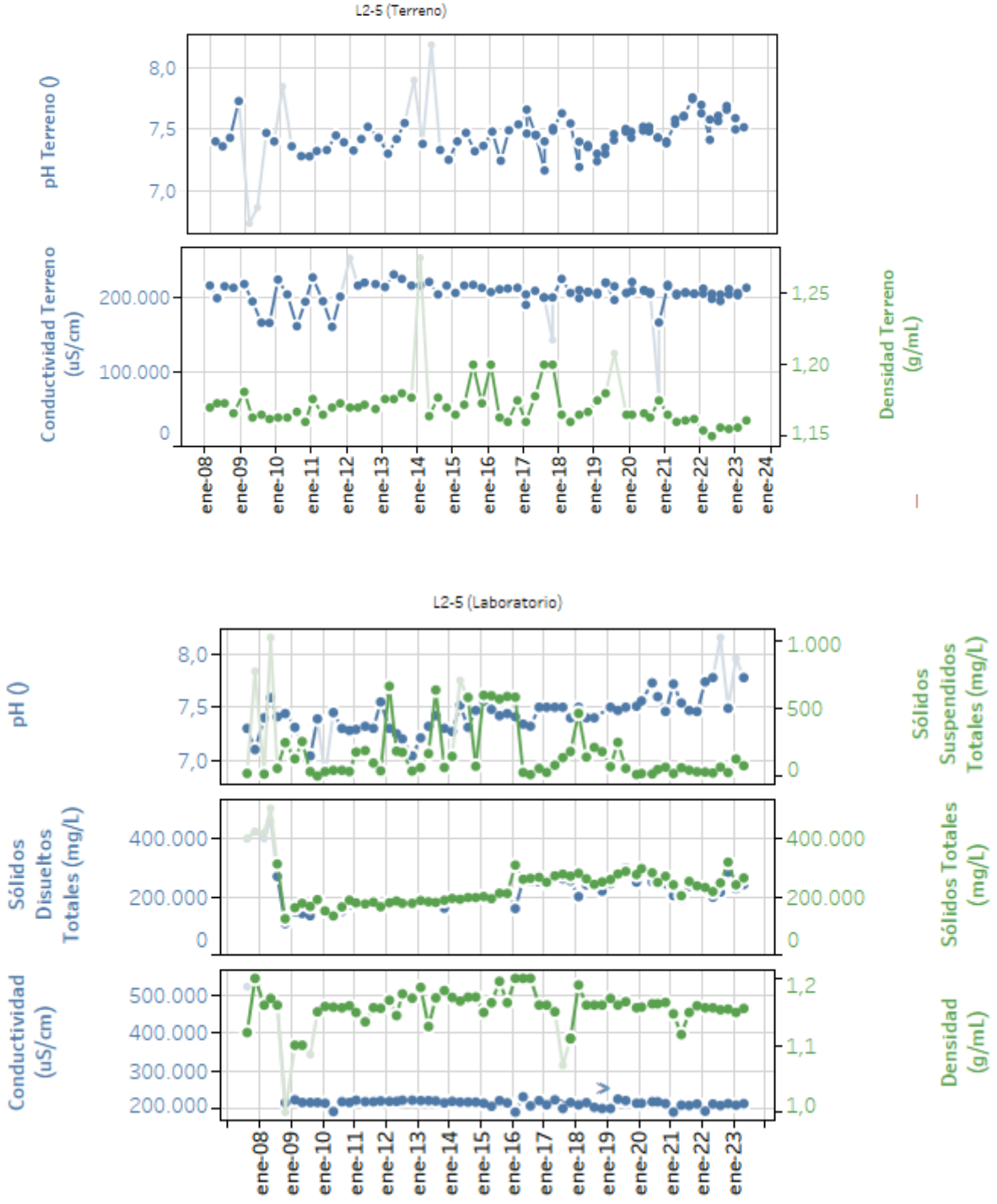
Figura 6-37: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L1-6

Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 6-38: 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 6-39: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L2-5



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 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 6-41: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-7 (L2-6)

Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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.

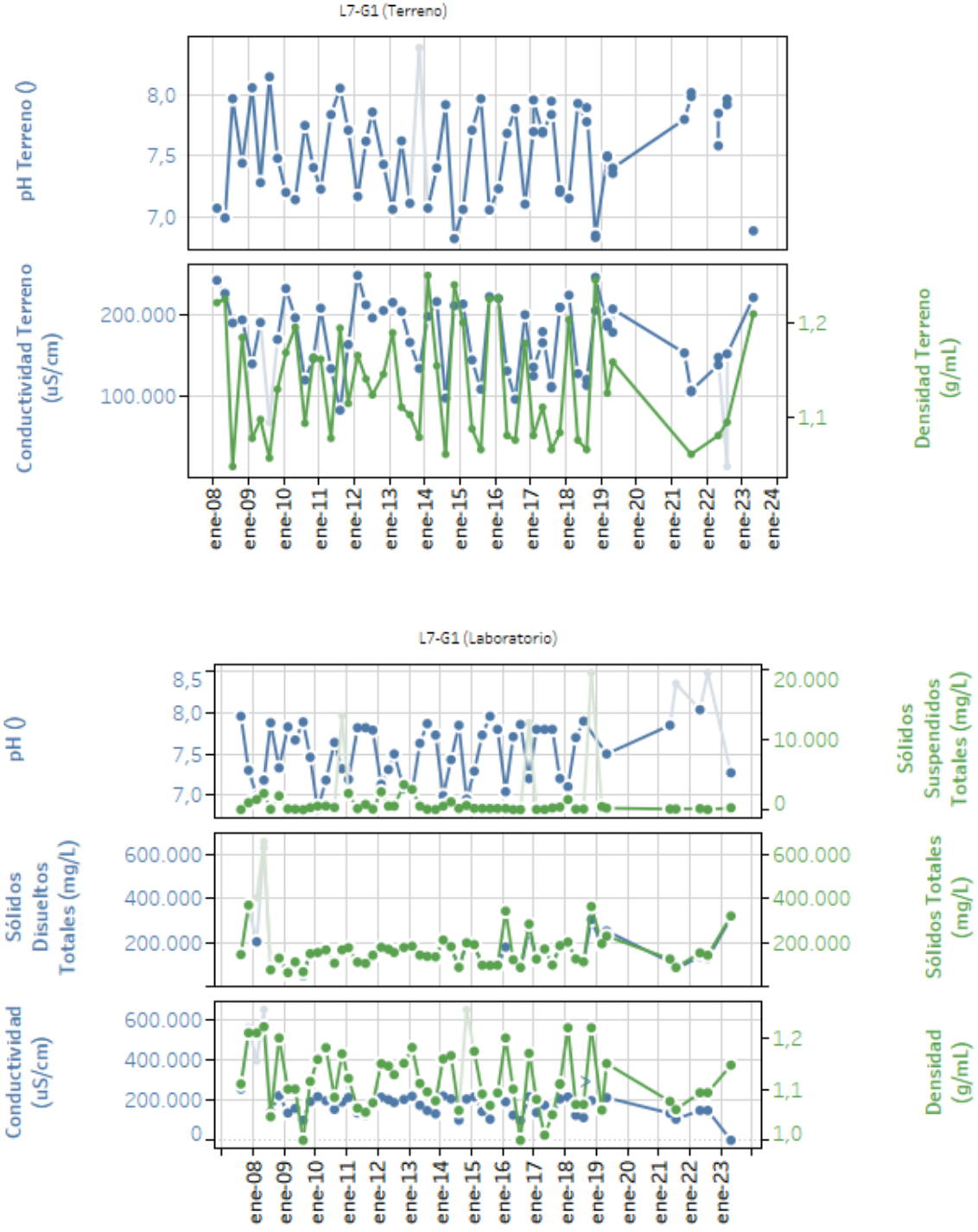
Figura 6-42: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-14

Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 el L1-G4 Reglilla

Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 6-44: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L7-G1



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 primer semestre de 2023 se encontraron dentro del rango registrado históricamente. Las excepciones corresponden a:

- Valor alto de conductividad de terreno en el punto L2-4 (también observado en 2019 y 2020). También se observa un aumento de la conductividad de laboratorio y una baja en la densidad de laboratorio, por fuera de lo observado en el registro histórico. Este descenso en la densidad de laboratorio no se observa en la densidad de terreno ni en ningún otro parámetro correlacionable.
- Aumento en la conductividad de terreno y en la densidad de terreno para los pozos L1-5 y L1-G4 desde el inicio del periodo de registro, pasando de ser aguas tipo saladas a salmueras (Tabla 4-17). La disminución del pH en estos mismos puntos también se puede deber al aumento de sales, las aguas tipo salmuera del núcleo registra pH del orden de 7,0 en promedio (Figura 6-36 y Figura 6-43).
- Valor bajo de conductividad de laboratorio en el punto L7-G1, no se correlaciona con la conductividad de terreno y pH de terreno que se comportan acorde con la usual variación estacional.

Respecto a tendencias identificadas:

- En relación con a la evolución temporal de los parámetros, las tendencias más claras de aumento o disminución de concentraciones se observan en la concentración de sólidos disueltos totales, sólidos totales, conductividad y densidad.
- Para los puntos de muestreo L1-G4 REGLILLA, L1-5, SOMP-14 y SOMP-7 (L2-6), 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 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 6-45 y Figura 6-46 respectivamente, y corresponden a: conductividad terreno, densidad terreno, pH terreno, alcalinidad total (CaCO3), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, conductividad, densidad, hierro, magnesio, manganeso, n-nitrato, pH, potasio, sodio, sólidos disueltos totales, sulfato, zinc. El Pozo Allana se encuentra detenido de forma parcial desde marzo de 2021, con periodos intermitentes de extracción (junio 2022 a marzo 2023).

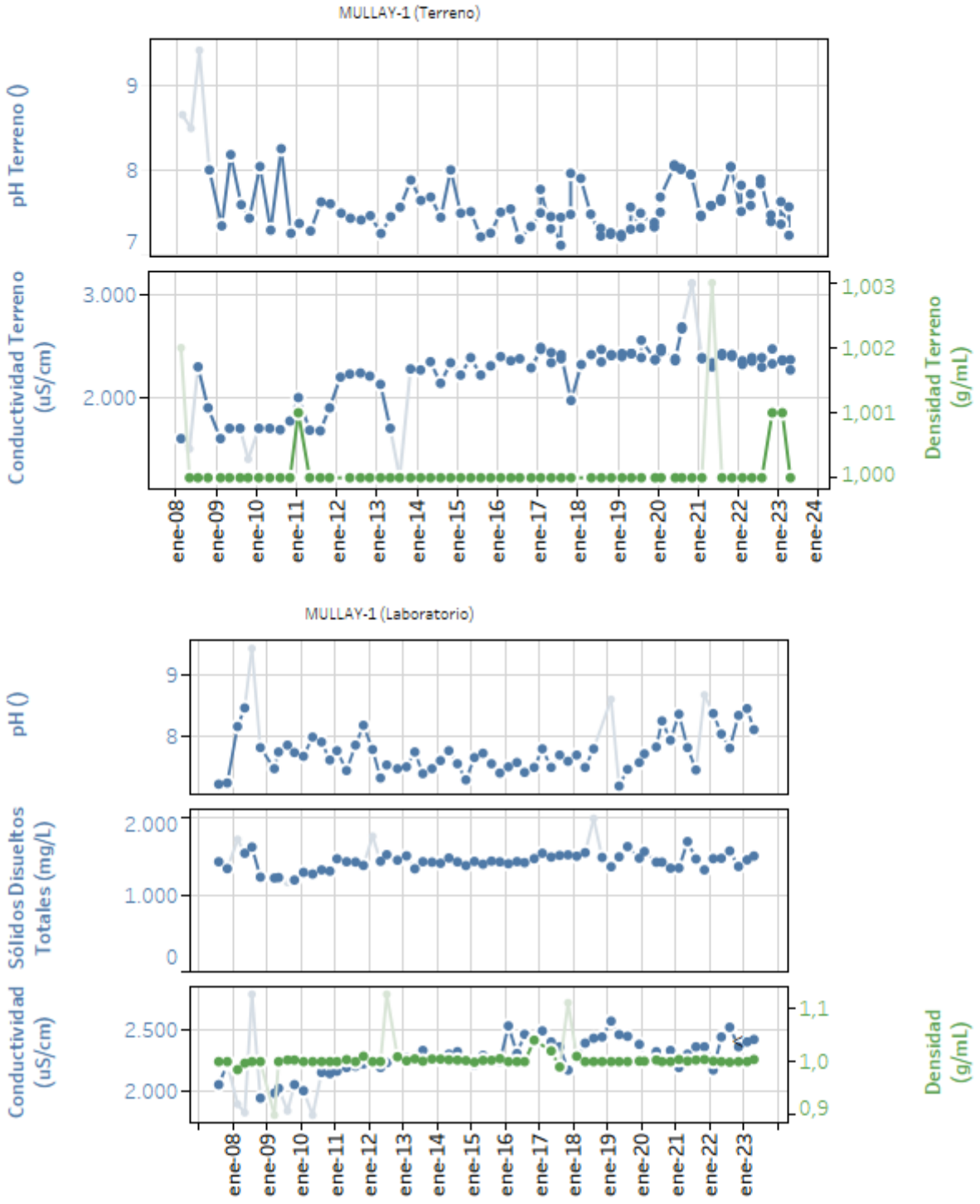
Los resultados del primer semestre de 2023 para los distintos analitos se encuentran en general dentro del rango histórico registrado.

Ambos puntos se encuentran en el acuífero aluvial, caracterizado por presentar una conductividad y concentración de sólidos disueltos totales menores de 5.000 µS/cm y 5.000 mg/L, respectivamente. Sin embargo, el registro de conductividad de laboratorio en abril de 2023 para el pozo Allana muestra un aumento puntual que no representa en si un dato validado.

La densidad de terreno 2023 para el pozo Allana en mayo de 2023 volvió a registrar el promedio histórico de 1,0 g/mL, respecto al aumento presentado en los registros de fines de 2022.

El resto de los parámetros analizados: alcalinidad total (CaCO3), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, cloruro, hierro, magnesio, manganeso, sodio, sulfato y zinc, presentan concentraciones en los análisis del primer semestre de 2023 dentro del rango histórico.

Figura 6-45: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extraccion 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 6-45 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Mullay-1

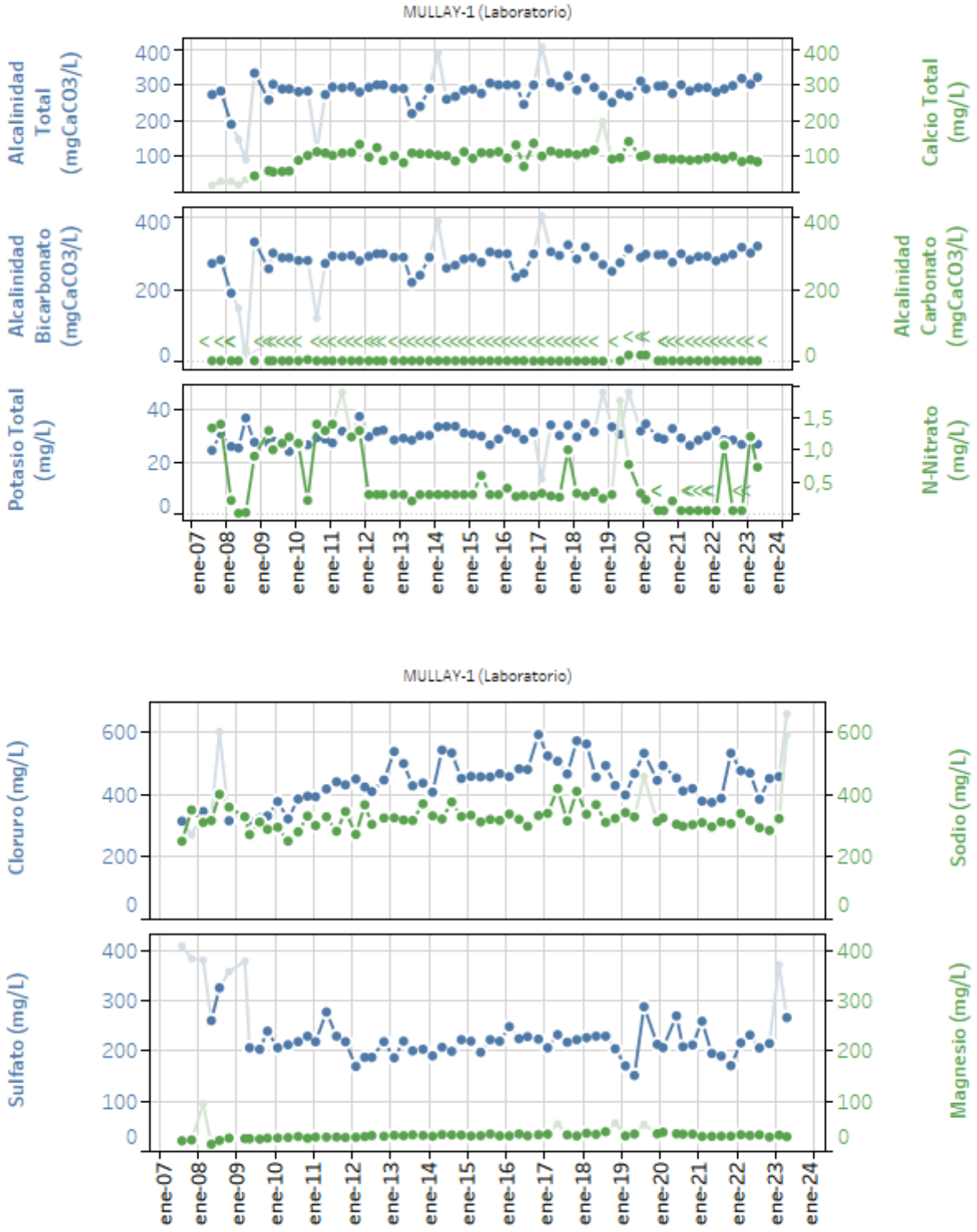
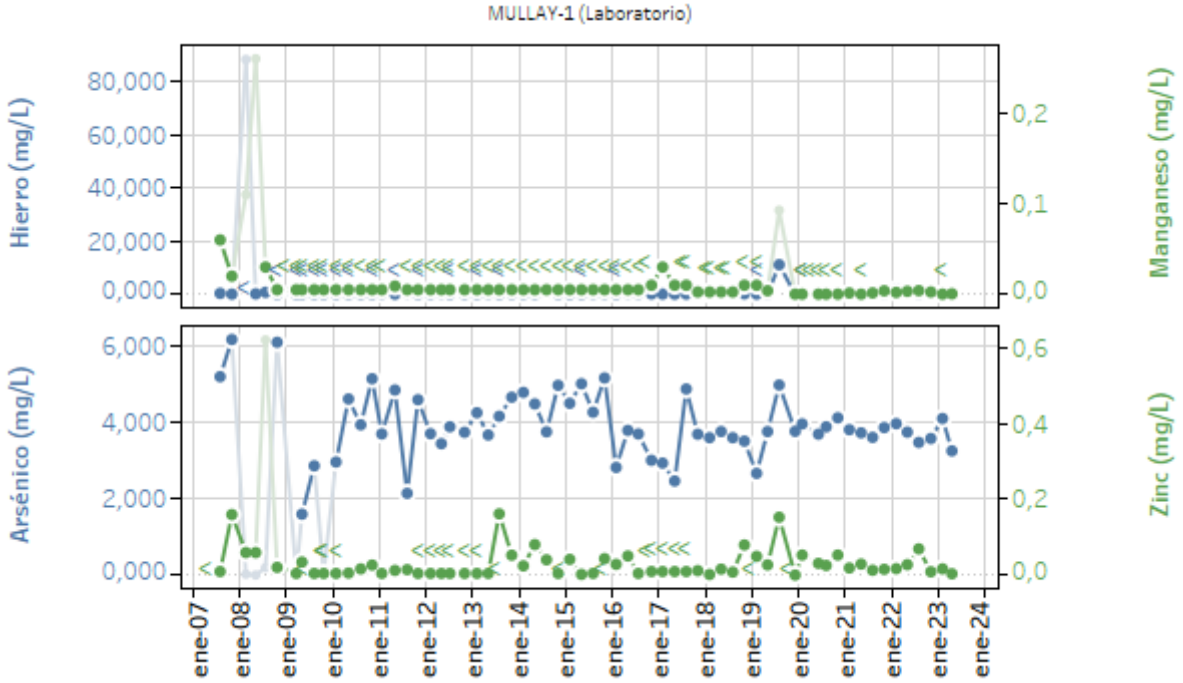


Figura 6-45 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Mullay-1



Fuente: Elaboración propia. Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 6-46: Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana

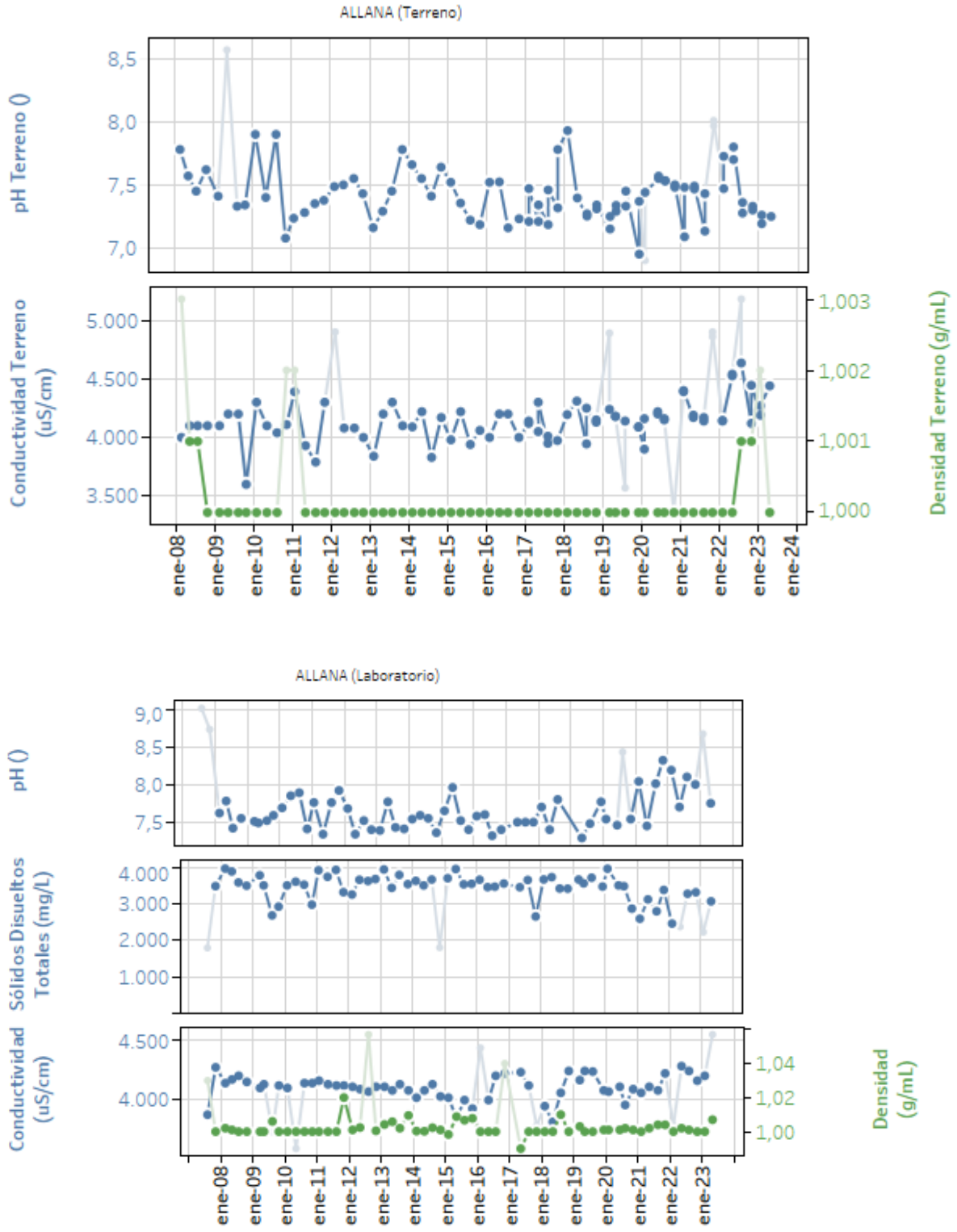
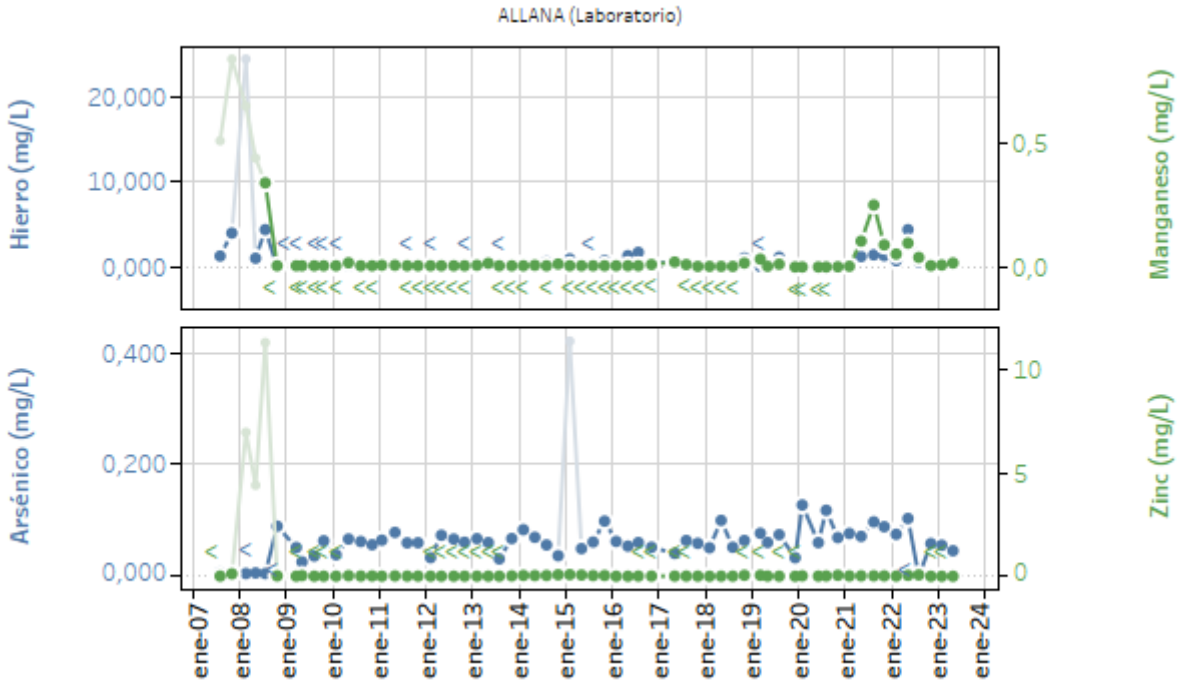


Figura 6-46 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana

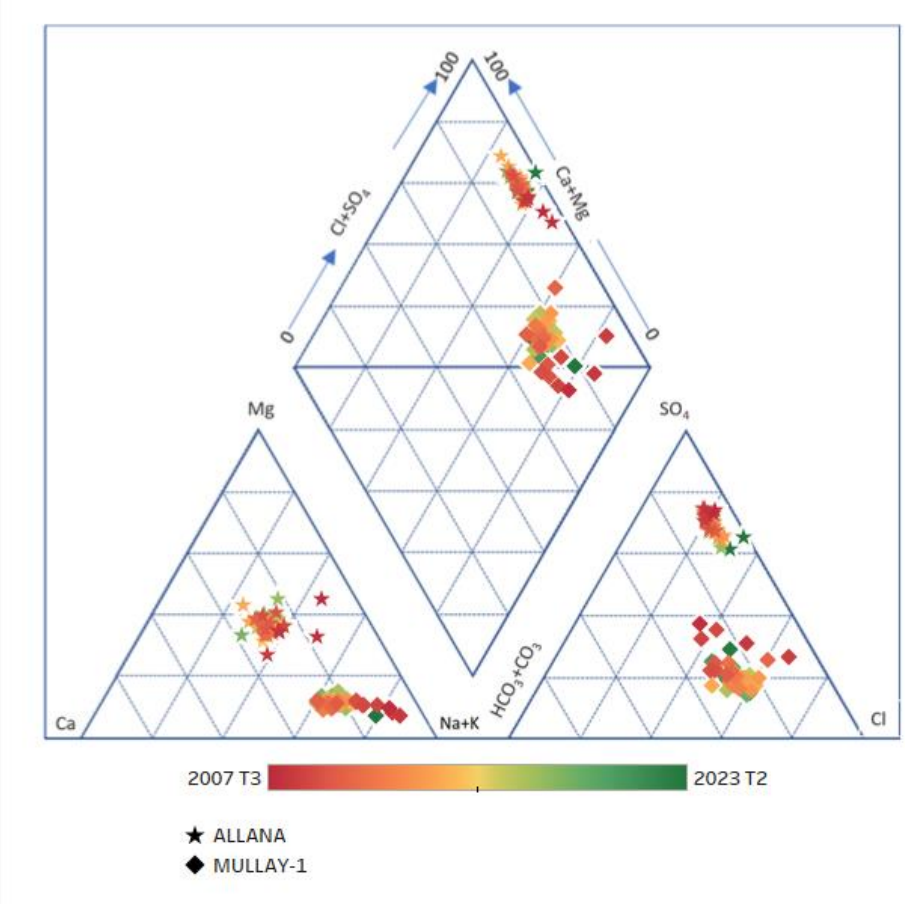
Figura 6-46 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en pozo de extracción Allana



Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM 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 6-47 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. Además, el punto Allana presenta, mayores valores de conductividad, sólidos disueltos totales, sulfatos y magnesio que Mullay-1. Por su parte, el pozo Mullay-1 presenta mayores concentraciones de arsénico.

Figura 6-47: Diagrama de Piper para los puntos Mullay-1 y Allana



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.5.3 Calidad del agua en sistemas lacustres

Durante el primer semestre del año 2023 fue posible acceder a monitorear los cuatro puntos de control de los sistemas lacustres corresponden a: Burro Muerto, Chaxa, Barros Negros y Puilar. Las Figura 6-48, Figura 6-49, Figura 6-50 y Figura 6-51 presentan la evolución histórica de los parámetros analizados, los cuales corresponden a: alcalinidad total ($CaCO_3$), bicarbonatos, calcio, carbonatos, conductividad terreno, dureza total, fosforo, n-nitrato, oxígeno disuelto terreno, pH terreno, potasio, salinidad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, temperatura terreno. Y sólo para los puntos Barros Negros y Chaxas se incluyen como compromiso de la RCA 226/2006 los parámetros: coliformes fecales, coliformes totales, conductividad, detergentes, hidrocarburos totales y nitrógeno amoniacal (ver Anexo 2). 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.

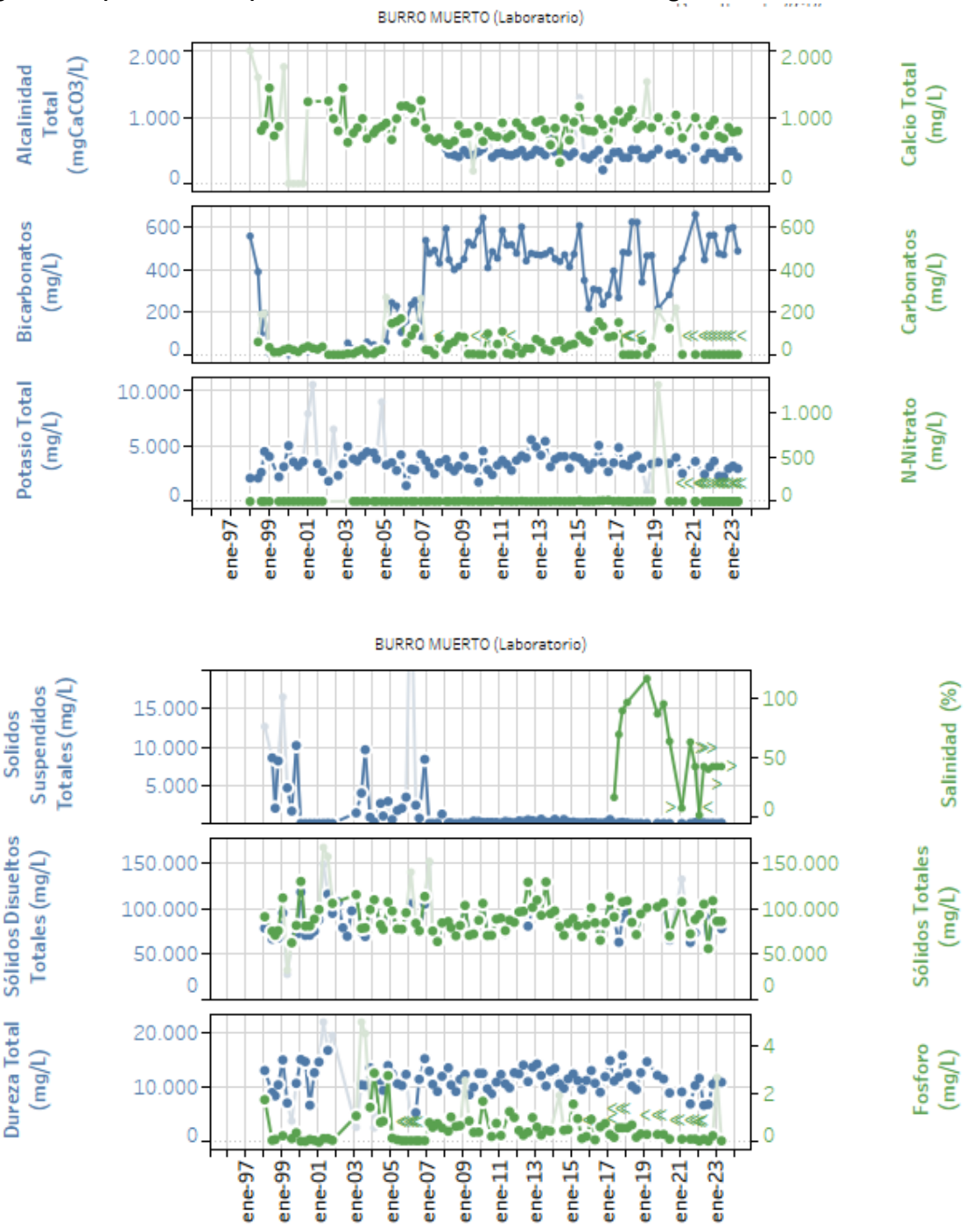
En cuanto al análisis histórico y por tratarse de agua superficial, el canal Burro Muerto y las lagunas que son alimentadas por él, Chaxa y Barros Negros, presentan una marcada estacionalidad controlada por la evaporación y el régimen de caudales, alcanzando las concentraciones de sólidos disueltos totales, sólidos totales y sólidos suspendidos totales, y conductividades valores máximos en verano y mínimos en invierno, iguales a los ciclos de evaporación y contrarios al régimen de caudales.

El punto de muestreo en Puilar representa una excepción a este comportamiento ya que, la muestra se toma en el canal que alimenta la laguna Puilar y su alimentación proviene de la descarga del acuífero aluvial, y esta laguna se ubica al noreste de Chaxa y Barros Negros. Esta descarga se produce como consecuencia del efecto combinado del encuentro entre el agua dulce del aluvial y la interfaz salina que aflora en la zona marginal, la disminución de la conductividad hidráulica y la baja pendiente de la zona marginal. Este hecho condiciona que los parámetros fisicoquímicos en la muestra de Puilar presenten una mayor estabilidad promedio, mostrando una estacionalidad menos marcada que en los otros cuerpos lagunares y evidenciada principalmente por los sólidos disueltos totales, sólidos totales y cloruros, y en menor medida por la salinidad, aunque este parámetro cuenta con pocos registros (se recomienda continuar sus registros para nutrir este análisis).

Respecto al tipo de agua presente en los cuerpos lagunares, se observa que los puntos de control de Chaxa, Canal Burro Muerto y Barros Negros presentan concentraciones de sólidos disueltos totales promedio del orden de 100.000 mg/L, la cual corresponde a que se enriquece 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 4-17). La salinidad en los últimos años se muestra estable para los tres puntos de control y en torno al 50%. Puilar por su parte, presenta concentraciones promedio de sólidos disueltos totales de 20.000 mg/L y salinidad menor al 20% en los últimos años. Los resultados del primer semestre de 2023 para los distintos analitos y puntos se encuentran, en general, dentro del rango histórico registrado.

Figura 6-48: Evolución histórica de la calidad del agua en canal de Burro Muerto

Figura 6-48 (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 >LM se presentan = LD o LM y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran con resalte.

Figura 6-49: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa

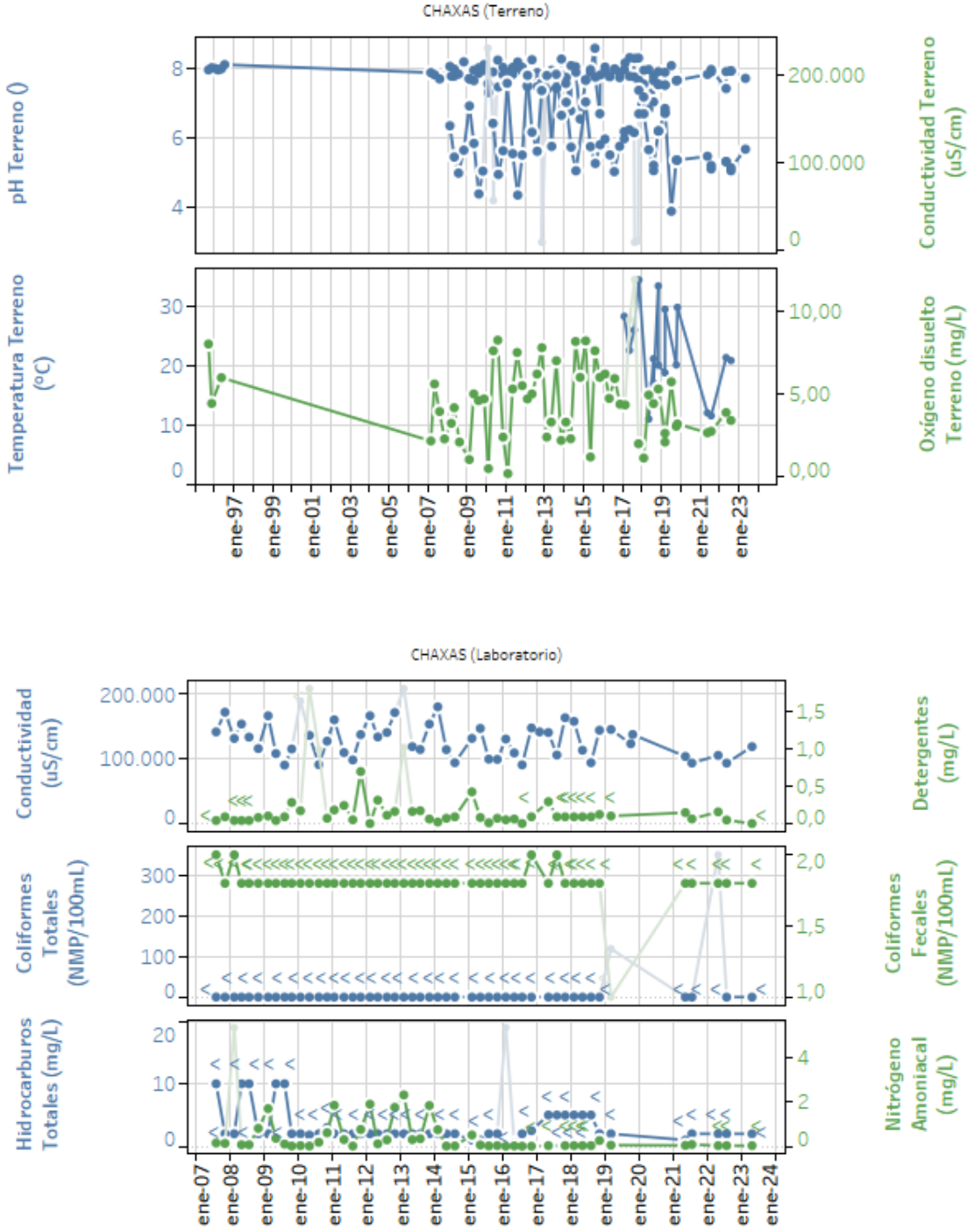


Figura 6-49 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa

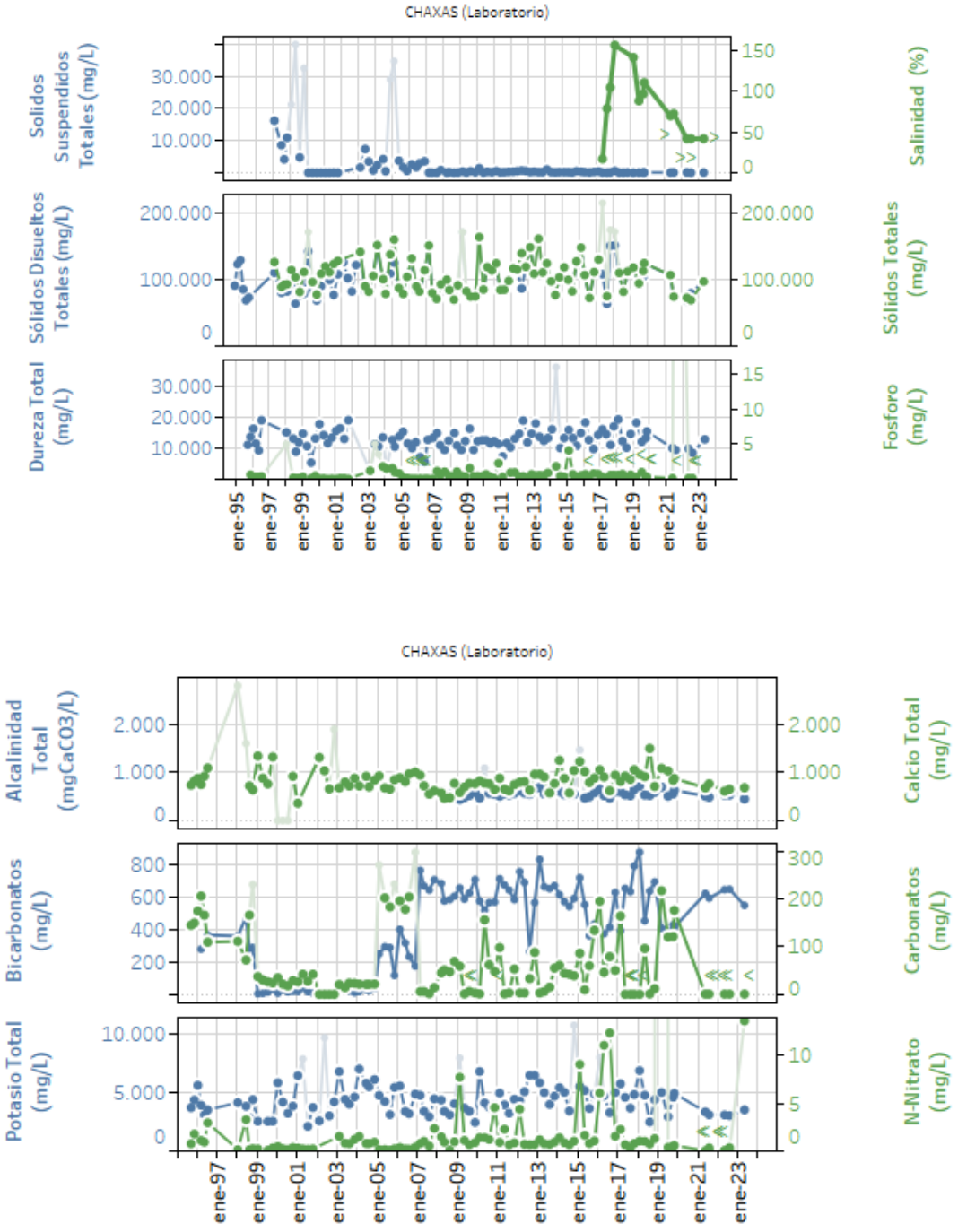
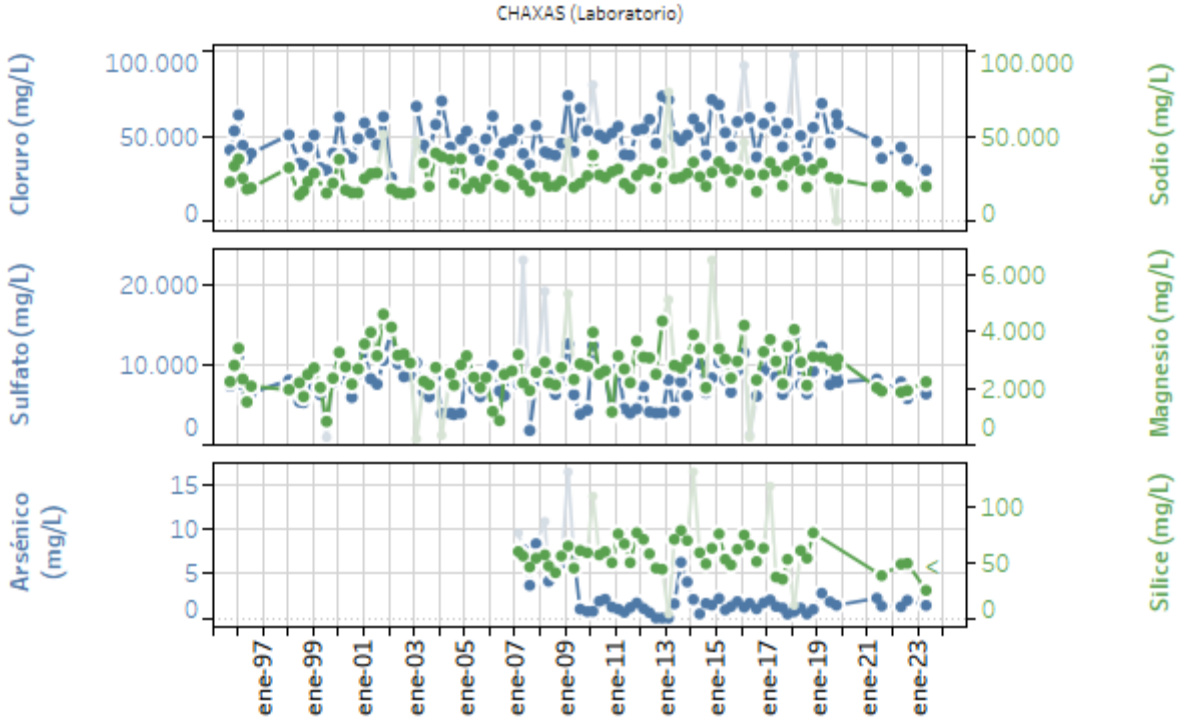


Figura 6-49 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Chaxa



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 LM y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran con resalte.

Figura 6-50: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros

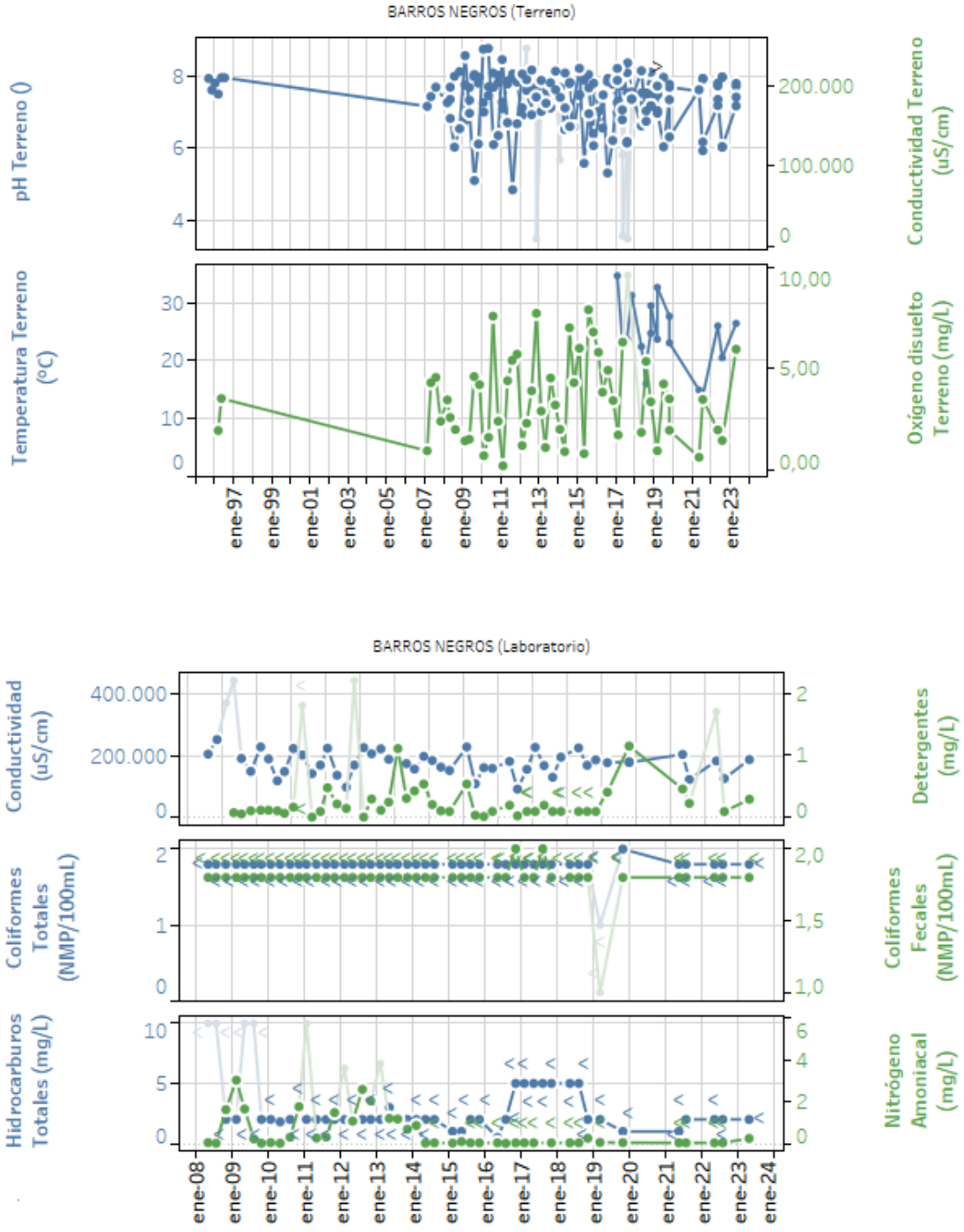


Figura 6-50 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros

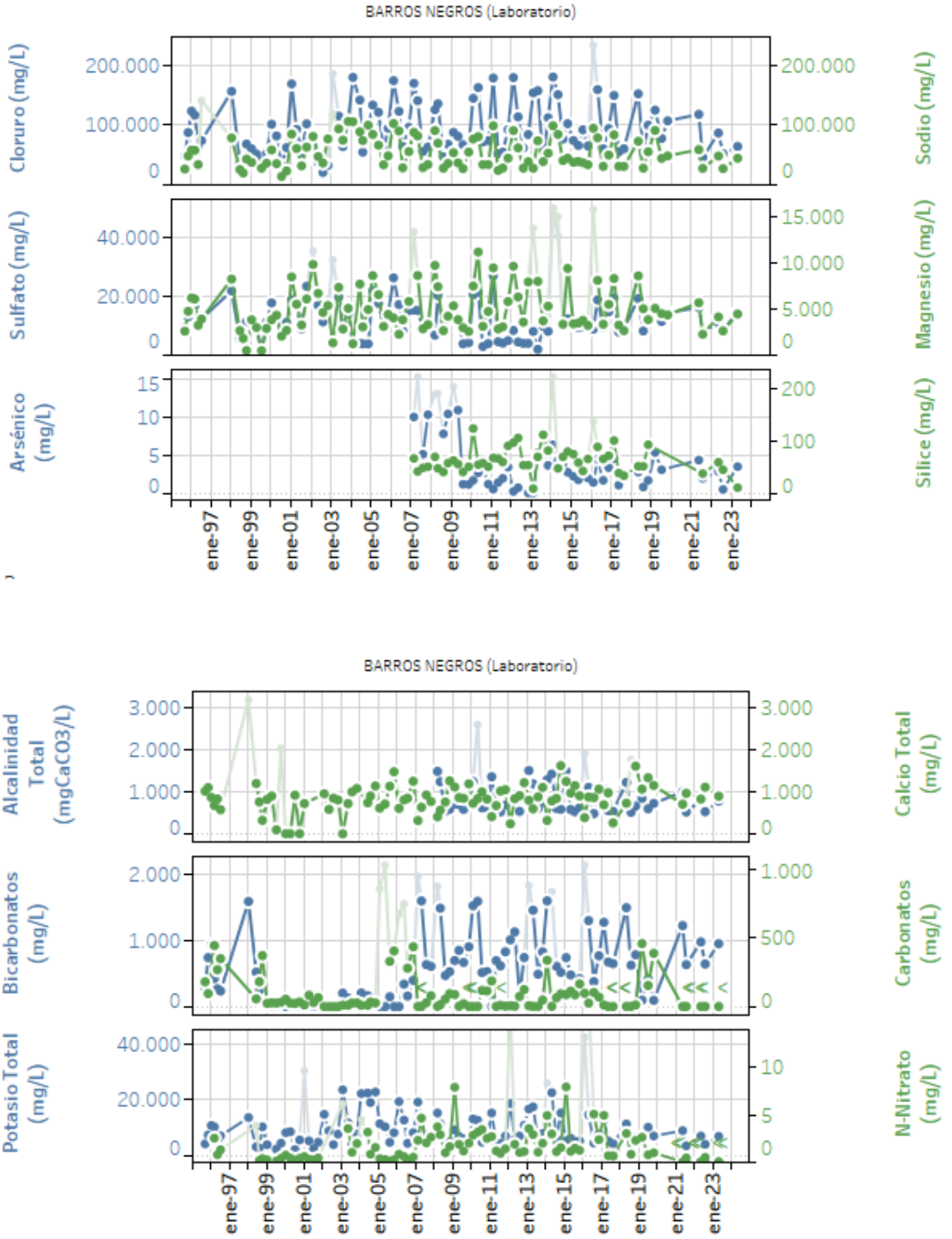
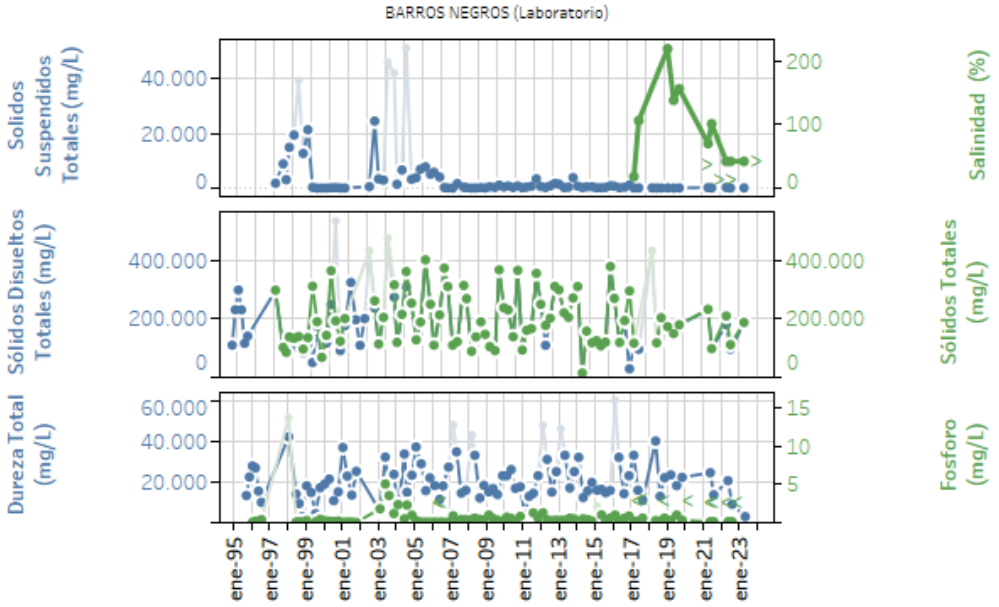
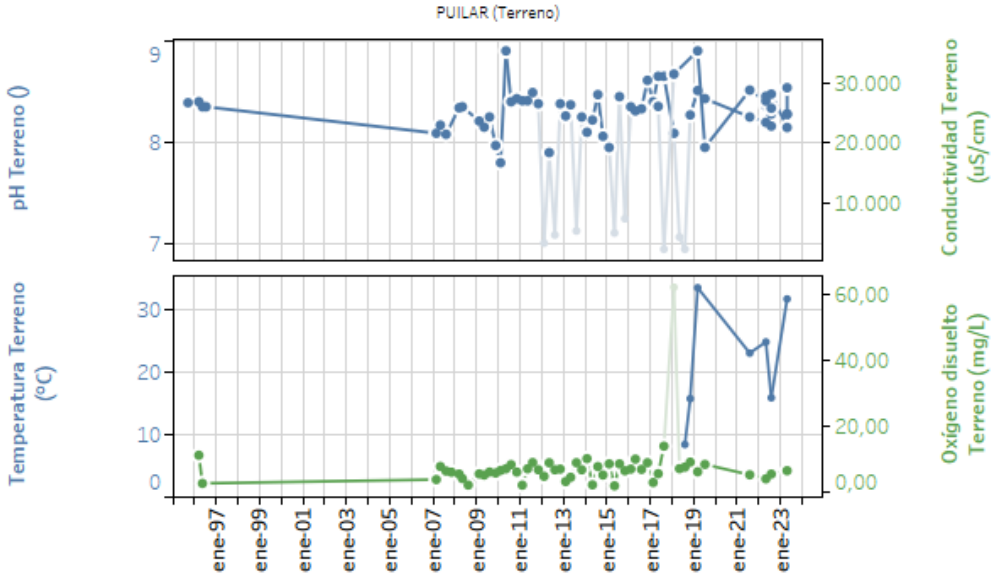


Figura 6-50 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Barros Negros



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 LM y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran con resalte.

Figura 6-51: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Puilar



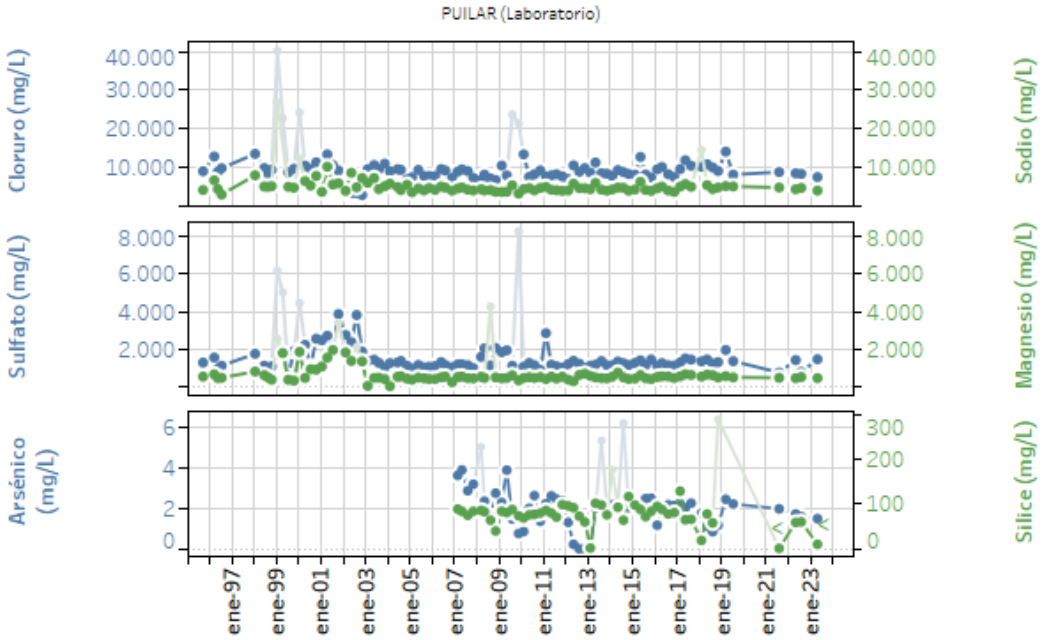
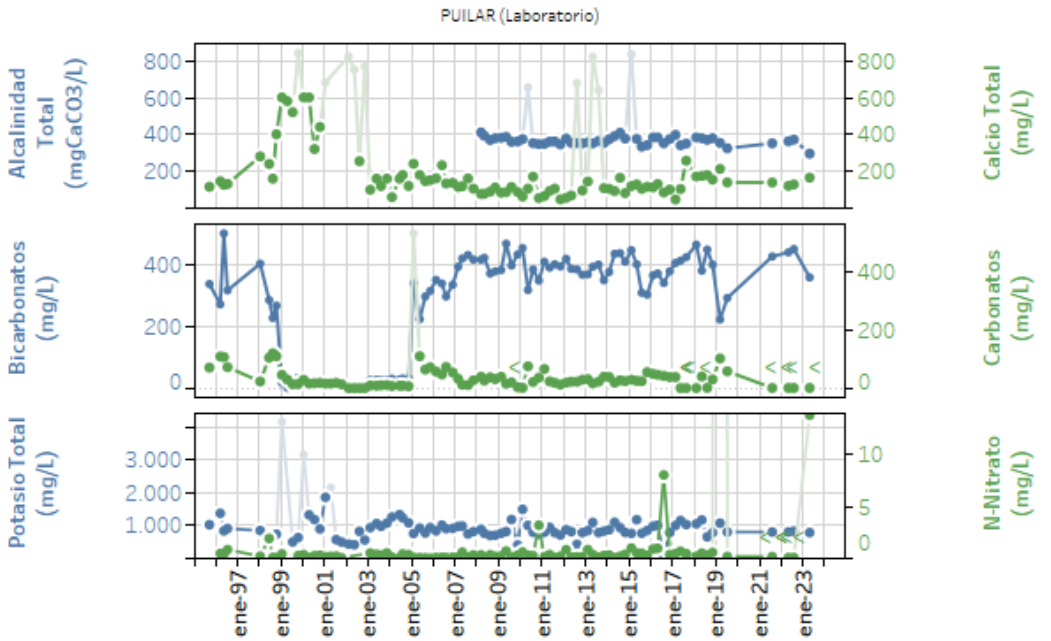
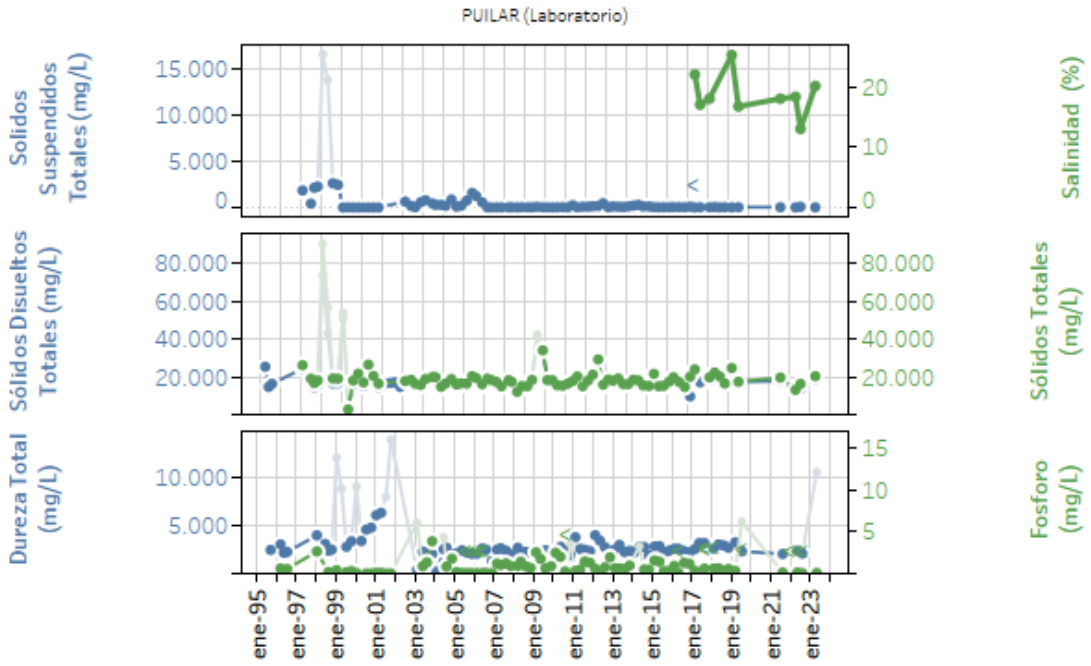


Figura 6-51 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Puilar

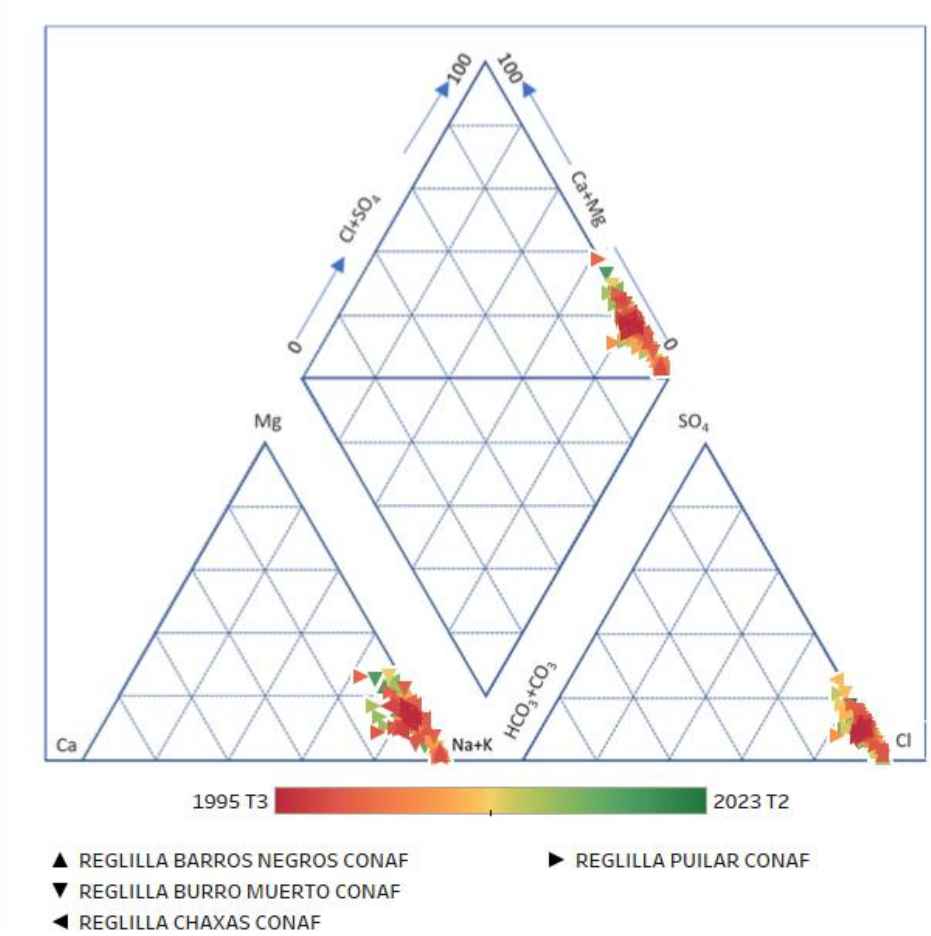




Fuente: Elaboración propia. Por cuestión de escala se ha omitido el valor de nitrógeno nitrato para febrero 2019 (1903mg/L). Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM y con la etiqueta "<" o ">" . En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

En cuanto a las características generales, en la Figura 6-52 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%. Todos los puntos de caracterización de los cuerpos lagunares se clasifican como cloruradas sódicas y no se observa ninguna tendencia en su evolución en los parámetros, mostrándose todos los puntos próximos entre sí y agrupados, para todo el periodo analizado.

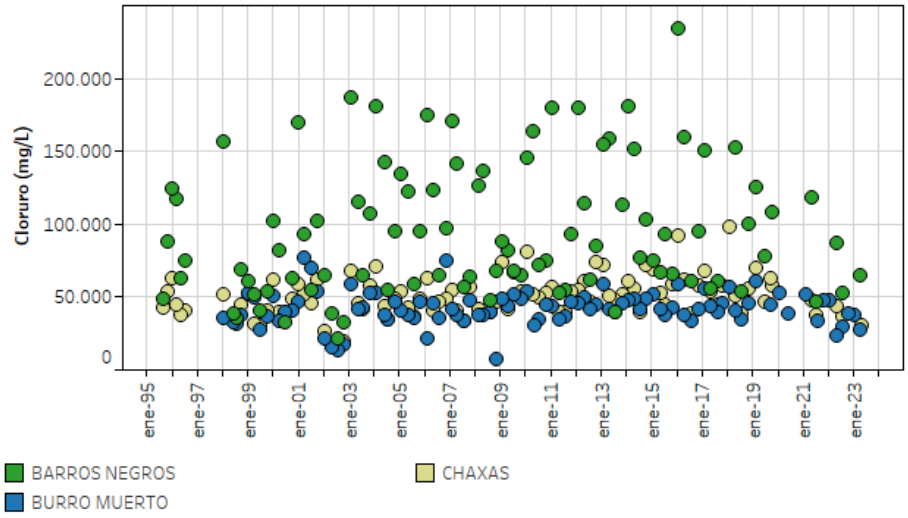
Figura 6-52: Diagrama de Piper para las lagunas del sistema Soncor



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 6-53), debido fundamentalmente a la evaporación, y en menor medida a aportes locales desde el este (sistema borde este) al canal del Burro Muerto. De esta manera, las mayores concentraciones del sistema Soncor, de acuerdo con el funcionamiento del sistema, se registran en la laguna Barros Negros como cuerpo terminal.

Figura 6-53: Concentración de cloruros en canal Burro Muerto, laguna Chaxa y laguna Barros Negros



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.6 Caudal de agua superficial (aforos)

En el sistema Soncor se encuentran dos puntos de medición de caudal de agua superficial; la estación de aforo Puente San Luis, que mide de forma continua a través de una sección de control y en la que también se realizan mediciones mensuales (éstas últimas se toman de forma adicional a lo comprometido por RCA). Esta estación de aforo se encuentra aguas arriba de la entrada a la laguna Chaxa. Por otro lado, se dispone de las mediciones manuales con frecuencia mensual del punto llamado Barros Negros y que se encuentra aguas abajo de la salida de la laguna Chaxa.

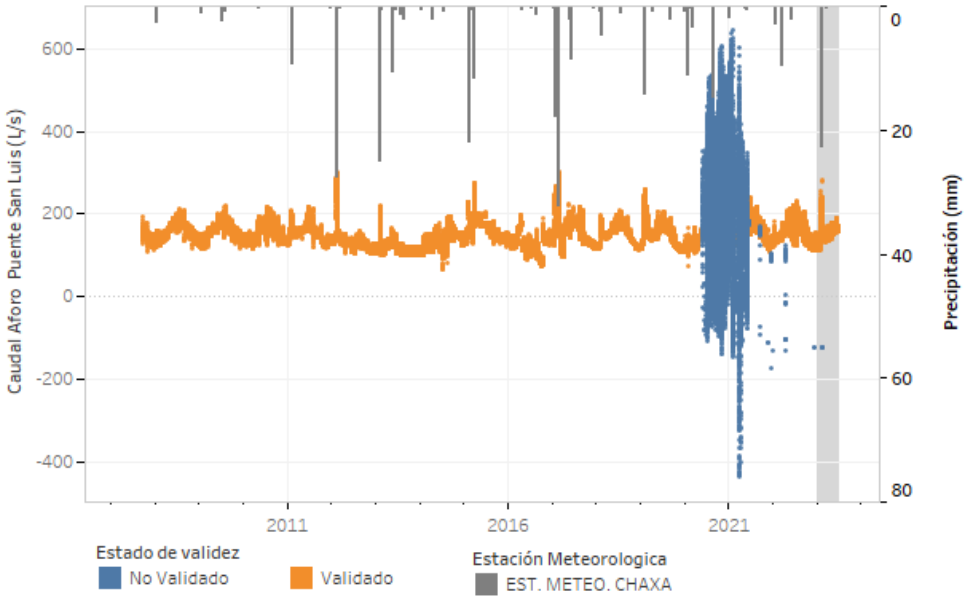
En la Figura 6-54 se muestra el registro histórico del punto de aforo del Puente San Luis, junto con la precipitación medida en la estación de Chaxa, que se encuentra a escasos metros. En la Figura 6-55 se muestra igualmente para el punto Barros Negros.

Como ya se ha descrito en el capítulo de resultados, las medidas continuas para el primer semestre 2023 del Puente San Luis, se validan para su periodo. Su tendencia general es la esperada, como y presenta un leve ascenso en el caudal superficial en respuesta a la estacionalidad y la presencia de precipitaciones ocurridas principalmente durante febrero 2023.

Respecto los periodos anteriores, se observa que, en épocas secas como el período 2008-2012, el caudal de recarga superficial presenta un comportamiento estacional, con mínimos en verano y

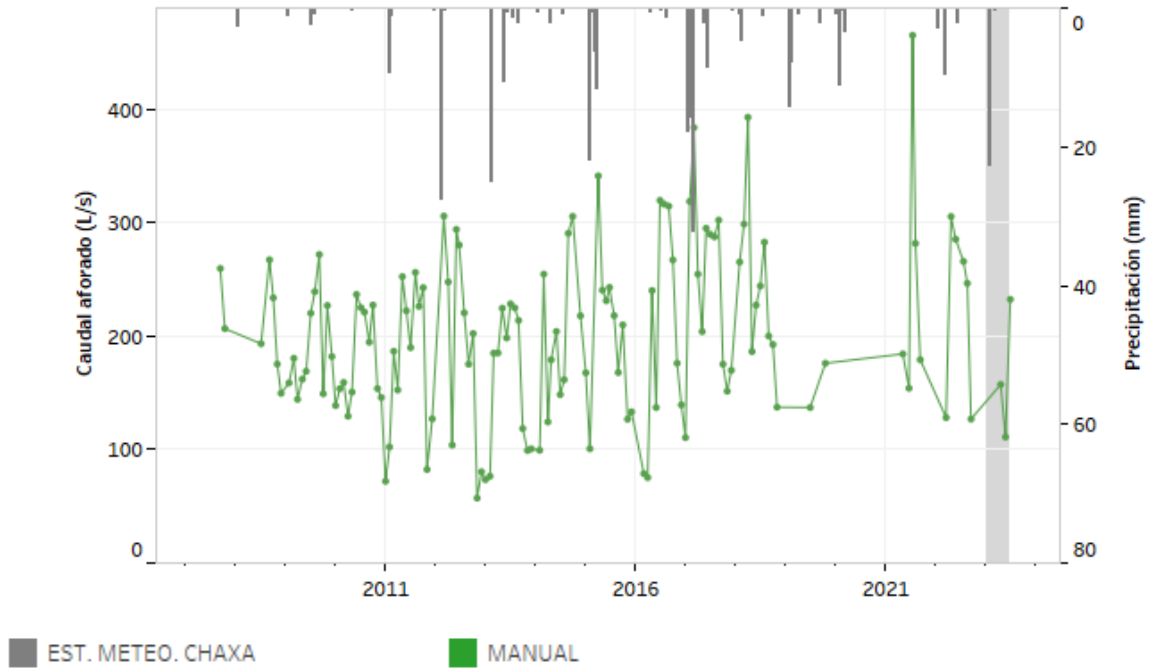
máximos en invierno, respondiendo a la recarga superficial proveniente de las cuencas altoandinas. En cambio, en la época más húmeda comprendida en el periodo entre los años 2012 y 2019, las precipitaciones registradas los años 2011, 2012, 2013, 2015, 2017, 2019 provocaron aumentos bruscos del caudal pasante, debido al escurrimiento subsuperficial 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 registradas durante febrero, registrando caudales máximos de 279,2 (L/s) en aforo puente San Luis.

Figura 6-54: Registro de mediciones en el aforo de Puente San Luís



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-55: Registro de mediciones en el aforo de Barros Negros



Fuente: Elaboración propia

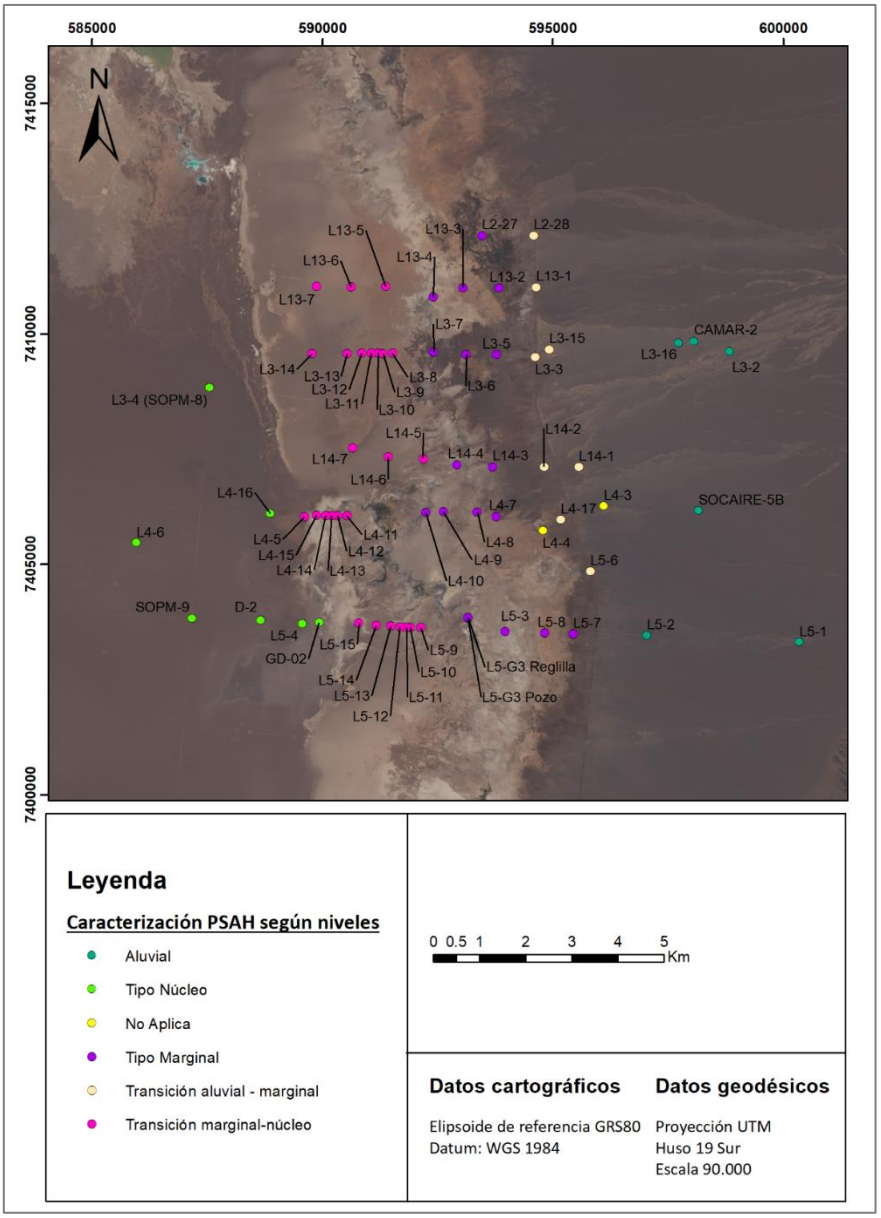
6.1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA – VEGETACIÓN BORDE ESTE

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 6-56). Se incluyen por tanto en este apartado también los siguientes puntos que originalmente forman parte de la definición Vegetación Borde Este según la RCA 226/2006:

- **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 6-56: Infraestructura englobada en el sistema Aguas de Quelana y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia.

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 explotación 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.

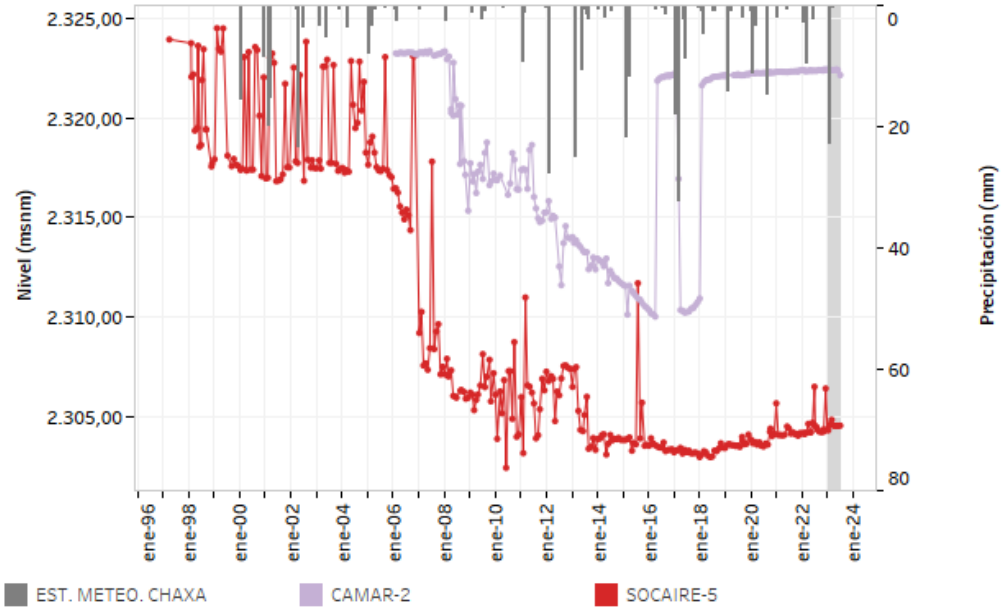
En el análisis realizado en el sistema Soncor se han identificado varios comportamientos con características hidrogeológicas determinadas. Algunos de estos comportamientos se identifican también en el sistema Aguas de Quelana: el comportamiento asociado al acuífero aluvial, el transicional entre el aluvial y el marginal y, el comportamiento 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 y canales de agua superficial que genere un impacto característico sobre el acuífero. Por contra, se trata de una distribución irregular de afloramientos de agua subterránea, producto del levantamiento del agua dulce 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 ese motivo, existe un comportamiento no visto como tal en el sistema Soncor que se trata de 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 6-57 se muestran los niveles de los pozos Camar-2 y Socaire-5, que son los pozos de agua industrial que se encuentran en el sistema Aguas de Quelana. Tienen un caudal autorizado de 60 y 65 L/s respectivamente. Pero el pozo Camar-2 se encuentra detenido (y desmantelado) desde febrero de 2018 y por este motivo, los niveles medidos se encuentran estables sobre la cota 2.322 m s.n.m. con una leve tasa todavía de recuperación (ascenso) de 7,8 cm/año.

El pozo Socaire-5 por su parte, en general ha mantenido un régimen de extracción promedio de 63 L/s durante toda su operación, incluyendo el primer semestre de 2023. No obstante, se observa que desde 2018 el nivel en el pozo mantiene una tasa de ascenso (recuperación) de 26,7 cm/año; esta tendencia ascendente se interpreta a que es debido a la detención del pozo vecino Camar-2 en el mismo año 2018.

Figura 6-57: Niveles en los pozos de agua industrial del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.2.1.2 Pozos en zona aluvial

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 6-58 se muestran los descensos calculados, ya que permiten observar mejor las tendencias de este grupo debido a que los niveles se encuentran a cota muy distintas.

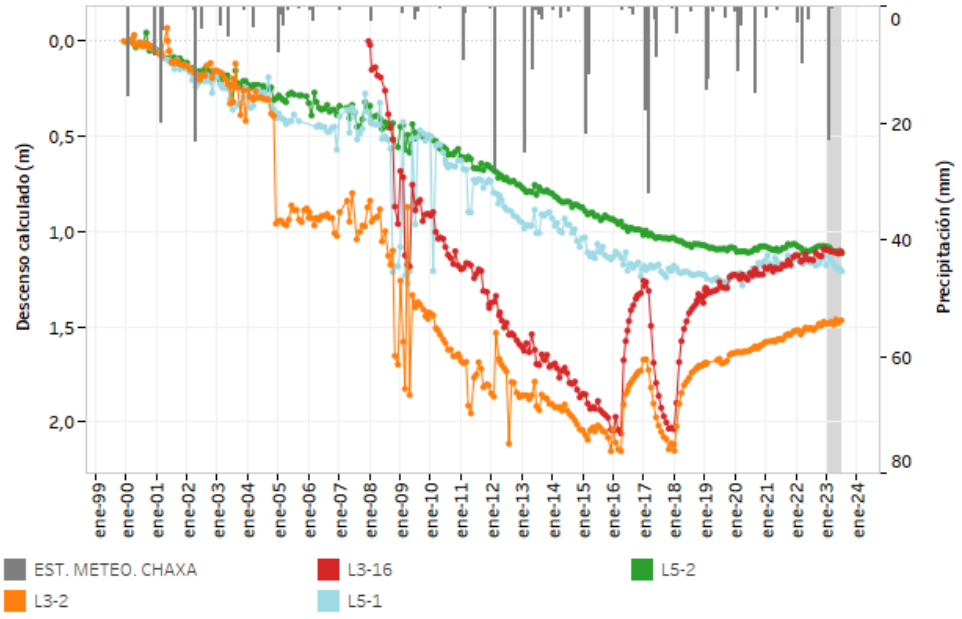
Los puntos no muestran oscilación estacional, sin respuesta a los eventos de lluvia y sí una respuesta en forma de descenso debido a las extracciones de los pozos de agua industrial, así como también producto de un desbalance histórico en la cuenca; es necesario observar las tendencias resultantes de un periodo mucho mayor, puesto 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 que es esperable que, en la cuenca del Salar de Atacama, como ocurre en cuencas similares, se dé la situación de balances no cerrados, es decir, que el acuífero todavía no se encuentre en equilibrio.

Por su lado, los puntos L3-2 y L3-16 mostraban las mayores pendientes de descenso de este grupo (13 y 20,3 cm/año respectivamente), hasta que el pozo Camar-2 se detuvo en 2016 y posteriormente en 2018. A partir de entonces, que supuso el paro definitivo del pozo, los niveles han venido mostrando una tendencia de recuperación (ascenso), que a partir de mediados del mismo año (2018) se muestra estable con una pendiente de 5,6 y 6,4 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 metros y el L3-2 a unos 800 metros.

En el caso de los puntos L5-1 y L5-2, el efecto del paro del Camar-2 también se ha observado, a pesar de que éstos se encuentran al sur del Socaire-5, lo que sería de esperar ya que, tal y como se ha descrito en al apartado anterior, el mismo Socaire-5 también viene mostrando una recuperación (ascenso) del nivel; los puntos L5-1 y L5-2, previa detención del Camar-2, registraban un descenso con una pendiente promedio de 6,8 cm/año y 7,2 cm/año respectivamente. 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, en que se empezó a registrar una tendencia ascendente (de 6,7 cm/año y 0,6 cm/año respectivamente).

Las mediciones realizadas en el primer semestre de 2023 confirman las tendencias descritas anteriormente; en todos los casos se mantienen los niveles reproduciendo una tendencia de ascenso estable.

Figura 6-58: 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. En la Figura 6-59 se muestran los descensos calculados desde 2008 a partir de los niveles medidos ya que, debido a las diferencias de cotas de los niveles en este grupo, no se podría realizar el análisis de forma adecuada.

Empezando por el L2-28, que es el que se encuentra más al norte de todos ellos, venía registrando una marcada oscilación con una tendencia descendente estable de 5 cm/año. La precipitación de febrero

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 y 2022 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 (primer 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, por lo que será necesario seguir observando este punto para confirmar el cambio en la tendencia.

El punto de este grupo que se encuentra inmediatamente al sur del L2-28 es el L13-1; este punto muestra un comportamiento similar al mismo 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 de los niveles) en donde los últimos máximos estacionales (2021 y 2022) se encentran en cotas similares, a la vez que el mínimo estacional del presente semestre reportado (primer semestre 2023) se ha registrado por encima del año precedente.

Por su lado, el 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 estado evidenciando un comportamiento incluso de ascenso, adicional a la respuesta de la lluvia de 2019, cuya tasa, incluyendo el periodo actualmente reportado (primer semestre 2023), es de casi 2 cm/año.

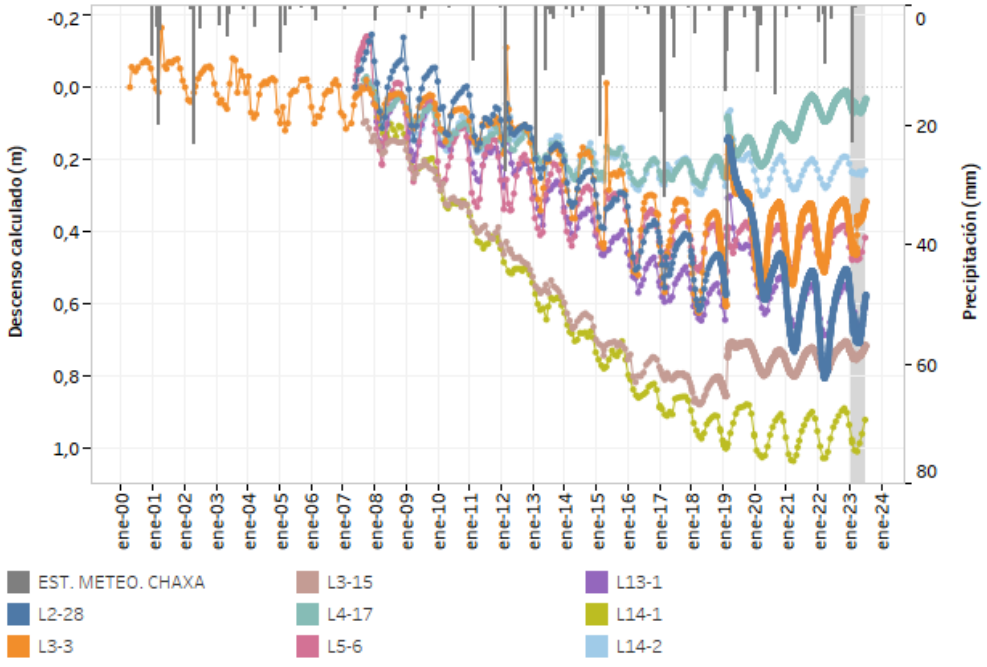
El punto L3-3 se encuentra sobre la misma transecta que el L3-15, a unos 350 m aguas abajo, y puede comprobarse cómo el patrón se repite de nuevo. Hacia el sur se encuentran los puntos L14-1 y L14-2, en donde también se repite el mismo comportamiento descrito anteriormente, que por su ubicación se asocia claramente a la detención del Camar-2. Todos ellos mantienen la tendencia de ascenso todavía durante el presente semestre reportado (primer semestre 2023).

Llama la atención el punto que se encuentran a continuación hacia al sur, ya sobre la transecta del pozo Socaire-5, que es el L4-17. En este caso, se observa cómo la tasa previa a la detención del Camar-

2 era de 2 cm/año y cómo posteriormente el punto empieza a mostrar un claro ascenso cuya tasa, incluyendo el primer semestre reportado, es de 4 cm/año. Lo que lleva a que la pendiente de recuperación sea mayor que la de anterior descenso, siendo además que este punto se encuentra más cercano al Socaire-5 y este pozo no ha modificado su tasa de extracción habitual. Esta situación lleva a inducir la alta heterogeneidad de los parámetros hidráulicos del acuífero en este entorno distal del acuífero aluvial, que explicaría los 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 9 cm).

Figura 6-59: 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.

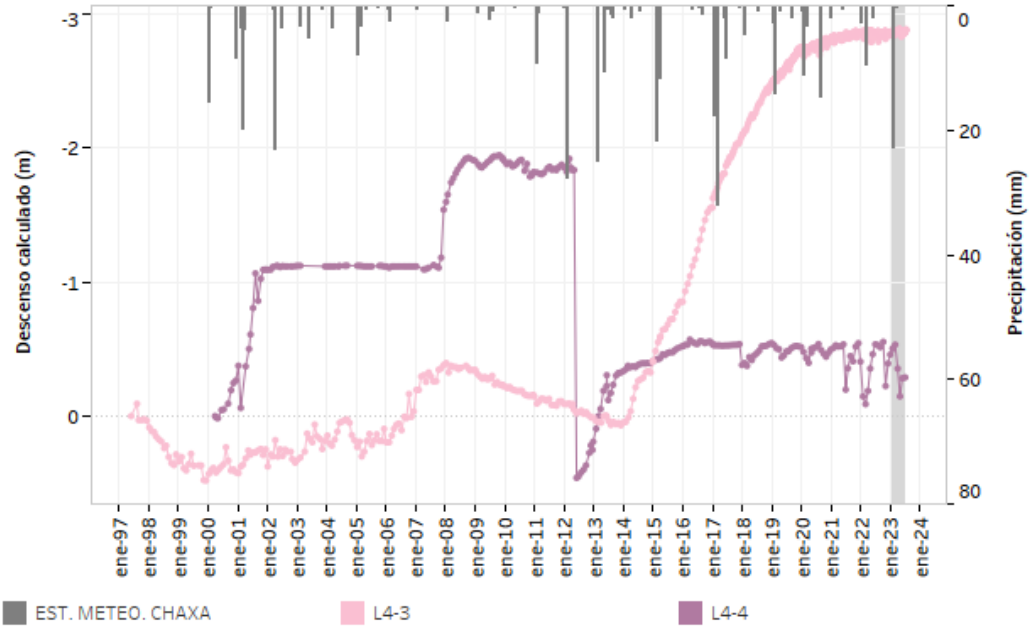
6.1.2.1.3.2 Pozos singulares: L4-3 y L4-4

En el entorno de los puntos descritos anteriormente, se encuentran el L4-3 y el L4-4 que muestran un comportamiento singular si se compara con el resto de los pozos vecinos. En la Figura 6-60 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 L4-4 se observa como el nivel ha empezado a mostrar un comportamiento oscilatorio estacional de mayor amplitud que el que se intuía en entre 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 mantengan 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 de descenso a partir de 2014 y empezó a mostrar un ascenso regular, aunque la pendiente se haya ido suavizando desde entonces, con una pendiente de 8,5 cm/año calculada desde enero de 2019 y que se mantiene también durante el primer semestre 2023.

Figura 6-60: Niveles en los puntos L4-3 y L4-4, del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.2.1.3.3 Pozos característicos de la zona marginal

El siguiente grupo de pozos que se analiza en esta sección son los que se encuentran alrededor de la interfaz salina y que por tanto muestran el comportamiento esperado en la zona marginal; se caracterizan por mostrar una tasa de descenso casi nula y una fuerte estacionalidad. Se trata de un gran número de puntos situados entre el límite del acuífero aluvial y la zona de la surgencia de los cuerpos de agua, objeto de protección del sistema Aguas de Quelana, por lo que se muestran directamente los descensos calculados, ya que permite así 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 6-61.
- Serie L3 (L3-5, L3-6 y L3-7) en la Figura 6-62.
- Serie L14 (L14-3 y L14-4) en la Figura 6-63.
- Serie L4 (L4-7, L4-8, L4-9 y L4-10) en la Figura 6-64.
- Serie L5 (L5-3, L5-7, L5-8 y L5-G3 Reglilla y Pozo) en la Figura 6-65 y en la Figura 6-66.

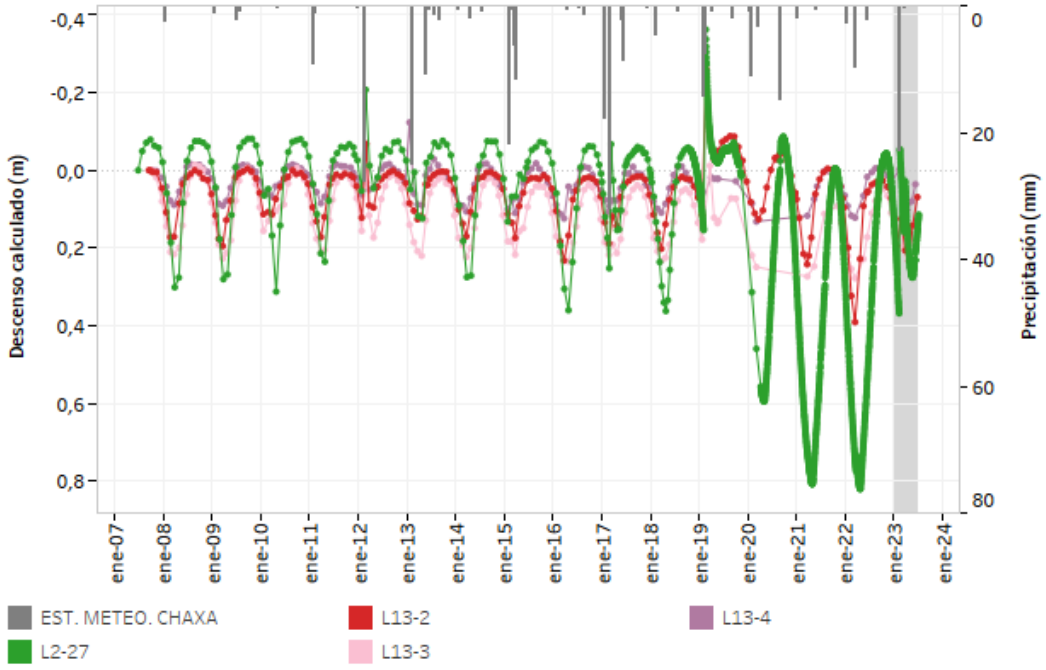
Puede notarse que, en esta agrupación de puntos, con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana, se encuentran las reglillas pertenecientes al monitoreo de agua superficial de este sector: L13-4, L14-4, L3-7, L4-10 y L5-G3 Reglilla y Pozo. Como puede verse en las figuras, no muestran un comportamiento diferenciado con respecto el 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 (acuífero aluvial de agua dulce), que al encontrarse con el acuífero del núcleo que es más denso (presencia de salmuera) y se 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 cuerpos de agua dispersos sobre este sector 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 6-61 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 PAT según el umbral definido en la RCA. No obstante, durante el primer semestre 2023 se ha registrado un mínimo estacional situado en una cota similar a la de años anteriores (54 cm por encima del mínimo del año 2022). Pero es necesario mencionar que también se observa cómo el punto ha respondido a la lluvia registrado este mismo semestre, lo que probablemente haya ayudado a mantener los niveles

durante este semestre; 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 diversos informes de investigación (Flow-2020, Hidroestudios-2021 y Flow-2022), en donde se concluye que la causa principal de las activaciones de los pozos del Borde Este (también implica al L1-17) son las extracciones de agua en el acuífero aluvial por parte de los pozos de agua industrial.

Figura 6-61: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L2 y L13)



Fuente: Elaboración propia.

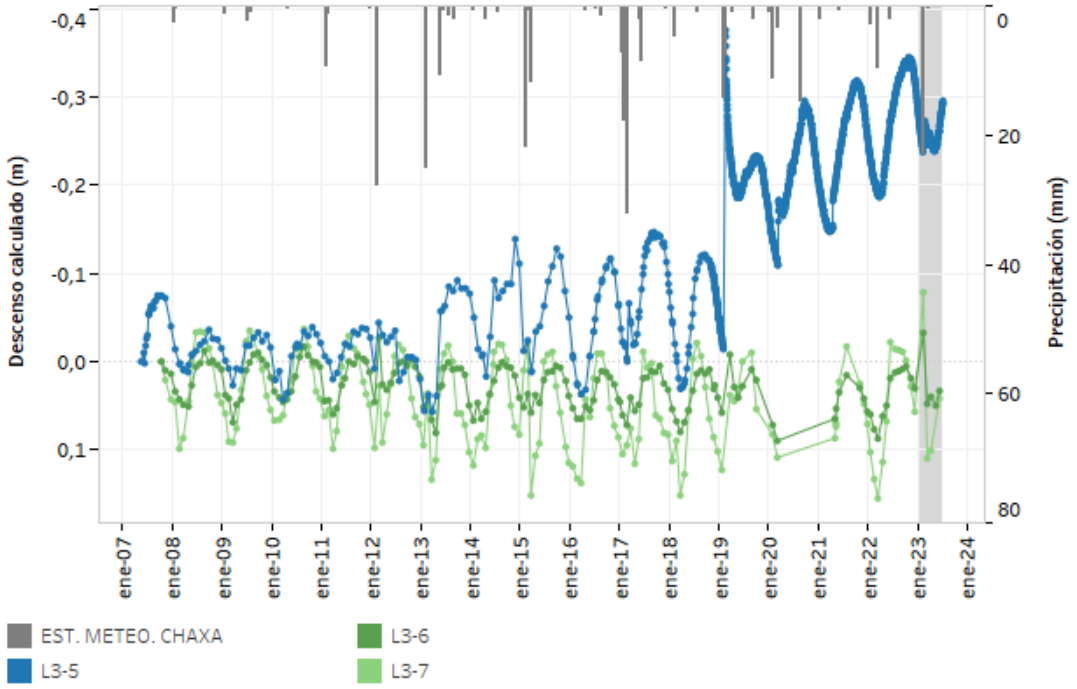
Respecto del siguiente subgrupo (serie L3 en la Figura 6-62), se inicia el análisis con el pozo L3-5, que se sitúa sobre la transecta inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto registraba una oscilación relativamente estable, en donde para el periodo entre 2007 y 2012 la amplitud era de 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 periodo, en contraposición al anterior periodo. 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 primer semestre 2023, es de 2,7 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 además 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 este punto L3-5 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.

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 han mantenido oscilando alrededor de las mismas cotas durante todo el periodo registrado, sin mostrar efecto proveniente de la extracción de agua (tampoco de la disminución de las extracciones en el acuífero).

Figura 6-62: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (series L3)

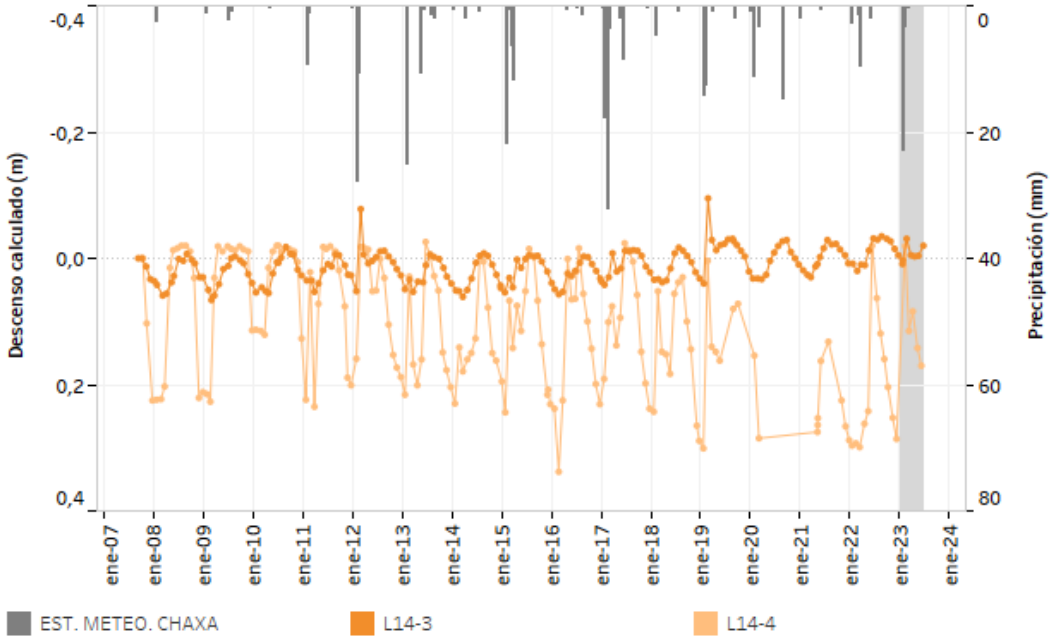


Fuente: Elaboración propia.

Sobre la transecta L14 (Figura 6-63) se encuentra el L14-4, que es una de las reglillas del sistema Aguas de Quelana. Este punto muestra una mayor amplitud de oscilación, alrededor de 24 cm, respecto de su vecino, L14-3. Esta diferencia se atribuye principalmente al mayor efecto de la evaporación, ya que las aguas en este punto se encuentran en la superficie y, por tanto, están más expuestas a las condiciones climáticas. Es interesante notar que, para el primer semestre de 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 en este caso de 2016, ya que, mientras anteriormente el nivel se encontraba estable (sin ascenso ni descenso), a partir de ese año se reproduce un ascenso continuado (manteniendo la misma amplitud de la oscilación estacional), cuya tasa es de 0,4 cm/año.

Figura 6-63: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L14)

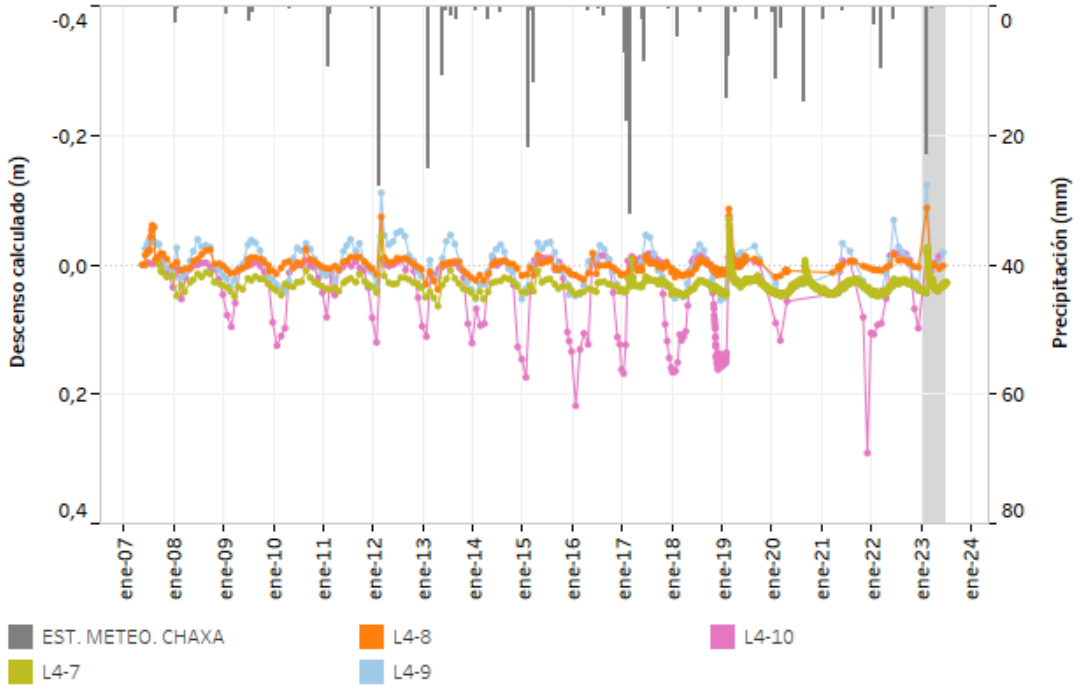


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6-64 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 mantiene estables alrededor de la misma cota histórica. Este comportamiento se mantiene también durante el primer semestre 2023.

Figura 6-64: Descenso calculado en los puntos con comportamiento asociado a la zona marginal del sistema Aguas de Quelana (L4)



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6-65 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 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 (ni ascenso ni descenso), la que se mantiene también durante el primer semestre 2023.

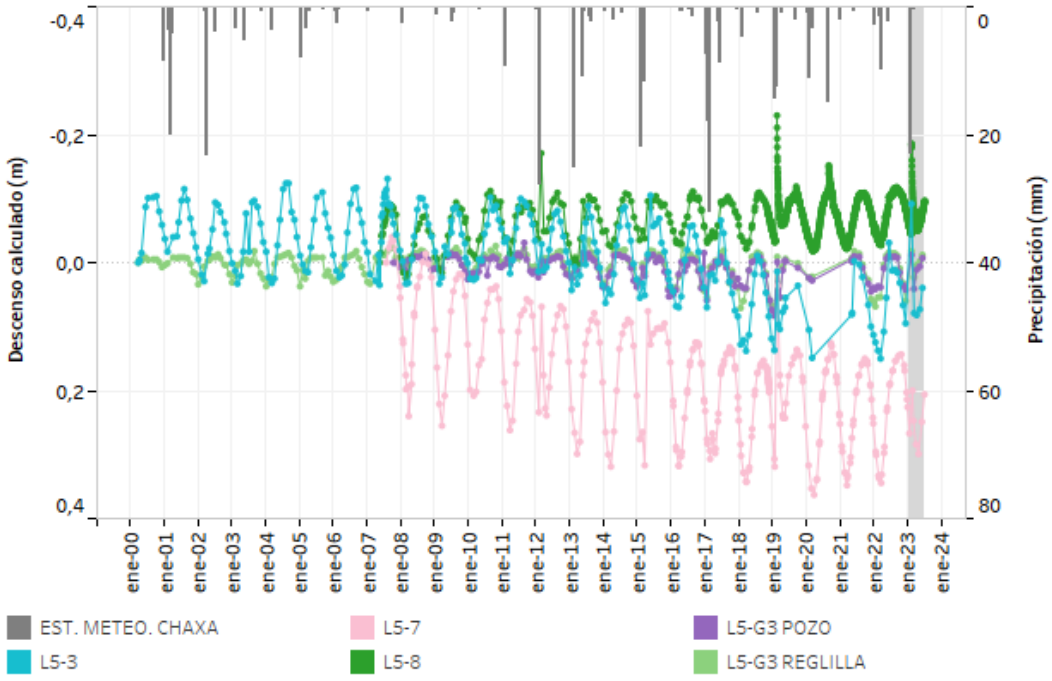
Dirección aguas abajo, el siguiente punto de la transecta es el L5-8 y viene mostrando una menor amplitud y con una leve tendencia ascendente desde el año 2009 (pendiente promedio de 0,05

cm/año). Del registro de datos obtenidos del primer semestre 2023, se confirma que el punto mantiene su tendencia de ascenso.

A continuación, también en dirección aguas abajo, se encuentra el L5-3 que se muestra con una tendencia descendente desde el año 2010 de 1,2 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 el todo el periodo registrado. No obstante, los mínimos han ido variando; durante el periodo 2001 y hasta 2007 se mantuvieron estables (cotas similares cada año). Para el periodo 2008 y hasta 2019, los mínimos fueron alcanzando cada vez cotas menores, llevando que cada vez la amplitud de la oscilación fuera mayor. A partir de entonces, considerando que no se tienen datos entre febrero 2020 y hasta mayo 2021, se observa como estos mínimos estacionales podrían estar recuperando ya que las cotas han ido incrementando cada año. Sin embargo, es importante destacar que esta tendencia aún necesita ser confirmada, ya que los niveles del presente primer semestre 2023 también están mostrando una respuesta frente a las lluvias registradas durante estos meses.

Figura 6-65: 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:

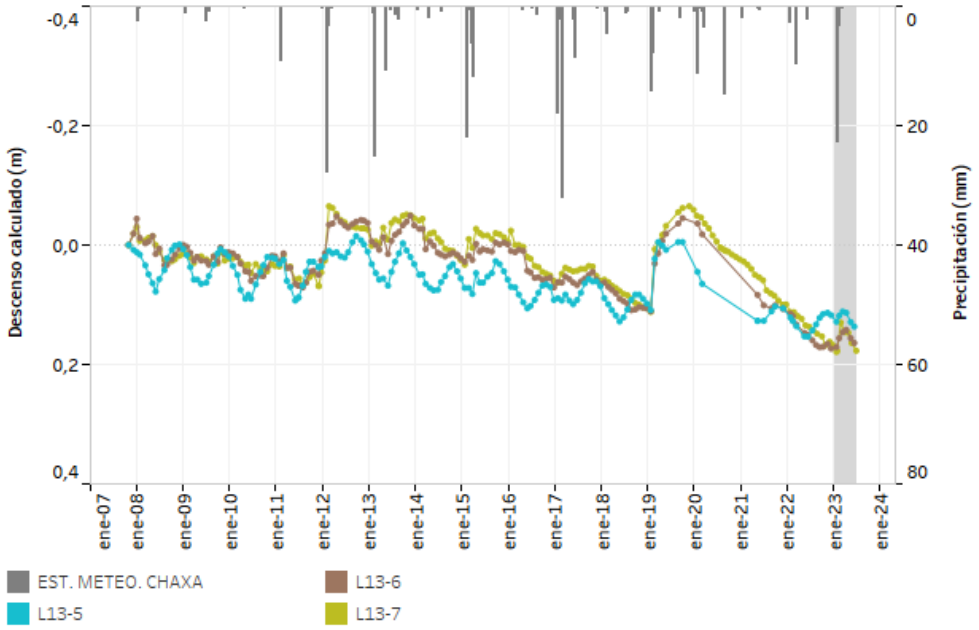
- Serie L13 (L13-5, L13-6, L13-7) en la Figura 6-66.
- Serie L3 (L3-8, L3-9, L3-10, L3-11, L3-12, L3-13, L3-14) en la Figura 6-67.
- Serie L14 (L14-5, L14-6, L14-7) en la Figura 6-68.
- Serie L4 (L4-5, L4-11, L4-12, L4-13, L4-14, L4-15) en la Figura 6-69.
- Serie L5 (L5-9, L5-10, L5-11, L5-12, L5-13, L5-14, L5-15) en la Figura 6-70.

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 fuera 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).

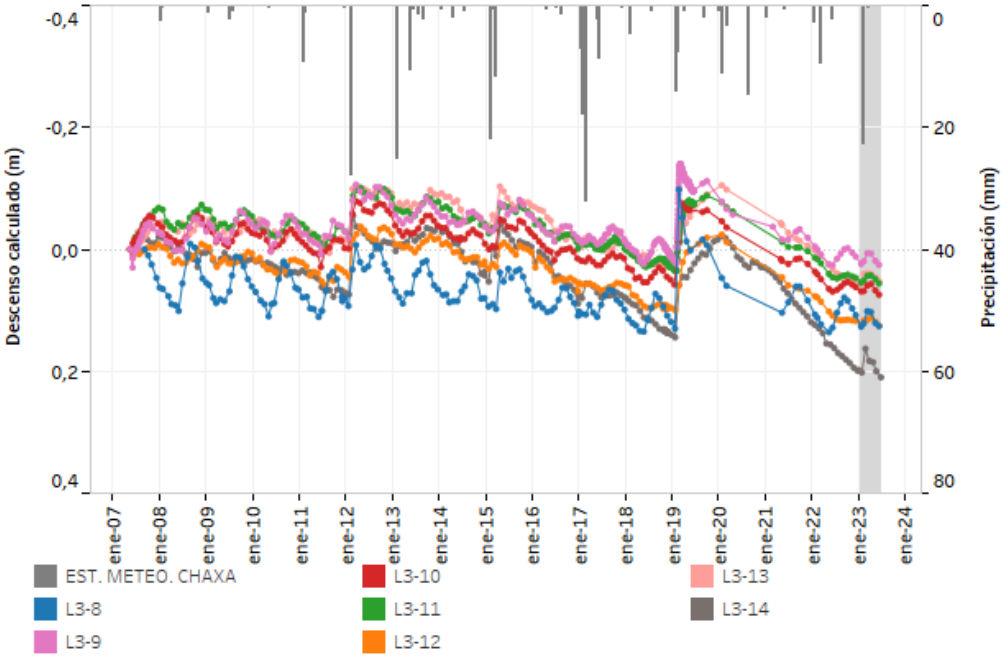
Para este primer semestre de 2023, se observa que en general todos los puntos han respondido a las lluvias registradas durante los mismos meses. La magnitud de la respuesta es complicada de determinar a partir de las mediciones mensuales, ya que los efectos pueden darse en intervalos de tiempos inferiores. 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. Ver Figura 6-68) y el L5-9 (40,5 cm entre la medición de enero y febrero, de 2023. Ver Figura 6-70), 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 6-66: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L13)



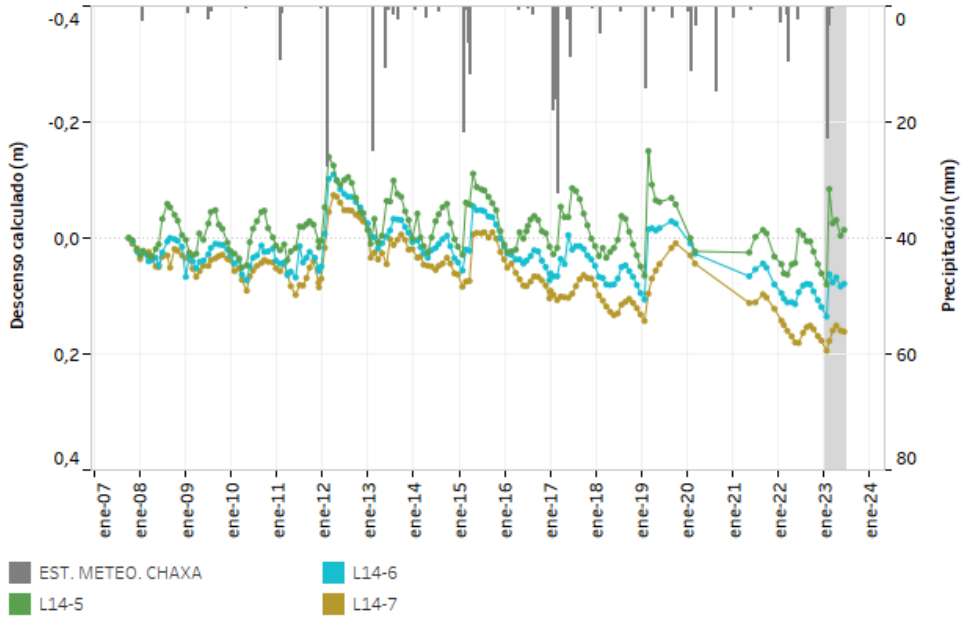
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-67: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L3)



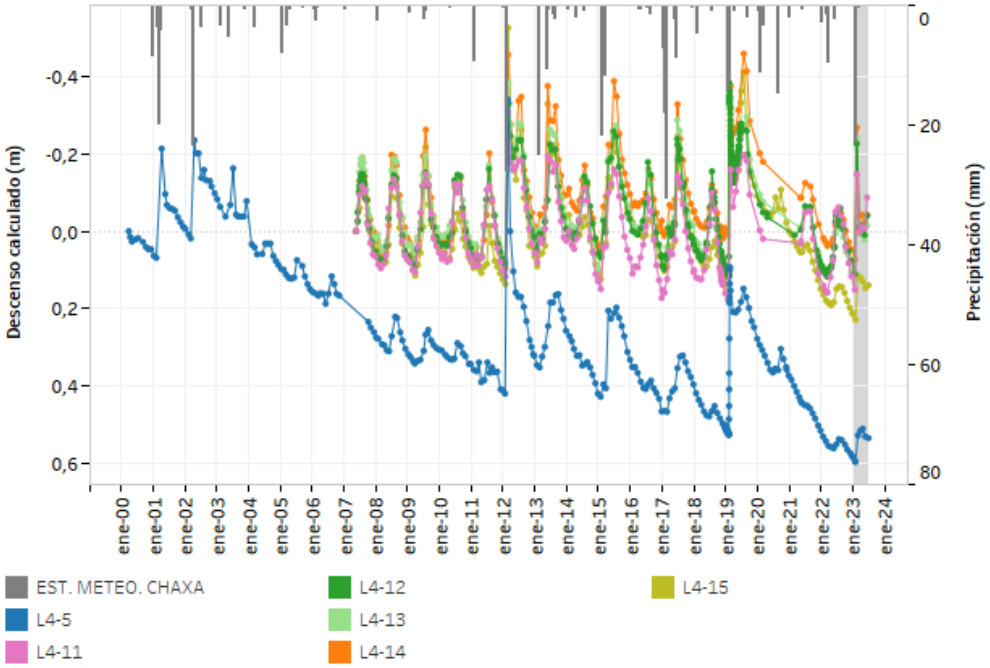
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-68: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L14)



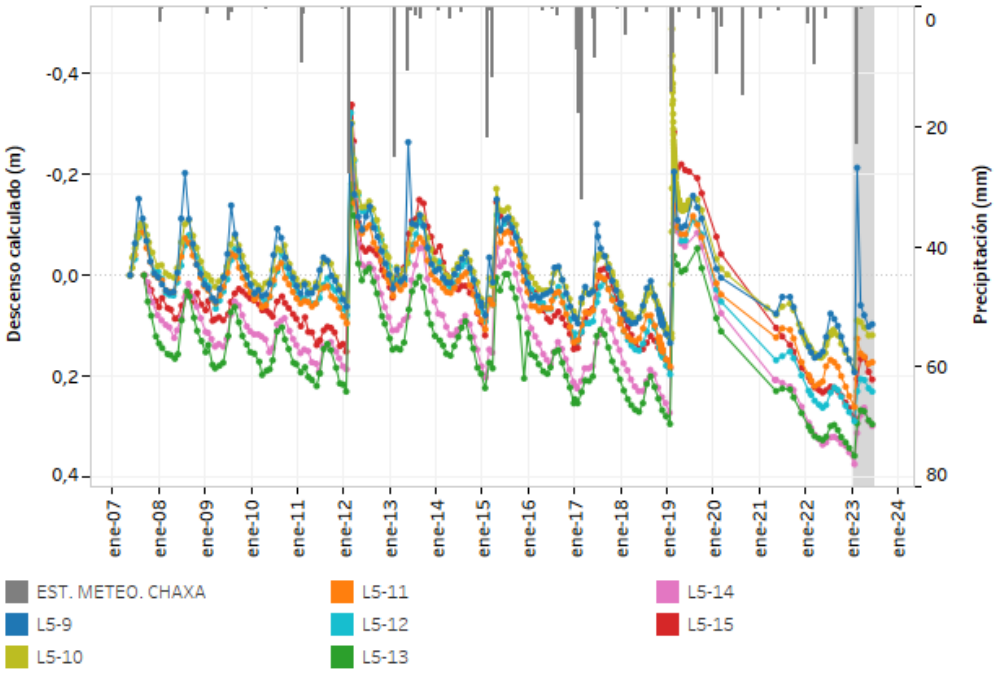
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-69: Descenso calculado en los puntos con comportamiento transicional entre zona marginal y núcleo del sistema Aguas de Quelana (serie L4)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-70: 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 primer 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.

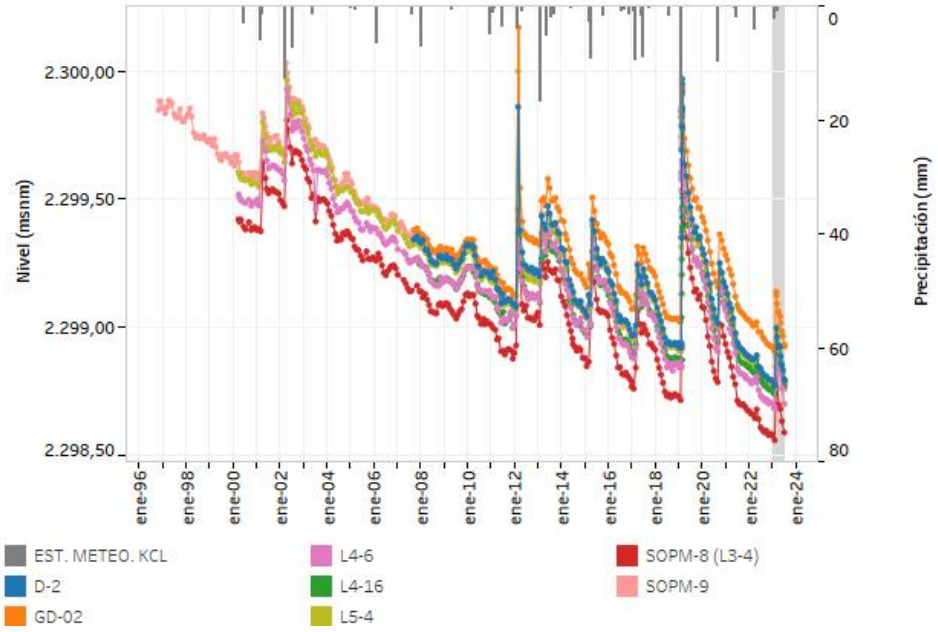
6.1.2.1.4 Pozos en el sector del núcleo

Cerrando 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, están mostrando un comportamiento asociado a este. 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 6-71.

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 4,5 y 5,2 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 bajos gradiente hidráulicos.

De las medidas tomadas en el primer semestre de 2023, se observa que todos los puntos muestran la tendencia descendiente basal característica del núcleo. Las pendientes obtenidas para el presente periodo reportado, siendo que no se registra ningún otro efecto derivado de la lluvia, son de entre 8 y 12 cm/año. Se observa que adicionalmente, todos han reproducido una respuesta en forma de ascenso a las precipitaciones registradas también estos meses, lo cual es esperable en el comportamiento característico de este grupo.

Figura 6-71: Niveles medidos en los pozos que muestran comportamiento asociado al núcleo en el sistema Aguas de Quelana



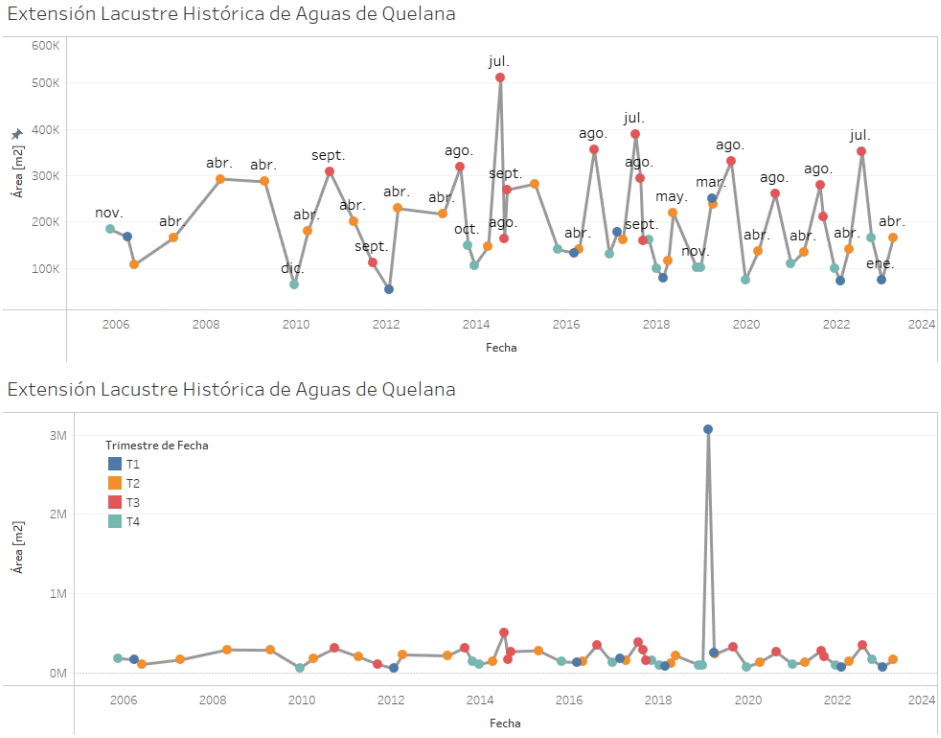
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.2.2 Superficie de los sistemas lacustres

El sistema lacustre de Aguas de Quelana comprende cuerpos de agua heterogéneos, dinámicos y poco profundos. Se encuentra emplazado sobre la zona de transición, lugar donde existe un 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 en consecuencia ocasiona una elevada variabilidad de extensión lacustre a escala estacional.

En informe PSAH N°32 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. Para el presente informe, se incluyen los valores de área en Aguas de Quelana para enero y abril del año 2023. La Figura 6-72 muestra los resultados de esta serie de tiempo actualizada al presente informe PSAH.

Figura 6-72: Serie de tiempo de extensión lagunar en sistema lacustre de Aguas de Quelana empleando imágenes de alta resolución espacial.

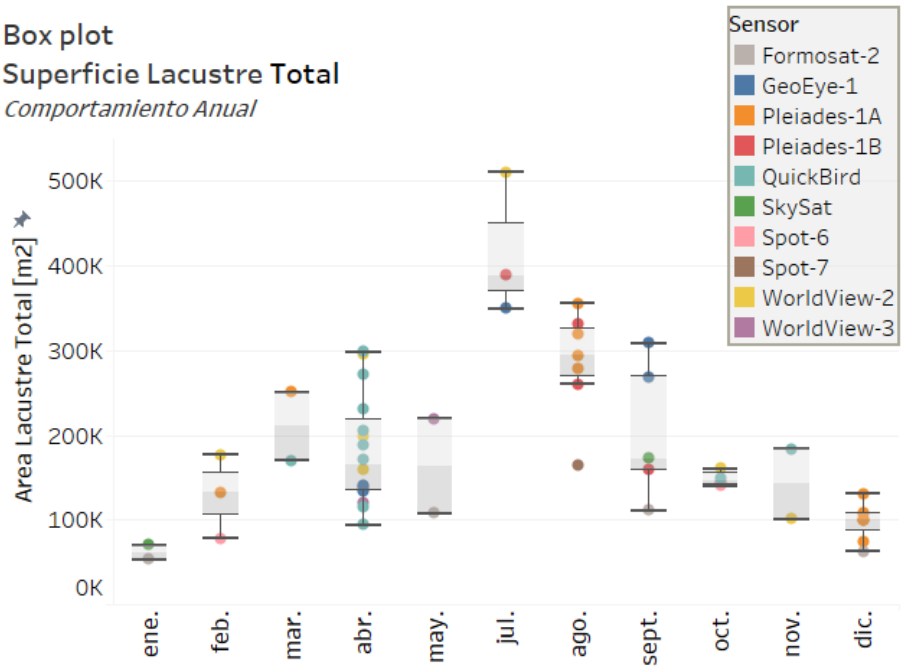


Fuente: elaboración propia

El gráfico superior de la Figura 6-72 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. Sobre cada uno de los puntos se abrevian las iniciales de los meses de captura satelital, donde se observa que los máximos de extensión lacustre en general pertenecen al trimestre 3 (julio, agosto y septiembre), mientras que los mínimos ocurren a fines de T4 y principios de T1 (noviembre, diciembre y enero). Por otro lado, la serie de tiempo inferior de la Figura 6-72 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 (por ejemplo, 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 32).

Por otro lado, la Figura 6-73 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 trimestre 4 y principios del trimestre 1, 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 6-73: Comportamiento anual típico de extensión lagunar entre el 2006 y 2022 empleando imágenes satelitales de alta resolución espacial.

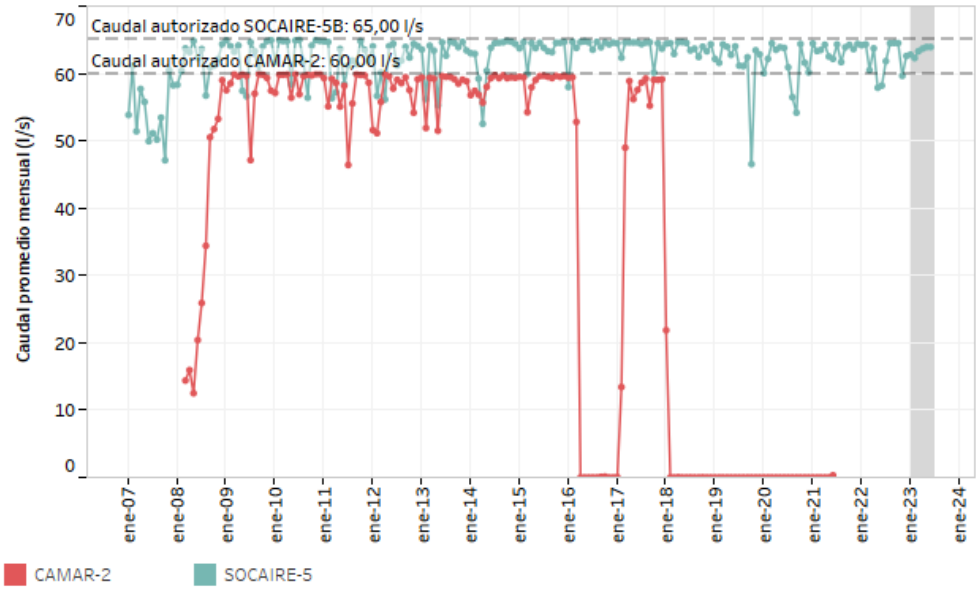


Fuente: Elaboración propia

6.1.2.3 Caudal bombeado

En la Figura 6-74 se muestran 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 y estuvo detenido entre abril de 2016 y enero de 2017, posteriormente, retomó su 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 periodo de extracción, Camar-2 no sobrepasó los derechos de aprovechamiento autorizado; del mismo modo Socaire-5 al periodo actual reportado, tampoco ha sobrepasado sus derechos de aprovechamiento otorgados y autorizados. Así, durante el primer semestre de 2023, los caudales medios mensuales de Socaire-5 han fluctuado entre los 59,64 y 64,53 L/s, con un promedio semestral de 62,92 L/s, manteniéndose así, por debajo de los 65 L/s otorgados para el Sistema de Aguas de Quelana.

Figura 6-74: 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 primer 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 Medición 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 4.5.8.3).

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, L4-10, L4-12) hasta el núcleo (L4-6).

Los parámetros corresponden a: conductividad, conductividad 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 (Figura 6-75, Figura 6-76, Figura 6-77, Figura 6-78, Figura 6-79, Figura 6-80, Figura 6-81, Figura 6-82 y Figura 6-83, respectivamente)[42, 43].

En el primer semestre de 2023, los puntos monitoreados presentan resultados para todos los parámetros dentro del registro histórico.

Los menores valores de conductividad terreno se encuentran en el punto más al sur, L5-3, con valores promedio menores a 5.000 µS/cm. Un pH terreno promedio oscilante entre 7,3 y 8,5, con un leve aumento desde 2019 a la fecha, aún dentro del rango histórico registrado para este parámetro. Los otros parámetros en el primer semestre de 2023 para este punto (densidad, densidad de terreno, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales), se muestran estables respecto al promedio histórico observado.

[42] 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.

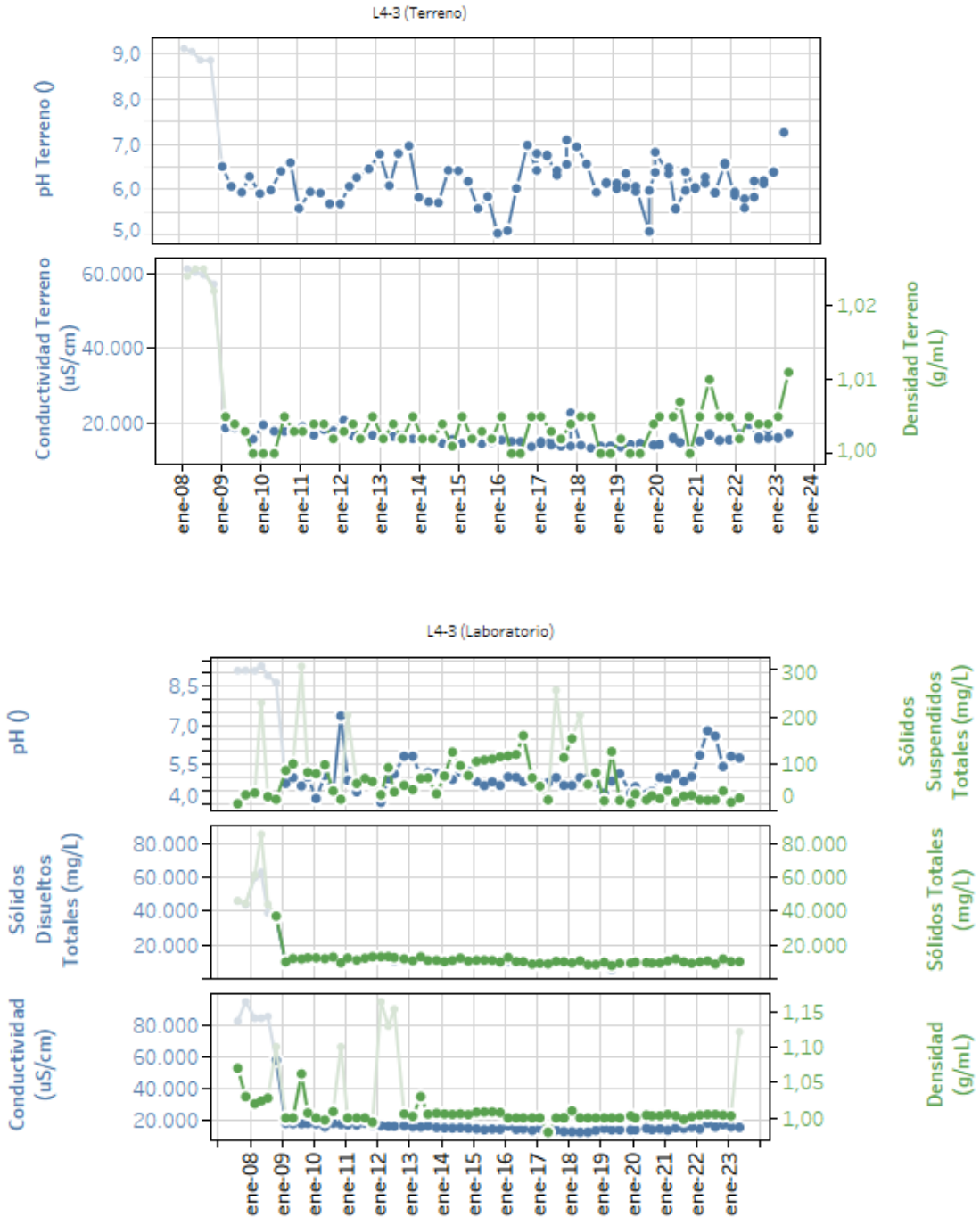
[43] En el informe N° 26 del PSAH se detectaron errores en las mediciones de SDT y ST de las muestras de aguas subterráneas con alta CE, reportadas por el laboratorio ALS Environmental hasta diciembre de 2015. Al respecto se realizó un estudio encargado a SRK y presentado en el Anexo 10.3 del citado 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).

El resto de los puntos se alinean según un transecto de este a oeste en la cual los valores de conductividad aumentan a medida que se avanza hacia el núcleo. Los valores en el aluvial (L4-3) tienen valores promedio menores a 20.000 µS/cm, aumentando hacia la zona marginal (L4-8 y L4-9) con registros promedio en torno a 100.000 µS/cm y mayores a medida que se avanza al oeste, con valor de 150.000 µS/cm promedio en el punto L4-12, hasta valores cercanos a 225.000 µS/cm promedio histórico (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 (Tabla 4-17). El pH terreno para estos puntos presenta valores entre 7 y 8,5.

El punto L4-6, ubicado en el núcleo, muestra en las concentraciones de sus parámetros alta conductividad (> 220.000 µS/cm), y contenido de sólidos disueltos totales y sólidos totales (>250.000 µS/cm) y densidad promedio del orden de 1,2 g/mL, correspondiente a un agua tipo salmuera (Tabla 4-17).

La Reglilla L4-10 ubicada en la zona marginal, presenta como principal característica una marcada estacionalidad, como consecuencia de la evaporación, oscilando su conductividad entre valores en torno a 50.000 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 6-75: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-3

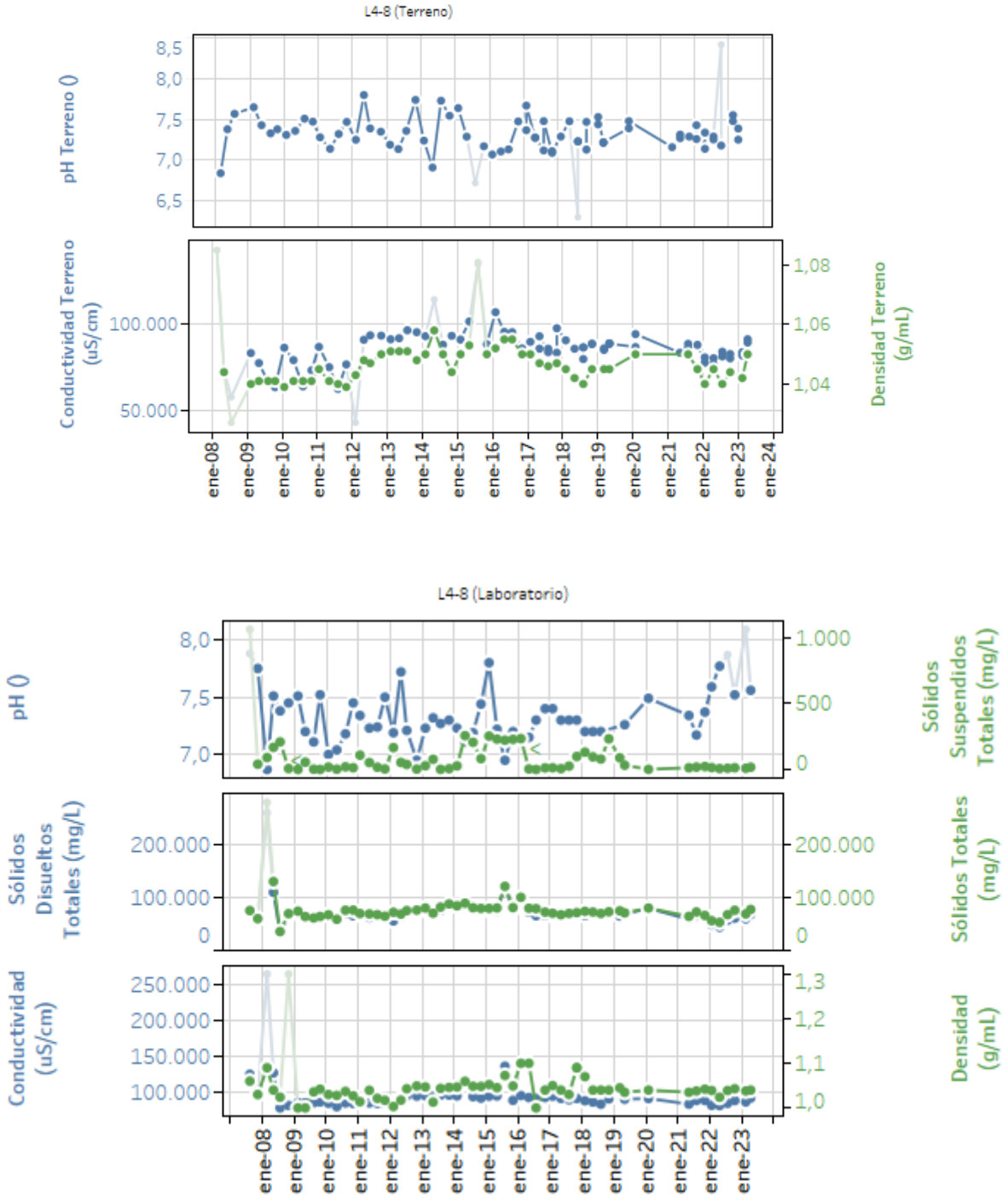


Fuente: Elaboración propia En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-76: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-6

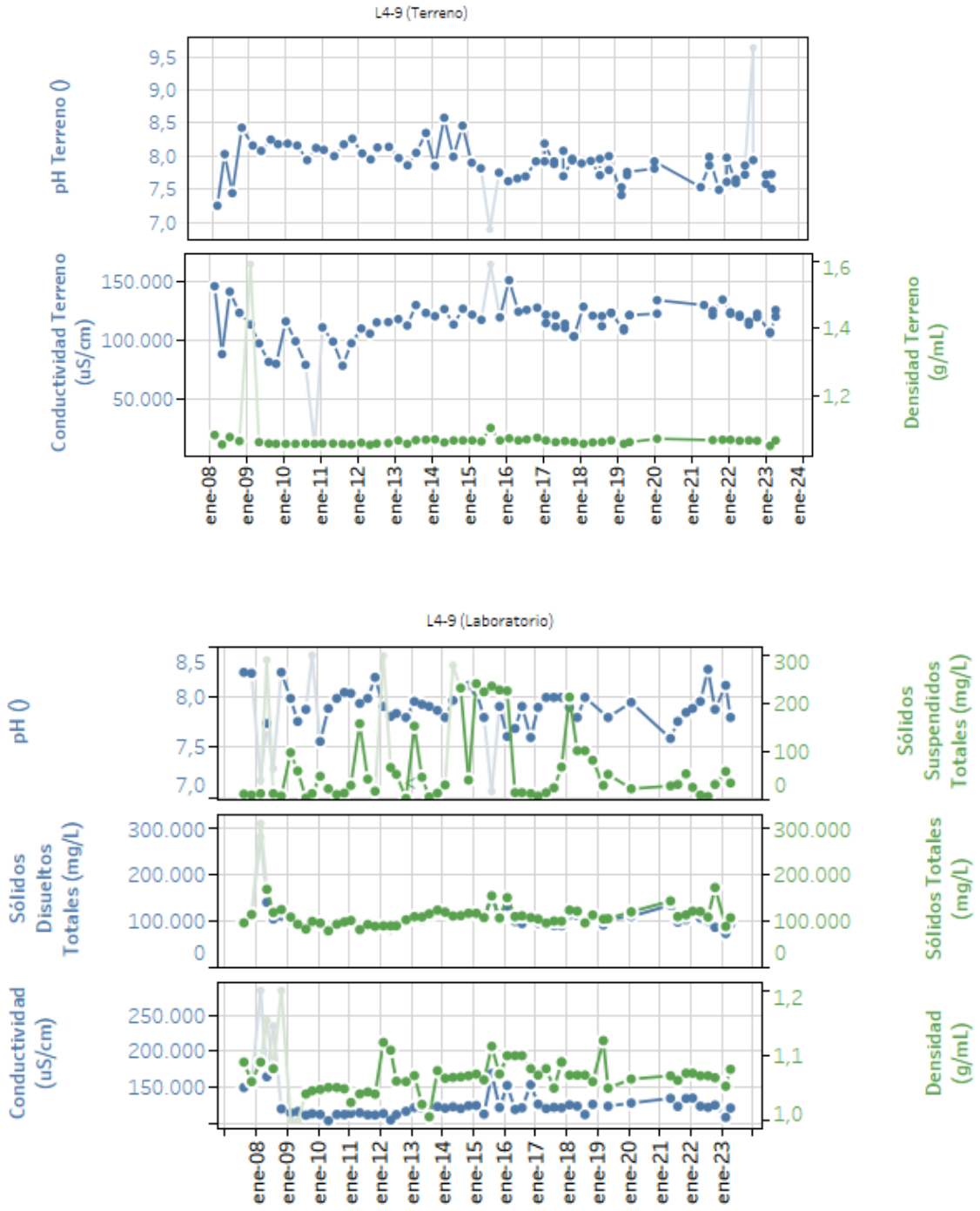
Fuente: Elaboración propia Los valores <LD o >LM se presentan = LD o LM y con la etiqueta "<" o ">" en el color del parámetro que representa. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-77: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-8



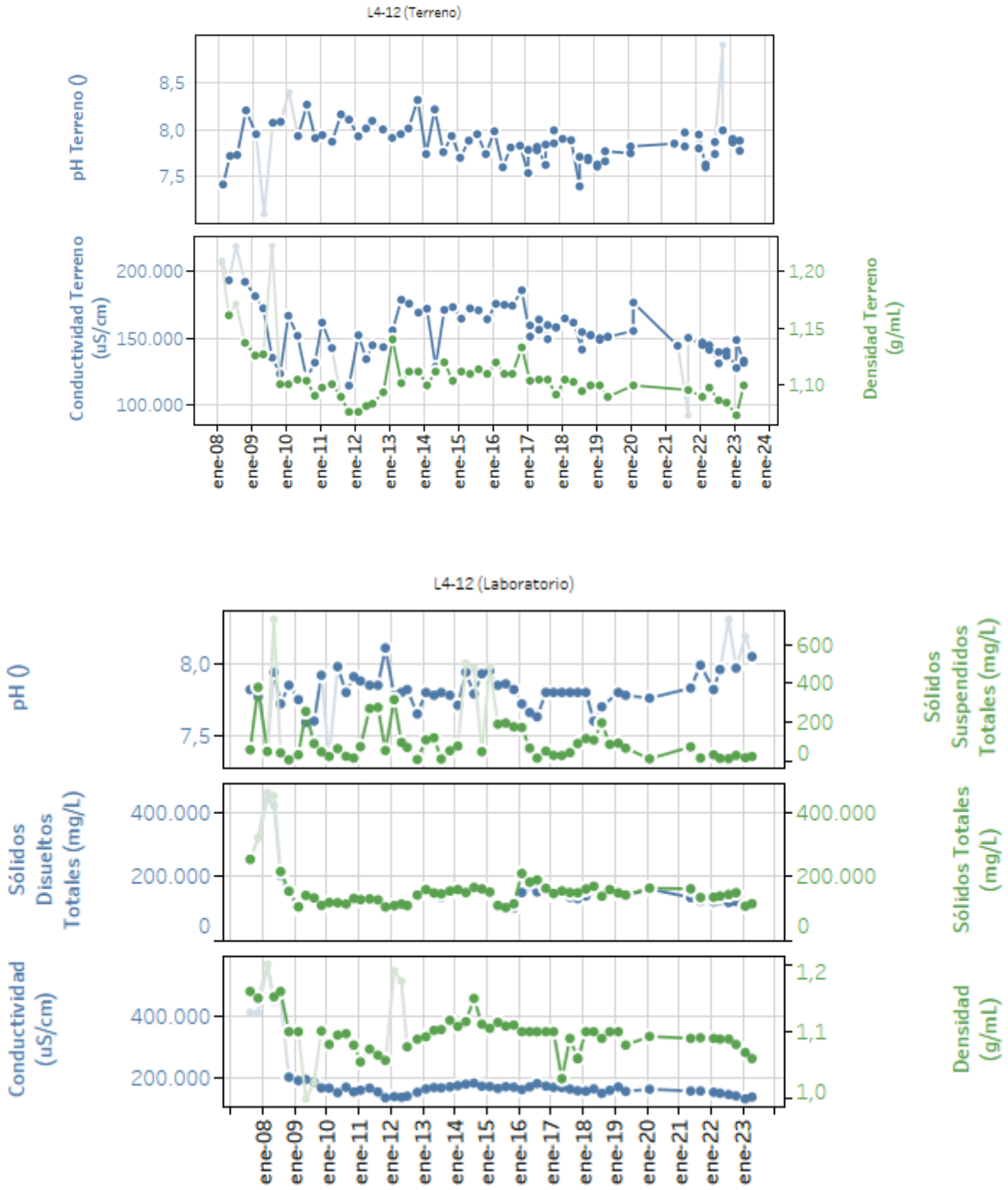
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-78: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L4-9



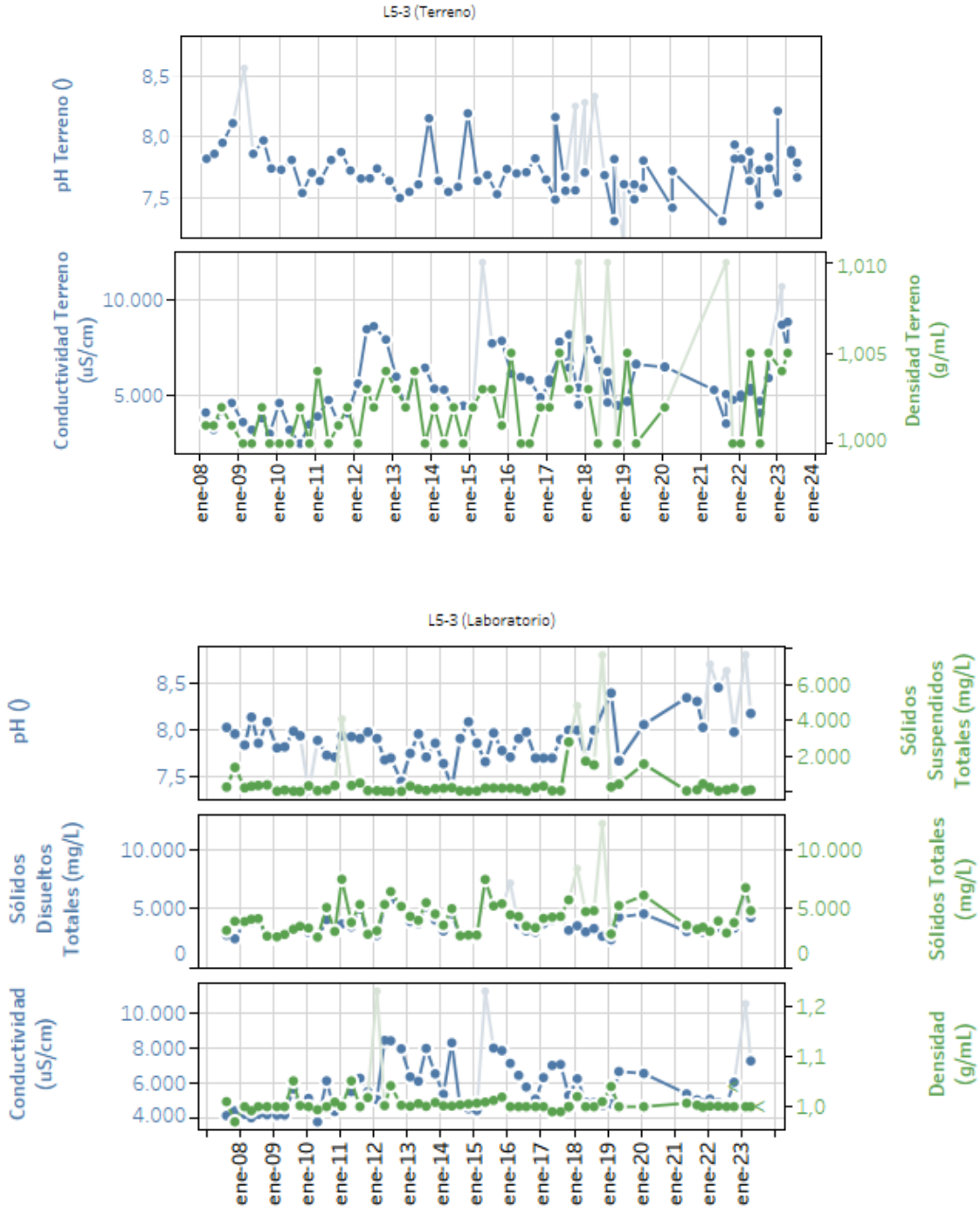
Fuente: Elaboración propia. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

Figura 6-79: 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 6-80: 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 6-81: Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10

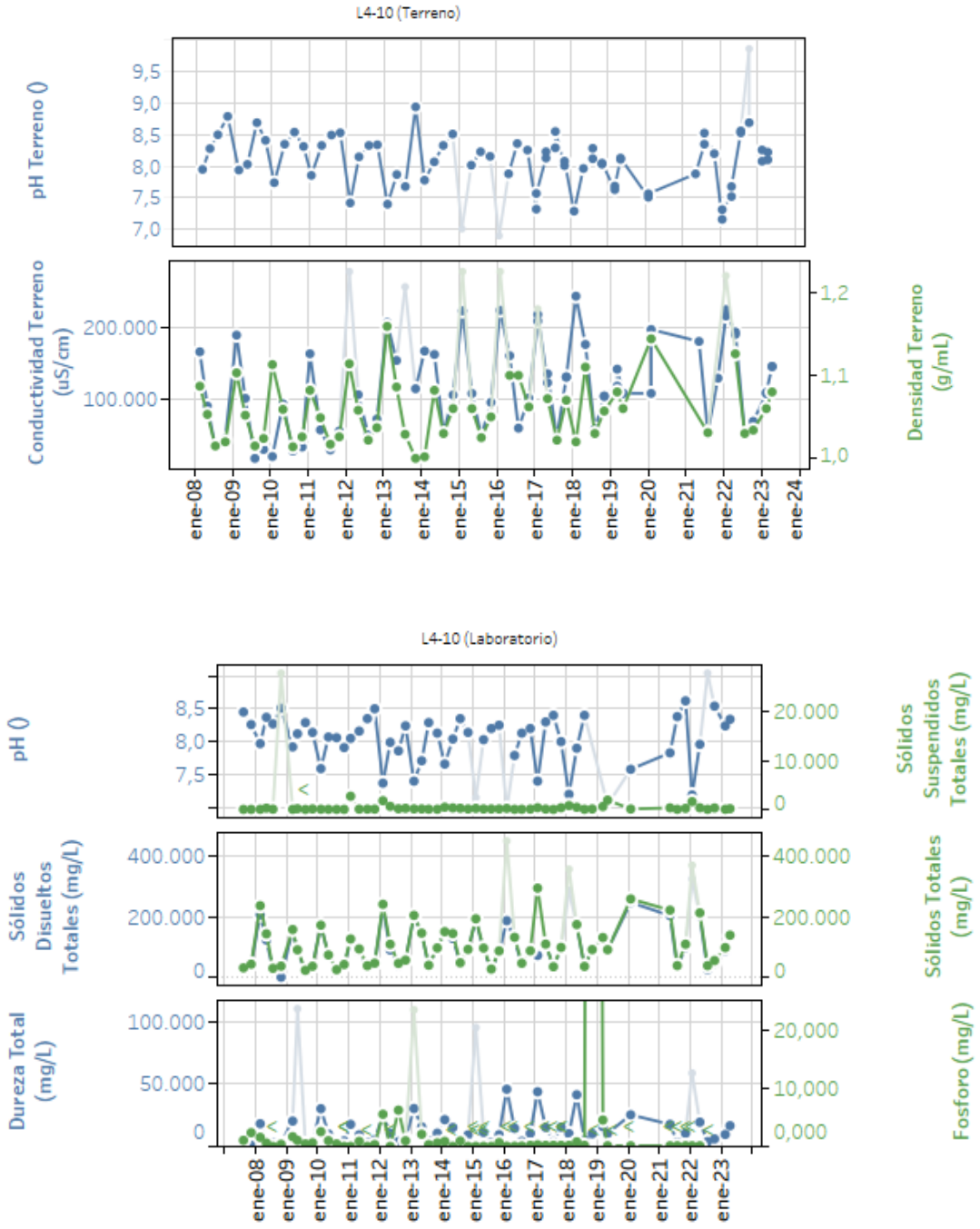
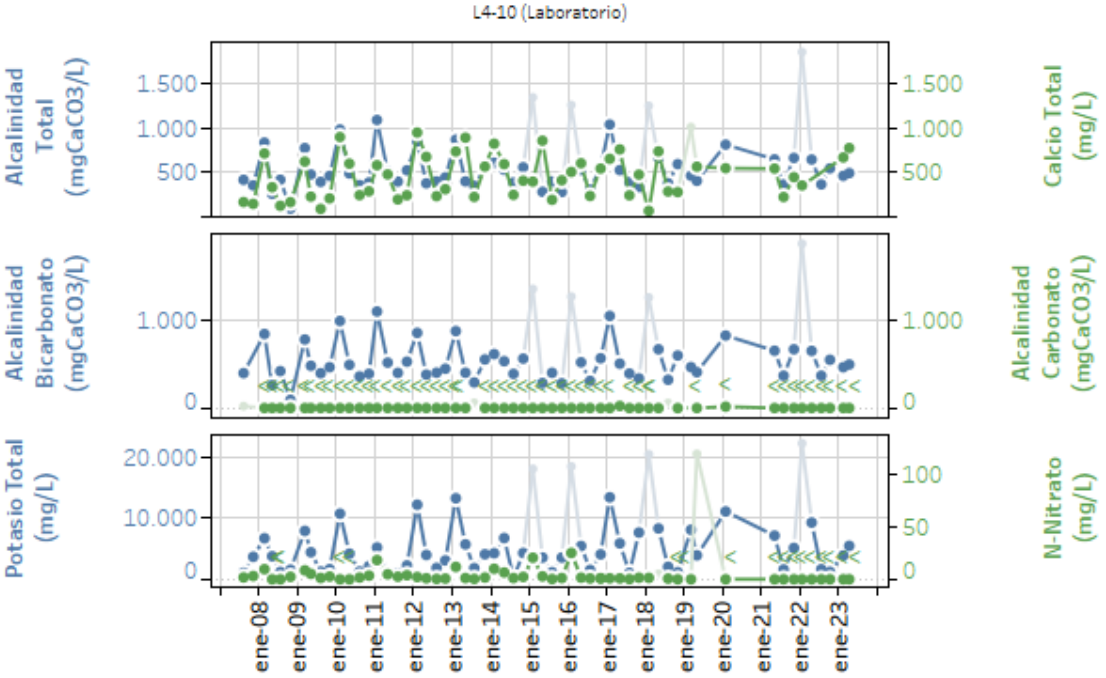


Figura 6-82 (Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10



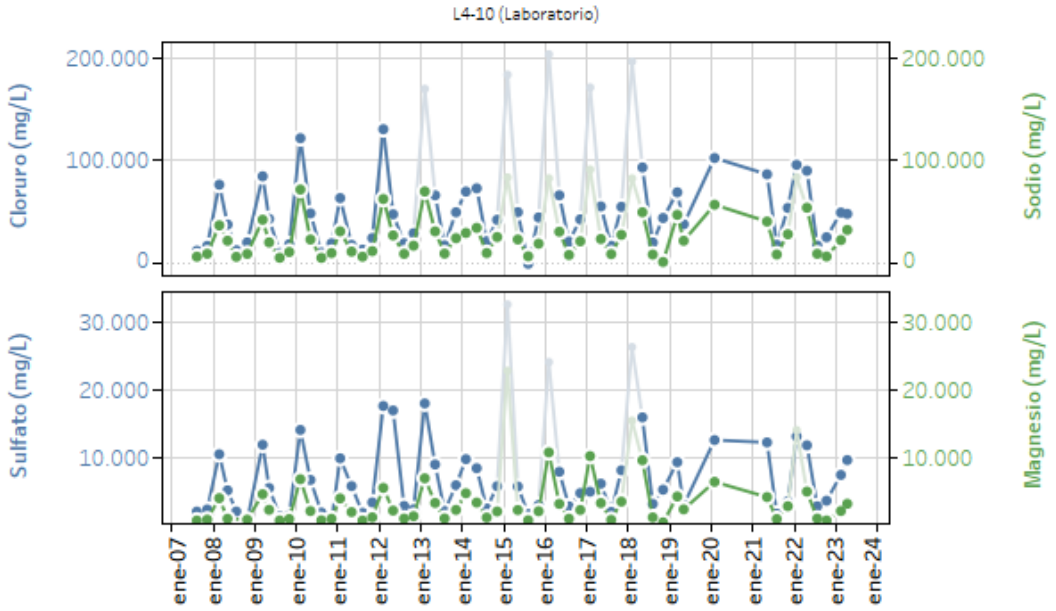
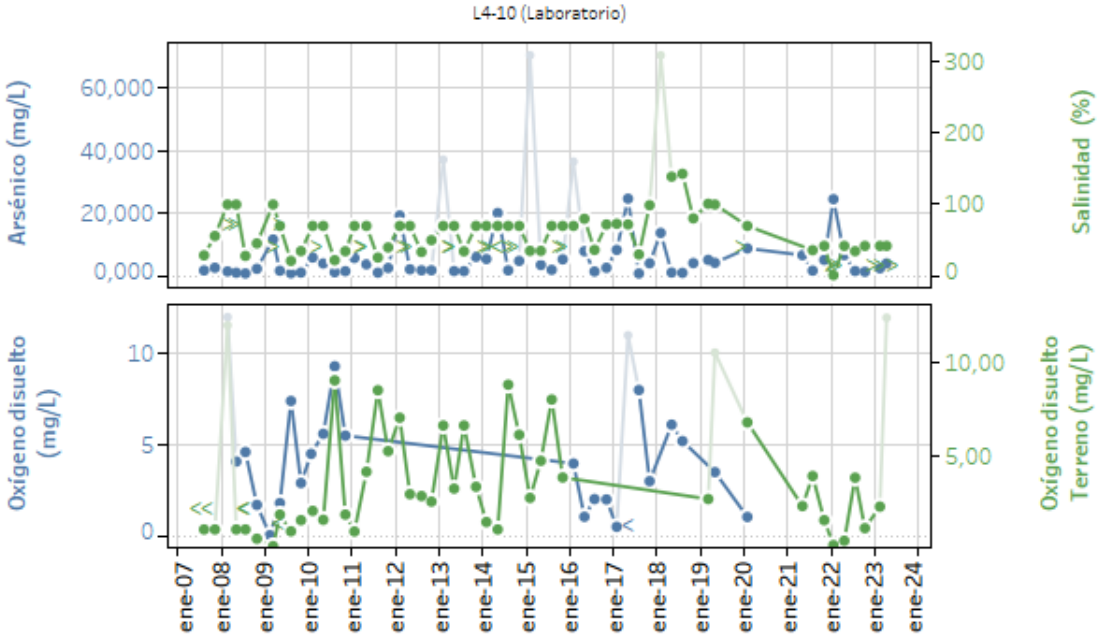


Figura 6-83(Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en la reglilla L4-10



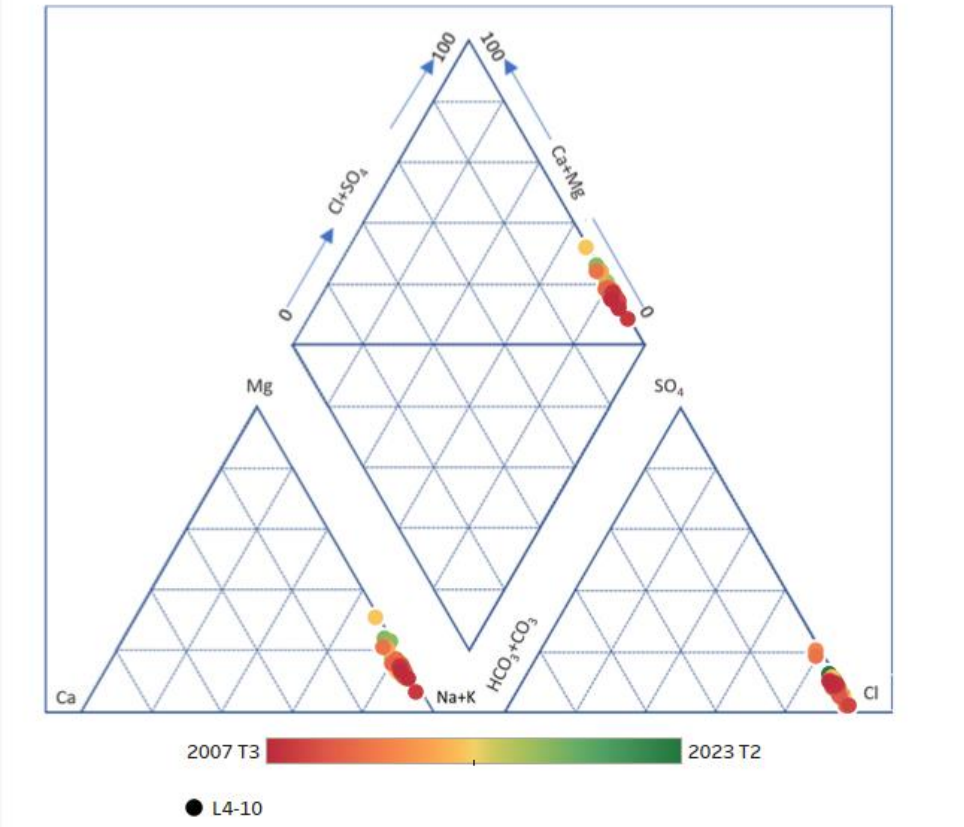
Fuente: Elaboración propia. Por motivos de escala, concentración de fosfato de octubre de 2018 no se muestra (Valor anómalo reportado por CESMEC, 1.800mg/L). Los valores < LD y > LM, se presentan como = LD o LM, en símbolos < y > con el color que corresponde al parámetro. En el gráfico se muestran los colores para los parámetros igual que el color en los ejes respectivos. Los valores validados (ver apartado 4.5.8) se muestran con resalte.

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 muestran en los laboratorios de ALS, como se indica en PSAH N°26 del año 2019.

En la Figura 6-84 se observa el diagrama de Piper para las muestras de la reglilla L4-10 con valores de balance iónico (BI) inferiores al 10%. Puede observarse que todas las muestras son cloruradas sódicas no mostrando ninguna tendencia temporal marcada.

Figura 6-84: 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 6-85 y Figura 6-86, respectivamente. Los parámetros monitoreados en estos pozos corresponden a: conductividad de terreno, densidad de terreno, pH terreno, alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, conductividad, densidad, hierro, magnesio, manganeso, n- nitrato, pH, potasio, sodio, sólidos disueltos totales, sulfato y zinc.

Los resultados del primer 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. Ambos puntos presentan un pH neutro (en torno un valor

de 7). Desde la detención del pozo Camar-2, se observa un salto en el pH cercano a 7,5 – 8, lo que se asocia al cambio de las condiciones geoquímicas dadas por su detención. El pozo Socaide-5B muestra un aumento del pH dentro del rango histórico sostenido. La conductividad en ambos pozos en promedio es menor a 5.000 µS/cm (agua salobre, Tabla 4-17), solo el pozo Camar-2 en 2018 a la fecha muestra un aumento de conductividad manteniéndose en torno a un valor de 4.000 µS/cm.

Respecto a las concentraciones de sólidos disueltos totales, en ambos pozos se encuentran bajo los 3.000 mg/L y densidades registradas en torno a 1,0 g/mL, correspondiente a agua fresca según la clasificación de Fetter modificado (Tabla 4-17) y a que se encuentran ubicados en el aluvial.

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 primer 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.

El hierro y el magnesio 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) en el pozo Camar-2 se produce un importante aumento de ambas concentraciones. Y el pozo Socaire-5B se observa un efecto a la baja en la misma fecha y con tendencia a recuperar su nivel previo.

Figura 6-85: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Camar-2

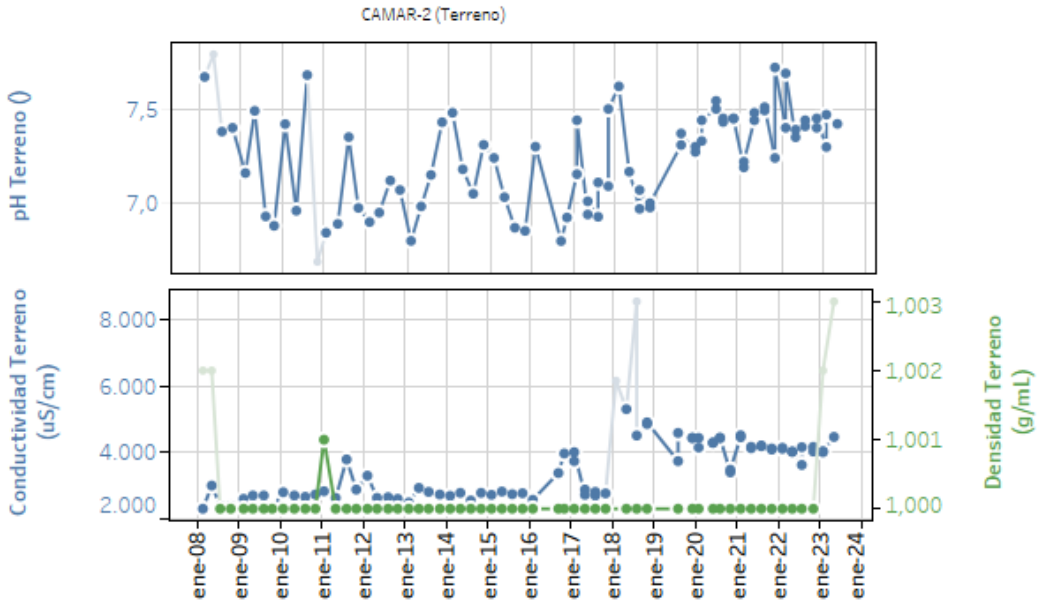
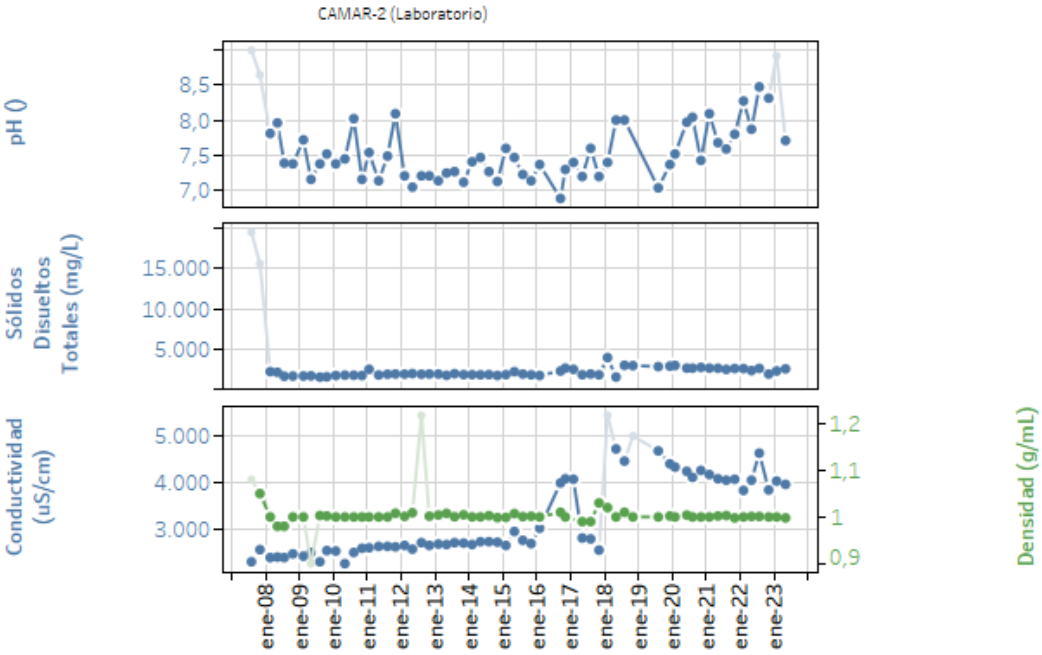


Figura 6-85 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Camar 2



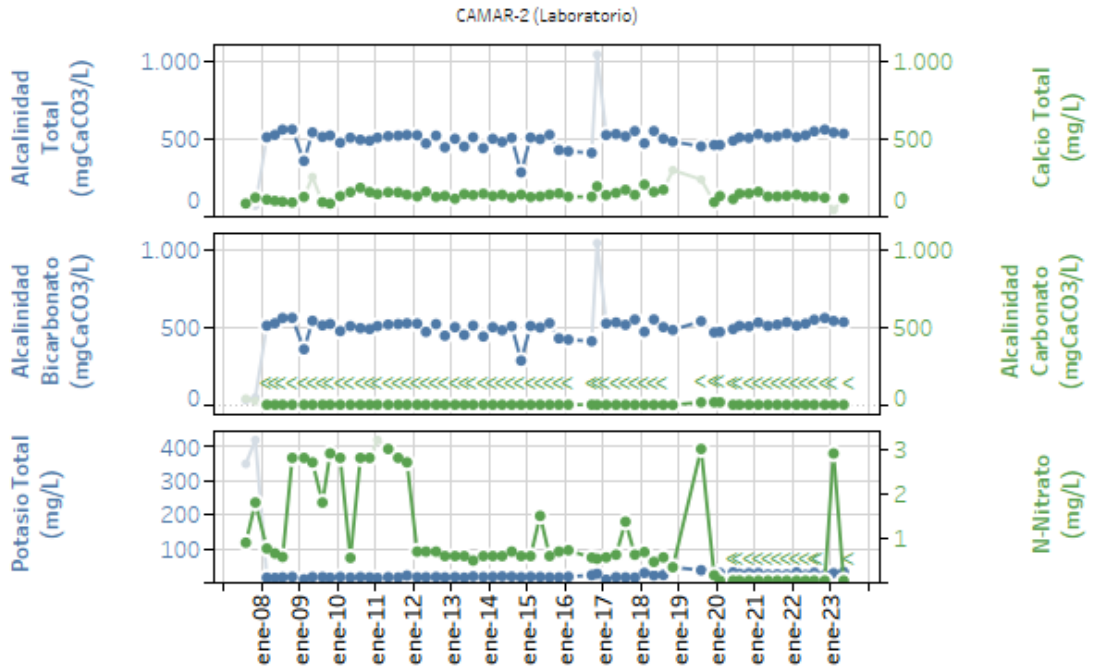
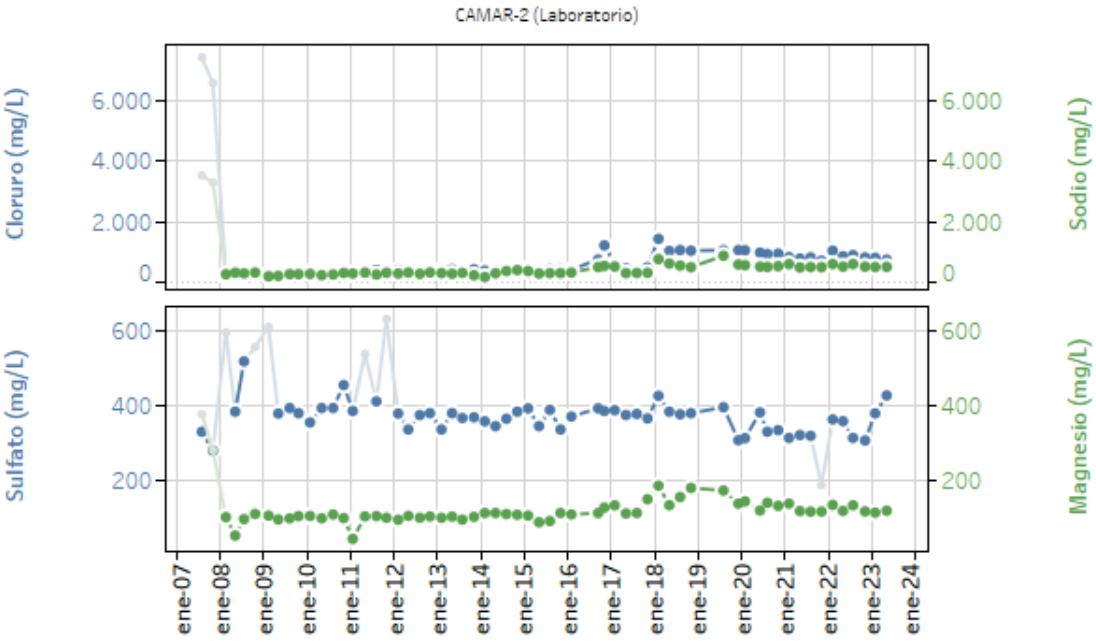
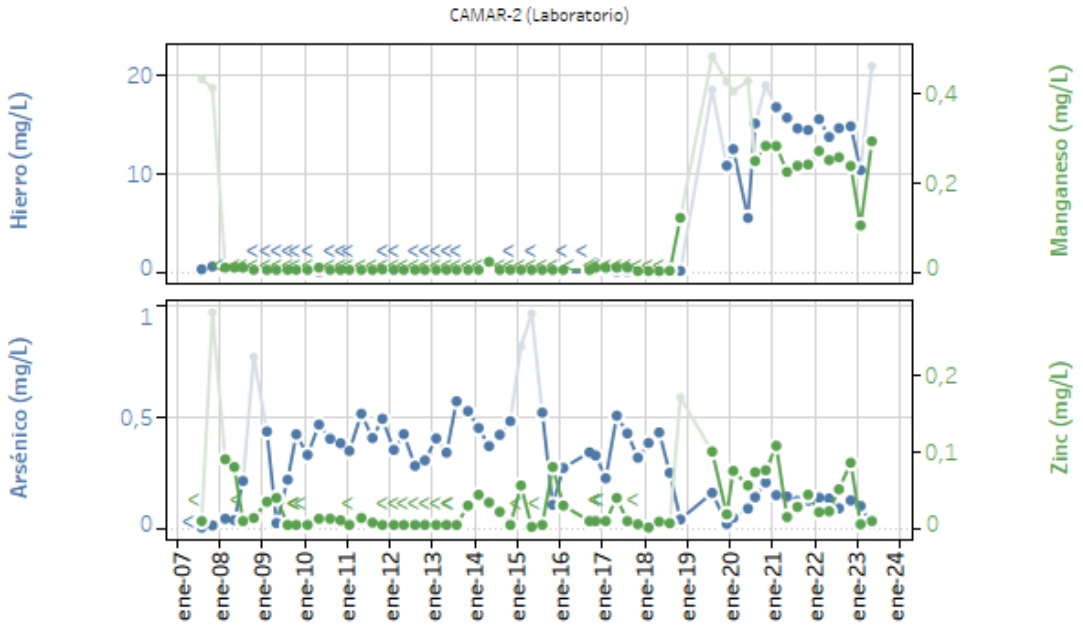


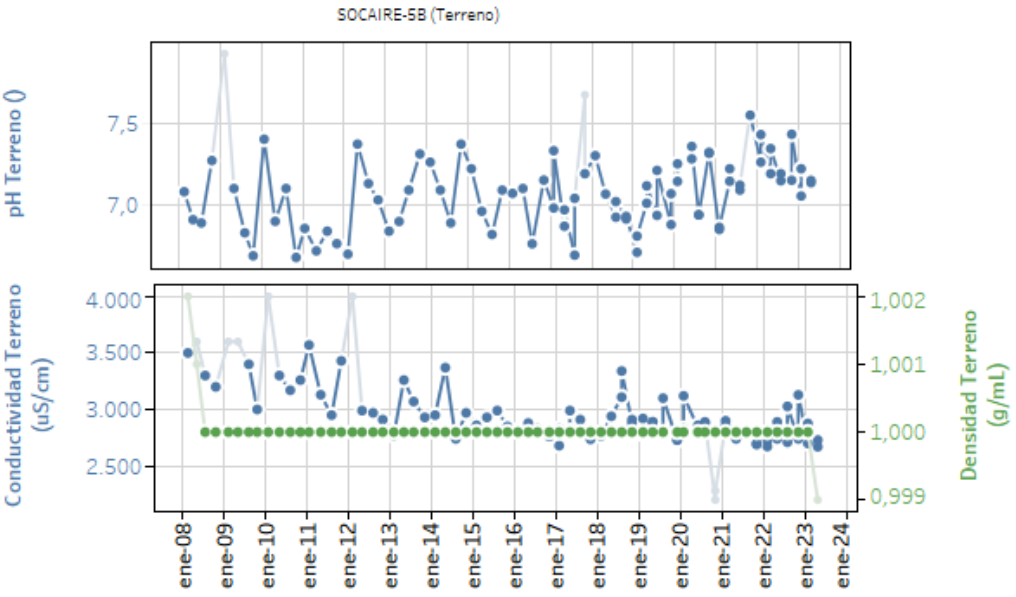
Figura 6-85 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Camar 2





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 6-86: Evolución histórica de la calidad del agua el pozo de extracción Socaire-5B



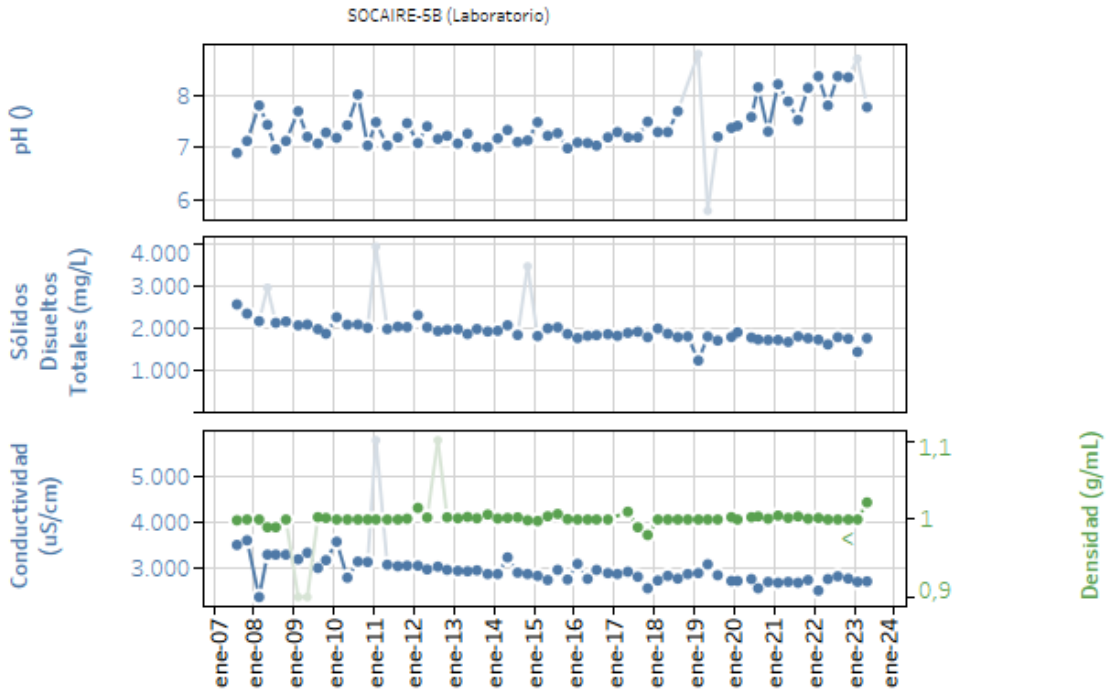
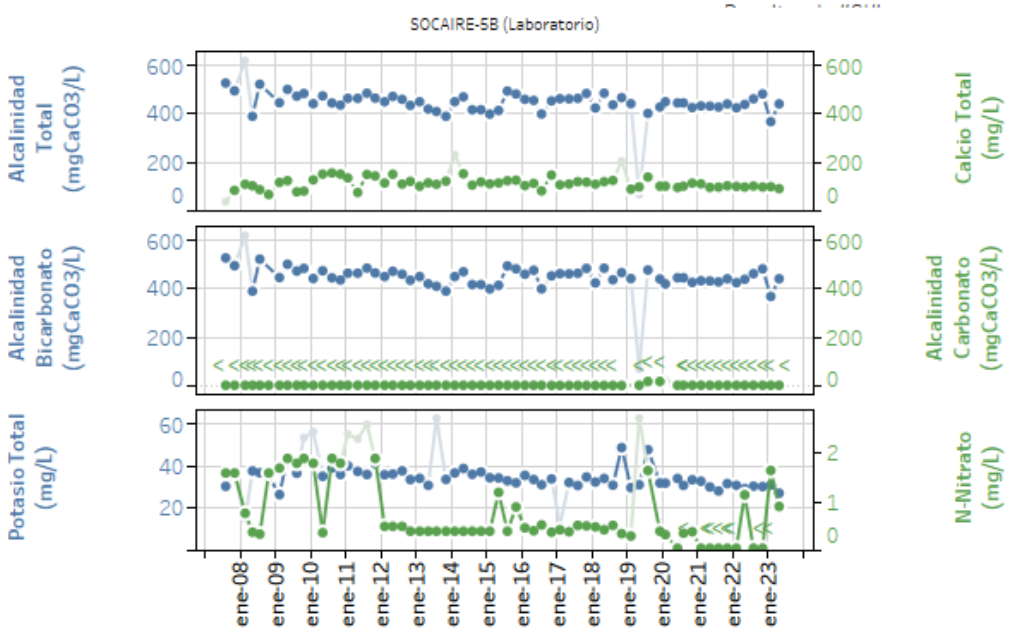


Figura 6-86 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Socaire-5B



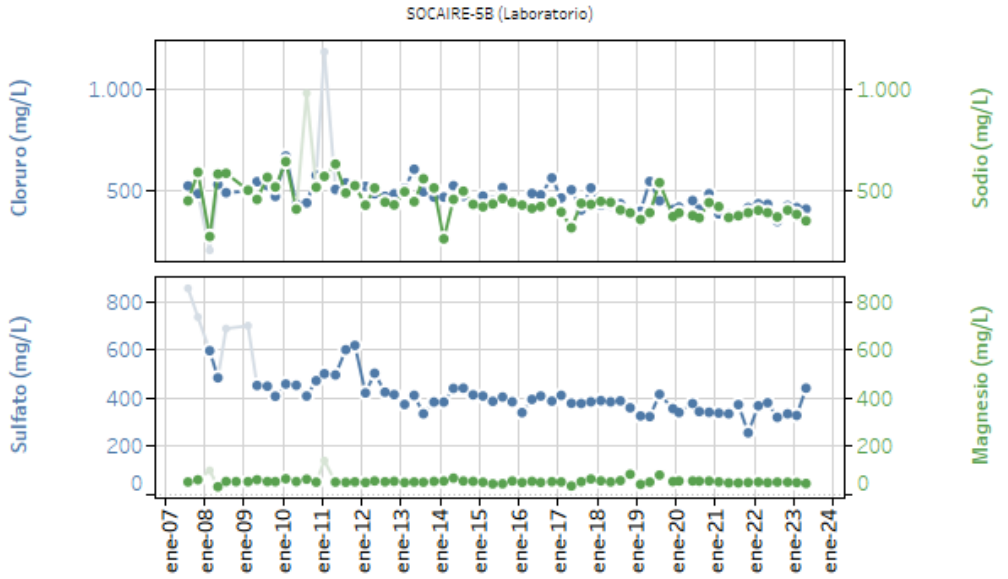
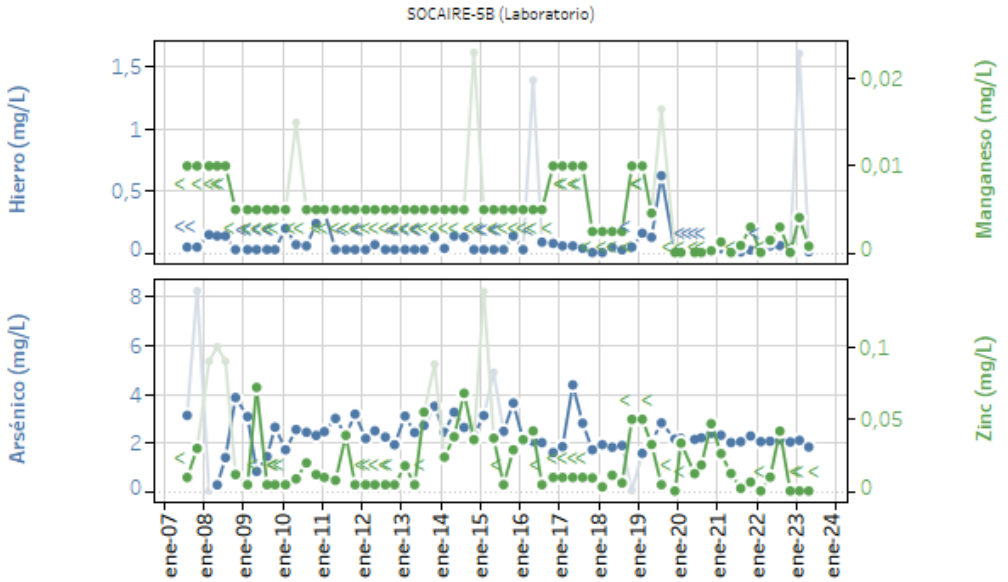


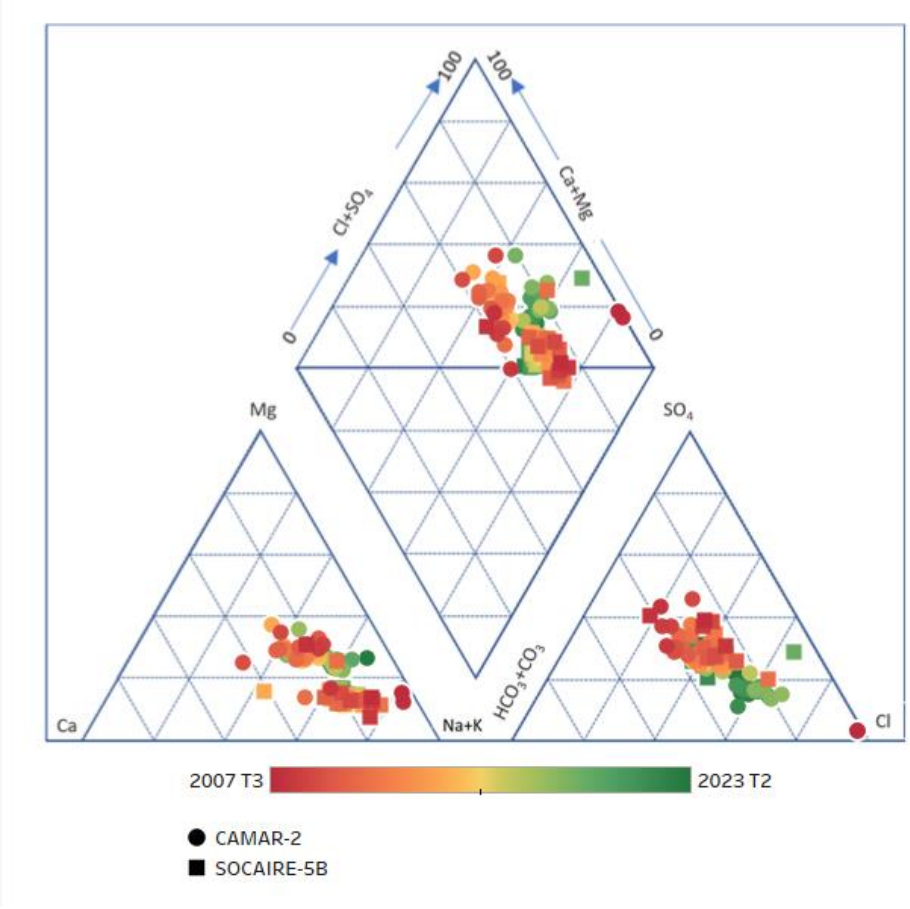
Figura 6-86 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en Socaire-5B



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 6-87 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 caracteristica geoquímica sulfatada sodica, desplazándose hacia el centro del diagrama.

Figura 6-87: Diagrama de Piper para las muestras con BI<10% colectadas en Camar-2 y Socaire-5B



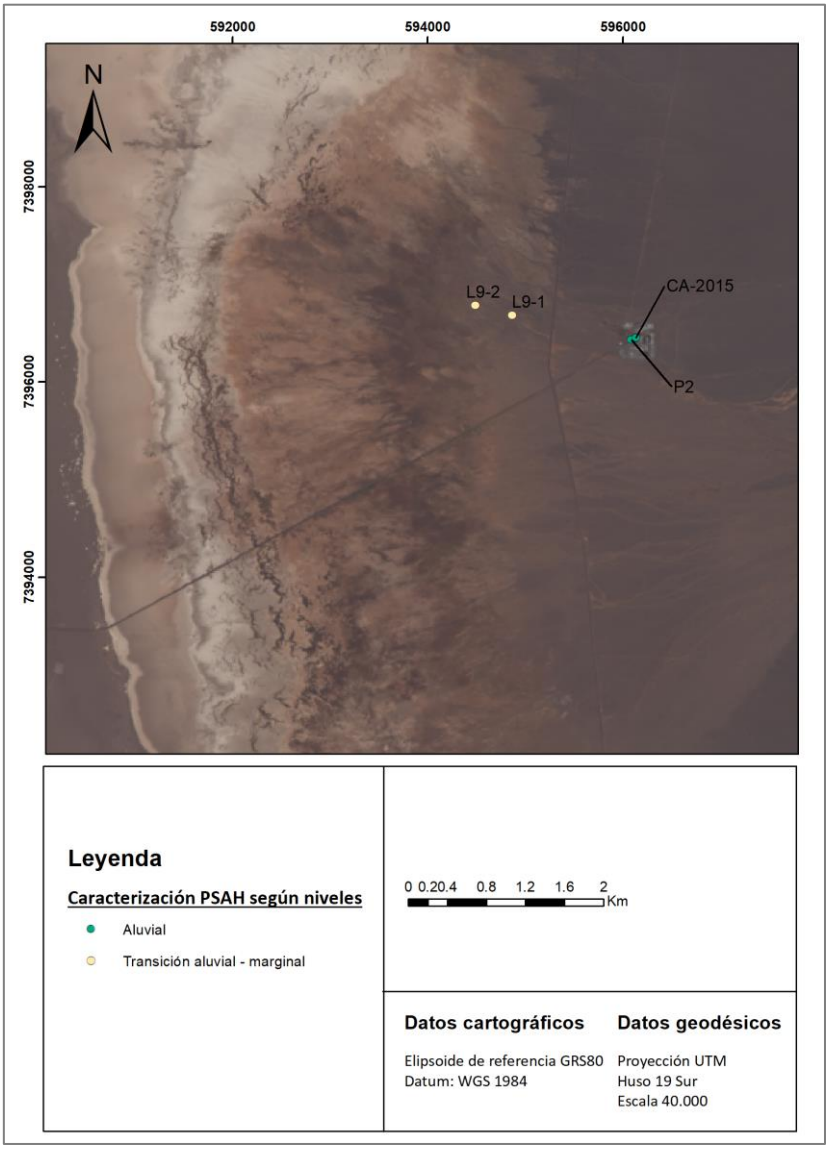
Fuente: Elaboración propia

6.1.3 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE – SECTOR POZO CA-2015

A continuación, se analiza el comportamiento histórico de los pozos pertenecientes al Sistema Vegetación Borde Este. Como ya se ha indicado al inicio de este capítulo, se han descrito los puntos separados en función del sistema hídrico (sistema Soncor o sistema Aguas de Quelana) (ver Figura 6-88). 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 6-88: Infraestructura englobada en el sistema Vegetación Borde Este y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.1 Niveles de agua subterránea

6.1.3.1.1 Nivel en pozo de bombeo de agua industrial

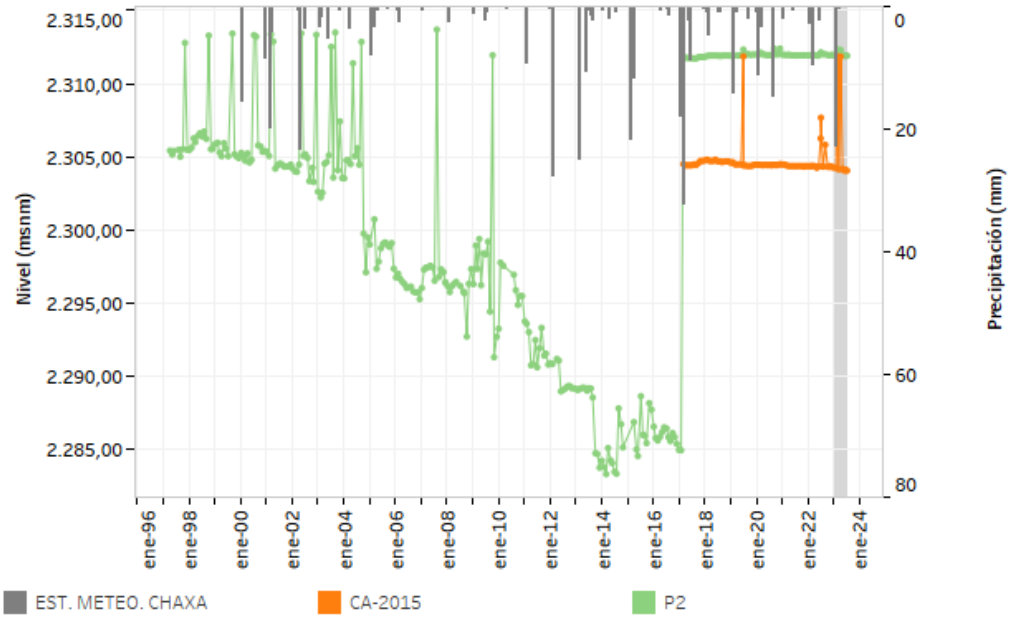
Como se ha mencionado, el sistema de Vegetación Borde Este cuenta con el pozo de agua industrial CA-2015, que remplazó al pozo P2 a partir de febrero de 2017 (según Res. 296/2016 de la DGA). En la Figura 6-89 se muestran los niveles de ambas infraestructuras y en la Figura 6-90 se muestra el detalle del CA-2015, lo que permite ver las variaciones de nivel recientes.

Según se ve en la Figura 6-89, 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 ha mantenido estable durante todo el periodo de mediciones posteriores, incluso al cierre del semestre reportado.

Por su parte, el CA-2015 ha mantenido su caudal debajo y cercano a los 35 L/s. Si bien en algunas ocasiones, se ha reducido la extracción del pozo, el nivel se ha mantenido estable mostrando una tasa de descenso promedio en el periodo de entre 2018 y 2019 de 21 cm/año, mientras que, a partir de noviembre 2019 se observa como la tasa se redujo hasta los 6 cm/año, valor que incluye el registro del primer semestre 2023.

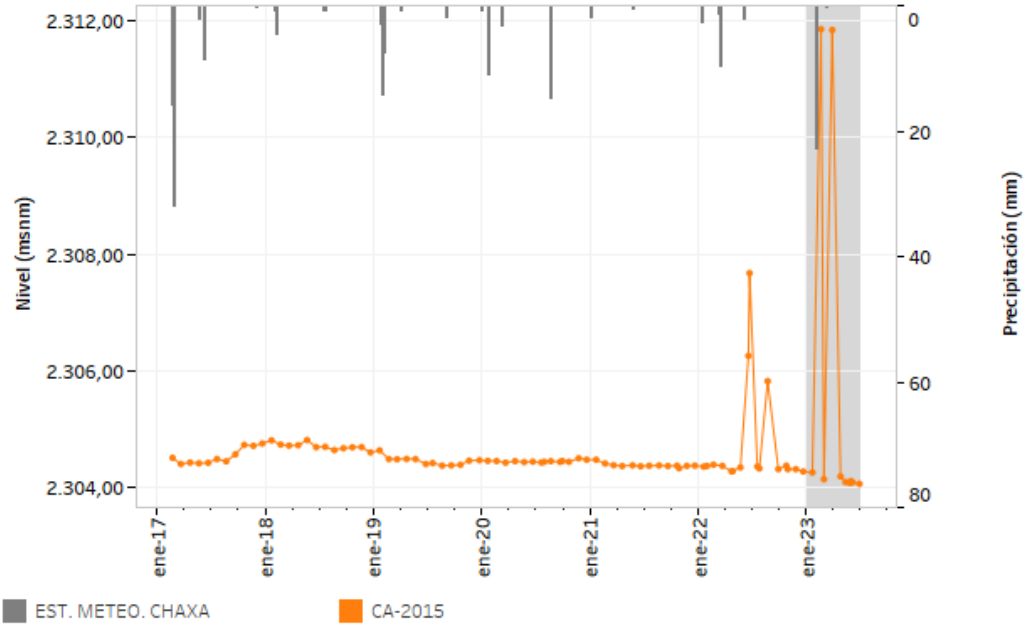
No obstante, lo anterior, el nivel ha mostrado ciertos *peaks* en las mediciones de junio 2019, junio 2022 y agosto de 2022 que se sitúan entre 1,5 y 7 metros por encima del nivel habitual del pozo. También en el primer semestre 2023 se han registrado este tipo de mediciones anómalas (en febrero y en marzo 2023). Esto puede deberse al manejo operacional del pozo ya 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.

Figura 6-89: Niveles medidos en los pozos de agua industrial pertenecientes al sistema de Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-90: Niveles medidos en el pozo CA-2015, actual pozo de agua industrial perteneciente al sistema de Vegetación Borde Este



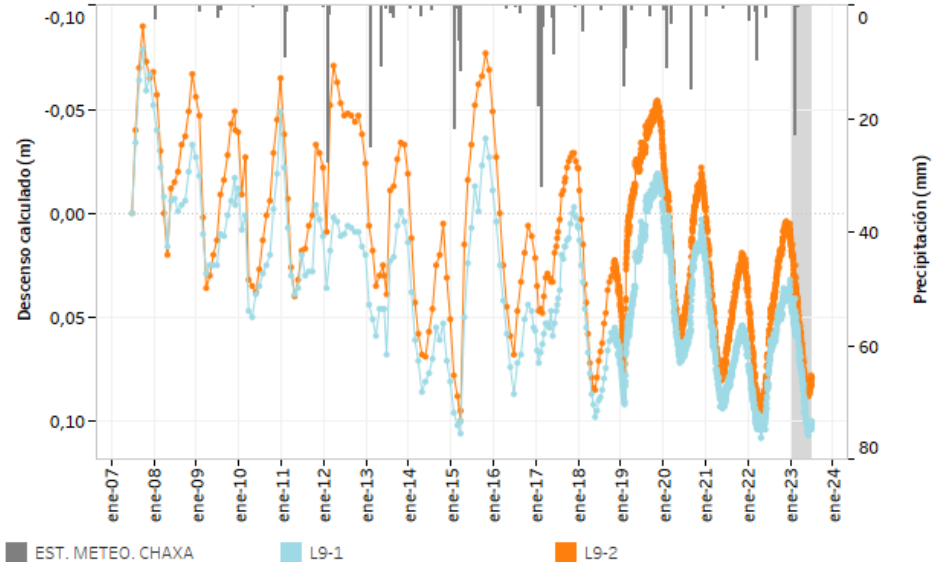
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.3.1.2 Pozos en zona aluvial y marginal

El resto de los puntos que quedan por analizar para el sistema de Vegetación Borde Este, son los puntos L9-1 y L9-2. En este sector se encuentra una menor densidad de puntos de control (en comparación con el resto de los sistemas, sobre todo, Soncor y Aguas de Quelana), por lo que no se pueden observar todos los comportamientos que se han identificado en los anteriores apartados. En este caso, los niveles de los puntos L9-1 y L9-2 (ver descensos calculados en la Figura 6-91) muestran un comportamiento que se ha identificado en los sistemas anteriores como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, ya que, muestran oscilación estacional, pero con tendencia de descenso. De hecho, como desde 2018 es que se miden estos puntos de forma diaria, puede apreciarse mejor la regularidad del efecto estacional en la variación de sus niveles, en comparación con el anterior periodo; de ahí a que en los anteriores informes se describían como que la estacionalidad no era regular. Dado este cambio en la frecuencia de medición, se cree más representativo medir la tasa de descenso solo para este periodo, que resulta ser de 1,3 cm/año en promedio.

Se observa, por tanto, en el primer semestre de 2023 se reproduce el mínimo estacional esperado. Aunque, si bien el pozo viene mostrando una tendencia de descenso histórica, la cota alcanzada este semestre 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.

Figura 6-91: Descensos calculados en los puntos L9-1 y L9-2 del sistema Vegetación Borde Este

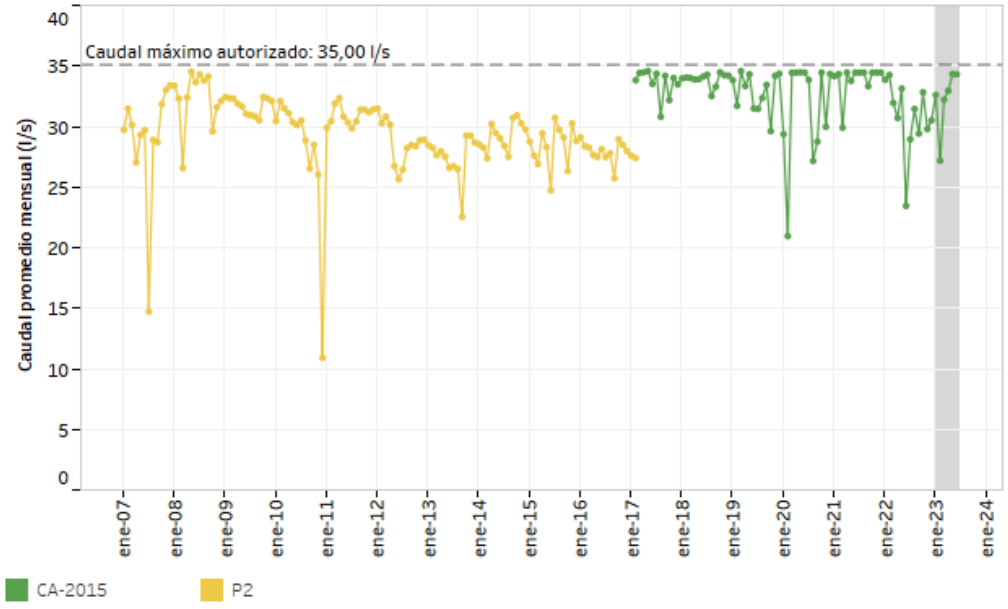


Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.2 Caudal bombeado

En la Figura 6-92 se muestran los caudales extraídos históricos, desde el pozo P2 y posteriormente de su pozo de reemplazo CA-2015. El derecho otorgado en este caso es de 35 L/s. Durante el presente periodo de reporte el caudal ha fluctuado entre los 27,18 L/s y los 34,33 L/s, manteniéndose en promedio un 2,73 L/s debajo del umbral permitido. Respecto a los caudales históricos de CA-2015, el caudal de 27,18 L/s que opero durante febrero de 2023 es parte de los tres promedios de caudales mensuales más reducidos de extracción durante 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 6-92: Caudal bombeado en el sistema Borde Este (Zona Aluvial)



Fuente: Elaboración propia.

6.1.3.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado el primer semestre de 2023 en el Sistema Vegetación Borde Este, en comparación con su evolución histórica.

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 previas (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 la evolución histórica de la calidad del agua en el pozo de extracción de agua industrial P2 en el periodo histórico desde 2008 hasta marzo 2017, y el CA-2015 desde inicio abril 2017 a la fecha (Figura 6-93). Los parámetros corresponden a: conductividad terreno, densidad terreno, pH terreno, alcalinidad total ($CaCO_3$), alcalinidad bicarbonato, alcalinidad carbonato, arsénico, calcio, cloruro, conductividad, 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 Medición 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 4.5.8.3).

Los registros que corresponden al pozo P2 (hasta fines de 2016), muestran una baja conductividad (menor a 2.500 µS/cm) y bajas concentraciones de sólidos disueltos totales y cloruros (menores a 5.000 mg/L y 2.000 mg/L respectivamente). 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 se encuentran en torno a los 10.000 mg/l a 5.000 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.

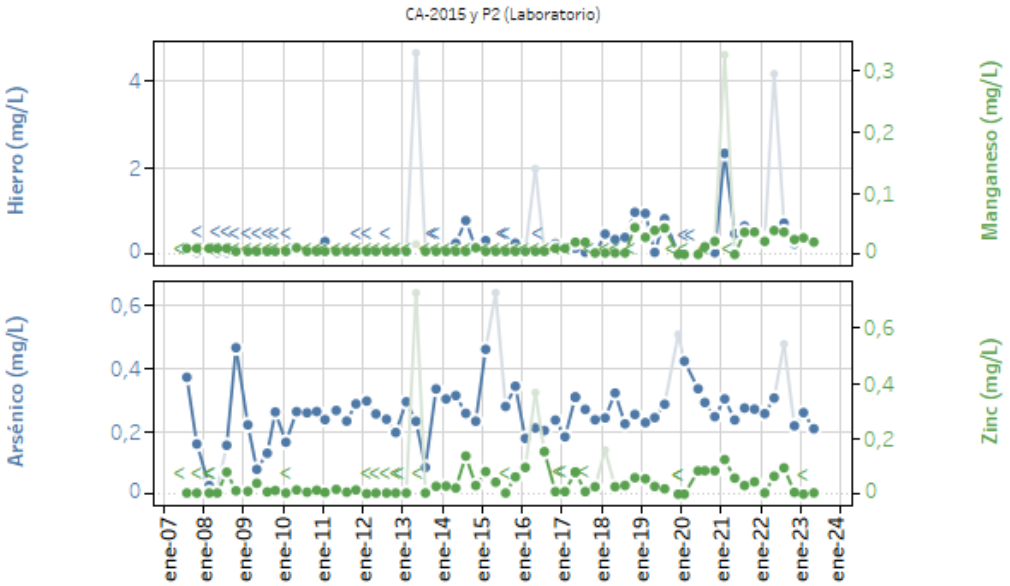
Este comportamiento también se observa en las tendencias de las concentraciones para el sulfato, magnesio y sodio. La densidad histórica se mantiene en torno a 1,0 g/mL, y pH en torno a 7,5, sin embargo, desde 2022 en adelante ha aumentado su valor, alcanzando promedios de 8,0.

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 primer semestre de 2023 dentro del rango histórico observado.

Figura 6-93: 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 6-93 (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)

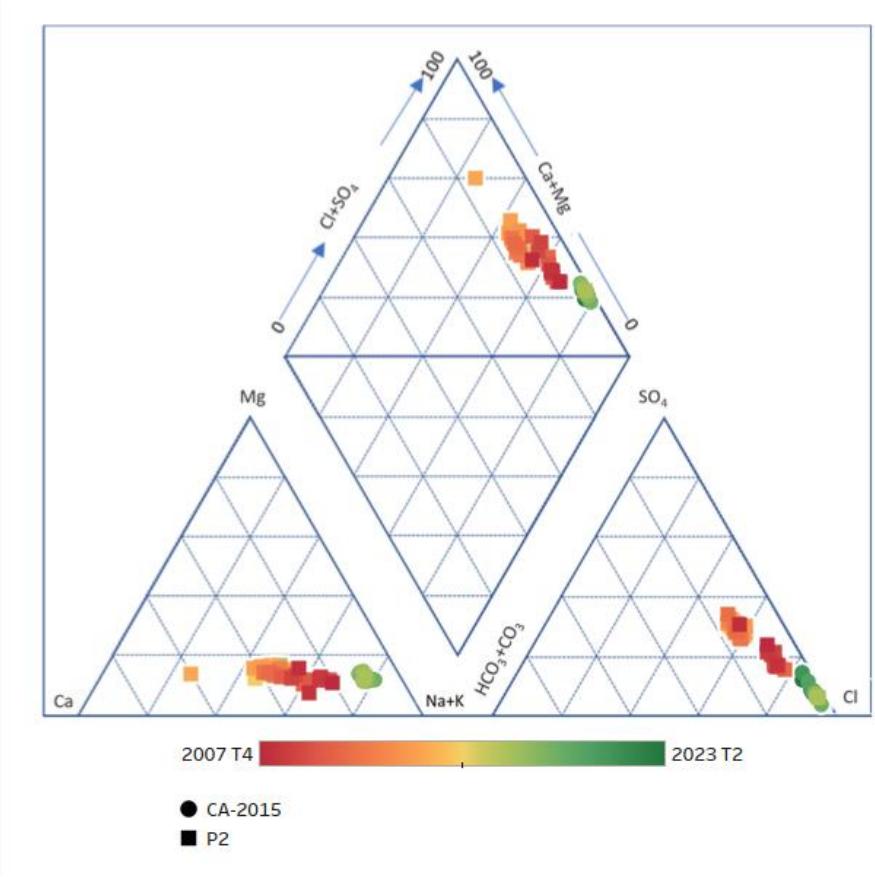
Figura 6-93 (Continuación) Evolución histórica de la calidad del agua en los pozos de extracción P2 y CA-2015 (a partir de abril de 2017 corresponden al pozo CA-2015)



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 6-94 muestra el diagrama de Piper para las muestras colectadas en P2 y CA-2015, que cumplen con un balance iónico (BI) inferior al 10%. Nótese que, aunque ambos puntos presentan facies cloruradas sódicas, el punto CA-2015 presenta unas características cloruradas sódicas notablemente más marcadas que P2, el que tiene desde cloruradas sódicas a sulfatadas cálcicas. 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.

Figura 6-94: Diagrama de Piper de muestras con BI <10% para los puntos P2 (hasta enero de 2017) y CA-2015 (desde abril de 2017)

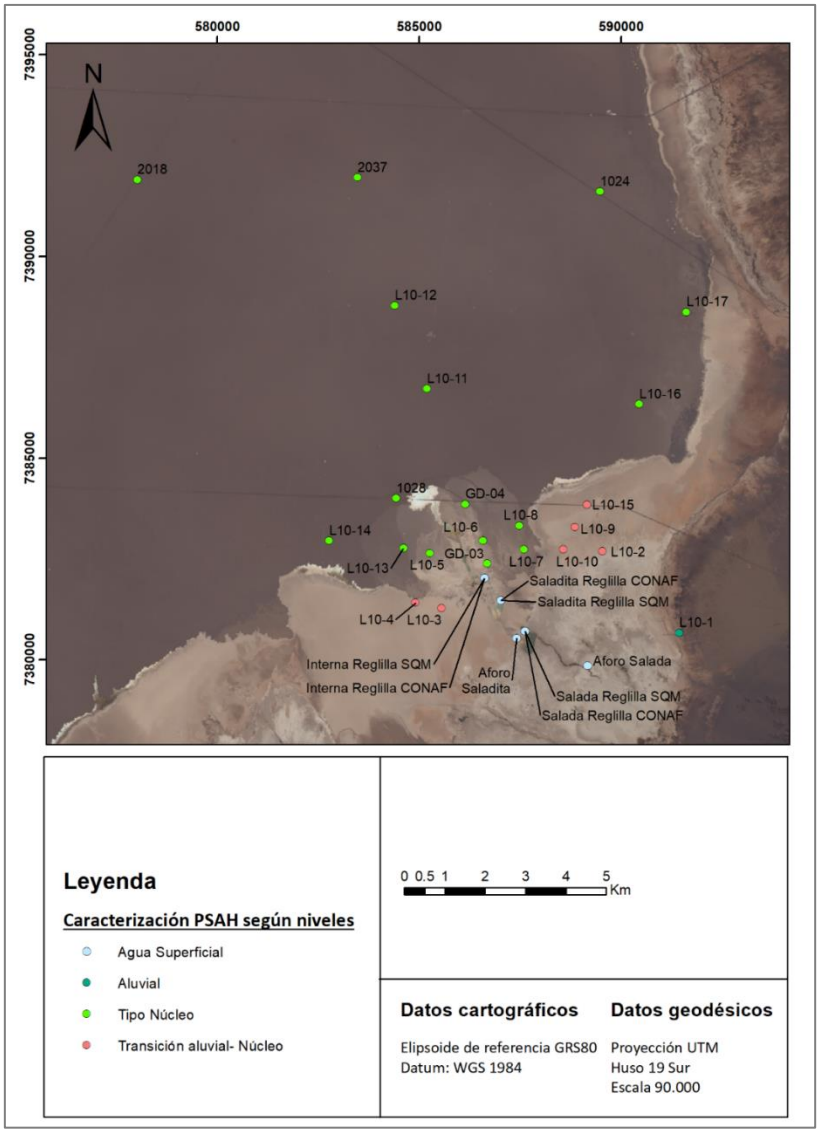


Fuente: Elaboración propia

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 6-95). 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 6-95: Infraestructura englobada en el sistema Peine y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.1 Niveles de agua subterránea y superficial

6.1.4.1.1 Pozos en zona aluvial

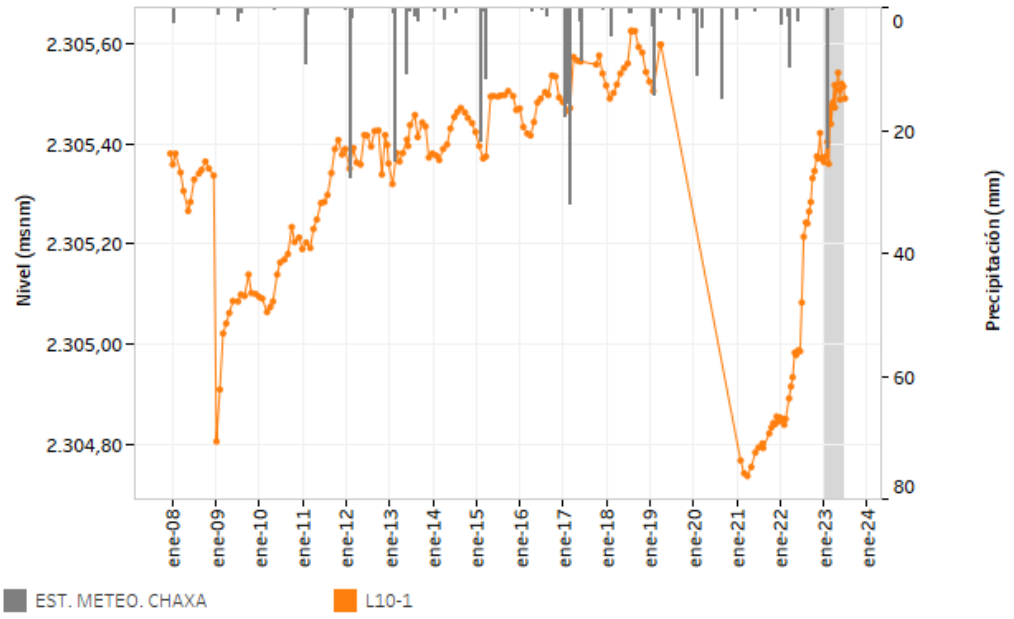
En el Sector de Peine el único punto situado en la zona aluvial es el punto L10-1, que concretamente se encuentra en el límite entre las zonas marginal y aluvial. Este punto está asociado al monitoreo de la zona aluvial del sistema Peine, pero se le observa un comportamiento singular y poco relacionado a

lo que cabría esperar para esta zona, donde los niveles muestran una estrecha relación con los ciclos de evaporación estacionales. En la Figura 6-96 se muestran los niveles históricos medidos y se puede ver como presentaba oscilaciones irregulares, por lo que deberían estar asociadas a los eventos de recarga subterránea. La tendencia general fue ascendente desde enero de 2009 y hasta el registro de enero 2021, con tasa promedio de 2,85 cm/año (calculada en el período comprendido entre junio de 2011 y 30 de diciembre de 2018). Otro aspecto 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 no fue hasta el primer semestre de 2021 que se retomaron las visitas. 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 todo caso, observando las mediciones posteriores, incluyendo el primer semestre de 2023, se puede ver que el punto está reproduciendo una pendiente ascendente característica de una recuperación ya que, al cierre del semestre, la tasa es de 42 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 5,6 cm por debajo el último registro previo (marzo 2019). Dada la tasa de ascenso, es posible que durante el año 2023 retome la cota representativa del acuífero y por tanto cambie la pendiente de nuevo.

Figura 6-96: Niveles medidos en la zona aluvial del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.4.1.2 Pozos en zona marginal

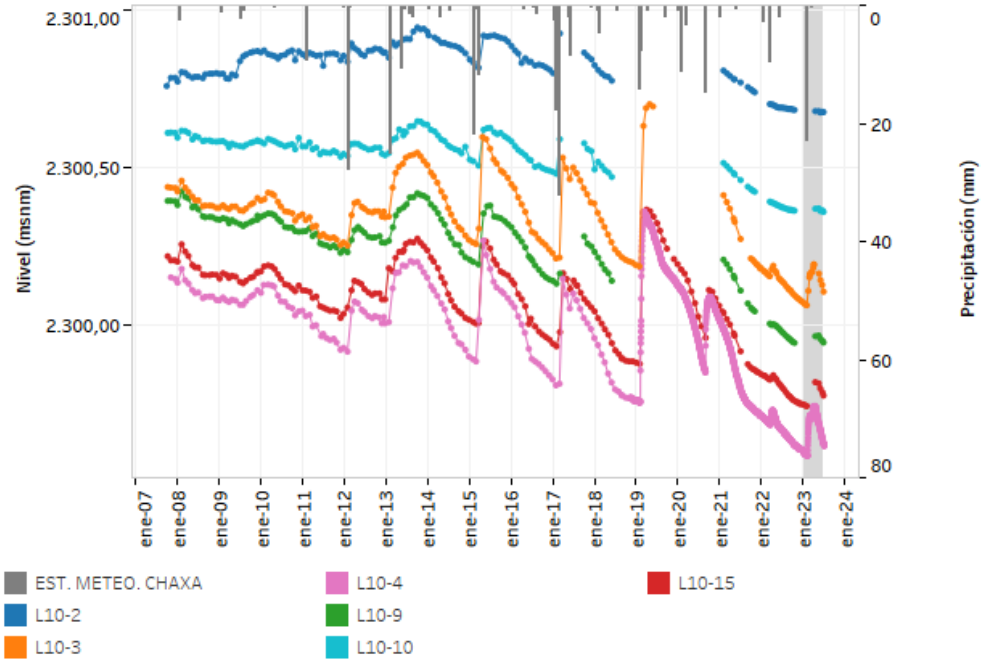
Desde la zona aluvial y hacia el noroeste, siguiendo la dirección del flujo, se encuentra la zona marginal en donde los niveles muestran un comportamiento mixto entre el observado en el L10-1 y el núcleo. Se trata de los puntos L10-2, L10-3, L10-4, L10-9, L10-10 y L10-15, que se muestran en la Figura 6-97.

Estos puntos tampoco muestran la particular oscilación regular propia de los ciclos estacionales de evaporación, y se observa que mantienen 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). En la 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.

Para el primer semestre de 2023, se mantiene la tendencia de descenso junto la respuesta a las lluvias registradas estos mismos meses. Puede observarse como esta 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 1,4 cm/año, mientras que los puntos más cercanos al núcleo la pendiente es de casi 13 cm/año, en el caso del L10-4. 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.

Figura 6-97: Niveles medidos en los puntos que muestran un comportamiento de transición entre el acuífero aluvial y el núcleo



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Tal y como se ha descrito, en la zona marginal 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), ya que, no se observan las típicas características como la oscilación estacional asociada a la evaporación y 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 6.4.1.2, lo que se puede revisar de forma conjunta en el capítulo de conclusiones (Capítulo 7).

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 (5), a partir de enero de 2019 y en virtud del término del convenio, las mediciones de nivel en el sistema lacustre de Peine pasan 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 6-98. 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.

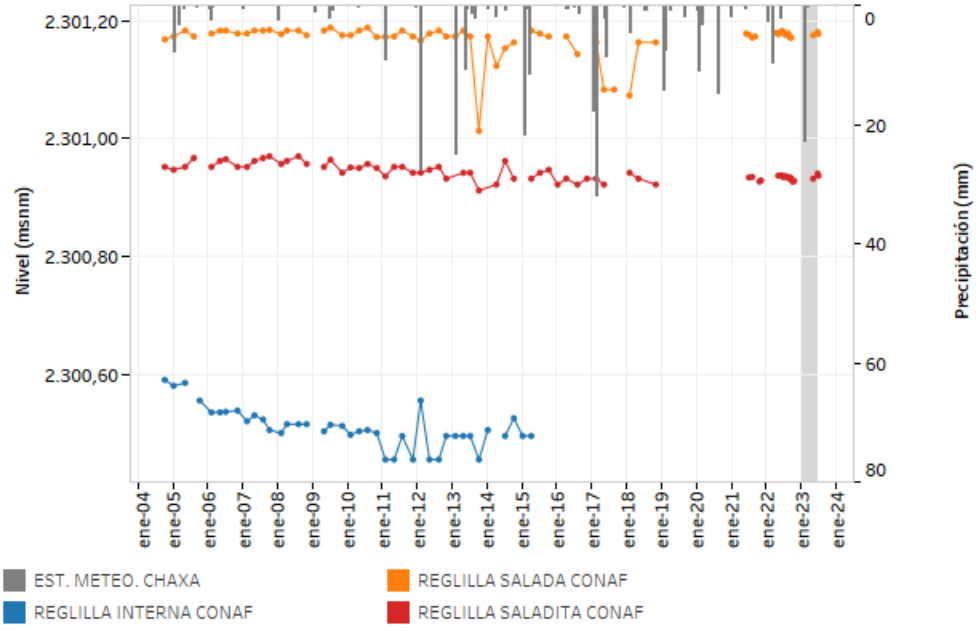
En términos generales, la reglilla de Salada muestra registros estables durante todo el periodo de mediciones, incluyendo el primer semestre 2023. Algunas mediciones se han obtenido en cotas anómalas, por debajo de este rango histórico de variabilidad, como son por ejemplo la obtenida en octubre 2013 o varias de las mediciones entre 2017 y 2018. Como puede verse, estas mediciones no suponen cambios representativos en la dinámica de la laguna, si no 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 vacíos sin información, como por ejemplo entre octubre 2018 y mayo 2021 y luego durante los cierres anuales en los meses de nidificación de flamencos.

En la reglilla de Saladita, des del inicio de los registros en 2005 y hasta 2013 se mantiene constante una tendencia permanente de descenso promedio de 0,4 cm/año. Posterior a esta fecha, entre 2015 y 2018, se puede ver como 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 periodo previo, por lo que, podría decirse que el nivel de la laguna Saladita se mantiene estable. En la Figura 6-98 se observa un dato anómalo para el periodo 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 el año 2015 puesto que el área de descarga no ha cubierto la ubicación del punto de monitoreo.

Figura 6-98: Niveles en las reglillas de agua superficial del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

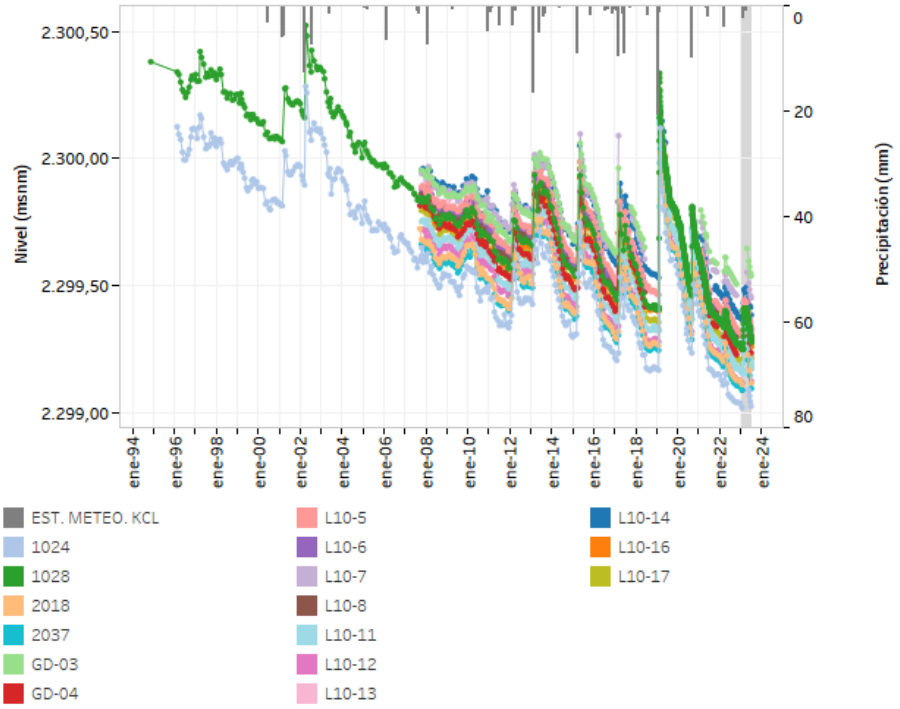
6.1.4.1.4 Pozos en zona núcleo

En el sector del Núcleo se ha observado el mismo patrón Tipo Núcleo identificado 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 6-99 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 2,2 cm/año, exceptuando los puntos GD-03 y L10-7, donde la tasa es de 1,2 y 1,5 cm/año respectivamente. La diferencia en estos dos puntos puede ser debido a que se encuentran más próximos a la zona marginal.

Para este primer semestre 2023 todos los puntos han mostrado respuesta ante las lluvias registradas estos mismos meses.

Figura 6-99: Niveles medidos en los puntos asociados al comportamiento en el núcleo, para el sistema Peine



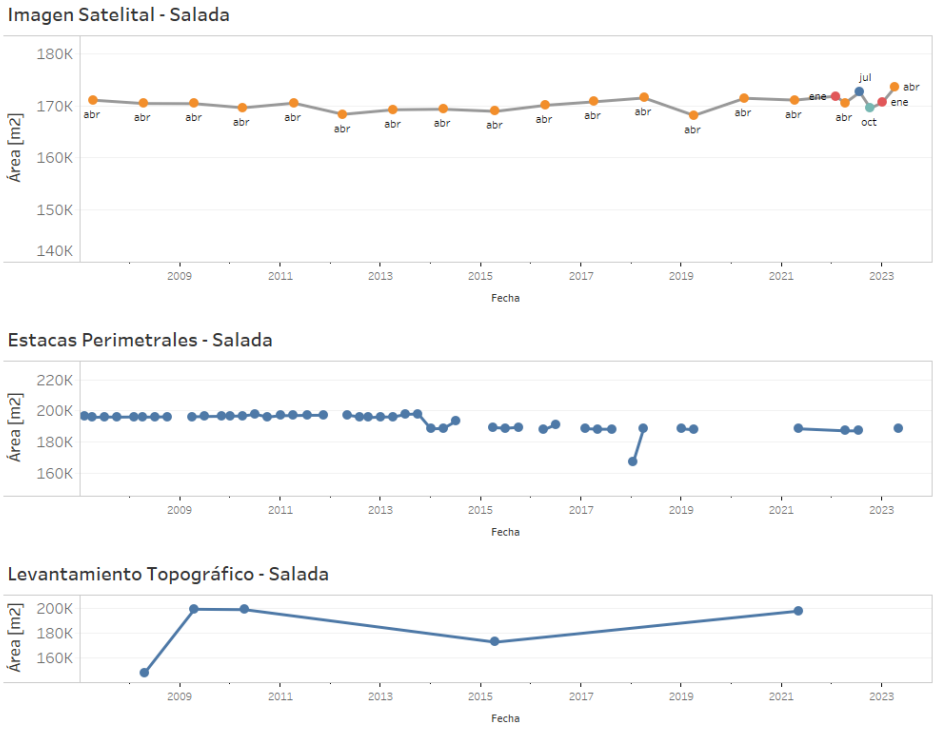
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.4.2 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 e Interna. Esta última laguna está formada por los desbordes de la Laguna Saladita, y su morfología es altamente dinámica.

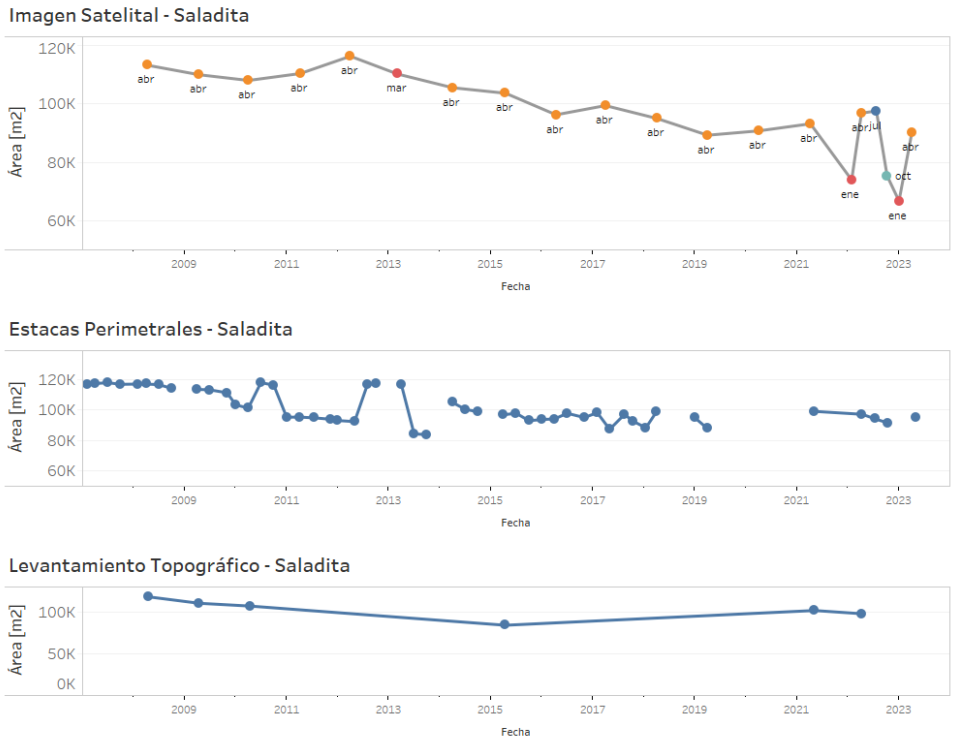
A continuación, en la Figura 6-100, se muestran series de tiempo de área para cada una de las lagunas. Es necesario destacar que, la medición de estacas perimetrales no aplica para el caso de laguna interna.

Figura 6-100: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Salada.



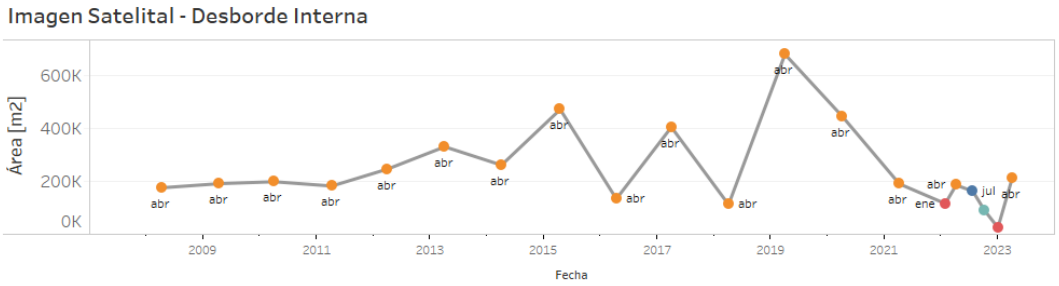
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-101: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en Saladita.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-102: Series de tiempo históricas de superficie lacustre en laguna Interna.

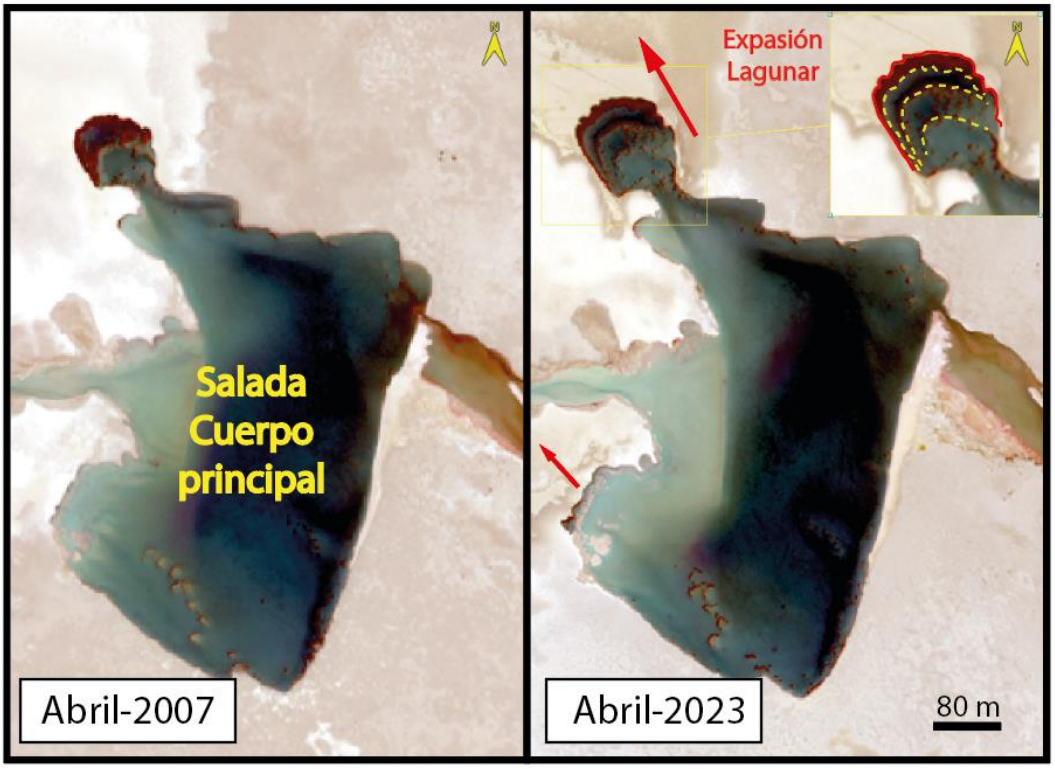


Fuente: Elaboración propia

La evolución histórica de laguna Salada (Figura 6-100) muestra un ascenso marginal de área entre abril del 2022 y 2023 (así como un esperable aumento de extensión lagunar entre enero y abril del presente reporte). En términos espaciales, este aumento 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 SSI (Salada-Saladita-Interna). Los mapas de la Figura 6-103 muestran esta expansión reciente comparando dos imágenes satelitales de abril (2007 y 2023).

Figura 6-103: Comparación satelital de Salada (Cuerpo principal) entre 2007 y 2023 en los meses de abril. Notar expansión lagunar en dirección noroeste.

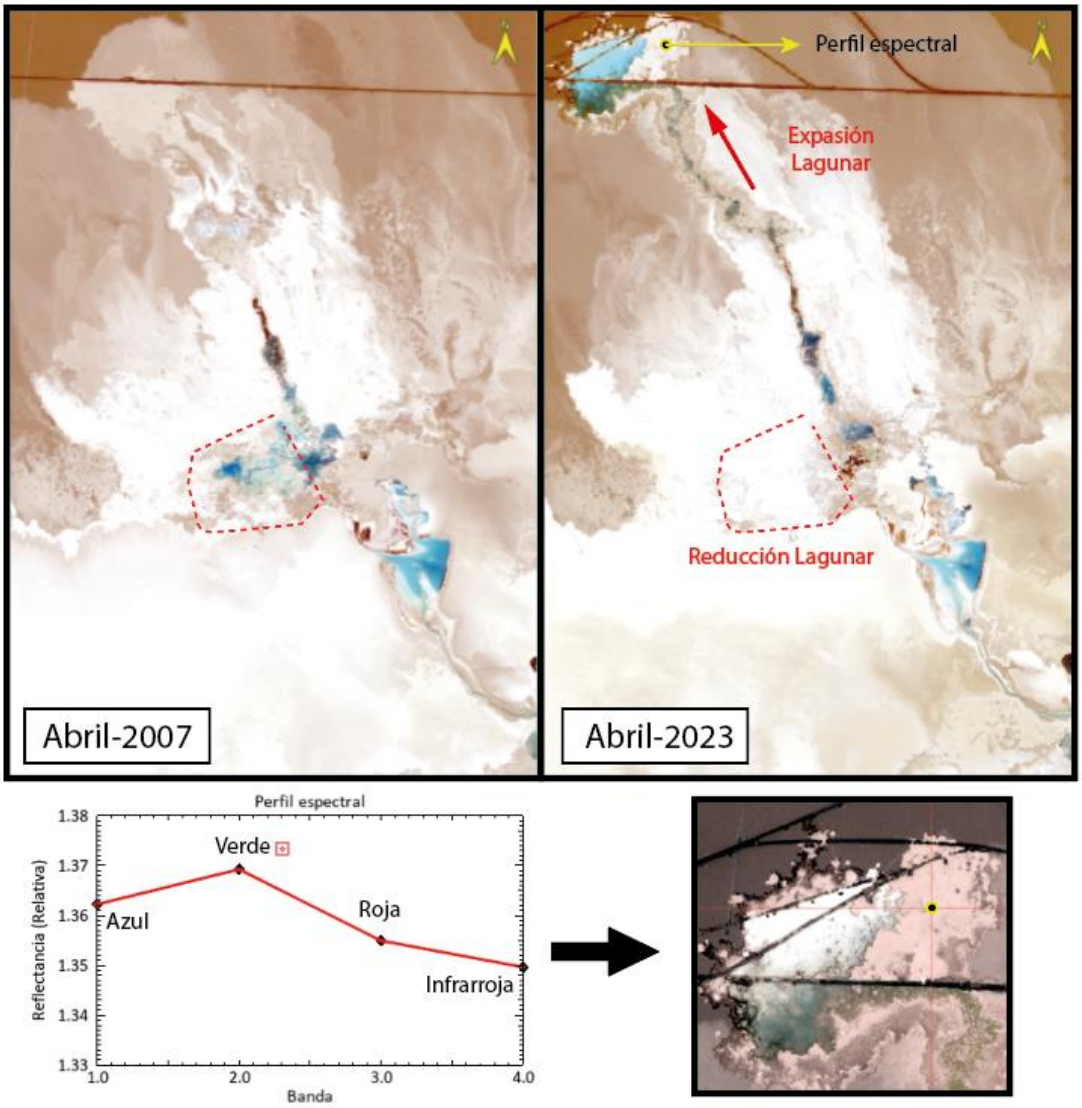


Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el sistema Saladita-Interna presenta importantes variaciones espaciales de superficie lacustre. La Figura 6-104 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 la misma con dirección noroeste (similar que, en laguna Salada, Figura 6-104), importantes desbordes en sector aledaño a cuerpo principal de Laguna Saladita y reducción de extensión lagunar hacia el oeste de sector sur de laguna Interna. Es importante mencionar, que zonas cercanas a cuerpo distal de laguna 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.

Figura 6-104: 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. En parte inferior, se muestra perfil espectral recuperado sobre zona de costra.

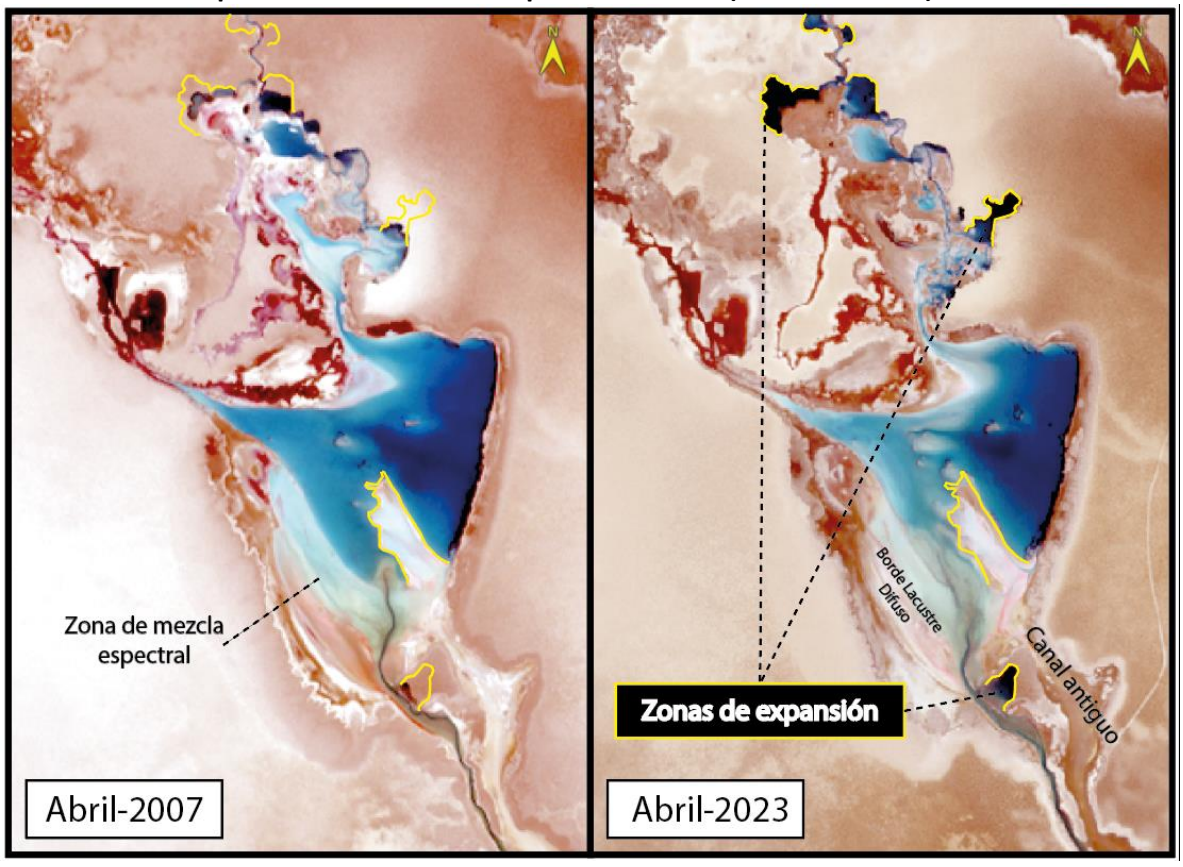


Fuente: Elaboración propia

Bajo este contexto, la alta variabilidad de extensión lacustre en laguna Saladita puede explicarse en primer orden por dos hipótesis no excluyentes. La primera se relaciona con una elevada probabilidad

de sedimentación activa hacia la zona deltáica o entrada de agua proveniente de laguna Salada; esto no solo se manifiesta por efectos de mezcla espectral en bordes lacustres difusos (Figura 6-105), 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 6-105: 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).



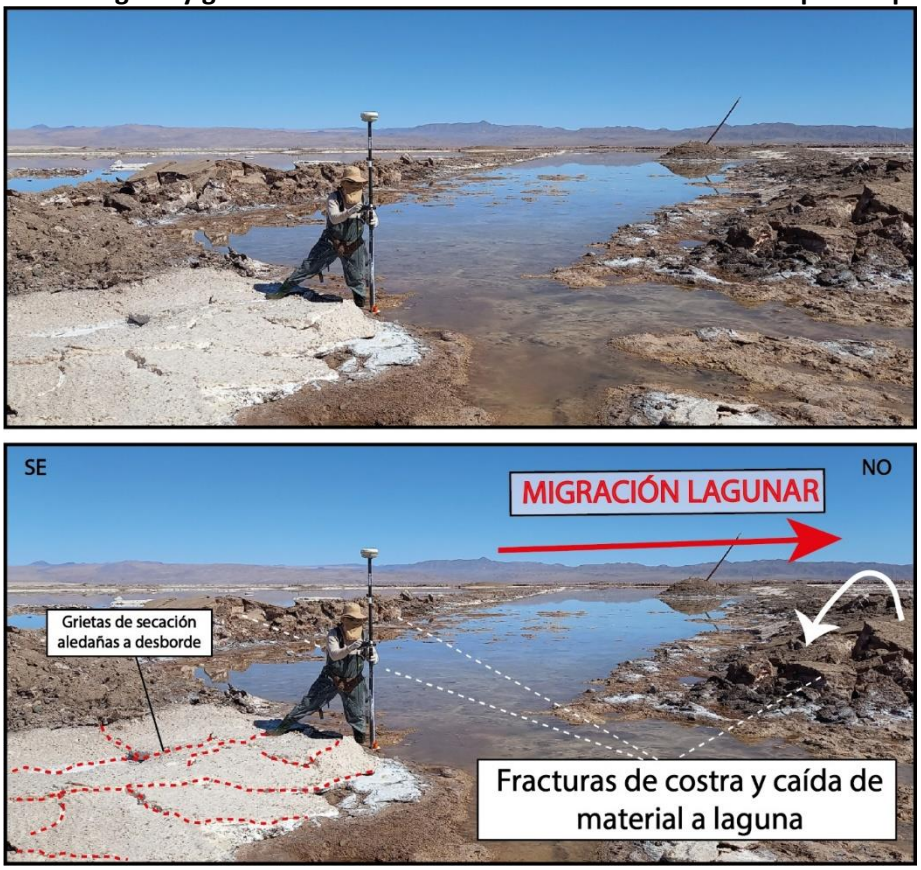
Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, SQM está trabajando activamente en una zonificación consistente de límites lagunares que se traduzca en el seguimiento coherente de cuerpos principales en el tiempo y, además, permita la incorporación de nuevos desbordes debido a la alta dinámica lagunar. Estas zonas de

seguimiento son consistentes con límites lagunares actuales y han sido empleadas para estudios históricos con imágenes de alta resolución entregados bajo el contexto de Adenda Complementaria 2023 del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), como parte de la mejora continua del seguimiento de variables medioambientales.

Finalmente, el desborde de laguna interna, en su parte distal, muestra claras evidencias de migración lagunar en dirección al núcleo del salar y en particular, en dirección preferencial noroeste. La Figura 6-106, muestra evidencia de terreno de progradación continua del borde lacustre, manifestado tanto con grietas de fracturas paralelas al borde lacustre como la presencia de material (costra) volcada y depositada sobre el cuerpo lagunar. Este comportamiento también es observado en partes terminales de otros sistemas lacustres con dinámica activa, como es el caso de Desborde Sur en sector de Soncor.

Figura 6-106: Toma de punto de control en terreno en zona distal de Desborde Laguna Interna. Notar caída de material a laguna y grietas de secado debido a cambios en humedad por evaporación.



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.3 Calidad química

A continuación, se analizan los resultados del monitoreo de calidad del agua realizado el primer semestre de 2023 en el Sistema Peine, tanto en el agua superficial como en el agua subterránea en comparación con su evolución histórica.

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[44]. 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 Medición 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 4.5.8.3).

[44] 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.

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 parámetros monitoreados en ellos se muestra en la Figura 6-107, Figura 6-108 y Figura 6-109[45, 46,] respectivamente, y corresponden a: conductividad terreno, pH terreno, densidad terreno, conductividad, densidad, alcalinidad bicarbonato, 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 se ubica en la zona marginal al oeste de las lagunas, y el pozo 1028 en el límite norte de la zona marginal con el núcleo.

Los resultados del primer semestre para los distintos analitos y puntos se encuentran dentro del rango histórico registrado.

El pozo L10-1, ubicado en el comienzo de la zona marginal al sur este, presenta la menor conductividad con valores promedio menores a 15.000 µS/cm y densidad promedio de 1,0 g/mL (correspondiente a aguas salobres, ya que este sector es la transición de la recarga que recibe el salar desde el aluvial al sur, (Tabla 4-17) sin grandes variaciones en la tendencia, mismo fenómeno se observa para los sólidos disueltos totales, sólidos totales y sólidos suspendidos totales. Se observa para este pozo el mayor pH, cercano a 8 en promedio (terreno), y la densidad de terreno no muestra variaciones respecto al registro histórico.

[45] 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.

[46] 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).

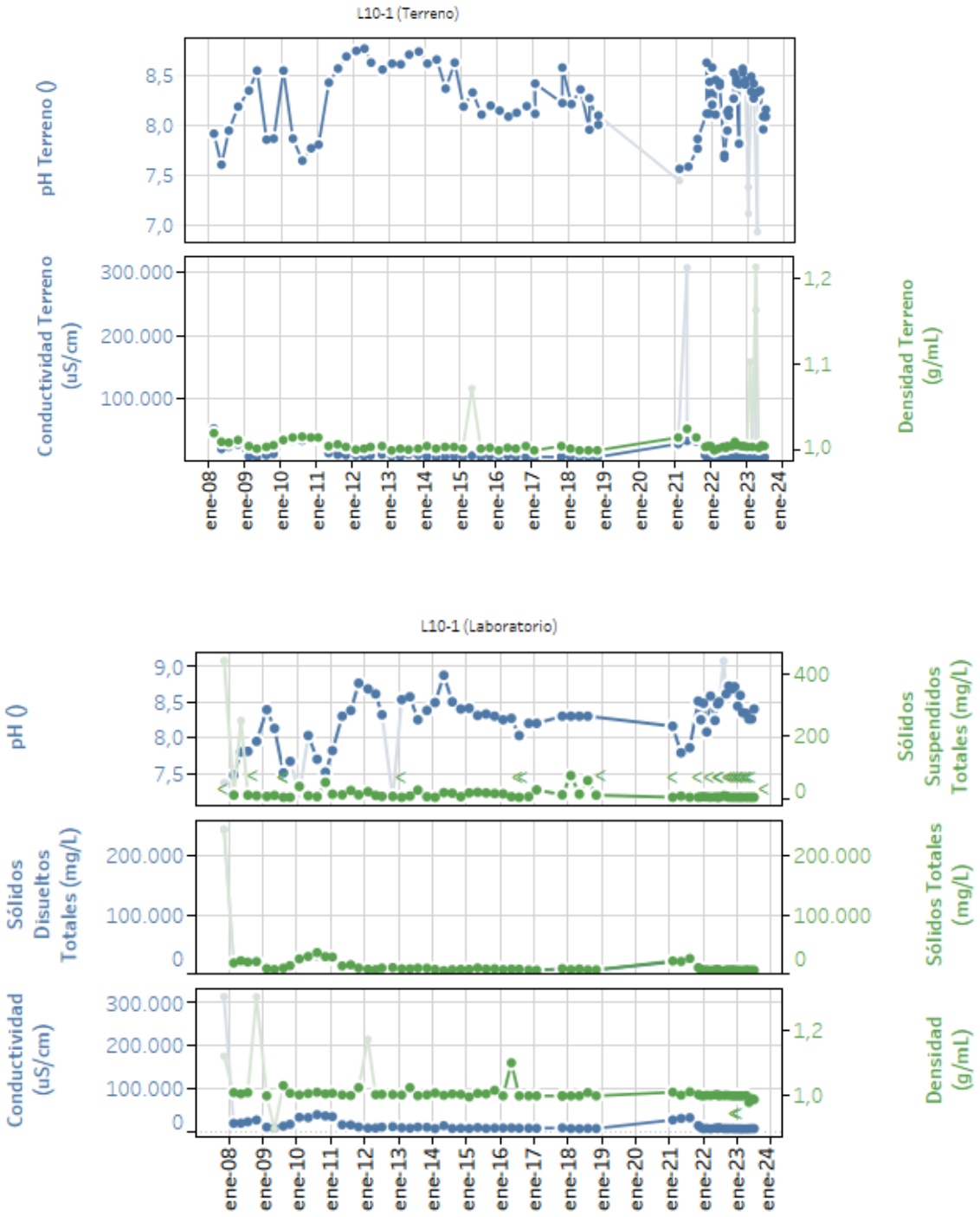
El pozo L10-4, presenta conductividad promedio sobre 150.000 µS/cm y densidad promedio de 1,1 g/mL, con pH terreno alrededor de 7,5. Se observa desde mediados de 2015 a 2020 un leve incremento de la conductividad de terreno y laboratorio en este pozo, mismo fenómeno se observa para los sólidos disueltos totales y sólidos totales, no así los sólidos suspendidos totales.

Por último, el pozo 1028 ubicado en el núcleo del Salar de Atacama se caracteriza por registrar la mayor conductividad de terreno y laboratorio, del orden de 230.000 µS/cm consistente con un agua de tipo salmuera (Tabla 4-17) y densidad promedio de 1,2 g/mL, y un pH del orden de 6,9 promedio. Los sólidos disueltos totales y sólidos totales presentan un comportamiento monótono hasta fines del 2015, con un valor promedio para ambos parámetros de 200.000 mg/L, y a partir de esa fecha un aumento del registro de ambos parámetros a valores del orden de 340.000 mg/L. 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 tendencias identificadas:

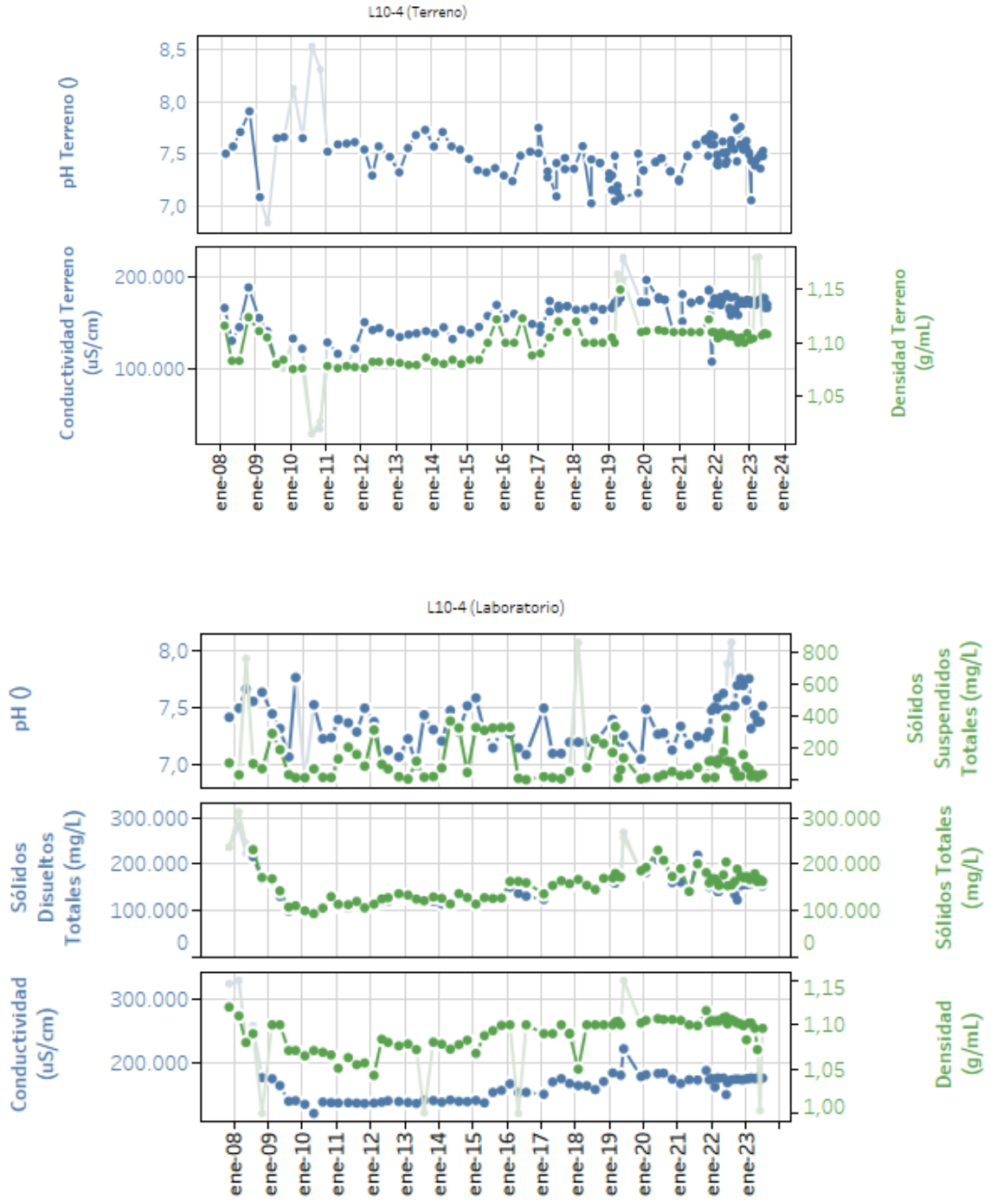
- En relación con la evolución temporal, las tendencias más claras se observan el leve aumento de las concentraciones de conductividad, sólidos disueltos totales y sólidos totales en el punto L10-4.
- El pozo L10-1 no presenta tendencias para ninguno de los parámetros analizados.
- El pozol L10-4 se observa tendencia ascendente para conductividad y densidad de terreno y laboratorio y para sólidos disueltos totales, y no así los sólidos suspendidos totales.
- Para el punto de muestreo 1028, 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 muestran en los laboratorios de ALS, como se indica en PSAH N°26 del año 2019 de acceso público en SNIFA.

Figura 6-107: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-1



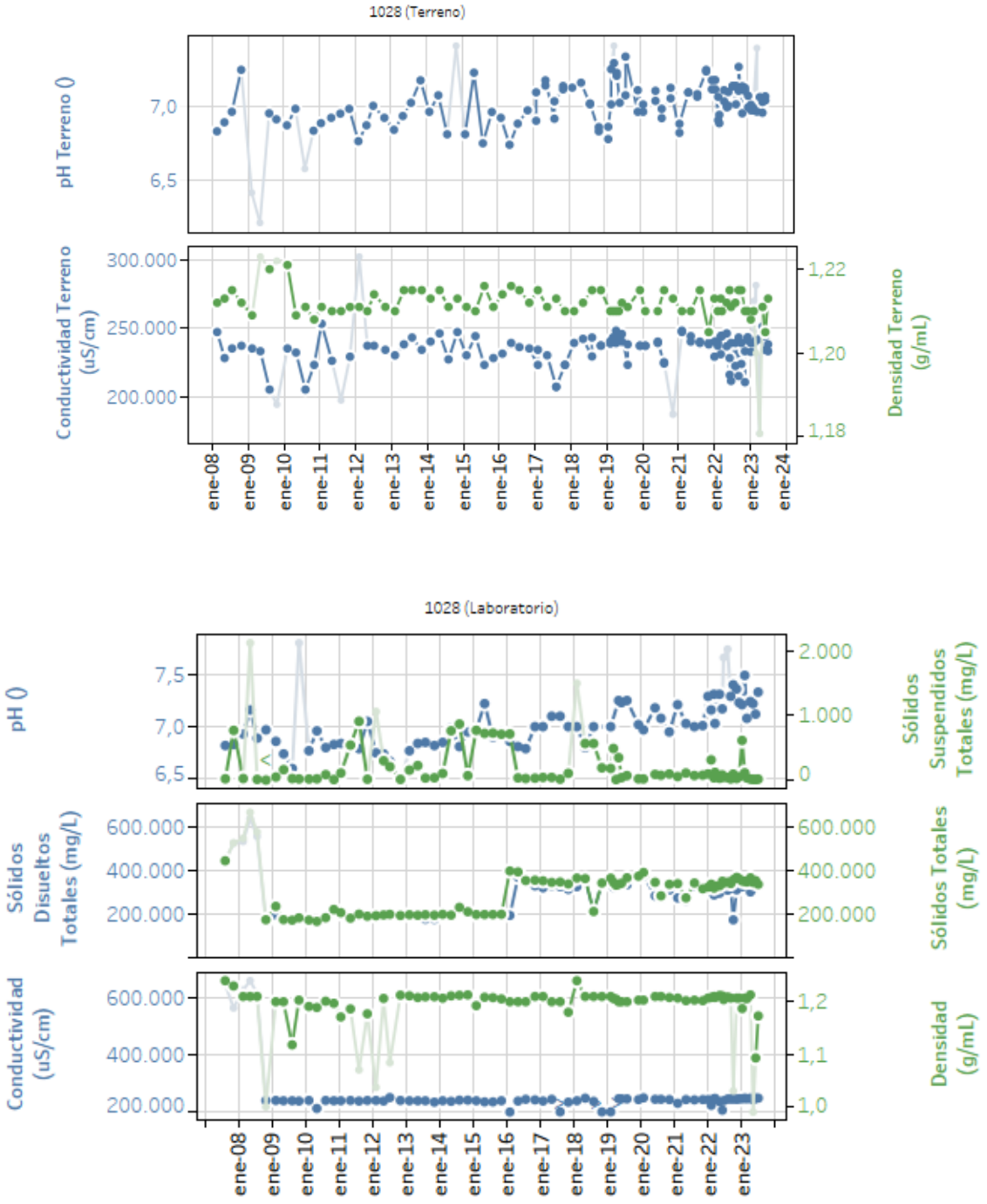
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-108: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo L10-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-109: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1028



Fuente: Elaboración propia. Los valores >LM se presentan = LM y con la etiqueta “>” en el color del parámetro que representa. Los valores validados según concentración se muestran resaltados.

Respecto a las tendencias, el punto L10-1 no presenta tendencias para ninguno de los parámetros analizados. En el L10-4 se observa tendencia ascendente para conductividad y densidad de terreno y laboratorio y para sólidos disueltos y totales. El pH muestra tendencia descendente. El punto 1028 se muestra estable en todos sus parámetros, mostrando únicamente una leve tendencia al ascenso para el pH.

6.1.4.3.2 Calidad del agua en sistemas lacustres

Durante el primer 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). Las figuras, Figura 6-110, Figura 6-111 y Figura 6-112 presentan la evolución histórica de los parámetros analizados, los cuales corresponden a: conductividad terreno, pH deterreno, 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 un marcado comportamiento estacional, controlado por la evaporación y el régimen de caudales que las recargan, para la mayoría de los parámetros, alcanzando valores máximos en verano y mínimos en invierno en concordancia a los ciclos evaporativos.

Los resultados del primer semestre 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 de terreno se registra desde el año 2017 y en promedio para cada punto se mantiene estable en el rango histórico, con valores en torno a los 50.000 µS/cm en la laguna Interna (característico de agua salada, Tabla 4-17), y en torno a los 40.000 µS/cm en la laguna Saladita y bajo 40.000 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, un mayor valor en la laguna Interna, que se ubica próxima al núcleo del salar (sólidos suspendidos totales promedio en torno a los

45.000 mg/L histórico hasta fines de 2018), y disminuye en la laguna Salada (sólidos suspendidos totales promedio en torno a los 35.000 mg/L histórico hasta fines de 2018). Y para la salinidad, se observa la laguna interna con registros promedio en el último periodo en torno a 35% y las lagunas Saladita y Salada en 25%, mostrando el mismo comportamiento descrito previamente. Para los valores a contar de 2021 en delante de los parámetros Sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales se observa una baja en las concentraciones promedio.

La temperatura registrada en terreno muestra la variación estacional propia de esta variable, y para el oxígeno disuelto no se puede establecer un comportamiento 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 (CaCO3), 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 delante muestran una baja en las concentraciones promedio.

Los parámetros bicarbonatos y carbonatos cuentan con registros solo hasta principios de 2019, se recomienda retomar el análisis de estos parámetros y así poder complementar su descripción dadas las características del sistema y el suelo salino en el cual se desarrollan estos cuerpos de agua.

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 6-110: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada

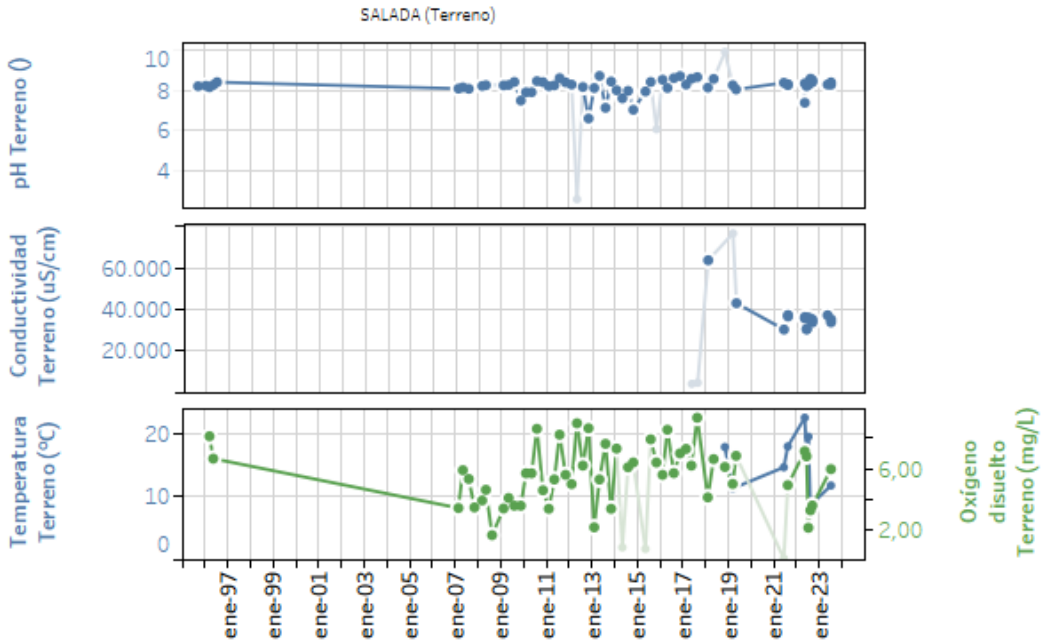
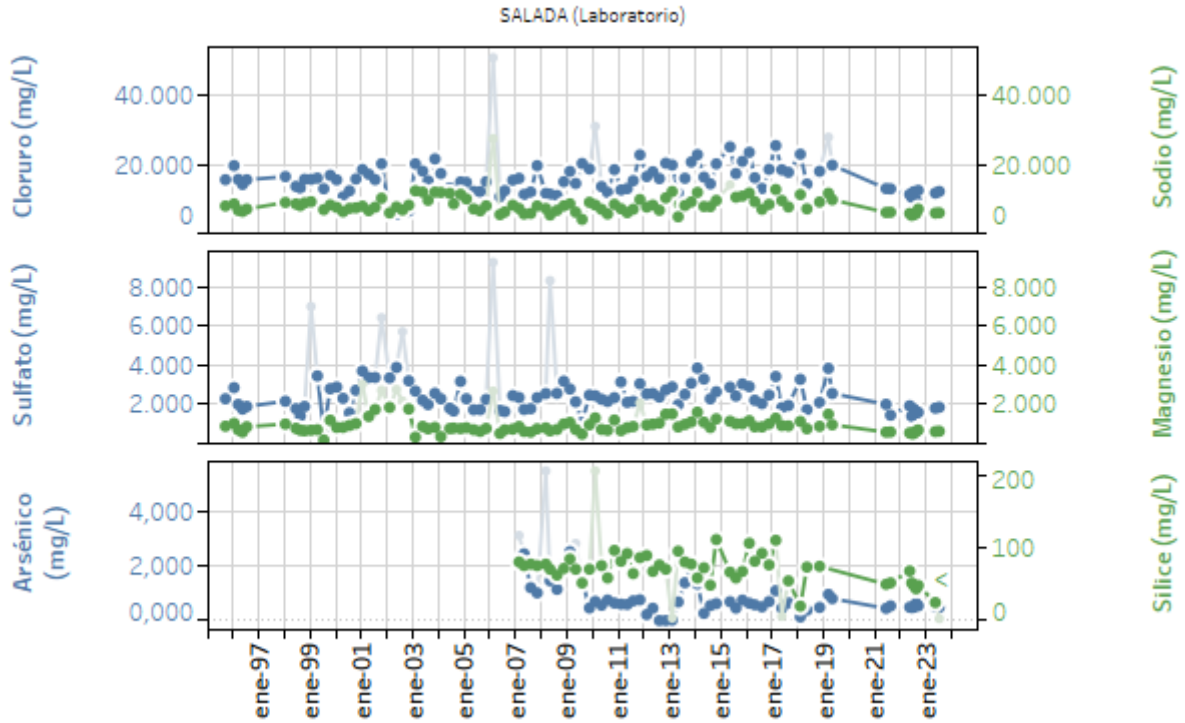


Figura 6-110 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada



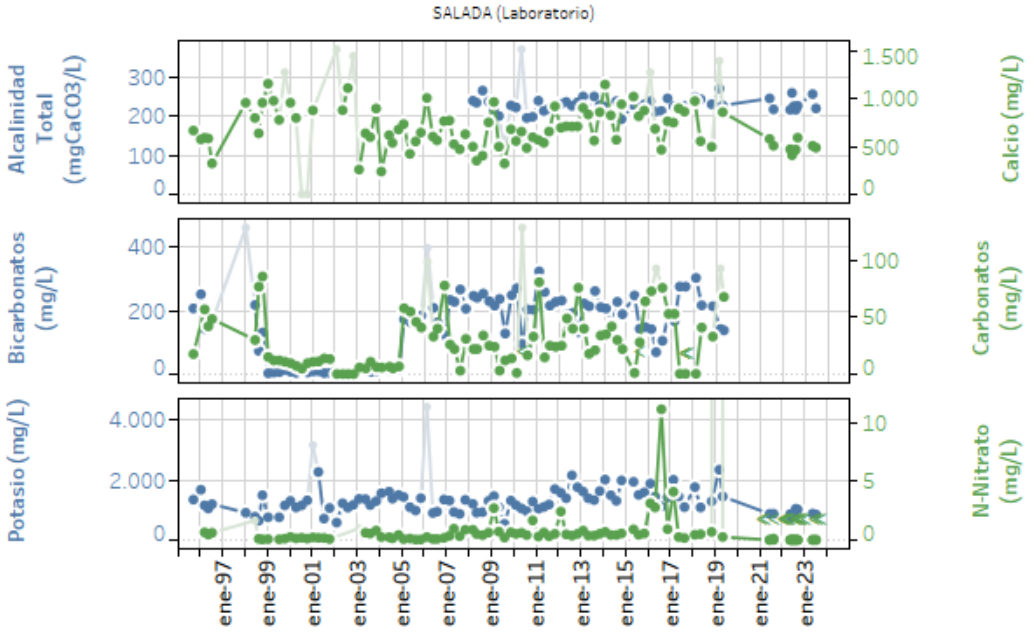
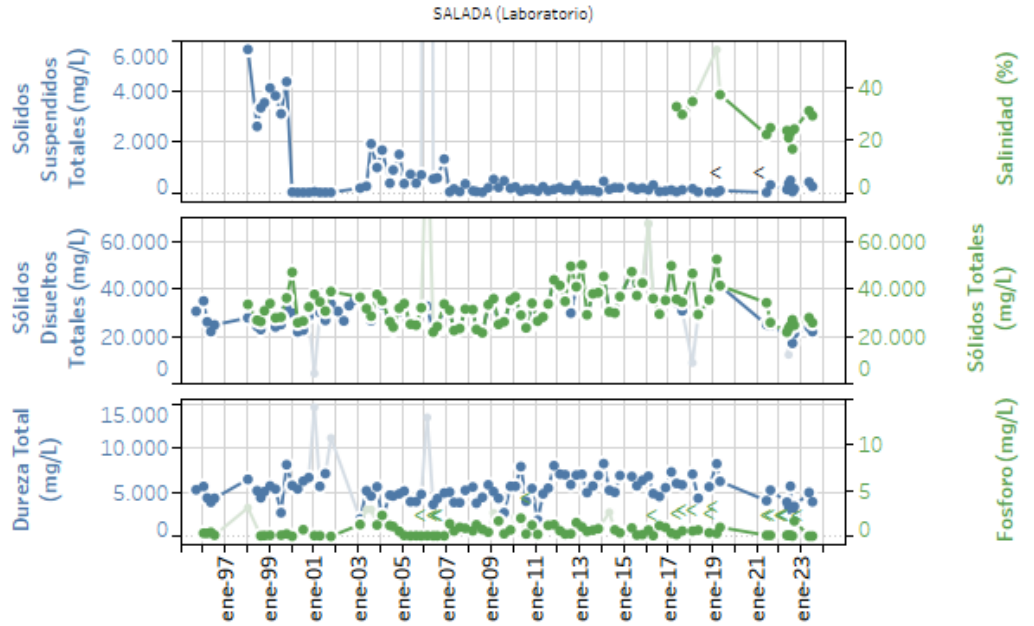


Figura 6-110 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Salada



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 6-111: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Saladita

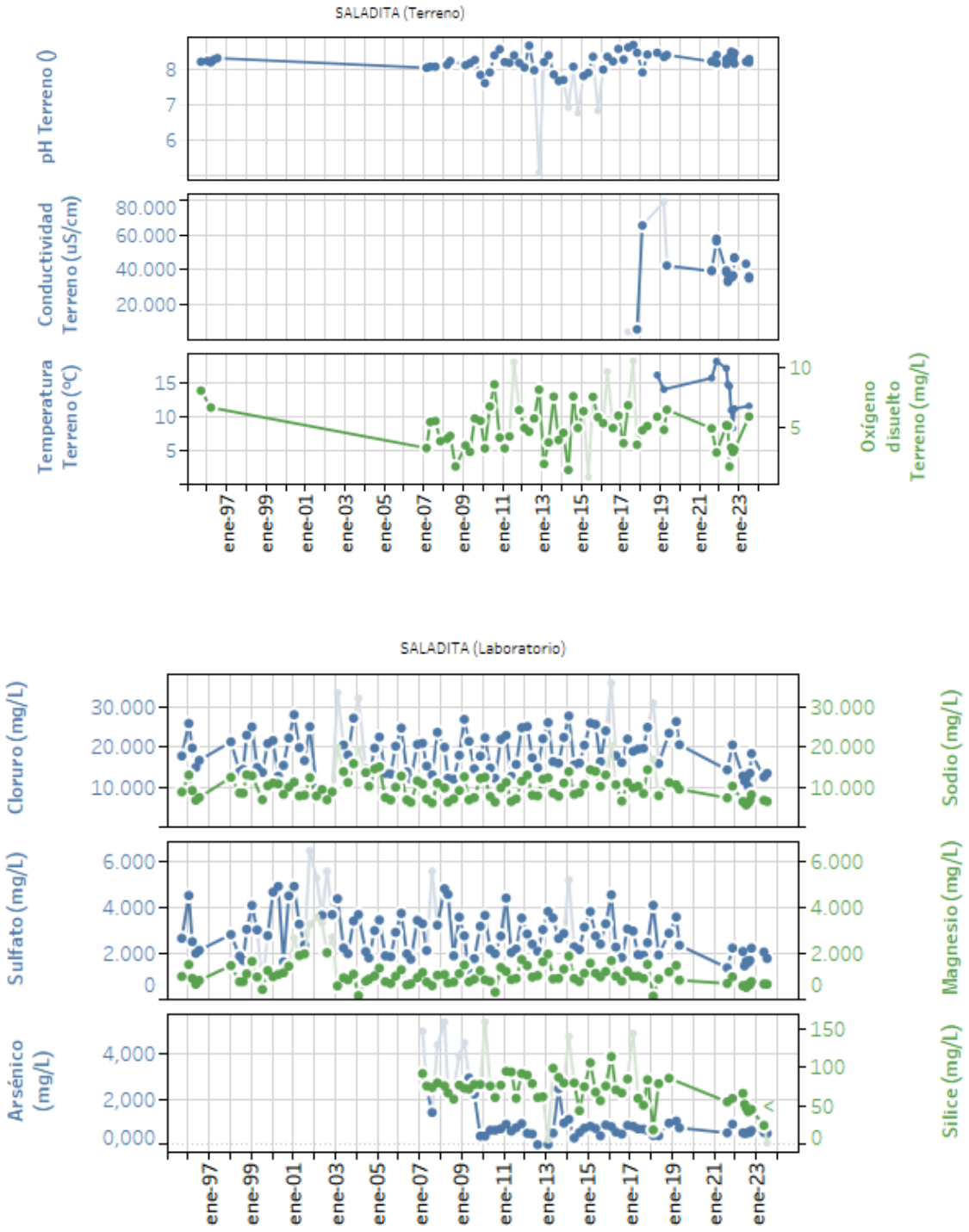
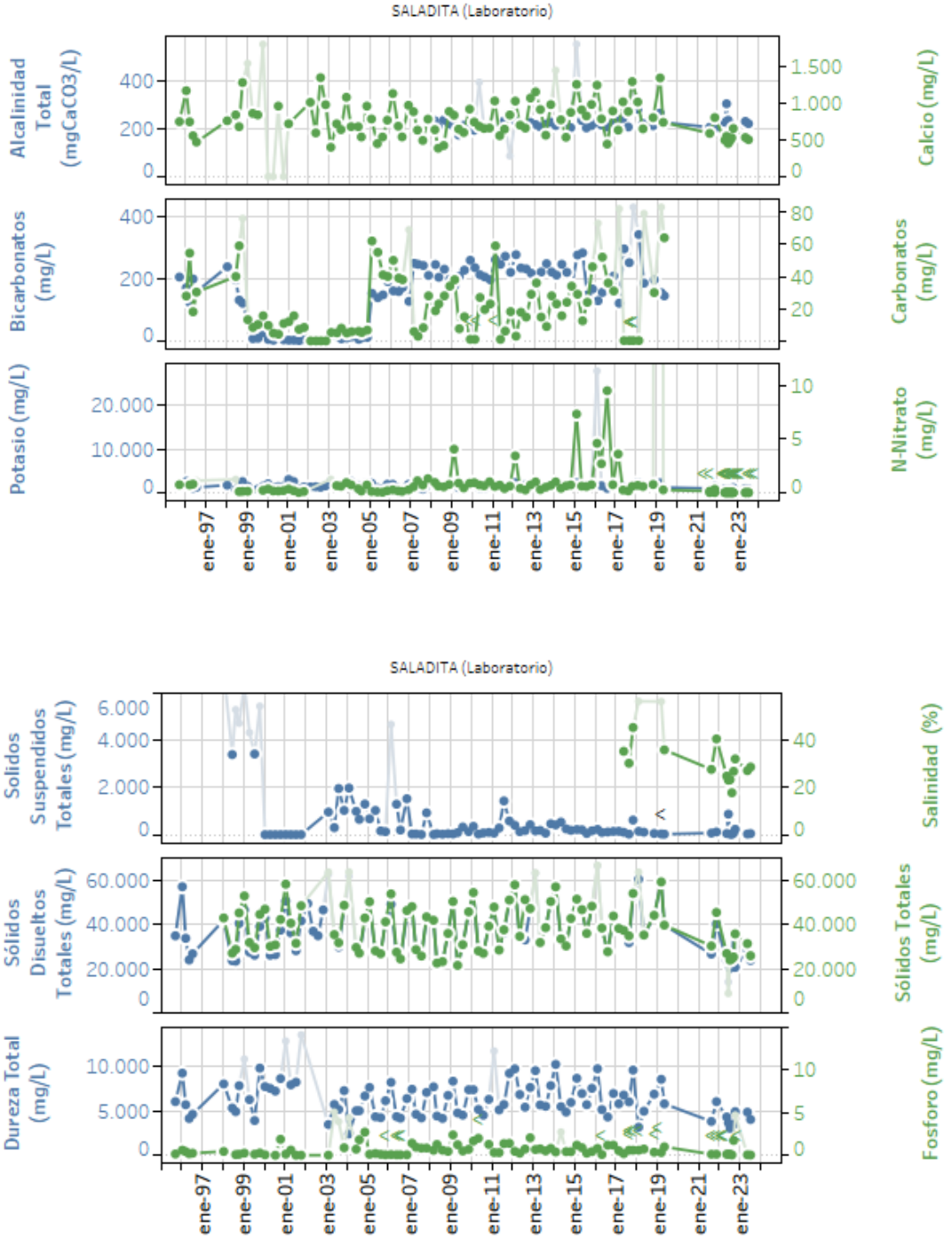


Figura 6-111 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Saladita



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 6-112: Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Interna

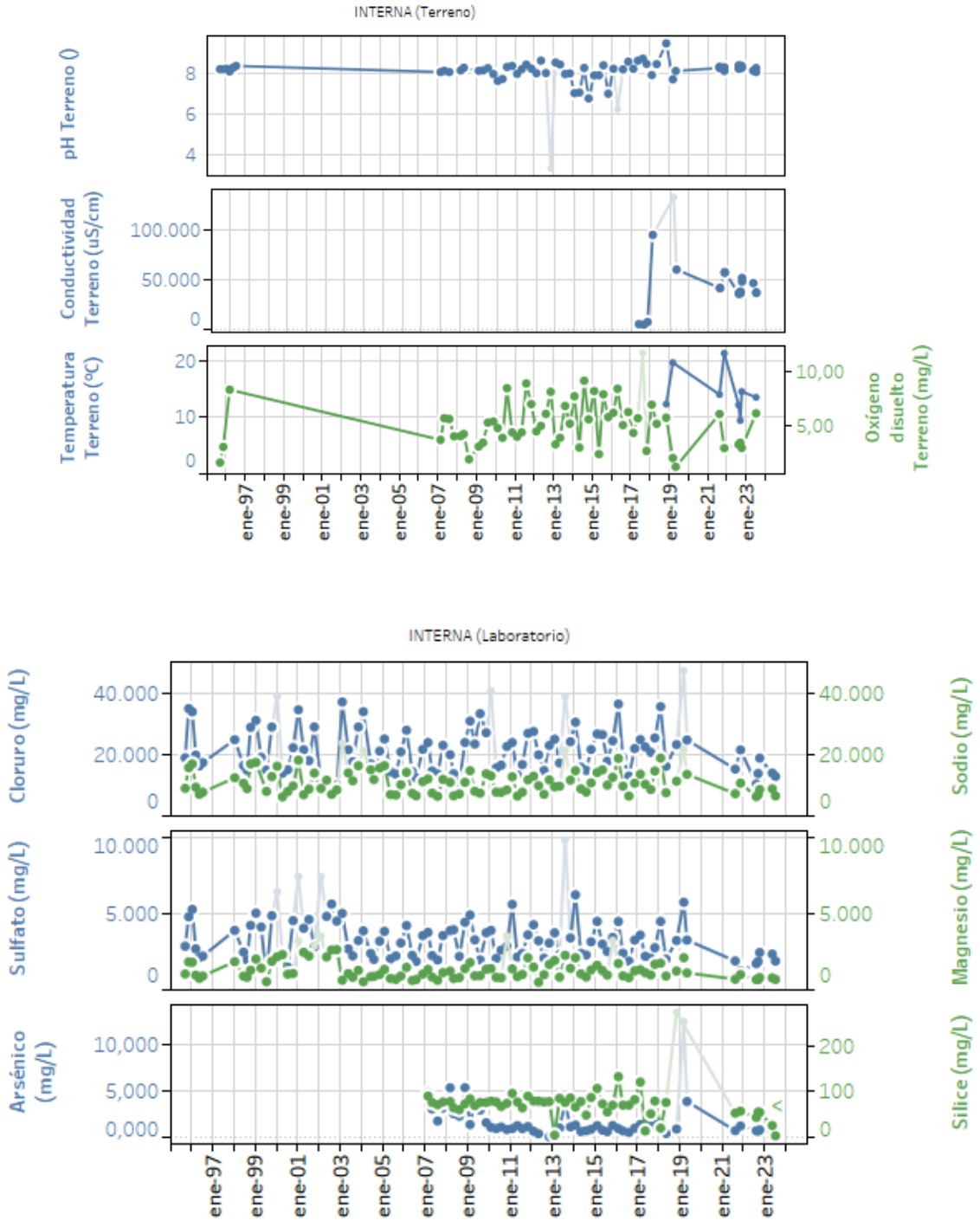
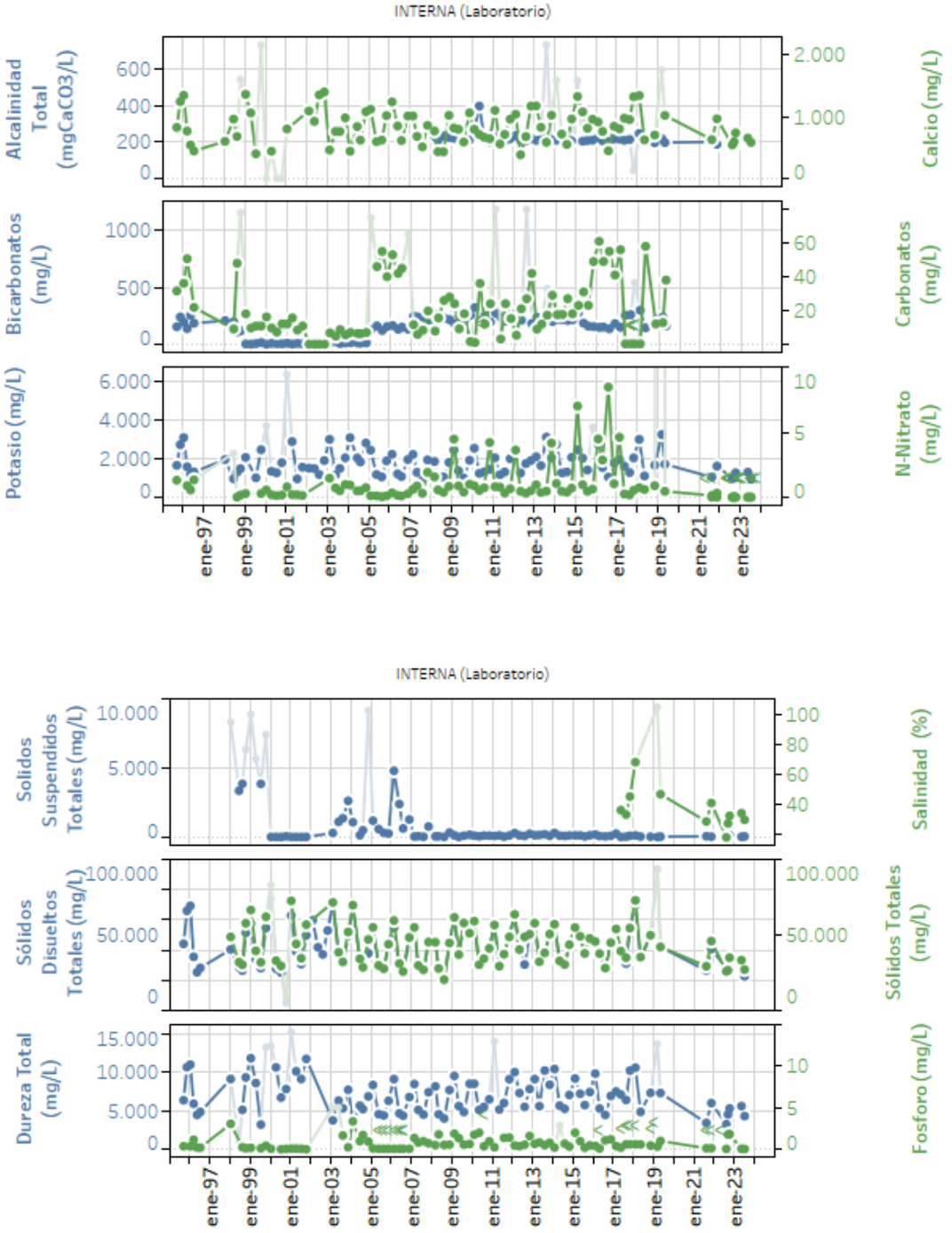


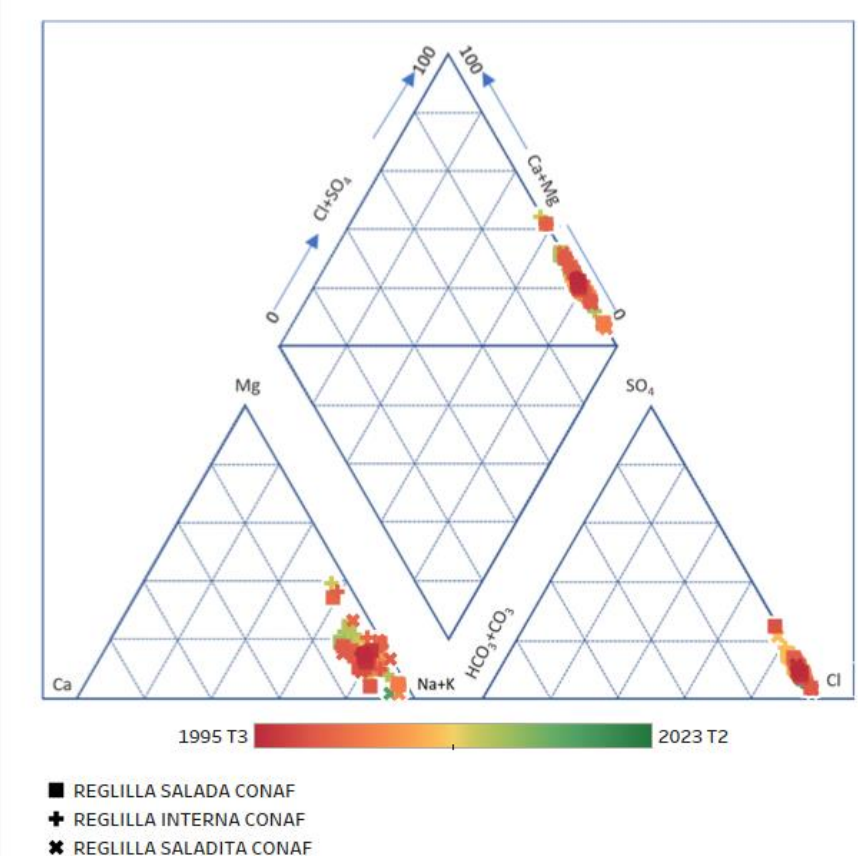
Figura 6-112 (Continuación): Evolución histórica de la calidad del agua en laguna Interna



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 6-113 se observa el diagrama de Piper para los tres puntos de agua superficial en sistema Peine que todas las lagunas se clasifican como cloruradas sódicas y no se observa ninguna tendencia en el diagrama de Piper ni en su evolución temporal, mostrada en las figuras anteriores.

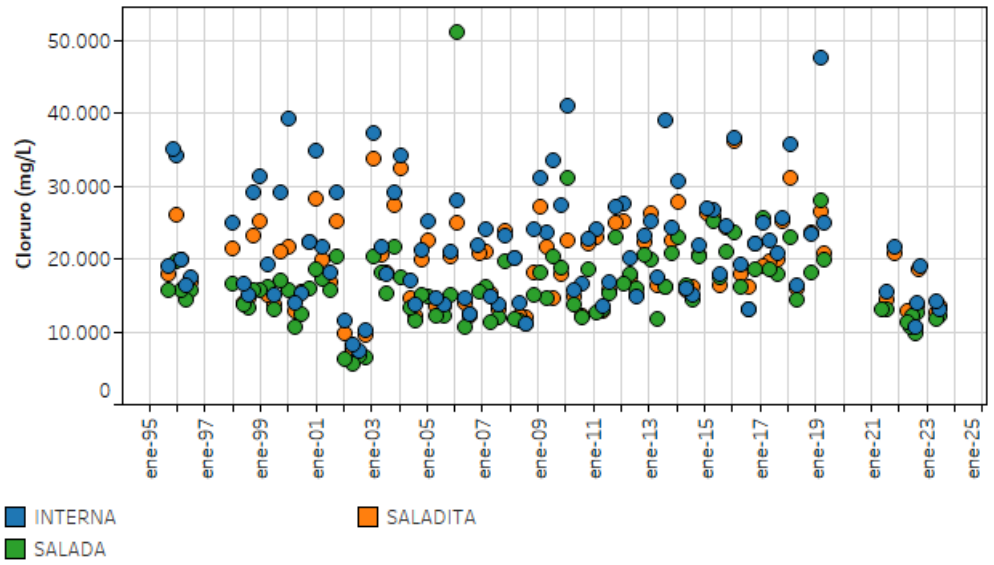
Figura 6-113: Diagrama de Piper para las muestras en las lagunas del sistema Peine, con un BI>10%



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 en este mismo sentido (Figura 6-114), debido fundamentalmente a evaporación y en menor medida, a disolución de sales. De esta manera, las mayores concentraciones se registran en la laguna Interna, cuerpo terminal del sistema Peine desde el cual se producen desbordes hacia el núcleo con extensión muy variable. Y las menores concentraciones se registran en la laguna Salada. Los valores de cloruro a contar de 2021 a la fecha muestran una menor dispersión.

Figura 6-114: Evolución cloruros en las lagunas Salada, Saladita e Interna



Fuente: Elaboración propia

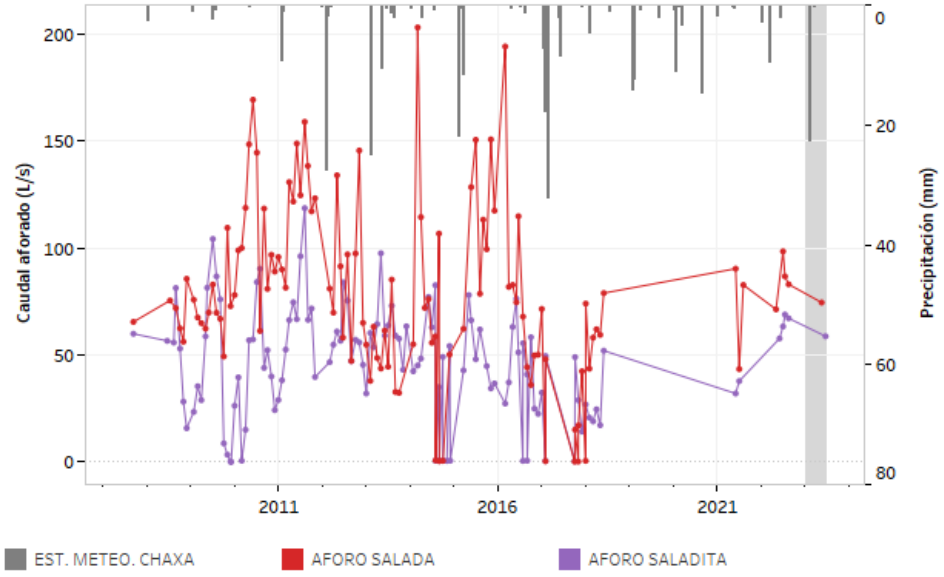
6.1.4.4 Caudal de recarga superficial (aforos)

La red de monitoreo para la variable de caudal superficial del Sistema Peine está compuesta por los puntos de aforo Salada y Saladita, ubicadas en los canales que alimentan dichas lagunas. En la Figura 6-115 se muestran las mediciones realizadas hasta el final del primer semestre 2023. El punto de Salada y Saladita solo conto con autorización de ingreso para su medición en el mes de mayo y junio 2023 respectivamente.

Respecto del registro histórico obtenido (ver Figura 6-115), puede observarse como 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 hasta mayo de 2021, con posteriores visitas intermitentes hasta el presente (2023). Sin embargo, las restringidas mediciones que se han realizado desde 2021 no permiten asegurar que este comportamiento siga manteniéndose hasta hoy; tampoco es posible determinar las causas de este comportamiento hasta el primer semestre de 2023, ya que, no se tienen datos suficientes para obtener la frecuencia de los ciclos.

Respecto el aforo de Saladita, también es posible interpretar ciclos de frecuencia menor al año; en el periodo entre 2009 y 2012 se produce una tendencia promedio ascendente y posteriormente, entre 2013 a 2018 la tendencia promedio es descendente pese a los ascensos que se registran durante 2022 y 2023. No obstante, dado la estreches serie de mediciones, no es posible confirmar este comportamiento ni realizar una interpretación de cambios en la tendencia. Por lo tanto, es necesario disponer de un mayor registro de datos para ir comprobando estas variaciones a lo largo del tiempo.

Figura 6-115: Registro histórico de las mediciones de aforo en el sistema Peine

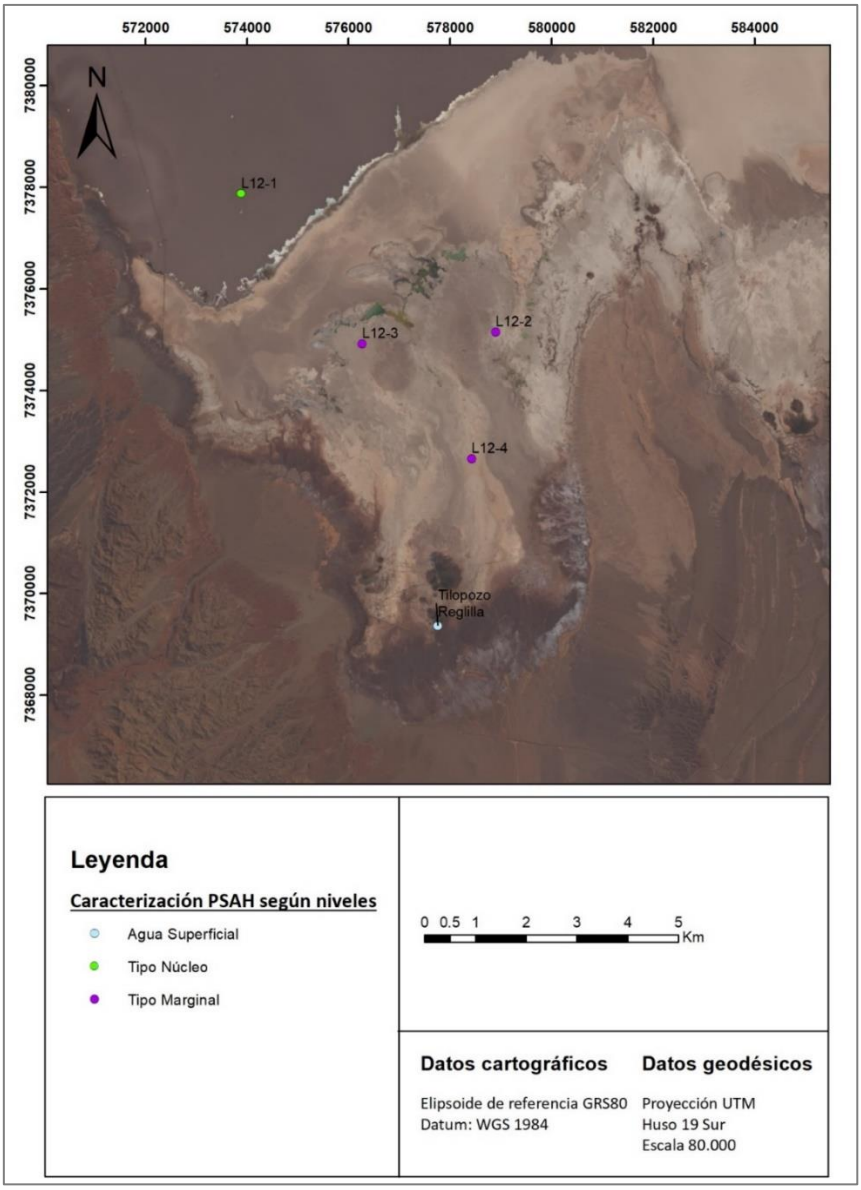


Fuente: Elaboración propia

6.1.5 SECTOR VEGAS DE TILOPOZO

Las observaciones que se realizan en este sistema tienen por objetivo monitorear el comportamiento de las vegas y bofedales del sector de Tilopozo. En la Figura 6-116 se muestran las infraestructuras comprendidas en esta área.

Figura 6-116: Infraestructura englobada en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia.

6.1.5.1 Niveles de agua subterránea y superficial

6.1.5.1.1 Pozos en zona marginal y núcleo

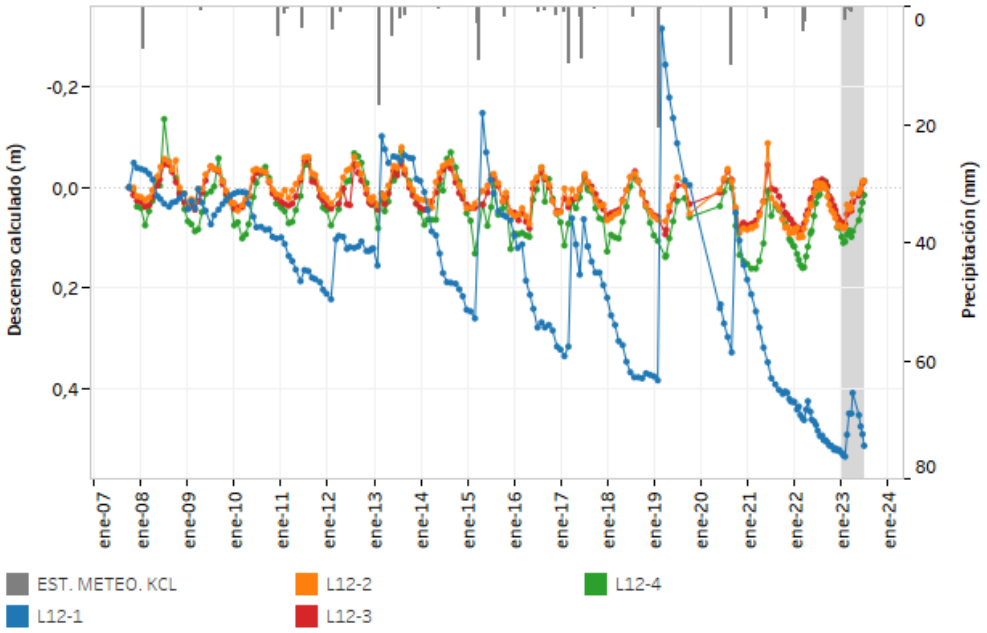
Los puntos de control en la zona marginal y núcleo corresponden al L12-1, L12-2, L12-3 y L12-4. En la Figura 6-117 se muestran los descensos calculados, los que permiten visualizar mejor los patrones de

comportamiento en comparación a los niveles, puesto que existen diferencias importantes de cotas en este grupo de pozos.

Como puede verse 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 como los niveles reproducen un descenso promedio con una tasa de entre 0,5 y 0,9 cm/año. Pero a partir de 2021 se intuye como la tendencia en los tres casos se revierte y asciende; puede verse por ejemplo como los mínimos estacionales de los últimos años (2022 y 2023) se ha estado produciendo cada vez en cotas más elevadas, las tasas obtenidas serían de entre 3 y 5 cm/año.

Por otro lado, se observa en la misma figura, que el punto L12-1 muestra un comportamiento claramente diferenciado al resto de los puntos graficados, y es que este punto refleja el comportamiento esperado para un punto presente en el núcleo; sin oscilación estacional, respuesta inmediata y clara a los eventos de lluvia y una tasa característica de descenso, que en este caso es de unos 4,17 cm/año. Para el primer semestre 2023 el punto muestra la esperada respuesta a los eventos de precipitación registrados estos mismos meses.

Figura 6-117: Descensos calculados en los puntos de la zona marginal y núcleo del sector Vegas de Tilopozo

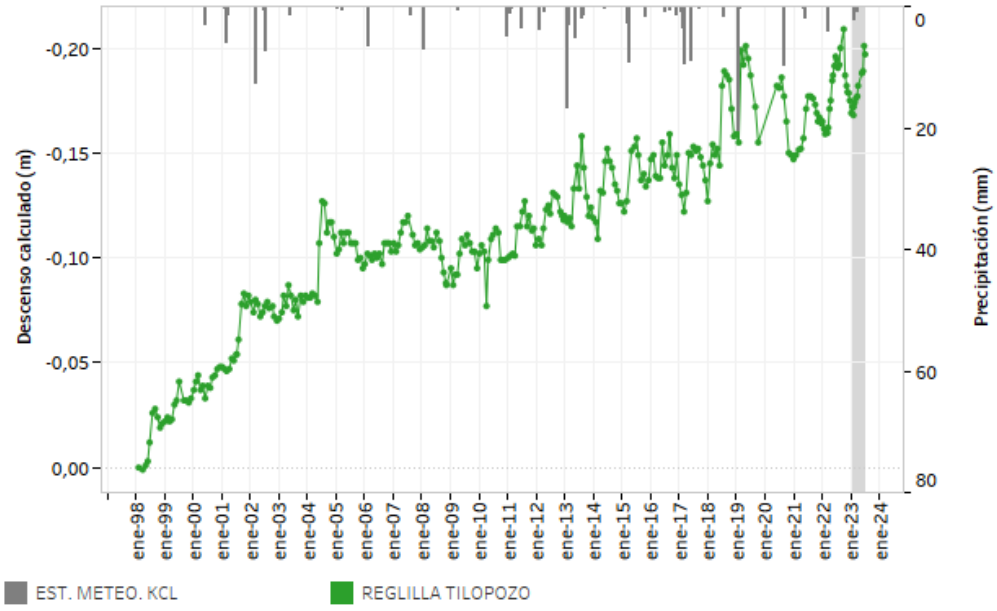


Fuente: Elaboración propia.

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 6-118. En ella se observa que el nivel del agua superficial se muestra oscilante y con una clara tendencia de ascenso desde el inicio de las mediciones, en donde la tasa ha ido variando levemente en el tiempo, pero si se considera el último periodo de entre 2008 y finales del primer semestre 2023, se tiene una pendiente ascendente de 0,6 cm/año.

Figura 6-118: Niveles medidos en la reglilla del sector Vegas de Tilopozo

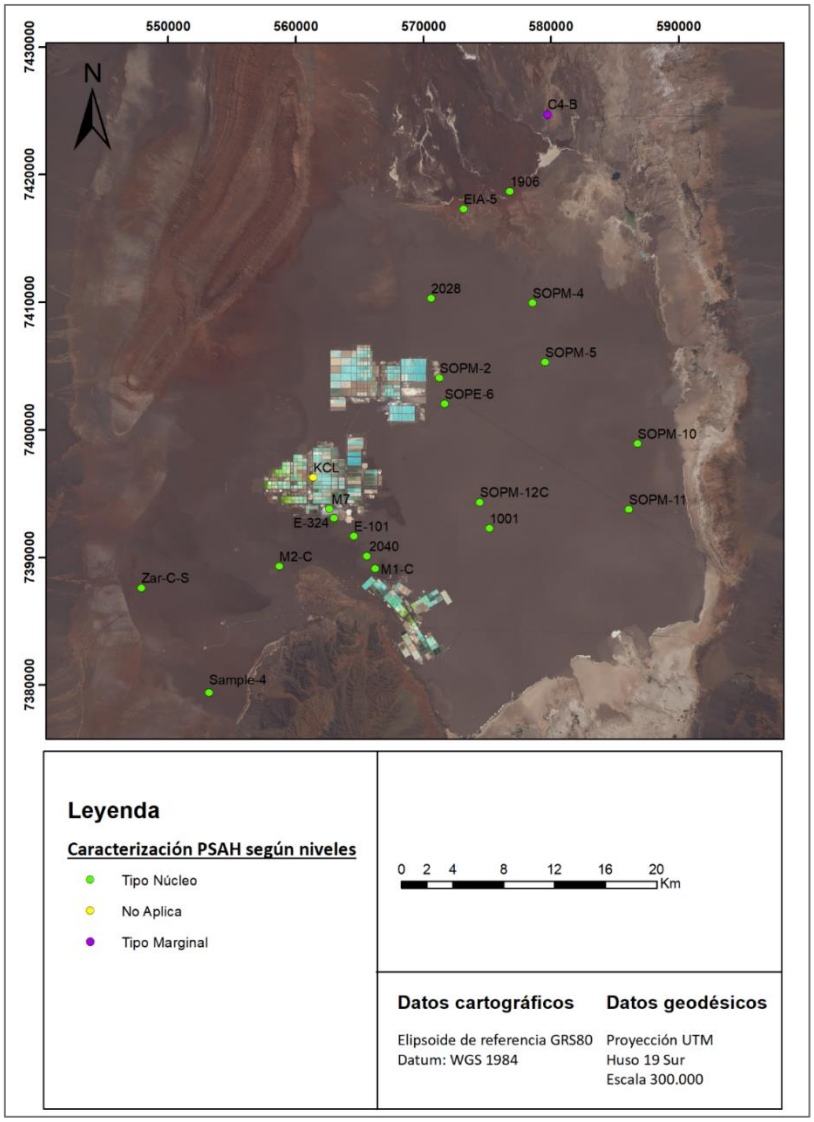


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

6.1.6 NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

En este capítulo se describe las infraestructuras situadas en el Núcleo del Salar de Atacama, infraestructuras que incluye también la estación meteorológica KCL (ver Figura 6-119).

Figura 6-119: Infraestructura englobada en el sector Tilopozo y clasificada según comportamiento de los niveles



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6.1 Niveles de agua subterránea

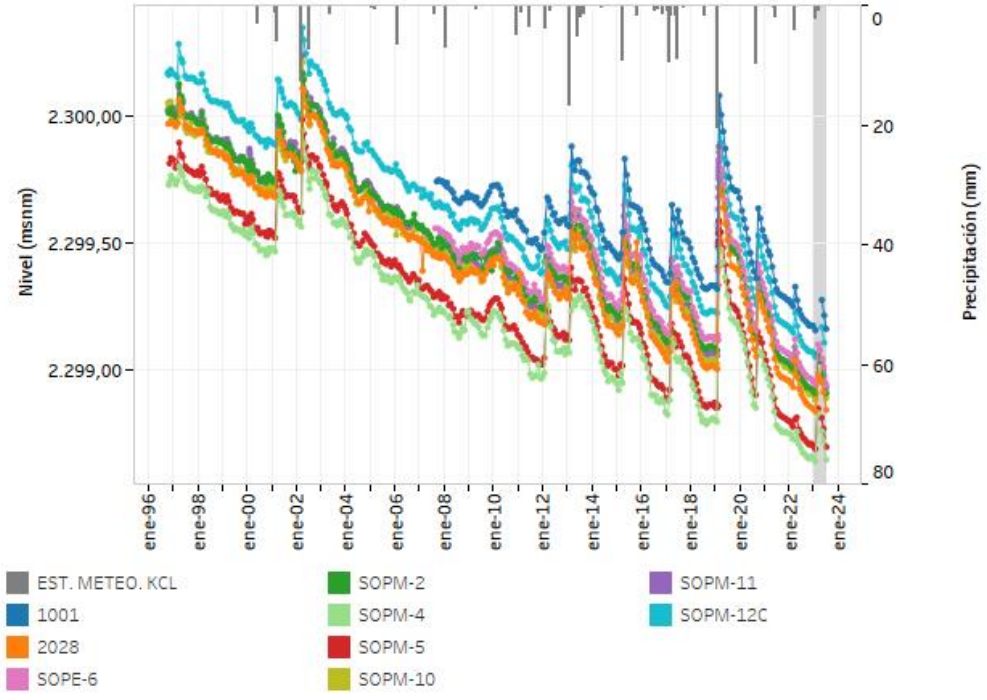
Los pozos que se encuentran ubicados en el sector Núcleo del Salar de Atacama (ver se han clasificado en grupos según su ubicación:

- 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 6-120.

- Pozos ubicados entre las pozas de SQM y de ALB: M7, E-324, E-101, 2040, M1-C. Se muestran en la Figura 6-121 y Figura 6-122.
- Pozos ubicados al Oeste del salar: M2-C, Zar-C-S y Sample-4. Se muestran en la Figura 6-123 y Figura 6-122.
- Pozos ubicados al Norte del Salar: EIA-5, 1906 y C4-B. se muestran en la Figura 6-124 y Figura 6-125.

Respecto los puntos que se encuentran en el borde este del núcleo del salar (Figura 6-120) 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 recupera en los episodios de precipitación. Justamente, en el primer semestre de 2023, se observa la respuesta de todos los puntos de este grupo a los eventos de precipitación que se han registrado estos mismos meses.

Figura 6-120: Niveles medidos en los pozos que se encuentran en el borde Este del núcleo del salar



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

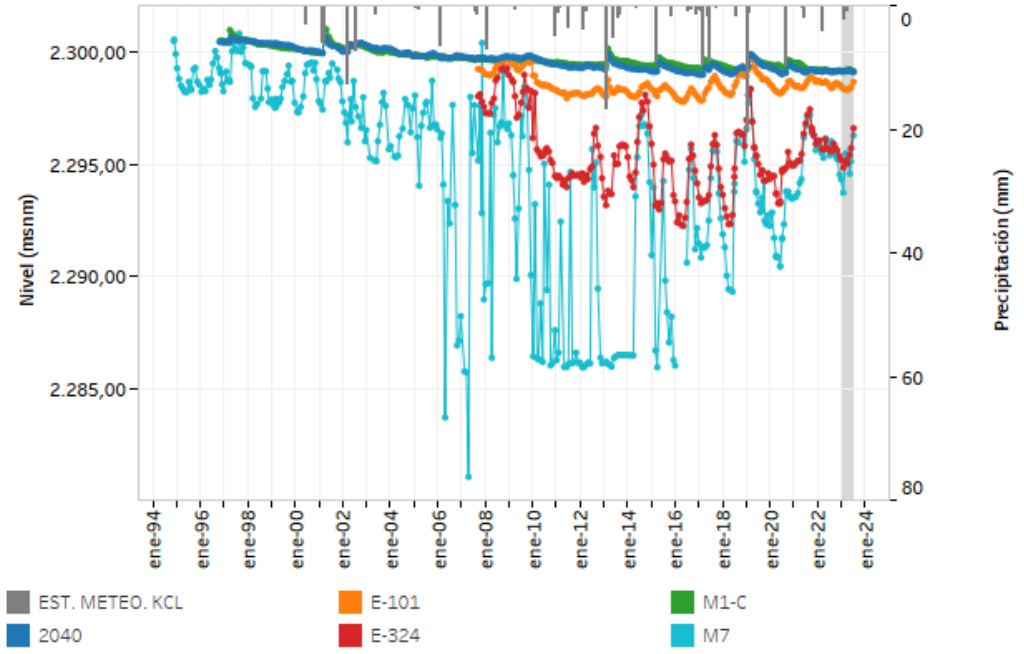
El siguiente grupo que se describe son los que se sitúan sobre la transecta entre las pozas de SQM y las de Albemarle y que, por tanto, parte se encuentra sobre el campo de pozos de producción de ese

sector. Como puede verse en la Figura 6-121 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), muestran claramente una relación con el manejo operativo de los pozos productivos.

El 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 se muestran de nuevo en la Figura 6-122 que permite distinguir mejor sus comportamientos. Puede verse como el E-101 oscila de la misma forma que lo hacían 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 relacionadas al manejo operacional, pero muestran un comportamiento con una clara tendencia de descenso y con respuestas a los eventos de lluvia que estarían produciendo una recarga directa sobre esta área.

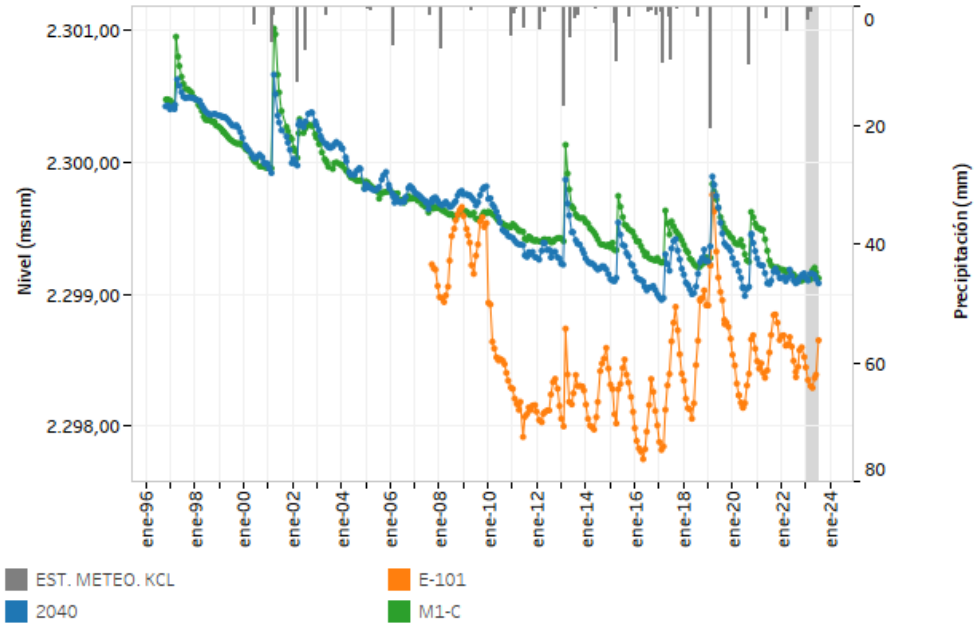
Las medidas para el primer semestre de 2023 muestran que se mantiene el comportamiento descrito anteriormente para todos los puntos de este grupo.

Figura 6-121: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-122: Niveles medidos en los pozos que se encuentra entre las pozas de SQM y Albemarle. Detalle para los puntos 2040, E-101 y M1-C



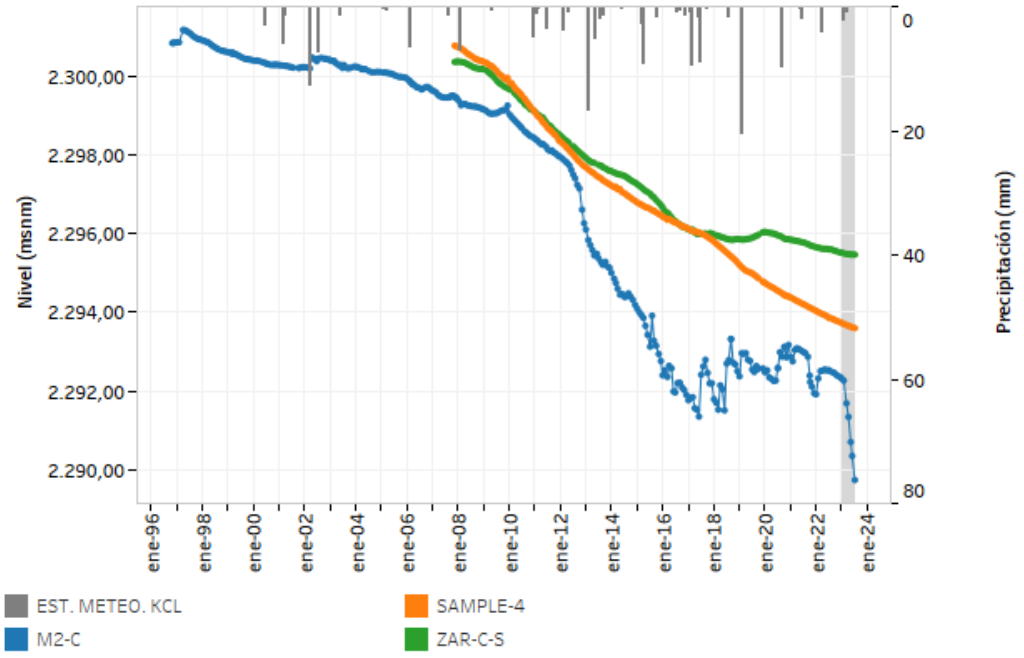
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

En el borde suroeste del núcleo, al oeste de la península de Chépica, se encuentran los puntos M2-C, Zar-C-S y Sample-4 (Figura 6-123). El M2-C es el que se encuentra más cercano al campo de pozos, por lo que, como se puede verse en sus niveles, presenta una fuerte pendiente de descenso (112 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 (21 cm/año de tasa promedio, medido entre mayo de 2017- diciembre de 2020), junto con variaciones irregulares. Todo ello conduce a pensar que este punto se ve influenciado por el manejo operacional del campo de pozos cercano. Esta descripción se confirma con los niveles registrados para el primer semestre 2023, en donde puede verse cómo el pozo ha producido un descenso brusco durante este periodo (6 meses) de 2,5 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, el segundo 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 son respuesta del manejo operacional del campo de pozos pero de forma residual, como pulsos que se producen en un punto y se transmiten a través del acuífero del núcleo, dada la forma suavizada de los cambios de tendencia. A partir de mayo de 2017, el Zar-C-S 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 el descenso incluso aumentando la pendiente a partir de ese mismo mes; desde entonces la tasa promedio es de 47,7 cm/año. Ninguno de los dos pozos ha variado el comportamiento descrito durante el primer semestre 2023, tal y como sí lo ha hecho el M2-C.

Figura 6-123: Niveles medidos en los pozos ubicados en el borde oeste del núcleo del salar



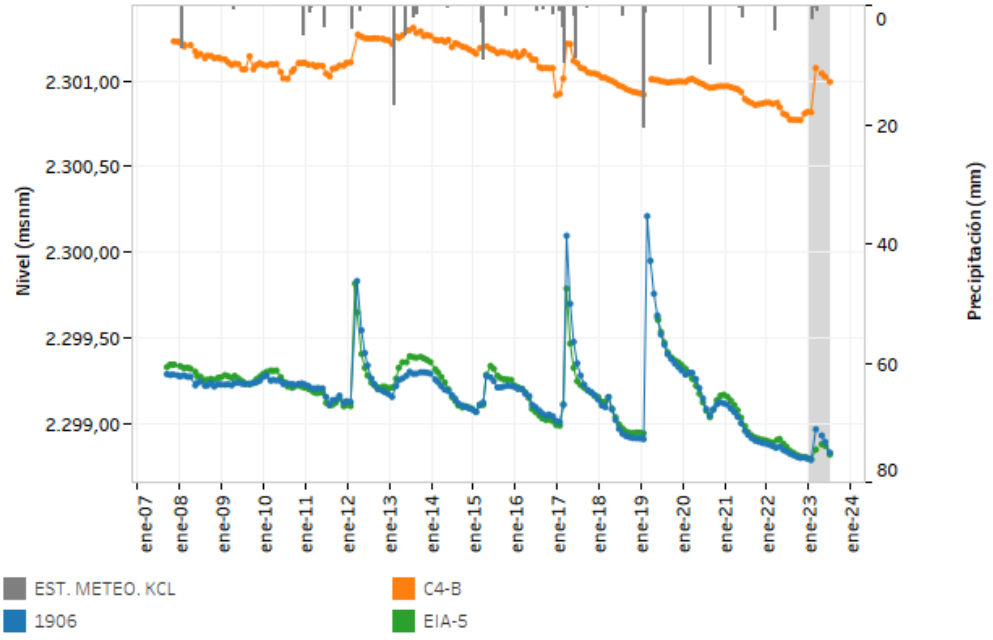
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 6-124 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 este motivo, se muestra también la Figura 6-125 con los descensos calculados, lo que facilita el análisis.

Al observar la Figura 6-125, 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 está respondiendo de la misma forma a los eventos de lluvia (ascensos rápidos de nivel y recuperaciones prolongadas en el tiempo).

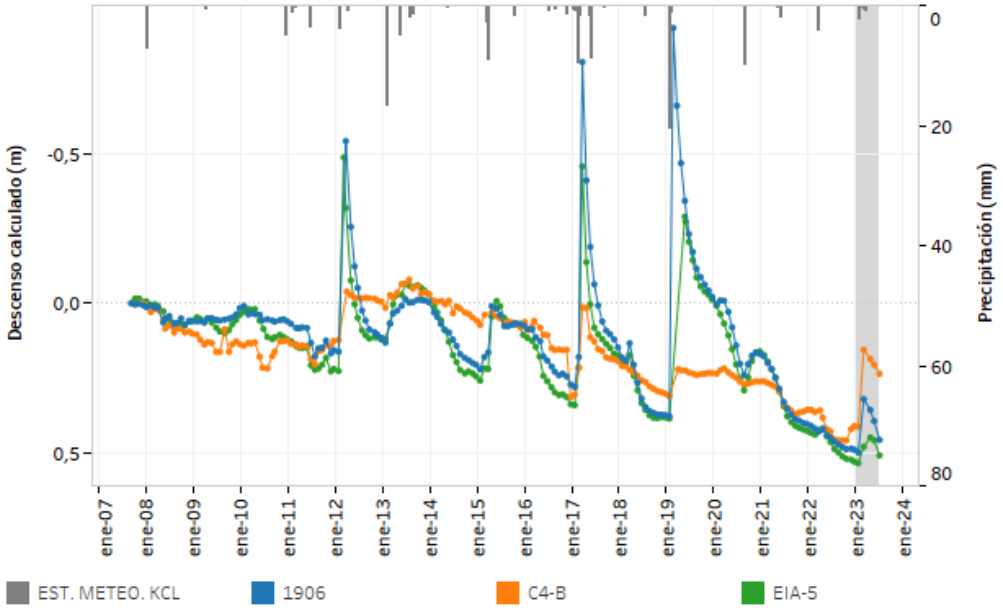
Para el primer semestre de 2023 se mantiene el comportamiento descrito para todos los puntos; en este periodo están mostrando la respuesta a las lluvias registradas estos mismos meses.

Figura 6-124: Niveles medidos en el sector norte del núcleo del salar



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-125: 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 6-126). 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 precipitación histórica 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 observan precipitaciones anuales de mayor magnitud. 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, se registró un máximo de 2,5 mm el día 04 de febrero. En total, se acumuló 7,40 mm debido a las lluvias

ocurridas entre el 03 y 05 de febrero, 18 y 19 de febrero, además de las ocurridas el 10 y 21 de marzo y, finalmente, el evento de precipitación durante el 02 de abril de 2023.

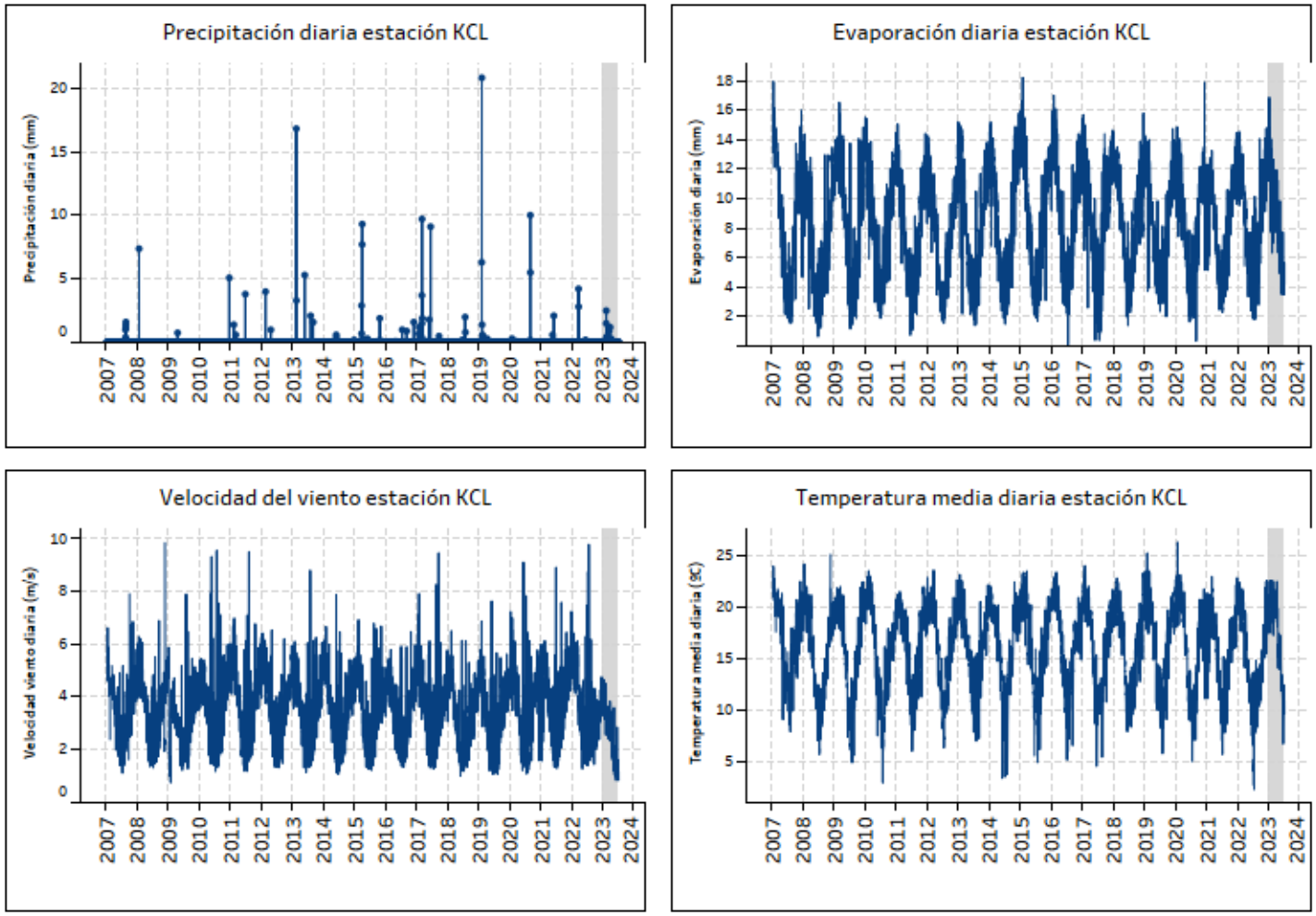
Cabe señalar que los niveles de los pozos ubicados en el Sector Núcleo del Salar de Atacama están fuertemente influenciados por las precipitaciones. Esto debido a que la capa freática se encuentra más próxima a la superficie. De este modo, los niveles se recuperan rápidamente con eventos de precipitación.

La temperatura máxima durante el primer semestre de 2023 se registró el 19 de enero con una máxima de 22,57°C. Análogamente, la temperatura mínima registrada durante el primer semestre de 2023 de 6,73°C guarda relación con las mínimas históricas que fluctúan hasta los 3,38°C (registro de mayo 2014) relacionando únicamente los datos entre enero-junio históricos. Así, los registros mínimos y máximos de temperatura durante el primer semestre de 2023 registran tendencias esperadas sin mostrar datos extremos en sus registros en comparación con la información histórica.

La evaporación registrada en la bandeja de evaporación de KCL registro una tasa máxima de 16,87 mm/día guardando relación entre las máximas registradas en enero de 2016, enero de 2007 y enero 2015 con magnitudes de 17,00 mm/día, 17,95 mm/día y 18,20 mm/día respectivamente. Con respecto a ellas, el registro de enero 2023 podría definirse como la cuarta tasa más alta registrada durante los últimos 15 años de registro en KCL.

Ahora, con respecto a la velocidad del viento, durante este semestre se registraron las segundas velocidades de menor magnitud históricas, estas se registraron en mayo de 2023 llegando a un mínimo de 0,84 m/s superando levemente al registro mínimo histórico de enero de 2009 de magnitud 0,760 m/s. Al mismo tiempo, las velocidades máximas durante el primer semestre de 2023 no superaron los 4,64 m/s (mayor velocidad del viento en enero 2023), evidenciando una diferencia de 4,65 m/s inferior al máximo histórico registrado en mayo de 2010 de 9,30m/s.

Figura 6-126: 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 primer 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 en el Sistema Núcleo del Salar de Atacama (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 de terreno, densidad de terreno, pH terreno, densidad y sólidos disueltos totales (Figura 6-127 y Figura 6-128, respectivamente[47, 48]).

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 4.5.8.3).

Para los puntos del Sistema Núcleo, en términos generales los resultados del semestre se encuentran para todos los parámetros y puntos dentro del registro histórico.

Durante todo el periodo de monitoreo se ha registrado una alta conductividad de terreno en torno a 230.000 µS/cm (característico de salmueras, Tabla 4-17).

[47] 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.

[48] 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).

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 observa para el pozo 1001 un aumento paulatino del pH de terreno llegando a valores cercanos a 7,5 promedio.

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, y el pozo SOPM-12C se mantiene en el promedio.

Respecto a tendencias identificadas:

- En relación con la evolución temporal, las tendencias más claras se observan en la concentración de sólidos disueltos totales con leve tendencia al alza, y conductividad con menor dispersión de sus registros.
- Para ambos puntos de muestreo, los pozos SOMP-12C y 1001, 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 muestran en los laboratorios de ALS, como se indica en el PSAH N°26 del año 2019.

Figura 6-127: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo SOPM-12C

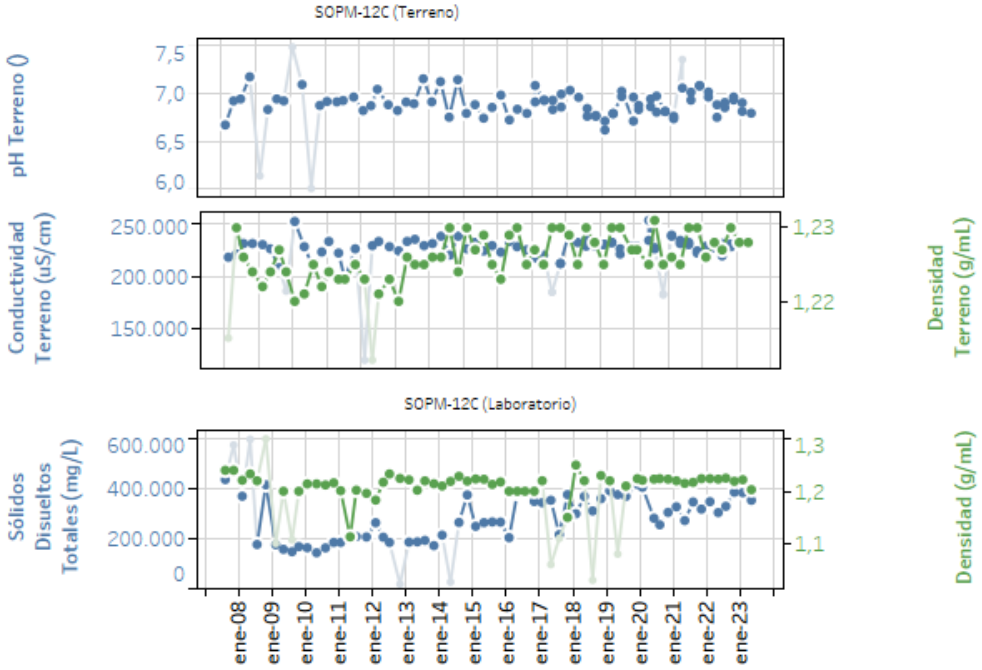
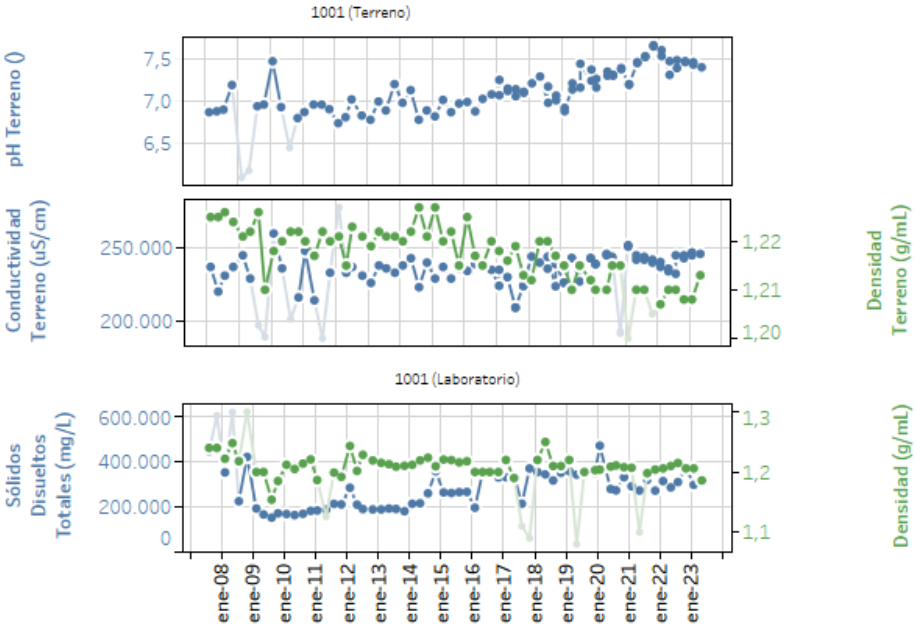


Figura 6-128: Evolución histórica de la calidad del agua en el pozo 1001



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 de nuevo en este capítulo.

En la Figura 6-129 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 existen diferencias entre las cotas de los niveles de este grupo que no permiten visualizar bien los comportamientos a describir. En la Figura 6-130 se muestran de nuevo los descensos calculados sin el Cuña 4, puesto que en 2009 y 2017 reprodujo unos fuertes descensos que se alejan de la escala de los otros pozos y no permite que sean analizados con el detalle suficiente.

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 y hasta 2011 presentaba un comportamiento oscilatorio con una tendencia descendente. Durante 2011 y ya con el evento de precipitación de 2012, se eleva los niveles 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 respuestas rápidas a los eventos de lluvia. Es debido a la lluvia de 2019 que se produce un segundo máximo histórico, en el registro de marzo 2019. 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 y ya en el primer semestre de 2023 se reproduce la respuesta

a los eventos de precipitación de estos mismos meses. Será necesario seguir observando este punto para determinar si efectivamente el pozo esté cambiando el patrón de niveles.

Por su lado, el pozo Cuña 2 se muestra con un comportamiento 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 2022, el nivel se ha mantenido oscilando de forma estable alrededor de una misma cota, lo que podría llevar a pensar en que el punto esté 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, al encontrarse sobre el acuífero aluvial, registra la pendiente de descenso esperada para este sector y no se muestra reactivo a los eventos de precipitación. Durante el periodo entre 2009 y hasta 2021 la tasa de descenso obtenido resultó ser de 4 cm/año. No obstante, a partir de finales del mismo año 2021, en el registro de septiembre, se obtuvo un nivel que suponía un salto (descenso) de 18 cm respecto de la medición del mes anterior. Posterior a esta fecha, el pozo ha empezado a mostrar un cambio en la tendencia, pasando a ser ascendente, con una tasa de 10 cm/año. No se conoce cuál pueda ser el motivo de este salto, como tampoco de este cambio en la tendencia. No obstante, por su ubicación sobre el acuífero aluvial, se esperaría que en parte también estuviera relacionado con la disminución de los caudales extraídos des de los pozos de agua.

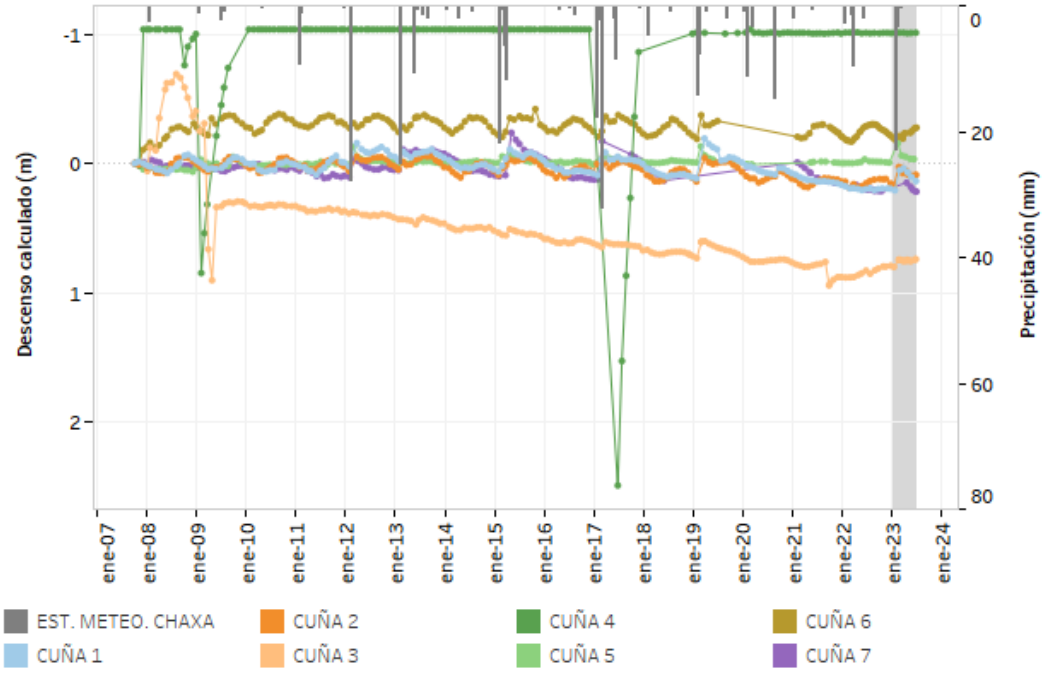
En el sistema Aguas de Quelana se encuentran los pozos Cuña 4 y Cuña 5, los dos al borde oeste del acuífero aluvial, cercanos a la zona marginal. El Cuña 4 muestra un comportamiento anómalo en sus niveles entre el inicio de sus registros y hasta el último dato de 2017. Es a partir de la primera medición de 2018 (diciembre) que se observa ya un registro de niveles más que se cree más representativo del medio. Por este motivo es que se puede ver de mejor forma su evolución en la Figura 6-130. El pozo se mantiene estable (ni ascenso ni descenso) durante todo el periodo, incluyendo el primer semestre 2023.

El Cuña 5 se muestra con una muy leve tasa de ascenso constante desde enero de 2009 (0,22 cm/año), con también leves respuestas frente los episodios de precipitación. En el primer semestre 2022, los registros obtenidos confirmarían que el punto mantiene estable la tendencia de ascenso, junto con la respuesta al episodio de lluvia registrado estos mismos meses.

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. Los niveles se ven oscilantes (estacionalidad) y con una tendencia aparentemente de descenso para el periodo entre 2009 y hasta el último registro de 2019. Posteriormente se produjo un vacío de datos, producto del cierre de la reserva y se retomaron las visitas en enero de 2012. A partir de entonces, se observa como el pozo ha estabilizado la tendencia (ni asciende ni desciende), comportamiento que se mantiene también durante el primer semestre 2023.

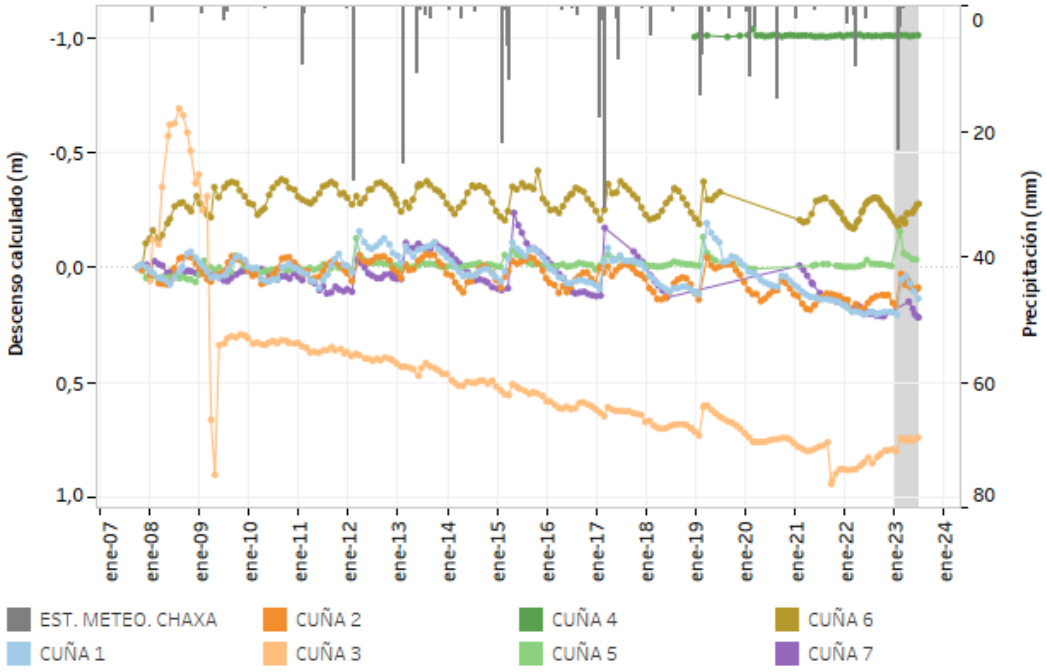
El Cuña 7 se encuentra en el extremo de la zona marginal y de la misma forma que el resto de los pozos en esa área, los niveles muestran un comportamiento típico del núcleo, con una fuerte respuesta a la lluvia y una tasa de descenso basal y característica del acuífero del núcleo. Las mediciones obtenidas durante el primer semestre 2023 se encuentran dentro del rango de cotas del registro histórico de estos puntos, por lo que se mantienen estables en el comportamiento recién descrito.

Figura 6-129: Descensos calculados en los pozos que miden la cuña salina (parte 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-130: 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 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.

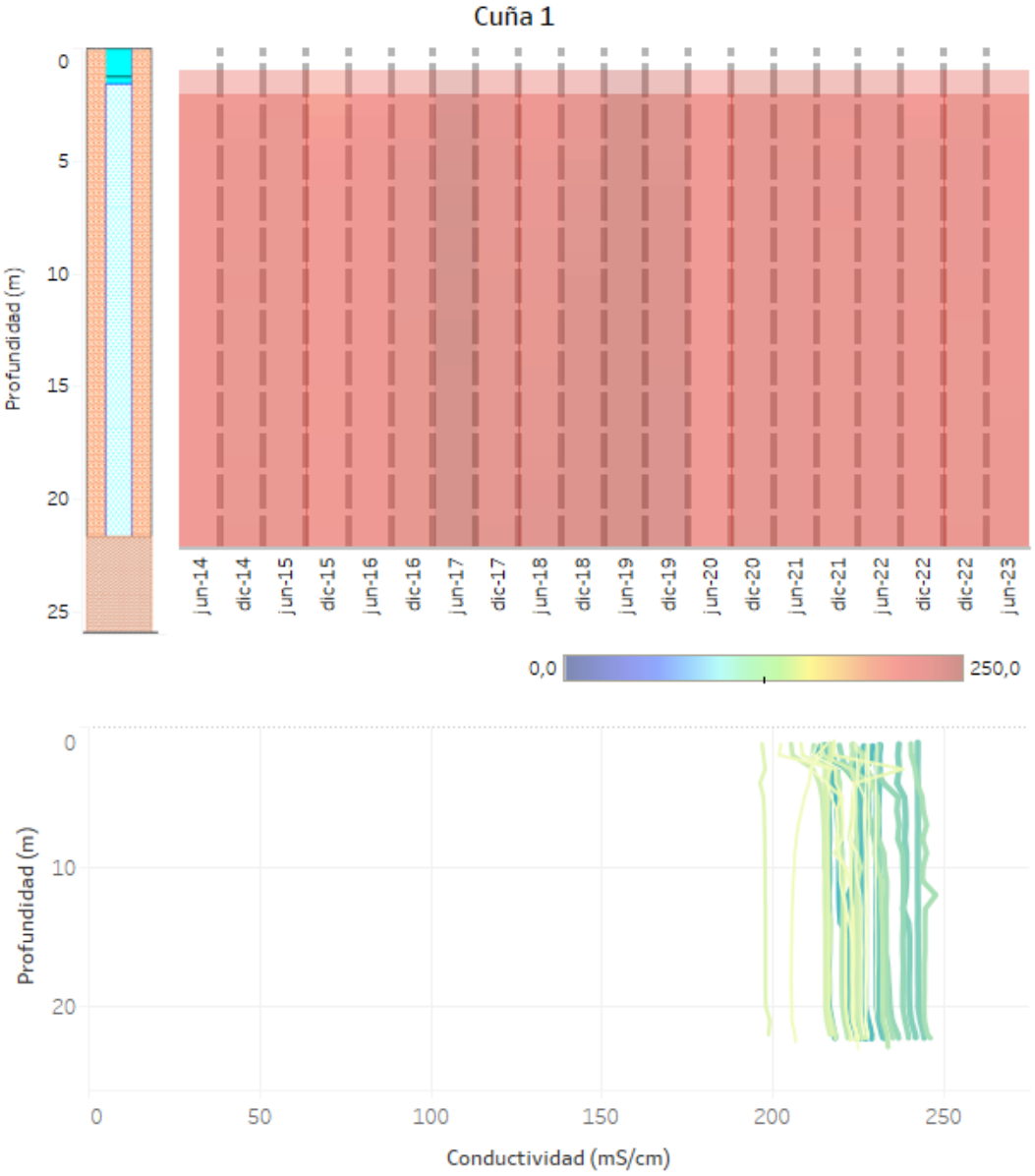
La evolución histórica de los pozos del norte se muestra en la Figura 6-131. En ella se observa que el punto Cuña 1 (ranurado entre 2-22 m) y Cuña 2 (ranurado entre 4-22 m), que se encuentran al oeste de la zona donde afora la interfaz salina, presentan valores generales de conductividad superiores al entorno de los 200 mS/cm. Esto indica que los flujos subterráneos en el área provendrían del núcleo del salar, sin encontrándose 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.

Respecto a Cuña 3 y su evolución temporal, no se observan variaciones significativas 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 próximos a 150-200mS/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.

Figura 6-131: Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



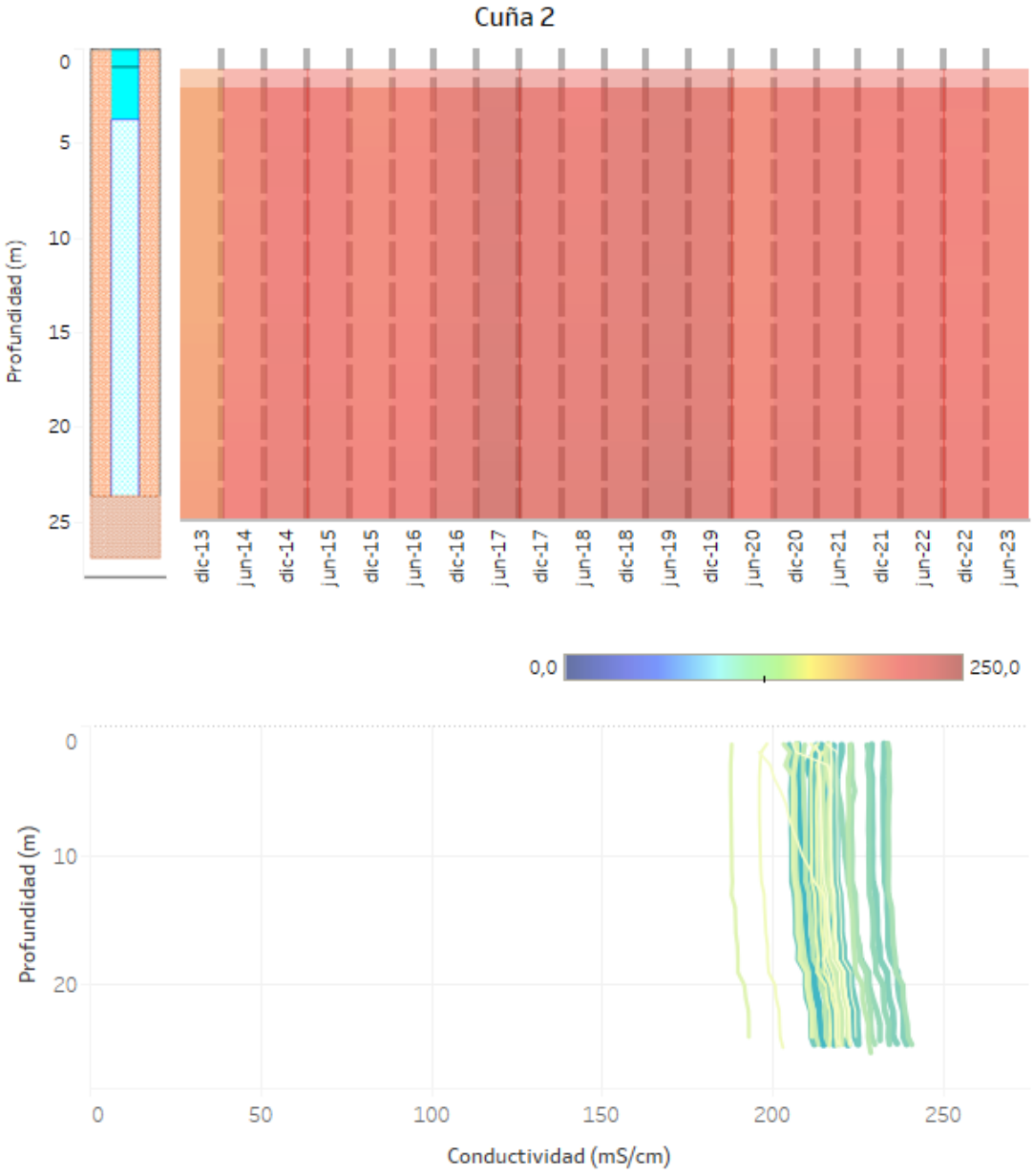
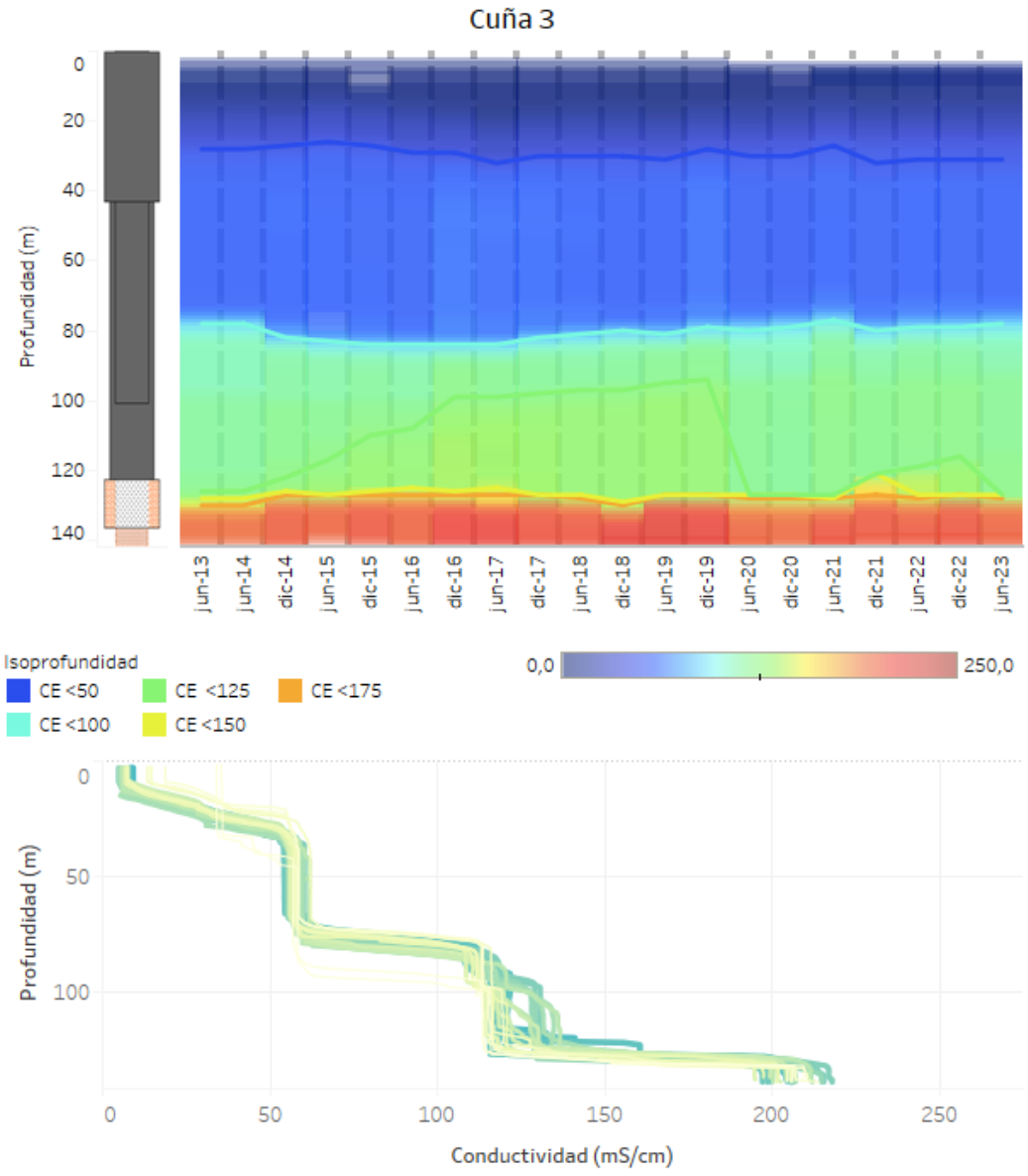

Cuña 2
Profundidad (m)
0
5
10
15
20
25
dic-13
jun-14
dic-14
jun-15
dic-15
jun-16
dic-16
jun-17
dic-17
jun-18
dic-18
jun-19
dic-19
jun-20
dic-20
jun-21
dic-21
jun-22
dic-22
jun-23
0,0
250,0
Profundidad (m)
0
10
20
0
50
100
150
200
250
Conductividad (mS/cm)

Figura 6-131 (Continuación): Evolución histórica de perfiles de conductividad en Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 (de arriba abajo ordenados según dirección este)



Fuente: Elaboración propia

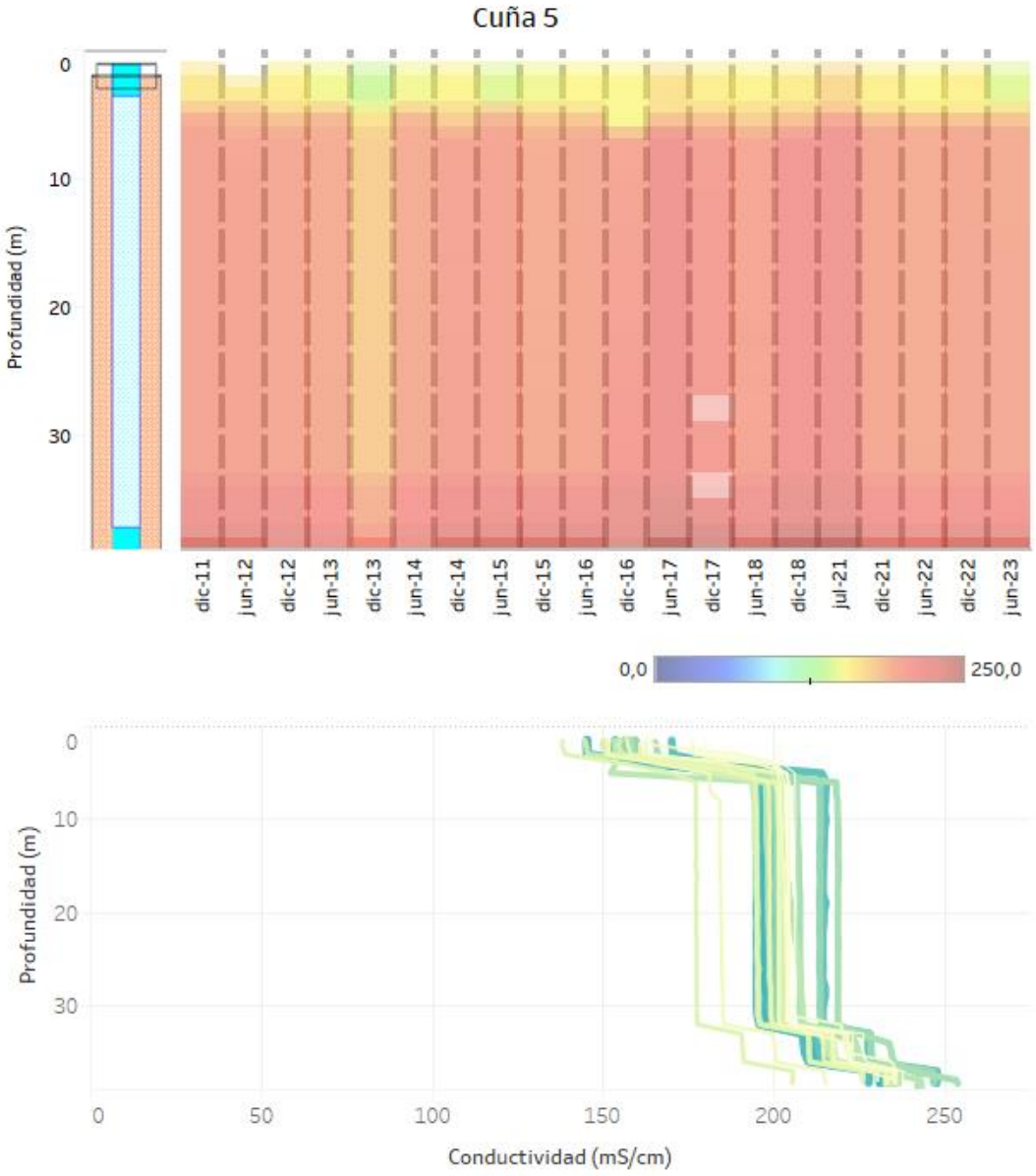
Al mismo tiempo, la evolución histórica de los pozos en el sector de Aguas de Quelana se muestra en la Figura 6-132. En ella se observa que en el Cuña 5 el agua cercana a la superficie es de menor CE que la más

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 se ha mantenido estable en torno a los 55 m, sin mostrar tendencias al alza o a la baja.

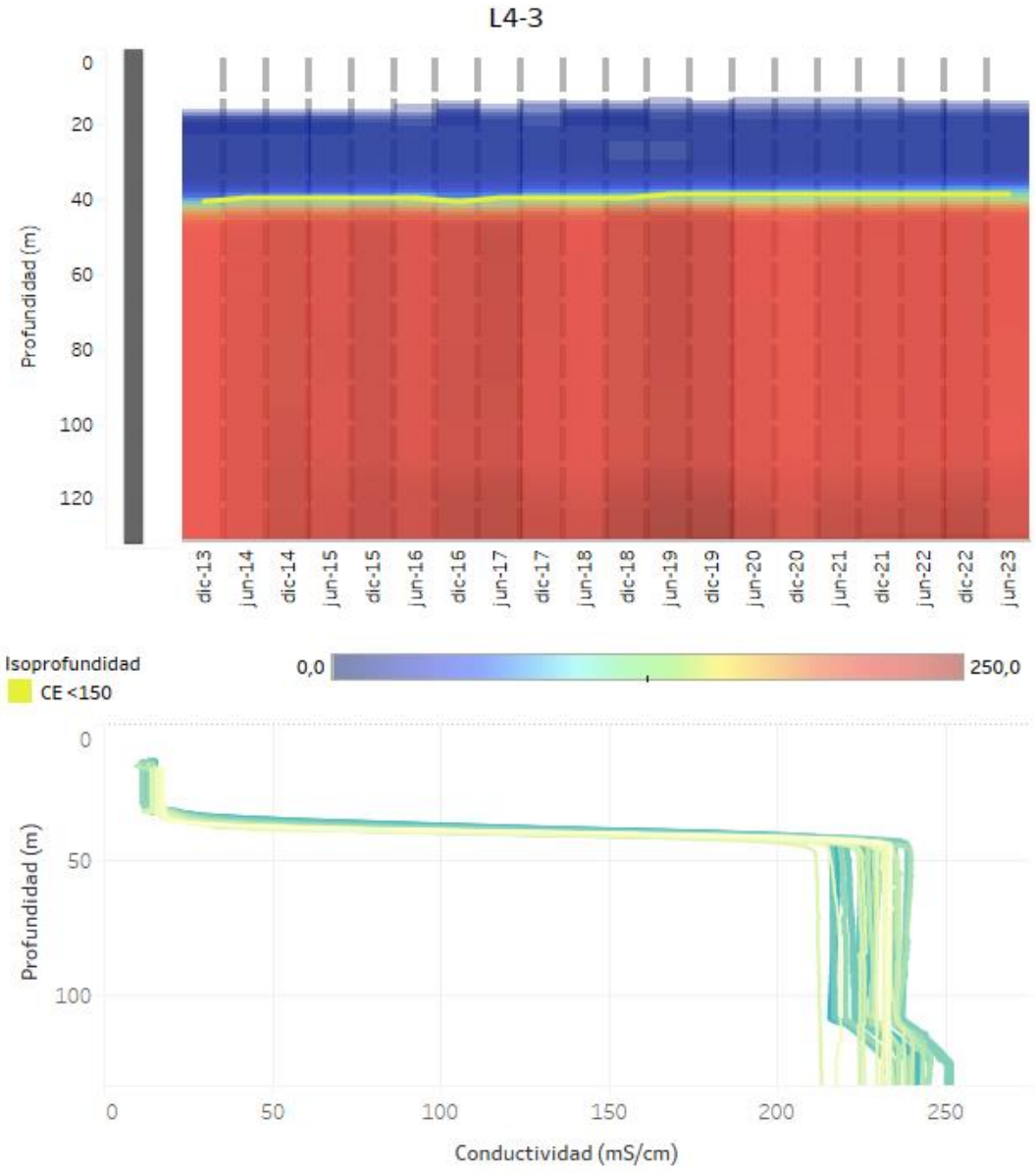
En el punto más al este de Aguas de Quelana, L4-3, existe una interfaz definida, ubicada aproximadamente a 40 m de profundidad. El equilibrio de la interfaz se mantiene en el tiempo, con oscilaciones menores entre campañas y con un comportamiento estable.

Figura 6-132: Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este)



Cuña 4
Profundidad (m)
0
20
40
60
80
100
120
dic-12
jun-13
jun-14
dic-14
jun-15
dic-15
jun-16
dic-16
dic-17
jun-18
dic-18
jun-19
dic-19
jun-20
dic-20
jun-21
dic-21
jun-22
dic-22
jun-23
Isoprofundidad
CE <150
0,0
250,0
Profundidad (m)
0
50
100
0
50
100
150
200
250
Conductividad (mS/cm)

Figura 6-132 (Continuación): Evolución perfiles CE en Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 (de arriba abajo ordenados según dirección oeste - este)

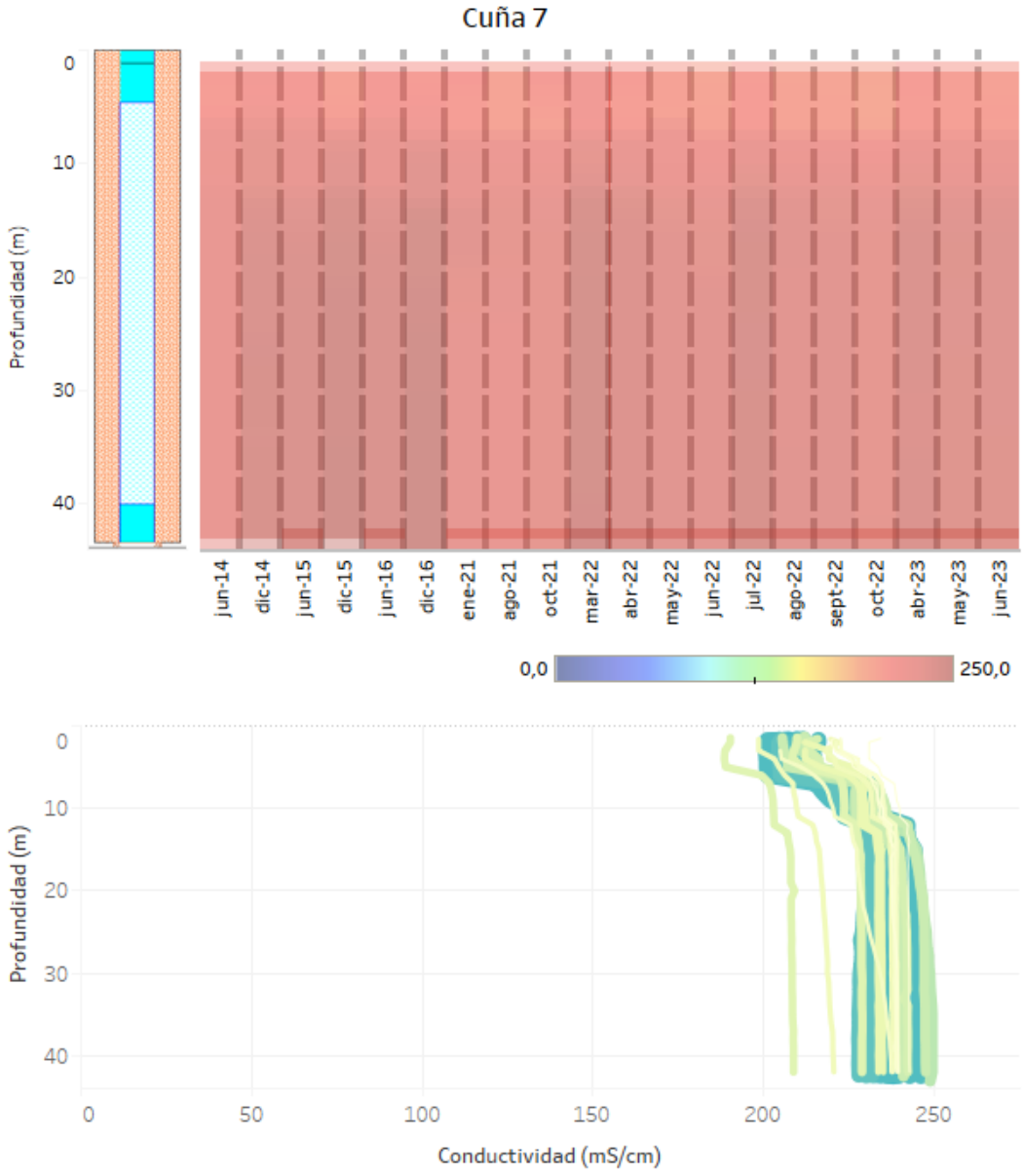


Fuente: Elaboración propia. Se quitan del gráfico algunos valores *outliers* y el perfil de junio 2008 por presentar anomalía en todo su desarrollo en L4-3.

Finalmente, la evolución histórica de los pozos del sur se muestra en la Figura 6-133. 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 se ha mantenido estable en el tiempo.

En Cuña 6, se observa un mayor predominio del acuífero del margen. Aquí el mayor quiebre en los valores de conductividad se sitúa a una mayor profundidad: aproximadamente a 70 m desde la superficie. El equilibrio descrito no ha sufrido cambios en el tiempo, mostrando un comportamiento estable.

Figura 6-133: Conductividad eléctrica histórica de los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 (de arriba abajo ordenados según dirección suroeste - sureste)



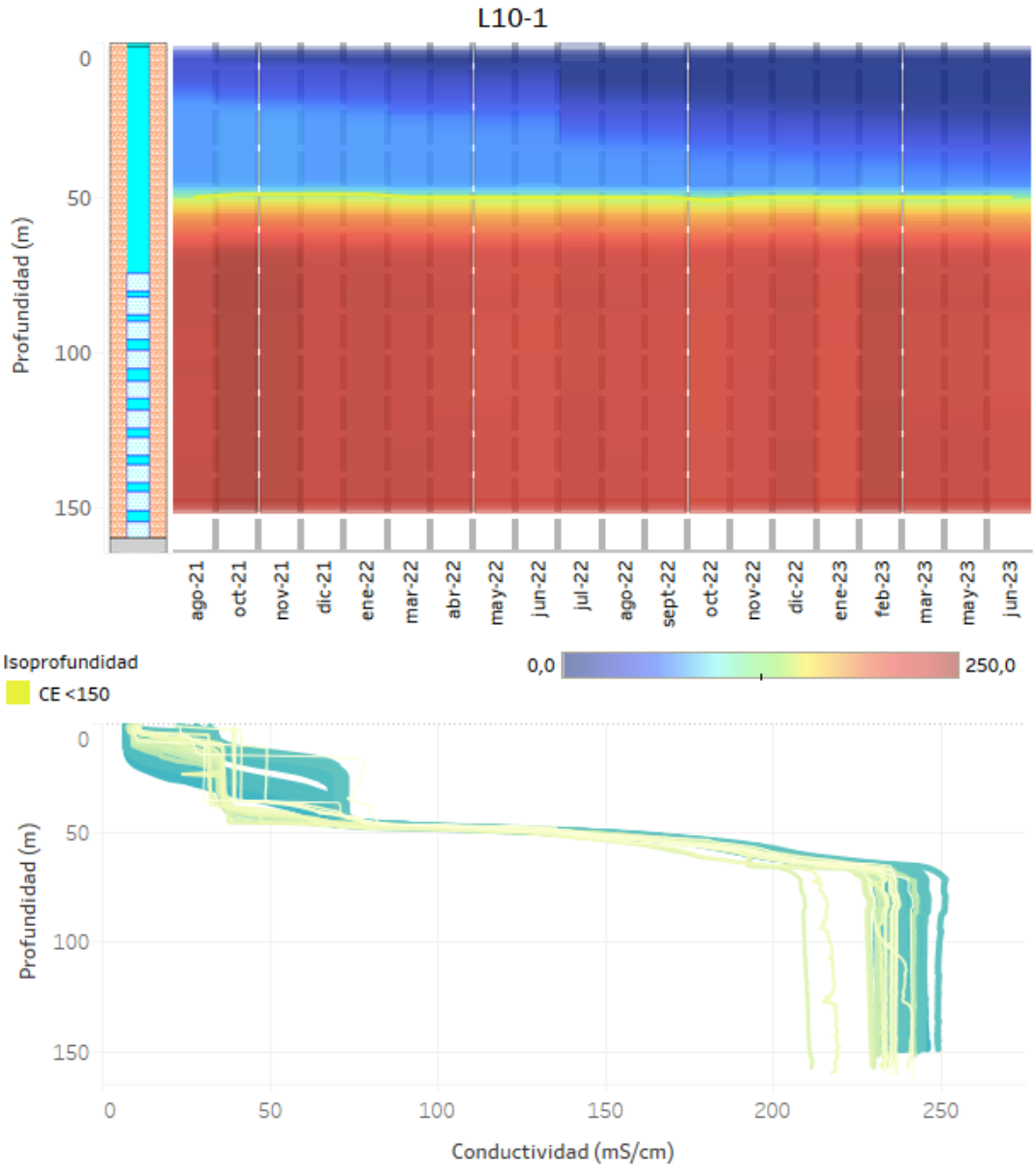
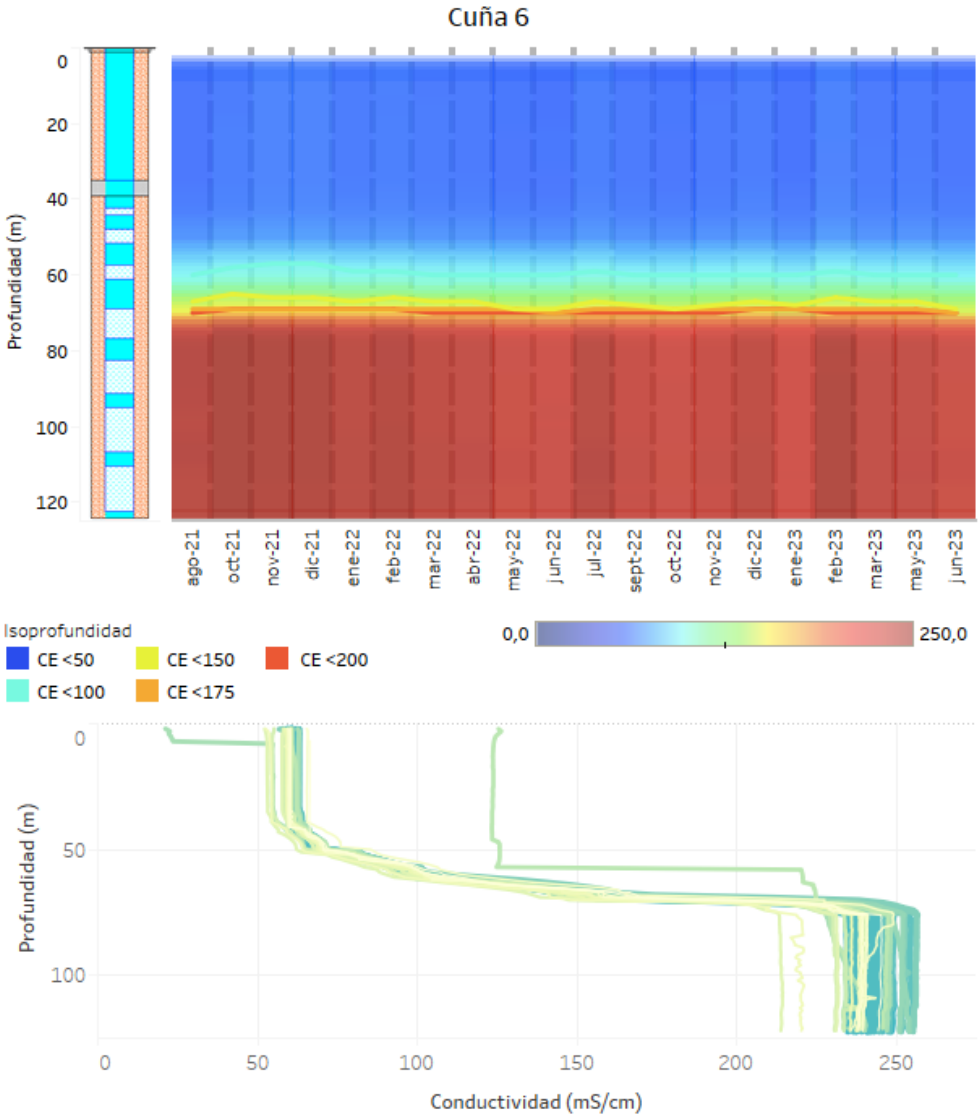

L10-1
Profundidad (m)
0
50
100
150
ago-21
oct-21
nov-21
dic-21
ene-22
mar-22
abr-22
may-22
jun-22
jul-22
ago-22
sept-22
oct-22
nov-22
dic-22
ene-23
feb-23
mar-23
may-23
jun-23
Isoprofundidad
CE <150
0,0
250,0
Profundidad (m)
0
50
100
150
0
50
100
150
200
250
Conductividad (mS/cm)

Figura 6-133(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 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 primer semestre del año 2023 se presentan los estados de activación que corresponden. 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 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 de los pozos Mullay-1 y Allana.

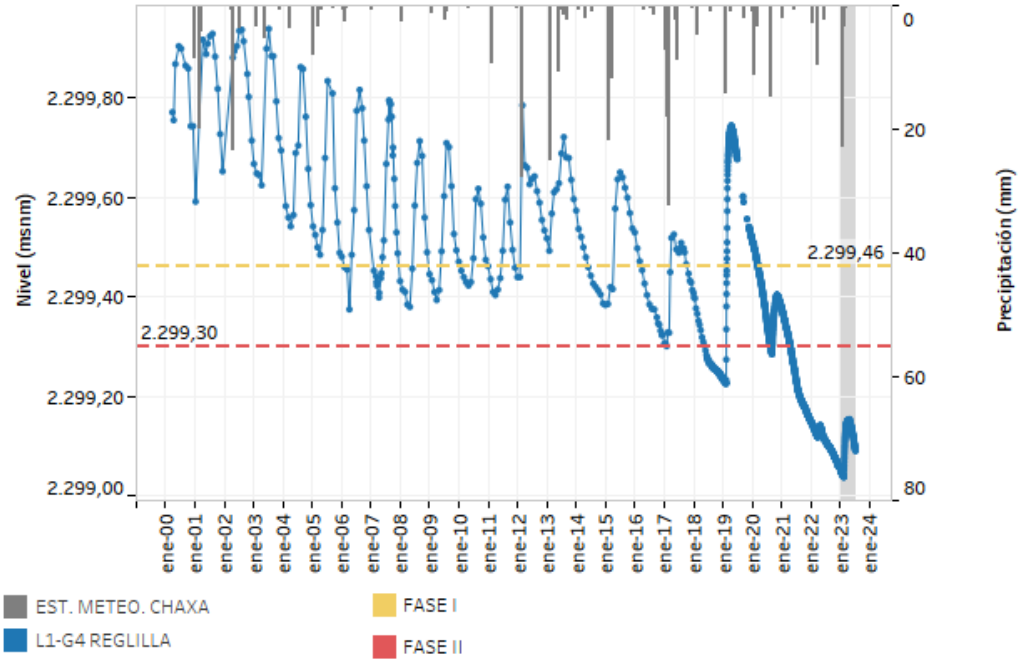
Respecto de los puntos Reglilla L1-G4 (Figura 6-134) y el L1-5 (Figura 6-135), se han descrito en el apartado 6.1.1 (Análisis y discusión de los resultados del sistema Soncor) y se ha podido comprobar, a través del análisis de sus niveles y de los puntos vecinos, cómo desde 2012 estos pozos ya no volvieron a recibir de forma regular los aportes en forma de recarga directa proveniente de los desbordes de la laguna Barros Negros. Desde entonces, reproducen el descenso propio del acuífero en ese sector, con constante tasa de descenso y respuesta inmediata a los episodios de precipitación.

Estos puntos, durante el periodo de registro han sobrepasado el umbral de Fase II hasta en tres ocasiones, las que han sido detalladas en los informes PSAH respectivos: en mayo de 2018 (Informe PSAH Nº 23), en agosto de 2020 (Informe PSAH Nº 28) y finalmente abril de 2021 (Informe Nº 29). Ambos puntos mantienen la tendencia descrita anteriormente, por lo que se desde la última fecha se mantiene activa la Fase II del Sistema Soncor del PAT. Si bien durante el presente semestre reportado (primer semestre 2023) se han registrado algún episodio de lluvia, y los pozos han respondido a éstos, el *peak* no ha elevado los niveles lo suficiente como para alcanzar los umbrales de fase.

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

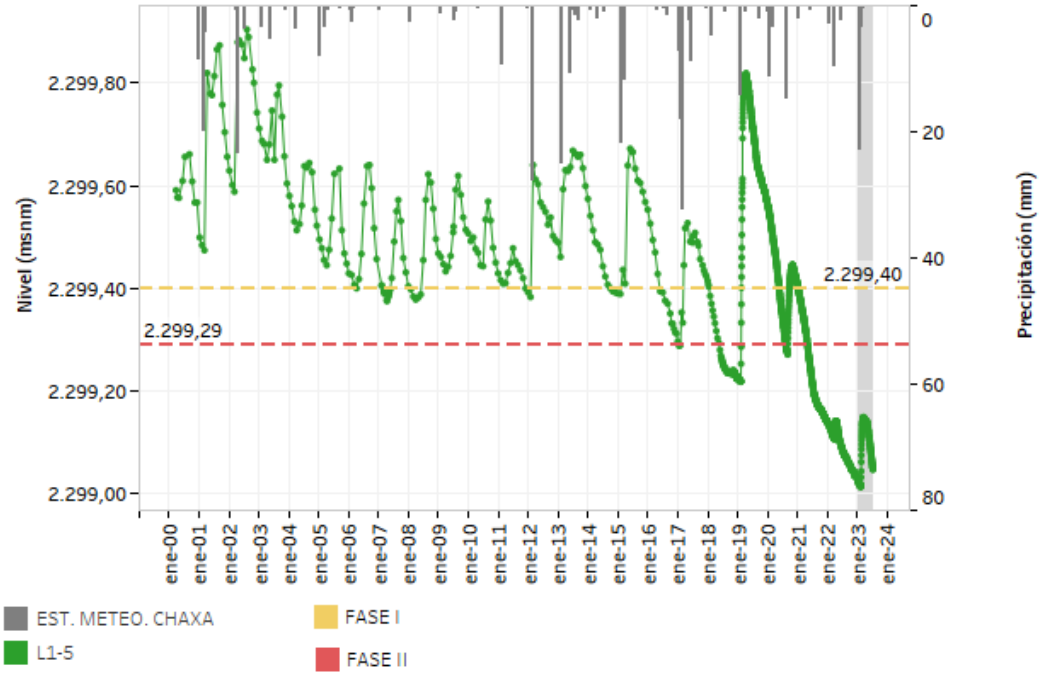
recibiendo los aportes del desborde de la laguna Barros Negros a través del sector de Cola de Pez. Como se ha mencionado en varias ocasiones, este patrón no se identificó en el momento de la elaboración de la RCA N°226/2006, ya que, se preveía que estos pozos reproducían la dinámica propia de la recarga del cuerpo lagunar. De esta forma, la causa principal de activación corresponde 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 que 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 6-134: Niveles medidos en la Reglilla L1-G4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-135: Niveles medidos en el L1-5 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



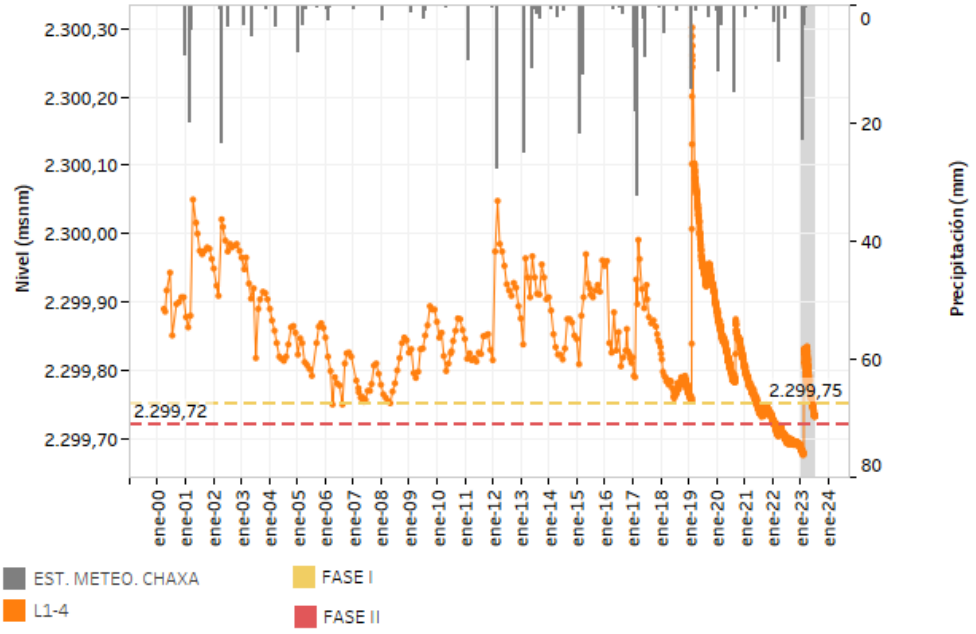
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Por su parte, el punto L1-4 (Figura 6-136) se ha analizado en el apartado 6.1.1 (Análisis y discusión de los resultados del sistema Soncor) y se ha podido comprobar que los niveles en este punto muestran un comportamiento propio de la zona marginal (relacionado con la interfaz salina y los ciclos de evaporación), pero con influencia del cuerpo de agua superficial de Barros Negros. Este punto, a partir de 2012, tiene una leve tendencia de descenso cuando se observan los mínimos de las oscilaciones (1,6 cm/año) y se muestra influenciado por la recarga directa de los episodios de lluvia.

La Fase II del PC se activó durante el primer semestre de 202, concretamente el día 20 de enero de 2022. Durante el presente semestre reportado, el indicador muestra un fuerte ascenso (15 cm en un día de registros), producto de las precipitaciones registradas durante esos mismos días. Esta situación ha llevado a la desactivación de la Fase I y II el día 4 de febrero (2023). Una vez el punto reproduce el máximo debido al *peak* producto de la lluvia, durante la fase de recuperación (descenso), el indicador ha sobrepasado de nuevo el umbral de Fase I, concretamente el día 28 de mayo (2023). Al cierre del semestre, e incluso durante la elaboración de este informe, no se ha producido la activación de la Fase II.

Tal como se analizó en el informe de investigación correspondiente y posteriormente, en el informe de efectividad de la medida, a pesar de que este indicador se definió para la oportuna alerta temprana de la actividad extractiva de agua en el acuífero aluvial sobre la laguna de Barros Negros, el actual modelo conceptual del sistema basado en los nuevos datos recopilados durante toda la vigencia de la RCA y otros proyectos adicionales desarrollados para la mejora del entendimiento del sistema, llevan a que la interfaz salina genera una barrera hidráulica entre el acuífero aluvial y el sector en donde se encuentra el L1-4. De esta forma, los umbrales definidos y el mero hecho de que hayan sido sobrepasados no define por sí solo una situación riesgosa en cuanto al estado del objeto de protección. De esta forma, la medida de reducción aplicada no se espera ver efectiva sobre el nivel del L1-4. Sin embargo, esta reducción sí ha sido efectiva en el Sistema del Borde Este.

Figura 6-136: Niveles medidos en el L1-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia

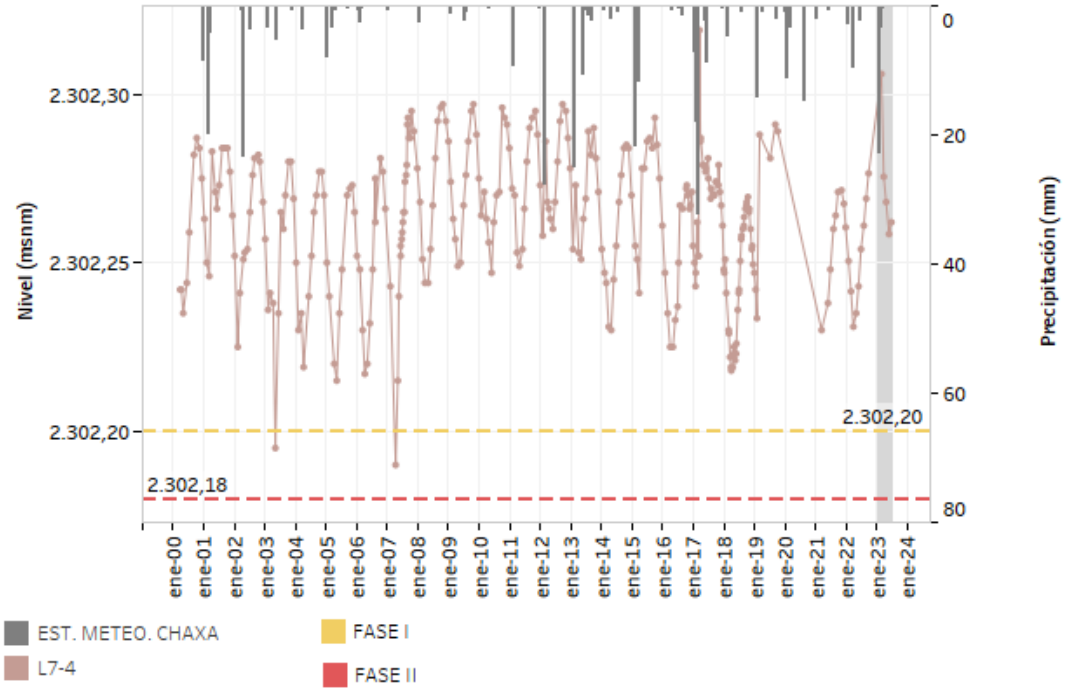


Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

Por su parte, el L7-4 (Figura 6-137), que es el indicador de estado de la laguna Puilar, en el apartado 6.1.4 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 nuevas medidas 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 indicar 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 de su parte más distal hacia el acuífero.

Figura 6-137: Niveles medidos en el L7-4 junto con sus umbrales del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84

6.2.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

El PC del Sistema Aguas de Quelana busca advertir, anticipar y evitar posibles afectaciones sobre los objetos de protección del sistema producto de las actividades que desarrolla SQM en la cuenca. Para este sistema, los objetos de protección corresponden al hábitat para la biota del conjunto de lagunas dispersos del margen este del Salar de Atacama, que quedan dentro 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[49] 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

Respecto los indicadores de estado del bombeo de los pozos de agua industrial (L3-5, L4-8 y L5-8), los descensos calculados[50] se muestran en la Figura 6-138 junto los umbrales correspondientes. En el análisis efectuado en el apartado 6.1.2 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.

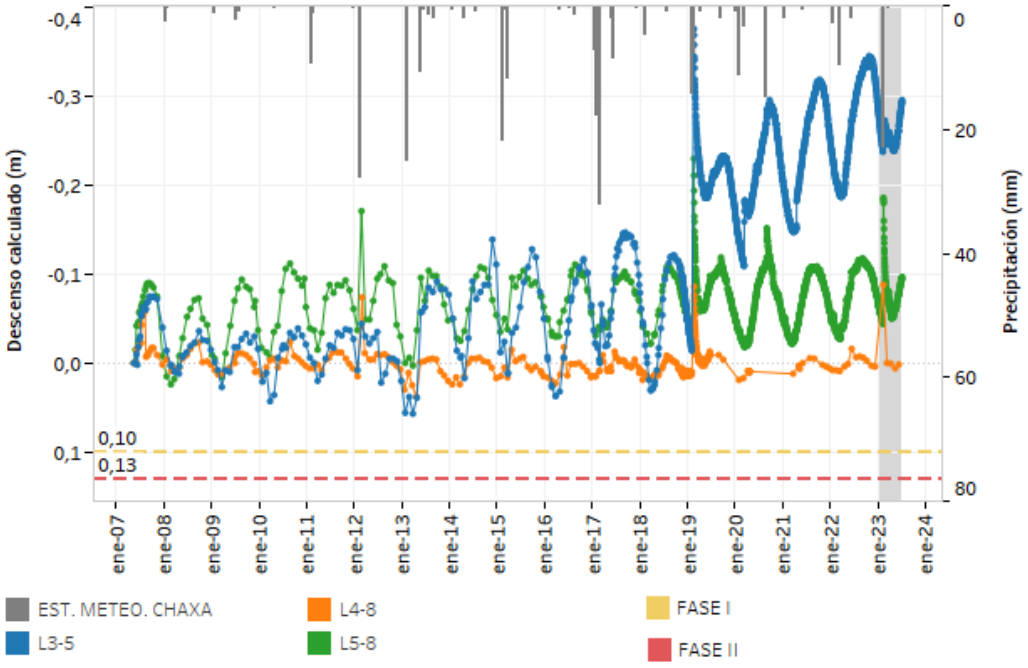
El pozo L3-5, que se sitúa sobre la transecta L3 inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Se destaca que adicionalmente a la respuesta de la lluvia de 2019, a partir de entonces el punto cambió el patrón y empezó a registrar un ascenso continuado, a la vez que oscilatorio. La tasa de ascenso, incluyendo el primer semestre 2023, es de 2,7 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, y con más medida por la detención del pozo Camar-2, dada su ubicación. Se destaca que en el entorno de este punto L3-5 los niveles estén alcanzo 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.

[49] 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, la infraestructura obtuvo sus últimos registros hasta junio del año recién pasado.

[50] Para este apartado, la fecha de inicio que permite el cálculo del descenso se basa en lo estipulado según la RCA Nº226/2006.

De la misma forma que el anterior, a pesar de que su encuentren más alejados, el L4-8 y L5-8 se mantienen oscilante y ambos mantienen una leve tasa de ascenso promedio, al menos desde 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.

Figura 6-138: 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 Por 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 6-139 junto con los umbrales de la Fase I y Fase II. En el apartado de análisis de estos puntos se ha podido determinar que estos puntos 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, a la vez que una tendencia promedio de descenso, que tendrá una pendiente mayor en la 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 registro activación de Fase II durante diciembre 2021, situación reportada en el anterior informe PSAH Nº 30. Posteriormente el primer semestre de 2022 se produce un ascenso temporal de los niveles, que lleva a la desactivación de la Fase II en el mes de junio (2022). No obstante, lo anterior, ya durante el segundo semestre de 2022, el pozo recuperó la tendencia de descenso sobrepasando de nuevo el umbral de Fase II el día 26 de septiembre (2022) y produciéndose de nuevo la activación de esta fase. Según el informe de investigación presentado a los 30 días de la activación, se extrajo que el descenso en este punto se ve afectado por las extracciones de salmuera por parte de SQM y, en menor magnitud, por el aumento del bombeo de Albemarle a partir de la aprobación de la RCA de 2016. Lo que se considera un resultado razonable considerando la distancia de su campo de pozos al Sistema Aguas de Quelana y por tanto es esperable que su efecto vaya aumentando en el tiempo.

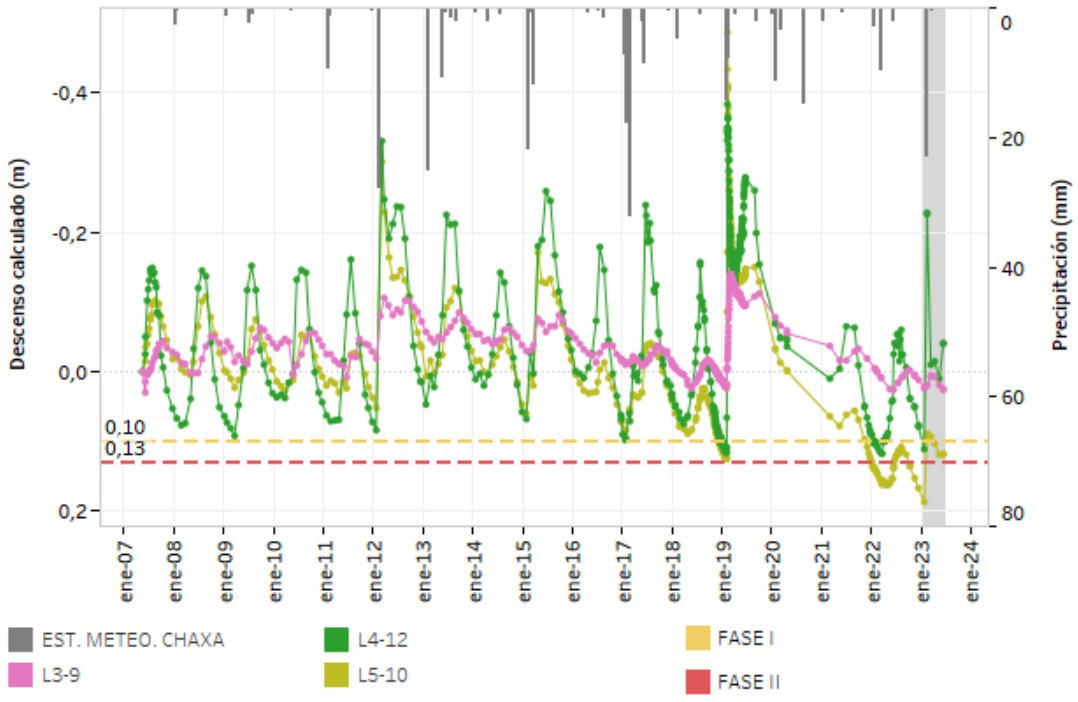
A partir de las lluvias registradas durante el presente primer semestre 2023 ha producido una respuesta inmediata en forma de ascenso (salto de 9,7 cm) entre los registros del día 17 de enero (2023) y 7 de febrero (2023). Esta situación ha llevado a que se produjera la desactivación de las fases I y II ese mismo día. No obstante, el nivel se situó a tan solo 1 cm por sobre del umbral de Fase I, lo que lleva a que el punto haya vuelto a sobrepasar este umbral a las pocas mediciones, concretamente, el 4 de abril (2023). No obstante, al cierre del semestre reportado, e incluso durante la elaboración de este informe, el indicar no ha sobrepasado el umbral de Fase II, aunque esta situación es esperable por lo menos antes del cierre del año 2023 dada la tendencia general de descenso que mantiene este punto.

Por su lado, el L4-12 mantiene un comportamiento con menor tendencia de descenso que e L5-10, por su ubicación más próxima a los cuerpos de agua del sistema, lo que lleva a que este punto no haya activado la Fase II en ningún momento de su registro; se produjo la activación de Fase I en enero de 2022, la que desactivó a los pocos meses (ver Informe PSAH Nº 31) y precisamente en este periodo reportado, en enero

(2023) se dispone de un registro que sobrepasó de nuevo el umbral de Fase I, situándose a 1,1 cm por debajo. De la misma forma que se ha descrito para el L5-10, las lluvias registradas durante el presente primer semestre 2023 han producido una respuesta inmediata en forma de ascenso (salto de 34 cm) entre los registros del día 17 de enero (2023) y 7 de febrero (2023). Esta situación ha llevado a que se produjera la desactivación de la fase I ese mismo día. Al cierre del semestre no se ha producido ninguna otra activación. Dada la tendencia general de este indicador, se considera poco probable que pueda producirse una nueva activación antes de finalizar el año 2023 si se mantiene la tendencia descrita.

Finalmente, el L3-9 se mantiene oscilante y de forma muy estable (sin tendencia de ascenso o descenso) durante los años 2022 y 2023, añadido 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 6-139: 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 6.1.1) y el punto L3-5 y la reglilla L4-10 en el sistema de Aguas de Quelana (apartado 6.1.2). Los descensos calculados para estos puntos con respecto los umbrales de Fase I y Fase II se muestran en la Figura 6-140.

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 Carbajal 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 existen otros factores que puedan estar influyendo en este reciente cambio de patrón.

En el primer semestre de 2023, los niveles se encuentran sobre los umbrales tanto de Fase II como Fase I, destacando que en este periodo se han registrado una serie de eventos de lluvia que han mantenido el nivel en cotas más elevadas para lo que cabría esperar de los mínimos estacionales característicos de esta época del año. 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

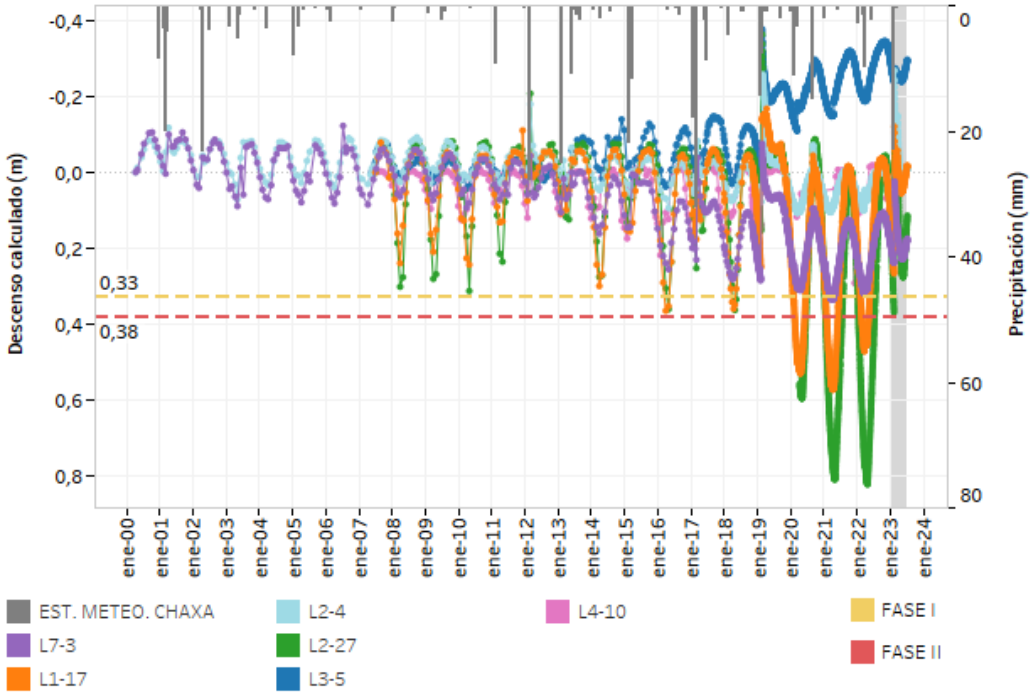
ascendente. El comportamiento de este punto está ligado probablemente a la reducción de la extracción en el pozo Allana, que redujo el caudal a la mitad en 2020 y desde 2021 se encuentra prácticamente sin operar. Adicionalmente, este primer semestre 2023 se esperaba que reprodujera el mínimo estacional, el cual ha sido mezclado con la respuesta (ascenso) producto de las precipitaciones registradas estos mismos meses.

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 el PC. Dada su ubicación, este comportamiento está asociado a la detención del paro 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.

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 primer semestre 2023, se observa como los niveles han vuelto a mostrarse estables, sin mostrar una tendencia definida. Los niveles en este indicador se mantienen en todo momento por sobre el umbral de las fases, alrededor de los 30 cm en promedio.

Finalmente, el L4-10 que es una reglilla del sistema Aguas de Quelana, corresponde a otra de las reglillas de este sistema. Ambos muestran una oscilación de amplitud mayor respecto de los anteriores puntos descritos de la serie L4 (alrededor de 7 cm). En términos generales, se mantiene estables alrededor de la misma cota histórica. Este comportamiento se mantiene también durante el primer semestre 2023.

Figura 6-140: 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 conectada con el acuífero corresponden a los indicadores L7-6, L1-3, L2-7, L2-28, L3-3, L4-7 y L9-1. Si bien los pozos L7-6, L2-7 y L4-7 no se encuentra en una zona de Vegetación Brea-Atriplex (ver Anexo 2), sí se ha mantenido su evaluación como indicadores de acuerdo con lo comprometido en la RCA N°226/2006.

Cabe señalar que el pozo L7-6 se definió en la RCA como un pozo del PC para el resguardo del Sistema Vegetación Borde Este - Brea Atriplex. Sin embargo, cuando se ejecutó 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 de mayor representatividad (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, lo que dio aviso a la autoridad de la activación de Fase I.

Por otro lado, hay que recordar que el pozo L1-3 se reconstruyó durante el año 2012, producto de que el original fue tapado por un aluvión. Esta situación fue informada a través del Informe PSAH N° 11 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. La 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 metros. Por lo tanto, a partir de marzo de 2012, se adicionan 0,183 m a la "medición desde punto de referencia" inicial de mayo de 2007.

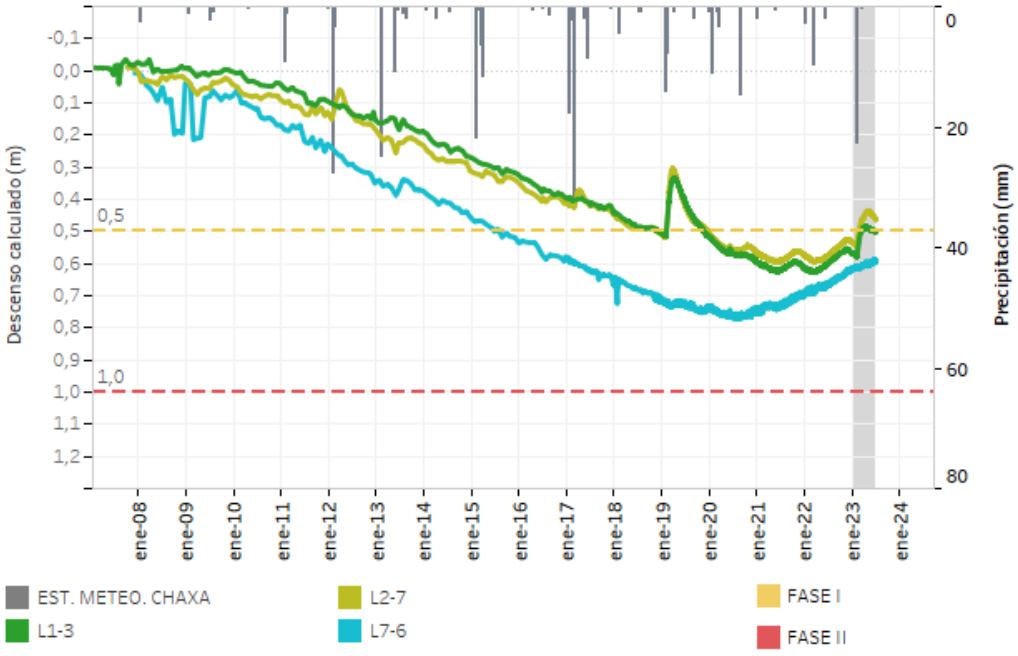
Estos indicadores se han analizado juntamente con los otros puntos del PSAH según el sistema hidrogeológico en el que se encuentran; en el sistema Soncor (6.1) el análisis de los puntos L7-6, L1-3, L2-7 y L2-28, en el apartado 6.1.2 del sistema Aguas de Quelana está el análisis de los indicadores L3-3 y L4-7, y el L9-1 se ha analizado en el sistema de Vegetación Hidromorfa (apartado 6.1.3).

El cálculo de los descensos con respecto los umbrales del PC de los puntos L7-6, L1-3 y L2-7 se muestran en la Figura 6-141. 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 venido mostrando un comportamiento característico del acuífero aluvial, con un descenso continuado y sin mostrar efecto proveniente de los eventos de lluvia ni de la evaporación. No obstante, a partir de 2020 la tendencia del pozo cambia y pasa a producir una pendiente de ascenso. Este efecto se relaciona directamente con la reducción de la extracción de agua por parte de los pozos Allana y Mullay-1, lo cual confirma la efectividad de esta medida sobre el sistema (aunque ésta 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 dado este cambio en la tendencia, es esperable que en el futuro este indicador pueda desactivar esta Fase I.

Por su lado, los indicadores L1-3 y L2-7 se encuentran en la parte distal del acuífero aluvial, aguas abajo del área que comprenden los pozos Mullay-1 y Allana. Estos puntos han mostrado históricamente un comportamiento del tipo aluvial, al igual que el L7-6, con tendencia de descenso continuado y sin mostrar efecto proveniente de los eventos de lluvia ni de la evaporación. Sin embargo, también a partir de 2020 es cuando cesa el descenso y los pozos pasan a estabilizarse (sin pendiente de ascenso o descenso) e incluso a mostrar oscilación estacional, junto con *peaks* asociados a los eventos de lluvia. Ambos indicadores se encontraban con la Fase I activada, desde noviembre 2019 el L1-3 y desde diciembre 2019 el L2-7. No

obstante, durante el primer semestre 2023 y producto del cambio en el comportamiento de los niveles, y por tanto producto de la reducción de la extracción de agua, ambos han mostrado un *peak* de recarga proveniente de la lluvia registrada estos meses, lo que ha llevado que en este periodo se haya producido la desactivación de ambas Fase I. Mientras el L2-7 se mantiene al cierre del semestre reportado por sobre del umbral (3,6 cm), el L1-3 reactivó la fase a los días siguientes.

Figura 6-141: 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 6-142). Se caracterizan por presentar oscilaciones estacionales junto con un descenso promedio de los niveles.

El L2-28 se ubica aguas abajo del área que se comprende entre el pozo Allana y el Camar-2. En el pasado, este pozo mostraba una marcada oscilación con una tendencia descendente constante. Sin embargo, es a partir de 2020 que 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 Mullay-1 como de Allana, pero 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 que los niveles se mantuvieron ya por debajo del umbral (de Fase I). Durante el primer semestre de 2023 se espera que se produzca el mínimo estacional, pero posterior a este periodo reportado, cabe decir que el indicador ya ha desactivado la Fase I durante el ascenso hacia el máximo estacional de este año 2023. Esta situación se atribuye principalmente, como ocurre en todo el Borde Este, a las reducciones de las extracciones de agua del acuífero aluvial.

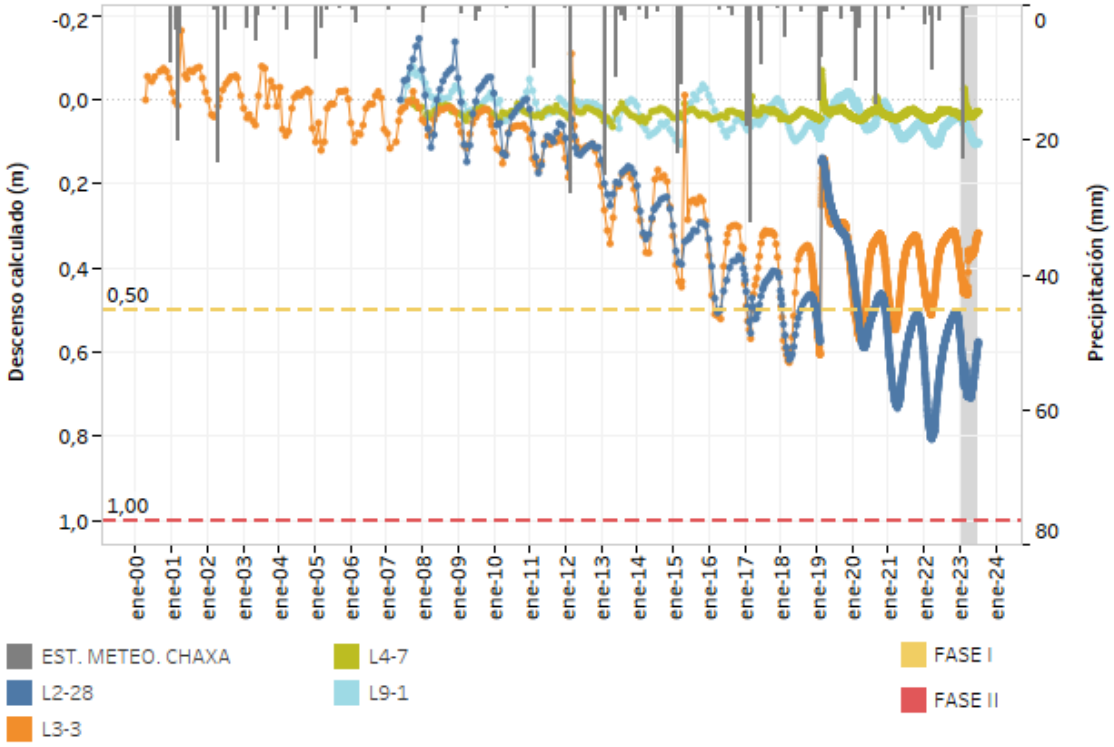
Por su parte, el L3-3 se sitúa sobre la transecta L3 que inmediatamente aguas abajo del pozo Camar-2. Este punto ha mostrado históricamente un comportamiento transicional entre el característico del aluvial y el de la zona marginal, con una pendiente de descenso a la vez que la oscilación propia de la estacionalidad. No obstante, justo a partir de 2018 y más evidente después de la recuperación de las lluvias de 2019, el punto revertió la tendencia y empezó a ascender, a la vez que oscilar estacionalmente. Este efecto se relaciona directamente con el paro del pozo Camar-2, que cesa su actividad de forma definitiva el mismo 2018. Este indicador ha activado y desactivado Fase I en varias ocasiones a partir de 2017, producto de la oscilación. No obstante, a partir de 2022 es cuando el mínimo estacional registrado para ese año ya no ha logrado sobrepasar el umbral de Fase I, lo cual se interpreta como que el cese del Camar-2 ha sido efectivo sobre el sistema.

El indicador L4-7 se sitúa sobre la transecta L4, aguas abajo del pozo Socaire-5. Este punto se ha mantenido históricamente estable (sin ascenso ni descenso, en términos generales) y oscilante. Sus niveles se han mantenido siempre 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 como transicional entre la zona marginal y el acuífero aluvial, ya que muestra una oscilación poco regular. La tendencia de descenso se observa más evidente en el periodo entre 2007 y 2015, con pendientes promedio de 1,3 cm/año. A partir de marzo 2015, empieza a oscilar con máximos y mínimos a distintas cotas cada año y con una tendencia estable, lo que le confiere un

comportamiento distinto respecto del periodo anterior. No obstante, desde entonces (a partir de 2015) este indicador se ha mantenido por sobre el umbral de Fase I a unos 40 cm.

Figura 6-142: 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[51].

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. Cabe señalar que durante el primer semestre de 2021 no se recibieron avisos por parte de la SMA relativos a la activación de Fase II de estos pozos.

Como se ha mencionado, los umbrales de los indicadores 1028, L10-11 y L10-4 son escalonados y varían de forma anual, disminuyendo la cota los meses de septiembre de cada año; el cambio de escalón se produce los segundos semestres de cada año, por lo que, en el actual semestre reportado no hay cambio de escalón.

El pozo 1028 (Figura 6-143)se encuentra sobre el núcleo, en la parte distal del desborde de Interna, pero según el análisis efectuado con el resto de los pozos del PSAH del sistema Peine, este punto muestra un comportamiento relacionado con el núcleo (sección 6.1.4), con una tendencia general de descenso y respuestas a los eventos de lluvia. Desde 2022 es que el indicador viene registrando varias activaciones (y desactivaciones) de Fase I (febrero 2022 y mayo 2022), producto del descenso y los sucesivos *peaks* de lluvia. Al inicio del semestre reportado (primer semestre 2023) el indicador se encontraba con la Fase I activada, y producto de la recarga por la lluvia registrada estos mismos meses, el indicador desactivó la Fase I en el registro del día 7 de febrero y posteriormente, durante la recuperación del evento (descenso), sobrepasó de nuevo el umbral (de Fase I) el día 31 de mayo (2023). El informe en que se pone en marcha

[51] 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.

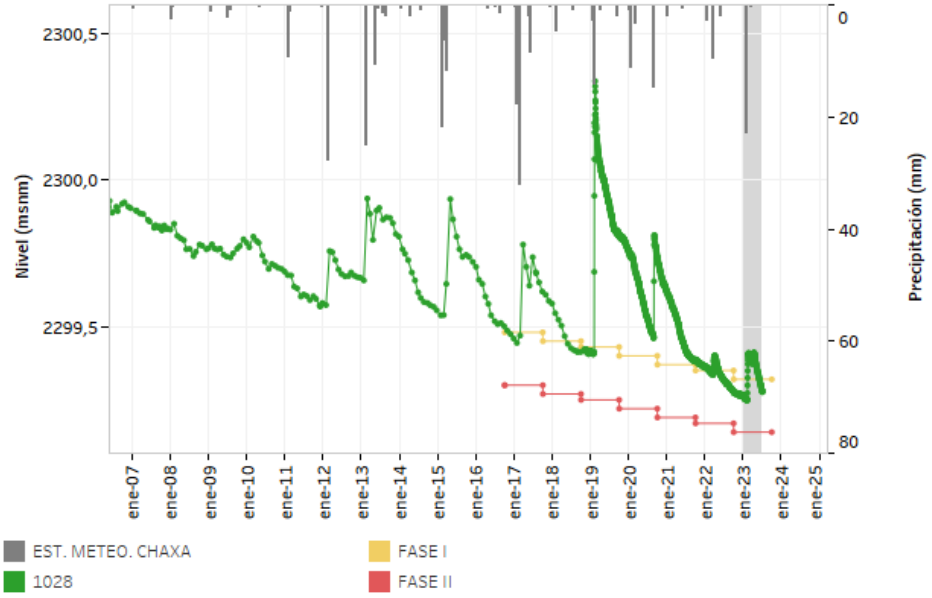
la Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico (HVES) será entregado el día correspondiente, el día 30 de noviembre (2023).

El indicador L10-11 (

Figura 6-144) también se encuentra en el núcleo, con el consecuente patrón de comportamiento de nivel, igual que el anterior pozo descrito (1028). El comportamiento observado en este pozo es totalmente análogo al 1028. En este caso, este indicador sobrepasó el umbral de Fase I en septiembre de 2021 y también en abril de 2022. Desde esta última fecha el indicador se ha mantenido activado, hasta que en este primer semestre de 2023 se ha producido la temporal desactivación, producto del peak de lluvia registrado estos meses. La recién activación se produjo el día 1 de mayo (2023), lo que lleva a que se entregue el correspondiente HVES el día 1 de noviembre (2023).

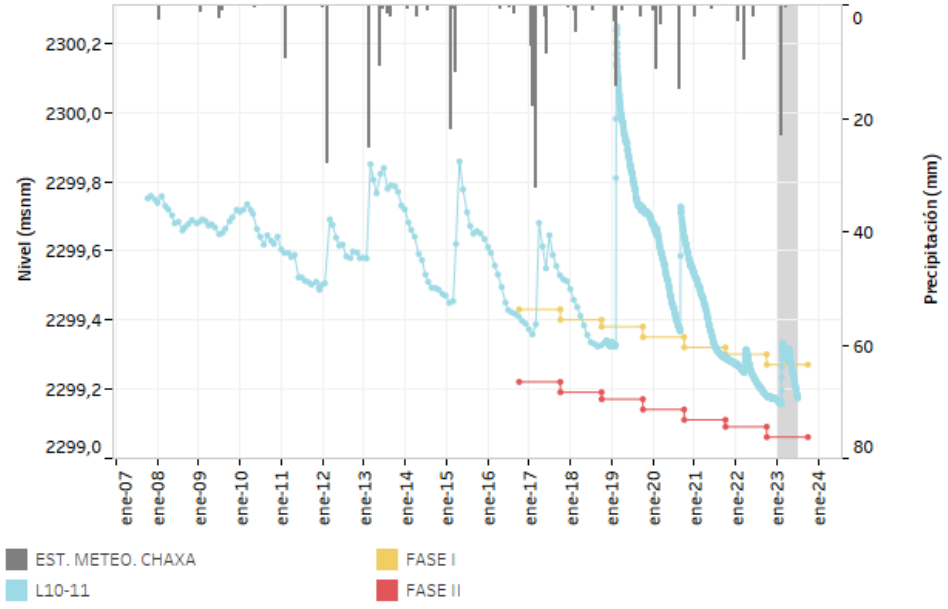
Por su parte, el L10-4 (Figura 6-145) se encuentra en el extremo de la zona marginal, cercano al núcleo, por lo que, a partir del análisis de niveles, se ha podido ver que este punto muestra un comportamiento transicional entre la zona marginal y el núcleo, aunque dada su proximidad al núcleo, se registran variaciones muy similares al resto de puntos caracterizados como núcleo. Análogamente a los otros dos indicadores, activó la Fase I en mayo de 2022 y permaneció así hasta este primer semestre 2023; producto del *peak* de lluvia registrado estos meses se ha producido la temporal desactivación, ya que finalmente el día 7 de junio (2023) el nivel sobrepasó el umbral de nuevo, lo que lleva a que se entregue el correspondiente HVES el día 7 de diciembre (2023).

Figura 6-143: Niveles medidos en el 1028 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine



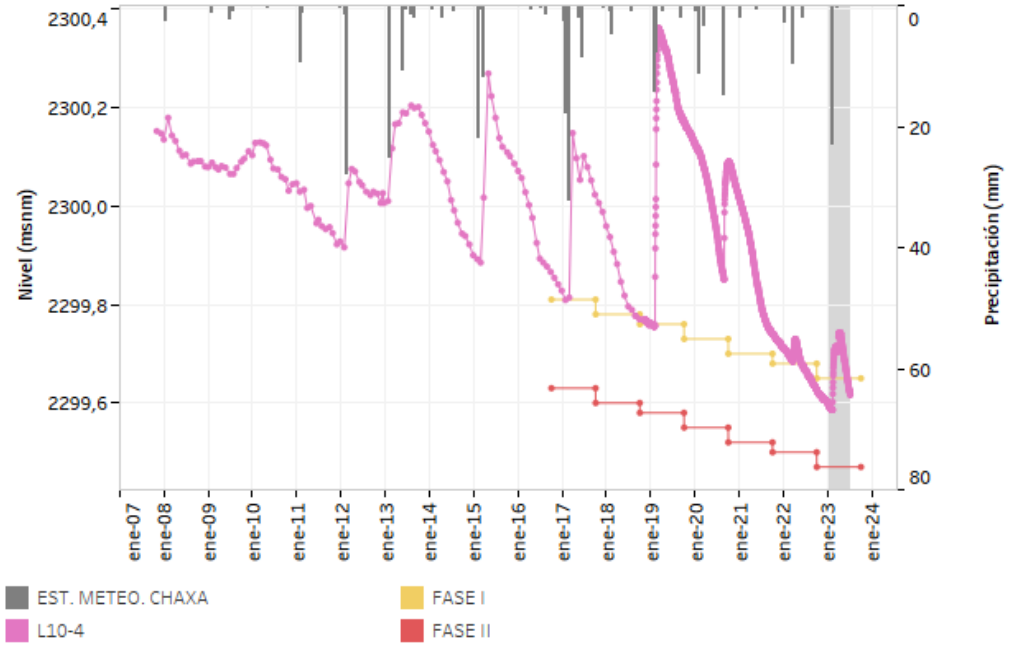
Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-144: Niveles medidos en el L10-11 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

Figura 6-145: Niveles medidos en el L10-4 junto con sus umbrales, pertenecientes al Plan de Contingencia del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia. Sistema referencia WGS-84.

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 potenciales efectos del bombeo de agua sobre las formaciones vegetales que son objeto de protección. 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.

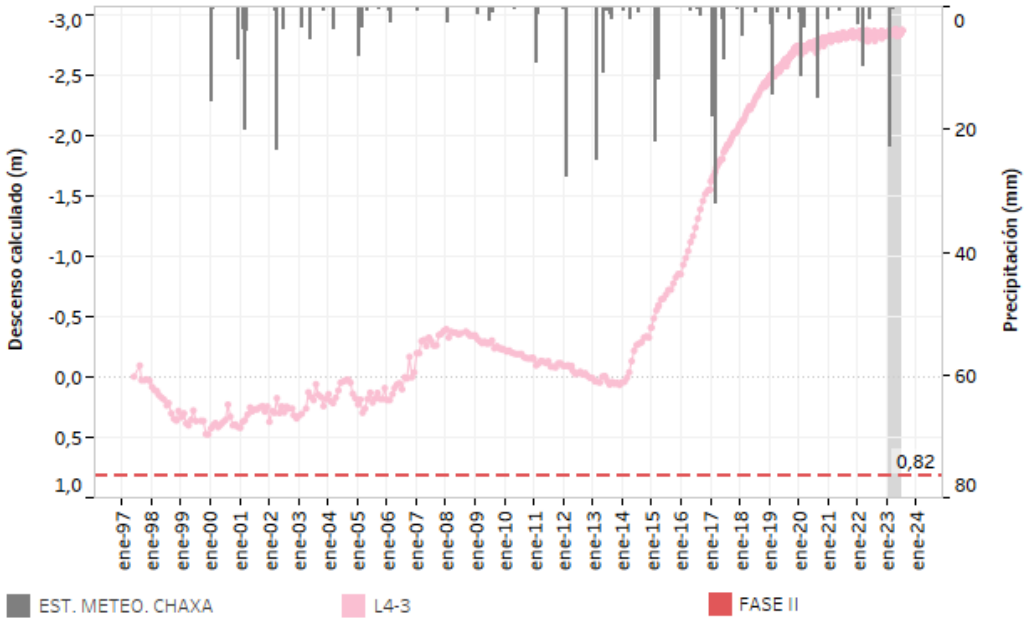
Como ya se ha descrito, el pozo L4-3 (Figura 6-146) cambió su tendencia de descenso a partir de 2014 y empezó a mostrar un ascenso regular que se mantiene todavía durante el primer semestre 2023. Este comportamiento se considera anómalo si se compara con el resto de los pozos vecinos.

Por su lado, el punto L2-25 se encuentra en el extremo oeste del acuífero aluvial, sobre la transecta L2 que se sitúa aguas abajo del pozo Allana. Como ya se ha observado, presenta un comportamiento de transición entre la zona aluvial y la zona marginal (Figura 6-147). 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 primer semestre de 2021 se mantiene estable el comportamiento descrito para este indicador con lo que, al cierre del semestre, este punto se mantiene a más de 1 m por sobre el umbral.

Por su parte, el L7-13 (Figura 6-148) se encuentra en el acuífero aluvial del sistema Soncor y muestra el comportamiento 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. Del registro histórico se puede ver que el pozo presentaba un descenso constante hasta mediados del 2020, posteriormente el nivel ha disminuido la pendiente de descenso en lo que parece una estabilización del descenso producto posiblemente de la disminución en la extracción del acuífero aluvial. Al cierre del primer semestre 2023 este indicador se encontraba a más de 1 m sobre el umbral, distancia que va aumentando cada cierre de semestre debido a su comportamiento ascendente.

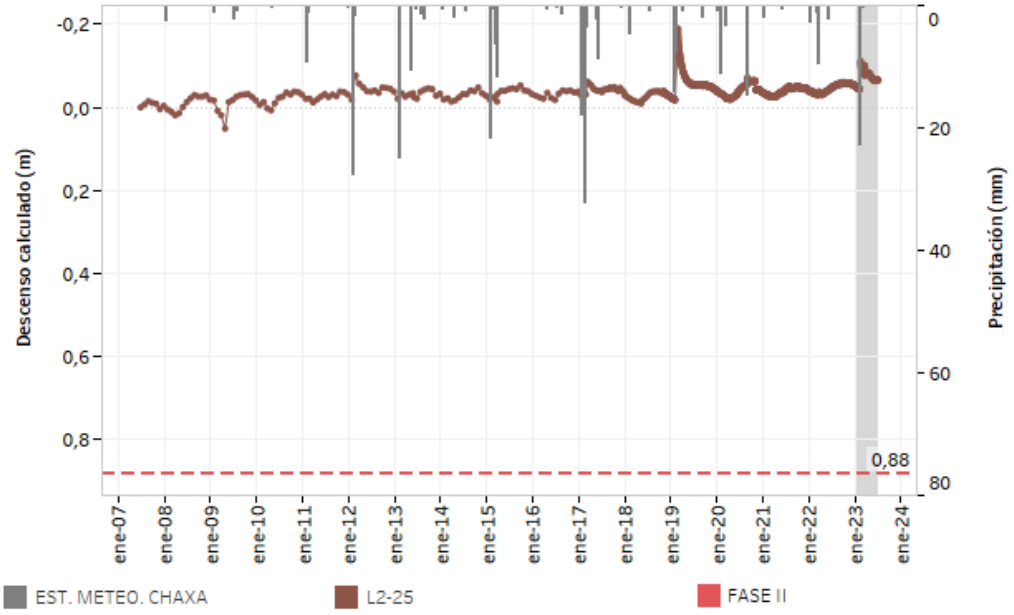
Finalmente, se muestra conjuntamente los puntos L3-11 y L9-1 (Figura 6-149), aunque se encuentren en sectores muy distintos, ya que comparten el mismo umbral (se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, que corresponde a un descenso de 0,86 m); el L9-1 se encuentra en el sistema Vegetación Borde Este, en el extremo del acuífero aluvial aguas abajo del pozo CA-2015, mientras que el L3-11 se encuentra en el sistema Aguas de Quelana, en la zona que queda entre la interfaz salina y el núcleo. Esto último hace notar que este punto no es representativo como indicador de estado de la vegetación del borde Este. De todas formas, como compromiso adquirido en la RCA se mantiene este punto dentro del PC. El indicador L9-1 por su parte, se muestra oscilante y con una tendencia estable alrededor de la misma cota; al cierre del primer semestre 2023 el indicador se encuentra a 88 cm por sobre del umbral.

Figura 6-146: Descenso del indicador L4-3 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia



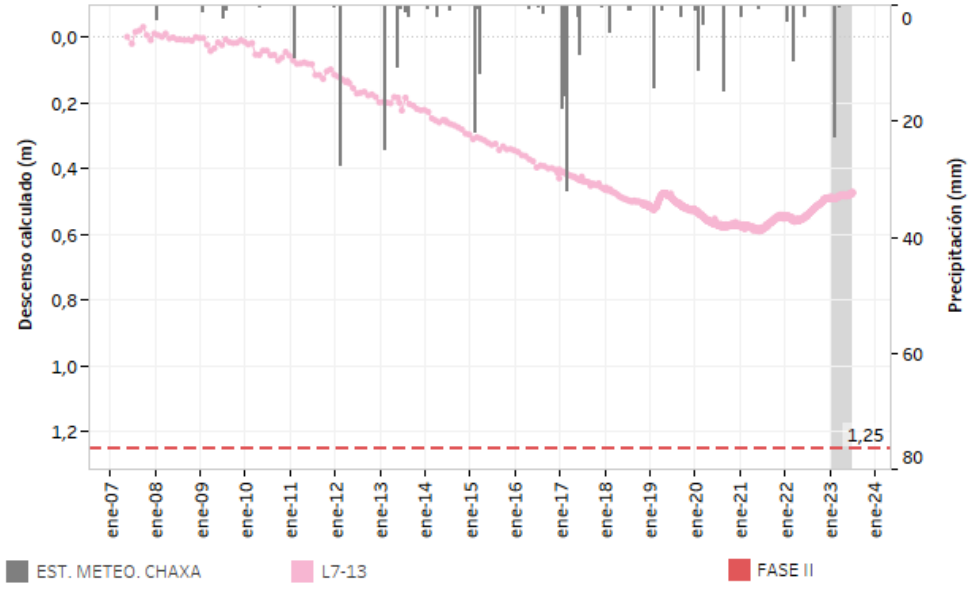
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-147: Descenso del indicador L2-25 junto al umbral perteneciente al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia



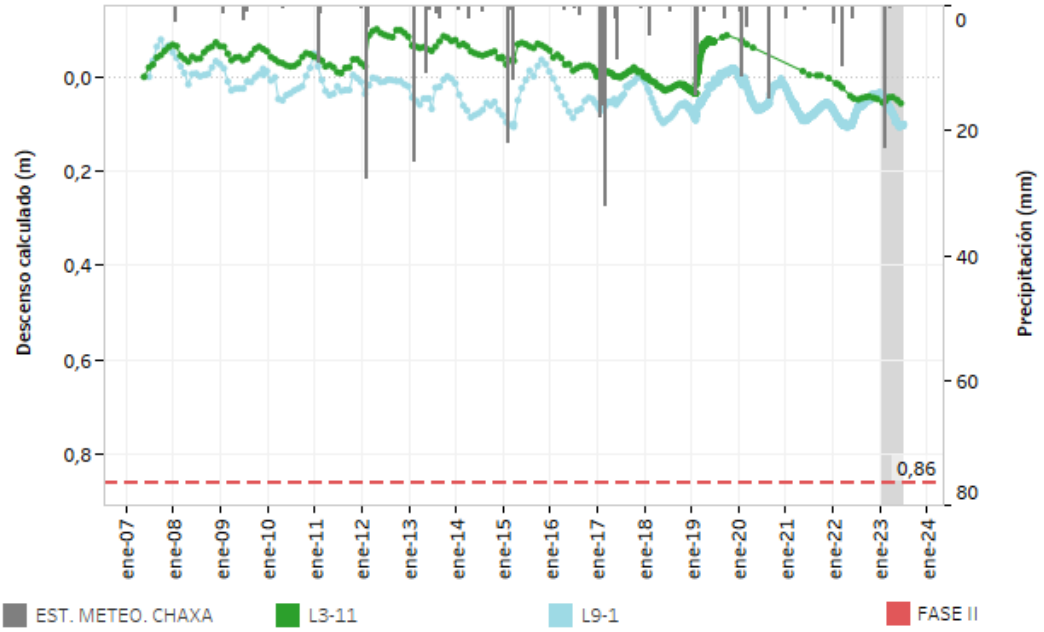
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-148: Descenso del indicador L7-13 junto al umbral al subsistema Alerta Temprana del Plan de Contingencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-149: 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

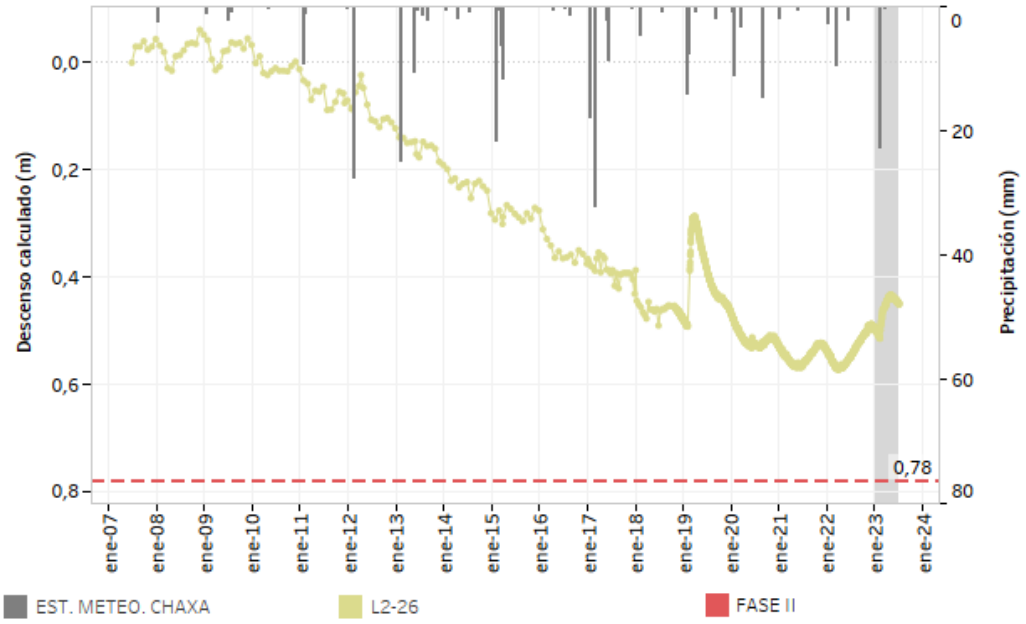
Tal como se mencionó en la sección 4.3.8, con el fin de incrementar los resguardos sobre el Sistema Borde Este, SQM ha incluido en forma complementaria al Plan de Contingencia, mediante la misma metodología utilizada en la definición del resto de los pozos que conforman el PC, seis pozos de monitoreo 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 de Vegetación Borde Este.

Respecto del L2-26 (Figura 6-150), este se ubica sobre la transecta L2, aguas abajo del pozo Allana. Este es uno de los tantos puntos que han cambiado su patrón de comportamiento debido a la reducción de las extracciones de agua, ya que desde 2020 ha pasado a reproducir un patrón más similar a la Zona Marginal, cuando previamente se asociaba más al descenso esperado para el acuífero aluvial. De hecho, a partir de

2022, el punto ha pasado a producir una tendencia de ascenso, probablemente por la detención del Allana desde 2021. Lo que lleva a que este indicador se encuentre al cierre del semestre 2023 a 33 cm del umbral y se prevé que esta distancia vaya en aumento si se mantiene el mismo comportamiento.

Figura 6-150: Descenso del indicador L2-26, junto con sus umbrales del PC



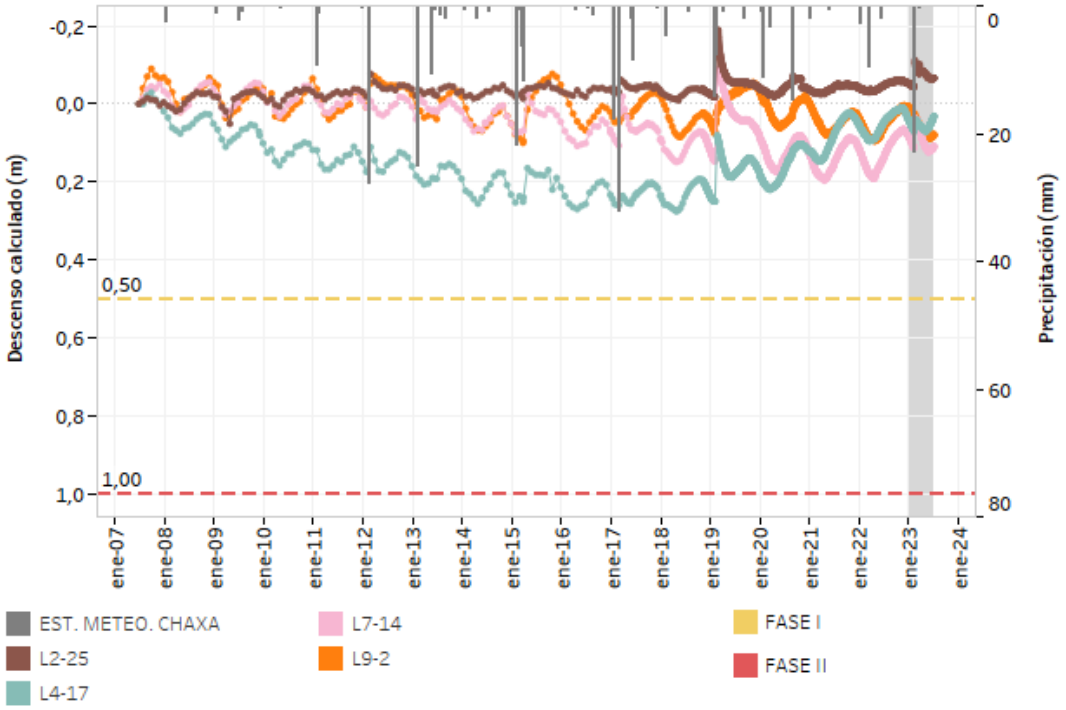
Fuente: Elaboración propia

El resto de los puntos de este grupo muestran una transición entre el acuífero aluvial y la zona marginal. Se muestran en distintos gráficos según el umbral por el que se define el PC; en la Figura 6-151 se grafican los descensos históricos del L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2 y en la Figura 6-152 el L3-15.

Respecto del primer subgrupo (Figura 6-151), para estos indicadores se asimilaron los límites de activación de Fases del subsistema Vegetación Brea-Atriplex. Así, desde el 2007 hasta la fecha, ningún pozo ha descendido más allá del límite de Fase I. El pozo con mayor tasa de descenso correspondía al L4-17 pero desde 2020 empezó a mostrar una tendencia de ascenso, producto del efecto de la reducción de agua, tal y como se ha visto en todos los pozos de este sector, tendencia que se mantiene también durante primer semestre 2023.

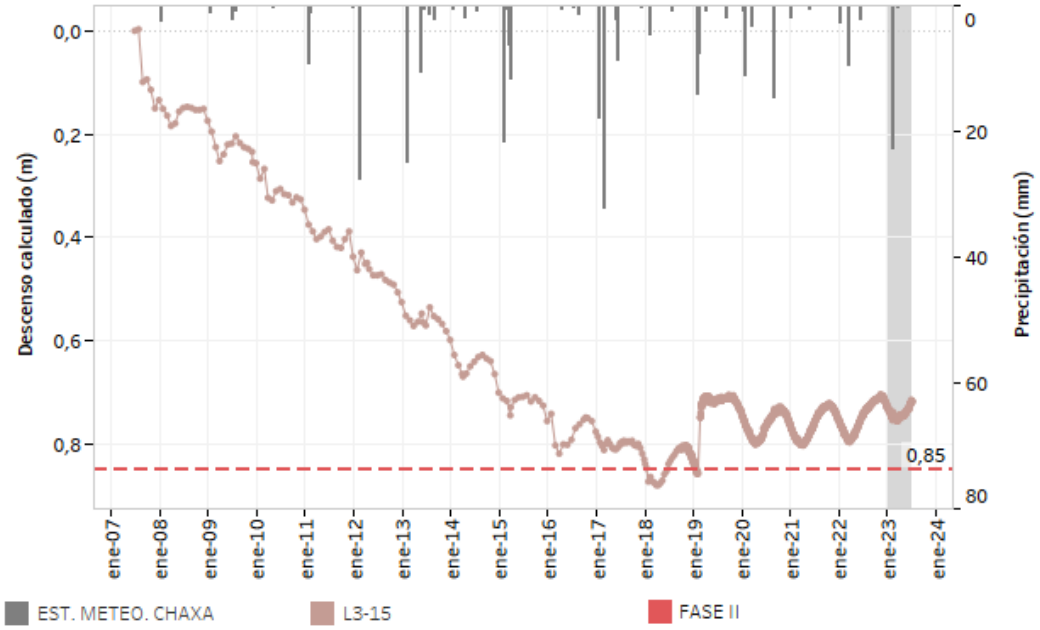
Con respecto al pozo L3-15 (Figura 6-152), que se ubica aguas abajo del área que comprenden los pozos Allana y Camar-2 y muestra también un comportamiento mixto entre el asociado a la zona marginal y al acuífero aluvial, que también ha respondido a las reducciones en la extracción de agua con un cambio en la tendencia, pasando a reproducir un comportamiento ascendente desde 2020. Para este indicador se define únicamente el límite para la activación de la Fase II, con un umbral de descenso de 0,85 m; al cierre del primer semestre 2023 el nivel se encontraba a 18 cm de dicho umbral y es esperable que esta distancia aumente si se mantiene el comportamiento descrito.

Figura 6-151: Descensos de los indicadores L2-25, L4-17, L7-14 y L9-2, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-152: Descenso del indicador L3-15, junto con sus umbrales del PC



Fuente: Elaboración propia

7 CONCLUSIONES

El PSAH asociado a la RCA 226/2006 abarca una gran extensión espacial, con 225 puntos de monitoreo en los que se registran 35 parámetros, con diferente frecuencia de medición en función del punto, de la variable y del parámetro objeto de control (desde medición continua a frecuencia anual). El PSAH permite monitorear el comportamiento hidrogeológico del Salar de Atacama, entregando información clave para, por un lado, el resguardo de los sistemas lacustres y vegetativos y por otro, para mejorar el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de la cuenca, información con la que se nutren las actualizaciones del modelo numérico hidrogeológico comprometidas en la RCA indicada anteriormente.

Durante el periodo semestral reportado, comprendido entre el 01 de enero de 2023 y el 30 de junio del año 2023, se efectuaron campañas de monitoreo de todos los puntos incluidos en el PSAH, de acuerdo con la frecuencia establecida. No obstante, no fue posible obtener resultados en varios puntos de control, debido a las restricciones de acceso, que se registran y especifican en el Capítulo 5 de este informe. La principal causa que ha llevado a esta disminución del volumen de información levantado 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.

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 general, para el primer semestre de 2023 y según la información registrada de niveles, todos los pozos han mostrado mantener el comportamiento esperado según su patrón Tipo Núcleo, Tipo Marginal, Tipo Aluvial, Influencia de agua superficial y todos los comportamientos transicionales asociados.

No obstante, se destaca el efecto de las reducciones de agua por parte de los pozos Camar-2, Allana y Mullay-1, los que han generado una respuesta en prácticamente todos los puntos del acuífero aluvial (por sobre todo zona norte) y aquellos puntos de la parte distal del acuífero aluvial e incluso parte de la zona Marginal. El efecto han sido por ejemplo cambios en las tendencias de descenso del acuífero aluvial (estabilización) e incluso han pasado a mostrar efectos propios de la zona marginal (oscilación estacional

y respuesta a las lluvias). En la zona de transición aluvial-marginal algunos puntos han invertido la tendencia, pasando a mostrar tasas de ascenso.

Por otro lado, se ha observado cómo el efecto del paro del pozo Camar-2 se ha visibilizado también en puntos situados más al sur del pozo Socaire-5 (sin que éste haya modificado su régimen habitual de extracción), lo que confirma que finalmente el acuífero aluvial es un mismo acuífero y que los conos de descenso de los pozos de agua industrial se encuentran solapados.

Destacar también que los tiempos y la magnitud de la respuesta antes los cambios en las extracciones de agua (reducción del caudal y paro del Camar-2 en este caso), han sido variables en todo el arco de la parte distal del acuífero aluvial y el inicio de la zona Marginal. Lo que confirma la alta heterogeneidad de las características hidráulicas que confieren los sedimentos allí presentes, lo que responde a la interdigitación de materiales más finos y más gruesos, característica de los depósitos sedimentarios de esta zona.

Finalmente, mencionar que durante el primer semestre 2023 se han registrado eventos de precipitación que han generado *peaks* de recarga en prácticamente todos los puntos observados (exceptuando los puntos que, debido a su patrón de comportamiento, no es esperable que respondan a estos eventos). El efecto observado en los niveles del Núcleo por ejemplo ha sido en forma de elevación del nivel de varios centímetros para posteriormente mostrar una recuperación (descenso) gradual. En el caso de los puntos situados sobre la zona Marginal, en donde para esta época del año se esperaría registrar los mínimos estacionales, se ha observado como en varios casos la cota alcanzada ha sido mayor respecto la dinámica de los anteriores años.

Del plan de contingencias

En el sistema Soncor, se han mantenido los indicadores L1-5 y L1-G4 Reglilla con la Fase II activada, tal y como se viene dando desde su activación en abril 2021. Esto se explica por la tendencia de descenso esperada en este sector y que solo cambia cuando se producen eventos de precipitación que aportan recarga directa al sistema. Aunque ambos puntos hayan mostrado un *peak* de recarga producto de la lluvia de este periodo del primer semestre 2023, el nivel se encuentra a cotas bastante menores como para generar una eventual desactivación del PC. No obstante, ya se ha descrito con detalle que esta activación

no supone un riesgo para el Objeto de Protección debido a que los mismos indicadores no son los más adecuados para su función de alerta temprana.

Respecto del indicador L1-4, se activa la Fase II por primera vez durante el primer semestre de 2022 y es producto de las lluvias registradas en el primer semestre 2023 que se produce la desactivación del PC para este punto. Durante la fase de recuperación post lluvia (descenso), en el mismo primer semestre 2023 se vuelve a activar la Fase I. Al cierre del semestre reportado, no ha llegado a activar la Fase II. Destaca que este punto se encuentra desconectado hidráulicamente del acuífero aluvial, por lo que 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 debida a la activación, 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 de agua (L3-5, L4-8 y L5-8), en donde en todos los casos han mostrado una respuesta que lleva a estabilizar o incluso a mostrar fuertes ascensos del nivel. Lo que lleva a mantener estable el PAT en este sector, asegurando así la natural variabilidad del objeto de protección en este sistema.

Respecto de los indicadores de salmuera del mismo Sistema Aguas de Quelana, destacan las diversas activaciones producidas por el indicador L5-10 en 2022; a partir de los análisis realizados en los informes de investigación correspondientes este punto se ve afectado por las extracciones de salmuera por parte de SQM y, en menor magnitud, por el aumento del bombeo de Albemarle a partir de la aprobación de la RCA de 2016. Lo que se considera un resultado razonable considerando la distancia de su campo de pozos al Sistema Aguas de Quelana y por tanto es esperable que su efecto vaya aumentando en el tiempo. Durante el primer semestre 2023 y producto de las lluvias registradas en este periodo, se ha producido la desactivación de las fases I y II (en el caso de la fase I ha sido una desactivación temporal, al cierre del semestre reportado se encuentra dicha fase activada).

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, debido a un cambio en el patrón de comportamiento en estas zonas cercanas a las zonas de vegas (Vegas de Carbajal y Vegas de Quelana)

desde 2020, en donde los mínimos estacionales alcanzaban cotas históricas no registradas anteriormente. A partir de los informes investigación correspondientes se vincula el efecto de descensos estacionales debido a la extracción de los pozos de agua industrial como una de las causas, como también abren la duda de si existen otros factores que puedan estar influyendo en este reciente cambio de patrón. En el primer semestre de 2023, los niveles se encuentran sobre los umbrales tanto de Fase II como Fase I, destacando que en este periodo se han registrado una serie de eventos de lluvia que han mantenido el nivel en cotas más elevadas para lo que cabría esperar de los mínimos estacionales característicos de esta época del año.

En el sistema de Vegetación Borde Este – Vegetación Brea Atriplex los indicadores de estado se mantienen durante todo el segundo semestre del 2022 activadas las Fases I de los indicadores L7-6, L2-7, L1-3 y L2-28, que se produjeron entre 2015 y 2020. Estos puntos se encuentran en el área influenciada por la reducción de las extracciones de los pozos Mullay-1 y Allana lo que ha llevado a que, en todos los casos, los niveles muestren signos de recuperación (estabilización o incluso tendencias de ascenso). Estos cambios llevan a que algunos de estos indicadores hayan desactivado la Fase I durante este primer semestre 2023 (L2-7 y L1-3, para este último, la desactivación fue solo temporal) y otros puedan llegar a hacerlo en los próximos meses (L7-6 y L2-28, éste último ha desactivado la Fase I fuera de este periodo reportado, en septiembre 2023).

Respecto del sistema Peine, los indicadores 1028, L10-11 y L10-4, se encuentran sobre el Núcleo (o muy próximo en el caso del L10-4), por lo que muestran un comportamiento característico de este sistema. Al inicio del primer semestre 2023, los tres se encontraban con la Fase I activada y producto de la recarga debida a la lluvia registrada estos mismos meses, los puntos han reproducido un salto del nivel que ha llevado a la desactivación en todos los casos. Antes del cierre del periodo reportado y durante la fase de recuperación post lluvia (descenso), el nivel en todos los casos ha sobrepasado los umbrales respectivos, durante, lo que pone en marcha la elaboración de tres informes de Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico (HVES) que serán entregados en la fecha comprometida; el 1 de noviembre (2023) el correspondiente al L10-11, 30 de noviembre (2023) el correspondiente al 1028 y el 7 de diciembre (2023) el correspondiente al L10-4.

Respecto los indicadores de estado PN-05B y PN-08 del PAT Sector Alerta Núcleo de Albermarle, SQM no ha recibido ninguna notificación por parte de la SMA sobre la activación de alguno de ellos.

De las variables meteorológicas

El análisis histórico de las variables meteorológicas, que incluyen mediciones de precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura, es relevante al momento de comprender cómo influyen estas 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, considerándose un periodo más bien seco. Mientras que, posterior a este periodo, se observa un aumento de las magnitudes, destacándose los eventos puntuales de lluvias intensas en algunos años (e. g. 2012, 2015, 2017, 2019), por lo que no es un incremento lineal.

De la extensión lagunar

Si bien es cierto no se pudo realizar levantamiento de extensión lacustre por medio de estacas perimetrales para enero 2023 por periodo reproductivo de Flamencos, si se realizó el cálculo de superficies vía imagen satelital de alta resolución. Por otro lado, para abril 2023, existen mediciones tanto de estacas perimetrales como recuperación de extensión lagunar vía imagen satelital.

Debido al aumento de frecuencia de monitoreo de extensión lagunar de anual a trimestral (PdC, 2022), se han logrado establecer aumentos de superficie lacustre entre enero y abril del 2023. Esto pone de manifiesto la la variabilidad intraanual-estacional, en donde el potencial de evaporación es factor de primer orden que influye en la extensión lacustre, debido a que el comportamiento lacustre está en desfase o de manera contracíclica con la evaporación.

De los caudales de agua superficial

En este periodo de mediciones no ha sido posible acceder a todos los puntos de aforos; debido a la prohibición de ingreso a RNF para el caso de Aforo Barros Negros y la prohibición de ingreso a los sectores del Sistema Peine en que se sitúan los puntos Aforo Salada y Aforo Saladita. Por lo que no se cuenta con todas las mediciones comprometidas manuales.

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.

En relación a la calidad físicoquímica de las aguas superficiales y subterráneas es posible concluir que la gran mayoría de los parámetros monitoreados durante el primer 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 primer semestre 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 sus límites ambientales permitidos.

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 únicamente habilitado para medición de parámetros fisicoquímicos y nivel.

De la posición de la cuña salina

En el presente semestre de reporte, no han podido realizarse los perfiles de conductividad eléctrica de los pozos Cuña 6 y Cuña 7 para todos los meses comprometidos por no contar con la autorización de la Comunidad de Peine en los sectores donde se encuentran estos puntos. Respecto de los perfiles en términos generales (Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3 en el Sistema Soncor, Cuña 4 y L4-3 en el Sistema Aguas de Quelana y Cuña 6 y Cuña 7 de Peine), 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.

Fetter Charles Willard Applied Hydrogeology [Libro]. - New Jersey : Prentice Hall, 2001.

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) [Publicación periódica] // 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.

Flow Hydro Consulting Protocolo de validación de datos químicos, Salar de Atacama y Salar del Carmen [Informe].- Santiango: junio 2023.

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.

LM: Límite de medición (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.