



PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HÍDRICO (PSAH)

Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”

Informe Anual N° 8

Período Enero – Diciembre 2023



Región de Antofagasta

Marzo 2023

INDICE GENERAL

1	RESUMEN	16
2	INTRODUCCIÓN	27
3	OBJETIVOS.....	39
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
4.1	Área de estudio	41
4.2	Variables Ambientales, Parámetros y Ubicación de los Puntos de Medición y Muestreo.....	45
4.2.1	Red de Monitoreo Variables Meteorológicas	47
4.2.2	Red de Monitoreo de Evapotranspiración.....	50
4.2.3	Red de Monitoreo Superficie Lagunar	53
4.2.4	Red de Monitoreo de Nivel, Posición Interfase Salina, Aforos y Composición Química del agua superficial y subterránea	55
4.2.5	Red de Monitoreo Pozos de Bombeo de Salmuera y de Agua Duce-Salobre.....	72
4.2.6	Puntos de Activación del Plan de Alerta Temprana.....	76
4.3	Metodología y Materiales/Equipos de Muestreo, Medición y/o Análisis.....	80
4.3.1	Variables Meteorológicas.....	80
4.3.2	Evapotranspiración	81
4.3.3	Superficie Lagunar.....	88
4.3.4	Aforos de Caudales Superficiales.....	92
4.3.5	Nivel Limnimétrico de las Lagunas	96
4.3.6	Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua Dulce-Salobre	97
4.3.7	Posición de la Interfase Salina.....	99
4.3.8	Composición Química de las Aguas	101
4.3.9	Caudales y Volúmenes Bombeados de Salmuera y de Agua Dulce-Salobre.....	112
4.4	Fechas e Incidentes campañas 2023	112
4.4.1	Fechas campañas 2023	112
4.4.2	Incidentes Campañas 2023	116
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS POR VARIABLE.....	117
5.1	Variables meteorológicas	117
5.1.1	Precipitación	123
5.1.2	Temperatura	125
5.1.3	Presión atmosférica.....	126
5.1.4	Evaporación.....	127
5.2	Evapotranspiración.....	128
5.2.1	Sector La Punta-La Brava.....	130
5.2.2	Sector Peine	133
5.2.3	Sector Norte y Borde Este	135

5.2.4	Sector Núcleo	139
5.3	Superficie Cubierta por Lagunas	141
5.3.1	La Punta - La Brava.....	142
5.3.2	Peine	144
5.3.3	Aguas de Quelana	146
5.3.4	Soncor	148
5.4	Nivel limnimétrico de las lagunas	149
5.4.1	Sector La Punta-La Brava.....	150
5.4.2	Sector Peine	154
5.4.3	Sector Norte y Borde Este	161
5.5	Caudales Superficiales.....	165
5.6	Nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre	169
5.6.1	Sector La Punta – La Brava.....	170
5.6.2	Sector Peine	182
5.6.3	Sector Norte y Borde Este	188
5.6.4	Sector Núcleo	190
5.7	Posición de la Interfase Salina	198
5.7.1	Sector La Punta – La Brava.....	198
5.7.2	Sector Peine	212
5.7.3	Sector Norte y Borde Este	225
5.8	Composición Química de las aguas	227
5.8.1	Sector La Punta – La Brava.....	230
5.8.2	Sector Peine	245
5.8.3	Sector Norte y Borde Este	261
5.8.4	Química de los Pozos de Extracción-	276
5.9	Caudales bombeados en salmuera y en agua dulce-salobre	281
5.9.1	Caudales bombeados en salmuera	281
5.9.2	Caudales bombeados en agua dulce-salobre.....	293
5.10	Limites Comprometidos por Variable y Limites PAT	298
6	DISCUSIONES.....	301
6.1	Análisis de la variabilidad temporal y/o espacial de las Variables Ambientales y Limites Considerados por Variable	301
6.1.1	Variables meteorológicas.....	301
6.1.2	Evapotranspiración	330
6.1.3	Superficie Cubierta por Lagunas	339
6.1.4	Nivel limnimétrico histórico de las lagunas	362
6.1.5	Caudales Superficiales	371
6.1.6	Nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre	375

6.1.7	Posición de la Interfase Salina	401
6.1.8	Composición química del agua superficial y subterránea	427
6.1.9	Caudales bombeados en salmuera y en agua dulce-salobre	501
6.1.10	Red del Plan de Alerta Temprana.....	512
6.2	Análisis Integrado de la Información por Sectores	529
6.2.1	Sector La Punta – La Brava.....	529
6.2.2	Sector Peine	540
6.2.3	Sector Norte y Borde Este	552
6.2.4	Sector Núcleo	563
6.3	Compromisos y Reportabilidad con la Autoridad durante 2023.....	567
6.3.1	Entrega periódica de información digital	567
6.3.2	En relación con la conexión en línea y reporte electrónico para el monitoreo del componente hídrico, Resolución Exenta SMA N° 1.314/2020.....	568
6.3.3	En relación con los Lisímetros, Considerando 10.5 y 10.6 de RCA N°21/2016.....	568
6.3.4	En relación con Modelo Hidrogeológico, Considerando 10.7 de RCA N°21/2016	568
6.3.5	En relación con la cota topográfica de referencia, Considerando 10.10 de la RCA N°21/2016	569
6.3.6	En relación con las activaciones de los PAT	569
7	CONCLUSIONES	573
8	REFERENCIAS.....	583

INDICE FIGURAS

Figura 4-1 Plano de Ubicación General del Salar de Atacama	42
Figura 4-2 Definición de Zonas y subcuencas del Salar y Sectores Asociados con el PSAH	44
Figura 4-3 Ubicaciones de las Estaciones Meteorológicas	49
Figura 4-4 Red Monitoreo Evapotranspiración	52
Figura 4-5 Red Superficie Cubierta por Lagunas	54
Figura 4-6 Puntos de Monitoreo Sector La Punta-La Brava	57
Figura 4-7 Puntos de Monitoreo Sector Peine.....	61
Figura 4-8 Puntos de Monitoreo Sector Norte y Borde Este	65
Figura 4-9 Puntos de Monitoreo Sector Núcleo.....	68
Figura 4-10 Ubicación Puntos de Bombeo Salmuera.....	75
Figura 4-11 Ubicación Puntos PAT	77
Figura 4-12 Esquema de la cámara semiesférica dispuesta en terreno, con ventiladores y psicrómetro instalados	81
Figura 4-13 Preparación del terreno e instalación del domo	84
Figura 4-14 Densidad de vapor de agua al interior de la cámara semiesférica	86
Figura 4-15 Ejemplo de cálculo de evaporación diaria.....	87
Figura 4-16 Árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de aguas con imágenes satelitales.....	90
Figura 4-17 Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (ráster) a polígonos (shape).....	92
Figura 4-18 Esquema de medición de caudal de aforo	94
Figura 4-19 Aforo con molinete	94
Figura 4-20 Esquema de sección de aforo con dos polígonos.....	95
Figura 4-21 Medición de nivel en reglilla	97
Figura 4-22 Medición de Nivel de Agua/Salmuera en Piezómetros	98
Figura 4-23 Sonda SEBA Hydrometrie con sensor MPS-D3.....	100
Figura 5-1 Precipitación diaria EM-Rockwood, 2023.....	124
Figura 5-2 Precipitación mensual EM-Rockwood, 2023.....	124
Figura 5-3 Precipitación año calendario y año hidrológico EM-Rockwood, 2023.....	125
Figura 5-4 Temperaturas extremas diarias [°C], 2023.....	126
Figura 5-5 Presión atmosférica diaria, 2023.....	127
Figura 5-6 Evaporación diaria, 2023	128
Figura 5-7 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, Sector La Punta-La Brava	132
Figura 5-8 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, Sector Peine.....	134
Figura 5-9 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3,EVT-4 y EVT-5, año 2023, Sector Norte	137
Figura 5-10 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, año 2023, Borde Este.....	138
Figura 5-11 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-9, EVT-10 y EVT-13, Sector Núcleo	140
Figura 5-12 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2023 – diciembre 2023.....	143
Figura 5-13 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2023.	145
Figura 5-14 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Aguas de Quelana, agosto – diciembre 2023.	147
Figura 5-15 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2023.	149
Figura 5-16 Registro anual de nivel limnimétrico (2023), sector La Punta - La Brava.....	153

Figura 5-17 Evolución anual (2023) de nivel limnimétrico en sector Peine	159
Figura 5-18 Evolución anual (2023) de nivel limnimétrico en LM-17 en sector Peine	160
Figura 5-19 Evolución histórica de nivel limnimétrico, sector Norte y Borde Este	164
Figura 5-20 Variación temporal de caudales superficiales Aforados.....	168
Figura 5-21 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava, para el año 2023.....	175
Figura 5-22 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava.....	177
Figura 5-23 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava	180
Figura 5-24 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Vegas de Tilopozo, sector La Punta-La Brava.....	181
Figura 5-25 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine	186
Figura 5-26 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Este y sur de Peine	187
Figura 5-27 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Norte y Borde Este.....	189
Figura 5-28 Hidrogramas de los pozos de observación de los sectores Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste.....	195
Figura 5-29 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Núcleo Este.....	196
Figura 5-30 Hidrogramas de los pozos de observación de la Zona de Producción.....	197
Figura 5-31 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector La Punta – La Brava.....	199
Figura 5-32 Perfiles de C.E. en el punto MP-01C año 2023	200
Figura 5-33 Perfil trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-01C.....	201
Figura 5-34 Perfiles de C.E. en el punto MP-03C año 2023	202
Figura 5-35 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-03C.....	203
Figura 5-36 Perfiles de C.E. en el punto MP-04C año 2023	204
Figura 5-37 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-04C.....	205
Figura 5-38 Perfiles de C.E. en el punto MP-05C año 2023	206
Figura 5-39 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-05C.....	207
Figura 5-40 Perfiles de C.E. en el punto MP-06C año 2023	208
Figura 5-41 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-06C.....	209
Figura 5-42 Perfiles de C.E. en el punto MP-09C año 2023	210
Figura 5-43 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-09C.....	211
Figura 5-44 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Peine	212
Figura 5-45 Perfiles de C.E. en el punto MP-07C-1 año 2023	213
Figura 5-46 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-07C-1.....	214
Figura 5-47 Perfiles de C.E. en el punto MPS-AC año 2023.....	215
Figura 5-48 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MPS-AC.....	216
Figura 5-49 Perfiles de C.E. en el punto MPS-CC año 2023	217
Figura 5-50 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MPS-CC.....	218
Figura 5-51 Perfiles de C.E. en el punto PP-01 año 2023.....	219
Figura 5-52 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto PP-01	220
Figura 5-53 Perfiles de C.E. en el punto PP-02 año 2023.....	221
Figura 5-54 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto PP-02	222
Figura 5-55 Perfiles de C.E. en el punto PP-03 año 2023.....	223
Figura 5-56 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto PP-03.....	224
Figura 5-57 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Norte y Borde Este.....	225
Figura 5-58 Perfiles de C.E. en el punto MP-12C año 2023	226
Figura 5-59 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-12C.....	227
Figura 5-60 Localización puntos de monitoreo Sector La Punta – La Brava.....	230
Figura 5-61 Variación pH <i>in situ</i> Sector La Punta-La Brava 2023	231

Figura 5-62 Variación durante el año 2023 de CE <i>in situ</i> , Sector La Punta-La Brava	232
Figura 5-63 Representación espacial de la variación temporal de la CE <i>in situ</i> , Sector La Punta-La Brava 2023	233
Figura 5-64 Variación Temporal de SDT en laboratorio, Sector La Punta-La Brava 2023	234
Figura 5-65 Variación en el año 2023 de la densidad en laboratorio, Sector La Punta-La Brava	235
Figura 5-66 Diagrama de Piper, campaña enero 2023, Sector La Punta-La Brava	239
Figura 5-67 Diagrama de Piper, campaña marzo 2023, Sector La Punta-La Brava.....	240
Figura 5-68 Diagrama de Piper, campaña abril 2023, Sector La Punta-La Brava.....	241
Figura 5-69 Diagrama de Piper, campaña mayo 2023, Sector La Punta-La Brava.....	242
Figura 5-70 Diagrama de Piper, campaña julio 2023, Sector La Punta-La Brava	243
Figura 5-71 Diagrama de Piper, campaña octubre 2023, Sector La Punta-La Brava.....	244
Figura 5-72 Localización puntos de monitoreo Sector Peine	245
Figura 5-73 Variación Temporal pH <i>in Situ</i> , Sector Peine 2023	246
Figura 5-74 Variación Temporal CE <i>in Situ</i> , Sector Peine 2023.....	248
Figura 5-75 Representación espacial de la variación temporal de la CE <i>in situ</i> , Sector Peine 2023...	249
Figura 5-76 Variación Temporal Densidad en laboratorio, Sector Peine 2023.....	250
Figura 5-77 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Peine 2023	251
Figura 5-78 Diagrama de Piper, Campaña enero 2023 Sector Peine	255
Figura 5-79 Diagrama de Piper, Campaña marzo 2023, Sector Peine	256
Figura 5-80 Diagrama de Piper, Campaña abril 2023, Sector Peine.....	257
Figura 5-81 Diagrama de Piper, Campaña mayo 2023, Sector Peine.....	258
Figura 5-82 Diagrama de Piper, Campaña julio 2023, Sector Peine	259
Figura 5-83 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2023, Sector Peine	260
Figura 5-84 Localización puntos de monitoreo Sector Norte y Borde Este	261
Figura 5-85 Variación Temporal pH <i>in situ</i> , Sector Norte y Borde Este 2023.....	262
Figura 5-86 Variación Temporal CE <i>in situ</i> , Sector Norte y Borde Este 2023	263
Figura 5-87 Representación espacial de la variación temporal de la CE <i>in situ</i> , Sector Norte y Borde Este 2023	265
Figura 5-88 Variación Temporal: SDT en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2023.....	266
Figura 5-89 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2023.....	267
Figura 5-90 Diagrama de Piper, Campaña enero 2023, Sector Norte y Borde Este	270
Figura 5-91 Diagrama de Piper, Campaña marzo 2023, Sector Norte y Borde Este	271
Figura 5-92 Diagrama de Piper, Campaña abril 2023, Sector Norte y Borde Este.....	272
Figura 5-93 Diagrama de Piper, Campaña mayo 2023, Sector Norte y Borde Este.....	273
Figura 5-94 Diagrama de Piper, Campaña julio 2023, Sector Norte y Borde Este	274
Figura 5-95 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2023, Sector Norte y Borde Este	275
Figura 5-96 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro...	279
Figura 5-97 Variación temporal de Potasio, Sodio y Sulfato en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro ..	280
Figura 5-98 Mapa de ubicación de los pozos de extracción de salmuera de Albemarle	282
Figura 5-99 Caudales Promedio Mensuales de Extracción de Salmuera por zona, año 2023.....	291
Figura 5-100 Caudales mensuales por zona año calendario 2023, junto a límite PAT.	292
Figura 5-101 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, durante 2023 (extracción total de zonas A1 y A2)	293
Figura 5-102 Caudales mensuales 2023 bombeados en Vertiente Tilopozo	295
Figura 5-103 Caudales mensuales 2023 bombeados en pozo Tucúcaro	295
Figura 5-104 Caudales mensuales 2023 bombeados en pozo Peine	296
Figura 5-105 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año operacional 2023 ..	297
Figura 6-1 Precipitación diaria con data histórica, periodo 2009-2023	304
Figura 6-2 Precipitación mensual con data histórica, periodo 2002-2023	304
Figura 6-3 Precipitación año hidrológico EM-Rockwood, periodo 2002-2023	306
Figura 6-4 Precipitación por año operacional EM-Rockwood, año operacional 2003-2023	306
Figura 6-5 Precipitaciones acumuladas anuales por estación periodo 1970-2023	316
Figura 6-6 Precipitaciones acumuladas anuales por estación periodo 1970-2023	317

Figura 6-7 Temperaturas extremas diarias [°C], periodo 2009-2023.....	319
Figura 6-8 Distribución T° mínimas por año EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2023.....	320
Figura 6-9 Distribución T° máximas por año EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2023.....	321
Figura 6-10 Temperaturas extremas diarias Albemarle y medias de terceros [°C], periodo 2009-2023.....	322
Figura 6-11 Presión atmosférica diaria, periodo 2016-2023.....	324
Figura 6-12 Evaporación diaria, periodo 2009-2023	326
Figura 6-13 Distribución Evaporación Lámina Libre EM-ROCKWOOD/SCL [mm], periodo 2009-2023.....	327
Figura 6-14 Evaporación diaria Albemarle y terceros, periodo 2009-2023.....	328
Figura 6-15 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, Sector La Punta-La Brava	331
Figura 6-16 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, Sector Peine.....	333
Figura 6-17 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4 y EVT-5, Sector Norte	335
Figura 6-18 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, Borde Este.....	336
Figura 6-19 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-9, EVT-10 y EVT-13, Sector Núcleo	338
Figura 6-20 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava.....	341
Figura 6-21 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A.....	343
Figura 6-22 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	343
Figura 6-23 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A.....	344
Figura 6-24 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	344
Figura 6-25 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.	345
Figura 6-26 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A.	346
Figura 6-27 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	347
Figura 6-28 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A.	347
Figura 6-29 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	348
Figura 6-30 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua sistema lagunar Aguas de Quelana	349
Figura 6-31 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Aguas de Quelana, a partir de Pléiades 1-A.	351
Figura 6-32 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Aguas de Quelana, de imágenes Landsat 8.	352
Figura 6-33 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), Aguas de Quelana, imágenes Pléiades 1-A.	353
Figura 6-34 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Aguas de Quelana, Landsat 8.....	354
Figura 6-35 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Soncor.	355
Figura 6-36 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A.	356

Figura 6-37 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.....	357
Figura 6-38 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos(diciembre 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A.	358
Figura 6-39 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.....	359
Figura 6-40 Evolución histórica de nivel limnimétrico (2016-2022), sector La Punta - La Brava Zona de Tilopozo.....	364
Figura 6-41 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine	367
Figura 6-42 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine	368
Figura 6-43 Evolución histórica de nivel limnimétrico, sector Norte y Borde Este	370
Figura 6-44 Variación temporal de caudales superficiales Aforados (2014-2023)	372
Figura 6-45 Variación temporal de caudales superficiales Aforados.....	374
Figura 6-46 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava.....	378
Figura 6-47 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava.....	380
Figura 6-48 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Sur 1, sector La Punta-La Brava	383
Figura 6-49 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Sur 2, sector La Punta-La Brava	384
Figura 6-50 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine	388
Figura 6-51 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Este y sur de Peine	389
Figura 6-52 Mapa de ubicación puntos de monitoreo sector Norte y Borde Este.....	391
Figura 6-53 Hidrogramas de los pozos de observación de los sectores Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste.....	395
Figura 6-54 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Núcleo Este.....	396
Figura 6-55 Hidrogramas de los pozos de observación de la Zona de Producción.....	397
Figura 6-56 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-05B ...	399
Figura 6-57 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-08A ...	400
Figura 6-58 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-14B ...	400
Figura 6-59 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-16B ...	401
Figura 6-60 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-01C.....	404
Figura 6-61 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-03C.....	406
Figura 6-62 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-04C.....	408
Figura 6-63 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-05C.....	410
Figura 6-64 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-06C.....	412
Figura 6-65 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-09C.....	413
Figura 6-66 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-07C-1.....	415
Figura 6-67 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-AC.....	417
Figura 6-68 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-CC.....	419
Figura 6-69 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-01	420
Figura 6-70 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-02.....	422
Figura 6-71 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-03.....	424
Figura 6-72 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-12C.....	426
Figura 6-73 Diagrama de Caja, pH <i>in situ</i> histórico, Sector La Punta-La Brava.....	431
Figura 6-74 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica <i>in situ</i> histórico ($\mu\text{S/cm}$), Sector La Punta-La Brava.....	432
Figura 6-75 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE <i>in situ</i> , Sector La Punta-La Brava.....	434
Figura 6-76 Variación Temporal: OD <i>in situ</i> , Sector La Punta-La Brava	435
Figura 6-77 Diagrama de Caja, pH de laboratorio histórico, Sector La Punta-La Brava	437
Figura 6-78 Diagrama de Caja, CE de laboratorio histórico ($\mu\text{S/cm}$), Sector La Punta-La Brava	438

Figura 6-79 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava.....	439
Figura 6-80 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector La Punta-La Brava.....	440
Figura 6-81 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector La Punta-La Brava.....	441
Figura 6-82 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector La Punta-La Brava	442
Figura 6-83 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	446
Figura 6-84 Variación Temporal: HCO ₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	447
Figura 6-85 Variación Temporal: NO ₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	448
Figura 6-86 Variación Temporal: SO ₄ en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	449
Figura 6-87 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	450
Figura 6-88 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	451
Figura 6-89 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	452
Figura 6-90 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava	453
Figura 6-91 Diagrama de Caja, pH <i>in situ</i> histórico, Sector Peine.....	456
Figura 6-92 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica <i>in situ</i> histórico (µS/cm), Sector Peine	457
Figura 6-93 Variación Temporal: pH, Temperatura, CE <i>in Situ</i> , Sector Peine.....	459
Figura 6-94 Variación Temporal: OD in Situ, Sector Peine	460
Figura 6-95 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine	462
Figura 6-96 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Peine	463
Figura 6-97 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Peine.....	464
Figura 6-98 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Peine	465
Figura 6-99 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine.....	469
Figura 6-100 Variación Temporal: HCO ₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine	470
Figura 6-101 Variación Temporal: NO ₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine.....	471
Figura 6-102 Variación Temporal: SO ₄ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine.....	472
Figura 6-103 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine	473
Figura 6-104 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine.....	474
Figura 6-105 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine	475
Figura 6-106 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine	476
Figura 6-107 Diagrama de Caja, pH in situ histórico, Sector Norte y Borde Este.....	478
Figura 6-108 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica in situ histórico (µS/cm), Sector Norte y Borde Este	480
Figura 6-109 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE in situ, Sector Norte y Borde Este	482
Figura 6-110 Variación Temporal: OD in situ, Sector Norte y Borde Este.....	483
Figura 6-111 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	484
Figura 6-112 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Norte y Borde Este	485
Figura 6-113 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este.....	486
Figura 6-114 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Norte y Borde Este	487
Figura 6-115 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	490
Figura 6-116 Variación Temporal: HCO ₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este ..	491
Figura 6-117 Variación Temporal: NO ₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este.....	492
Figura 6-118 Variación Temporal: SO ₄ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	493
Figura 6-119 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	494
Figura 6-120 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	495
Figura 6-121 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	496

Figura 6-122 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este	497
Figura 6-123 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro	499
Figura 6-124 Variación temporal de Potasio, Sodio y Sulfato en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro	500
Figura 6-125 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, periodo 1983-2023 (extracción total de zonas A1 y A2).....	502
Figura 6-126 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2023.....	503
Figura 6-127 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2020 y año operacional periodo 2021-2022.....	504
Figura 6-128 Caudales medio anual año operacional en Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro (1998-2023)	504
Figura 6-129 Caudal medio año operacional 2022-2023	506
Figura 6-130 Caudales mensuales por zona año operacional 2023	507
Figura 6-131 Caudales mensuales históricos bombeados en Vertiente Tilopozo	508
Figura 6-132 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Tucúcaro	508
Figura 6-133 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Peine	509
Figura 6-134 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año calendario 2023	511
Figura 6-135 Ubicación puntos de monitoreo del Plan de Alerta Temprana (PAT).....	512
Figura 6-136 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-G4 Pozo	516
Figura 6-137 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-5.....	516
Figura 6-138 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L3-9.....	517
Figura 6-139 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L5-10.....	518
Figura 6-140 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L4-12.....	519
Figura 6-141 Niveles Punto de Monitoreo PN-05B	521
Figura 6-142 Niveles Punto de Monitoreo PN-08A.....	522
Figura 6-143 Niveles Punto de Monitoreo PN-14B.....	522
Figura 6-144 Niveles Punto de Monitoreo PN-16B.....	523
Figura 6-145 Niveles Punto de Monitoreo BA-05	526
Figura 6-146 Niveles Punto de Monitoreo BA-07	526
Figura 6-147 Niveles Punto de Monitoreo BA-16	527
Figura 6-148 Niveles Punto de Monitoreo BA-28	527
Figura 6-149 Niveles Punto de Monitoreo BA-30	528
Figura 6-150 Evolución de nivel freático en relación con la evaporación en el Sistema La Punta-La Brava.	531
Figura 6-151 Evolución de nivel en relación con la precipitación en la zona de transición. Sistema La Punta-La Brava.	532
Figura 6-152 Evolución de nivel profundos en relación con la precipitación en la zona de transición, línea norte. Sistema La Punta-La Brava	533
Figura 6-153 Evolución niveles piezómetros someros próximos a pozo Tucúcaro. Borde Oeste, Sistema La Punta-La Brava	534
Figura 6-154 Evolución niveles piezómetro somero próximo a la vertiente Tilopozo. Borde Sur,	535
Figura 6-155 Evolución de niveles en las lagunas del sistema La Punta-La Brava.....	536
Figura 6-156 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema La Punta - La Brava (imágenes alta resolución).....	537
Figura 6-157 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector La Punta y la Brava.	538
Figura 6-158 Evolución de conductividad eléctrica en multipiezómetros del sistema La Punta-La Brava	539
Figura 6-159 Evolución de nivel frente conductividad eléctrica en lagunas sistema La Punta-La Brava	540

Figura 6-160 Evolución de nivel en relación con la evaporación Sistema Peine.....	542
Figura 6-161 Evolución de nivel en relación con la precipitación sistema lagunar Peine.....	542
Figura 6-162 Evolución de niveles en el sector de la laguna Interna. Sector Peine.....	543
Figura 6-163 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y evaporación en el borde Este. Sistema Peine.....	544
Figura 6-164 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y precipitaciones en el borde Este. Sistema Peine.....	544
Figura 6-165 Evolución de niveles profundos, salmuera. Sector Peine.....	545
Figura 6-166 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la precipitación.....	546
Figura 6-167 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la evaporación.....	547
Figura 6-168 Evolución histórica de Caudales Aforados Sistema Peine.....	548
Figura 6-169 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Peine (imágenes alta resolución).....	549
Figura 6-170 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Peine.....	551
Figura 6-171 Evolución de niveles de aguas superficiales versus evaporación. Sistema Aguas de Quelana.....	553
Figura 6-172 Evolución de niveles de pozos de aguas someras, salobres, al Sur del Sistema Aguas de Quelana versus precipitación.....	553
Figura 6-173 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Aguas de Quelana (imágenes alta resolución).....	555
Figura 6-174 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Aguas de Quelana.....	556
Figura 6-175 Evolución de nivel en piezómetros de salmuera próximos al Sistema Soncor.....	558
Figura 6-176 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a las precipitaciones.....	559
Figura 6-177 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a la evaporación.....	559
Figura 6-178 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Soncor (imágenes alta resolución).....	561
Figura 6-179 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Soncor.....	562
Figura 6-180 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo.....	564
Figura 6-181 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Norte y Este.....	565
Figura 6-182 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Zona de Producción.....	566

INDICE TABLAS

Tabla 2-1 Proyectos y RCA consideradas en el Informe PSAH	28
Tabla 2-2 Componentes y Variables Ambientales reportados	30
Tabla 2-3 Identificación de Considerandos en las RCAs asociadas al PSAH	32
Tabla 2-4 Variables Ambientales comprometidas en el PSAH del Anexo 3 de Adenda 5.....	35
Tabla 2-5 Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis.....	38
Tabla 4-1 Resumen Variables Ambientales y Parámetros	45
Tabla 4-2 Detalle de las Estaciones Meteorológicas.....	48
Tabla 4-3 Red de Monitoreo de Evapotranspiración	51
Tabla 4-4 Vértices de los polígonos usados para evaluar superficie lagunar.....	53
Tabla 4-5 Red de Monitoreo Sector La Punta-La Brava.....	58
Tabla 4-6 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Peine	62
Tabla 4-7 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Norte y Borde Este	66
Tabla 4-8 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo	69
Tabla 4-9 Pozos de bombeo monitoreados año 2023, 87 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.....	72
Tabla 4-10 Indicadores de estado del PAT	76
Tabla 4-11 Descripción del PAT para cada sector	78
Tabla 4-12 Equipos de Estación Meteorológica	80
Tabla 4-13 Domos utilizados para la medición de la EVT en 2023	82
Tabla 4-14 Características domos utilizados para la medición de la EVT en 2023	82
Tabla 4-15 Equipos y materiales complementarios al uso de domos.....	83
Tabla 4-16 Factor de corrección por forma	87
Tabla 4-17 Materiales y Equipos para la medición de parámetros in situ	101
Tabla 4-18 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98194	102
Tabla 4-19 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98192	102
Tabla 4-20 Materiales y Equipos para la Toma de Muestras	103
Tabla 4-21 Materiales y equipos reactivos para almacenamiento y traslado de muestras, Laboratorio SGS.....	103
Tabla 4-22 Materiales y equipos reactivos para almacenamiento y traslado de muestras Laboratorio ANAM.....	104
Tabla 4-23 Características de preservación de muestras, laboratorio SGS.....	105
Tabla 4-24 Características de preservación de muestras, laboratorio ANAM	105
Tabla 4-25 Criterio estabilización de parámetros in situ para el muestreo de aguas	106
Tabla 4-26 Métodos de análisis en laboratorio.....	107
Tabla 4-27 Métodos de análisis en laboratorio.....	108
Tabla 4-28 Materiales y Equipos para la medición de Volúmenes Bombeados	112
Tabla 4-29 Fechas de Muestreo y Medición durante el año 2023.....	113
Tabla 4-30 Fechas de Muestreo y Medición adicionales asociadas a Activación Fase Única, PAT Sector Alerta Acuífero 2023.....	114
Tabla 4-31 Listado de variables por mes sin monitoreo	114
Tabla 5-1 Precipitación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2023.....	118
Tabla 5-2 Presión atmosférica diaria [mbar] en EM-Rockwood, año 2023.....	119
Tabla 5-3 Temperatura mínima diaria [°C] en EM-Rockwood, año 2023	120
Tabla 5-4 Temperatura máxima diaria en EM-Rockwood, año 2023	121
Tabla 5-5 Evaporación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2023.....	122
Tabla 5-6 Resumen información puntos de medición de evapotranspiración	130
Tabla 5-7 campaña de evapotranspiración 2023, Sector La Punta - La Brava	131
Tabla 5-8 Resultados campaña de evapotranspiración 2023, Sector Peine	133
Tabla 5-9 Resultados campaña de evapotranspiración 2023, Sector Norte y Borde Este	135
Tabla 5-10 Resultados campaña de evapotranspiración 2023, Sector Núcleo	139

Tabla 5-11 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A en el monitoreo 2023 (invierno y verano)	141
Tabla 5-12 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 en el monitoreo 2023 (invierno y verano)	142
Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2023	150
Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2023	155
Tabla 5-15 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Norte y Borde Este, año 2023	162
Tabla 5-16 Resumen información puntos de medición de caudal de escorrentía superficial	165
Tabla 5-17 Resultados campañas de aforo año 2023	166
Tabla 5-18 Periodo de registro red de monitoreo del sector LP-LB	171
Tabla 5-19 Periodo de registro red de monitoreo del sector Peine	182
Tabla 5-20 Periodo de registro red de monitoreo del sector Norte y Borde Este	188
Tabla 5-21 Periodo de registro puntos de monitoreo sector Núcleo	190
Tabla 5-22 Resultados Calidad Química de pozo Peine año 2023	276
Tabla 5-23 Resultados Calidad Química de vertiente Tilopozo año 2023	277
Tabla 5-24 Resultados Calidad Química de pozo Tucúcaro año 2023	277
Tabla 5-25 Mínimos y máximos de los puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro	278
Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023	283
Tabla 5-27 Caudales promedio y volúmenes bombeados de agua dulce-salobre, año calendario 2023	294
Tabla 5-28 Límites comprometidos por Variables Ambientales y Parámetros	298
Tabla 5-29 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Norte	299
Tabla 5-30 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Núcleo	299
Tabla 5-31 Umbrales de Activación Sector Alerta Acuífero	300
Tabla 6-1 Resumen registros por estación meteorológica	302
Tabla 6-2 Cota, precipitación promedio y máxima anual de estaciones meteorológicas.	307
Tabla 6-3 Precipitación media mensual [mm] en estaciones meteorológicas en torno al Salar de Atacama	309
Tabla 6-4 Precipitaciones anuales (mm)	311
Tabla 6-5 Precipitación Anual histórica para diferentes probabilidades de excedencia	314
Tabla 6-6 Precipitación Anual Año 2023 (mm)	314
Tabla 6-7 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y datos monitoreo 2023 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos disponibles en Adenda 5 RWL, 2015.	339
Tabla 6-8 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos monitoreo 2023 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos históricos (1973-1976) de la Adenda 5 RWL (2015).	340
Tabla 6-9 Superficies mínimas de los sistemas lagunares (imágenes de alta resolución AR)	360
Tabla 6-10 Comparación valores mínimos superficie lagunar año 2023	361
Tabla 6-11 Estadígrafos por punto de monitoreo de caudal	373
Tabla 6-12 Puntos de realización de perfiles de conductividad eléctrica	401

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A: Variables Meteorológicas (1970-2023).xlsx

Anexo B: Evapotranspiración

Anexo B-1: Planilla Evapotranspiración (2013-Dic2023)

Anexo B-2: Lisímetros (Pdf)

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

Anexo C-1: Informe Superficie Cubierta por Lagunas (2023)

Anexo C-2: Planilla Superficie Cubierta por Lagunas (1972-2023).xlsx

Anexo D: Nivel Limnimétrico de las Lagunas (2016-2022).xlsx

Anexo E: 2023_SMA_CaudalAguaSuperficial_AFORO.xlsx

Anexo F: Niveles Piezométricos en salmuera y en agua dulce-salobre

Anexo F-1: Datos Niveles freáticos 2023 (Word)

Anexo F-2: 2023_SMA_Nivel de Agua y Salmuera Históricos.xlsx

Anexo F-3: Registro Certificados de niveles emitidos por ETFA

Anexo G: Posición de la Interfase Salina

Anexo G-1: Datos de Interfase Salina 2023 (Word)

Anexo G-2: Posición de la Interfase Salina (2013-2023).xlsx

Anexo H: Composición Química de las aguas

Anexo H-1: Datos composición química 2023.xlsx

Anexo H-2: Informe de parámetros físico-químicos histórico (Word)

Anexo H-3: Composición Química en agua superficial y subterránea (2013-2023).xlsx

Anexo H-4: Registro Certificados emitidos por ETFA

Anexo H-5: Registro de Calibración diaria del equipo multiparamétrico

Anexo H-6: Registro Estabilización de parámetros In-situ

Anexo H-7: Registro Cadena de custodia

Anexo H-8: Registro de Ajuste de Datos Históricos Fuera de Rango

Anexo I: Composición Química de puntos de extracción agua dulce-salobre

Anexo I-1: 2023_SMA_CalidadAguaSupYSub-LPLB.xlsx

Anexo I-2: 2023_SMA_CalidadAguaSupYSub-NyBE.xlsx

Anexo I-3: 2023_SMA_CalidadAguaSupYSub-Peine.xlsx

Anexo I-4: 2023_SMA_Planilla Calidad Agua 3 Pozos Bombeo.xlsx

Anexo J: 2023_SMA_Bombeos.xlsx

Anexo K: Libreta de terreno

Anexo L: Registro de Permiso de Terceros

Anexo M: Respaldo Resoluciones, Ordinarios y Cartas

Anexo N: Planilla Responsables y Participantes_PSAH_N°8

Anexo Ñ: Estratigrafía y perfiles de habilitación.

2023_SMA_Listado_puntos_subte PSAH_Res894 a Dic_2022.xlsx

2023_SMA_Reportabilidad 894 pozos Produccion_ALB_Salar a Dic-21.xlsx

2023_SMA_Esquema Habilidadación y Estratigrafía_Puntos Sistema LPLB.pdf

2023_SMA_Esquema Habilidadación y Estratigrafía_Puntos Sistema NyBE.pdf

2023_SMA_Esquema Habilidadación y Estratigrafía_Puntos Sistema Peine.pdf

2023_SMA_Esquema Habilidadación y Estratigrafía_ Sistema Núcleo Actual.pdf

2023_SMA_Esquema Habilidadación y Estratigrafía_ Sistema Núcleo.pdf

1 RESUMEN

El presente documento corresponde al **Informe Anual N° 8 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (en adelante PSAH)**, el cual forma parte de las obligaciones ambientales del titular Albemarle (en adelante ALB), derivadas de la Resolución de Calificación Ambiental N° 21 de fecha 20 de enero del 2016 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Antofagasta, en adelante RCA N° 21/2016, que calificó favorablemente el Proyecto “*Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama*”.

Específicamente, el PSAH da cumplimiento a lo establecido en el Considerando N° 7 de la RCA N° 21/2016 en lo relacionado con la componente hídrica (agua). El PSAH es un compromiso ambiental aplicable para las Fases de Operación y Cierre del Proyecto, por lo que, como la fase de operación inició en fecha 28 de septiembre de 2016, el presente Informe N° 8 del PSAH, entrega información de monitoreo del año calendario 2023, y además, se presentan análisis para el año operacional que corresponde desde octubre a septiembre 2023 en algunos parámetros como por ejemplo, caudales bombeados. El presente PSAH es el correspondiente al año N°8 de reportabilidad, junto a toda la información histórica y de línea de base.

En este informe se muestran los resultados del monitoreo de las variables ambientales del componente hídrico, analizando la evolución del sistema y la verificación del comportamiento previsto por la evaluación ambiental del Proyecto; además se realiza un análisis integrado de las variables y parámetros monitoreados. Las variables ambientales se presentan agrupadas en cuatro sectores de la cuenca, que son: La Punta-La Brava, Peine, Norte y Borde Este y Núcleo (área de extracción de salmuera). La estructura y contenidos del documento cumplen con las especificaciones de la Resolución Exenta N°223 del 26 de marzo de 2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente 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*”.

En relación con las mediciones del año 2023 de las variables ambientales del PSAH se puede resumir lo siguiente:

La **precipitación** en la estación meteorológica EM-Rockwood registró un total anual (2023) de 26,6 mm, lo que representa un aumento en las precipitaciones diarias en frecuencia y mm caídos comparados con el año anterior, presenta una probabilidad de excedencia del 32% y por lo tanto corresponde a una condición de año normal a húmedo. Las mayores precipitaciones se registraron en el mes de marzo con 21,2 mm/mes. Considerando los datos

de otras estaciones, se menciona EM-Chaxa la que registró para el año 2023 un total de 32,2 mm, con una probabilidad de excedencia del 26% y por lo tanto corresponde también a una condición de año normal a húmedo. En relación a los datos históricos disponibles, se cuenta con datos de 11 estaciones, donde se observa alta variabilidad en la cuenca. Considerando los registros de los últimos 20 años, las mayores precipitaciones se registran en las estaciones con mayor altitud, mientras que las menores precipitaciones ocurren en aquellas zonas con menores altitudes. Los años más lluviosos del registro en la estación EM-Rockwood, en orden decreciente, corresponden a los años 2017, 2019 y 2013, alcanzando 65,7 mm/año; 48,2 m/año y 42,5 m/año, respectivamente.

La **presión atmosférica**, presenta un comportamiento estacional con tendencias estables donde los valores máximos se registran entre los meses de mayo y agosto (estaciones húmedas) y los mínimos entre octubre y marzo (estaciones secas). En base a los registros de EM-Rockwood, durante el año 2023, se registró el valor máximo en el mes de junio (778,2 mbar) y el valor mínimo en enero (770,4 mbar). Otras estaciones como EM-Chaxa y EM-KCL, muestran el mismo comportamiento que EM-Rockwood, con mayores valores en EM-Chaxa.

Respecto al **registro de evaporación en lámina libre**, la estación EM-Rockwood se caracteriza por una marcada variación estacional, donde las mayores tasas de evaporación se registran en los meses de verano y las menores en invierno. Específicamente en 2023, el mes de noviembre presentó el mayor registro diario (20,1 mm/día) y agosto registró el menor valor (1,8 mm/día). Estos resultados son consistentes con las variaciones de **temperatura**, obtenidas en la estación EM-Rockwood, entre las distintas estaciones del año, la cual registró la mínima promedio en el mes de junio (-2,2°C), mientras que las temperaturas máximas alcanzaron los 35,7°C promedio en diciembre de 2023. Por otro lado, las temperaturas mínimas para la estación EM-SCL, oscilan en torno a los -6 y los 16°C para los meses fríos. Se observa además los datos de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, que la evaporación muestra un comportamiento sincrónico y similares en las tres estaciones (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood), siendo levemente mayores los datos de EM-Rockwood.

La **variable de Evapotranspiración (“EVT”)**, fue medida en el año 2023 con frecuencia trimestral en los 22 puntos instalados en el área del Salar, a través del método del domo, entregando los resultados de las **Tasas de EVT**. A la fecha no han entrado en funcionamiento los lisímetros instalados y durante el año 2023 se recibieron observaciones por parte de la autoridad (Res SMA N°158/2023) sobre el cambio metodológico de los lisímetros propuesto, las cuales fueron atendidas por ALB y entregada la respuesta a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-010 del mes de febrero 2023. Actualmente, se está a la espera de aprobación definitiva para realizar el cambio metodológico de estos.

Los resultados de las **Tasas de EVT** del año 2023, muestran valores máximos en estaciones más cálidas y valores mínimos para las estaciones más frías. En general, los valores de tasa de EVT se encuentran en los mismos rangos de los últimos 6 años, con variaciones estacionales evidenciadas dentro del registro histórico.

La variable **Superficie Cubierta por Lagunas**, correspondientes a los sistemas lagunares La Punta-La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana, de acuerdo a la frecuencia de seguimiento esta fue monitoreada en temporada de invierno (agosto) y en temporada de verano (diciembre) desde la imagen de alta resolución (Pléiades 1-A) y de media resolución (Landsat 8). Con estas imágenes Landsat y la validación en terreno de los índices calculados y los píxeles definidos de superficie inundada (compromiso del PSAH) se obtuvieron como valores mínimos de superficie cubierta de agua del 2023, los de la campaña de verano (diciembre). La superficie lagunar en La Punta-La Brava calculada mediante imágenes satelitales de alta resolución durante el año 2023 presentó la estacionalidad esperada según los registros disponibles, con extensiones mayores en invierno que en verano, siguiendo la tendencia histórica al descenso en los veranos de 2020 y 2021. Del análisis de la variación de superficies Landsat, de mediana resolución, para el período 2016-2023, se observa la variabilidad estacional regulada por la evaporación, y los efectos puntuales de la precipitación. También del mismo análisis de las superficies Landsat, se indica que los valores se encuentran sobre las superficies lagunares mínimas históricas definidas con las imágenes de mediana resolución presentadas en la Adenda 5.

En el sector Peine las superficies lagunares muestran extensiones máximas en los meses de invierno (agosto) y mínimos en los meses de verano (diciembre) En relación con la superficie lagunar calculada mediante imágenes de alta resolución, las mediciones de invierno y verano se encuentran bajo los mínimos calculado con las 4 imágenes AR disponibles de este sistema lagunar previas al inicio del Proyecto (Adenda 5). Y la superficies lagunar de Peine, se encuentran sobre el mínimo histórico en lo medido según las imágenes Landsat. En relación con el Sistema Aguas de Quelana, las variaciones de la superficie de lagunas se asocian a un comportamiento estacional, con extensiones mayores en invierno que en verano. La superficie lagunar presenta aumentos y descensos estacionales debido a procesos de evaporación, siendo el factor principal en el control de la extensión del sistema lagunar. Del seguimiento comprometido, de la serie Landsat (PSAH 2016-2023), se tiene que las estimaciones de superficies de lagunas se encontrarían dentro de los rangos máximos y mínimos históricos siguiendo la tendencia de los años previos, tanto en invierno como en verano. Al realizar una comparación con las superficies semestrales del PSAH con los registros históricos disponibles presentados en la Adenda 5 - EIA del Proyecto (que corresponden a 4 imágenes satelitales de marzo 2006, marzo 2007, abril 2011 y abril 2013), se tiene que los resultados de diciembre

2020, 2021, 2022 y 2023 se encuentran bajo el menor valor de las 5 imágenes AR de referencia (marzo 2007).

En relación con el Sistema Soncor los registros de las imágenes satelitales de alta resolución se comportan según la estacionalidad esperada para todo el período. Las superficies del año 2023 son las menores de este registro, por debajo de los 5 registros históricos disponibles anteriores al inicio del Proyecto (marzo 2007, abril 2010, abril 2011, abril 2013 y abril 2014). Se observa para los últimos años una reducción de su superficie de invierno y verano, al igual que lo observado en los registros de la serie Landsat 2016/2023, y que es consistente con lo observado para el sistema Aguas de Quelana. El registro de imágenes Landsat permite concluir que la estacionalidad está asociada a la evaporación, indicando que este es el principal factor de variabilidad de las superficies lagunares de Soncor. La superficie lagunar obtenidas a partir de las imágenes Landsat, en el sistema lagunar Aguas de Quelana se encuentra sobre el mínimo histórico y en el sistema lagunar Soncor, bajo el mínimo histórico que le corresponde.

En relación con las mediciones del **nivel limnimétrico de las lagunas**, se cuenta con una red de monitoreo mensual que corresponde a 16 limnímetros y 4 estacas, los cuales muestran en general variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de estaciones frías. Considerando la evolución en el tiempo, se tiene para la zona de las vegas de Tilopozo (LM-16) muestra una tendencia a mantener los niveles relativamente estables durante todo el periodo de registro (2016-2023), así como también en el año 2023. Por otro lado, en las lagunas La Punta y La Brava los registros históricos muestran descensos generales entre 5 y 8 cm; aunque en el año 2023 los niveles tienden a la estabilización con descensos de entre 1 a 2 cm. En el sector Peine los niveles limnimétricos de la Laguna Salada, muestran tanto niveles con tendencias estables (LM-06) como también tendencias ascendentes (LM-05). Por otro lado, los niveles de la Laguna Saladita, muestra tendencias a la estabilidad y leve tendencia al descenso de sus niveles, con un descenso neto anual de 1 cm.

Los puntos ubicados en la Laguna Interna se identifican comportamientos estables a levemente ascendentes (E1, LM-09 y LM-10), como también tendencias descendentes (E2, E3, E4), siendo el punto E-4 el que presenta mayores descensos. El punto LM-17, ubicado en avance interna, registra un comportamiento variable a lo largo de todo su registro y en 2023 muestra respuesta a las precipitaciones de este periodo. Los puntos de del Sistema Soncor y Aguas de Quelana muestran tendencias principalmente descendentes con cambios de entre 2 cm a 8 cm (LM-11, LM-13, LM-14) o bien estables (LM-12) además de comportamientos

sincrónicos con variaciones estacionales; en el año 2023 los niveles se muestran más estabilizados con descensos anuales entre 1 cm y 2,7 cm.

Los **Caudales Superficiales** se miden trimestralmente en 6 puntos que se ubican en el sistema lagunar Peine conformado por las lagunas Salada, Saladita e Interna. Este sistema es monitoreado mediante aforos de caudales superficiales, en 4 puntos ubicados en los canales que unen el sistema lagunar. Además, se cuenta con 2 puntos de aforo ubicados en quebradas de la zona cordillerana. Los resultados del año 2023 dan cuenta de valores máximos de 106 l/s en el punto AFP-01 en el mes de septiembre y valores mínimos de 3 l/s en el punto Vertiente Peine en el mes de septiembre. En el periodo 2023, los puntos (AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04) medidos en las lagunas Salada y Saladita presentaron caudales aforados con máximos históricos.

En relación con los **Niveles piezométricos en Salmuera y/o en Agua dulce-salobre**, se cuenta con una red de monitoreo formada por 124 puntos de medición mensual de niveles distribuidos en los sectores La Punta-La Brava, Peine, y Norte y Borde Este, ubicados en la Zona Marginal y Núcleo del Salar de Atacama.

Respecto los niveles en el **sector La Punta-La Brava**, en términos generales, presentan una oscilación estacional, con mayores descensos a mayor proximidad al núcleo. Los niveles freáticos tanto de los puntos cercanos a las Lagunas La Punta-La Brava mostraron aumentos abruptos, relacionados a las precipitaciones mayores ocurridas en el año 2023.

En la zona centro del sector La Punta-La Brava, se presentan amplitudes entre los 25 cm y 38 cm (ej. BA-13) de variaciones estacionales y también una leve tendencia al descenso que se hacen más acentuadas después de las lluvias de enero 2019, la que provocó un ascenso importante en los niveles, que se mantuvo casi 18 meses dada la sensibilidad del sector a las precipitaciones, para luego retomar la tendencia histórica.

La zona sur de lagunas, responden a la recarga de flujos subsuperficiales y subterráneos provenientes desde la parte sur de la cuenca y de infiltración por precipitación directa, muestran menores descensos históricos netos que los otros sectores y amplitudes históricas del orden de los 7 cm (BA-16) a 17 cm (MP-03A). Para el periodo 2013-2023 en esta zona, se observan tendencias al descenso (centimétricas) que estarían relacionadas con la influencia de los conos de descenso provenientes desde el sur, producto del bombeo histórico del campo de pozos del sector Monturaqui y Negrillar en la cabecera de la cuenca. De los puntos de monitoreo del Borde Sur se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas recuperándose en los meses de estaciones frías. Los puntos TIL-P03, vertiente Tilopozo y MP-04A, que corresponden a puntos someros cercanos a la zona de

Tilopozo describen, incluso la propia vertiente de Tilopozo, una variabilidad en los niveles en el tiempo estables y con el pozo TIL-P03 con descenso netos de 22 cm. Se destaca también la tendencia más al sur, representada por los puntos MP-09A y MP-09C, con descensos mayores relacionados con la llegada de los efectos de la extracción de agua industrial desde el acuífero Monturaqui-Negrillar. Finalmente, se observa que la vertiente Tilopozo, utilizada para la extracción de agua dulce-salobre, ha mostrado variabilidad en su data histórica (se miden niveles dinámicos), con descenso general de 11 cm (calculado entre diciembre 2001 y diciembre 2023), pero desde el año 2019 a la fecha, se observa una tendencia al ascenso. La vertiente Tilopozo se encuentra a mayor cota de nivel freático que el pozo Tucúcaro, y esta última muestra mayor amplitud estacional y tendencias a la estabilidad.

Para el **sector Peine**, los niveles registrados durante el año 2023 se encuentran dentro de la variabilidad natural registrada en las campañas de monitoreo anteriores. Se destaca el comportamiento zonal de los niveles donde a medida que los puntos de monitoreo se alejan del borde del Núcleo del salar, el grado de respuesta asociada a los eventos de precipitación disminuye al igual que los descensos. En la zona Laguna Interna los niveles de los puntos de monitoreo describen un comportamiento sincrónico y exhiben las respuestas más marcadas frente a las precipitaciones y a los descensos de nivel del núcleo. Los niveles mínimos se registran entre los meses de octubre y diciembre de cada año, y los máximos se alcanzan como respuesta a los eventos de precipitación, entre los años 2013 y 2019, los niveles se muestran ligeramente superiores a los años previos. Los puntos ubicados en la zona Media de las Lagunas presentan niveles mínimos los que se registran en los meses más cálidos entre octubre y marzo de cada año, y los máximos se alcanzan como respuesta a las precipitaciones, con incrementos del nivel de hasta 16 cm (MPS-AB) en respuesta al evento de precipitación intensa del año 2019. Los puntos de la zona de Inicio de la Laguna Salada presentan oscilaciones estacionales y una respuesta menor a los eventos de precipitación intensa, con alzas de niveles de hasta 11 cm en BA-28, en respuesta al evento de precipitación intensa del año 2019. Además, los puntos PAT de este sector (BA-28 y BA-30), presentan estabilidad y una tendencia general al ascenso de niveles. En general estos puntos presentan una tendencia estable e incluso al alza en el tiempo (2015-2023) y una amplitud promedio de 10 cm para todo el período, la que disminuye a 6 cm en el 2023. Los puntos de la zona Borde Este y Sur de Peine corresponde exclusivamente a piezómetros profundos, los cuales muestran oscilaciones estacionales y una respuesta a los eventos de precipitación con ascensos bruscos y puntuales de los niveles, con magnitudes distintas entre los puntos. Los niveles máximos se registran entre julio y septiembre, y mínimos entre enero y marzo. Los puntos de este sector muestran comportamientos estables con algunos puntos particulares (MP-7A, MP-07C-1, MP-08A, PP-02 y PP-03) que registran tendencias ascendentes de nivel.

En cuanto al **sector Norte y Borde Este** también presenta oscilaciones estacionales. Los puntos MP-12A y MP-12C (ubicados en la zona este del salar), relacionados con el sistema Aguas de Quelana muestran tendencias al descenso y responden mínimamente a los eventos de precipitaciones intensas, no así en el piezómetro somero BA-31, que presentó incrementos del nivel de hasta 0,44 m, en respuesta al evento de precipitación intensa del año 2019 pero sin respuesta a las precipitaciones de 2023. Los puntos del sector Aguas de Quelana presentan descensos netos de 2 cm a 7 cm en 2023, manteniendo las tendencias al descenso históricas. En el sistema lagunar Soncor se observa en el registro histórico una tendencia al descenso originada por la extracción de salmuera en el Núcleo del Salar, interrumpida por las alzas de nivel asociadas a eventos de precipitación los años 2017 y 2019, y en menor medida 2020 y 2023.

Finalmente, para los puntos ubicado en el **sector del Núcleo**, se puede indicar que todos los pozos presentan descensos y los ubicados cerca de la zona de extracción de salmuera son los que presentan las mayores tasas de descensos en el tiempo. En el Núcleo también se registran ascensos de nivel que responden a los eventos de precipitación y, en consecuencia, recarga del sistema aunque los niveles no muestran una tendencia estacional marcada durante los últimos años. Los pozos de monitoreo de niveles que se ubican en el sector más externo del Núcleo presentan descensos menores y recuperaciones marcadas en respuesta a las recargas del sistema. Todos los pozos del sector núcleo presentan un comportamiento similar y sincrónico, con rápidas respuestas a eventos de precipitación intensa como los ocurridos en febrero 2019 y agosto de 2020, exceptuando los puntos ubicados en la zona de producción y núcleo oeste, cuyos niveles son más profundos y se observan mayormente influenciados por el bombeo de salmuera. Se detecta el comportamiento del sector del Núcleo Oeste, donde los niveles no muestran respuesta a los eventos de precipitación, debido a que presentan niveles más profundos que siguen una tendencia al descenso, como el registro histórico.

En relación con la **Posición de la Interfase Salina**, el monitoreo trimestral se realiza en 13 puntos de monitoreo a través de la medición de la conductividad eléctrica y temperatura en distintas profundidades obteniendo un perfil vertical de estas variables, que permiten detectar la profundidad del acuífero de agua dulce-salobre, la interfase salina, y la salmuera debajo de esta. Durante el año 2023 se realizó un aumento en la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual. Los registros del año 2023 no han mostrado variaciones significativas en la posición de la interfase salina respecto a los registros anteriores. Para todos los puntos de monitoreo de todos los sectores, los perfiles de conductividad eléctrica del 2023 se han mantenido los rangos de profundidad entre los cuales se presenta la variación de conductividad eléctrica y, por lo tanto, la mantención de la posición de la Interfase Salina.

En relación con la **Composición Química** del agua superficial y subterránea, el monitoreo trimestral se realiza a través de la medición en 40 puntos, incluyendo puntos en aguas superficiales (vertientes y lagunas) y aguas subterráneas, salobres y salmueras. Esta variable se analizó para La Punta - La Brava, Peine y Norte y Borde Este. Los errores obtenidos se incluyen en las tablas anteriores de resultados químicos. De las 173 muestras analizadas el 2023, el 52,6% de las muestras (91) presenta un error inferior al 5%, 39 muestras (22,5%) presentan un error entre 5% y 7% (ambos porcentajes inclusive), 42 muestras (24,3%) presentan un error de balance entre 7% y 10% y 1 muestra (0,6%) presentan un error de balance mayor que 10%, todo lo anterior en valor absoluto.

Respecto a la composición química, se puede señalar que para los 3 sistemas el pH es más básico en las aguas superficiales y más ácido en las salmueras, quedando las aguas salobres en un punto medio, pero con un pH superior a 7. El alto contenido de sales en las salmueras hace que las conductividades eléctricas sean mayores que las registradas en aguas superficiales, las que a su vez tienen conductividades eléctricas mayores que las aguas salobres, debido a los procesos de evaporación. Además, es posible identificar en los datos históricos, una oscilación estacional en la conductividad en el agua superficial de lagunas (LM), en todos los sectores, observada principalmente en los puntos de medición de agua superficial. Los resultados por sector muestran que los elementos analizados se ajustan a los rangos y variabilidad natural histórica, con CE en el 2023 levemente menores en las lagunas LP- LB (LM), pero no presentando tendencias al cambio durante el año 2023.

Respecto del tipo de aguas, al analizar los diagramas de Piper se observa que la clasificación de aguas otorgada para cada sector se mantiene, siendo en general del tipo cloruradas sódicas. Esta composición exceptúa a las vertientes o escurrimientos superficiales, como la Vertiente Peine que ha mostrado oscilar entre clorurada sódica y cloruradas sódico-cálcicas. Junto con los resultados de composición química de los puntos asociados al PSAH, se presentan los resultados de la composición química de las captaciones de extracción de agua dulce-salobre: Pozo Peine, Vertiente Tilopozo y Pozo Tucúcaro, la que se ha reportado históricamente por Albemarle. Considerando la química de los puntos de agua dulce-salobre, los rangos de concentración presentado en ppm para cada elemento monitoreado se mantienen dentro del rango histórico y estable en el tiempo. Se observa que los parámetros físico-químicos de las muestras han mantenido sus composiciones dentro de la variabilidad natural de calidad química del agua.

En relación con los **caudales de salmuera y de agua dulce-salobre bombeados** por Albemarle durante el año 2023, se bombearon 84 puntos de extracción de salmuera y las 3

captaciones de agua dulce-salobre, correspondiente a vertiente Tilopozo, pozo Tucúcaro y pozo Peine.

El volumen de extracción de salmuera total de las áreas A1 y A2 para el año operacional 2023 (considerando de octubre 2022 a septiembre 2023 según lo indicado en las Res Ex N°427/2021 y Res Ex N°1510/2021) fue de 13.060.026 m³, lo que equivale a un caudal medio anual de 414,13 l/s, que cumple con el caudal medio anual establecido en la evaluación ambiental de 442 l/s y el límite para el año operacional 2023 de 414,4 l/s derivado de la activación de la Fase II de Alerta Norte. Por otra parte, debido a las medidas preventivas adoptadas por Albemarle en el marco de la activación del sector de Alerta Acuífero, Albemarle, entre febrero y julio, cumplió con extraer un caudal medio de bombeo mensual bajo el límite autorizado para dichos meses de 382 l/s (380,04 l/s; 381,46 l/s; 381,93 l/s, 329,72 l/s, 302,23 l/s y 257,25 l/s para los meses de febrero a julio respectivamente).

En cuanto a la extracción de agua dulce-salobre sobre la base de estas autorizaciones ambientales, se cuenta con un caudal máximo para extracción conjunta de Tilopozo y Tucúcaro de 16,9 l/s. Durante el año operacional 2023 el caudal promedio anual extraído fue del orden de 7,87 l/s desde la vertiente Tilopozo y desde el pozo Tucúcaro en conjunto, cumpliendo además durante todo el año operacional 2023 con la medida preventiva asociadas al sector de Alerta Acuífero de que la extracción conjunta de estos puntos no debe superar los 10,9 l/s durante los meses que estas medidas preventivas se encuentren activas. Adicionalmente, también se cuenta con autorización por derecho de aprovechamiento de agua para extraer un máximo de 5 l/s del pozo Peine, para uso en el campamento emplazado en dicha comunidad; durante al año operacional 2023 el caudal extraído del pozo Peine fue de 0,04 l/s por lo que los caudales de extracción se mantuvieron dentro de lo autorizado ambientalmente.

Considerando el nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA de “*Mantener caudales de extracción autorizados ambientalmente*”, se tiene que la extracción de salmuera de ALB en el año 2023 no excedió el caudal medio anual del año operacional establecido en la evaluación ambiental, de 442 l/s, ni los límites anuales o mensuales según las medidas asociadas a los PAT.

La Composición Química de las aguas se determina a través de la medición de parámetros físico-químicos in situ y de la toma de muestras que son analizadas posteriormente en un laboratorio químico. Al corresponder estas actividades al muestreo, medición y análisis por cumplimiento de una RCA, éstas se realizan con un laboratorio certificado como ETFA (Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental) por la SMA. Durante el año 2023, la ETFA encargada del muestreo de aguas superficiales y subterráneas, desde enero a agosto 2023 fue SGS Chile

Ltda. (Código ETFA N° 023-01), y desde septiembre en adelante por la ETFA ANÁLISIS AMBIENTALES (ANAM) (Código ETFA 011-01), cumpliendo así con lo señalado por la autoridad ambiental, además fue asistida y acompañada en terreno por personal de ALB. Por otra parte, en los meses de enero a mayo de 2023, el parámetro de Sólidos disueltos Totales fue medido por la ETFA Ecogestión Ambiental Ltda. (Código ETFA 031-01), lo anterior debido a que SGS no contaba con acreditación para medir ese parámetro. Y por último, desde septiembre en adelante (tercerizado por ANAM), los parámetros boro disuelto, boro total, estroncio disuelto, estroncio total, potasio disuelto, potasio total, y silicio total, fueron medidos por Centro Ecología Aplicada (CEA) (Código ETFA 017-01).

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 esta Superintendencia.

- i) *Para los siguientes parámetros, cuando las actividades de muestreo y/o medición sean realizadas con una frecuencia horaria (todas las horas) o diaria (todos los días)”.*

De acuerdo con lo anterior, sólo se miden y reportan los niveles de los puntos PAT con una ETFA, que durante el año 2023 ha sido SGS Chile Ltda. (Código ETFA 023-01) y ETFA ANÁLISIS AMBIENTALES (ANAM) (Código ETFA 011-01). Destaca efectivamente que el presente PSAH incluye el reporte de los puntos de activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) y sus umbrales establecidos con referencia en el Considerando N° 10.18 de la RCA N°21/2016, el cual “permite detectar anticipadamente en el tiempo y el espacio desviaciones del nulo efecto pronosticado sobre los objetos de protección” (sistemas lagunares).

Se verificó el comportamiento del sistema hídrico como respuesta tanto a las condiciones hidrológicas y meteorológicas como a la explotación del proyecto en los puntos del PAT. Al respecto, durante el año 2023 se presentaron las siguientes activaciones y desactivaciones de los sectores de alerta del PAT:

El **sector de Alerta Norte** se mantuvo activado en Fase II durante todo el año 2023, debido a la activación de esta fase por el punto L1-5 en junio del 2021, mientras que el punto L1-G4 Pozo, también sostuvo medidas bajo el umbral de Fase II desde julio 2021. El punto L4-12 en el año 2023 presenta una única medición bajo el umbral de Fase I en el mes de enero (carta ALB-GMA-2023-SMA-004). Desde el mes de abril de 2023 el punto L5-10 registra mediciones bajo el umbral de Fase I hasta el mes de noviembre de 2023 donde se registra la primera medición bajo el umbral de Fase II (cartas ALB-GMA-2023-SMA 020, ALB-GMA-2023-SMA 022 y ALB-GMA-2023-SMA 057).

El **sector de Alerta Núcleo**, en el mes de julio de 2023 en el punto PN-08A, se presenta la primera medición bajo el umbral de Fase lo que se mantiene a lo largo de todo 2023, consecuentemente activando el PAT de Fase en el mes de septiembre de 2023 (carta ALB-GMA-2023-SMA-051).

Finalmente, en el **sector de Alerta Acuífero**, en enero 2023 se activó el PAT en su Fase Única debido a la superación del umbral del pozo BA-07 durante tres medidas consecutivas (carta ALB-GMA-2022-SMA-007), recuperando sus niveles por sobre el umbral en abril de 2023. Por otra parte, en el mes de diciembre de 2023 se produce la superación del umbral en el pozo BA-05, durante tres medidas quincenales consecutivas, dado que se estaba midiendo con frecuencia quincenal por la activación del PAT Acuífero a causa de BA-07 (carta ALB-GMA-2023-SMA-066).

Las medidas preventivas comprometidas y adoptadas por Albemarle durante el año 2023, de acuerdo a las activaciones del PAT, fueron las que se listan a continuación y se detallan en el Capítulo 5-10:

Para el sector de Alerta Norte:

- Entrega mensual a la autoridad los datos de monitoreo en formato digital, lo que se sigue entregando desde 2021 hasta la fecha a la autoridad.
- Evaluación Técnica de efectividad de la medida de reducción de la extracción de salmuera y entrega de su informe correspondiente: Con fecha 30 de junio 2023, Albemarle hace entrega del “*Segundo Informe de Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de salmuera*” por la activación de la Fase II del PAT Alerta Norte (ALB-GMA-2022-SMA-035).
- Reducción de la extracción de salmuera: durante los 12 meses del año 2023, donde las extracciones durante el año operacional no superaron el nuevo límite anual máximo de 414,4 l/s.

De acuerdo con lo anterior, en el año 2023 **Albemarle dio cumplimiento al caudal máximo de extracción de salmuera máximo de 414,4 l/s como promedio anual del año operacional, con una extracción de 414,13 l/s.**

Para el sector de Alerta Núcleo:

- Aumento de la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas.
- Entrega mensual a la autoridad de los datos de monitoreo en formato digital.

Para el sector de Alerta Acuífero:

- Aumento de la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas.
- Reducción precautoria de la extracción de salmuera y agua industrial: durante los 12 meses del año 2023, el caudal medio mensual de extracción de salmuera fue menor o igual a 382 l/s y para agua industrial se bombeó menos de 10,9 l/s.
- Revisión extraordinaria de los resultados y del seguimiento del Plan de Manejo Biótico: Esta revisión fue entregada en el informe de investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del PAT, entregado mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-040 en el mes de julio de 2023.
- Entrega mensual a la autoridad de los datos de monitoreo en formato digital (ver cartas de entregas mensuales en Anexo M).
- Investigación voluntaria de las causas del desvío de los pronósticos y activación del PAT el que fue entregado a la SMA mediante carta ALB-GMA-2022-SMA-040 en el mes de julio de 2023.

Dando cumplimiento al seguimiento ambiental hídrico, se puede señalar para el año 2023, que:

- Se realizó el muestreo, medición y análisis del monitoreo en el sistema hidrológico e hidrogeológico general de acuerdo con lo comprometido.
- Se realizó el análisis histórico de las variables monitoreadas, enfatizando en el comportamiento de éstas durante el año 2023 con respecto a la data histórica existente, y comparada con los límites comprometidos.
- Se realizó un análisis integrado de las variables correspondientes, de manera de describir el comportamiento del sistema, tanto del Núcleo y la Zona Marginal, enfocado principalmente en los objetos de protección.
- Se verificó el comportamiento del sistema hídrico en los puntos del PAT como respuesta tanto a las condiciones hidrológicas y meteorológicas como a los efectos de la explotación del Proyecto.

2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe Anual N° 8 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (en adelante PSAH), el cual forma parte de las obligaciones ambientales del titular Albemarle¹ (en adelante ALB), derivadas de la Resolución de Calificación Ambiental N° 21 de fecha 20 de enero del 2016 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de

¹ Rockwood Litio Limitada a partir del día 01 de noviembre de 2017 modificó su razón social a "Albemarle Limitada".

Antofagasta, en adelante RCA N°21/2016, que calificó favorablemente el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”.

El PSAH corresponde a un compromiso ambiental aplicable para las Fases de Operación y Cierre del Proyecto, cuya fase de operación inició con fecha 28 de septiembre de 2016². Así, el presente Informe N° 8 de PSAH entrega la información de monitoreo del año calendario 2023. En relación con el periodo informado cabe indicar que en el numeral 3.5.2 del Anexo 3 de la Adenda 5 del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto de referencia se señaló que: *“El informe será entregado dentro del plazo de tres meses siguientes al término de cada año calendario”*.

Conjuntamente, el presente informe también incluye, la información de los puntos de monitoreo comprometidos en el Considerando 2.3.1.3. de la R.E. N° 165 de fecha 14 de octubre del 2003 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, que modificó la R.E. N° 092 de fecha 31 de mayo del 2000 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta que aprobó el proyecto “Construcción de Pozas de Evaporación Solar”, y lo establecido en el Resuelvo 4 de la R.E. N° 3132 de fecha 28 de noviembre del 2006 de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, correspondiente a la autorización ambiental que aprobó el proyecto “Modificación al Proyecto Construcción de Pozas de Evaporación Solar”. En la Tabla 2-1 se identifican las Resoluciones de Calificación Ambiental que son consideradas en el presente informe.

El PSAH da cumplimiento a lo establecido en el Considerando N° 7 de la RCA N°21/2016 en lo relacionado con la componente hídrica (agua dulce – salobre y salmuera); Considerando N°10.19 de la misma resolución, el que a su vez remite al Capítulo 3 del Anexo 3 de la Adenda 5; y a los compromisos vinculados a la componente hídrica de las otras dos RCA indicadas en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Proyectos y RCA consideradas en el Informe PSAH

Proyecto	Resoluciones
Construcción de Pozas de Evaporación Solar	RCA N° 92/2000 modificada por R.E. N° 165/2003
Modificación al Proyecto Construcción de Pozas de Evaporación Solar	RCA N° 64/2005 modificada por RCA N° 3132/2006

² El inicio de la fase de operación fue informado con una semana de anticipación a la SMA con Carta MA 012.2016, recepcionada con fecha 21.09.2016, SMA Cod.50067.

Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama	RCA N° 21/2016 modificada por R.E. N° 1472/2017
--	---

Fuente: Elaboración propia

Específicamente, el Considerando N° 7 de la RCA N° 21/2016, establece los compromisos de seguimiento de variables hídricas y bióticas. Los informes del PSAH dan cuenta de las variables físicas relacionadas con recursos hídricos, mientras que los informes del Plan de Manejo Biótico (PMB), cuyo último informe anual fue entregado con fecha 31 de agosto de 2023, dan cuenta de las variables bióticas.

Y además, el Considerando N° 7 de la RCA N° 21/2016 establece que la frecuencia de entrega del informe del PSAH es anual, y se debe reportar durante toda la fase de operación y los primeros 5 años de la fase de cierre del Proyecto (sólo para algunas de las variables ambientales). En el caso del informe PMB comienza en la fase de construcción y también se entrega con frecuencia anual. Asimismo, este considerando indica que la información bruta de resultados debe ser entregada (en planillas de Excel) a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) con frecuencia trimestral, para el caso del seguimiento de variables físicas relacionadas a recursos hídricos, y en forma semestral, para el seguimiento de variables bióticas.

De esta manera, los informes del PSAH entregan el reporte y análisis de resultados del monitoreo de las variables ambientales que se indican en la Tabla 2-2, las que reflejan el comportamiento meteorológico, hidrológico (tamaño de lagunas, niveles y aforos), hidrogeológico (niveles freáticos, caudales de bombeo y posición de la interfase salina), e hidroquímico (Composición Química de agua superficial y subterránea) para el área de estudio de Proyecto.

Cabe indicar que, para efectos del presente informe (e informes anteriores del PSAH del Proyecto), se ha privilegiado el uso de la nomenclatura utilizada en la RCA N° 21/2016 (Considerando 7), en cuanto a la definición de componentes y variables ambientales, contemplando 4 componentes (RCA N° 21/2016) que son: Físico Clima y Meteorología, Físico Hidrología, Físico Hidrogeología y Físico Calidad del Agua, lo que difiere ligeramente de las definiciones establecidas en las consideraciones generales de la R.E. N° 223/2015 de la SMA, la cual es más general y clasifica las componentes ambientales nombrándolas como “Elemento Constituyente Agua”.

Tabla 2-2 Componentes y Variables Ambientales reportados

Componente Ambiental	Variable Ambiental	Procedimiento de medición
FISICO Clima y Meteorología	Variables Meteorológicas	Estación meteorológica EM-Rockwood y recopilación estaciones de la cuenca
FISICO Hidrología	Superficie Cubierta por Lagunas	Imágenes satelitales
	Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Regletas (limnímetros)
	Aforo de Caudales superficiales	Aforos manuales
FÍSICO Hidrogeología	Evapotranspiración	Mediciones con domos
	Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce – salobre	Mediciones con pozómetro
	Posición de la Interfase Salina	Perfilaje de conductividad eléctrica
	Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Caudal de bombeo en cada pozo con caudalímetros
FISICO Calidad del Agua	Composición Química del agua en agua superficial y subterránea	Muestreo de terreno y análisis del laboratorio

Fuente: Elaboración propia

Adicional a lo anterior, el presente PSAH incluye el reporte de los puntos de activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) con respecto a lo establecido en el Considerando N° 10.18 de la RCA N° 21/2016, el que a su vez remite al Capítulo 4 del Anexo 3 de la Adenda 5. Este PAT permite detectar en forma anticipada, desviaciones del nulo efecto pronosticado sobre los Sistemas Lagunares (objetos de protección) y mayores descensos de los previstos en la Salmuera. El PAT, se describe en detalle en la sección 4.2.6 y Tabla 2-1 de este informe y en resumen se puede señalar que se compone de tres sectores y tiene diferentes medidas necesarias y preventivas para evitar efectos no previstos.

Por otra parte, durante 2022 entró en vigencia la R.E. N° 573/2022 de la SMA, donde se indica en el punto 5 Excepción al Sistema ETFA, que: *“No se requerirá que las actividades de muestreo y/o medición sean realizadas por una entidad técnica de fiscalización ambiental, en el componente agua, cuando tales actividades cumplan alguna de las siguientes tres condiciones:*

- 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 esta Superintendencia.*

De acuerdo con lo anterior, durante el año 2023 los niveles de los puntos PAT se midieron con una ETFA, además de los muestreos, medición y/o análisis de todas las variables que se

encuentran dentro de los alcances específicos autorizados³ por la SMA. Los que fueron realizados con las Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental Laboratorio SGS Chile Ltda. (Código ETFA 023-01 y desde septiembre en adelante por la ETFA ANÁLISIS AMBIENTALES (ANAM) (Código ETFA 011-01), cumpliendo así con lo señalado por la autoridad ambiental.

Además, se considera relevante indicar que, en la misma línea de trabajo, la elaboración de este informe considera las instrucciones generales sobre la elaboración de informes de seguimiento ambiental dictado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) en su R.E. N° 223/2015.

Dicho lo anterior, en la Tabla 2-3 se presentan los considerandos y/o resueltos de las Resoluciones de Calificación Ambiental reportadas en este informe y en la Tabla 2-4 aquellos compromisos que se desprenden del Anexo 3 de Adenda 5 del proceso de evaluación ambiental (vinculado al numeral 10.19 de la RCA N° 21/2016).

Sin perjuicio de lo anterior, se tiene que la entrega de los archivos y planillas de los Anexos contienen datos en el formato de lo establecido por la SMA en la Resolución Exenta de la Superintendencia de Medio Ambiente N° 894/2019 y sus actualizaciones, la cual entró en vigencia el 27 de septiembre del año 2019.

³ De acuerdo a lo indicado por la SMA, aquellas actividades que no estén incluidos en los alcances de las ETFA autorizadas, podrán continuar desarrollándose de manera transitoria por empresas que cumplan con la R.E. N° 37/2013 de la Superintendencia del Medio Ambiente, que “Dicta e instruye normas de carácter general sobre Entidades de Inspección Ambiental y validez de reportes” (disponible en <http://entidadestecnicas.sma.gob.cl/Home/Documentos>), hasta que la SMA autorice a ETFA en dichos alcances. Respecto de aquellos alcances que involucren actividades muestreo, medición y/o análisis, para los que no existan empresas acreditadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN), ni autorizadas por organismos de la administración del Estado (R.E. N° 37/2013 SMA), podrán seguir siendo ejecutados por las empresas que lo han realizado hasta ahora.

Tabla 2-3 Identificación de Considerandos en las RCAs asociadas al PSAH

Resoluciones	Considerando / Resuelvo	Transcripción
RCA N° 92/2000	Considerando 9. Primer Bullet	Realizar el monitoreo de la Composición Química del acuífero ⁴ de salmuera y entrega de dichos resultados a la COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas.
	Considerando 9. Segundo Bullet	Realizar el monitoreo del nivel freático de las aguas subterráneas, y entrega de dichos resultados a la COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas.
	Considerando 9. Cuarto Bullet	Entregar al Secretario de COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas, los volúmenes mensuales de salmuera extraídos desde cada uno de los 12 pozos de producción.
	Considerando 9. Quinto Bullet	Entregar al Secretario de COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas, los volúmenes mensuales de agua extraídos desde los puntos de captación con derechos de aprovechamiento de agua.
R.E. N° 165/2003 que modifica RCA N 92/2000	Resuelvo 2.3.1.3.a	Instalación de al menos 4 estacas perimetrales numeradas, en el borde Norte y Este de la mayor porción anegada de la laguna Interna.
	Resuelvo 2.3.1.3.b	Instalación de una regla limnimétrica en la desembocadura de la laguna Interna, del canal aportante proveniente de la laguna Saladita.
RCA N° 3132/2006 que modifica a la RCA N° 64/2005	Resuelvo 4. Primer Bullet	Ejecución de monitoreo de la calidad química del acuífero de salmuera y entrega de dichos resultados a la COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas.
	Resuelvo 4. Segundo Bullet	Ejecución de monitoreo del nivel freático de las aguas subterráneas, y entrega de dichos resultados a COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas.
	Resuelvo 4. Cuarto Bullet	Entrega al Secretario de COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas, los volúmenes mensuales de salmuera extraídos desde cada uno de los 3 pozos de producción, correspondientes al proyecto que se resuelve en el presente acto.
	Resuelvo 4. Quinto Bullet	Entrega al Secretario de COREMA II Región con copia a la Dirección Regional de Aguas, los volúmenes mensuales de agua extraídos para el proyecto desde los puntos de captación con derechos de aprovechamiento de agua.
RCAN°21/2016	Considerando 7.	Profundidad Nivel en salmuera en m s.n.m. Con procedimiento de medición manual de profundidad con pozómetro, con frecuencia mensual y reporte digital trimestral

⁴ En consideración a la resolución de solicitud de interpretación de la RCA N° 21/2016, resuelta mediante la R.E. N° 1.472 de fecha 27 de diciembre 2017 del SEA Dirección Ejecutiva, es que no se presentan resultados asociados a química de los pozos de extracción de salmuera. Dicha Resolución se adjunta dentro de Anexo M de este Informe.

Tabla 2-3 Identificación de Considerandos en las RCAs asociadas al PSAH

Resoluciones	Considerando / Resuelvo	Transcripción
	FISICO Hidrogeología	e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. Niveles o límites comprometidos: Descenso según modelo.
		Profundidad Nivel en agua dulce-salobre en m s.n.m. Con procedimiento de medición manual de profundidad con pozómetro, con frecuencia mensual y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. Niveles o límites comprometidos: Mantener los niveles dentro de los rangos de oscilación natural.
		Conductividad Eléctrica vs Profundidad (Posición de Interfase Salina). Con procedimiento de medición de conductividad eléctrica vs. Profundidad en piezómetros, con frecuencia trimestral y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. Niveles o límites comprometidos: Mantener la posición de la Interfase Salina.
		Flujo de Evaporación en mm/día (Evapotranspiración). Con procedimiento de medición continua mediante lisímetros u otros equipos acordados con la DGA del flujo de evaporación en mm/día, con frecuencia continua (diaria) y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. No aplica niveles o límites comprometidos.
		Caudales bombeados de salmuera en cada pozo en l/s. Con procedimiento de medición en l/s mediante caudalímetros certificados por DGA, con frecuencia mensual y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. Además de datos disponibles en tiempo real en plataforma online. Niveles o límites comprometidos: Mantener caudales de extracción autorizados ambientalmente.
		Caudales bombeados de agua dulce-salobre en cada pozo en l/s. Con procedimiento de medición en l/s mediante caudalímetros certificados por DGA, con frecuencia mensual y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. Además de datos disponibles en tiempo real en plataforma online. Niveles o límites comprometidos: Mantener caudales de extracción autorizados ambientalmente.
		Plan de Alerta Temprana (PAT). Entrega de información a SMA y DGA Región de Antofagasta.
		Plan de Seguimiento Ambiental (PSAH) Entrega anual a SMA y DGA Región de Antofagasta.
		Herramienta Verificación Efecto Sinérgico Cuando corresponda por activación del PAT. Entrega a SMA y DGA Región de Antofagasta.
	Considerando 7.	Aforo de Caudales superficiales en l/s. Con procedimiento de medición de aforo manual en l/s, con frecuencia trimestral y reporte digital trimestral y reporte anual

Tabla 2-3 Identificación de Considerandos en las RCAs asociadas al PSAH

Resoluciones	Considerando / Resuelvo	Transcripción
	FISICO Hidrología	a SMA y DGA Región de Antofagasta. Niveles o límites comprometidos: Mantener los caudales dentro de su variación histórica. Nivel limnimétrico de las Lagunas en m s.n.m. Procedimiento de medición de campo en m s.n.m., con frecuencia mensual y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. Niveles o límites comprometidos: Mantener los niveles dentro de los rangos de oscilación natural. Superficie cubierta por lagunas en m². Procedimiento de medición en m ² de imágenes satelitales de alta definición y apoyo en terreno, con frecuencia semestral y reporte digital semestral e informe anual. Niveles o límites comprometidos: Mantener la superficie sobre mínimo histórico.
	Considerando 7. FISICO Clima y Meteorología	Variables meteorológicas. Precipitación diaria en mm, Evaporación en lámina libre en mm, Presión atmosférica en mbar. Procedimiento de medición de toma de datos en estación meteorológica EM-Rockwood y recopilación de datos en estaciones disponibles de la cuenca, de frecuencia continua (diaria) y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA Región de Antofagasta. No aplica niveles o límites comprometidos.
	Considerando 7. FISICO Calidad del Agua	Parámetros Físicos in situ: pH, C.E., T°, TDS y Oxígeno Disuelto. Parámetros físico-químicos laboratorio: pH, C.E., TDS y Densidad. Elementos mayoritarios: Cl-, SO4=, HCO3-, NO3-, Ca2+, Mg2+, Na+, y K+. Elementos minoritarios y trazas: B, Li, Sr, Al, As, Fe, Si. Procedimiento de medición mediante mediciones de campo y análisis de laboratorio, frecuencia trimestral y reporte digital trimestral e informe anual a SMA y DGA región de Antofagasta. Niveles o límites comprometidos: Mantener dentro de variabilidad natural.
	Considerando 10.18	Plan de Alerta Temprana. Fue presentado por el titular en su Adenda 1, en respuesta a la observación que efectuara la Dirección General de Aguas al EIA. Luego de varias observaciones, el Plan de Alerta Temprana definitivo es descrito en el Capítulo 4 del Anexo 3 de la Adenda 5. Este Plan permite detectar anticipadamente, en el tiempo y en el espacio, desviaciones del nulo efecto pronosticado en los objetos de protección. Además, el Plan de Alerta Temprana propone las medidas necesarias para corregir anticipadamente el comportamiento de las variables hídricas en caso de presentar diferencias con lo pronosticado en los escenarios de modelación y antes de generar un efecto adverso. Un ejemplo de esas medidas propuestas corresponde a la disminución de la extracción de salmuera en escalones de 60 l/s e incluso el cese de la extracción, en función de los niveles que se observen en la zona del núcleo.
	Considerando 10.19	Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico Plan de Seguimiento Ambiental, descrito en el Capítulo 3 del Anexo 3 de la Adenda5, propone el monitoreo periódico de las variables hídricas más relevantes de la cuenca del Salar de Atacama.

Tabla 2-3 Identificación de Considerandos en las RCAs asociadas al PSAH

Resoluciones	Considerando / Resuelvo	Transcripción
		Dicho documento describe detalladamente el monitoreo previsto para verificar la respuesta futura del sistema hídrico y para proporcionar la información para futuras actualizaciones de los modelos numéricos MODFLOW y SEAWAT observados en las consultas 1.1y 1.2 del oficio Ord. DGA 11 Región N°15/2016.
R.E. N° 1472/2017 que modifica RCA N°21/2016	Resuelvo 1 Primer bullet	El alcance del Plan de Seguimiento Ambiental, expuesto en el considerando 7 de la RCA, respecto del componente ambiental “Físico Hidrogeología”, para el monitoreo “Niveles freáticos de agua dulce - salobre” y “Posición de Interfase Salina”, debe citar únicamente la Tabla 3-5, Tabla 3-6 y Tabla 3-7 del Anexo 3 de la Adenda N° 5 del proceso de evaluación de Proyecto, en atención a lo expuesto en el considerando 10.1 de esta Resolución.
	Resuelvo 1 Segundo bullet	El alcance del Plan de Seguimiento Ambiental, expuesto en el considerando 7 de la RCA, respecto del componente ambiental “Físico Calidad del Agua”, para el monitoreo “calidad química del agua superficial y subterránea”, debe citar únicamente la Tabla 3-5, Tabla 3-6 y Tabla 3-7 del Anexo 3 de la Adenda N° 5 del proceso de evaluación de Proyecto, en atención a lo expuesto en el considerando 10.2 de esta Resolución.
	Resuelvo 1 Tercer bullet	El objeto de protección asociado al Plan de Seguimiento Ambiental corresponde a las aguas del Salar de Atacama, y el acuífero de la Zona Marginal que alimenta estas aguas, por lo que los puntos de monitoreo asociados al componente “calidad del agua”, recae sobre las aguas que alimentan los sistemas lagunares y, por lo tanto, la calidad química de salmuera que se extrae de los pozos de producción no es una variable relevante para los fines ambientales que sustenta la RCA.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2-4 Variables Ambientales comprometidas en el PSAH del Anexo 3 de Adenda 5

Documento	Numeral	Transcripción
Adenda 5, Anexo 3 “Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos”	Numeral 3.2.1.	El nivel freático o piezométrico se reportará en m s.n.m. pero se medirá como profundidad del agua en unidades de longitud en pozos y piezómetros ubicados en el Núcleo, la Zona Marginal y borde del Salar. Para ello se contará con la topografía de la cota collar o de referencia para cada uno de los puntos de monitoreo. Este parámetro se medirá de forma manual, con periodicidad mensual, a un total de 124 puntos que se representan en el punto 3.3.4.
	Numeral 3.2.2.	El monitoreo de la posición de la Interfase Salina se realizará a través de la medición manual de perfiles de conductividad eléctrica en piezómetros habilitados con tubería ranurada en toda su extensión. Los resultados se reportarán como gráficos de profundidad versus conductividad eléctrica. Para conocer la cota altimétrica (m s.n.m.) de la posición de la interfase se contará con la topografía de la cota collar o de referencia para cada uno de los puntos de monitoreo. Esta variable se medirá con una periodicidad trimestral, en un total de 14 puntos y se presentan en el punto 3.3.4.
	Numeral 3.2.3.	La medición de caudales se realizará mediante aforos por vadeo con la utilización de un aforador de hélice o molinete. La medida se realizará con frecuencia trimestral en un total de 6 puntos ubicados en los sectores de Peine (5) y Borde Este (1). La ubicación de estos puntos se representa en el punto 3.3.4.

Tabla 2-4 Variables Ambientales comprometidas en el PSAH del Anexo 3 de Adenda 5

Documento	Numeral	Transcripción
	Numeral 3.2.4.	La composición del agua superficial de las vertientes, lagunas, y aguas subterráneas de los acuíferos del borde del Salar se determinará a partir de la medición de parámetros <i>in situ</i> y del muestreo de aguas para su análisis en laboratorio. Estos análisis se realizarán en un laboratorio certificado siguiendo los protocolos y recomendaciones de la norma NCh 411 para el muestreo de aguas y las que indique el laboratorio según sus propios requerimientos. Esta variable se medirá con una periodicidad trimestral, a un total de 40 puntos, y su ubicación se presenta en el punto 3.3.4.
	Numeral 3.2.5.	El nivel de agua de las lagunas se medirá como cota topográfica del espejo de agua en m s.n.m. por lo tanto se dispondrá de la cota topográfica de referencia del punto de monitoreo. Esta medida se realizará mediante la instalación de una regla limnimétrica (limnómetro), adherida a una estaca. Este parámetro se medirá de forma manual con una frecuencia mensual, en un total de 17 puntos. La ubicación de estos puntos se presenta en el punto 3.3.4.
	Numeral 3.2.6.	La superficie cubierta por las lagunas (área inundada) se medirá en los sistemas Peine, La Punta-La Brava, Soncor y Quelana donde esta variable se considera además de referencia ubicada en sectores vecinos no influenciados. Esta variable se medirá a partir del análisis de imágenes satelitales por resultar la opción menos invasiva. Se utilizarán imágenes satelitales multiespectrales con un tamaño de pixel de máximo 4 metros que incluirán los sistemas lagunares de La Punta-La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor. Las imágenes de alta resolución se focalizarán en aquellas áreas de mayor interés y se realizará la toma de dos imágenes al año, en julio y diciembre, con un margen de más o menos un mes para asegurar la disponibilidad de imágenes despejadas y sin nubes que pudieran perjudicar el análisis de esta. Además, con el objetivo de generar una correlación de estas imágenes de alta resolución con la serie histórica disponible de imágenes satelitales LANDSAT, de menor resolución, se realizará en forma simultánea un análisis y correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite LANDSAT8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición. Para la determinación de la superficie cubierta por lagunas, en la imagen de alta resolución se utilizará metodología Modificación del Índice Normalizado de diferencias de agua (MNDWI), que determina la presencia de agua mediante la respuesta espectral del infrarrojo medio. Esta variable se medirá con una frecuencia semestral para permitir comprender la dinámica estacional, en los cuatro polígonos que se describen en la sección 3.3.3.
	Numeral 3.2.7.	Las variables meteorológicas se medirán a partir de la estación meteorológica denominada EM-Rockwood, en el Salar de Atacama, siendo los siguientes parámetros meteorológicos: Precipitación diaria [mm], Evaporación en lámina libre [mm], Temperatura atmosférica [°C] y Presión Atmosférica [mbar]. Estos parámetros se medirán en forma continua.
	Numeral 3.2.8.	El parámetro de la evapotranspiración se medirá en forma continua a través de lisímetros del tipo “carga constante” u otros equipos que permitan medir la evaporación real en forma continua, y que deberán ser propuestos a la DGA en un plazo máximo de 60 días después de aprobada la RCA del Proyecto. Para ello, estos equipos contarán con la instrumentación e infraestructura necesaria incluyendo, si corresponde, un

Tabla 2-4 Variables Ambientales comprometidas en el PSAH del Anexo 3 de Adenda 5

Documento	Numeral	Transcripción
	Numeral 3.2.9	<p>pequeño piezómetro con un sensor de medición de nivel continuo. Este parámetro se medirá en forma continua en un total de 10 puntos en el Núcleo y Zona Marginal del Salar.</p> <p>Los volúmenes bombeados de salmuera en el Núcleo y de agua dulce-salobre en los acuíferos del borde del Salar constituyen una salida del recurso hídrico y minero de la cuenca. Estos caudales son considerados en los modelos numéricos para determinar el efecto de esta explotación sobre los niveles freáticos del Núcleo, Zona Marginal o borde del Salar. Se medirá el volumen mensual bombeado, en m³, desde cada uno de los pozos que extraen salmuera o agua del acuífero para el presente proyecto, mediante el uso de caudalímetros o flujómetros certificados. La información estará disponible a tiempo real en línea y se remitirá de forma trimestral.</p>

Fuente: Elaboración Propia

Dando cumplimiento a lo establecido en la R.E. N° 223/2015 de la SMA, en la Tabla 2-5 se identifican las instituciones que llevaron a cabo las labores de medición, muestreo y análisis según corresponda a las variables ambientales durante el año 2023.

Tabla 2-5 Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis

Componente Ambiental	Variable Ambiental	Medición	Muestreo	Análisis
FISICO Clima y Meteorología	Variables Meteorológicas	Albemarle	No aplica	No aplica
FISICO Hidrología	Superficie Cubierta por Lagunas	Cedrem Consultores y Apogeos	No aplica	No aplica
	Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Albemarle	No aplica	No aplica
	Aforo de Caudales superficiales	Albemarle	No aplica	No aplica
FÍSICO Hidrogeología	Evapotranspiración	Albemarle	No aplica	No aplica
	Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre *	Albemarle	No aplica	No aplica
	Posición de la Interfase Salina	Albemarle	No aplica	No aplica
	Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Albemarle	No aplica	No aplica
FISICO Calidad del Agua	Composición química del agua en agua superficial y subterránea	SGS Chile ¹ Ecogestión Ambiental Ltda. ² ANAM ³	SGS Chile ¹ ANAM ³	SGS Chile ¹ ANAM ³ CEA ⁴

¹ Código ETF A N° 023-01. Realizaron la medición, muestreo y análisis en el periodo de enero a septiembre 2023.

² Código ETF A N° 031-01. Realizaron la medición del parámetro Sólidos Disueltos Totales (SDT) en terreno hasta mayo/2023.

³ Código ETF A N°011-01. Realizaron la medición, muestreo y análisis en el periodo de septiembre a diciembre 2023.

⁴ Código ETF A N°017-01. Realizaron el análisis de boro disuelto y total, estroncio disuelto y total, potasio disuelto y total y silicio total en el periodo de octubre a diciembre 2023.

Fuente: Elaboración propia

3 OBJETIVOS

El Plan de Seguimiento Ambiental de los Recursos Hídricos es concebido como una herramienta de gestión que tiene por finalidad verificar que las variables ambientales relevantes que dieron origen al Estudio de Impacto Ambiental evolucionen según lo establecido en la evaluación respectiva. Dado lo anterior, el objetivo general del Informe Anual de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH) es dar cuenta de los monitoreos periódicos y sistemáticos de la componente hídrica de la cuenca del Salar de Atacama y a partir de estos, analizar el comportamiento del sistema y dar cumplimiento a los considerandos pertinentes a la componente hídrica, asociado al numeral 7 de la componente ambiental “Físico” y a los numerales 10.18 y 10.19 de la RCA 21/2016.

El monitoreo periódico de este componente permite obtener información actualizada y trazable a lo largo del tiempo de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de la cuenca, las cuales permiten analizar el comportamiento del sistema y su respuesta a la presencia de los Proyectos en operación.

Los objetivos específicos del PSAH son los siguientes:

- Monitorear el sistema hidrológico e hidrogeológico de la cuenca del Salar de Atacama en cumplimiento de los compromisos adquiridos en la RCA N°21/2016 (y su modificación R.E.1472/2017), incluido el comportamiento de los objetos de protección⁵, así como de las RCA precedentes (Tabla 2-1). Este monitoreo contempla el muestreo, medición, análisis y/o control de los siguientes parámetros:
 - ✓ Variables Meteorológicas
 - ✓ Superficie Cubierta por Lagunas
 - ✓ Nivel Limnimétrico de las Lagunas
 - ✓ Aforo de Caudales superficiales
 - ✓ Evapotranspiración
 - ✓ Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre
 - ✓ Posición de la Interfase Salina
 - ✓ Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre

⁵ En la cuenca del Salar de Atacama, y en el entorno del proyecto de Albemarle, las áreas de mayor sensibilidad y valor ecológico son las lagunas que se ubican en la Zona Marginal del Salar. Estos sistemas lagunares (La Punta-La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor) son considerados objeto de protección, y por ende su afectación debe ser evitada por la operación del proyecto, según se menciona en el Capítulo 2, del Anexo 3, de la Adenda 5 (RWL-SGA, 2015A).

- Realizar un seguimiento sobre variables de referencia ubicados en sectores vecinos no influenciados, lejanos al área de explotación de ALB, para disponer de información que alimente a la actualización bienal del modelo numérico, comprometida en la RCA N°21/2016.
- Facilitar la fiscalización del Proyecto entregando la información levantada en terreno y analizada, proporcionando una herramienta de gestión y control durante la fase de operación del Proyecto y los 5 primeros años de la fase de cierre.

De acuerdo los lineamientos de la Res. Ex. N°223/2015, el presente informe tiene los objetivos de cumplir con:

- Presentar los resultados de muestreo, medición, análisis y/o control de los parámetros, de forma gráfica y numérica, histórica con énfasis en los datos del año 2023 (enero-diciembre).
- Mencionar los límites considerados en la evaluación para cada parámetro, según corresponda.
- Realizar el análisis cualitativo, cuantitativo y la evolución de los parámetros en el tiempo, en relación con los límites considerados en la evaluación ambiental, los valores de la línea base y los resultados de los informes anteriores según corresponda; dicho análisis se realiza tanto del Núcleo como de la Zona Marginal.
- Si corresponde, presentar las incertidumbres asociadas a los métodos utilizados.
- Si corresponde, presentar los modelos o herramientas informáticas utilizadas para el análisis de la información.
- Si fuese el caso presentar las medidas o acciones adoptadas ante resultados que presentan desviaciones al comportamiento esperado de la variable ambiental en el tiempo.

Todo el monitoreo y datos que van siendo registrados y reportados, son analizados en forma cada vez más robusta e integral, y el análisis de las variables que conforman este informe de PSAH N° 8, permite validar lo indicado en la evaluación ambiental.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

El área de estudio se enmarca en la cuenca hidrológica del Salar de Atacama, la cual se encuentra administrativamente en la comuna de San Pedro de Atacama, en el extremo Oriente de la Región de Antofagasta y muy cercana al límite internacional con las repúblicas de Argentina y Bolivia, como se muestra en la Figura 4-1.

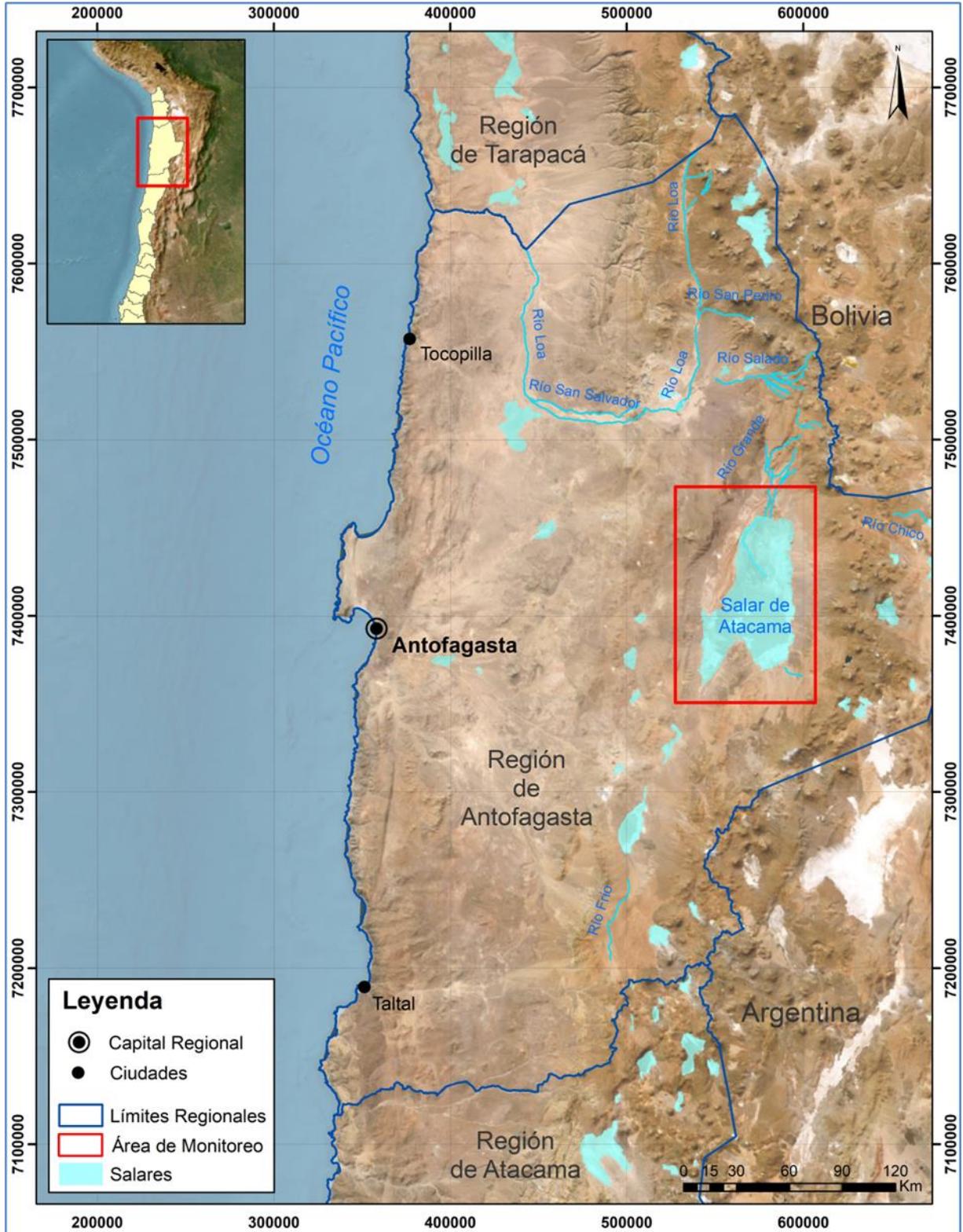
El Salar de Atacama se sitúa en una depresión topográfica con una altitud promedio de 2.300 m s.n.m. y se ubica geográficamente dentro de la denominada “Gran Fosa” donde concurren aportes fluviales que desembocan en el Borde Norte del Salar por los ríos San Pedro y Vilama, además de los aportes de vertientes transversales que provienen de las lluvias estivales, y rodeada al oeste por la Cordillera de Domeyko y al Este por la Cordillera Prealtiplánica.

La cuenca del Salar de Atacama corresponde a una cuenca endorreica, en cuyo depocentro se encuentra el Salar de Atacama compuesto mayoritariamente por depósitos evaporíticos (cloruros, sulfatos y carbonatos) con intercalaciones menores de materiales detríticos (arcillas, limos, cenizas de origen volcánico, y arenas). El Núcleo del Salar está compuesto principalmente por halita con un espesor que puede superar los 1.800 m, y en superficie se encuentra una costra de este material. La formación del Núcleo y de la costra se interpreta por efecto de la evaporación de salmuera desde una profundidad muy somera, inferior a 1 m.

En el depósito de halita del Núcleo del Salar se encuentra presente la salmuera. En los límites norte, sur y este del Núcleo, se sitúa una banda de sedimentos evaporíticos de color más claro, denominado la Zona Marginal. En la Zona Marginal este y sur, se sitúa la Interfase Salina, que separa las aguas dulces-salobres, de densidad menor ($\approx 1 \text{ g/cm}^3$) procedentes de los acuíferos de estos bordes, de la salmuera más densa ($\approx 1,22 \text{ g/cm}^3$) presente en el Núcleo.

En el Norte, donde la zona Marginal tiene una mayor amplitud, no se ha observado la presencia de una Interfase Salina brusca, sino una zona de transición, o interfase difusa, de más de 30 km de ancho, en la que las aguas procedentes de las subcuencas aportantes del Norte, así como de la infiltración de los cauces de los ríos Vilama y San Pedro, se van salinizando progresivamente, hasta convertirse en salmuera, ingresando al Núcleo por el Norte.

Figura 4-1 Plano de Ubicación General del Salar de Atacama



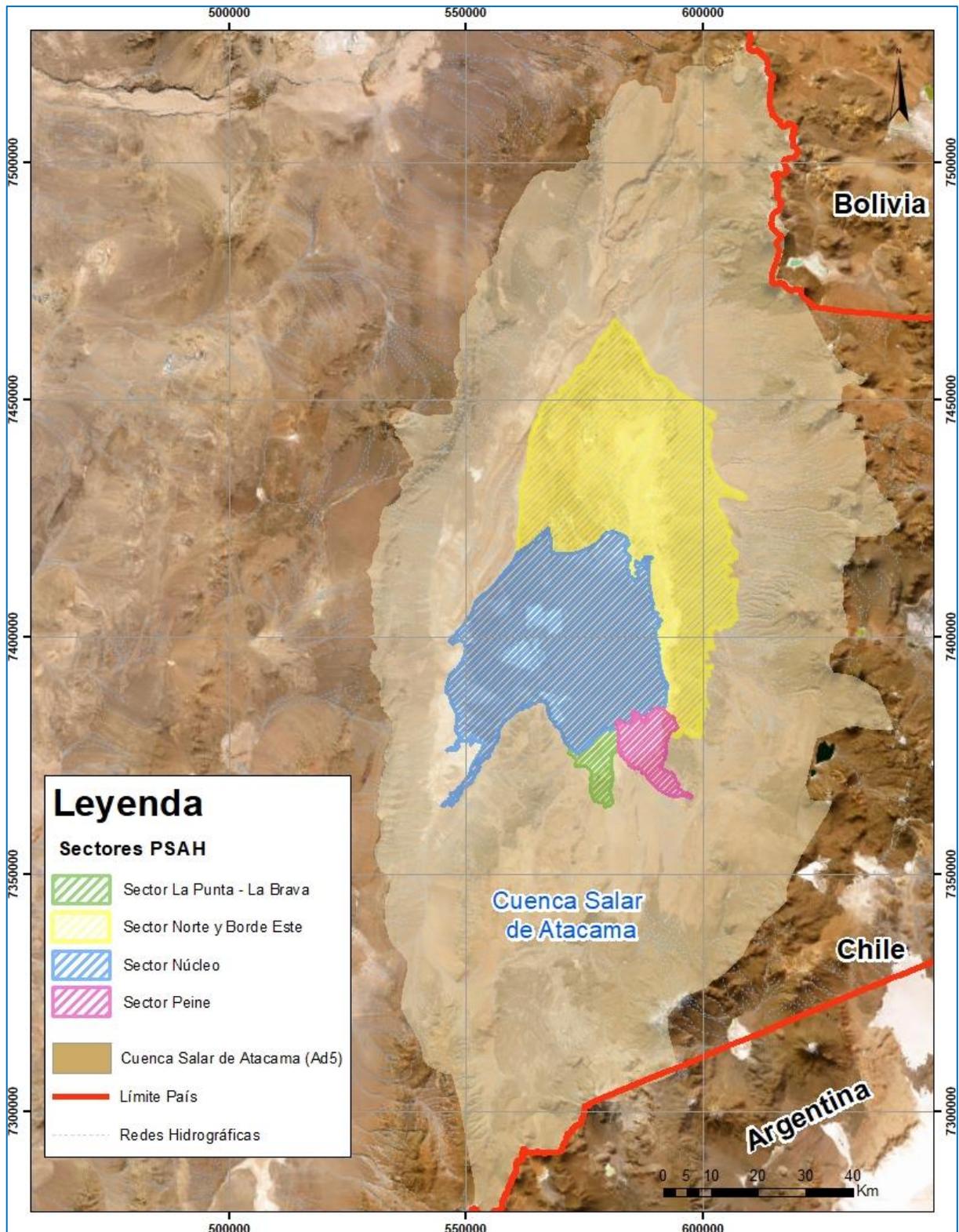
Fuente: Elaboración propia

La Interfase Salina en los bordes este y sur supone una separación hidráulica subterránea entre la salmuera y el agua dulce y/o salobre, de tal manera que el flujo procedente desde los acuíferos de las subcuencas aportantes se ve forzado a ascender, alcanzando la superficie y formando los Sistemas Lagunares permanentes, como es el caso de los sistemas de La Punta-La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor.

Los monitoreos que se realizan en el marco de este PSAH se circunscriben al Núcleo y a la Zona Marginal del Salar de Atacama, áreas que se presentan en la Figura 4-2. Dichas áreas son divididas para el análisis del PSAH en los siguientes sectores:

- La Punta – La Brava – asociado con los sistemas lagunares ubicados en el sector de las lagunas La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo en la zona sur de la cuenca.
- Peine – asociado con el sistema lagunar de Peine, que incluye las lagunas Salada-Saladita e Interna, ubicadas en el límite SE del salar.
- Norte y Borde Este – zona amplia de descarga desde las quebradas del este y norte, asociado con los sistemas lagunares Soncor y Aguas de Quelana, ubicados en el sector NE del salar.
- Sector Núcleo – área del salar que corresponde al depósito de materiales evaporíticos (costra de limos salines, costras de cloruro yesífera, yesífera, transición de cloruros y núcleo de cloruros).

Figura 4-2 Definición de Zonas y subcuencas del Salar y Sectores Asociados con el PSAH



Fuente: Elaboración propia

4.2 Variables Ambientales, Parámetros y Ubicación de los Puntos de Medición y Muestreo

El Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico monitorea periódicamente 9 variables ambientales en el área de estudio a través de 173 puntos de monitoreo u observación que se detallan en la Tabla 4-1, indicando los parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución, así como la frecuencia de monitoreo comprometida.

Tabla 4-1 Resumen Variables Ambientales y Parámetros

Componente Ambiental	Variable Ambiental	Parámetros	N° de puntos medidos	Frecuencia de Medición
FISICO Clima y Meteorología	Variables Meteorológicas	Precipitación diaria en [mm]	1	Diaria (Continuo)
		Temperatura atmosférica en [°C]		
		Evaporación en lámina libre en [mm]		
		Presión atmosférica en [mbar]		
FISICO Hidrología	Superficie Cubierta por Lagunas	Superficie en [m ²] de sistemas lagunares	4	Semestral
	Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Nivel en [m s.n.m.]	20 ⁽¹⁾	Mensual
	Aforo de Caudales superficiales	Caudal en [l/s]	6	Trimestral
FÍSICO Hidrogeología	Evapotranspiración	Flujo de evaporación en [mm/día]	22	Trimestral
	Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Profundidad Nivel en [m s.n.m.]	124 ⁽²⁾	Mensual
	Posición de la Interfase Salina	Conductividad Eléctrica [μS/cm] v/s Profundidad [m s.n.m.]	13 ⁽³⁾	Trimestral
	Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Caudal de salmuera en [l/s]	84 Pozos ⁽⁴⁾	Mensual
		Caudal de agua industrial en [l/s]	2 y pozo Peine	Mensual
FISICO Calidad del Agua	Composición Química del agua en agua superficial y subterránea	Parámetros Físicos <i>in situ</i> : pH, C.E., T°, TDS y Oxígeno Disuelto.	40 ⁽⁵⁾	Trimestral
Parámetros físico-químicos laboratorio: pH, C.E., TDS y Densidad.				
Elementos mayoritarios disueltos: Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , y K ⁺ .				
Elementos mayoritarios totales: Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , y K ⁺ .				
Elementos minoritarios y trazas disueltos: B, Li, Sr.				
Elementos minoritarios y trazas totales: Al, As, B, Fe, Li, Si, Sr.				

(1) El limnómetro LM-15 fue reemplazado por un piezómetro (el BA-31) el año 2018 porque en la ubicación original del limnómetro no había agua superficial. Además, existen 4 estacas adicionales al Plan de Seguimiento presentado en la RCA en la Laguna Interna. La exigencia de la instalación de estas estacas fue establecida antes de la RCA 021/2016 a través de la RE 165/2003 de la Comisión Regional del Medio Ambiente, II Región de Antofagasta. Albemarle reporta esta información dentro del Plan de Seguimiento Ambiental.

- (2) Son 124 porque BA-31 se considera dentro de la red de piezómetros y MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016.
(3) Son 13 puntos, si bien originalmente eran 14, dado porque el pozo MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016.
(4) Corresponde a la cantidad total de pozos que se han bombeado durante 2023.
(5) Aunque no es parte del PSAH se presenta además Composición Química de los pozos: Peine, Tucúcaro y de la vertiente Tilopozo.

Fuente: Elaboración propia

Esta red de monitoreo se implementó, de acuerdo a lo comprometido, durante los dos primeros años de aprobado el proyecto el proyecto de la RCA N° 21/2016. Al respecto, en julio de 2019 se hizo entrega del Informe “Finalización de Implementación de la Red de Monitoreo PSA, según RCA N°21/2016”, mientras que en agosto 2020 se envió en informe respecto al levantamiento topográfico de toda la red de monitoreo completa.

Respecto a la evapotranspiración, la puesta en marcha de los lisímetros de carga constante comprometidos e instalados no logra su correcto funcionamiento pese a los esfuerzos realizados en su reparación, proponiéndose finalmente el cambio de metodología a lisímetros de carga variable, proceso que fue expuesto a la autoridad mediante la carta ALB-GMA-2021-SMA-020 en abril de 2021 y las comunicaciones posteriores (Ver Anexo M-4) y se está actualmente a la espera aprobación para realizar el cambio metodológico de los lisímetros actualmente instalados. Actualmente la evapotranspiración se mide con domos.

Para el caso de las variables meteorológicas, en que la medición de los parámetros se realiza de manera continua a efectos de la entrega de resultados, esta información continua, se integra a un valor por día⁶.

Asimismo, es necesario señalar que, en el caso de la información proveniente de caudales bombeados, se realiza un monitoreo en línea y en tiempo real.

Para facilitar la visualización de los datos y para permitir el análisis por zona, las variables niveles freáticos, niveles limnimétricos de lagunas, posición de la Interfase Salina, aforo de caudales superficiales y calidades químicas de aguas superficiales y subterráneas, se presentan agrupadas en los siguientes cuatro sectores de la cuenca, mostrados en la Figura 4-2, determinados según sus comportamiento y características hidrológicas e hidrogeológicas:

- Sector La Punta-La Brava
- Sector Peine
- Sector Norte y Borde Este
- Sector Núcleo

⁶ La estación mide cada 5 segundos, lo que se promedia cada 1 hora, esto se consideran como datos horarios. Luego con esos datos horarios se saca un promedio del día y se considera como dato diario (datos de la medición instantánea).

Para el caso de las variables meteorológicas, evapotranspiración y superficie lagunar, el análisis de la información se realiza a nivel de cuenca.

En cuanto a los bombeos de salmuera (presentados en volúmenes extraídos y caudales medios), éstos son analizados por área de bombeo que consiste en las áreas de extracción de salmuera de ALB A1 y A2 (así como el total de la operación).

4.2.1 Red de Monitoreo Variables Meteorológicas

La medición de las variables meteorológicas se realiza actualmente en la estación denominada “EM-Rockwood”, la cual está ubicada en las instalaciones que tiene ALB en el Núcleo del salar. Esta estación comenzó su funcionamiento el 28 de abril de 2016, y que reemplaza la antigua estación denominada EM-SCL (también denominada “Planta SCL” en la Adenda 5), sustentado en la necesidad de incluir la medición de la variable de presión atmosférica comprometida en la RCA N°21/2016 e incorporar mejoras tecnológicas en la estación meteorológica.

En la Tabla 4-2 y en la Figura 4-3 se indica la ubicación de las estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca, las que son de propiedad de la DGA y de terceros, cuya información debe ser integrada al PSAH a medida que se encuentre disponible, tal como fue indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5.

Tabla 4-2 Detalle de las Estaciones Meteorológicas

Nombre	Coordenadas UTM (Datum WGS 84/Huso 19S)		Cota Referencia [m s.n.m.]	Propietario	Vigencia
	Este (m)	Norte (m)			
EM-SCL	569.244	7.384.662	2.300	ALBEMARLE	No Vigente
EM-Rockwood	568.772	7.385.236	2.300	ALBEMARLE	Vigente
Camar	605.746	7.410.665	2.700	DGA	Vigente ⁽³⁾
El Tatio	601.377	7.525.377	4.370	DGA	Vigente ⁽³⁾
Peine	595.837	7.380.038	2.460	DGA	Suspendida ⁽⁴⁾
Río Grande	585.501	7.494.353	3.250	DGA	Vigente ⁽⁵⁾
San Pedro de Atacama	581.811	7.466.358	2.450	DGA	Vigente ⁽⁵⁾
Socaire	612.802	7.390.681	3.251	DGA	Suspendida ⁽⁶⁾
Talabre	613.518	7.421.064	3.300	DGA	Vigente ⁽³⁾
Toconao Experimental	602.573	7.435.183	2.500	DGA	Suspendida ⁽⁷⁾
EM-Chaxa ⁽¹⁾	583.508	7.424.264	2.304	SQM	Vigente
EM-Salar	561.348	7.396.266	2.300	SQM	No Vigente
EM-KCI ⁽²⁾	561.376	7.396.241	2.300	SQM	Vigente
EM-Tilopozo	578.068	7.368.320	2.313	MEL	Vigente ⁽⁸⁾

Nota: para el análisis se usan datos rellenos ver detalle en Anexo A.

(1) Actualización 2023 tomado de SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232>. Consulta 05-01-2023.

(2) EM-KCL reemplazó EM-Salar en el año 2015. Actualización 2023 tomado de SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232>. Consulta 05-01-2023.

(3) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, en primera instancia actualizados con los datos recibidos el 23-11-2023 y carta asociada N°AM006T000149074, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939, ambas cartas se encuentran en el Anexo M.

(4) Estación meteorológica cuenta con datos hasta abril del 2020, según lo reportado en carta "Respuesta Solicitud Transparencia - AM006W0067963" de fecha 30 de agosto 2021, que se encuentra en Anexo M, y aparece como estación suspendida en sitio de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta 19-03-2024.

(5) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939 (Anexo M).

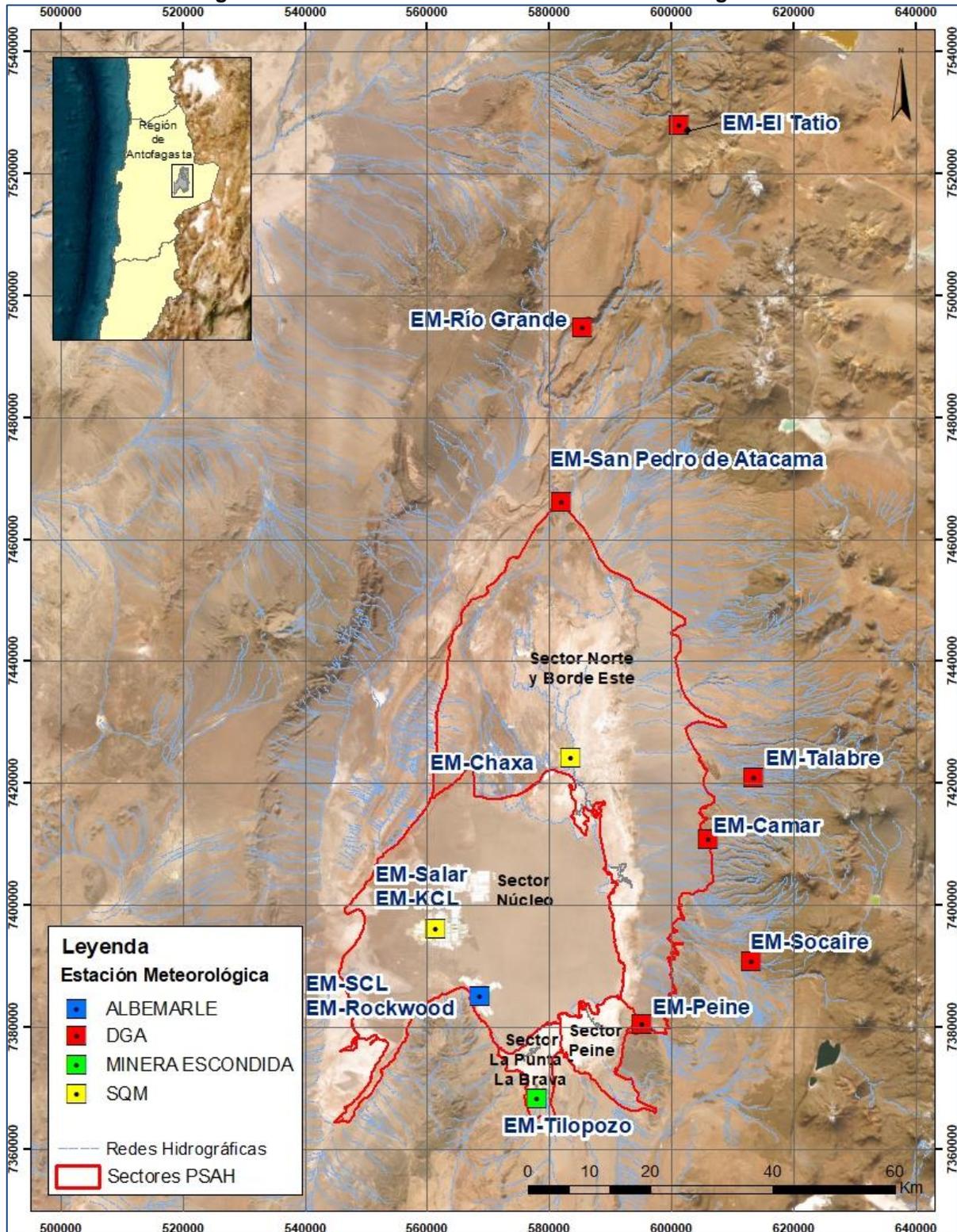
(6) Estaciones meteorológica sin datos desde 2017, según lo enviado por ley de transparencia, recibidos el 24-02-23, la carta N°AM006T0009653 se encuentra en el Anexo M, La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta realizada 19-03-24

(7) La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta realizada 19-03-24

(8) Estación meteorológica sin datos actualizados al año 2023, últimos datos conocidos, tomados del Informe: "Reporte Anual Monitoreo Ambiental Lixiviación de Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado, julio 2021".

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-3 Ubicaciones de las Estaciones Meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Red de Monitoreo de Evapotranspiración

ALB tiene un compromiso de medir de forma continua las tasas de evaporación del salar con un total de 11 lisímetros de carga constante. No obstante, tal como se aclara en la sección 4.2, por los desafíos asociados con el funcionamiento de los equipos, hasta la fecha no ha sido posible lograr mediciones confiables. En enero de 2023, se recibieron observaciones por parte de la autoridad a través de la Res SMA N°158/2023, las cuales fueron atendidas por ALB (fueron entregadas a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-010 de febrero 2023) y se está a la espera de aprobación para realizar el cambio metodológico de los lisímetros actualmente instalados (Ver Anexo B-2).

Por lo anterior y con el propósito de dar cumplimiento a lo establecido en la RCA N°21/2016 y dar continuidad a las mediciones de evapotranspiración, se han continuado con las campañas trimestrales de medición con domos, que entregan información puntual de la evapotranspiración. En la Tabla 4-3 se presenta la información de los puntos de medición incluyendo su ubicación, concordancia con los futuros lisímetros, sector al cual se asocia la medición y la nomenclatura utilizada. En la Figura 4-4 se muestra la ubicación de los de domos y lisímetros.

Tabla 4-3 Red de Monitoreo de Evapotranspiración

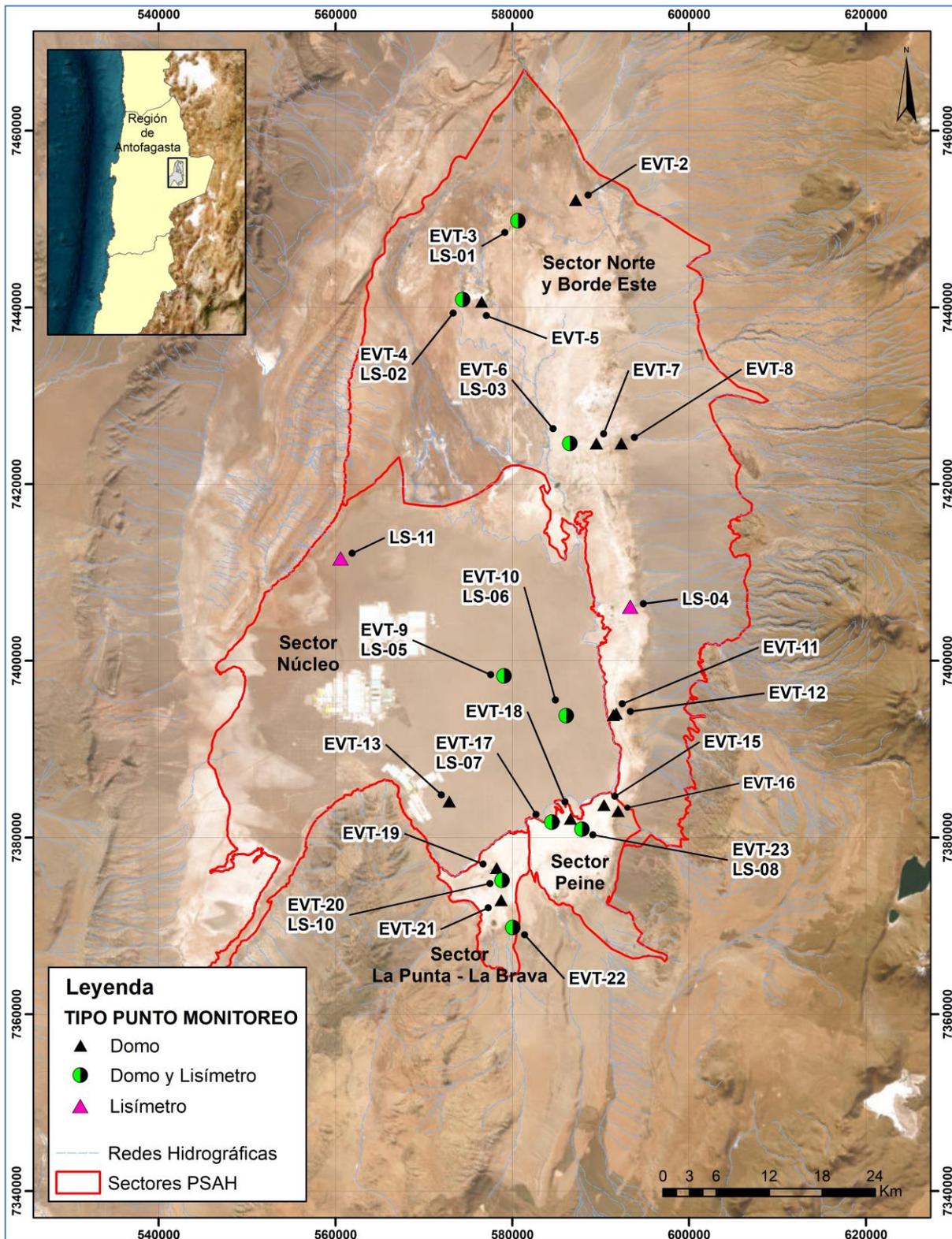
Punto de Monitoreo 2021	Red de Monitoreo Lisímetros	Sector	Coordenadas UTM (Datum WGS 84/Huso 19S)		Cota referencia [m s.n.m.]
			Este (m)	Norte (m)	
EVT-1	-	Norte y Borde Este	584.844	7.452.662	2.354,00
EVT-2	-	Norte y Borde Este	587.174	7.452.186	2.353,00
EVT-3	LS-01	Norte y Borde Este	580.655	7.449.818	2.340,00
EVT-4	LS-02	Norte y Borde Este	574.421	7.440.912	2.319,00
EVT-5	-	Norte y Borde Este	576.531	7.440.666	2.315,00
EVT-6	LS-03	Norte y Borde Este	586.521	7.424.624	2.305,00
EVT-7	-	Norte y Borde Este	589.510	7.424.633	2.310,00
EVT-8	-	Norte y Borde Este	592.323	7.424.633	2.323,00
EVT-9	LS-05	Núcleo	579.095	7.398.299	2.300,00
EVT-10	LS-06	Núcleo	586.123	7.393.805	2.300,00
EVT-11	-	Norte y Borde Este	591.423	7.393.882	2.303,00
EVT-12	-	Norte y Borde Este	591.748	7.394.054	2.305,00
EVT-13	-	Núcleo	572.869	7.384.102	2.300,00
EVT-15	-	Peine	590.373	7.383.699	2.300,36
EVT-16	-	Peine	591.963	7.383.004	2.303,04
EVT-17	LS-07	Peine	584.498	7.381.744	2.302,00
EVT-18	-	Peine	586.590	7.382.164	2.300,00
EVT-19	-	La Punta-La Brava	578.228	7.376.559	2.301,00
EVT-20	LS-10	La Punta-La Brava	578.855	7.375.174	2.304,00
EVT-21	-	La Punta-La Brava	578.733	7.372.927	2.306,00
EVT-22	LS-09	La Punta-La Brava	580.073	7.369.821	2.310,30
EVT-23	LS-08	Peine	587.897	7.380.946	2.304,00
LS-04*		Norte y Borde Este	593.358	7.406.165	2.300,19
LS-11*		Núcleo	560.582	7.411.613	2.300,15

* Los puntos LS-04 y LS-11 corresponden a lisímetros sin domo asociado, aun habiendo en 2019 un lisímetro instalado en cada punto, estos no tienen un punto equivalente de medición con domo (EVT-XX).

Nota: Cota Referencia y coordenadas UTM, corresponden a las presentadas en la Adenda 5.

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4 Red Monitoreo Evapotranspiración



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Red de Monitoreo Superficie Lagunar

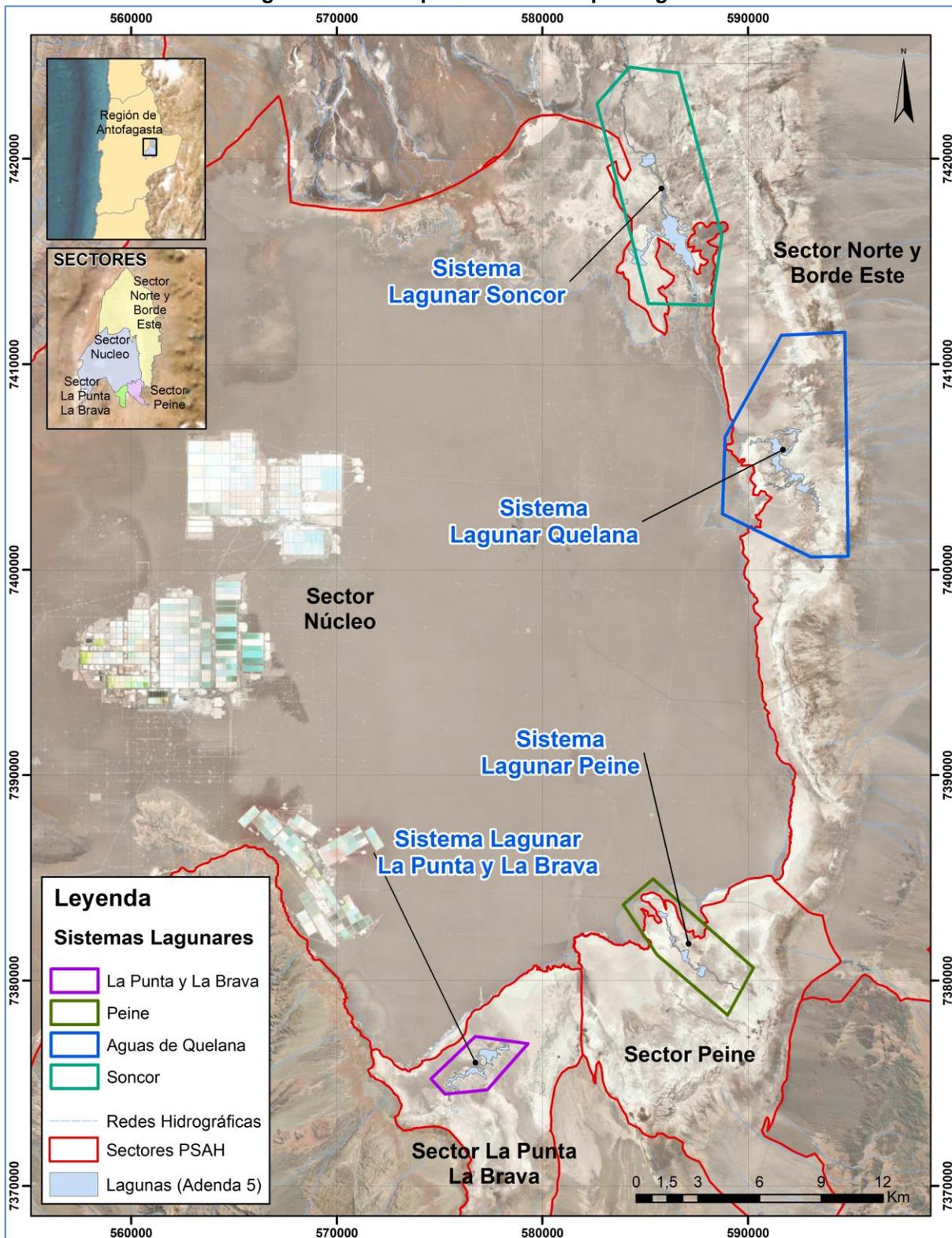
El área inundada por la superficie lagunar se mide a través de imágenes satelitales de mediana resolución, de alta resolución y levantamiento en terreno considerando cuatro polígonos de evaluación, uno para cada sistema lagunar objeto de protección del Proyecto. Los vértices de los polígonos se indican en la Tabla 4-4, y su ubicación espacial en la Figura 4-5.

Tabla 4-4 Vértices de los polígonos usados para evaluar superficie lagunar

Sistema Lagunar	Nombre del Nodo	Coordenadas UTM (Datum WGS84/Huso 19S)	
		Este (m)	Norte (m)
Sistema La Punta - La Brava	Nodo 1	574.483	7.375.332
Sistema La Punta - La Brava	Nodo 2	576.811	7.377.422
Sistema La Punta - La Brava	Nodo 3	579.192	7.377.051
Sistema La Punta - La Brava	Nodo 4	577.261	7.374.855
Sistema La Punta - La Brava	Nodo 5	575.171	7.374.617
Sistema La Punta - La Brava	Nodo 6	574.483	7.375.332
Sistema Peine	Nodo 1	583.770	7.383.878
Sistema Peine	Nodo 2	585.410	7.385.068
Sistema Peine	Nodo 3	590.358	7.380.729
Sistema Peine	Nodo 4	589.035	7.378.480
Sistema Peine	Nodo 5	585.648	7.381.285
Sistema Peine	Nodo 6	585.675	7.381.311
Sistema Peine	Nodo 7	583.770	7.383.878
Sistema Soncor	Nodo 1	588.234	7.412.889
Sistema Soncor	Nodo 2	585.093	7.412.988
Sistema Soncor	Nodo 3	582.447	7.422.414
Sistema Soncor	Nodo 4	584.200	7.424.366
Sistema Soncor	Nodo 5	586.482	7.424.101
Sistema Soncor	Nodo 6	588.631	7.416.164
Sistema Soncor	Nodo 7	588.234	7.412.889
Sistema Aguas de Quelana	Nodo 1	591.549	7.411.420
Sistema Aguas de Quelana	Nodo 2	594.658	7.411.519
Sistema Aguas de Quelana	Nodo 3	594.823	7.400.770
Sistema Aguas de Quelana	Nodo 4	592.872	7.400.869
Sistema Aguas de Quelana	Nodo 5	588.738	7.402.754
Sistema Aguas de Quelana	Nodo 6	588.672	7.405.896

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5 Red Superficie Cubierta por Lagunas



Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Red de Monitoreo de Nivel, Posición Interfase Salina, Aforos y Composición Química del agua superficial y subterránea

Las variables niveles (superficiales y piezométricos), posición de la Interfase Salina, aforos y Composición Química del agua superficial y subterránea, se abordan de manera conjunta en este numeral tal y como propone el Anexo 3 de la Adenda 5 que aprobó el Proyecto. Esto, porque en varios de los puntos de monitoreo se mide más de una variable e hidrogeológicamente se relacionan entre sí. Para facilitar el seguimiento de resultados, cada uno de los puntos se presenta asociado a los sectores que han sido indicados previamente y que corresponde al sector La Punta-La Brava, sector Peine, sector Norte y Borde Este y sector Núcleo.

La red de puntos de monitoreo de agua subterránea se encuentra compuesta por:

- Piezómetros: perforaciones de pequeño diámetro (2-5 pulgadas), realizada con maquinaria de perforación generalmente pesada, de profundidad variable, que sirven para medir la profundidad del nivel de las aguas subterráneas en un punto específico.
- Piezómetros someros: también denominados barrenos, cuya sigla corresponde a BA-XX⁷. Son puntos de profundidad de hasta 2 m, dichos piezómetros se han realizado por métodos manuales o con ayuda de maquinaria ligera y de pequeño diámetro (2-3 pulgadas), en el cual permite medir la profundidad del nivel de las aguas subterráneas en la zona de evaporación.
- Multipiezómetros: se define de esta forma al conjunto constituido por dos o tres piezómetros independientes, perforados y habilitados a diferentes profundidades. El nombre de cada multipiezómetro comienza con las iniciales MP, seguidas de un número correlativo y finaliza con una letra; A, B o C, cuyo significado es el siguiente:
 - MP-XXA: piezómetro somero perforado y habilitado sobre la posición de la Interfase Salina, es por tanto el menos profundo de los tres y sirve para la medición del nivel de agua y muestrear el acuífero de agua salobre.
 - MP-XXB: piezómetro intermedio habilitado únicamente por debajo de la posición de la Interfase Salina, destinado a la toma de muestras de salmuera.
 - MP-XXC: piezómetro profundo habilitado en su totalidad, se destina a la realización de perfiles de conductividad y temperatura.
- Piezómetros profundos: piezómetros que alcanzan profundidades entre 80 m y 120 m, identificados con las siglas PP-XX, que sirven para medir en un punto específico, la

⁷ Se indica que "XX" corresponde a una denominación para abreviar números correlativos que indican nombre de punto de monitoreo.

profundidad del nivel de las aguas subterráneas, posición de la interfase salina y Composición Química.

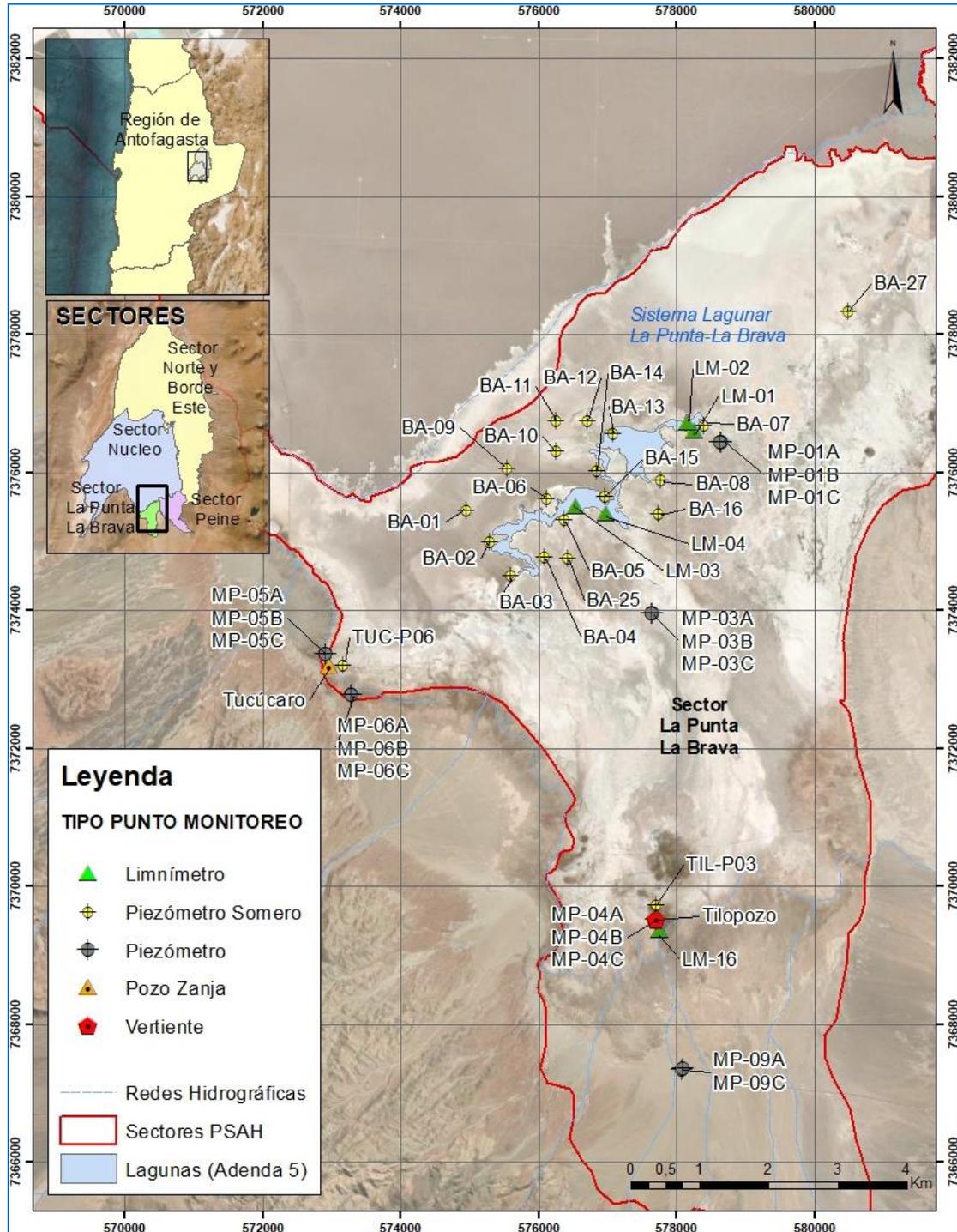
- Pozos de extracción: perforaciones de gran diámetro (menores a 30 pulgadas), realizados generalmente con maquinaria de perforación pesada, destinados a la extracción tanto de agua industrial como de salmuera.
- Zanjas: son excavaciones realizadas en el terreno mediante maquinaria tipo retroexcavadora, con profundidad en torno a los 5 metros, que permite medir la profundidad del nivel de las aguas subterráneas.

4.2.4.1 Monitoreo Sector La Punta – La Brava

Este sector abarca el área de la Zona Marginal alrededor del sistema lagunar La Punta-La Brava y el área del Borde Sur de la cuenca frente a estas lagunas. La Figura 4-8 muestra la distribución de estos puntos según su tipología y la Tabla 4-5 presenta los 44 puntos de monitoreo considerados en este sector indicando las variables que deben ser medidas en cada punto, mediante una “x”.

Respecto de la nomenclatura de los puntos de monitoreo, cabe señalar que se utiliza la notación “BA” para representar barrenos o piezómetros someros, “LM” corresponde a limnímetros y “MP” a multipiezómetros. Otros puntos de monitoreos preexistentes al desarrollo de esta red de monitoreo mantienen otra nomenclatura, pero como ya se mencionó se identifica claramente su tipología en la Figura 4-8 mediante la simbología que se indica en la leyenda.

Figura 4-6 Puntos de Monitoreo Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-5 Red de Monitoreo Sector La Punta-La Brava

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM* (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar*(m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
1	BA-01	574.964	7.375.461	2.300,92	P. somero			x		
2	BA-02	575.305	7.375.003	2.301,37	P. somero			x		
3	BA-03	575.594	7.374.516	2.301,46	P. somero			x		
4	BA-04	576.096	7.374.776	2.301,35	P. somero			x		
5	BA-05	576.373	7.375.324	2.301,09	P. somero			x		
6	BA-06	576.120	7.375.626	2.301,41	P. somero			x		
7	BA-07	578.406	7.376.692	2.300,88	P. somero			x		
8	BA-08	577.783	7.375.887	2.301,15	P. somero			x		
9	BA-09	575.545	7.376.062	2.300,79	P. somero			x		
10	BA-10	576.268	7.376.317	2.300,79	P. somero			x		
11	BA-11	576.254	7.376.750	2.300,93	P. somero			x		
12	BA-12	576.707	7.376.759	2.301,00	P. somero			x		
13	BA-13	577.081	7.376.565	2.301,08	P. somero			x		
14	BA-14	576.842	7.376.029	2.301,38	P. somero			x		
15	BA-15	576.968	7.375.650	2.301,13	P. somero			x		
16	BA-16	577.746	7.375.405	2.301,78	P. somero			x		
17	BA-25	576.424	7.374.761	2.301,47	P. somero			x		
18	BA-27	580.485	7.378.338	2.301,48	P. somero			x		
19	LM-01	578.259	7.376.599	2.300,33	Limnómetro		x			x
20	LM-02	578.162	7.376.719	2.300,80	Limnómetro		x			x
21	LM-03	576.553	7.375.507	2.300,58	Limnómetro		x			x
22	LM-04	576.992	7.375.404	2.300,93	Limnómetro		x			x
23	LM-16	577.756	7.369.364	2.307,84	Limnómetro		x			x
24	MP-01A	578.647	7.376.429	2.301,23	Piezómetro			x		x

Tabla 4-5 Red de Monitoreo Sector La Punta-La Brava

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM* (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar*(m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
25	MP-01B	578.650	7.376.430	2.301,19	Piezómetro			x		x
26	MP-01C	578.646	7.376.429	2.301,23	Piezómetro			x	x	
27	MP-03A	577.651	7.373.947	2.302,64	Piezómetro			x		x
28	MP-03B	577.653	7.373.947	2.302,63	Piezómetro			x		x
29	MP-03C	577.650	7.373.947	2.302,64	Piezómetro			x	x	
30	MP-04A	577.716	7.369.509	2.308,65	Piezómetro			x		x
31	MP-04B	577.717	7.369.513	2.308,53	Piezómetro			x		x
32	MP-04C	577.713	7.369.510	2.308,61	Piezómetro			x	x	
33	MP-05A	572.915	7.373.356	2.303,24	Piezómetro			x		x
34	MP-05B	572.913	7.373.356	2.303,24	Piezómetro			x		x
35	MP-05C	572.916	7.373.355	2.303,22	Piezómetro			x	x	
36	MP-06A	573.298	7.372.778	2.305,26	Piezómetro			x		x
37	MP-06B	573.296	7.372.777	2.305,24	Piezómetro			x		x
38	MP-06C	573.299	7.372.779	2.305,28	Piezómetro			x	x	
39	MP-09A	578.077	7.367.346	2.318,43	Piezómetro			x		x
40	MP-09C	578.099	7.367.353	2.318,26	Piezómetro			x	x	
41	TIL-P03	577.703	7.369.729	2.306,53	P. somero			x		
42	Tilopozo	577.715	7.369.511	2.308,10	Vertiente			x		
43	TUC-P06	573.171	7.373.219	2.302,42	P. somero			x		
44	Tucúcaro	572.970	7.373.199	2.303,13	Pozo Zanja			x		
Total Puntos de Monitoreo						0	5	39	6	16

*Coordenadas y cotas preliminares. Levantamiento topográfico para nivelación y homologación de coordenadas y cotas (condición específica 10.3 de la RCA N°21/2016) ya fue realizado, siendo entregado a la SMA el 24 de agosto de 2020.

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2 Monitoreo Sector Peine

Este sector abarca el área de la Zona Marginal, Núcleo y Borde Sur alrededor del sistema lagunar de Peine, donde se encuentran las lagunas Salada, Saladita e Interna. El sector consiste en un total de 39 puntos de monitoreo de los cuales se muestran espacialmente en la Figura 4-7, haciendo la distinción en cuanto a las variables que se miden en cada uno de ellos.

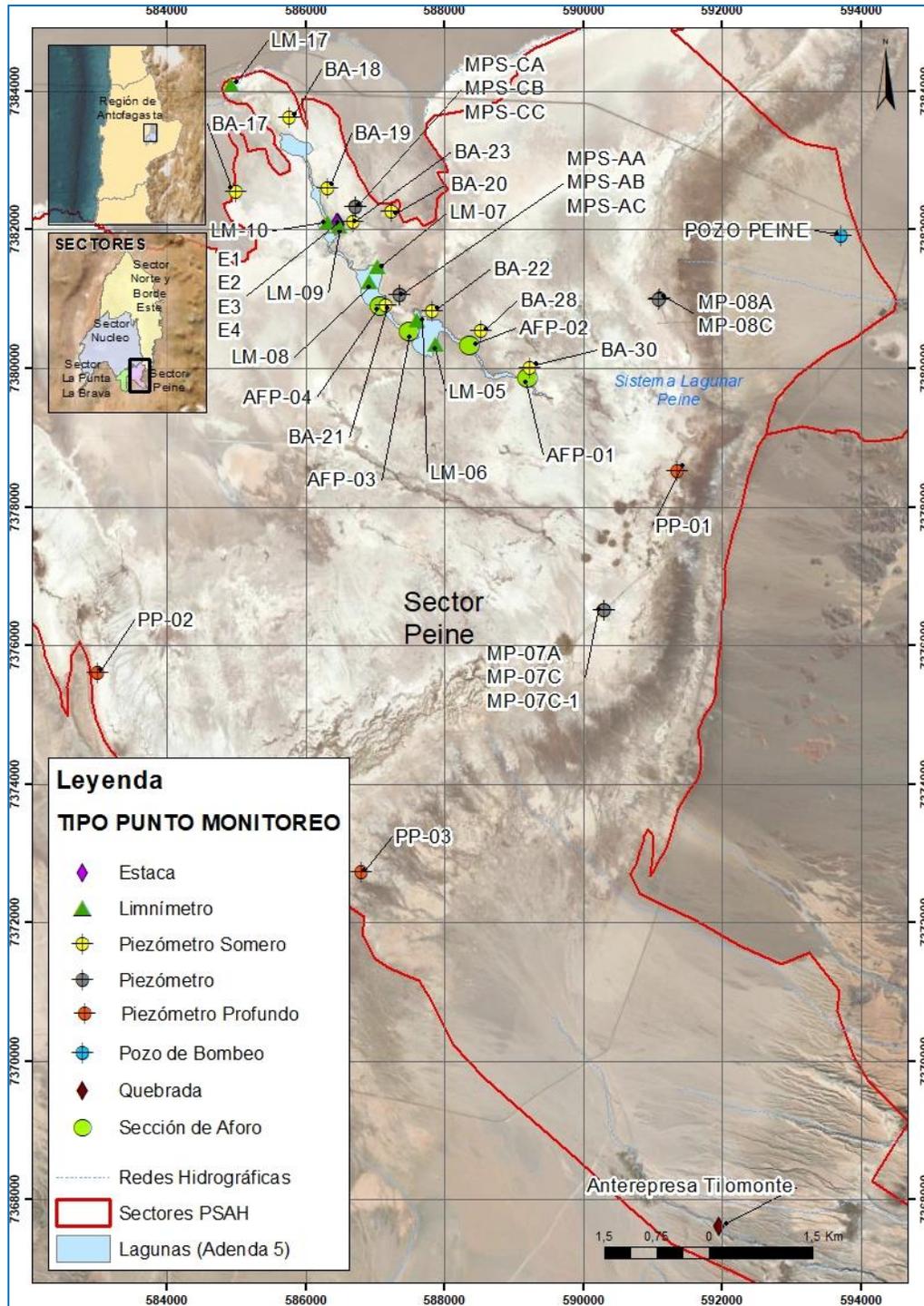
En la Tabla 4-6, se presentan todos los puntos de monitoreo considerados en este sector indicando sus coordenadas y las variables que se miden en cada uno de ellos.

En particular, se tiene:

- Piezómetro MP-07C: fue informado a la SMA mediante carta MA 064/2017 que notifica la implementación de la Etapa 3, que el piezómetro MP-07C instalado en agosto del 2016 no intercepta la Interfase Salina, por lo que fue reemplazado por piezómetro MP-07C-1.
- Piezómetro MP-08C: fue sellado por presentar surgencia, lo cual fue informado a la SMA mediante carta MA 007/2016. Asimismo, mediante carta MA 036/2017 se propone construcción de pozo equivalente MP-08C-1. Posteriormente, se recibe Ord. DGA N° 823 de 24.11.2017 con observaciones solicitando proponer otro par de piezómetros para el sistema Peine y modelación hidráulica conceptual del sistema, incorporando el acuífero confinado, a lo cual se dio respuesta mediante carta MA 033/2018 con fecha 14.03.2018, no habiéndose recibido comentarios a la fecha. Por lo anterior, este pozo no ha sido construido y se encuentra en revisión por parte de Albemarle, para retomar conversaciones con la autoridad.

Respecto de la nomenclatura, cabe señalar que se utiliza la notación “AFP” para representar aforos, “PP” corresponde a piezómetros profundos, “MPS” corresponde a multipiezómetros y “E” a estacas. Otros puntos de monitoreos preexistentes al desarrollo de esta red de monitoreo mantienen otra nomenclatura, pero se identifica claramente su tipología en la Figura 4-7 mediante la simbología que se indica en la leyenda.

Figura 4-7 Puntos de Monitoreo Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-6 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Peine

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM ⁽¹⁾ (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar ⁽¹⁾ (m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
1	AFP-01	589.192	7.379.865	2.301,02	Superficial	x				
2	AFP-02	588.361	7.380.335	2.300,22	Superficial	x				
3	AFP-03	587.490	7.380.535	2.300,05	Superficial	x				
4	AFP-04	587.084	7.380.894	2.299,90	Superficial	x				
5	Anterepresa Tilomonte	591.959	7.367.623	2.425,10	Superficial	x				x
6	BA-17	584.997	7.382.542	2.300,95	P. somero			x		
7	BA-18	585.778	7.383.610	2.300,30	P. somero			x		
8	BA-19	586.321	7.382.592	2.300,50	P. somero			x		
9	BA-20	587.247	7.382.250	2.300,54	P. somero			x		
10	BA-21	587.159	7.380.905	2.301,39	P. somero			x		
11	BA-22	587.837	7.380.817	2.301,12	P. somero			x		
12	BA-23	586.684	7.382.108	2.300,51	P. somero			x		
13	BA-28	588.525	7.380.523	2.301,31	P. somero			x		
14	BA-30	589.239	7.380.003	2.302,28	P. somero			x		
15	LM-05	587.871	7.380.354	2.300,58	Limnómetro		x			x
16	LM-06	587.618	7.380.701	2.300,78	Limnómetro		x			x
17	LM-07	587.038	7.381.462	2.300,45	Limnómetro		x			x
18	LM-08	586.928	7.381.249	2.300,54	Limnómetro		x			x
19	LM-09	586.497	7.382.059	2.299,73	Limnómetro		x			x
20	LM-10	586.329	7.382.108	2.299,69	Limnómetro		x			x
21	LM-17	584.939	7.384.094	2.299,61	Limnómetro		x			x
22	MP-07A	590.305	7.376.507	2.306,63	Piezómetro			x		x
23	MP-07C ⁽²⁾	590.300	7.376.499	2.306,63	Piezómetro			x	x	

Tabla 4-6 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Peine

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM ⁽¹⁾ (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar ⁽¹⁾ (m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
	MP-07C-1	590.302	7.376.494	2.306,68						
24	MP-08A	591.099	7.380.993	2.303,90	Piezómetro			x		x
25	MP-08C ⁽³⁾	591.088	7.380.990	2.303,48	Piezómetro			x	x	
26	MPS-AA	587.361	7.381.053	2.300,25	Piezómetro			x		x
27	MPS-AB	587.360	7.381.056	2.300,19	Piezómetro			x		x
28	MPS-AC	587.361	7.381.052	2.300,27	Piezómetro			x	x	
29	MPS-CA	586.725	7.382.313	2.299,60	Piezómetro			x		
30	MPS-CB	586.723	7.382.312	2.299,66	Piezómetro			x		x
31	MPS-CC	586.726	7.382.313	2.299,62	Piezómetro			x	x	
33	PP-01	591.348	7.378.507	2.305,56	Piezómetro Profundo			x	x	x
34	PP-02	583.007	7.375.594	2.303,98	Piezómetro Profundo			x	x	x
35	PP-03	586.803	7.372.719	2.309,09	Piezómetro Profundo			x	x	x
36	E1	586.496	7.382.071	2.299,47	Estaca		x			
37	E2	586.495	7.382.088	2.299,45	Estaca		x			
38	E3	586.476	7.382.107	2.299,37	Estaca		x			
39	E4	586.459	7.382.110	2.299,50	Estaca		x			
Total Puntos de Monitoreo						5	11	22	6	16

Notas:

- (1) Coordenadas y cotas preliminares. Levantamiento topográfico para nivelación y homologación de coordenadas y cotas (condición específica 10.3 de la RCA N°21/2016) ya fue realizado, siendo entregado a la SMA el 24 de agosto de 2020.
- (2) El piezómetro MP-07C instalado en agosto del 2016 no intercepta la Interfase Salina, por lo que fue reemplazado por piezómetro MP-07C-1, lo que fue informado a la SMA mediante carta MA 064/2017.
- (3) Pozo sellado por presentar surgencia, lo cual fue informado a la SMA mediante carta MA 007/2016. Se propuso construcción de pozo de reemplazo (MP-08C-1), pero a la fecha no se ha materializado.

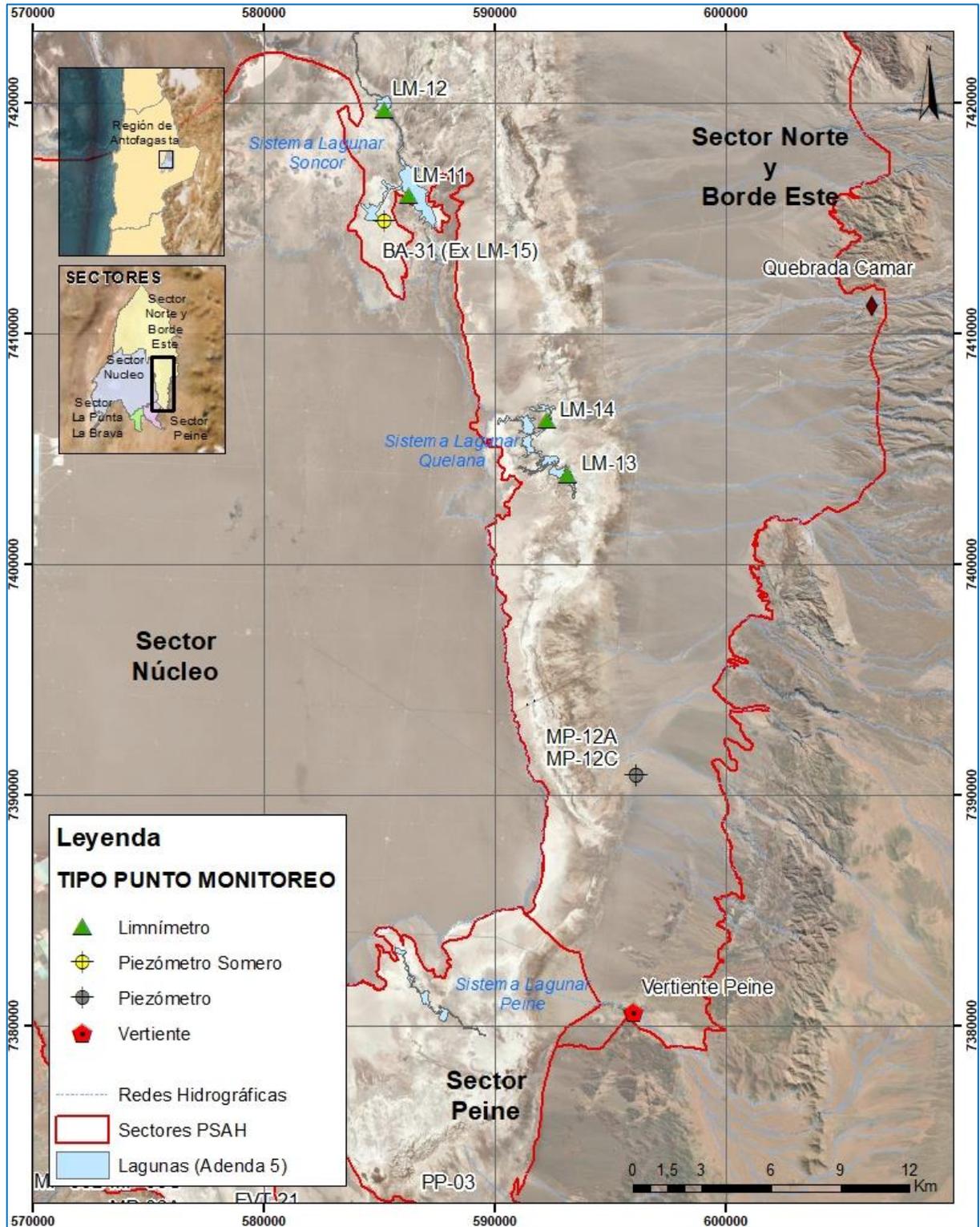
Fuente: Elaboración propia

4.2.4.3 Monitoreo Sector Norte y Borde Este

Este sector abarca el área de la Zona Marginal, parte del Núcleo y Borde Este de la cuenca alrededor de los sistemas lagunares Soncor y Aguas de Quelana, que son áreas protegidas por formar parte de la Reserva Nacional Los Flamencos y estar incluidas en la convención Ramsar (La Convención sobre los Humedales).

Además del análisis de la superficie lagunar que se realiza sobre estos sistemas, se tienen los 4 limnímetros en las coordenadas que se indican en la Tabla 4-7 para la medición del nivel de las lagunas, anteriormente existió en la nomenclatura el limnómetro LM-15, que fue reemplazado por un piezómetro (el BA-31) el año 2018 porque en la ubicación original del limnómetro no había agua superficial. En los mismos puntos también se toman muestras de agua para su caracterización físico-química. La ubicación de los 9 puntos de monitoreo de este sector, se muestran en la Figura 4-8.

Figura 4-8 Puntos de Monitoreo Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-7 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Norte y Borde Este

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM ⁽¹⁾ (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar ⁽¹⁾ (m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
1	LM-11	586.259	7.415.937	2.299,87	Limnómetro		x			x
2	LM-12	585.236	7.419.626	2.299,73	Limnómetro		x			x
3	LM-13	593.159	7.403.846	2.300,38	Limnómetro		x			x
4	LM-14	592.251	7.406.216	2.300,50	Limnómetro		x			x
5	BA-31 ⁽²⁾	585.222	7.414.817	2.298,80	P. somero			x		x
6	MP-12A	596.113	7.390.802	2.316,23	Piezómetro			x		x
7	MP-12C	596.123	7.390.799	2.316,62	Piezómetro			x	x	
8	Quebrada Camar	606.314	7.411.194	2.729,00	Superficial					x
9	Vertiente Peine	596.008	7.380.544	2.445,48	Superficial	x				x
Total Puntos de Monitoreo						1	4	3	1	8

(1) Coordenadas y cotas preliminares. Levantamiento topográfico para nivelación y homologación de coordenadas y cotas (condición específica 10.3 de la RCA N°21/2016) ya fue realizado, siendo entregado a la SMA el 24 de agosto de 2020.

(2) BA-31 corresponde a un piezómetro somero, que en forma previa fue erróneamente denominado como limnómetro LM-15.

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.4 Monitoreo Sector Núcleo

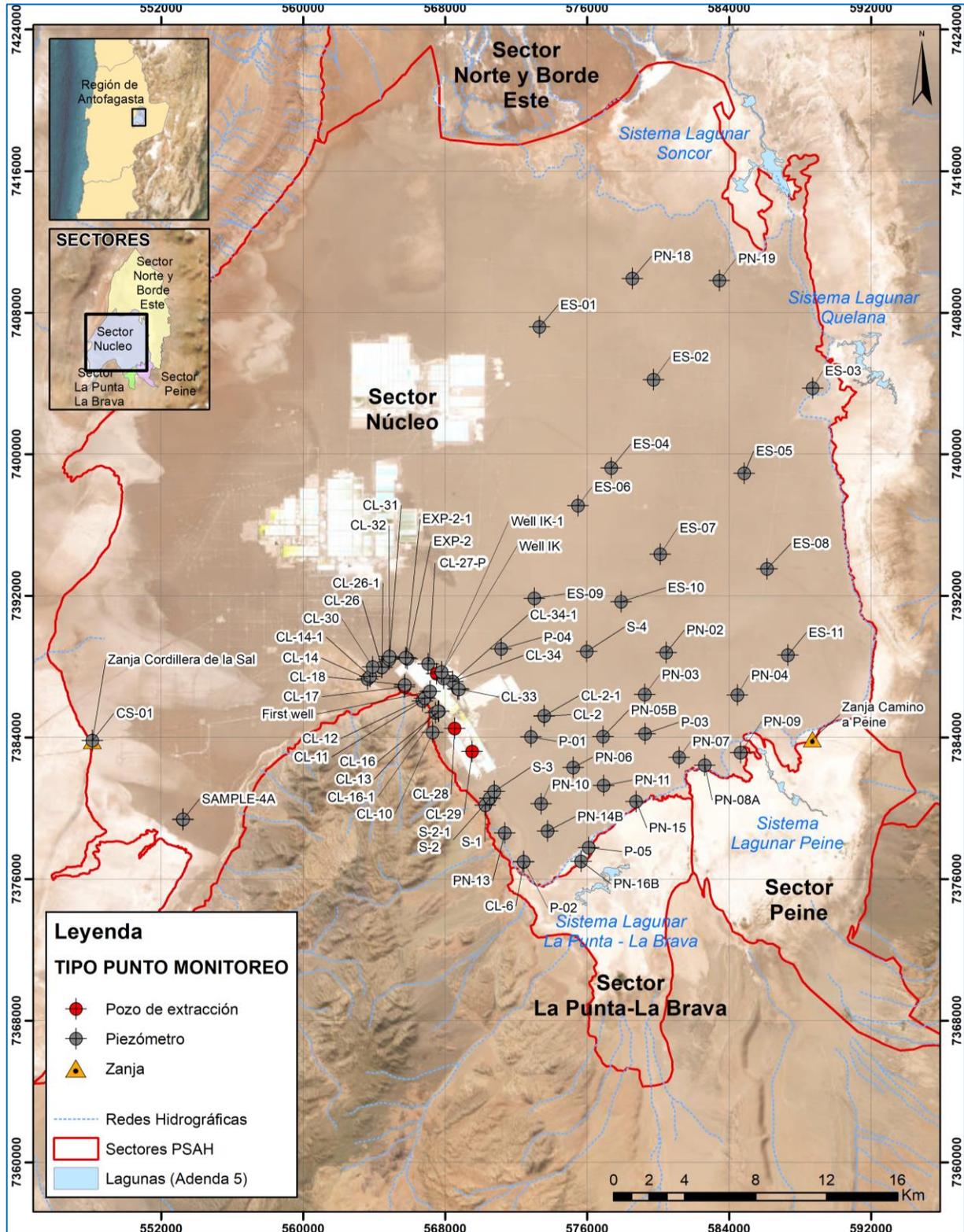
El sector Núcleo constituye el Núcleo del salar desde donde se extrae la salmuera. La red de monitoreo de este sector considera un total de 62 puntos para la medición mensual solamente de niveles piezométricos. En la Figura 4-9 se muestra la ubicación de cada uno de ellos.

La no inclusión del monitoreo de la Composición Química en los pozos de extracción de salmuera está dada por la resolución de solicitud de interpretación de la RCA N°21/2016, resuelta mediante la R.E. N° 1.472 de fecha 27 de diciembre 2017 del SEA Dirección Ejecutiva. Por lo anterior es que no se presentan resultados asociados a química de los pozos de extracción de salmuera. Dicha Resolución se adjunta dentro de Anexo M de este Informe.

La Tabla 4-8 muestra la información de estos puntos. Los primeros 19 piezómetros, corresponden a puntos que ya eran monitoreados y reportados a la autoridad en cumplimiento de autorizaciones ambientales anteriores existentes (R.E. N° 092/00 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, y R.E. N° 3132/06 de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente), y actualmente forman parte también de las obligaciones de la RCA N°21/2016.

Respecto de la nomenclatura, cabe señalar que se utiliza la notación “PN” para representar a los piezómetros del Núcleo y “ES”, para identificar a los puntos que forman parte de la herramienta de verificación del Efecto Sinérgico de las extracciones en el Núcleo.

Figura 4-9 Puntos de Monitoreo Sector Núcleo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-8 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM ⁽¹⁾ (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar ⁽¹⁾ (m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
1	CL-2	573.582	7.385.213	2.300,95	Piezómetro			x		
	CL-2-1 (2)	573.591	7.385.223	2.300,49						
2	CL-6	572.422	7.376.975	2.300,12	Piezómetro			x		
3	CL-10	567.294	7.384.280	2.300,28	Piezómetro			x		
4	CL-11	566.728	7.386.065	2.300,57	Piezómetro			x		
5	CL-12	566.856	7.386.218	2.300,16	Piezómetro			x		
6	CL-13	567.451	7.385.392	2.300,66	Piezómetro			x		
7	CL-14	563.624	7.387.299	2.300,24	Piezómetro			x		
	CL-14-1 (3)	563.769	7.387.448	2.300,75						
8	CL-16	567.641	7.385.485	2.300,30	Piezómetro			x		
	CL-16-1 (4)	567.614	7.385.472	2.301,26						
9	CL-17	565.711	7.386.853	2.300,26	Piezómetro			x		
10	CL-18	565.732	7.386.970	2.300,23	Piezómetro			x		
11	CL-26	564.419	7.387.956	2.300,63	Piezómetro			x		
	CL-26-1 (5)	564.435	7.387.975	2.300,51						
12	CL-27-P(6)	567.043	7.388.162	2.300,04	Piezómetro			x		
13	CL-28	568.539	7.384.505	2.300,88	Piezómetro			x		
14	CL-29	569.513	7.383.212	2.300,85	Piezómetro			x		
15	CL-30	563.915	7.387.985	2.300,30	Piezómetro			x		
16	CL-31	564.860	7.388.412	2.300,28	Piezómetro			x		
17	CL-32	564.868	7.388.580	2.300,18	Piezómetro			x		
18	CL-33	568.710	7.386.741	2.300,33	Piezómetro			x		
19	CL-34	568.431	7.387.167	2.300,07	Piezómetro			x		
	CL-34-1 (7)	568.432	7.387.160	2.300,31						
20	CS-01	548.122	7.383.820	2.300,86	Piezómetro			x		
21	ES-01	573.316	7.407.190	2.299,93	Piezómetro			x		
22	ES-02	579.742	7.404.217	2.299,77	Piezómetro			x		
23	ES-03	588.711	7.403.738	2.299,54	Piezómetro			x		

Tabla 4-8 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM ⁽¹⁾ (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar ⁽¹⁾ (m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
24	ES-04	577.358	7.399.233	2.299,87	Piezómetro			x		
25	ES-05	584.854	7.398.928	2.299,76	Piezómetro			x		
26	ES-06	575.483	7.397.097	2.300,00	Piezómetro			x		
27	ES-07	580.131	7.394.358	2.300,02	Piezómetro			x		
28	ES-08	586.136	7.393.521	2.299,90	Piezómetro			x		
29	ES-09	573.027	7.391.861	2.300,21	Piezómetro			x		
30	ES-10	577.911	7.391.666	2.300,02	Piezómetro			x		
31	ES-11	587.315	7.388.648	2.299,59	Piezómetro			x		
32	EXP-2	565.861	7.388.442	2.299,87	Piezómetro			x		
	EXP-2-1 (8)	565.777	7.388.513	2.300,60						
33	First well	567.158	7.386.604	2.300,08	Piezómetro			x		
34	P-01	572.834	7.384.032	2.300,63	Piezómetro			x		
35	P-02	572.433	7.376.977	2.300,44	Piezómetro			x		
36	P-03	579.260	7.384.212	2.300,71	Piezómetro			x		
37	P-04	571.158	7.389.005	2.300,55	Piezómetro			x		
38	P-05	576.091	7.377.780	2.299,84	Piezómetro			x		
39	PN-02	580.458	7.388.790	2.300,09	Piezómetro			x		
40	PN-03	579.258	7.386.428	2.299,52	Piezómetro			x		
41	PN-04	584.483	7.386.395	2.300,13	Piezómetro			x		
42	PN-05B	576.901	7.384.044	2.300,81	Piezómetro			x		
43	PN-06	575.214	7.382.305	2.300,49	Piezómetro			x		
44	PN-07	581.187	7.382.874	2.300,32	Piezómetro			x		
45	PN-08A	582.633	7.382.424	2.300,72	Piezómetro			x		
46	PN-09	584.650	7.383.143	2.299,65	Piezómetro			x		
47	PN-10	573.416	7.380.256	2.300,22	Piezómetro			x		
48	PN-11	576.928	7.381.292	2.300,41	Piezómetro			x		
49	PN-13	571.361	7.378.597	2.300,36	Piezómetro			x		
50	PN-14B	573.777	7.378.721	2.300,44	Piezómetro			x		

Tabla 4-8 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo

N°	Punto de Medición	Coordenadas UTM ⁽¹⁾ (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar ⁽¹⁾ (m s.n.m.)	Tipo de Punto	Variable de Medición				
		Este (m)	Norte (m)			Aforo Caudal	Nivel Laguna	Nivel Freático	Interfase Salina	Composición Química
51	PN-15	578.762	7.380.378	2.300,37	Piezómetro			x		
52	PN-16B	575.663	7.377.001	2.300,42	Piezómetro			x		
53	PN-18	578.554	7.409.920	2.299,71	Piezómetro			x		
54	PN-19	583.463	7.409.811	2.299,45	Piezómetro			x		
55	S-1	570.270	7.380.179	2.300,51	Piezómetro			x		
56	S-2	570.521	7.380.563	2.300,33	Piezómetro			x		
	S-2-1 (9)	570.522	7.380.565	2.300,33	Piezómetro					
57	S-3	570.775	7.380.949	2.300,49	Piezómetro			x		
58	S-4	575.984	7.388.860	2.300,21	Piezómetro			x		
59	Sample-4A	553.228	7.379.389	2.301,19	Piezómetro			x		
60	Well IK	567.801	7.387.700	2.299,88	Piezómetro			x		
	Well-IK-1 (10)	567.802	7.387.699	2.300,53						
61	Zanja camino a Peine	588.696	7.383.905	2.300,26	Zanja			x		
Total Puntos de Monitoreo								61		

- (1) Coordenadas y cotas preliminares. Levantamiento topográfico para nivelación y homologación de coordenadas y cotas (condición específica 10.3 de la RCA N°21/2016 ya fue realizado, siendo entregado a la SMA el 24 de agosto de 2020.
- (2) Reemplaza a CL-2 desde julio de 2016;
- (3) Reemplaza a CL-14 desde julio de 2016;
- (4) Reemplaza a CL-16 desde julio 2016;
- (5) Reemplaza a CL-26 desde julio 2016;
- (6) Se modifica solo el nombre del punto, dado que existe un punto de bombeo que tiene el mismo nombre;
- (7) Reemplaza a CL-34 desde julio 2016;
- (8) Reemplaza a EXP-2 desde julio 2016;
- (9) Reemplaza a S-2 desde junio 2019;
- (10) Reemplaza a WELL-IK desde octubre 2016. Deja de ser operativo en septiembre 2017 y en octubre 2017 se reperfora y queda operativo.

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Red de Monitoreo Pozos de Bombeo de Salmuera y de Agua Duce-Salobre

En la Tabla 4-9 presentan los pozos de extracción tanto de salmuera como de agua dulce-salobre que ALB ha operado durante el año 2023, asimismo se entregan sus coordenadas. En la Figura 4-10 se presenta su ubicación.

Tabla 4-9 Pozos de bombeo monitoreados año 2023, 87 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.

N°	Punto	Coordenadas UTM		Extracción	Área de Extracción
		(WGS 84/Huso 19S)			
		Este (m)	Norte (m)		
1	CL-1	573.049	7.384.403	Salmuera	A2
2	CL-100	563.437	7.386.040	Salmuera	A1
3	CL-101	557.123	7.382.092	Salmuera	A1
4	CL-104	556.633	7.380.959	Salmuera	A1
5	CL-106	568.797	7.388.505	Salmuera	A1
6	CL-107	561.110	7.386.256	Salmuera	A1
7	CL-112	559.160	7.385.094	Salmuera	A1
8	CL-113	560.156	7.384.585	Salmuera	A1
9	CL-114	568.672	7.388.530	Salmuera	A1
10	CL-116	568.622	7.388.530	Salmuera	A1
11	CL-117	568.747	7.388.530	Salmuera	A1
12	CL-119	568.474	7.388.527	Salmuera	A1
13	CL-120	568.791	7.388.180	Salmuera	A1
14	CL-121	568.485	7.388.497	Salmuera	A1
15	CL-122	568.786	7.387.900	Salmuera	A1
16	CL-123	568.273	7.387.997	Salmuera	A1
17	CL-124	568.790	7.387.786	Salmuera	A1
18	CL-125	568.786	7.387.923	Salmuera	A1
19	CL-126	568.785	7.388.056	Salmuera	A1
20	CL-127	568.789	7.388.097	Salmuera	A1
21	CL-128	568.577	7.387.972	Salmuera	A1
22	CL-130	568.559	7.388.109	Salmuera	A1
23	CL-133	562.022	7.386.212	Salmuera	A1
24	CL-134	562.789	7.386.481	Salmuera	A1
25	CL-136	562.033	7.388.407	Salmuera	A1
26	CL-137	562.139	7.387.328	Salmuera	A1
27	CL-140	568.243	7.382.732	Salmuera	A1

Tabla 4-9 Pozos de bombeo monitoreados año 2023, 87 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.

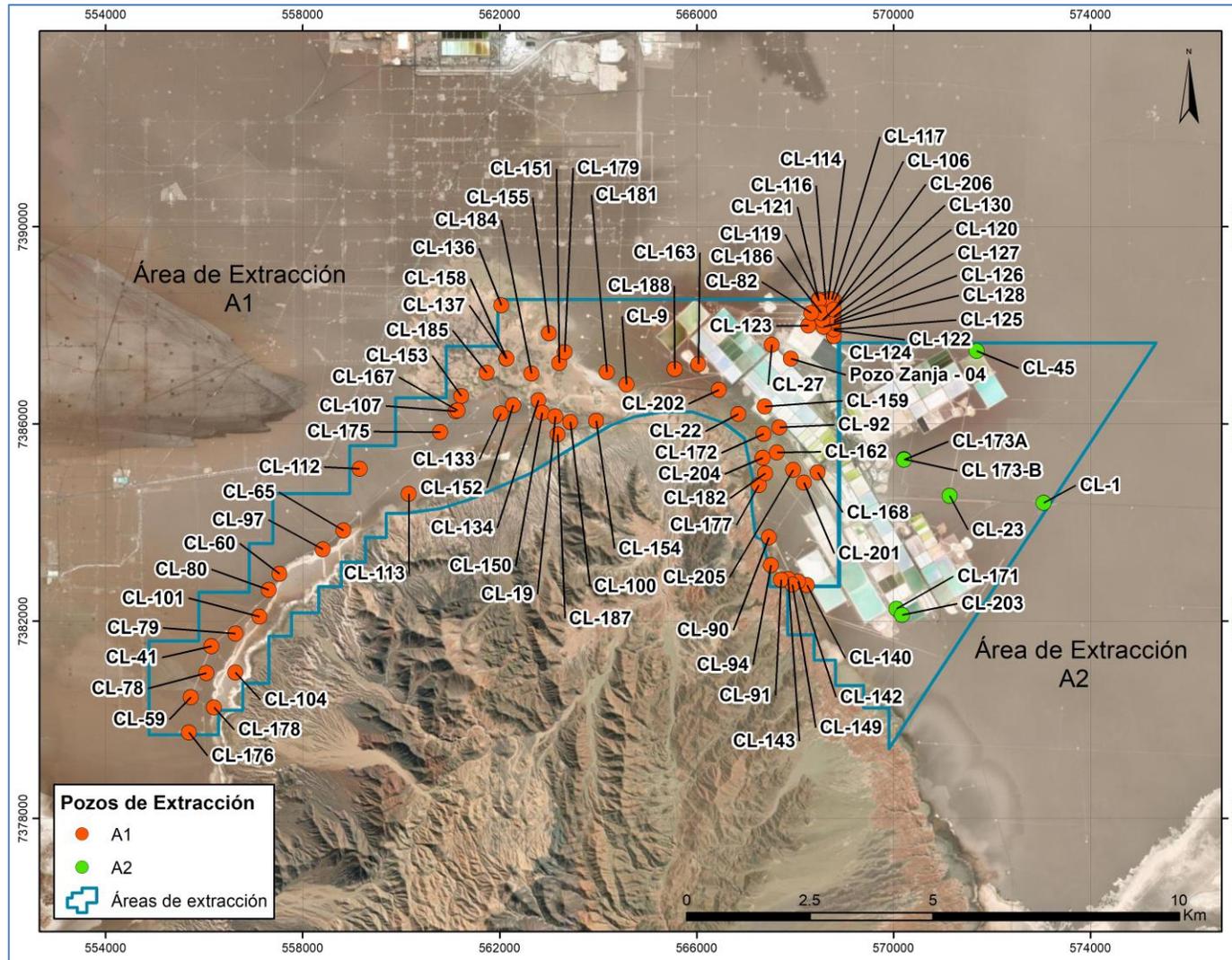
N°	Punto	Coordenadas UTM		Extracción	Área de Extracción
		(WGS 84/Huso 19S)			
		Este (m)	Norte (m)		
28	CL-142	568.057	7.382.804	Salmuera	A1
29	CL-143	567.860	7.382.858	Salmuera	A1
30	CL-149	567.944	7.382.746	Salmuera	A1
31	CL-150	562.864	7.386.230	Salmuera	A1
32	CL-151	563.211	7.387.236	Salmuera	A1
33	CL-152	562.275	7.386.382	Salmuera	A1
34	CL-153	561.223	7.386.566	Salmuera	A1
35	CL-154	563.962	7.386.065	Salmuera	A1
36	CL-155	563.003	7.387.844	Salmuera	A1
37	CL-158	562.142	7.387.327	Salmuera	A1
38	CL-159	567.383	7.386.355	Salmuera	A1
39	CL-162	567.630	7.385.423	Salmuera	A1
40	CL-163	566.038	7.387.211	Salmuera	A1
41	CL-167	561.150	7.386.273	Salmuera	A1
42	CL-168	568.458	7.385.019	Salmuera	A1
43	CL-171	570.061	7.382.252	Salmuera	A2
44	CL-172	567.360	7.385.803	Salmuera	A1
45	CL-173A	570.213	7.385.273	Salmuera	A2
46	CL 173-B	570.217	7.385.284	Salmuera	A2
47	CL-175	560.796	7.385.835	Salmuera	A1
48	CL-176	555.691	7.379.740	Salmuera	A1
49	CL-177	567.263	7.384.763	Salmuera	A1
50	CL-178	556.199	7.380.251	Salmuera	A1
51	CL-179	563.321	7.387.456	Salmuera	A1
52	CL-181	564.179	7.387.052	Salmuera	A1
53	CL-182	567.399	7.385.001	Salmuera	A1
54	CL-184	562.647	7.387.027	Salmuera	A1
55	CL-185	561.739	7.387.041	Salmuera	A1
56	CL-186	568.534	7.388.252	Salmuera	A1
57	CL-187	563.178	7.385.790	Salmuera	A1
58	CL-188	565.555	7.387.118	Salmuera	A1
59	CL-19	563.132	7.386.157	Salmuera	A1
60	CL-201	568.182	7.384.810	Salmuera	A1

Tabla 4-9 Pozos de bombeo monitoreados año 2023, 87 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.

N°	Punto	Coordenadas UTM		Extracción	Área de Extracción
		(WGS 84/Huso 19S)			
		Este (m)	Norte (m)		
61	CL-202	566.454	7.386.694	Salmuera	A1
62	CL-203	570.177	7.382.124	Salmuera	A2
63	CL-204	567.345	7.385.314	Salmuera	A1
64	CL-205	567.964	7.385.070	Salmuera	A1
65	CL-206	568.792	7.388.323	Salmuera	A1
66	CL-22	566.850	7.386.202	Salmuera	A1
67	CL-23	571.141	7.384.543	Salmuera	A2
68	CL-27	567.527	7.387.606	Salmuera	A1
69	CL-41	556.151	7.381.492	Salmuera	A1
70	CL-45	571.689	7.387.482	Salmuera	A2
71	CL-59	555.731	7.380.459	Salmuera	A1
72	CL-60	557.531	7.382.960	Salmuera	A1
73	CL-65	558.828	7.383.840	Salmuera	A1
74	CL-78	556.046	7.380.948	Salmuera	A1
75	CL-79	556.639	7.381.750	Salmuera	A1
76	CL-80	557.315	7.382.635	Salmuera	A1
77	CL-82	568.327	7.388.254	Salmuera	A1
78	CL-9	564.577	7.386.801	Salmuera	A1
79	CL-90	567.472	7.383.701	Salmuera	A1
80	CL-91	567.715	7.382.838	Salmuera	A1
81	CL-92	567.680	7.385.933	Salmuera	A1
82	CL-94	567.510	7.383.140	Salmuera	A1
83	CL-97	558.413	7.383.460	Salmuera	A1
84	Pozo Peine	593.721	7.381.894	Agua dulce-salobre	Peine
85	Pozo Zanja - 04	567.914	7.387.327	Salmuera	A1
86	Tilopozo	577.715	7.369.511	Agua dulce-salobre	La Punta-La Brava
87	Tucúcaro	572.970	7.373.199	Agua dulce-salobre	La Punta-La Brava

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-10 Ubicación Puntos de Bombeo Salmuera



Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Puntos de Activación del Plan de Alerta Temprana

El proyecto considera un Plan de Alerta Temprana (PAT), el cual tiene como objetivo detectar en forma anticipada (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto a las proyecciones asociados con el comportamiento del componente hídrico que pudieren llegar a afectar los sistemas objeto de protección y en consecuencia la generación de activación de medidas preventivas para evitar un afectación no previsto de los sistemas. Las medidas pueden ser preventivas intermedias, para entender el origen del desvío, y anticipadas, como por ejemplo la disminución o cese de la extracción para revertir un comportamiento no esperado del sistema antes de que pudiera generarse un efecto adverso.

Para ello, el PAT utiliza un subconjunto de puntos de monitoreo del PSAH, denominados “puntos de activación”, y establece variables de estado indicadoras del comportamiento del Proyecto y de los objetos de protección, ver Tabla 4-9, con “niveles de activación” (umbrales) que permiten anticiparse a la generación de efectos no previstos de la operación del Proyecto o del efecto sinérgico de los proyectos en el Salar.

El Plan de Alerta Temprana considera los siguientes 3 sectores de Alerta que son:

- Sector de Alerta Núcleo: se ubica en el Núcleo del Salar entre la explotación de ALB y los sistemas lagunares de Peine y La Punta-La Brava.
- Sector de Alerta Acuífero: se ubica en el acuífero de agua dulce-salobre alrededor de los sistemas lagunares de Peine y La Punta-La Brava.
- Sector de Alerta Norte: considera el sector del Núcleo frente los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana.

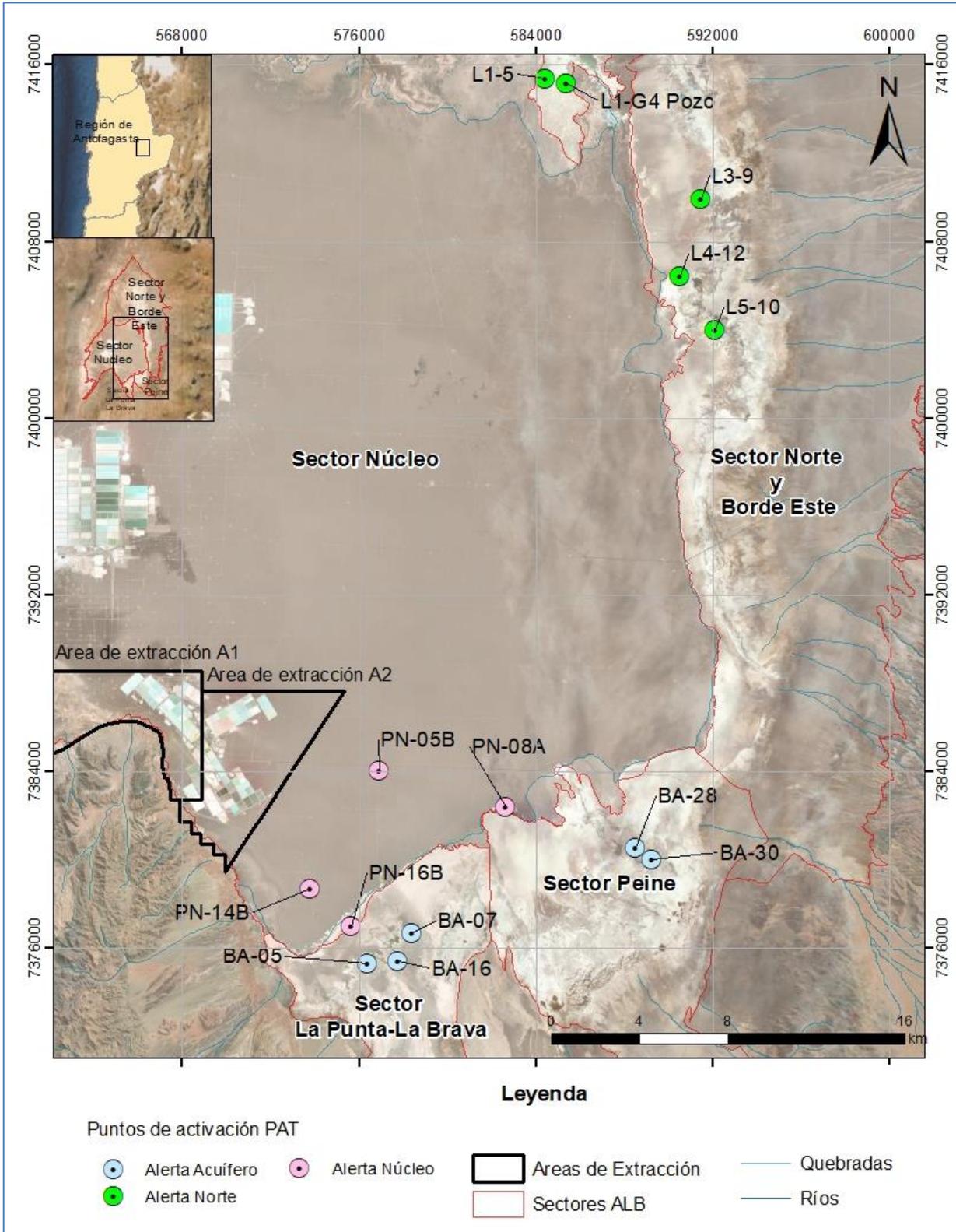
Cada sector tiene sus puntos de activación, umbrales (más detalles en el capítulo 6, sección 0 del presente informe), y medidas de acción diferentes, que dicen relación con el comportamiento esperado de cada sector durante la fase de operación del Proyecto:

Tabla 4-10 Indicadores de estado del PAT

Sector de Alerta	Descripción	Indicador	Nº Puntos de Activación	Efectos previstos por el proyecto
Núcleo	Núcleo frente Peine y La Punta-La Brava	Nivel freático de la salmuera	4	SI
Acuífero	Acuífero alrededor de Peine y La Punta-La Brava	Nivel freático del agua dulce-salobre	5	NO
Norte	Núcleo frente a Soncor y Aguas de Quelana	Nivel freático de la salmuera	5	NO

Fuente: Tabla 4.1, Anexo 3 de la Adenda 5

Figura 4-11 Ubicación Puntos PAT



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-11 Descripción del PAT para cada sector

PAT Sector Alerta Núcleo		
Fase	Condición de Activación	Condición de Desactivación
Fase I	Cuando el nivel registrado esté por bajo el umbral de Fase I durante tres medidas consecutivas, en cualquier punto de activación.	Cuando el nivel registrado esté por sobre umbral de Fase I durante tres meses consecutivos, en todos los puntos de activación.
Fase II	Cuando el nivel registrado esté por debajo de su umbral de Fase II durante tres medidas consecutivas, en cualquier punto de activación.	Cuando el nivel registrado esté por encima de su umbral de Fase II durante tres meses consecutivos en todos los puntos de activación.
Fase Final	Cuando el nivel registrado esté por debajo de su umbral de Fase Final por una sola vez en al menos uno de los puntos de activación, a excepción de los tres últimos años de proyecto cuando se activará cuando en al menos uno de los puntos de activación, su nivel se registre por debajo de su umbral de Fase Final durante tres meses consecutivos.	Cuando el nivel se registre por encima de su umbral de Fase II en todos los puntos de activación, durante tres meses consecutivos.
PAT Sector Alerta Acuífero		
Fase	Condición de Activación	Condición de Desactivación
Fase Única	Cuando el nivel registrado esté por debajo de su umbral durante tres medidas consecutivos en al menos un punto de activación	Cuando el nivel registrado esté por encima su umbral durante tres meses consecutivos en todos los puntos de activación
PAT Sector Alerta Norte		
Fase	Condición de Activación	Condición de Desactivación
Fase I	Albemarle toma conocimiento que los umbrales de la Fase I han sido superados. Sea por notificación por parte de la autoridad ambiental o porque los niveles se encuentran a disposición del público.	Albemarle toma conocimiento que los umbrales de la Fase I se encuentran por debajo de los niveles en todos los pozos, ya sea por notificación por parte de la autoridad ambiental o porque los niveles se encuentran a disposición del público.
Fase II	Albemarle toma conocimiento que los umbrales de la Fase II han sido superados. Sea por notificación por parte de la autoridad ambiental o porque los niveles se encuentran a disposición del público.	Albemarle toma conocimiento que los umbrales de la Fase II se encuentran por debajo de los niveles en todos los pozos, ya sea por notificación por parte de la autoridad ambiental o porque los niveles se encuentran a disposición del público.

Fuente: Elaboración propia a partir de compromisos explicitados en numerales 4.3, 4.4 y 4.5 Anexo 3 de la Adenda 5.

Cuando se activa el PAT, aumentan las frecuencias de medición de niveles freáticos, de la Composición Química e interfase salina, de mensual a quincenal en niveles freáticos y de trimestral a mensual en la Composición Química e interfase salina.

La activación del PAT está determinada por la superación de umbrales en los puntos de activación que se detallan para cada sector. En cuanto a las condiciones de activación del PAT, éstas varían según los sectores mencionados (sector de Alerta Núcleo, sector de Alerta Acuífero y sector de Alerta Norte), el detalle se indica en la Tabla 4-11.

Por otra parte, respecto de los umbrales de activación debe destacarse que para el sector de Alerta Acuífero se indicó en el Apéndice A del Anexo 3 de la Adenda 5 que, *“considerando que los puntos de activación son los que presentan los registros históricos más cortos, se propone que los umbrales de los pozos del acuífero sean recalculados con la información monitoreada en el propio pozo después de la 2ª actualización del modelo (4 años); donde se revisarán y realizarán todos los cálculos antes descritos usando la misma metodología. Esto, previa revisión y autorización de la Autoridad Ambiental”*. Este punto fue recogido en la RCA N°21/2016 en la condición 10.15 donde se indicó *“Respecto del cálculo de los umbrales para el sistema La Punta-La Brava, el titular deberá recalcular los umbrales indicados en la Tabla 3-5, pero restando sólo una desviación estándar y no dos desviaciones estándar como está propuesto”*. Sin embargo, es importante destacar que la *Tabla 3-5* mencionada corresponde al cálculo de los umbrales en el sistema Peine, y no La Punta-La Brava. En Peine la estadística de registros que se utilizó para el cálculo de umbrales es más corta, y que corresponde actualizar con un período mayor de datos.

4.3 Metodología y Materiales/Equipos de Muestreo, Medición y/o Análisis

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y equipos que son utilizados en los muestreos, las mediciones y/o análisis de cada una de las variables ambientales, cuando corresponde, y se describen las metodologías de medición. En aquellos casos en los cuales deben realizarse cálculos para determinar el valor de la variable, también se describe la metodología de cálculo utilizada.

Además, se señala que las variables relacionadas con la caracterización de la Composición Química del agua se realizan procesos de medición, muestreo y análisis, por lo que se describen cada uno de los métodos y equipos utilizados.

4.3.1 Variables Meteorológicas

4.3.1.1 Materiales y/o Equipos

La medición de las variables meteorológicas se realiza en la estación meteorológica denominada EM-Rockwood, la cual se encuentra ubicada en las instalaciones que tiene la empresa en el Núcleo del Salar a 2.300 m s.n.m. Los equipos que conforman esta estación meteorológica se describen en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12 Equipos de Estación Meteorológica

Variable	Equipo	Marca	Modelo
Precipitación	Pluviómetro	RM Young	52202H
Presión Atmosférica	Barómetro	Vaisala	CS 106
Evaporación	Evaporímetro y Bandeja	Novalynx	255-100
Temperatura	Sensor de Temperatura	Campbell Scientific	CS 215

Estos equipos son los que cumplen los requerimientos de la DGA en sus Oficios Ordinarios N° 603/2016 y N° 276/2017.
 Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Metodología de Medición

Las variables que mide la estación meteorológica instalada corresponden a: precipitación diaria [mm]; evaporación en lámina libre o de bandeja [mm], temperatura atmosférica [°C] y presión atmosférica [mbar]. Los valores son registrados directamente por el instrumental de la estación con transmisión electrónica de datos a la sala de control, desde donde se accede a ella para su descarga a través de un computador.

El instrumental instalado permite la medición de estas variables de manera continua, sin embargo, para efectos de reportabilidad los datos se integran a nivel diario⁸, mediante una planilla Excel.

4.3.2 Evapotranspiración

4.3.2.1 Materiales y/o Equipos

La medición trimestral de evapotranspiración fue realizada en el 2023 a través de domos, método que consiste en instalar una semiesfera, o domo, de acrílico transparente de volumen conocido (de espesor igual o menor a 5 mm) sobre suelo con vegetación (para medición de evapotranspiración) o raso (para medición de evaporación), dependiendo de las características específicas del lugar a monitorear. En el interior de esta semiesfera, se instala un sistema de aireación constituido por dos ventiladores, y un sensor de humedad relativa y temperatura (psicrómetro) según la configuración que se muestra en la Figura 4-12.

Figura 4-12 Esquema de la cámara semiesférica dispuesta en terreno, con ventiladores y psicrómetro instalados



Fuente: PSAH (marzo de 2020).

⁸ La estación mide cada 5 segundos, lo que se promedia cada 1 hora, esto se consideran como datos horarios. Luego con esos datos horarios se saca un promedio del día y se considera como dato diario (datos de la medición instantánea).

En relación con los domos utilizados en las campañas de EVT. Durante los monitoreos del año 2023, se usaron 6 domos, el SA-14, SA-15, SA-16, SA-17, SA-18, SA-20, SA-21, SA-22 y SA-25, en la Tabla 4-13 se detallan domos utilizados en relación con mes de campaña.

Tabla 4-13 Domos utilizados para la medición de la EVT en 2023

Domo	Campaña Marzo	Campaña Junio	Campaña Septiembre	Campaña Diciembre
SA-14		X	X	
SA-15	X	X	X	X
SA-16	X	X	X	
SA-17	X	X		
SA-18	X	X	X	
SA-20				X
SA-21				X
SA-22				X
SA-25				X

Fuente: Elaboración propia

Las características de los domos utilizados en las mediciones trimestrales se presentan en la Tabla 4-14.

Tabla 4-14 Características domos utilizados para la medición de la EVT en 2023

Domo	Diámetro (cm)	Altura (cm)
SA-14	1.005	0.527
SA-15	1.000	0.526
SA-16	1.000	0.520
SA-17	1.005	0.527
SA-18	1.004	0.526
SA-20	1.002	0.510
SA-21	1.001	0.485
SA-22	1.003	0.506
SA-25	1.001	0.504

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes equipos y materiales complementan el uso de domos para realizar las mediciones (Tabla 4-15):

Tabla 4-15 Equipos y materiales complementarios al uso de domos

Equipos y materiales	Parámetro de medición
(4 a 6) Ventiladores de 5 Volts	N/A
(3 o 4) Baterías portátiles de 5.000 y 10.000 miliamperios para alimentar los ventiladores	N/A
2 Psicrómetros (Vaisala MI70)	Grado de humedad en el aire
Pozómetro para medición de niveles (Solinst WLM Level 101 / 30 m) o Geotech ET WLM) o Geotech ET WLM)	Profundidad del nivel de agua subterráneas

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 Metodología de Medición

El procedimiento de medición en terreno se describe a continuación:

- 1) Una vez se llega al punto de monitoreo, se escoge el mejor sitio de medición, teniendo en cuenta que debe representar el área que se pretende caracterizar (suelo desnudo, suelo con vegetación o lámina libre de agua) y que la superficie del terreno tiene que estar lo menos alterada posible.
- 2) Antes y después de cada medición se limpia el domo de polvo y humedad, con un paño suave y seco, esto con el fin de que la suciedad no interfiera la acción de la radiación solar, ni tampoco exista humedad en el domo que pueda interferir en la medición.
- 3) Se prepara la superficie para que el contacto entre el perímetro del domo y la superficie quede sellado, es decir, que el aire acumulado al interior del domo no pueda escapar a la atmosfera libre durante la medición. Idealmente y siempre que se pueda, se debe ocupar material suelto del lugar para aislar los espacios entre el suelo y el domo, en el caso de no existir material suelto en el área, se deberá transportar de otro lugar (ver Figura 4-13).
- 4) En el caso de los puntos donde se mide la evaporación en lámina libre de agua, es suficiente que las paredes laterales del domo queden sumergidas alrededor de 5 cm en el agua, considerando que el agua que queda “encerrada” en el interior del domo disminuye el volumen de atmósfera que queda al interior de este.
- 5) El psicrómetro se preconfigura para que tome un dato cada 5 segundos durante 5 minutos, tomando un total de 60 registros, tiempo suficiente para medir zonas ya sean con vegetación o suelos secos. Antes de empezar con los registros en cada punto y mientras se preparan el domo y los ventiladores, el psicrómetro se deja encendido, al aire y a la sombra para ambientarlo, de manera que se estabilizan las mediciones de temperatura y humedad relativa ambiente.

- 6) Se instalan los ventiladores correspondientes en el terreno antes de situar el domo en la superficie de medición. Es importante que éstos queden opuestos entre sí y que no estén direccionados directamente al sensor del psicrómetro, tal como se muestra en la Figura 4-13.
- 7) Con la cámara aún no instalada en la superficie de medición, se encienden los ventiladores, acto seguido se instala el domo en el terreno e inmediatamente se parte con el registro de datos con el psicrómetro, asegurando de que no quedan espacios entre la base del domo y el terreno.
- 8) Una vez terminada la medición, se apaga el psicrómetro, se retira del domo, se apagan los ventiladores y se levanta el domo permitiendo que la atmósfera contenida al interior de este sea liberada, se limpia y se preparan los equipos para la siguiente medición, ya sea en el mismo punto o en otro.
- 9) Para cada día de medición se registra, siempre que se pueda, el nivel freático más cercano al punto de monitoreo de evaporación.
- 10) Todos los registros de nivel, horas de medición, variables atmosféricas relevantes y otras observaciones son anotados en la correspondiente ficha de terreno.

Figura 4-13 Preparación del terreno e instalación del domo



Fuente: PSAH (marzo de 2020).

Todos los puntos de monitoreo se miden durante dos días (bijnorada), en horario diurno, con una frecuencia de medición de una a dos horas, dependiendo de las distancias que se encuentran los puntos de medición y las condiciones de los caminos, considerando ambas jornadas (esto significa de 5 a 8 mediciones al día por punto). Entre los dos días de medición,

en la medida de lo posible, no se repite el mismo horario de medidas en un mismo punto de manera que al final de la campaña de terreno se cuenta con 10 a 16 mediciones en diferente horario y así contar con una mejor cobertura horaria por punto.

4.3.2.3 Metodología de Cálculo de tasa de evaporación diaria

Las mediciones del psicrómetro reflejan el aumento de la densidad de vapor de agua en el interior del domo, cuya tasa de incremento es proporcional a la evapotranspiración o evaporación, según corresponda. El ajuste de una recta en la sección de mayor pendiente entrega un valor puntual de evapotranspiración a la hora de la medición (Figura 4-14) que es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$ET(mm/d) = \frac{86,4 * M * V}{A * C}$$

Dónde:

ET = Tasa de evaporación instantánea

M = Tasa de cambio de la densidad de vapor de agua en el Domo, calculado como la pendiente máxima de la curva de la Figura 4-14 (g/m^3*s)

V = Volumen del domo (m^3)

A = Área superficial cubierta por el domo (m^2)

C = Factor de calibración por hidrofilia del domo (adimensional)*

86,4 = Factor de conversión a mm/d.

* Como Factor de calibración C se utilizó un valor de 1,0.

El factor 86,4 es un factor de conversión de unidades, que convierte gramos de agua por metro cúbico por segundo a milímetros por día. Las dimensiones de los domos utilizados para el monitoreo son las que se indicaron precedentemente.

El cálculo del volumen para los domos se realizó según las siguientes formulas:

$$Area\ basal_{Domo} = A_{Domo} = \pi \cdot \left(\frac{Diámetro_{Domo}}{2} \right)^2$$

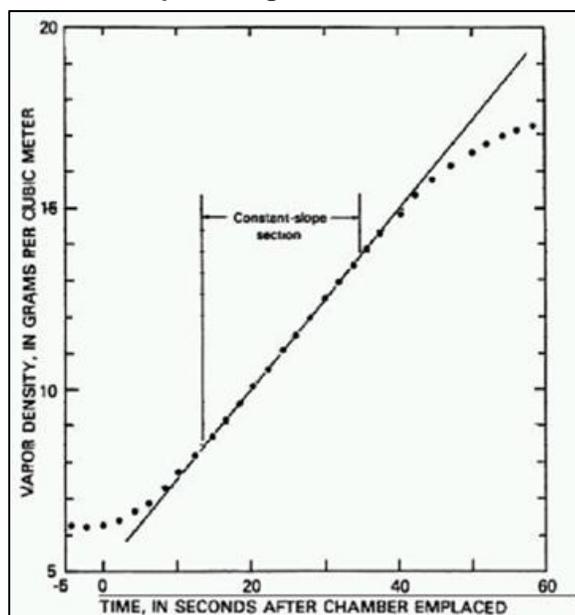
$$Volúmen\ interior_{Domo} = V_{Domo} = \frac{4}{3} \pi \cdot h_{Domo} \left(\frac{Diámetro_{Domo}}{2} \right)^2 \cdot 0,5$$

Dónde:

h_{Domo} : Altura del Domo [m]

$Diámetro_{Domo}$: Diámetro del domo [m]

Figura 4-14 Densidad de vapor de agua al interior de la cámara semiesférica



Fuente: Stannard (1988).

La tasa de evaporación calculada con la metodología anterior debe ser multiplicada por un factor de corrección que depende de las dimensiones del domo, puesto que la plataforma de cálculo considera las dimensiones de un domo estándar ($Diámetro_{Domo} = 100$ cm y $h_{Domo} = 50$ cm), y estas pueden variar levemente dependiendo del domo utilizado. El cálculo de este factor se realizó tal y como se indica en el numeral 4.5.1 del Apéndice J del Anexo 1 de la Adenda 5. Para los domos utilizados durante 2023, los factores de corrección por forma utilizados se muestran en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16 Factor de corrección por forma

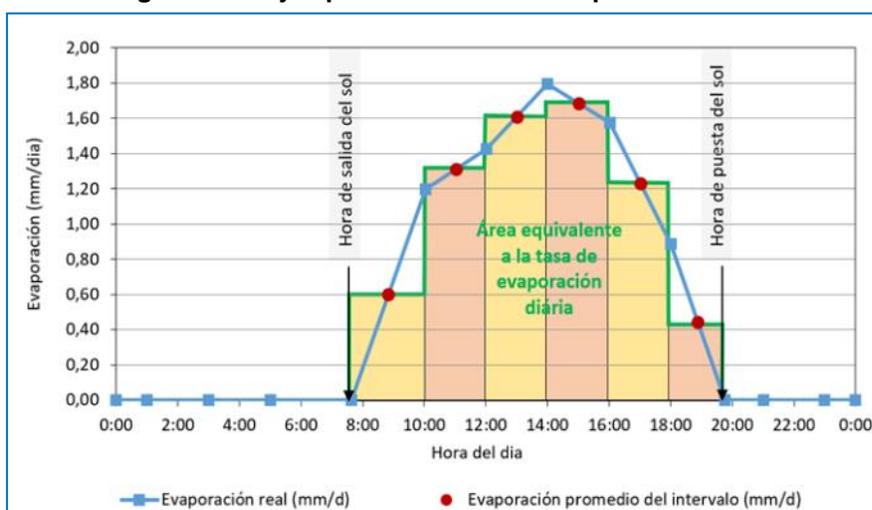
Domo	Área basal (m ²)	Volumen interior (m ³)	Factor Corrección
SA-14	0.794	0.286	1.094
SA-15	0.785	0.283	1.094
SA-16	0.785	0.278	1.075
SA-17	0.793	0.286	1.094
SA-18	0.792	0.284	1.092
SA-20	0.789	0.271	1.042
SA-21	0.787	0.251	0.967
SA-22	0.790	0.268	1.030
SA-25	0.787	0.267	1.031

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.4 Metodología de Cálculo de evaporación diaria

Debido a que la evaporación depende de la radiación solar, se define una tasa igual a 0 mm/día desde la hora en la que se pone el sol y hasta la hora que amanece, estas horas varían en función de la época del año en que se realizan las medidas. Luego, con el fin de obtener el área bajo la curva, se calcula el promedio de la tasa de evaporación entre cada par de medidas consecutivas de ambos días de medición y se multiplica este valor por el intervalo de tiempo transcurrido entre las dos medidas. De esta manera, se obtiene un valor de evaporación para cada intervalo de tiempo, tal y como se muestra en la Figura 4-15, cuyo ejemplo se presenta para las mediciones de un solo día. Finalmente, y para obtener la tasa diaria de evaporación, se suma todos los valores promedios obtenidos.

Figura 4-15 Ejemplo de cálculo de evaporación diaria



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Superficie Lagunar

4.3.3.1 *Materiales y/o Equipos*

La variable ambiental de superficie cubierta por las lagunas se mide a partir del análisis de imágenes satelitales multiespectrales de alta y mediana resolución con validación en terreno, a las que se suman el sobrevuelo de un dron para complementar la información de los sectores sin acceso a pie, lo que se realiza cada vez que se mide a menos que se cuente con una restricción por CONAF y/o Comunidad en cuestión.

Las imágenes de alta resolución se obtuvieron del sensor Pléiades 1-A (pixel de 2 x 2 m de resolución, resolución pancromática de 50 cm), mientras que las imágenes de mediana resolución se obtuvieron del sensor público Landsat 8 (pixel de 30 x 30 m de resolución). Complementariamente, el dron que se utilizó es modelo DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega píxeles.

4.3.3.2 *Metodología de Medición*

Las imágenes de alta resolución se focalizan en aquellas áreas de mayor interés y se adquieren en agosto y diciembre 2023, tal como quedase establecido en la RCA N°21/2016. Además, con el objetivo de generar una correlación de estas imágenes de alta resolución con la serie histórica disponible de imágenes satelitales Landsat, de menor resolución, se realiza en forma simultánea un análisis y correlación con una imagen de baja resolución disponible del sensor Landsat 8, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición. Como se mencionó previamente, complementariamente se utiliza, en los casos que sea posible, un dron con vuelo programado en los sistemas lagunares de difícil acceso (Peine y La Punta - La Brava).

Las etapas metodológicas empleadas durante la medición y análisis se resumen a continuación. El detalle de cada etapa se encuentra en el **Anexo C Área Lagunas** de este Informe.

- i. Trabajo en terreno para validación del tipo de recubrimiento de suelo existente, como “cuerpo de agua” u “otro recubrimiento”, para cada punto de validación y por sistema lagunar de estudio. Para esta validación se utilizan los mismos puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de años previos (desde agosto y diciembre 2016 hasta agosto y diciembre 2023) en zonas representativas de cuerpos de agua permanentes y zonas que presentan diferencias inter e intranuales.

En los casos donde no es posible el acceso para la colecta de datos, se reemplaza por el análisis fotointerpretativo, técnica que se realiza en base a imágenes satelitales de

- alta resolución (Pléiades 1-A, 8bits) o imágenes de dron (cuando están disponibles), en que se les asigna a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo que presentan.
- ii. Obtención de las imágenes satelitales de alta resolución (Pléiades 1-A) y de media resolución (Landsat 8), paralelo a la campaña de terreno y el sobrevuelo de dron, lo que se realiza cada vez que se mide a menos que se cuente con una restricción por CONAF y/o Comunidad de la zona.
 - iii. Procesamiento digital de imágenes satelitales, considerando correcciones radiométricas y atmosféricas, ortorrectificación para eliminar distorsiones geométricas y en el caso de las imágenes de alta resolución Pléiades 1-A, fueron unidas conformando mosaicos dentro del área de estudio.
 - iv. Desarrollo y validación del modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales en base a la metodología “Modificada del Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), la cual fue empleada en el estudio desarrollado en la Adenda 5 del Proyecto.

La clasificación supervisada de imágenes satelitales se emplea para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua. El método se inicia con el establecimiento, mediante criterio de experto, de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales de evaluación que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua.

Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa el ajuste mediante la validación con los datos de terreno. Los parámetros evaluados durante la clasificación supervisada en el presente estudio fueron cinco y se indican en el siguiente Acápite (“Metodología de cálculo”).

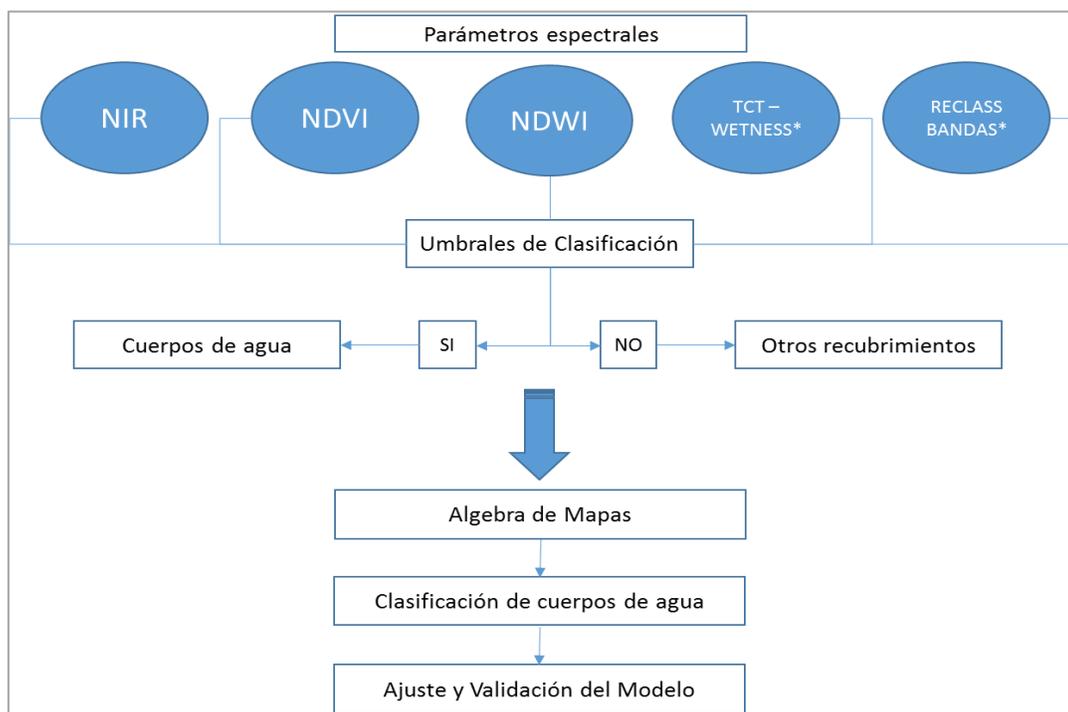
- v. Finalmente, se realiza una depuración cartográfica, con lo cual se obtienen las coberturas de lagunas por sector. Este proceso consiste en primer lugar en transformar los datos de formato *raster* a entidades de polígonos en formato *shape*, seguido de un proceso de suavizado de contornos. Finalmente se realiza una depuración a los *shapes* para reducir errores de clasificación aleatorios. Como resultado final se obtiene un archivo en formato *shape* de cada sistema lagunar (La Punta - La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor).

4.3.3.3 Metodología de Cálculo

La metodología de cálculo para la estimación de las superficies lagunares, es la que se describe principalmente en los puntos iv y v anteriores, la que considera la aplicación del modelo de clasificación supervisada de cuerpos de agua.

La clasificación supervisada de imágenes satelitales se emplea para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua. El método se inicia con el establecimiento, mediante criterio de experto, de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales en evaluación y que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados por fotointerpretación previa. En la Figura 4-16 se presenta esquemáticamente el árbol de decisiones, los parámetros que se calculan, etc.

Figura 4-16 Árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de aguas con imágenes satelitales



* La transformación "Tasseled Cap" Wetness se pudo utilizar sólo en el caso de Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor. En su reemplazo, para las imágenes de alta resolución Pléiades 1A se utilizó la Reclasificación de bandas (Reclass Bands).

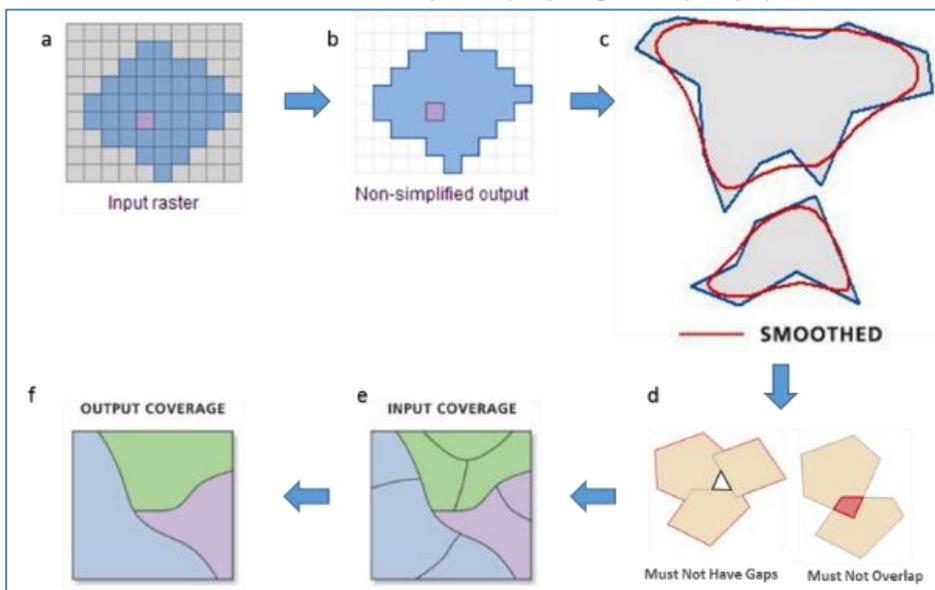
Fuente: Elaboración Propia en base a metodología "Modificada del Índice Normalizado de Diferencia de Agua" (MNDWI) en Adenda 5 RWL (2015).

Dentro del cálculo de los parámetros espectrales del modelo de clasificación se utilizan los 5 indicados: NIR (reclasificación de la banda infrarroja), el índice NDVI; el índice NDWI; la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*; Kauth & Thomas, 1976), utilizada para el caso de Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor.; y la reclasificación de bandas espectrales ($B1 < B2$) y ($B3 > B4$), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pléiades 1-A. Cabe señalar que el seguimiento de lagunas incorpora dos parámetros espectrales adicionales, NDVI y “*Tasseled Cap*” (*Wetness*), con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado, considerando que los suelos salinos usualmente presentan distintos tipos y concentraciones de sales, afectando la reflectancia del suelo en distintos grados y puede conducir a errores significativos durante interpretaciones espectrales (Wang *et al.*, 2012). En el Anexo C de Área de Lagunas se entrega todo el detalle de la metodología de cálculo y análisis aplicado.

El proceso termina con la depuración cartográfica, el que consiste primero en la transformación de los datos desde formato Raster a polígonos en formato *shape*. El resultado se somete a un proceso de suavizado, por la presencia de ángulos cerrados en sus contornos, para mejorar la calidad estética de la cartografía y su aproximación al contexto real, ver Figura 4-17.

El resultado de estas operaciones origina una clasificación binaria (cuerpos de agua / otros recubrimientos), que son fusionados con parámetros con igual codificación, y ajustados a los polígonos que delimitan las áreas de estudio. El resultado final corresponde a un archivo en formato *shape* de cada sistema lagunar (La Punta - La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor). Mayor detalle de cada una de las metodologías señaladas se presenta en el Anexo C del presente Informe.

Figura 4-17 Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (ráster) a polígonos (shape)



Dónde: **a:** Ingreso Ráster; **b:** transformación a formato shape; **c:** suavizado de polígonos; **d:** corrección de errores topológicos; **e:** generación de entidades poligonales; **f:** fusión de polígonos.
 Fuente: Cedrem Consultores en base a imágenes ESRI.

4.3.4 Aforos de Caudales Superficiales

4.3.4.1 Materiales y/o Equipos

Para el cálculo de caudales superficiales se realizan mediciones de la velocidad de agua en l/s en una sección del cauce, para ello se utiliza un aforador de hélice o molinete, de marca Gurley Precision Instruments y modelo “Gurley Meter Manual 625D Pygmy-Digital” que tiene un rango de lectura de 0,02 a 0,9 m/s, con una precisión del 2%.

Cuando la altura de escurrimiento del agua en una sección es menor a 4 cm, no se puede medir la velocidad del flujo con el molinete. En estos casos se hace la prueba con la técnica

del flotador, para determinar si existe flujo, y si corresponde realizar una estimación gruesa del caudal.

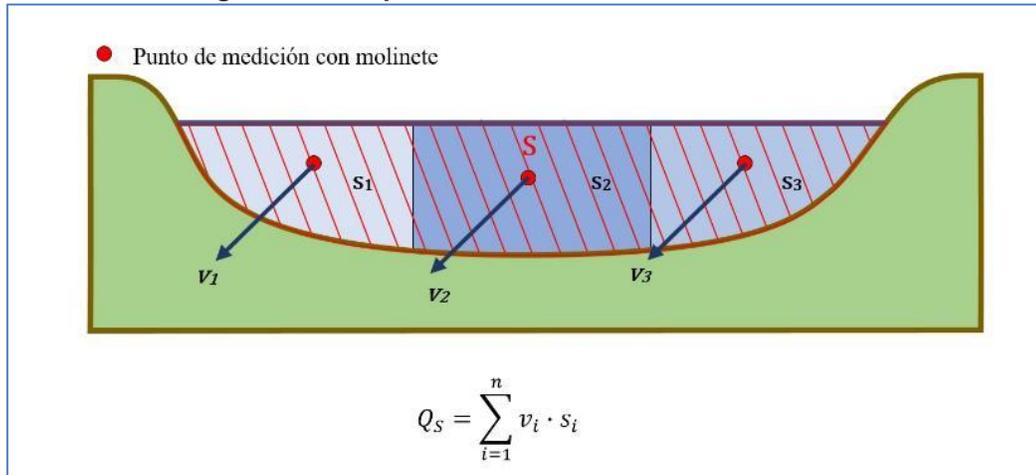
4.3.4.2 Metodología de Medición

Para realizar la medida del aforo del caudal superficial, se divide el cauce en dos, tres o más áreas transversales o secciones, dependiendo de la geometría y ancho de éste, de manera de medir velocidades en diferentes secciones de escurrimiento con velocidades uniformes en ellas.

Las secciones se miden a través de su componente vertical, que es la altura promedio total de escurrimiento comprendida desde el lecho hasta el nivel superficial del agua y su componente horizontal que corresponde a la longitud distancia entre dos puntos que dividen las secciones, a veces marcados con estacas en terreno. En el caso de las estaciones Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine, se considera una única sección debido a que la velocidad de escurrimiento en toda su área es suficientemente uniforme por lo que no se considera necesario subdividir la sección.

La medición y registro de velocidades de escurrimiento se ejecuta colocando el molinete al 60% de profundidad y al centro, en la horizontal, de cada sección asignada (Figura 4-18 y Figura 4-19). El logger del molinete informa las mediciones de velocidad cada 4 segundos, las que se van anotando en la libreta de terreno. El profesional verifica que estas medidas sean relativamente uniformes, y que se mantengan dentro de un mismo rango de magnitud. Si esto ocurre, el dato de velocidad que se toma como característico de la sección medida es aquél que se repite al menos tres veces dentro del tamaño de muestra representativo de cada sección, que puede variar generalmente entre 6 y 9 mediciones consecutivas anotadas en la libreta.

Figura 4-18 Esquema de medición de caudal de aforo



Fuente: PSAH N°5 (ALBEMARLE-VAI 2020).

Figura 4-19 Aforo con molinete



Fuente: PSAH N°5 (ALBEMARLE-VAI 2020).

4.3.4.3 Metodología de Cálculo

El caudal total de escurrimiento de cada punto de aforo se calcula como la sumatoria de los caudales de cada subsección establecida en terreno. El caudal de cada sección (q_i) se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$q_i = \text{velocidad}_i \text{ (m/s)} \times \text{área sección}_i \text{ (m}^2\text{)}$$

En el caso de secciones rectangulares, el área de la sección i es comprendida como la altura de la profundidad de escurrimiento por la longitud horizontal del flujo de agua en la misma:

$$\text{área sección}_i \text{ (m}^2\text{)} = \text{Longitud horizontal}_i \text{ (m)} \times \text{Altura profundidad de escurrimiento}_i \text{ (m)}$$

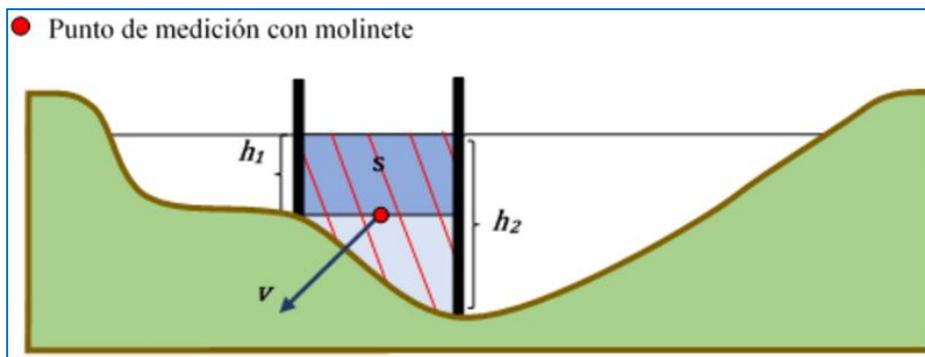
En el caso de secciones triangulares, el área se calculará de la siguiente manera:

$$\text{área sección}_i \text{ (m}^2\text{)} = \frac{1}{2} \times \text{Longitud horizontal}_i \text{ (m)} \times \text{Altura profundidad máxima de escurrimiento}_i \text{ (m)}$$

En el caso de secciones compuestas por más de un polígono (normalmente un rectángulo y un triángulo rectángulo, Figura 4-20), el área de la sección i se calcula como la suma del área de ambos polígonos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{área sección}_i \text{ (m}^2\text{)} = h_1 \text{ (m)} \times \text{Long. horizontal (m)} + \frac{1}{2} \times (h_2 \text{ (m)} - h_1 \text{ (m)}) \times \text{Long. horizontal (m)}$$

Figura 4-20 Esquema de sección de aforo con dos polígonos



Fuente: PSAH N°5 (ALBEMARLE-VAI 2020).

Cuando la altura de escurrimiento del agua en una sección es menor a 4 cm, no se puede medir la velocidad del flujo con el molinete. En estos casos se hace la prueba con la técnica del flotador, y si existe flujo, se le asigna a la sección la mínima velocidad de escurrimiento, de 0,04 m/s, que es la velocidad mínima que puede cuantificar el equipo, y se calcula el caudal estimado de la sección. En caso de que, no se detecte flujo, se asigna una velocidad de 0 m/s a la sección.

4.3.5 Nivel Limnimétrico de las Lagunas

4.3.5.1 *Materiales y/o Equipos*

La variable de nivel de las lagunas se mide a través de las reglas limnimétricas o estacas instaladas en los puntos de medición. Las reglas limnimétricas instaladas por ALB son de 1 cm de precisión, y la medición para la obtención de la elevación de la lámina de agua o altura limnimétrica se realiza con el uso de una cinta métrica, de precisión 1 mm.

4.3.5.2 *Metodología de Medición*

La medición se realiza en terreno, midiendo la distancia (h) desde el punto de referencia (punta de la estaca donde va amarrada la reglilla) hasta el espejo de agua (ver Figura 4-21). Posteriormente, durante el procesamiento de los datos en gabinete, se calcula la elevación del nivel del espejo de agua en m s.n.m., para cada medición, restando a la cota del punto de referencia la altura o distancia h (en metros) medida con la cinta métrica.

La medida (h), tomada en terreno, se mide al menos tres veces, registrando la medida definitiva en la libreta de terreno luego de verificar que entre cada medida no exista una diferencia mayor a 1 cm. Se destaca que producto del viento y el pequeño movimiento que éste genera en los niveles superficiales de agua, el error de medición de esta variable es efectivamente mayor a la del instrumento de medición (cinta métrica).

Cabe indicar que para todos los puntos medidos se dispone de la elevación del punto de referencia en m s.n.m. (cota de referencia) obtenida mediante levantamiento topográfico de precisión.

Figura 4-21 Medición de nivel en reglilla

Fuente: PSAH N°5 (ALBEMARLE-VAI 2020).

4.3.6 Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua Dulce-Salobre

4.3.6.1 Materiales y/o Equipos

La medición de la profundidad del nivel del agua en pozos, piezómetros, piezómetros someros (barrenos) y zanjas fue realizada manualmente con pozómetros marca Solinst Modelo 101 (de distintas longitudes).

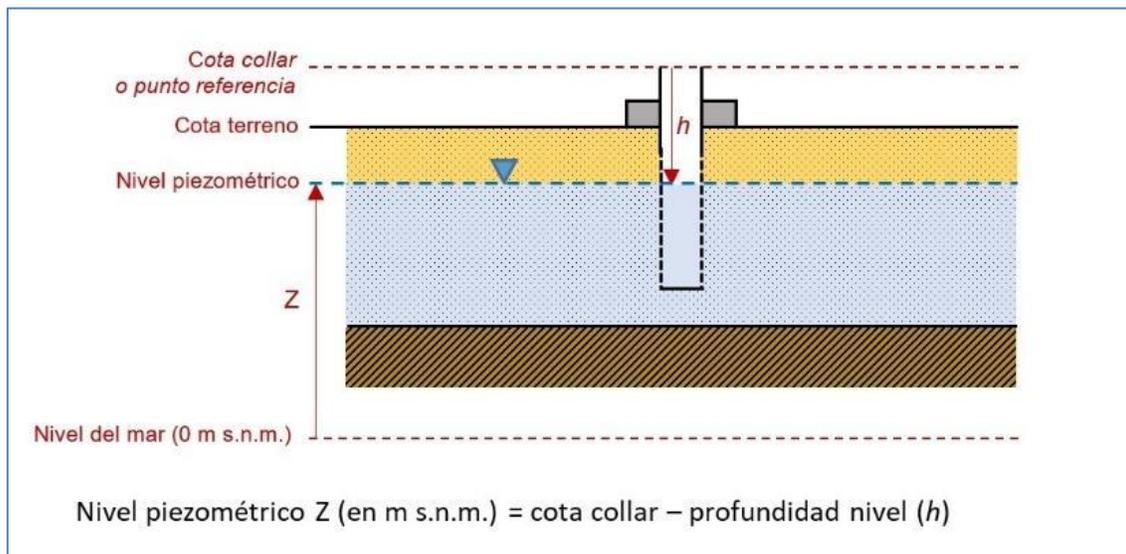
4.3.6.2 Metodología de Medición

Previo a cada campaña de monitoreo, se verifica el correcto funcionamiento del equipo, para esto se comprueba que el equipo emite una señal sonora y/o luminosa al entrar en contacto con el agua.

La medición de profundidad de nivel de agua se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro/pozo que normalmente es el collar de su brocal (Figura 4-22). En algunos casos, debido a que la perforación no tiene brocal o al hecho de que se trata de pozos con bomba y línea instalada, la medición se toma desde otro punto de referencia, pudiendo ser ésta la cota terreno u otro punto predefinido. Así pues, las medidas de profundidad del nivel registradas en la libreta de terreno representan la profundidad de la lámina de agua/salmuera medida desde el punto de referencia que se denomina cota de referencia o

cota collar. Para el caso de las zanjas, éstas tienen una tabla de madera con una marca que corresponde a la cota de referencia desde donde se mide la profundidad del nivel.

Figura 4-22 Medición de Nivel de Agua/Salmuera en Piezómetros



Fuente: PSAH (marzo de 2020).

La profundidad del nivel del agua (h) se mide al menos tres veces, registrando la última medición como medida definitiva en la libreta de terreno luego de verificar que entre cada medida no exista una diferencia mayor a 1 cm. En particular los pozómetros cuentan con una precisión de 1 a 2 milímetros, por lo tanto, su variabilidad es menor al 0,1% de dispersión de datos. Es importante destacar, que cada vez que se utiliza el pozómetro, éste se lava con agua destilada y se seca con toalla de papel antes y después de efectuar cada medición.

Posteriormente durante el procesamiento de los datos en gabinete, se calcula la elevación del nivel de agua en m s.n.m. para cada medición, restando la profundidad medida del nivel de agua (h) a la cota de referencia. Cabe indicar que para todos los puntos medidos se dispone de la elevación del punto de referencia en m s.n.m. obtenida mediante levantamiento topográfico de precisión.

El descenso neto del nivel freático se calculó como la diferencia entre el dato de diciembre del primer año de registro y el dato de diciembre del último año de registro, de no poder efectuarse este cálculo se prosigue con el dato válido de noviembre y posteriormente octubre de estos mismos años. De no poder realizarse ninguno de estos cálculos se prosigue con diciembre del segundo año de registro y del penúltimo año de registro, siguiendo esta serie hasta encontrar el mes en que ambos datos existan (inicio registros y nivel actual de un mismo mes). Esta información proporciona una idea general de cuanto ha descendido el nivel en cada punto, su medida se presenta en m.

Y por otra parte la amplitud promedio, se calcula solo para puntos con fluctuación estacional, corresponde a la diferencia entre los niveles máximos y mínimos anuales de los años válidos (un año válido es aquel con al menos un dato en al menos 9 meses), se calcula promediando las amplitudes anuales. Este cálculo permite determinar la influencia de la evaporación en el punto de medición. Su medida se presenta en m.

4.3.7 Posición de la Interfase Salina

4.3.7.1 *Materiales y/o Equipos*

La variable de la posición de la Interfase Salina se mide a través de perfiles de conductividad y temperatura en pozos y/o piezómetros ranurados en toda su longitud. Los equipos utilizados durante el año fueron sondas marca SEBA Hydrometrie con sensor MPS-D3, ver Figura 4-23, de 100 m y de 250 m de largo.

4.3.7.2 *Metodología de Medición*

El monitoreo de la posición de la Interfase Salina se realiza a través de la medición manual de perfiles de conductividad eléctrica con la sonda (ver Figura 4-23) en piezómetros habilitados con tubería ranurada en toda su extensión. Los resultados se reportan como datos y gráficos de profundidad versus conductividad eléctrica. Para conocer la cota altimétrica [m s.n.m.] de la posición de la interfase, se cuenta con la cota collar o de referencia para cada uno de los puntos de monitoreo.

Figura 4-23 Sonda SEBA Hydrometrie con sensor MPS-D3

Fuente: SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG.

Previo al inicio de los trabajos en terreno, se realiza la calibración de la sonda y antes de iniciar la toma de las mediciones en cada punto, se verifica su correcto funcionamiento.

En el punto de medición se inicia el descenso de la sonda por el pozo, hasta que la sonda detecta el nivel del agua dentro de la perforación. Desde esa profundidad se registran las lecturas de conductividad (en mS/cm) y temperatura (en °C) durante el descenso de la sonda por la columna de agua/salmuera, en intervalos definidos, esperando que estas medidas se estabilicen y se muestren en el mismo valor de la pantalla durante 30 segundos.

Los intervalos de medición están sujetos a la variación de la conductividad. Cuando se detectan valores por sobre 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicativo de que se está cerca de la zona de interfase entre agua salobre y salmuera, la medición se realiza cada 0,2 – 0,5 m. Luego que los registros de conductividad se estabilizan en torno al valor característico de la salmuera durante al menos tres intervalos, se pasa de nuevo a registrar la conductividad eléctrica cada 1 o 2 metros.

Las lecturas realizadas por la sonda se observan en una pantalla al costado del tambor del equipo; para cada profundidad de medición, una vez estabilizadas, son anotadas inmediatamente en la libreta de terreno por el supervisor encargado del monitoreo.

Una vez finalizado el perfil de conductividad y temperatura de la columna de agua del punto, se extrae la sonda y se lava el instrumento con agua destilada.

4.3.8 Composición Química de las Aguas

La Composición Química de las aguas se determina a través de la medición de parámetros físico-químicos *in situ* y de la toma de muestras que son analizadas posteriormente en un laboratorio químico. Al corresponder estas actividades al muestreo, medición y análisis por cumplimiento de una RCA, éstas se realizan con un laboratorio certificado como ETFA (Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental) por la SMA. Durante el año 2023, la ETFA encargada del muestreo de aguas superficiales y subterráneas, desde enero a agosto 2023 fue SGS Chile Ltda. (Código ETFA N° 023-01), y desde septiembre en adelante por la ETFA ANÁLISIS AMBIENTALES (ANAM) (Código ETFA 011-01), cumpliendo así con lo señalado por la autoridad ambiental, además fue asistida y acompañada en terreno por personal de ALB. A continuación, se presenta la metodología utilizada por la ETFA, la cual se rige por normativas NCh. 411 para el muestreo y medición en terreno de las muestras. Por otra parte, en los meses de enero a mayo de 2023, el parámetro de Sólidos disueltos Totales fue medido por la ETFA Ecogestión Ambiental Ltda. (Código ETFA 031-01), lo anterior debido a que SGS no contaba con acreditación para medir ese parámetro. Y por último, desde septiembre en adelante (tercerizado por ANAM), los parámetros boro disuelto, boro total, estroncio disuelto, estroncio total, potasio disuelto, potasio total, y silicio total, fueron medidos por Centro Ecología Aplicada (CEA) (Código ETFA 017-01).

4.3.8.1 Materiales y/o Equipos

Para la variable de calidad físico química de las aguas, se realiza a) medición de parámetros *in situ*, b) toma de muestras de agua, para envío a laboratorio; y c) análisis en laboratorio, que en el año 2023 fue realizado por SGS Chile Ltda. y ANALISIS AMBIENTALES .

a) Materiales y equipos para la medición *in situ*

En la Tabla 4-17 indican los materiales equipos necesarios utilizados para las mediciones *in situ*.

Tabla 4-17 Materiales y Equipos para la medición de parámetros *in situ*

Equipo	Parámetros
Multiparámetro Hanna HI98194	Temperatura pH Conductividad eléctrica Sólidos disueltos totales Oxígeno disuelto
Conductivímetro HANNA HI98192	Conductividad eléctrica Sólidos disueltos totales

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4-18 y Tabla 4-19 presenta las especificaciones técnicas (resolución y rangos de medición) del fabricante del equipo multiparámetro utilizado por la ETFA en el monitoreo físico-químico *in situ*.

Tabla 4-18 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98194

Parámetro	Rango medición	Resolución	Precisión
pH	0,00 a 14,00	0,01 ; a 0,1 mV	± 0,02 ; ± 0,5mV
Conductividad eléctrica (CE)	0 a 200 mS/cm	0,01 mS/cm a 0,1 mS/cm	± 1% de la lectura; ± 1 µS/cm
Temperatura	-5,00 a 55,00 °C	0,01°C	± 0,15 °C
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0 a 9999 (mg/L)	1 ppm (mg/L)	± 1% de la lectura; ± 1 (mg/L)
Oxígeno Disuelto (O.D.)	0,00 a 50,0 (mg/L) (O.D. real Lmax 14,6 mg/L)*	0,1%; 0,01 (mg/L)	0,00 a 30 mg/L; ± 1,5% de la lectura

*O.D. Límite máximo en aguas naturales (14,6 mg/L)

Fuente: Manual de instrucciones del equipo.

Tabla 4-19 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98192

Parámetro	Rango medición	Resolución	Precisión
Conductividad eléctrica (CE)	001 µs/cm a 400 ms/cm con compensación de temperatura	0,01 mS/cm a 0,1 mS/cm	±1% de lectura (±0,01 µs/cm o 1 dígito, el que sea mayor)
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0 a 999 (mg/L)	0,01 mg/L (ppm)	±1% de lectura (±0,05 mg/L (ppm))

Fuente: Manual de instrucciones del equipo.

Los datos de conductividad eléctrica en terreno que superan los 200.000 µS/cm, quedan fuera del rango de medición del equipo, por lo que su conductividad eléctrica se calcula a partir del valor de conductividad absoluta aplicándole un factor de corrección que es función de la temperatura de la muestra. En el caso del Conductivímetro HI98192, el equipo está diseñado para medir valores de conductividad eléctrica hasta los 400 mS/cm (400.000 µS/cm) con compensación de temperatura, esto quiere decir que el equipo compensara la conductividad según la temperatura medida en el momento de realizar la medición.

Los registros de calibración diaria del equipo multiparamétrico utilizado por la ETFA para el monitoreo *in situ* se presentan en el Anexo H-4 de este informe.

b) Materiales y equipos para la toma de muestras

En la Tabla 4-20 se indican los materiales y equipos necesarios para la toma de muestras.

Tabla 4-20 Materiales y Equipos para la Toma de Muestras

Material/Equipo	Parámetros
Envases de Laboratorio	Analitos comprometidos para muestras de aguas superficiales y subterráneas
pH-Metro con sonda de temperatura	Para la toma de parámetros in situ
Muestreador abierto	Para muestras de agua superficial
Pozómetro marca Solinst Modelo 101	Para muestras de agua subterránea (toma de nivel)
Bomba "Wattera"	Para muestras de agua subterránea
Bailer simple	Para muestras de agua subterránea

Fuente: Elaboración propia

c) Materiales y equipos para análisis de laboratorio

Se indican los materiales necesarios para el almacenamiento y traslado de muestras, según laboratorios SGS en la Tabla 4-21, y ANAM en la Tabla 4-22.

Tabla 4-21 Materiales y equipos reactivos para almacenamiento y traslado de muestras, Laboratorio SGS

Equipo Materiales y Reactivos	Parámetros
Envases de plástico de 1 l	Cloruros Nitrato Sulfato pH Conductividad Densidad Bicarbonato Sólidos Disueltos Totales
Envases de plástico de 500 ml	Metales totales Metales disueltos
Preservantes HNO ₃	Metales totales y disueltos

Fuente: Laboratorio SGS

**Tabla 4-22 Materiales y equipos reactivos para almacenamiento y traslado de muestras
 Laboratorio ANAM**

Equipo Materiales y Reactivos	Parámetros
Envase de HDPE ⁽¹⁾ - 250 ml	Boro total Estroncio Total Potasio total Silicio Total Boro Disuelto Estroncio Disuelto Potasio disuelto
Envase de HDPE ⁽¹⁾ - 1 l	Conductividad Densidad (20°C) pH 25°C Laboratorio Bicarbonato (CaCO ₃) Sólidos Disueltos totales
Envase de HDPE ⁽¹⁾ - 250 ml	Cloruro Nitrato (NO ₃) Sulfato
Envase de PP ⁽²⁾ - 60 ml	Aluminio total (Al) Arsénico total (As) Calcio total (Ca) Hierro total (Fe) Litio total (Li) Magnesio total (Mg) Sodio total (Na)
Envase de PP ⁽²⁾ - 120 ml	Calcio disuelto (Ca) Litio Disuelto (Li) Magnesio disuelto (Mg) Sodio disuelto (Na)

(1) HDPE: Polietileno de Alta Densidad

(2) PP: Polipropileno

Fuente: Laboratorio ANAM

Todos los envases son conservados en un cooler a una temperatura de 4 ± 2 °C hasta el momento de su análisis, mediante el uso de acumuladores de frío.

En función del analito o parámetro a determinar, algunos envases reservorios de muestras contienen agente preservante. Se indica las características de preservación de las muestras en caso de que corresponda, según lo indicado por el Laboratorio SGS, en la Tabla 4-23 Tabla 4-23 y según lo indicado por el laboratorio ANAM en la Tabla 4-24.

Tabla 4-23 Características de preservación de muestras, laboratorio SGS

Analito(s) de interés	Preservación	Filtrado de muestra
Cationes mayoritarios disueltos (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ y K ⁺)	pH<2 Ácido Nítrico 2%	Sí
Aniones mayoritarios disueltos (Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , HCO ₃ ⁻ y NO ₃ ⁻)	Sin preservación	No
Elementos mayoritarios totales (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ y K ⁺)	pH<2 Ácido Nítrico 2%	No
Elementos minoritarios y trazas disueltos (B, Li y Sr)	pH<2 Ácido Nítrico 2% (después de filtrar)	Sí
Elementos minoritarios y trazas totales (Al, As, B, Fe, Li, Si y Sr)	pH<2 Ácido Nítrico 2%	No
Parámetros Físicoquímicos de laboratorio (pH, C.E., SDT y Densidad)	Sin preservación	No

Fuente: Laboratorio SGS.

Tabla 4-24 Características de preservación de muestras, laboratorio ANAM

Analito (s) de interés	Preservación	Filtrado de muestra en Terreno
Cationes mayoritarios disueltos (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ y Na ⁺)	Sin preservante	No
Cationes mayoritarios disueltos (K ⁺)	Preservado con Ácido Nítrico ⁽¹⁾	No
Aniones mayoritarios disueltos (Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , CaCO ₃ ⁻ y NO ₃ ⁻)	Sin preservante	No
Elementos mayoritarios totales (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ y Na ⁺)	Preservado con Ácido Nítrico ⁽¹⁾	No
Elementos mayoritarios totales (K ⁺)	Preservado con Ácido Nítrico	No
Elementos minoritarios y trazas disueltos (B y Sr) ⁽¹⁾	Preservado con Ácido Nítrico ⁽¹⁾	No
Elementos minoritarios y trazas disueltos (Li)	Sin preservante	No
Elementos minoritarios y trazas totales (B, Si y Sr) ⁽¹⁾	Preservado con Ácido Nítrico	No
Elementos minoritarios y trazas totales (Al, As, Fe y Li)	Preservado con Ácido Nítrico ⁽¹⁾	No
Parámetros Físicoquímicos de laboratorio (pH, C.E., SDT y Densidad)	Sin preservante	No

(1) Muestra se toma sin preservar. Al recepcionar se filtra, se preserva y pasa a proceso.

Fuente: Laboratorio ANAM.

Los registros de las cadenas de custodia de las muestras tomadas se presentan en el Anexo H-6 de este informe.

4.3.8.2 Metodología de toma de muestras

- **Aguas superficiales:** En el caso de las muestras de aguas naturales superficiales, su procedencia puede ser lagunar y de canal o vertiente, las que se obtienen directamente del punto de muestreo. Los envases reservorios de las muestras sin preservantes se ambientan 3 veces con el agua del mismo punto de muestreo y luego se toma la muestra. Es relevante indicar que, al momento de tomar la muestra, se procura no levantar sedimentos del lecho, para no alterar la representatividad de la muestra, evitando así la

sobreestimación de la química presente en los cuerpos de aguas monitoreados. Para las muestras con preservantes se llenan con agua a partir de recipientes ambientados, con precaución de no derramar muestra y preservante.

- **Aguas subterráneas:** El muestreo de aguas subterráneas en pozos y piezómetros se realiza mediante extracción con una bomba *Watterra*. Para asegurar la representatividad de la muestra se utilizó el método de estabilización de parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, pH y temperatura), para de esta manera asegurar que la muestra obtenida es representativa del acuífero y no del almacenamiento en el propio piezómetro. Los criterios de estabilización de parámetros adoptados por SGS en terreno son los indicados en la Tabla 4-25 y los registros de la estabilización de parámetros físico-químicos para cada muestreo se presentan en el Anexo H-5 de este informe.

El día de muestreo y medición, en el punto de monitoreo, se introduce la bomba *Watterra* y se comienza la purga, una vez los parámetros se estabilizan, se procede a registrar la medida de parámetros *in situ* en la libreta de terreno tomada desde un recipiente ambientado 3 veces con el agua del mismo punto de muestreo y se realiza el muestreo.

Tabla 4-25 Criterio estabilización de parámetros *in situ* para el muestreo de aguas

Criterios de Aceptación	
pH	± 0.1 upH
Temperatura	± 0.2 °C
Cond. Eléctrica	± 3%
Oxígeno Disuelto	± 10%

Fuente: Laboratorio SGS.

4.3.8.3 Metodologías de medición y análisis

a) Metodología para la medición de parámetros *in situ*

Los parámetros físico-químicos *in situ* de pH, Conductividad eléctrica, Sólidos disueltos totales, Oxígeno disuelto y Temperatura se miden con un equipo multiparamétrico (Hanna, Modelo HI 98194) propiedad de la ETFA. Se destaca, además, que, al inicio de cada jornada de trabajo, personal de Albemarle chequea que las mediciones de este equipo son concordantes con las mediciones realizadas con el equipo multiparamétrico propiedad de ALB (Hanna, Modelo HI 9829). Adicional a lo anterior, se utiliza para verificar las mediciones de las muestras de salmuera el equipo medidor de temperatura, CE, TDS, NaCl y resistividad de ALB (Hanna, HI 98192). Luego, durante las mediciones de parámetros físico-químicos, ALB contrasta cada medición realizada por SGS Chile Ltda. con mediciones propias realizadas con el equipo multiparamétrico propiedad del titular.

Para el caso de aguas superficiales, los parámetros se miden en muestras extraídas directamente de los cuerpos de agua, desde recipientes sin preservantes ambientados tres veces con el agua del mismo punto de muestreo.

Para el caso de aguas subterráneas, estas mediciones se registran una vez se detecta que los valores de los parámetros físico-químicos *in situ* se estabilizan dentro del recipiente de muestreo.

b) Metodologías de análisis de aguas en Laboratorio

Los métodos analíticos y características de éstos utilizados por el laboratorio para la medición de parámetros físico-químicos y concentración de analitos se indican Tabla 4-26.

Asimismo, para los analitos disueltos se realiza un postproceso de filtrado.

Tabla 4-26 Métodos de análisis en laboratorio

Parámetro/analito	Método analítico(Standard Method)	Unidades	SGS	
			Cód. Método	Límite de detección
Conductividad Eléctrica	Conductividad Eléctrica	µS/cm	SM-2510 B	1
Densidad	Densímetro	g/mL	Picnometría	---
pH	Método Electrométrico	---	SM-4500-H+ B	0,1
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) ⁽¹⁾	Método de la Titulación	mg/L	SM-2320 B	0,2
Sólidos Disueltos Totales	Método Sólidos Disueltos Totales secados a 180°C	mg/L	SM-2540 C	1
Aluminio (Al)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 D	0.1
Arsénico (As)	Absorción atómica (generación de hidruros)	mg/L	SM-3030 B; SM-3114 B	0,001
Boro (B)	Metal Total ICP	mg/L	SM-3030 E; SM-3120 B	0,01
Boro Disuelto (B)	Metales Disueltos ICP	mg/L	SM-3030B, SM-3120 B	0,01
Calcio (Ca)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 D	0,01
Calcio Disuelto (Ca)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030B; SM-3111 B	0,01
Cloruros (Cl)	Método argentométrico	mg/L	SM 4500-Cl B	1
Estroncio (Sr)	Metal Total ICP	mg/L	SM-3030 E; SM-3120 B	0,01
Estroncio Disuelto (Sr)	Metales Disueltos ICP	mg/L	SM-3030B, SM-3120 B	0,01
Hierro (Fe)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 B	0,01

Tabla 4-26 Métodos de análisis en laboratorio

Parámetro/analito	Método analítico(Standard Method)	Unidades	SGS	
			Cód. Método	Límite de detección
Litio (Li)	Metal Total ICP	mg/L	SM-3030 E; SM-3120 B	0,01
Litio Disuelto (Li)	Metales Disueltos ICP	mg/L	SM-3030B, SM-3120 B	0,01
Magnesio (Mg)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 B	0,01
Magnesio Disuelto (Mg)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030B; SM-3111 B	0,01
Nitrato (N-NO ₃) ⁽²⁾	Espectrofotometría UV-visible (SGS)	mg/L	SM 4500-NO3 B	0,01
Potasio (K)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 B	0,01
Potasio Disuelto (K)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030B; SM-3111 B	0,01
Silicio (Si)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 D	1
Sulfato (SO ₄)	Gravimetría	mg/L	SM 4500-SO4- C	5
Sodio (Na)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030 E; SM-3111 B	0,01
Sodio Disuelto (Na)	Absorción atómica (llama directa)	mg/L	SM-3030B; SM-3111 B	0,01

Fuente: Laboratorio SGS.

Tabla 4-27 Métodos de análisis en laboratorio

Parámetro/analito	Método analítico(Standard Method)	ANAM		
		Unidades	Cód. Método	Límite de detección
Conductividad Eléctrica	Conductividad Eléctrica	µS/cm	SM Ed. 23° Met. 2510 B	1
Densidad (20°C)	Método interno	g/cm ³	MQI000076 Rev01	---
Ph (25°C)	Método Electrométrico	Unidad pH	SM 4500-H B 22° Ed	---
Bicarbonato (CaCO ₃)	Método de la Titulación	mg/L	SM 2320 B Ed. 23	1
Sólidos Disueltos Totales	Método Sólidos Disueltos Totales secados a 180°C	mg/L	SM 2540 C Ed.23/2017	7
Aluminio (Al)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,062
Arsénico (As)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,01
Boro (B)	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2	0,004
Boro Disuelto (B)	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2	0,004

Tabla 4-27 Métodos de análisis en laboratorio

Parámetro/analito	Método analítico(Standard Method)	ANAM		
		Unidades	Cód. Método	Límite de detección
Calcio Total (Ca)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,209
Calcio Disuelto (Ca)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,209
Cloruros (Cl)	Determinación de aniones mediante cromatografía iónica	mg/L	SM 4110 B Ed. 23	0,101
Estroncio (Sr)	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2,	0,0003
Estroncio Disuelto (Sr)	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2	0,0003
Hierro (Fe)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,005
Litio (Li)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,007
Litio Disuelto (Li)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,007
Magnesio (Mg)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,35
Magnesio Disuelto (Mg)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,35
Nitrato (NO ₃)	Determinación de aniones mediante cromatografía iónica	mg/L	SM 4110 B Ed. 23	0,203
Potasio (K)	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2	0,03
Potasio Disuelto (K) ⁽¹⁾	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2	0,03
Silicio (Si) ⁽¹⁾	Metales totales y disueltos por Emisión de plasma (ICP)	mg/L	DI-259 versión 2	0,01
Sulfato (SO ₄)	Determinación de aniones mediante cromatografía iónica	mg/L	SM 4110 B Ed. 23	0,112
Sodio (Na)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,175
Sodio Disuelto (Na)	Metales por espectroscopia de emisión de plasma	mg/L	SM 3120 B Ed.23	0,175

Fuente: Laboratorio ANAM

4.3.8.4 Validación de resultados, cálculo del Balance Iónico y otras verificaciones

Si bien el muestreo, las mediciones y los análisis químicos los ha realizado un laboratorio certificado como ETFA por la SMA (SGS Chile Ltda. y ANAM), una vez que se reciben los certificados de laboratorio se revisan los valores entregados para cada muestra y parámetro con el objetivo de validar los resultados.

Una de las verificaciones más importantes para el control de calidad de los resultados de laboratorio es el cálculo del error de balance iónico a partir de la siguiente expresión, para la que comúnmente se consideran solamente los cationes y aniones mayoritarios (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} y NO_3^-), pero que también pueden considerarse otras especies disueltas si éstas se encuentran en concentraciones destacadas:

$$\text{error de balance (\%)} = 100 \times \frac{\text{suma de cationes} - \text{suma de aniones}}{\text{suma de cationes} + \text{suma de aniones}} \text{ (en meq/L)}$$

Este cálculo mide la calidad global de los análisis de laboratorio ya que las aguas subterráneas y superficiales deben mostrar siempre un equilibrio entre las cargas eléctricas de sus especies disueltas. Los errores admitidos (en valor absoluto) son en general hasta un máximo de un 5%, aunque en ocasiones para aguas muy dulces, con conductividades menores a 200 $\mu\text{S/cm}$, pueden aceptarse errores un poco mayores, así como también para aguas muy salinas, en que el análisis de laboratorio es más complejo por las interferencias que se generan entre los diferentes parámetros disueltos y/o en suspensión.

Los errores de balance negativos indican que la concentración de alguna (o algunas) de sus especies aniónicas ha sido sobreestimada, o bien que los análisis de las especies catiónicas han subestimado alguna de sus concentraciones. El error de balance positivo, indica lo contrario.

En relación con el cálculo del balance iónico (B.I.) de las muestras, en el considerando 10.8 de la RCA N°21/2016, se indica textual: “10.8. Monitoreo físico- químico de las aguas: en los respectivos Informes de Seguimiento se deberán presentar los resultados de los balances iónicos de las muestras ejecutadas. Al respecto, se deberán considerar los lineamientos de la “Guía del Servicio de Evaluación Ambiental para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA” (SEA, 2012), para efectos de contar con referencias vigentes sobre los valores de errores admisibles para diferentes conductividades eléctricas del agua. Además, deberán cumplirse los lineamientos que dicte la SMA respecto al organismo que analice las muestras (laboratorio).”

Respecto a la fórmula de cálculo del error de balance iónico que indica la “Guía del Servicio de Evaluación Ambiental para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA” (SEA,

2012), en su acápite A3.4.1.1, ésta es la misma mencionada anteriormente, pero se indica de utilizar los 8 iones mayoritarios Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} y NO_3^- . Sobre este punto, y considerando las características químicas generales de la mayor parte de las aguas salobres y salmueras de la cuenca del Salar es que para este Proyecto, al igual que lo realizado en su tramitación de Adenda 5, se han utilizado en el cálculo del error de balance las concentraciones disueltas de los cationes Estroncio (Sr^{2+}), Litio (Li^+) y Boro (B^{+3}). Esto, dado que, en determinadas muestras, los miliequivalentes por litro de estas especies son importantes, y contribuyen al equilibrio eléctrico de las muestras.

En relación con los errores de balance iónico admisibles para diferentes conductividades eléctricas del agua, debe destacarse que la Guía, de “*carácter indicativo y referencial*” (Guía SEA 2012, pág. 24), presenta una tabla, modificada de Custodio y Llamas, aplicable para aguas dulces de 0 a 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando los errores de balance admisibles cada vez menores para los rangos de conductividad de 50 a 199 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un error admisible de 15%, de 200 a 499 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un error admisible de 5%, de 500 a 1.999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un error admisible de 4%, y >2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un error admisible de 2%.

Sin embargo, las muestras que forman parte del PSAH son aguas salobres y salmueras con conductividades mayores a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; con el 75% de las muestras con conductividades por encima los 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una gran proporción con valores mayores a los 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que la referencia anterior, no se considera adecuada para las aguas de altas conductividades del Salar de Atacama. En los análisis de muestras salobres y salmueras, las dificultades técnicas de los laboratorios en conseguir errores de balance bajos, recae en las interferencias que se producen entre las concentraciones de cada elemento durante su análisis, así como en la purga de los equipos entre cada una de las muestras, siendo muy difícil cumplir sistemáticamente, y para todas las muestras, con errores menores al 5% en error absoluto (carta SGS LAB-003-22-EC-STGO, enero 2022 ver Anexo M).

Es por lo que la verificación y validación de los resultados del laboratorio consiste en calcular el error de balance iónico de cada muestra, y verificar las tendencias históricas de cada parámetro, muestra por muestra, solicitando realizar las repeticiones necesarias al laboratorio para conseguir que la mayoría de las muestras cumpla con el error de balance inferior al 10%. Las estadísticas de cumplimiento se describen en el Capítulo 5 de resultados en la sección 5.8 Composición Química del agua superficial y subterránea.

4.3.9 Caudales y Volúmenes Bombeados de Salmuera y de Agua Dulce-Salobre

4.3.9.1 Materiales y/o Equipos

Los equipos instalados en cada pozo para la medición del caudal extraído por las bombas instaladas corresponden a los caudalímetros o flujómetros que se indican en la Tabla 4-28. Estos equipos miden el flujo que pasa a través de la tubería en unidades de m³/h.

Tabla 4-28 Materiales y Equipos para la medición de Volúmenes Bombeados

Equipo	Parámetros
Caudalímetro o Flujómetro Arkon, modelo MAG X2	Caudal

Fuente: Elaboración propia

4.3.9.2 Metodología de Medición

Tal como se indicó en el Anexo 3 de la Adenda 5, los caudales de extracción están disponibles en línea en tiempo real desde seis meses después de la aprobación del Proyecto. A la fecha del presente informe se ha remitido a la autoridad (SMA y DGA) el link para el acceso a la información.

La información se presenta en línea, a través de la plataforma “Dezem”, donde aparecen los pozos de extracción (salmuera y agua industrial), sus coordenadas, flujo y volumen en tiempo real. El usuario y clave de acceso se le entregó a la autoridad ambiental en el año 2016 y febrero de 2019 se envió el cambio de clave.

4.4 Fechas e Incidentes campañas 2023

4.4.1 Fechas campañas 2023

Las fechas de muestreo y/o medición que se reportan en este Informe Anual PSAH son las que se indican en la Tabla 4-29 detallando los meses en los cuales se realizaron las campañas, y cuyas fechas exactas se presentan en las tablas de resultados de cada una de las variables, en el Capítulo 5 “Resultados y Análisis por Variable”.

Tabla 4-29 Fechas de Muestreo y Medición durante el año 2023

Variable Ambiental	Frecuencia Medición	Mes de Campaña realizada											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Variab les Meteorológica s	Continuo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Evapotranspiración	Trimestral			X (1) (2)			X			X (1) (2)			X (1)
Superficie Cubierta por lagunas	Semestral								X				X
Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Mensual	X (1) (3)	X (1) (3) (4) (6) (7)	X (1) (3) (4)	X (1) (4)	X (1) (4)	X (1) (4)	X (1) (4)	X (1) (7)	X (1) (3)	X (1) (3) (5)	X (1) (3) (5)	X (1) (3) (5)
Aforos de Caudales superficiales	Trimestral			X (1)			X			X			X (1)
Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Mensual (8)	X (1)	X (1) (6) (7)	X (1) (4)	X (1) (4)	X (4)	X	X	X (1)	X (9)	X (5)	X (1)	X (1)
Posición de la Interfase Salina	Trimestral (10)		X	X (9)	X	X		X		X (11)	X	X	X
Composición Química del agua en agua superficial y subterránea	Trimestral (12)	X (1) (3)		X (1) (3)	X (1)	X (1)		X (1)			X (1) (3)	X(13)	X(13)
Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

- (1) No se ejecuta monitoreo completo, por restricción de acceso al territorio, por parte de la Comunidad de Peine (ver respaldos en Anexo M)
- (2) No se ejecuta monitoreo completo, por restricción de acceso al territorio, por parte de la Comunidad de Coyo (ver respaldos en Anexo M)
- (3) No se ejecuta monitoreo completo, por restricción de acceso al territorio, por parte de CONAF (ver respaldos en Anexo M)
- (4) Tienen mediciones quincenales, dada la activación en enero del PAT sector Alerta Acuífero
- (5) Tienen mediciones quincenales, dada la activación en septiembre del PAT sector Alerta Núcleo Fase I
- (6) No se ejecuta el monitoreo completo, por falta de personal de CONAF para pedir solicitud de acceso.
- (7) Sin autorización de ingreso al sector para medición quincenal por activación de PAT. Se registra fecha y hora para efectos del reporte.
- (8) Los meses de febrero, marzo y abril fue quincenal por activación del PAT sector de Alerta Acuífero. Además, se extendió hasta mayo, debido a que por no hubo coordinación con la Comunidad de Peine por el mes de febrero. También fue quincenal los meses de octubre, noviembre y diciembre por activación del PAT Núcleo.
- (9) No se ejecuta monitoreo completo, debido a restricción por presencia de flamencos.
- (10) Se realizó mensual, los meses de febrero, marzo y abril por activación del PAT sector de Alerta Acuífero. También fue mensual los meses de octubre, noviembre y diciembre por activación del PAT Núcleo.
- (11) Se realiza medición de interfase en septiembre, dado que en agosto hubo restricción de acceso al territorio de la Comunidad de Peine (ver respaldos en Anexo M). Se reporta la medida de julio del punto MP-01C, cumpliendo con el monitoreo trimestral.
- (12) Se realizó mensual, los meses de febrero, marzo y abril por activación del PAT sector de Alerta Acuífero. También fue mensual los meses de octubre, noviembre y diciembre por activación del PAT Núcleo.
- (13) Monitoreo químico realizado, al momento de la realización del presente informe estaba en revisión por ETFA.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los meses que hubo activación de PAT, el aumento de frecuencia de las variables ambientales mencionadas se puede ver en la Tabla 4-30.

Tabla 4-30 Fechas de Muestreo y Medición adicionales asociadas a Activación Fase Única, PAT Sector Alerta Acuífero 2023

Variable Ambiental	Frecuencia Medición	Mes de Campaña año 2023 (1)						
		Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Quincenal	X	X	X	X	X	X	X
Posición de la Interfase Salina	Mensual	X	X	X	X	X	X	X
Composición Química del agua en agua superficial y subterránea	Mensual	X	X	X	X	X	X	X

(1) Los meses de febrero, marzo y abril fue quincenal por activación del PAT sector de Alerta Acuífero. Además, se extendió hasta mayo, debido a que por no hubo coordinación con la Comunidad de Peine por el mes de febrero.

Los parámetros y periodos sin monitoreo se entregan en la Tabla 4-31.

Tabla 4-31 Listado de variables por mes sin monitoreo

Mes	Estado*
ene-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y no se ejecuta en forma completa el monitoreo calidad y niveles en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF y en sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine. Lo anterior por época de reproducción de flamencos (1).
feb-23	No se ejecuta monitoreo niveles en forma completa en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por falta de permiso CONAF y en sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine; también considera la no ejecución del monitoreo de la interfase salina en el sector (MPSC-C y MPSC-C). Lo anterior por la época de reproducción de flamencos (1).
mar-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y no se ejecuta en forma completa el monitoreo calidad y niveles en algunos sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF y en sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine; también considera la no ejecución del monitoreo de la interfase salina en el sector (MPSC-C y MPSC-C). Lo anterior por época de reproducción de flamencos (1). No se realiza monitoreo de Evapotranspiración con domo en los puntos EVT-04 y EVT-05 por restricción de acceso al sector por parte de la Comunidad de Coyo. El punto EVT-18 y EVT-23, ni los aflores de AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04 tampoco fueron medidos por restricción de acceso al sector de lagunas de Peine, por parte de la Comunidad de Peine (1). Finalmente, el punto EVT-19, presentó problemas en el sensor de medición (ver respaldo en Anexo M)
abr-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y no se ejecuta monitoreo calidad y niveles en algunos puntos de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine por presencia de flamencos (2)

Tabla 4-31 Listado de variables por mes sin monitoreo

Mes	Estado*
may-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y no se ejecuta monitoreo de nivel y composición química en LM-02, LM-05, LM-08 y LM-10 por restricción de Comunidad Atacameña de Peine por presencia de flamencos ⁽³⁾ .
jun-23	No se ejecuta monitoreo niveles en limnómetro LM-05 por restricción de Comunidad Atacameña de Peine por presencia de flamencos ⁽⁴⁾ .
jul-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y en Antrepresa Tilomonte y Vertiente Peine por restricción de acceso de Comunidad de Peine. No se ejecuta monitoreo de nivel y composición química en LM-05, LM-08 y LM-10 ⁽⁵⁾
ago-23	No se ejecuta gran parte del monitoreo, debido a que la Comunidad de Peine no permitió el acceso al territorio ⁽⁶⁾
sept-23	No se ejecuta monitoreo niveles completo en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF y en LM-05, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine; Lo anterior por la época de reproducción de flamencos. No se ejecutó EVT- 05, por restricción de acceso de la Comunidad de Coyo y no se ejecuta EVT-23 por presencia de flamencos y restricción de acceso de la Comunidad de Peine ⁽⁷⁾ .
oct-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y en algunos sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF y en sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine. Lo anterior por la época de reproducción de flamencos ⁽⁸⁾ .
nov-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y no se ejecuta en forma completa el monitoreo calidad y niveles en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF y en sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine. Lo anterior por época de reproducción de flamencos ⁽¹⁾ .
dic-23	No se ejecuta monitoreo Composición Química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad y no se ejecuta en forma completa el monitoreo calidad y niveles en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF y en sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine. No se realiza monitoreo de Evapotranspiración con domo en los puntos EVT-18 y EVT-23 ni los aforos de AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04. Lo anterior por época de reproducción de flamencos ⁽¹⁾ .

*Las cartas se entregan en el Anexo M.

(1) Carta Oficial N°23/2022: CONAF y Correo electrónico del 13-10-2022 Peine.

(2) Acta de Terreno día 2 y 27 de abril.

(3) Acta de Terreno día 2, 8 y 22 de mayo.

(4) Acta de Terreno día 26 de junio.

(5) Acta de Terreno día 8, 22 y 27 de julio

(6) Cartas ALB-GMA-2023-SMA-043 y ALB-GMA-2023-SMA-048

(7) Acta de Terreno día 3, 15, 25 y 26 de septiembre

(8) Acta de Terreno del día 8, 12, 15 y 18 de octubre

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Incidentes Campañas 2023

A continuación, se mencionan incidentes ocurridos el año 2023 importante a tener en consideración:

- **24 de agosto 2023:** Se produce el incidente de colisión al **punto PN-08A** que es parte del Plan de Alerta Temprana (PAT) de Albemarle, sector de Alerta Núcleo. En la carta ALB-GMA-2023-SMA-044 (Anexo M-11) se pone en conocimiento del incidente y se presenta un Flujograma de detección de daños, y acciones a tomar. Luego en la carta ALB-GMA-2023-SMA-055 (Anexo M-11), se informa acciones ejecutadas en punto, concluyendo lo siguiente: *“que PN-08A quedó con un sesgo de -28,5 mm en la medición del nivel freático después del choque. Para corregir este sesgo, se debe aplicar una corrección de +28,5 mm a todas las mediciones de nivel (m s.n.m.) del PN-08A y de -28,5 mm a todas las mediciones de profundidad de salmuera del PN-08A posteriores al 24 de agosto 2023”*. Dado esto, es que desde el mes de septiembre, se reportan también los niveles corregidos.
- **28 de octubre 2023:** La **Estaca 1 “E1”** fue encontrada quebrada y flotando en el agua. En la carta ALB-GMA-2023-SMA-061 (Anexo M-11), se informa el incidente en punto de plan de seguimiento y las medidas de acción (las cuales no han sido aplicadas dado que el acceso a las lagunas está cerrado aún, con posible apertura la segunda quincena de abril de 2024), con el objetivo de dar continuidad al monitoreo en el punto.
- **24 de noviembre 2023:** Se produce el incidente de colisión al punto de monitoreo **MP-12A**. En la carta ALB-GMA-2023-SMA-063 (Anexo M-11), se da cuenta de aquello y se proponen las medidas de acción (las que se encuentran en desarrollo y gestión), con el objetivo de dar continuidad al monitoreo en el punto.
- **05 de diciembre 2023:** los técnicos de terreno de Albemarle, al momento de llegar a la plataforma del punto de monitoreo MP-04, se percatan que el multipiezómetro **MP-04 B y MP-04C** sufrieron una colisión por terceros. En la carta ALB-GMA-2023-SMA-067 (Anexo M-11), ALB da cuenta de esto a la autoridad y propone medidas de acción (las que se encuentran en desarrollo y gestión), con el objetivo de dar continuidad al monitoreo en los puntos.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS POR VARIABLE

5.1 Variables meteorológicas

En el presente subcapítulo, se presentan los registros de variables meteorológicas de la estación EM-Rockwood (Albemarle) para el año 2023, la cual reporta datos de precipitación, presión atmosférica, temperatura atmosférica (máxima y mínima) y evaporación de lámina libre, lo que se presenta Tabla 5-1, Tabla 5-2, Tabla 5-3, Tabla 5-4 y Tabla 5-5.

Así mismo, y según la información pública disponible de terceros para el año 2023, se analizan en relación a la precipitación, la presión atmosférica, la temperatura y la evaporación de lámina libre se analizan de los datos de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, dado que cuentan con datos para el año 2023 (en análisis histórico se incluirá datos de mayor número de estaciones meteorológicas para analizar evolución), los datos se pueden ver el Anexo A.

Cabe señalar que, considerando lo comprometido en el PSAH “*La información generada se integrará y complementará con la de las estaciones de la DGA y de terceros en la cuenca a medida que esta información esté disponible*”, esto se realiza en la sección 6.1.1 del presente informe.

Tabla 5-1 Precipitación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2023

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	-	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0
Total mensual	0	5,3	21,2	0,1	0							
Total anual	26,6											

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-2 Presión atmosférica diaria [mbar] en EM-Rockwood, año 2023

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	773,8	772,6	772,7	773,0	775,5	776,1	775,6	777,9	774,3	774,7	773,9	773,5
2	773,1	772,6	771,6	772,6	774,3	775,9	776,1	777,9	773,9	774,0	774,2	773,3
3	772,5	772,5	771,8	772,1	772,9	776,2	776,4	777,9	773,6	774,4	773,0	772,0
4	772,8	773,3	771,8	771,8	771,8	776,2	777,9	777,8	777,1	774,2	772,4	772,3
5	773,8	773,9	772,2	773,3	772,1	776,4	778,0	777,8	775,7	774,0	772,5	773,0
6	773,7	773,5	773,2	773,6	773,3	776,2	776,0	777,8	774,6	776,0	773,2	773,2
7	774,6	773,4	773,3	773,0	775,9	777,3	775,0	777,7	774,6	775,5	773,6	772,4
8	774,8	772,6	774,4	773,4	776,4	778,2	776,1	777,7	775,3	775,4	772,2	772,4
9	774,3	772,2	773,5	773,9	776,4	777,4	775,8	777,6	776,5	774,4	770,8	771,9
10	774,0	771,8	773,6	774,0	776,7	776,1	775,6	777,6	774,9	775,1	773,8	770,8
11	774,1	771,0	773,8	773,6	775,7	775,6	774,2	777,6	775,0	774,6	773,4	771,5
12	772,5	771,3	773,9	773,2	775,4	774,0	775,6	777,5	774,6	773,9	773,5	771,7
13	771,8	771,9	773,9	772,7	775,3	773,5	774,8	777,5	776,1	773,7	772,9	770,7
14	773,5	772,0	774,9	774,0	776,3	776,1	774,4	777,5	775,3	774,6	772,7	770,5
15	772,9	772,0	775,1	774,2	777,2	776,7	775,5	777,4	773,5	773,3	773,7	772,1
16	772,5	772,2	774,6	775,0	776,7	777,4	775,0	777,3	773,5	773,8	773,7	772,7
17	772,6	771,6	774,0	773,3	775,9	777,2	775,8	777,3	774,9	773,7	774,0	773,1
18	772,2	773,8	772,5	774,3	775,8	776,3	777,3	777,2	774,7	774,1	774,8	772,5
19	772,2	773,9	772,9	774,3	775,5	776,0	777,5	777,2	774,7	773,7	774,8	773,6
20	771,5	772,4	774,1	774,7	774,4	775,2	776,0	777,1	775,2	774,4	774,0	773,3
21	771,0	772,3	773,5	774,3	776,1	775,2	775,2	777,1	775,4	774,2	772,9	773,0
22	770,6	774,3	773,8	774,0	775,8	775,9	776,0	777,0	774,8	774,3	773,4	773,1
23	772,0	775,0	774,0	774,4	775,5	776,8	776,4	777,0	773,9	775,8	774,3	773,0
24	772,4	774,4	773,4	775,3	774,9	776,8	776,4	776,9	773,8	774,7	774,9	773,2
25	771,7	774,0	773,7	775,0	775,1	776,7	775,3	776,9	775,2	773,1	772,9	773,2
26	771,2	773,9	773,1	775,7	776,3	776,3	774,7	776,9	775,1	772,0	772,0	773,8
27	771,8	773,4	772,1	774,9	776,7	776,4	775,2	776,8	773,7	772,4	773,6	772,9
28	771,7	773,6	772,2	774,6	776,9	776,3	777,1	776,8	774,1	774,6	774,1	775,2
29	771,1	-	773,2	775,1	776,1	775,7	777,3	776,8	773,4	775,6	771,8	775,4
30	770,4	-	773,7	776,0	777,6	776,1	777,0	776,8	774,5	775,3	772,0	775,4
31	772,2	-	773,2	-	776,8	-	777,9	776,7	-	774,1	-	775,3
Presión Atm. Promedio mensual [mbar]	772,6	772,9	773,3	774,0	775,5	776,2	776,0	777,3	774,7	774,3	773,3	772,9

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-3 Temperatura mínima diaria [°C] en EM-Rockwood, año 2023

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	11,4	15,4	12,3	16,7	7,7	2,6	-0,6	3,9	6,0	10,7	8,6	11,2
2	10,6	16,9	12,3	15,4	7,2	3,4	1,0	3,2	3,6	9,5	7,8	9,8
3	11,3	14,3	11,1	13,4	7,9	3,5	2,3	4,1	4,6	11,3	6,5	9,7
4	14,0	12,3	12,2	13,1	9,7	2,0	1,8	4,9	2,1	9,3	9,6	9,4
5	13,5	13,8	15,0	13,4	10,0	2,6	0,1	5,3	3,3	7,7	9,9	11,5
6	13,7	14,1	14,7	12,0	6,0	1,9	-0,2	6,9	5,4	7,6	13,4	10,0
7	12,3	14,5	13,8	11,1	6,8	1,9	-0,3	4,5	3,9	7,5	12,4	10,6
8	12,1	15,3	11,5	12,1	6,8	0,6	-0,1	6,0	5,3	6,7	13,1	11,1
9	10,0	15,3	12,4	11,5	6,9	1,8	-0,9	5,4	4,2	8,8	14,8	11,8
10	10,6	15,7	13,7	12,3	5,4	1,0	-0,6	5,4	5,3	8,7	15,1	12,9
11	11,8	15,1	14,0	11,0	5,7	1,1	0,6	4,6	5,7	8,4	14,1	12,3
12	12,0	15,4	13,9	10,5	5,9	1,4	6,1	5,1	5,3	7,6	12,4	12,7
13	11,4	13,9	14,0	9,3	7,5	0,3	2,3	5,2	2,8	9,1	13,9	13,8
14	9,3	14,4	13,4	7,9	7,3	-1,8	0,4	5,1	5,7	9,1	11,5	14,4
15	11,8	14,1	14,3	8,2	8,5	-2,2	-0,4	5,1	5,6	10,1	9,6	12,7
16	12,2	12,9	13,1	7,4	8,3	-0,2	1,0	4,7	7,0	11,0	10,6	14,0
17	12,1	12,4	13,4	6,3	7,9	-0,8	3,7	4,8	8,2	11,4	10,2	13,6
18	13,1	12,5	13,2	6,3	5,8	0,3	0,2	3,0	6,7	13,3	8,2	14,0
19	15,4	12,1	13,9	6,6	5,7	2,3	1,3	2,8	7,0	13,4	9,2	12,0
20	15,5	12,5	13,8	7,3	6,6	3,1	3,4	3,1	9,7	13,4	9,8	11,3
21	14,0	12,9	14,1	8,0	4,0	2,1	3,4	3,2	7,6	12,0	10,0	12,8
22	14,3	11,8	13,3	8,8	4,8	2,6	4,6	3,3	8,0	15,1	9,9	12,6
23	19,8	12,2	13,6	9,8	3,6	3,1	3,8	1,4	9,3	14,3	10,2	11,9
24	14,1	11,6	14,8	7,9	3,5	3,0	2,7	1,6	9,6	11,3	10,9	12,6
25	15,0	11,3	13,3	8,0	4,4	3,7	2,8	0,8	9,9	10,7	10,4	13,9
26	14,3	11,1	13,8	7,9	6,1	2,2	2,8	2,0	8,5	9,6	10,6	15,0
27	14,0	12,5	14,8	8,4	7,8	1,6	4,3	3,1	7,5	7,3	9,7	15,3
28	14,4	12,2	15,4	7,8	4,9	1,8	3,2	11,7	6,6	7,4	11,3	15,8
29	15,2	-	14,3	8,3	3,4	1,0	4,0	4,9	8,3	8,8	11,6	13,1
30	14,7	-	14,3	7,7	2,2	0,6	3,3	5,3	9,3	8,3	11,1	14,7
31	13,9	-	14,7	-	3,4	-	3,4	6,7	-	8,2	-	14,2
Temperatura mínima Promedio Mensual [°C]	13,2	13,5	13,6	9,8	6,2	1,6	1,9	4,4	6,4	9,9	10,9	12,6

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-4 Temperatura máxima diaria en EM-Rockwood, año 2023

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	29,6	29,5	31,2	32,3	26,1	22,2	21,0	26,1	24,7	29,0	26,8	30,3
2	28,9	29,6	30,7	29,8	26,2	24,7	22,4	25,0	23,9	28,8	25,5	30,7
3	27,2	31,1	29,3	29,0	25,7	21,4	21,4	25,1	21,3	26,6	28,7	31,3
4	27,9	27,8	32,9	25,6	22,7	21,4	21,0	26,5	21,5	27,5	28,5	31,2
5	27,1	27,0	32,1	24,8	22,9	21,4	20,6	25,8	26,7	26,9	30,7	30,2
6	28,4	28,7	29,4	25,8	23,4	22,5	21,1	23,6	25,7	23,4	32,1	31,0
7	28,7	28,4	28,5	27,5	23,0	22,3	21,5	23,9	23,6	24,1	32,5	32,8
8	28,3	30,7	28,6	28,7	24,1	20,4	19,8	23,7	23,9	26,7	34,0	33,7
9	27,4	31,5	29,6	29,6	25,7	20,2	18,3	24,0	25,4	29,4	33,2	33,9
10	29,0	32,7	29,6	29,5	24,8	21,2	20,8	22,8	28,2	28,2	23,5	33,5
11	30,6	33,0	29,0	28,1	24,9	20,5	19,7	23,8	25,9	30,0	29,2	32,7
12	29,1	32,4	30,1	26,6	26,0	19,7	17,9	24,7	22,6	30,3	28,9	33,1
13	25,6	31,2	28,7	25,6	25,9	16,7	20,0	25,6	22,2	31,5	28,5	34,1
14	27,9	30,8	27,0	25,2	27,6	16,3	20,4	24,2	25,2	30,3	27,9	31,4
15	29,5	29,7	27,6	25,8	26,8	17,7	19,6	25,4	27,7	32,0	28,2	32,5
16	28,9	26,0	27,5	25,3	24,7	19,4	21,2	23,9	28,4	30,2	28,5	31,3
17	31,1	26,5	28,9	23,9	22,3	18,5	22,2	23,1	25,8	28,6	27,4	31,5
18	33,1	22,8	31,6	22,4	23,1	20,2	21,0	21,3	26,3	28,1	28,6	31,2
19	33,5	26,7	29,2	25,1	22,7	20,7	20,9	21,7	27,3	29,8	29,5	30,3
20	31,8	28,6	27,3	27,0	21,4	21,4	24,6	23,3	27,6	30,6	29,5	30,6
21	30,2	28,2	29,5	25,9	21,5	21,2	25,8	24,5	26,8	30,6	28,6	31,6
22	31,2	28,0	29,3	24,9	21,8	21,8	25,8	25,3	28,8	30,5	27,1	32,7
23	30,8	29,1	28,0	23,0	23,2	20,0	24,3	24,4	29,4	29,5	28,5	33,8
24	31,3	28,9	30,0	22,9	21,9	20,6	23,8	24,1	30,1	30,3	30,1	34,7
25	30,7	28,4	29,1	25,5	22,1	21,4	23,6	23,4	28,3	30,3	30,4	35,7
26	29,5	30,7	30,9	26,1	22,2	21,0	22,1	24,7	27,9	28,2	29,9	32,7
27	30,4	31,9	31,0	27,3	20,8	20,0	21,0	25,1	29,1	23,6	30,2	33,5
28	30,7	32,5	29,7	28,0	23,6	20,6	22,0	25,1	27,1	23,6	30,9	29,1
29	31,8	-	29,8	27,6	22,1	20,9	22,9	25,2	29,1	24,1	31,5	29,6
30	30,8	-	31,0	26,4	21,2	20,0	24,2	25,6	29,2	25,2	30,7	30,0
31	28,0	-	33,1	-	22,2	-	25,9	26,7	-	26,9	-	30,6
Temperatura máxima Promedio Mensual [°C]	29,6	29,4	29,7	26,5	23,6	20,5	21,8	24,4	26,3	28,2	29,3	32,0

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-5 Evaporación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2023

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	15,1	15,5	16,4	12,5	*	5,3	4,2	1,8	9,5	12,3	16,5	15,4
2	15,1	15,0	15,4	9,7	9,0	5,1	4,9	7,6	10,1	*	14,3	16,2
3	15,3	11,8	13,1	*	11,1	5,7	*	6,6	10,6	14,9	12,2	14,9
4	*	7,7	12,7	10,7	7,5	5,1	3,8	7,5	12,0	12,6	13,8	*
5	16,1	9,5	14,0	10,9	10,7	5,1	5,5	9,3	13,3	13,2	14,1	*
6	13,5	*	13,3	9,8	10,2	4,8	5,0	7,8	10,8	13,1	16,1	17,2
7	15,1	9,9	*	10,3	6,6	4,7	5,3	*	*	11,4	*	17,9
8	16,0	14,9	13,9	10,7	6,0	4,0	4,4	8,9	9,3	10,6	19,3	16,6
9	16,0	14,9	13,2	11,4	*	4,6	4,6	7,9	8,3	*	20,1	15,5
10	*	15,6	12,5	*	7,9	4,3	*	6,9	9,7	*	9,9	18,1
11	16,8	14,4	11,8	13,8	8,1	5,5	8,7	7,6	6,1	14,3	14,9	*
12	16,9	15,8	11,1	12,0	6,8	*	5,7	8,2	14,4	13,2	12,2	*
13	15,7	*	*	11,3	7,0	4,3	5,0	7,9	9,6	13,9	*	17,0
14	14,0	16,3	10,7	9,8	7,7	4,8	5,1	*	*	13,0	14,2	17,4
15	14,7	16,4	12,1	10,1	*	4,6	5,0	7,9	11,3	14,4	13,4	15,7
16	*	13,2	11,5	9,2	9,4	4,4	5,1	7,5	12,0	12,6	15,4	14,9
17	16,1	11,7	11,3	*	7,3	5,0	*	8,4	10,4	11,7	14,3	14,4
18	16,1	5,6	12,0	10,2	7,4	6,6	4,8	7,8	12,7	*	12,3	*
19	16,3	11,1	12,2	9,2	6,3	*	5,0	6,8	13,0	16,7	14,1	15,8
20	16,7	*	*	10,1	7,3	3,8	5,4	7,2	12,9	15,0	*	15,0
21	15,7	10,0	12,8	10,4	5,8	6,1	6,2	*	*	13,8	*	16,0
22	*	15,6	**	9,9	*	5,9	6,7	2,1	11,4	13,0	14,1	14,6
23	13,1	15,1	7,8	9,5	6,4	5,2	5,6	2,3	11,6	*	13,4	15,2
24	16,8	14,6	14,1	*	6,9	5,7	*	9,9	12,3	15,9	14,3	16,0
25	17,2	12,5	12,9	9,4	7,5	5,4	5,5	8,1	7,0	14,9	14,1	*
26	14,8	12,6	12,4	9,1	5,9	*	7,8	10,6	7,2	14,2	14,3	17,8
27	14,3	13,6	*	10,3	5,5	4,8	6,6	9,8	12,5	13,5	*	18,0
28	13,1	*	14,2	10,2	5,2	4,6	5,8	*	*	11,6	17,1	16,8
29	14,8	-	13,6	9,3	*	5,2	6,2	8,4	11,3	11,4	16,9	15,0
30	*	-	12,9	8,1	6,0	4,9	6,1	7,6	11,5	*	17,2	13,2
31	13,9	-	12,3	-	4,9	-	*	9,4	-	14,8	-	14,7
Evaporación Total mensual [mm]	399,2	313,4	330,2	267,6	190,3	135,8	144,0	201,6	280,6	335,8	368,5	399,1

(*) Sin registro de evaporación diaria por limpieza de bateas. (**) Sin medición por precipitaciones. (-) Sin registro de evaporación.

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tanto los registros del año 2023 e históricos de las variables meteorológicas: precipitación, presión atmosférica, temperatura atmosférica (máxima y mínima) y evaporación de lámina libre, con frecuencia diaria, provenientes de la estación meteorológica EM-Rockwood, se presentan el Anexo A.

Cabe recordar que la estación EM-Rockwood reemplazó la estación EM-SCL ubicada en Planta Salar a partir de mayo 2016⁹, por lo que, para efecto de la evolución del comportamiento, la información de ambas es analizada como continua.

A continuación, se realiza la descripción de los resultados del registro de variables meteorológicas de las estaciones de propiedad de Albemarle.

5.1.1 Precipitación

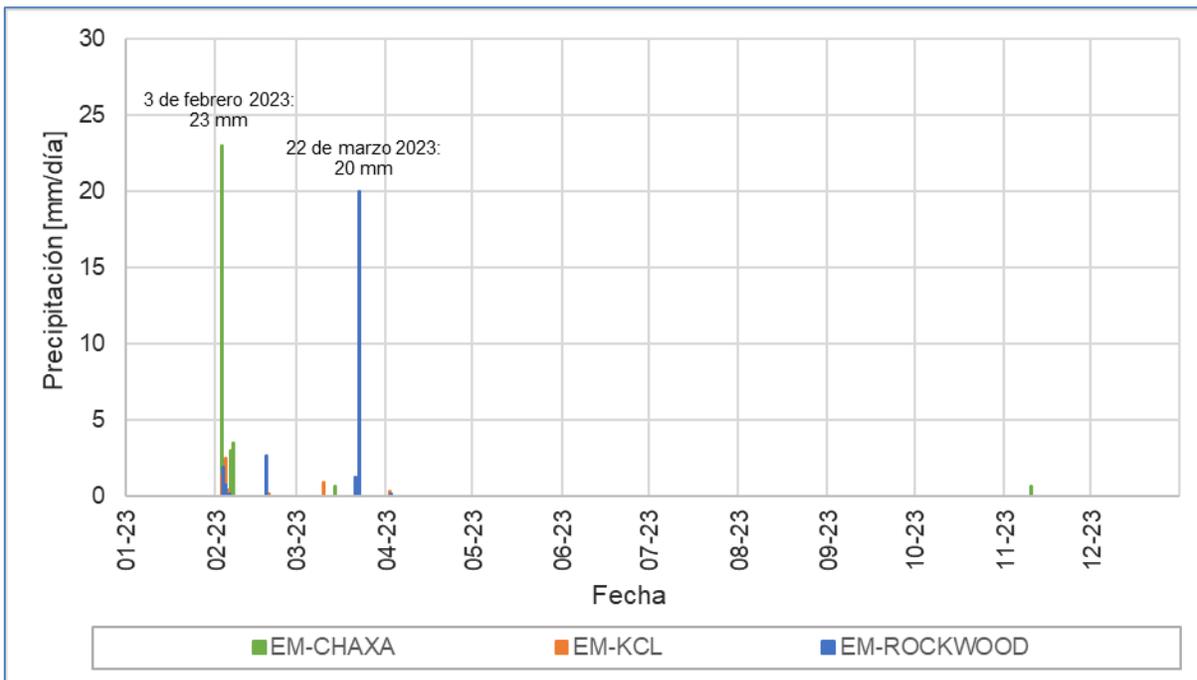
En la Figura 5-1 se presenta el registro de las precipitaciones diarias para el 2023 (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood), y se observa que las precipitaciones más intensas se registraron en EM-Chaxa, un evento los días 3, 4, 5, 6 y 7 de febrero 2023, y le sigue EM-Rockwood con un evento los días 21 y 22 en marzo 2023, con 1,2 mm/día y 20 mm/día, respectivamente.

Además, en EM-Rockwood (Figura 5-1), se registraron precipitaciones menores el 3, 4 y 5 de febrero con 1,9 mm/día, 0,7 mm/día y 0.1 mm/día, respectivamente. El 18 de febrero muestra un registro de 2,6 mm/día y por último también se registraron las menores precipitaciones en el mes de abril con 0,1 mm para el año 2023.

En la Figura 5-2 se grafica el registro 2023 a escala mensual de precipitaciones en EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood. En dicha Figura se observa que las precipitaciones más intensas se registraron en EM-Chaxa en febrero 30,97 mm/mes. En la EM-Rockwood muestra un máximo total mensual de 21,2 mm/mes, y se observan precipitaciones menores en el mes de febrero (5,3 mm) y abril (0,1 mm/mes).

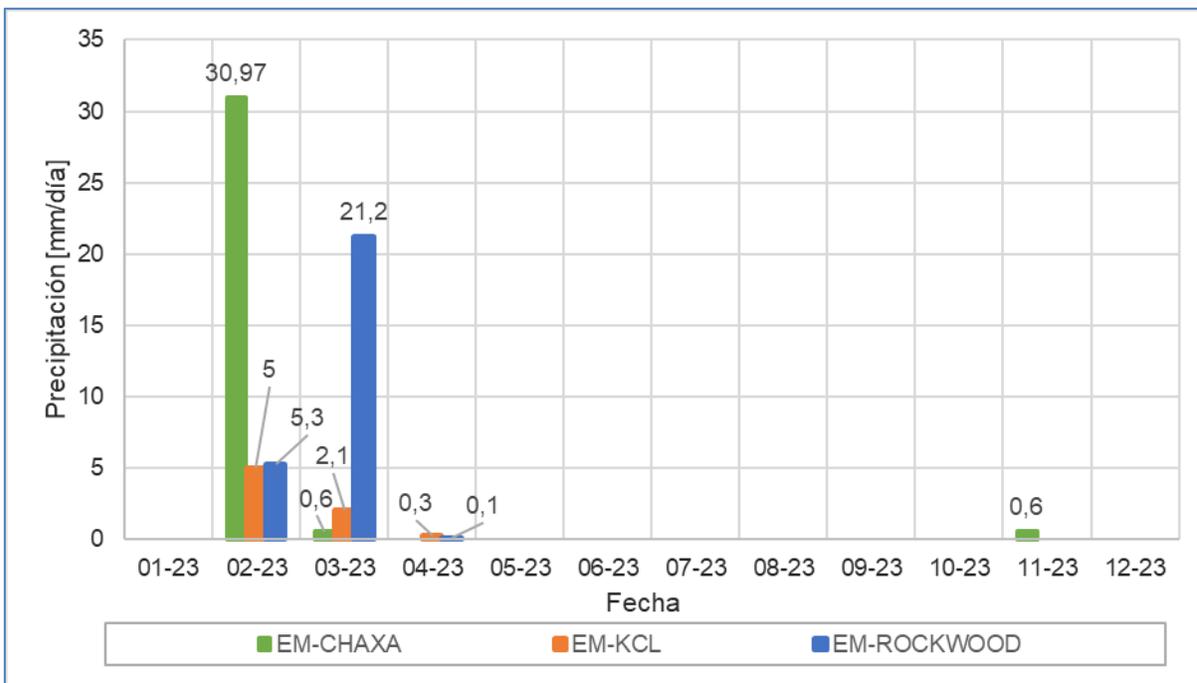
⁹ El registro histórico de las variables meteorológicas de las estaciones de Albemarle considera la integración de los datos obtenidos por la EM-SCL desde enero 2009 hasta abril 2016 junto a los datos obtenidos por la EM-Rockwood desde mayo 2016 hasta diciembre 2023. Esta nueva estación se ubica a una distancia de 750 m al noreste de la estación que reemplaza.

Figura 5-1 Precipitación diaria EM-Rockwood, 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-2 Precipitación mensual EM-Rockwood, 2023

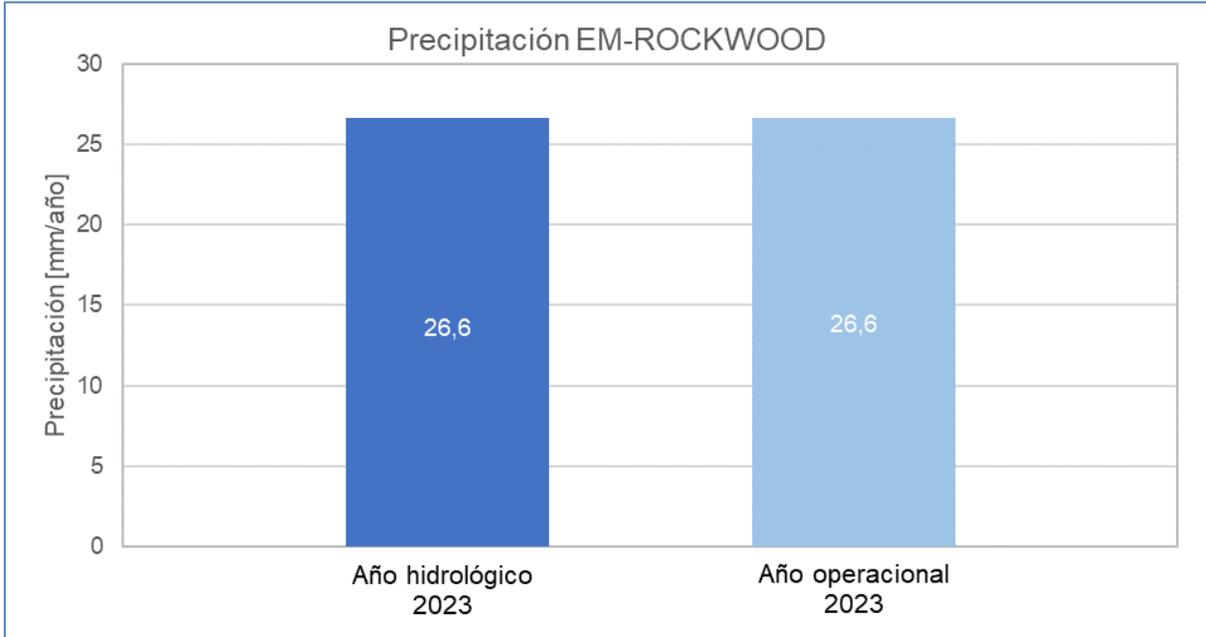


Fuente: Elaboración propia

En el capítulo de discusión se analiza la evolución histórica para esta variable, junto con las de terceros. La Figura 5-3 presenta la precipitación total anualizada para el año hidrológico del

salar de Atacama (ene-dic) y año operacional (oct-sept) 2023. Para este periodo ambas coinciden.

Figura 5-3 Precipitación año calendario y año hidrológico EM-Rockwood, 2023



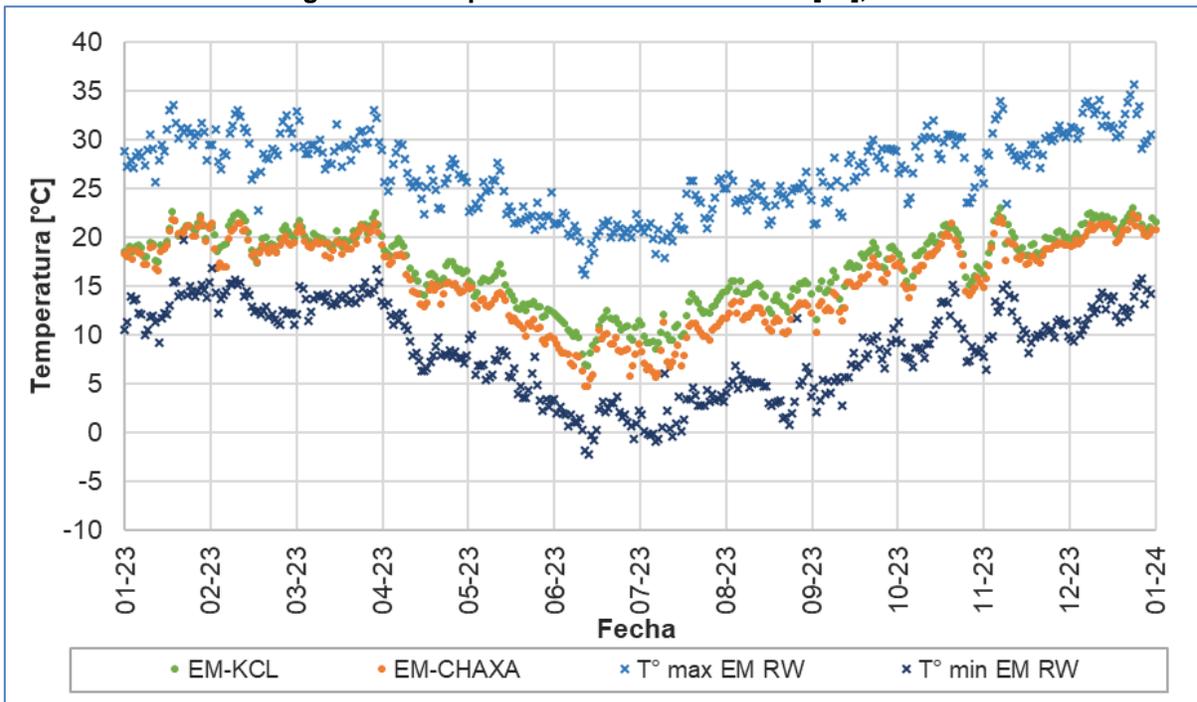
Nota: El año operacional 2023 comprende desde octubre 2022 hasta septiembre 2023, mientras que el año hidrológico comprende desde enero hasta diciembre 2023.

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Temperatura

En la Figura 5-4 se gráfica el registro de las temperaturas extremas diarias obtenidas desde la estación EM-Rockwood en 2023. En dicha figura, se observan variaciones de frecuencia estacional en donde las temperaturas máximas se registran entre octubre y marzo, coincidiendo con las estaciones más cálidas, y las temperaturas mínimas se registran entre los meses de junio y agosto, coincidiendo con las estaciones más frías. En el año 2023 la temperatura mínima anual registrada alcanzó los $-2,2^{\circ}\text{C}$ (15 de junio) mientras que la temperatura máxima anual corresponde a $35,7^{\circ}\text{C}$ (25 de diciembre). La oscilación térmica diaria promedio durante 2023 es de $18,1^{\circ}\text{C}$ (el detalle de los datos se puede ver en el Anexo A). Además, en la misma Figura (Figura 5-4), se observa la evolución de la temperatura de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, los datos muestran sincronía en el comportamiento con lo observado en la EM-Rockwood, dentro del rango de los máximos y mínimos que presenta la estación.

Figura 5-4 Temperaturas extremas diarias [°C], 2023

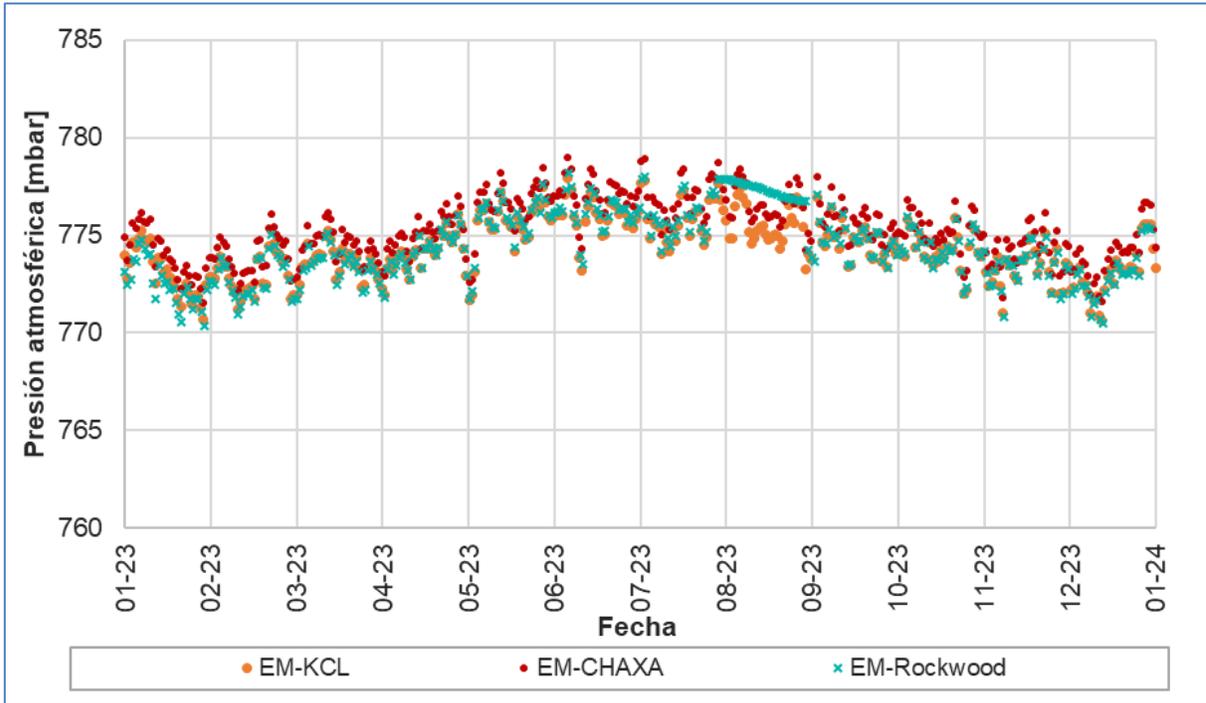


Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Presión atmosférica

En la Figura 5-5 se presenta el registro de presión atmosférica diaria, para 2023. Los registros de presión atmosférica muestran variaciones de origen estacional, registrándose los valores máximos en las estaciones húmedas (entre los meses de mayo y agosto) y los valores mínimos en las estaciones secas (entre los meses de octubre y marzo). Durante 2023, el mayor registro de presión atmosférica alcanzó 778,2 mbar el día 8 de junio, mientras que el menor registro alcanzó 770,4 mbar el día 30 de enero. Los datos medidos en el mes de agosto presentan una distribución diferente dado problemas de recuperación de estos, informado por ALB en la carta ALB-GMA-2023-SMA-042 (ver Anexo M). En la Figura (Figura 5-5) se observa además los datos de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, que las presiones atmosféricas muestran un comportamiento sincrónico y similares en las tres estaciones (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood), siendo levemente mayores los datos de EM-Chaxa.

Figura 5-5 Presión atmosférica diaria, 2023

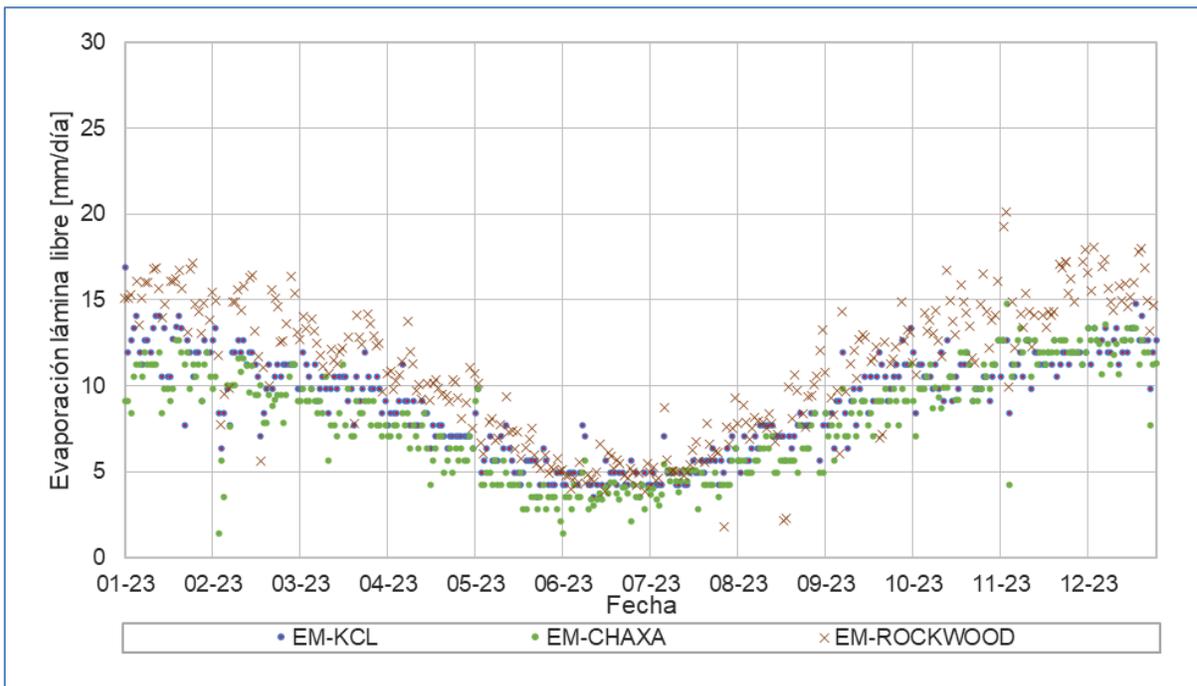


Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Evaporación

En la Figura 5-6 se presenta el registro de evaporación de agua libre diaria en 2023. De la misma manera que en las variables anteriormente descritas, se reconocen variaciones estacionales en donde los mayores registros de evaporación se presentan en las estaciones cálidas de primavera-verano (noviembre a marzo), mientras que los menores registros se encuentran en las estaciones frías de otoño-invierno (junio a agosto). En la Figura (Figura 5-6) se observa además los datos de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, que la evaporación muestra un comportamiento sincrónico y similares en las tres estaciones (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood), siendo levemente mayores los datos de EM-Rockwood.

Figura 5-6 Evaporación diaria, 2023



Fuente: Elaboración propia

Específicamente los meses de junio y julio, oscilan en torno a los 5 mm/día y en los meses más cálidos con mayores medidas de evaporación oscila en torno a los 14 mm/día. La evaporación máxima registrada fue 20,1 mm/día el día 9 de noviembre, junto a una evaporación mínima de 1,8 mm/día el día 1 de agosto (Figura 5-6). La relación de este comportamiento con otras variables será analizada posteriormente en el capítulo de discusión.

5.2 Evapotranspiración

En la presente sección se muestran los resultados de las campañas de medición de la tasa de evapotranspiración (EVT), realizadas durante el año 2023 mediante el método del domo para los puntos comprendidos en la red de monitoreo del PSAH (Figura 4-4). Como se menciona en el Capítulo 4, mientras no entren en funcionamiento los lisímetros instalados, estas mediciones deben realizarse con frecuencia trimestral mediante la metodología del domo según los compromisos adquiridos en el Anexo 3 de la Adenda 5 del EIA del Proyecto. Con respecto a los lisímetros, Albemarle presentó a la autoridad los inconvenientes que han presentado en los lisímetros de carga constante instalados en el salar junto a una propuesta de cambio metodológico a lisímetros de carga variable¹⁰. A la fecha de confección de este informe, el día 25 de enero de 2023 se recibió la Res Ex SMA 158/2023 donde se indica que

¹⁰ Mediante la carta ALB-GMA-2021-SMA-020, el 14 de abril de 2021 Albemarle hace entrega a la SMA el informe “Propuesta de Conversión de Lisímetros a Carga Variable” donde se explican los inconvenientes y la propuesta de conversión a carga variable.
 Informe N°8 del PSAH

se debe presentar *un Reporte Técnico con sus correspondientes medios de verificación, que atienda cada una de las observaciones formuladas por la DGA en su Oficio ORD. DGA N°47/2022*, el cual fue entregado a la autoridad junto a la carta conductora ALB-GMA-2023-SMA-010 (ver Anexo M), mientras se espera respuesta de la autoridad respecto a esta nueva solicitud, se continuará con la medición de las tasas de evaporación mediante domos y el posterior periodo de calibración de los lisímetros.

La presentación de los resultados de las mediciones de evaporación se realiza por los siguientes sectores PSAH:

- Sector La Punta - La Brava
- Sector Peine
- Sector Norte y Borde Este
- Sector Núcleo

En la Tabla 5-6 se muestran los 22 puntos de monitoreo para la evaporación, agrupados según el sector, donde se detalla las características de cada punto y su periodo de registro a la fecha.

Tabla 5-6 Resumen información puntos de medición de evapotranspiración

Sector	Punto de Monitoreo	Equivalencia futura Red de Monitoreo Lisímetros	Periodo de registro	
Norte y Borde Este	EVT-1	-	25-05-2013	23-12-2023
	EVT-2	-	25-05-2013	23-12-2023
	EVT-3	LS-01	25-05-2013	23-12-2023
	EVT-4	LS-02	25-05-2013	29-12-2023
	EVT-5	-	25-05-2013	29-12-2023
	EVT-6	LS-03	21-05-2013	30-12-2023
	EVT-7	-	21-05-2013	15-12-2023
	EVT-8	-	21-05-2013	15-12-2023
	EVT-11	-	21-05-2013	08-12-2023
	EVT-12	-	21-05-2013	08-12-2023
Núcleo	EVT-9	LS-05	29-05-2013	08-12-2023
	EVT-10	LS-06	21-05-2013	08-12-2023
	EVT-13	-	29-05-2013	17-12-2023
Peine	EVT-15	-	17-05-2013	21-12-2023
	EVT-16	-	17-05-2013	21-12-2023
	EVT-17	LS-07	17-05-2013	17-12-2023
	EVT-18	-	29-05-2013	02-12-2023(1)
	EVT-23	LS-08	07-08-2013	02-12-2023(1)
La Punta-La Brava	EVT-19	-	17-05-2013	02-12-2023
	EVT-20	LS-10	17-05-2013	02-12-2023
	EVT-21	-	17-05-2013	10-12-2023
	EVT-22	LS-09	06-08-2013	10-12-2023

Nota: Es importante mencionar que los lisímetros LS-04 y LS-11, de los sectores Norte y Borde Este y Núcleo respectivamente, no cuentan con un punto equivalente de medición con el método del domo. (1): No se autoriza el ingreso por parte de la Comunidad de Peine, dado el periodo de reproducción de flamencos.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados registrados durante las campañas de monitoreo del año 2023 se detallan entre la Tabla 5-7 y Tabla 5-10 para cada sector respectivamente.

A continuación, se presenta el análisis temporal (2023) de las tasas de evapotranspiración medidas en los puntos comprometidos en el PSAH.

5.2.1 Sector La Punta-La Brava

En el Sector La Punta-La Brava, existen 4 puntos de monitoreo de medición de evaporación, estos son: EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, la ubicación de los puntos se presenta en el mapa de la Figura 5-7 y los resultados de las mediciones para el año 2023, se presentan en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7 campaña de evapotranspiración 2023, Sector La Punta - La Brava

Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	Marzo 2023	Junio 2023	Septiembre 2023	Diciembre 2023
EVT-19	(1)	2,025	2,607	5,251
EVT-20	0,879	0,597	0,737	0,949
EVT-21	0,557	0,305	0,649	0,670
EVT-22	0,350	0,105	0,084	0,564

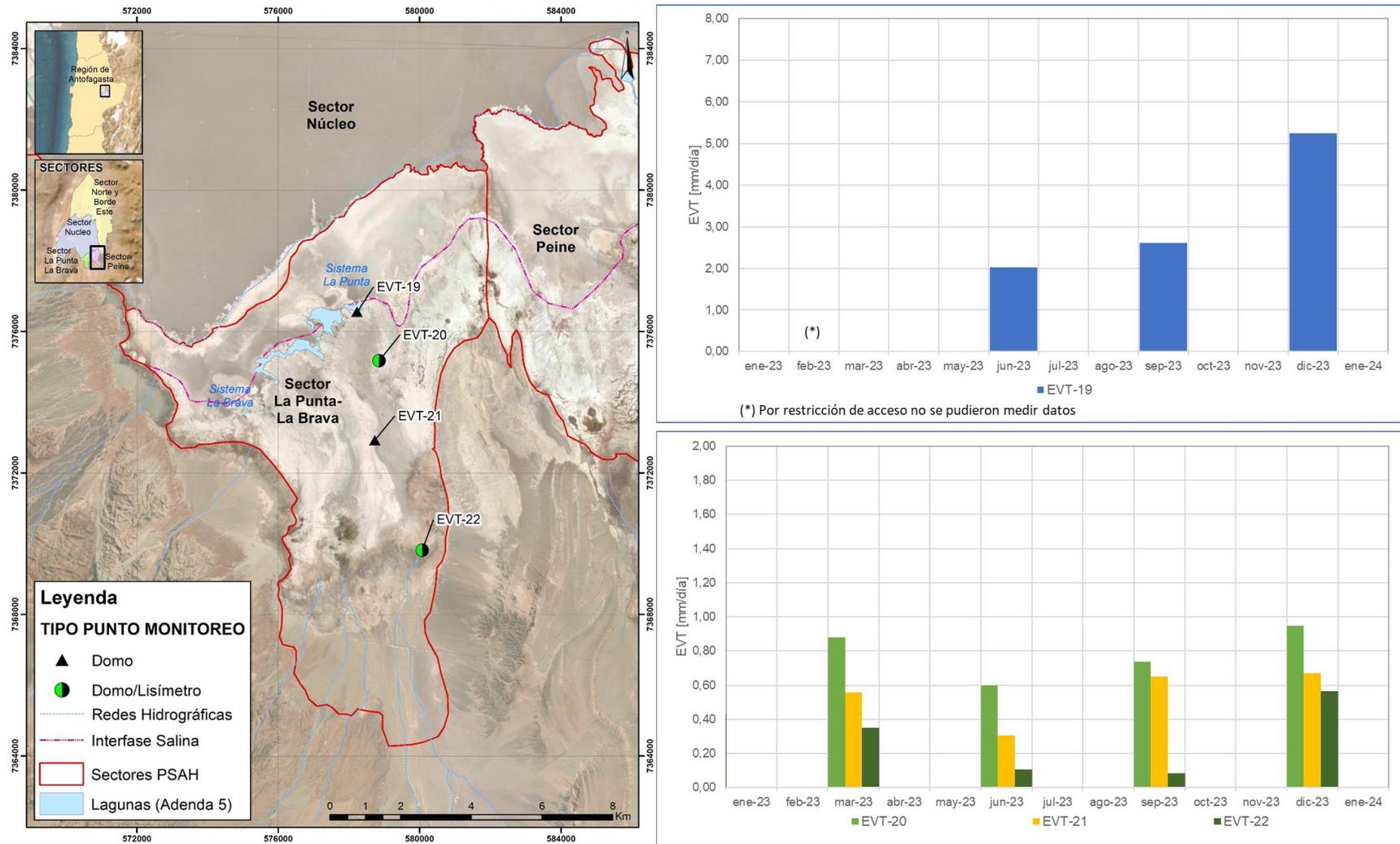
(1) Sensor presentó error en la medición.
 Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-7, se muestra el comportamiento de la evapotranspiración promedio mensual en los puntos de medición de EVT comprometidos en el PSAH en el sector La Punta-La Brava en el año 2023. El punto EVT-19, ubicado en el espejo de agua de la laguna La Punta, se gráfica de manera particular en la misma Figura 5-7, debido a la diferencia de escala con respecto al resto de las mediciones.

La estación EVT-19, cuyas medidas se realizan en el espejo de agua de la Laguna La Punta, tiene tasas de evapotranspiración promedio mensual determinadas entre 2,025 y 5,251 mm/día para el año 2023.

Durante el año 2023 el máximo registrado en los puntos mencionados corresponde a 0,949 mm/día promedio mensual en el punto EVT-20 (diciembre 2023), mientras que el menor valor de evaporación registrado es 0,084 mm/día promedio mensual en la estación EVT-22 (septiembre 2023). En general, se observa un comportamiento estacional de la evaporación, con menores tasas de evaporación durante el invierno y mayores en verano.

Figura 5-7 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Sector Peine

En el Sector Peine, existen 5 puntos de monitoreo de medición de evaporación: EVT-15, EVT-16 y EVT-17, EVT-18 y EVT-23. La ubicación de los puntos se presenta en el mapa de la Figura 5-8 y los resultados de las mediciones para el año 2023, se presentan en la Tabla 5-8.

Tabla 5-8 Resultados campaña de evapotranspiración 2023, Sector Peine

Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	Marzo 2023	Junio 2023	Septiembre 2023	Diciembre 2023
EVT-15	0,336	0,048	0,041	0,078
EVT-16	0,680	0,066	0,137	0,752
EVT-17	0,260	0,104	0,035	0,099
EVT-18	(1)	1,138	3,261	(1)
EVT-23	(1)	0,268	(1)	(1)

(1): No se autoriza el ingreso por parte de la Comunidad de Peine, dado el periodo de reproducción de flamencos en el tercer trimestre según Carta ALB-GMA-2023-SMA-043 (en Anexo M).

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-8 se muestra la evolución de la evapotranspiración en los puntos de medición de EVT comprometidos en el sector Peine en el año 2023. La estación EVT-18 se encuentra en el espejo de agua de la Laguna Interna, debido a esto se gráfica de manera independiente (Figura 5-8) por la diferencia de escala entre las tasas de esta estación y el resto de los puntos.

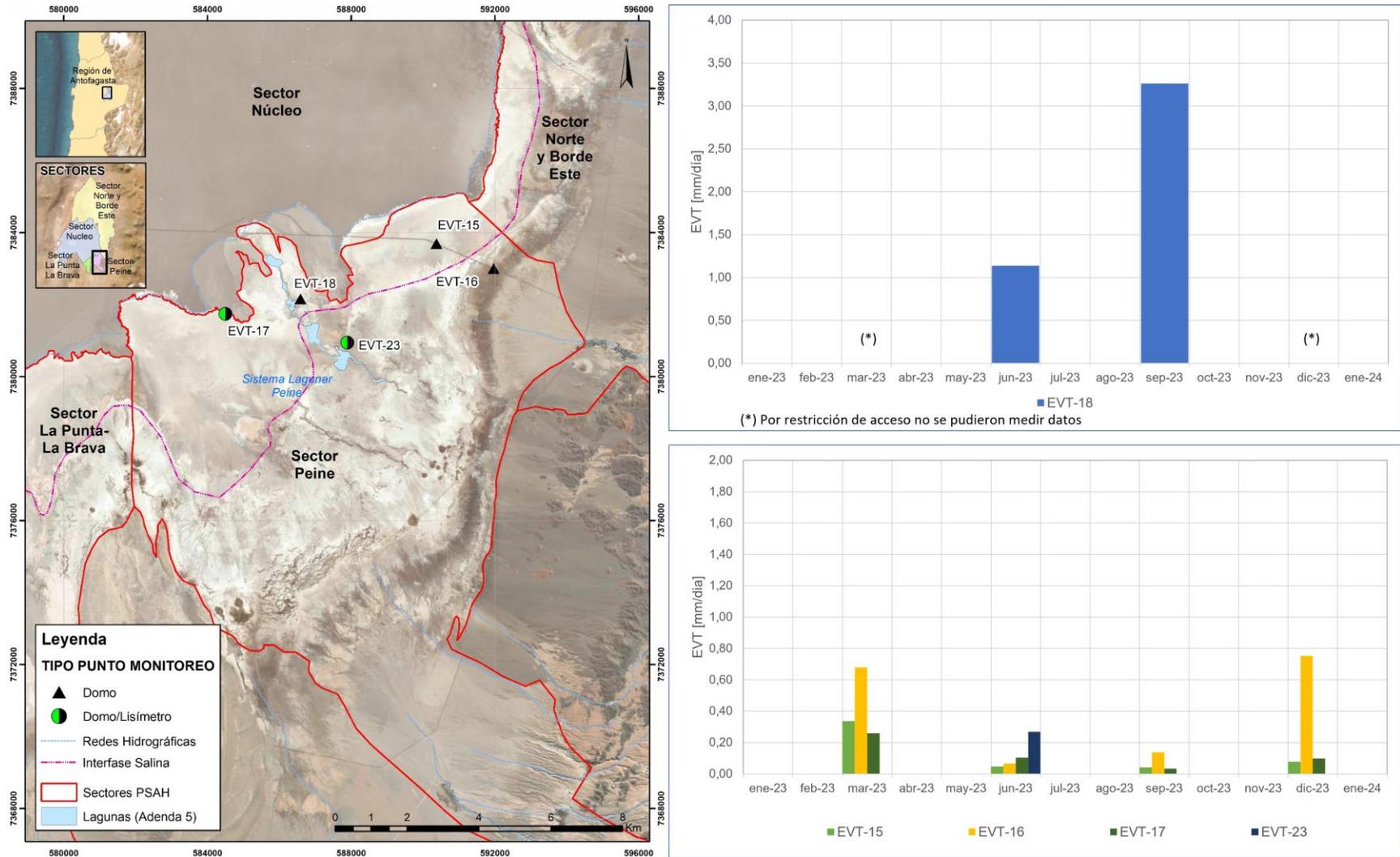
El rango de variación observado para estas estaciones (EVT-15, EVT-16, EVT-17 y EVT-23) varía entre 0,035 mm/día (septiembre de 2023, EVT-17) y 0,752 mm/día (septiembre de 2023, EVT-16).

La estación EVT-18, ubicada en el espejo de agua de la Laguna Interna, posee mediciones el segundo y tercer trimestre del año, por prohibición de acceso al punto de monitoreo¹¹. La estación EVT-23 posee mediciones solo para el segundo trimestre del año, existiendo una restricción de acceso durante el resto del año por la presencia de flamencos³.

En general, se observa un comportamiento estacional de la evaporación, con menores tasas de evaporación durante el invierno y mayores en verano.

¹¹ (CARTA OFICIAL N° 23/2022 en Anexo M).

Figura 5-8 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Sector Norte y Borde Este

En el Sector Norte y borde Este, existen 10 puntos de monitoreo de medición de evaporación: EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4, EVT-5, EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, la ubicación de los puntos se presenta en el mapa de la Figura 5-9, y los resultados de las mediciones para el año 2023, se presentan en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9 Resultados campaña de evapotranspiración 2023, Sector Norte y Borde Este

Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	Marzo 2023	Junio 2023	Septiembre 2023	Diciembre 2023
EVT-1	0,966	0,090	0,105	0,892
EVT-2	1,246	0,139	0,255	0,432
EVT-3	0,613	0,102	0,131	1,071
EVT-4	(1)	0,196	0,252	0,776
EVT-5	(1)	1,252	(2)	3,295
EVT-6	1,017	0,510	0,566	0,580
EVT-7	1,316	0,269	0,293	0,830
EVT-8	0,397	0,127	0,114	0,190
EVT-11	0,328	0,046	0,174	0,049
EVT-12	0,610	0,198	0,735	0,668

(1): Comunidad de Coyo restringe acceso al punto de monitoreo. (2): Sin acceso por la presencia de flamencos.
 Fuente: Elaboración propia

De la Figura 5-9 y Figura 5-10, se ilustra la evolución de la evapotranspiración en los puntos de la red de monitoreo de evapotranspiración en el sector Norte y Borde Este, para el año 2023.

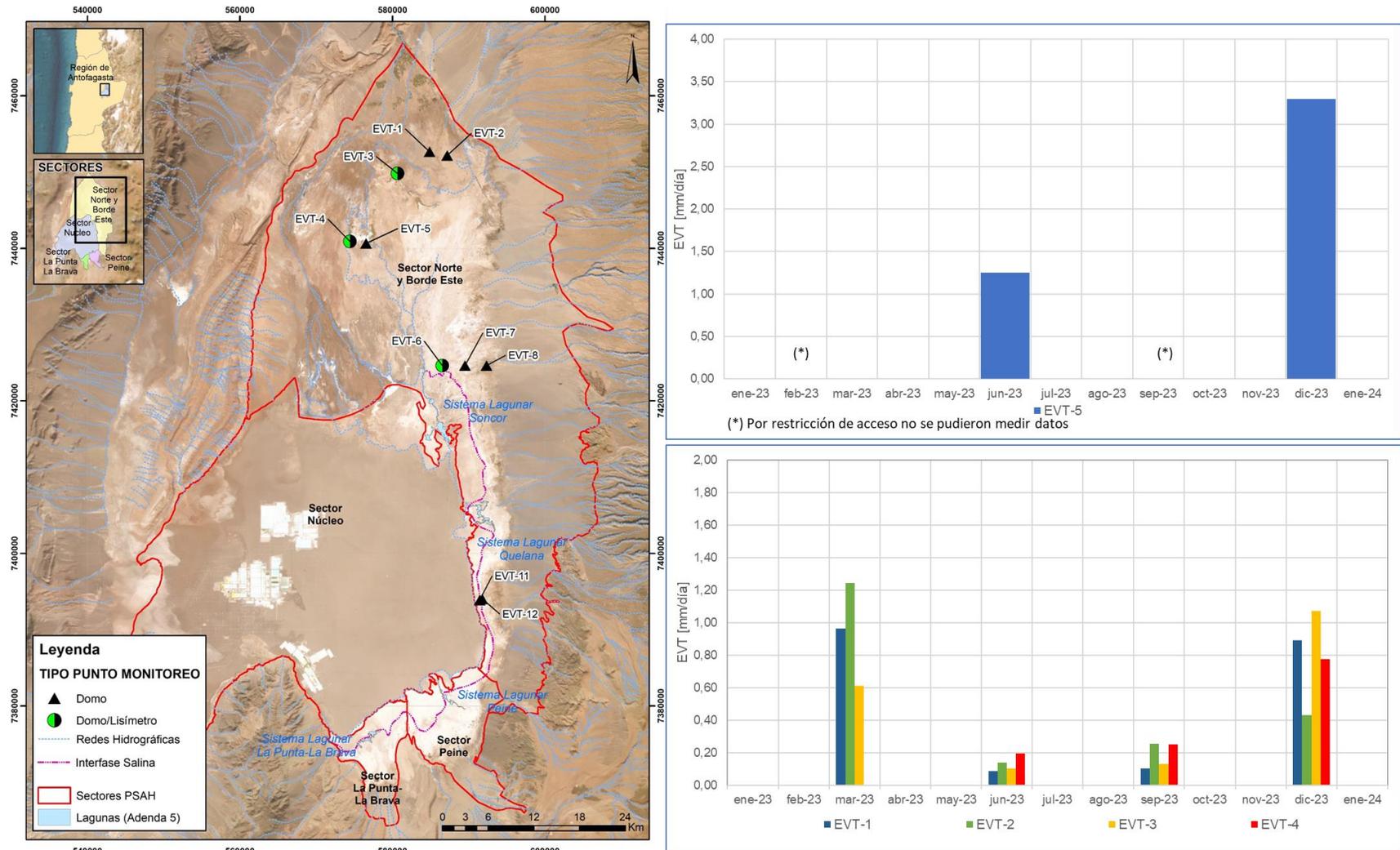
La estación EVT-5 se ubica en una superficie lagunar por lo que se gráfica de manera independiente (Figura 5-9) debido a la diferencia de escala de las mediciones con el resto de los puntos. Durante el año 2023 en el punto EVT-5 (superficie lagunar) solo pudo ser monitoreado dos trimestres, debido a restricciones de ingreso al punto de monitoreo. Demás, en la Figura 5-9 se muestran las mediciones del año 2023 de los puntos EVT-1, EVT-2, EVT-3 y EVT-4.

Los puntos EVT-11 y EVT-12 ubicados en la parte sur del Borde Este del salar (Figura 5-10), presenta valores (2023) que varían entre 0,046 y 0,735 mm/día.

Los puntos EVT-6, EVT-7 y EVT-8 ubicados de la parte norte del Borde Este del salar (Figura 5-10), muestra valores (2023) que oscilan entre un mínimo de 0,114 mm/día en el punto EVT-8 (septiembre, 2023), y un máximo de 1,316 mm/día en el punto EVT-7 (marzo, 2023).

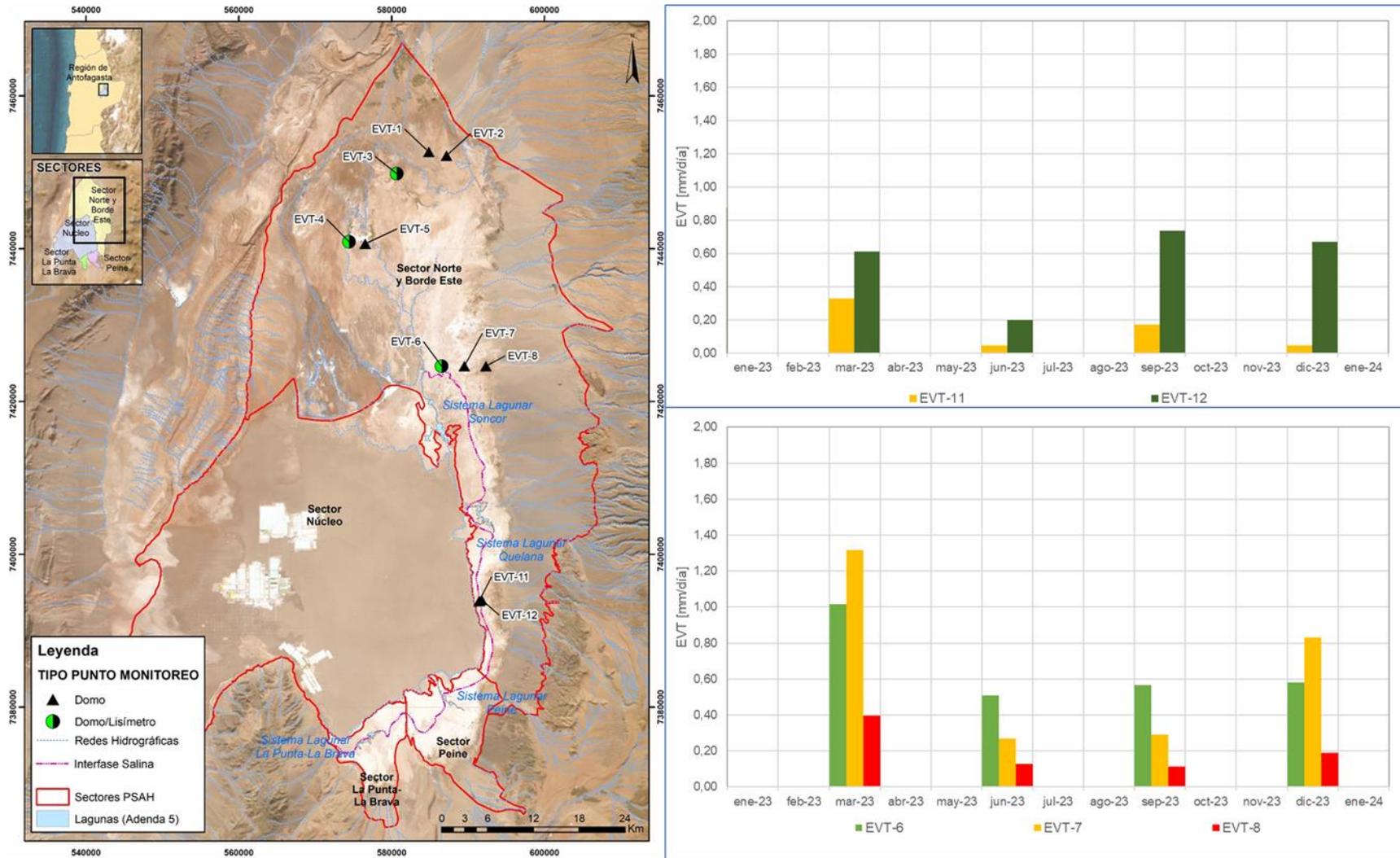
En general, se observa una variación estacional de las tasas de evaporación menores en los meses de invierno.

Figura 5-9 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4 y EVT-5, año 2023, Sector Norte



Fuente: Elaboración propia. Comunidad de Coyo restringe acceso al punto de monitoreo durante todo el año 2022

Figura 5-10 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, año 2023, Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Sector Núcleo

En el Sector Núcleo, existen 3 puntos de monitoreo de medición de evaporación: EVT-9, EVT-10 y EVT-13, la ubicación de los puntos se presenta en el mapa de la Figura 5-11, y los resultados de las mediciones para el año 2022 se presentan en la Tabla 5-10.

Tabla 5-10 Resultados campaña de evapotranspiración 2023, Sector Núcleo

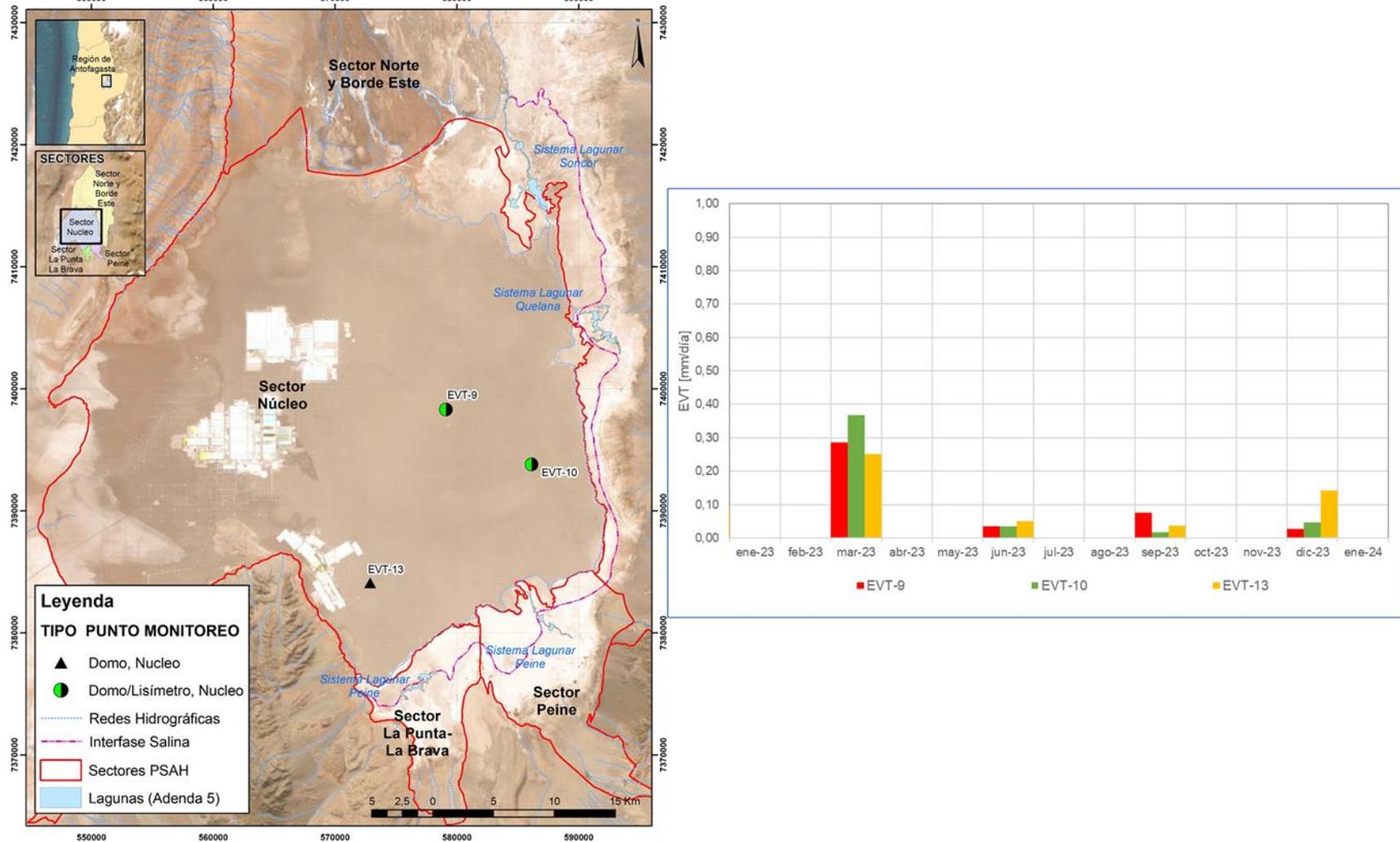
Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	Marzo 2023	Junio 2023	Septiembre 2023	Diciembre 2023
EVT-9	0,287	0,036	0,076	0,026
EVT-10	0,369	0,034	0,016	0,046
EVT-13	0,250	0,050	0,037	0,141

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-11 se muestra el comportamiento del año 2023 de la evapotranspiración en los puntos de la red de monitoreo de evapotranspiración en el Núcleo del salar.

De la Tabla 5-10 se observa mayores valores de tasas promedios de evapotranspiración en marzo, y menores en septiembre y diciembre. El valor máximo se obtuvo en la estación EVT-10, ubicada en la costra salina, en el mes de marzo con una tasa de 0,369 mm/día promedio mensual. Por otra parte, la menor tasa de evaporación se registró en el mismo punto (EVT-10) durante el mes de septiembre con una tasa promedio mensual de 0,016 mm/día.

Figura 5-11 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-9, EVT-10 y EVT-13, Sector Núcleo



Fuente: Elaboración propia

5.3 Superficie Cubierta por Lagunas

Dentro de los compromisos ambientales en el marco del PSAH se realiza la medición de la superficie cubierta por las lagunas de los sistemas La Punta-La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor. El año 2023 este monitoreo se realizó en los meses de agosto y diciembre, correspondientes a las temporadas de invierno y verano, respectivamente.

La determinación de las superficies lagunares se realiza a través del análisis de imágenes satelitales de alta resolución obtenidas a partir del satélite Pléiades 1-A. De manera complementaria, también como compromiso del PSAH, con el objetivo de generar una correlación de estas imágenes con la serie histórica disponible de imágenes Landsat, de menor resolución, se realiza de manera simultánea un análisis de imágenes provenientes del satélite Landsat 8 o el similar, de la fecha más próxima a las imágenes de alta resolución.

La Tabla 5-11 y Tabla 5-12 presentan las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada, determinadas desde la imagen de alta resolución (Pléiades 1-A) y de media resolución (Landsat 8).

Tabla 5-11 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A en el monitoreo 2023 (invierno y verano)

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2023			
		Invierno 2023		Verano 2023	
		ha	m ²	ha	m ²
Superficies Pléiades 1-A de alta resolución	LP LB	45,5	455.090	26,6	265.615
	PE	29,4	293.951	22,0	220.413
	AQ	18,9	189.180	5,9	59.003
	SO	177,3	1.772.903	112,9	1.128.774

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-12 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 en el monitoreo 2023 (invierno y verano)

	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2023			
		Invierno 2023		Verano 2023	
		ha	m ²	ha	m ²
Superficies Landsat 8 de mediana resolución	LP LB	39,4	393.827	28,8	287.707
	PE	62,2	621.915	26,9	268.952
	AQ	28,8	288.145	13	129.568
	SO	219,7	2.196.775	119,1	1.191.265

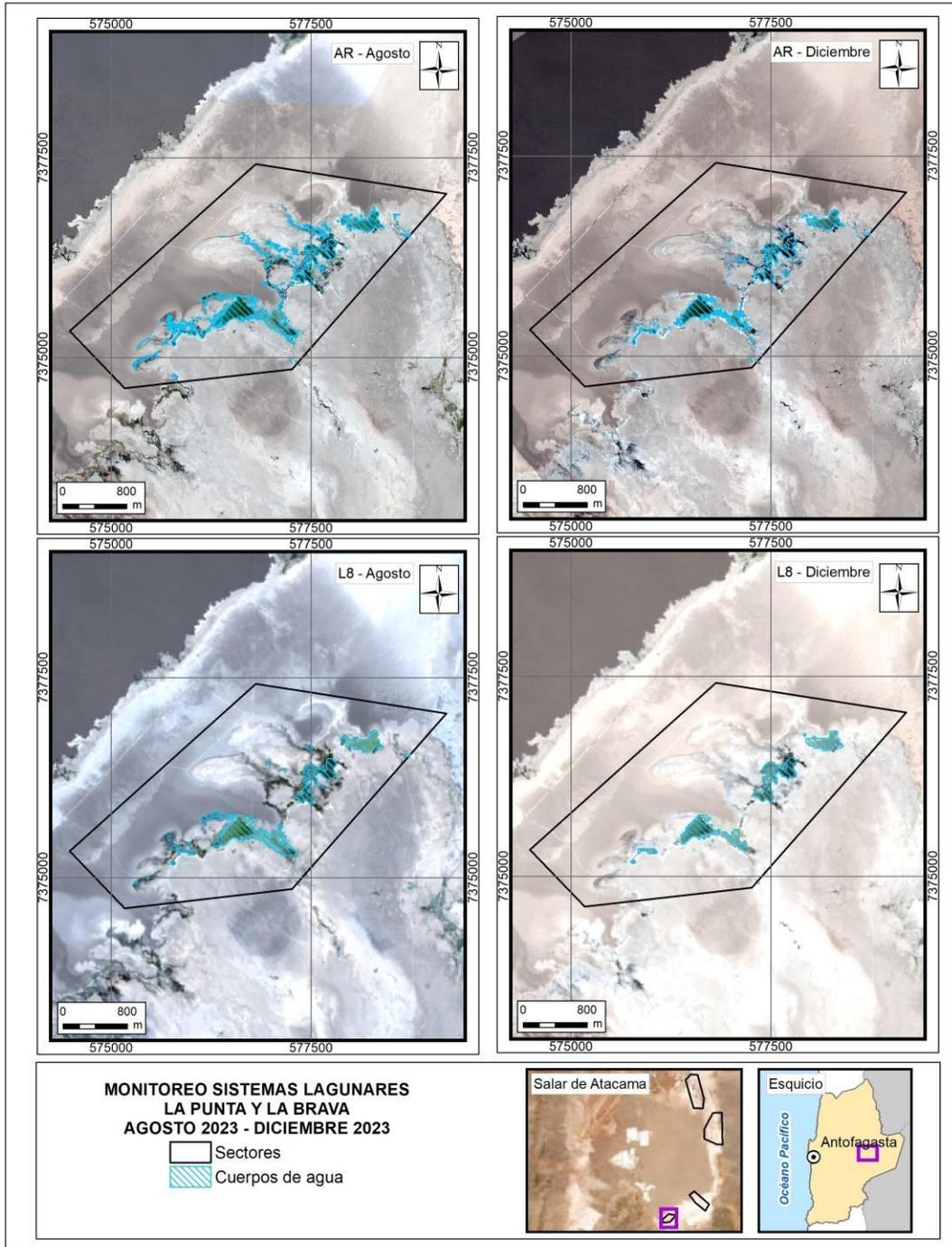
Fuente: Elaboración propia

5.3.1 La Punta - La Brava

En el sistema lagunar La Punta - La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A en agosto de 2023 es de 45,5 ha y en diciembre 2023 abarca una superficie de 26,6 ha (Tabla 5-11; Figura 5-12). Con las imágenes Landsat 8 (Tabla 5-12) se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 39,4 ha en agosto de 2023, y en diciembre 2023 se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 28,8 ha.

La diferencia de valores de agosto entre Pléiades 1-A y Landsat es de un +13,5% (+6,1 ha) para este periodo. En diciembre de 2023, la comparativa entre imágenes, muestra una diferencia de Landsat sobre Pléiades de un +7,7% (+2,2 ha) para este periodo. Las variaciones de resultados entre los sensores Pléiades-Landsat, se deben principalmente a las diferencias en la resolución espacial, es decir, al tamaño de píxel. Esto se traduce en un mayor espesor de los resultados generados por el modelo de resolución media en comparación con un modelo de alta resolución, que proporciona un mayor nivel de detalle. Este incremento en la definición de los bordes o contornos del recubrimiento se logra gracias a la mejora en el contraste y la respuesta espectral ofrecida por las imágenes de alta resolución.

Figura 5-12 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2023 – diciembre 2023.



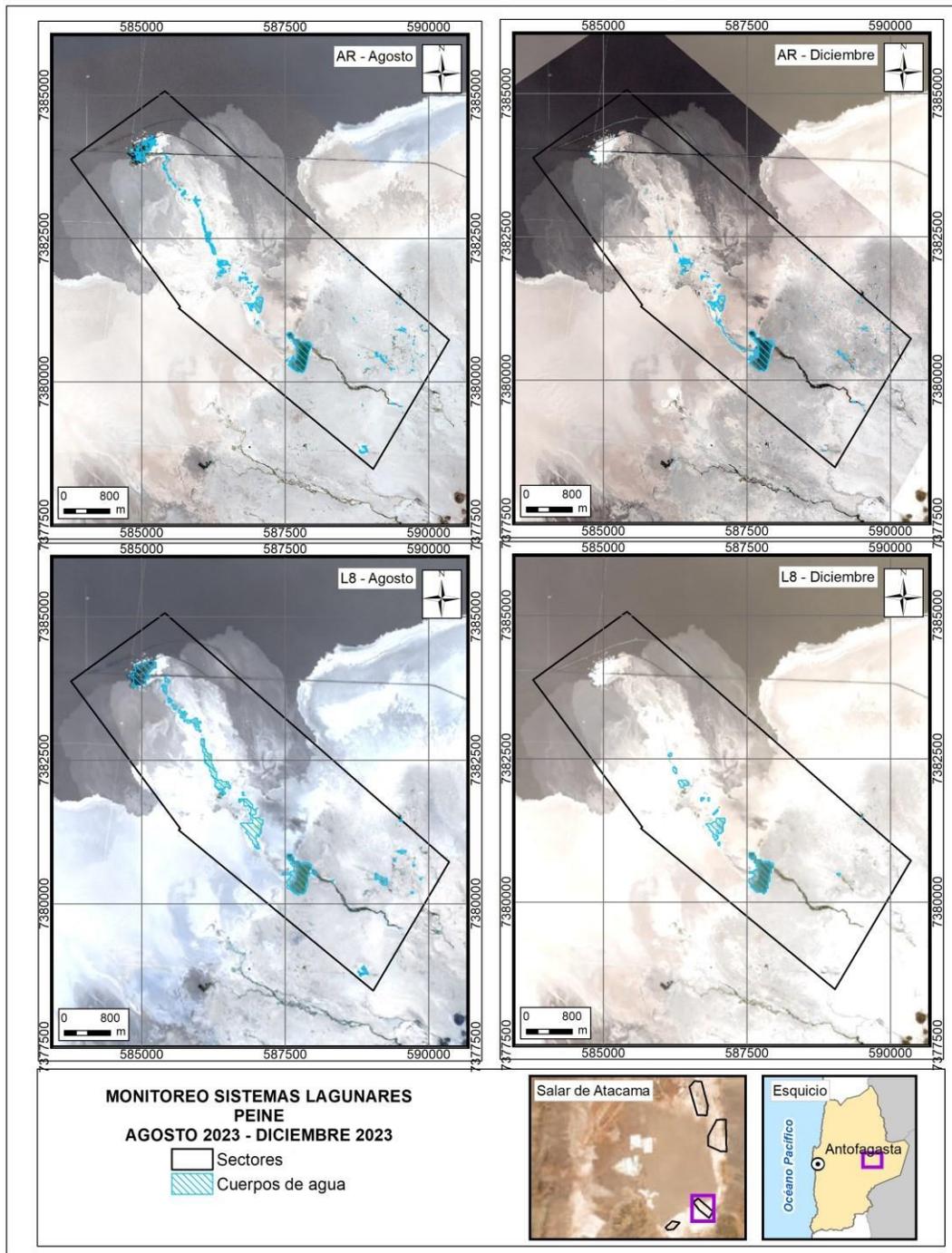
Fuente: Elaboración propia, ver Anexo C.

5.3.2 Peine

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A en agosto de 2023 es de 29,4 ha y en diciembre 2023 abarca una superficie de 22,0 ha (Tabla 5-11, Figura 5-13). Con las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 62,2 ha en agosto de 2023 y de 26,9 en diciembre 2023 (Tabla 5-12).

Los valores de agosto 2023 muestran una diferencia de Landsat sobre Pléiades de un +52,7% (+32,8 ha), mientras que para los valores de diciembre muestran una diferencia de Landsat sobre Pléiades de un +18,0% (+4,9 ha) para este periodo. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno del recubrimiento agua, por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución.

Figura 5-13 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2023.



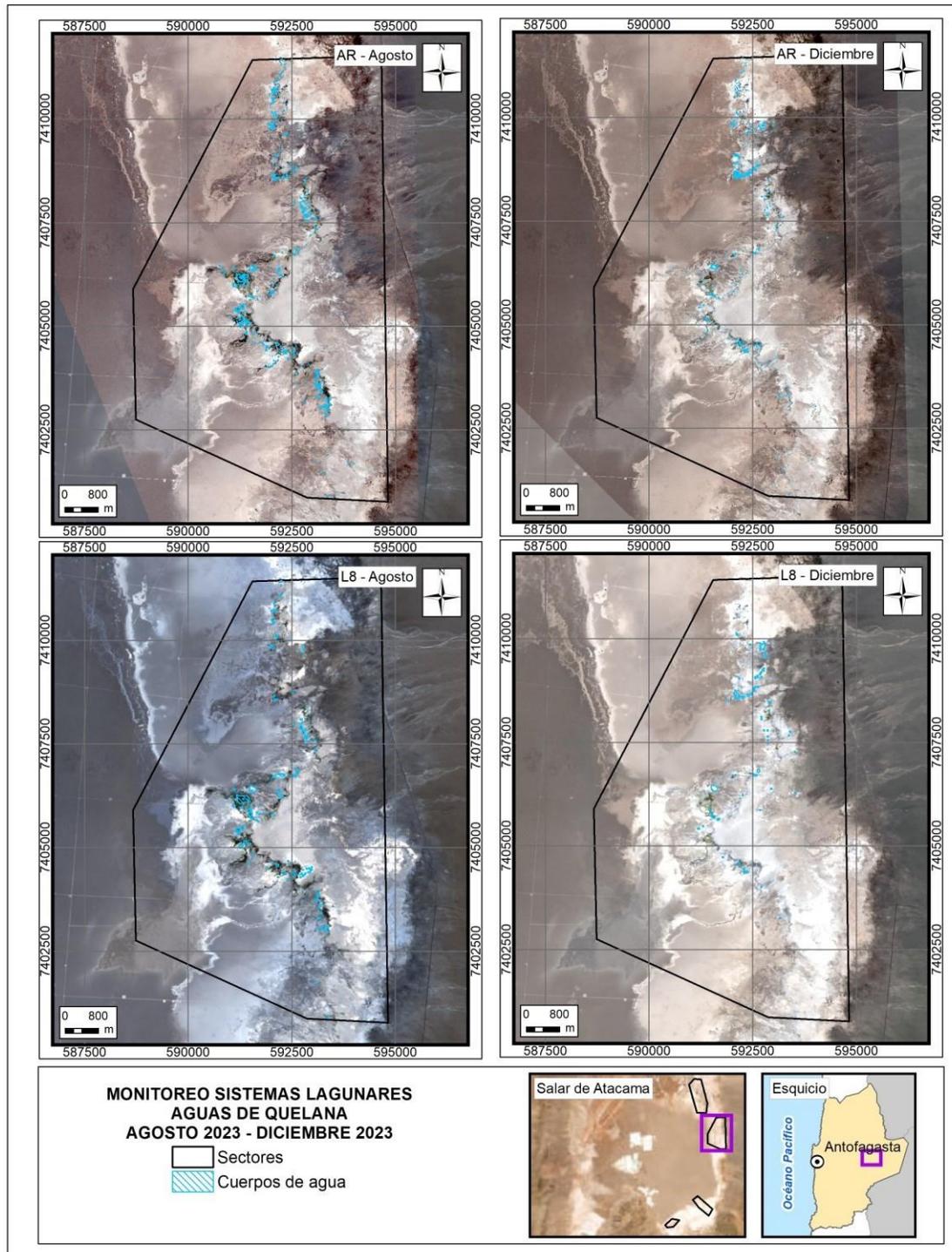
Fuente: Elaboración propia, ver Anexo C.

5.3.3 Aguas de Quelana

En el sistema lagunar Aguas de Quelana, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A en agosto de 2023 es de 18,9 ha y en diciembre 2023 abarca una superficie de 5,9 ha (Figura 5-14). Con las imágenes Landsat 8 (Tabla 5-12) se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 28,8 ha en agosto de 2023 y de 13,0 ha en diciembre 2023.

Los valores de agosto 2023 muestran una diferencia de +9,9 ha entre Landsat 8 y Pléiades 1-A, y para el periodo de invierno de +7,1 ha para el periodo de verano. Según los resultados observados por tipo de imagen, se observa que también en este sector las principales diferencias son atribuibles a la resolución espacial de las imágenes de media resolución. La mayor resolución de Pléiades 1-A aumentó la cobertura de las áreas inundadas, resultado de la interconexión de lagunas por desborde. Como resultado se produjo un aumento general en la superficie total en comparación con los resultados obtenidos usando la imagen Pléiades 1-A donde, dada la resolución de esta imagen, se logró una delimitación más definida en los bordes. No obstante, a lo largo de los monitoreos sucesivos, se observa un progresivo acercamiento en las discrepancias entre lo obtenido para ambos tipos de imágenes, lo que estaría ligado al descenso de precipitaciones que puedan ocasionar el desborde de lagunas y canales, y por lo tanto la mejor respuesta de los sensores a cuerpos de agua pequeños y mejor delimitados.

Figura 5-14 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Aguas de Quelana, agosto – diciembre 2023.



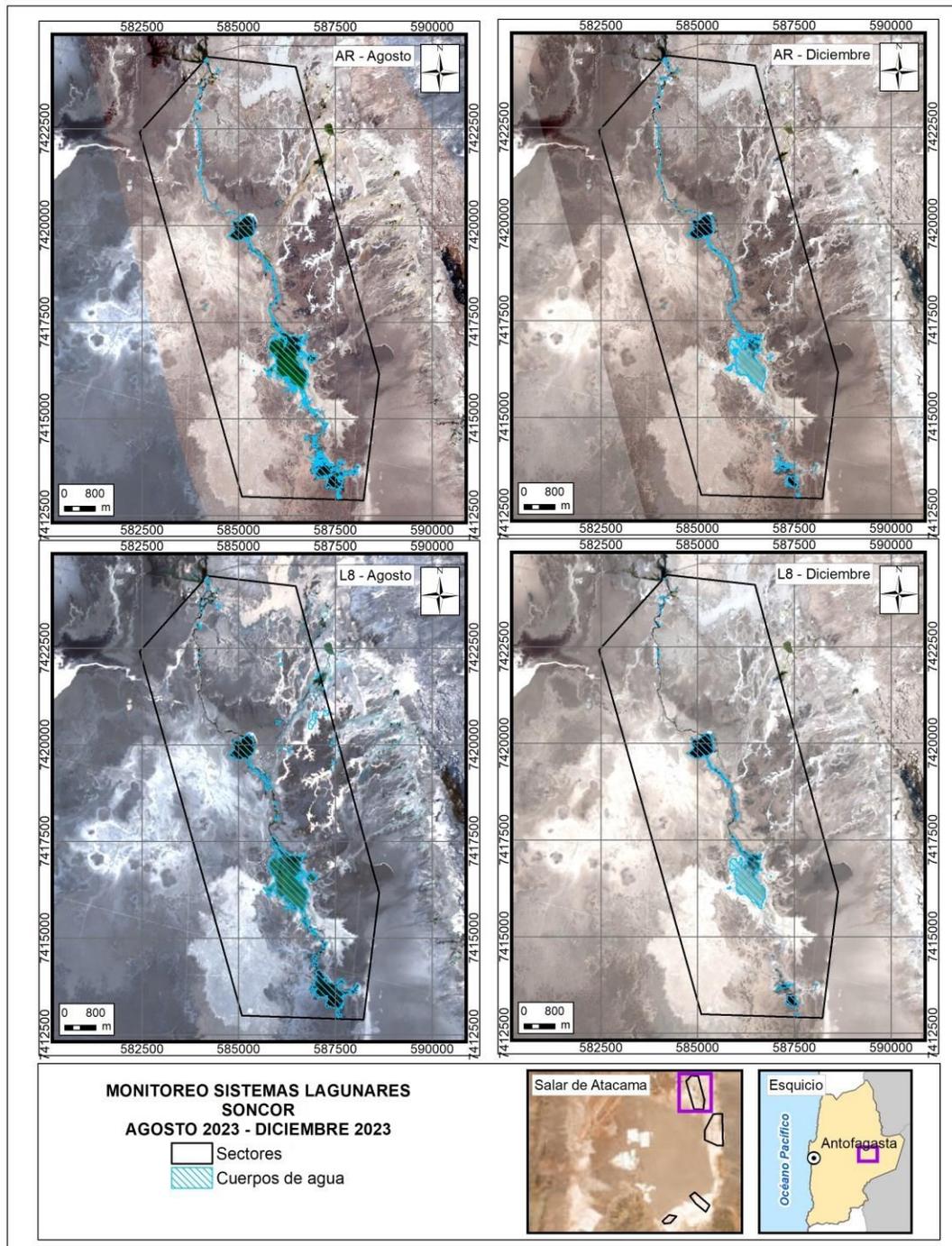
Fuente: Elaboración propia, ver Anexo C.

5.3.4 Soncor

En el sistema lagunar Soncor, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A en agosto de 2023 es de 177,3 ha y en diciembre 2023 abarca una superficie de 112,9 ha (Figura 5-15 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2023.). Con las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 219,7 ha en agosto de 2023 y 119,1 ha en diciembre de 2023.

Los valores de agosto 2023 muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pléiades 1-A de +42,4 ha para agosto de 2032 y de +6,2 ha para verano de 2023. Según los resultados observados por tipo de imagen, se observa que las principales diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes Landsat 8, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución; sin embargo estas diferencias son menores en comparación a otros sistemas lagunares, dada la fisonomía del sector (cuerpo de agua confinado en una costra salina muy diferenciable como recubrimiento y sin sectores de combinación agua – vegetación o similares) por lo que los resultados desde los parámetros están mejor ajustados.

Figura 5-15 Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2023.



Fuente: Elaboración propia, ver Anexo C.

5.4 Nivel limnimétrico de las lagunas

En el presente subcapítulo, se exhiben los resultados de las mediciones de nivel de agua de las lagunas a través de las reglas limnimétricas y estacas. En total se cuenta con 20 puntos

de monitoreo (16 limnímetros y 4 estacas) asociados a esta variable, distribuidos en tres sectores, estos son:

- Sector La Punta-La Brava
- Sector Peine
- Sector Norte y Borde Este

Los registros de los niveles limnimétrico se realizan con frecuencia mensuales, exceptuando en los meses de marzo, abril y mayo¹² de 2023, que aumentó la frecuencia de monitoreo de las variables hidrológicas mensuales a quincenales, en lo cual se incluyó en forma voluntaria la medición del nivel limnimétrico, este aumento en la frecuencia dada la activación del PAT sector Alerta Acuífero. Y además de octubre a diciembre debido a la activación del núcleo por activación del PAT Núcleo, en la cual también se incluye de forma voluntaria la medición de nivel limnimétrico.

5.4.1 Sector La Punta-La Brava

En el Sector La Punta-La Brava, existen 5 puntos de monitoreo de medición de nivel limnimétrico, estos son: LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 y LM-16, cuya ubicación se presenta en el mapa de la Figura 5-16 y los resultados de las mediciones de nivel limnimétrico para el año 2023, se presentan en el Anexo D. El registro para estos niveles se encuentra completo para 11 de los 12 meses del año, faltando las mediciones del mes de agosto debido a restricciones de acceso por parte de la Comunidad de Peine tal como lo indica la carta ALB-GMA-2023-SMA-043 (ver Anexo L).

Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
LM-01	03/01/2023	2.300,330	0,476	2.299,854	09/07/2023	2.300,330	0,352	2.299,978
	05/02/2023	2.300,330	0,460	2.299,870	02/09/2023	2.300,330	0,362	2.299,968
	20/02/2023	(1)			25/08/2023	(2)		
	10/03/2023	2.300,330	0,440	2.299,890	15/10/2023	2.300,330	0,398	2.299,932
	23/03/2023	2.300,330	0,410	2.299,920	23/10/2023	2.300,330	0,400	2.299,930
	08/04/2023	2.300,330	0,408	2.299,922	09/11/2023	2.300,330	0,419	2.299,911
	25/04/2023	2.300,330	0,396	2.299,934	23/11/2023	2.300,330	0,429	2.299,901
	08/05/2023	2.300,330	0,392	2.299,938	02/12/2023	2.300,330	0,440	2.299,890
	30/05/2023	2.300,330	0,378	2.299,952	18/12/2023	2.300,330	0,443	2.299,887
	25/06/2023	2.300,330	0,375	2.299,955				

¹² el cual no se pudo realizar en febrero por restricciones de acceso, por lo que se extiende las mediciones a mayo.

Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
LM-02	03/01/2023	2.300,795	0,919	2.299,876	09/07/2023	2.300,795	0,796	2.299,999
	05/02/2023	2.300,795	0,915	2.299,880	25/08/2023	(2)		
	20/02/2023	(1)			15/09/2023	2.300,795	0,815	2.299,980
	10/03/2023	2.300,795	0,888	2.299,907	15/10/2023	(3)		
	23/03/2023	2.300,795	0,858	2.299,937	29/10/2023	2.300,795	0,857	2.299,938
	08/04/2023	2.300,795	0,855	2.299,940	09/11/2023	(3)		
	25/04/2023	2.300,795	0,845	2.299,950	23/11/2023	(3)		
	08/05/2023	(3)			02/12/2023	2.300,795	0,889	2.299,906
	30/05/2023	(3)			18/12/2023	(3)		
	25/06/2023	2.300,795	0,820	2.299,975				
LM-03	05/01/2023	2.300,576	0,471	2.300,105	01/07/2023	2.300,576	0,382	2.300,194
	03/02/2023	2.300,576	0,477	2.300,099	15/09/2023	2.300,576	0,397	2.300,179
	20/02/2023	(1)			25/08/2023	(2)		
	06/03/2023	2.300,576	0,445	2.300,131	01/10/2023	2.300,576	0,421	2.300,155
	23/03/2023	2.300,576	0,425	2.300,151	16/10/2023	2.300,576	0,428	2.300,148
	03/04/2023	2.300,576	0,426	2.300,150	01/11/2023	2.300,576	0,433	2.300,143
	25/04/2023	2.300,576	0,424	2.300,152	23/11/2023	2.300,576	0,442	2.300,134
	03/05/2023	2.300,576	0,421	2.300,155	12/12/2023	2.300,576	0,466	2.300,110
	30/05/2023	2.300,576	0,423	2.300,153	18/12/2023	2.300,576	0,469	2.300,107
	06/06/2023	2.300,576	0,414	2.300,162				
LM-04	05/01/2023	2.300,934	0,854	2.300,080	01/07/2023	2.300,934	0,765	2.300,169
	03/02/2023	2.300,934	0,856	2.300,078	15/09/2023	2.300,934	0,785	2.300,149
	20/02/2023	(1)			25/08/2023	(2)		
	06/03/2023	2.300,934	0,826	2.300,108	01/10/2023	2.300,934	0,806	2.300,128
	23/03/2023	2.300,934	0,812	2.300,122	16/10/2023	2.300,934	0,810	2.300,124
	03/04/2023	2.300,934	0,806	2.300,128	01/11/2023	2.300,934	0,816	2.300,118
	25/04/2023	2.300,934	0,895	2.300,039	23/11/2023	2.300,934	0,830	2.300,104
	03/05/2023	2.300,934	0,804	2.300,130	12/12/2023	2.300,934	0,850	2.300,084
	30/05/2023	2.300,934	0,798	2.300,136	18/12/2023	2.300,934	0,854	2.300,080
	06/06/2023	2.300,934	0,791	2.300,143				
LM-16	05/02/2023	(1)			18/07/2023	2.307,836	0,388	2.307,448

Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
	25/02/2023	2.307,836	0,425	2.307,411	26/08/2023	(2)		
	12/03/2023	2.307,836	0,425	2.307,411	13/09/2023	2.307,836	0,419	2.307,417
	22/03/2023	2.307,836	0,423	2.307,413	09/10/2023	2.307,836	0,425	2.307,411
	07/04/2023	2.307,836	0,420	2.307,416	20/10/2023	2.307,836	0,427	2.307,409
	19/04/2023	2.307,836	0,420	2.307,416	11/11/2023	2.307,836	0,429	2.307,407
	10/05/2023	2.307,836	0,416	2.307,420	29/11/2023	2.307,836	0,433	2.307,403
	24/05/2023	2.307,836	0,414	2.307,422	05/12/2023	2.307,836	0,433	2.307,403
	29/06/2023	2.307,836	0,397	2.307,439	25/12/2023	2.307,836	0,437	2.307,399

(1) Sin autorización de ingreso al sector para medición quincenal por activación de PAT. Se coloca fecha y hora para efectos del reporte.

(2) Monitoreos suspendidos por Comunidad de Peine, se avisa a SMA N° Comprobante 1032574

(3) Sin autorización de ingreso por parte de la Comunidad de Peine por presencia de flamencos.

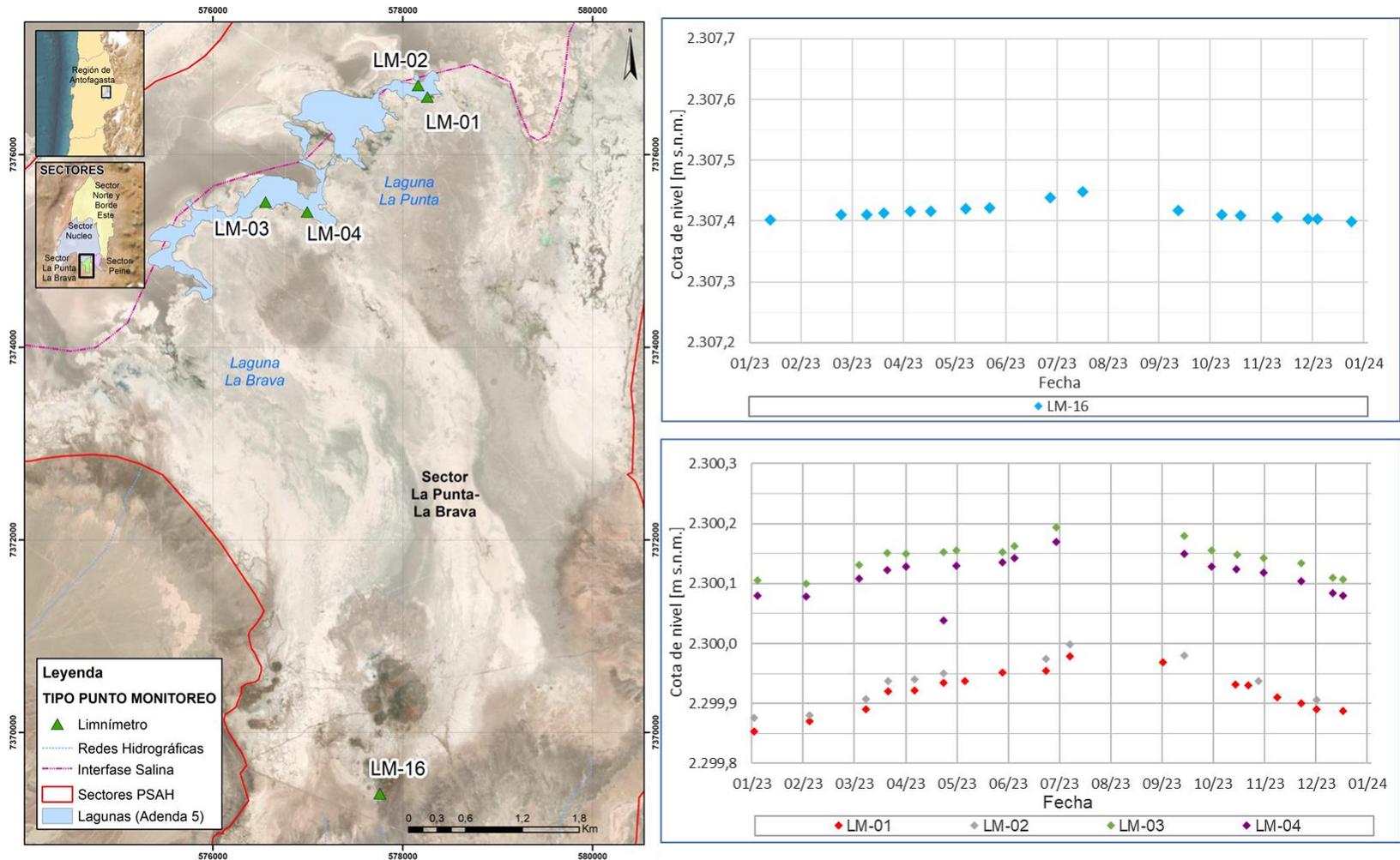
En particular en el gráfico de la Figura 5-16, se observa el comportamiento del punto de monitoreo LM-16, el que presenta una cota de nivel más alta que los otros puntos debido a que se ubica en la zona de vegas de Tilopozo. Durante el año 2023, se muestra estable con 0 cm (medido entre diciembre 2022 y diciembre 2023), las variaciones estacionales se presentan en torno a la cota de 2.307,448 m s.n.m., con una amplitud de oscilación estacional de 4,9 cm.

Además, en el gráfico de la Figura 5-16, se observan las mediciones de los puntos LM-01, LM-02, LM-03 y LM-04.

Durante el año 2023 los niveles se mantienen en general con variación estacional de nivel limnimétrico con aumentos y descensos estacionales esperados. Particularmente los puntos LM-01 y LM-02 muestran ascensos netos de 1 y 2 cm respectivamente (calculados entre diciembre 2022 y diciembre 2023). El punto LM-03 muestra un descenso neto de 1 cm (calculados entre diciembre 2022 y diciembre 2023), mientras que LM-04 se muestra estable con 0 cm (calculados para dic 2022 y dic 2023).

En el año 2023 también se observa que los puntos LM-01 y LM-02 muestran una amplitud anual de niveles que alcanza los 12 cm (en LM-01 y LM-02). Los puntos LM-03 y LM-04, comparados con los puntos LM-01 y LM-02, presentan mayores cotas limnimétricas y una amplitud anual de niveles ligeramente mayor que alcanza los 13 m (en LM-04) durante el año 2023.

Figura 5-16 Registro anual de nivel limnimétrico (2023), sector La Punta - La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Sector Peine

En el Sector Peine, existen 11 puntos de monitoreo de medición de nivel limnimétrico, de los cuales 7 son limnímetros: LM-05, LM-06, LM-07, LM-08, LM-09, LM-10, LM-17; y 4 son estacas: E1, E2, E3 y E4 (Tabla 5-14). La ubicación de estos puntos de monitoreo limnimétrico, se presenta en el mapa de la Figura 5-17. El monitoreo en el sector de Peine durante el año 2023 presenta meses con ausencia de datos (entre enero y marzo y desde octubre o noviembre hasta diciembre) debido a las restricciones de acceso a las lagunas por parte de la Comunidad de Peine por presencia de flamencos y/o por corresponder a la época de reproducción de esta especie, lo que se puede ver en detalle en la Tabla 5-14. El punto LM-05 no registra medidas para el año 2023.

Se considera muy importante poder contar con el acceso a todas las zonas, por un lado, para poder realizar todos los puntos establecidos por RCA y por otro, para poder hacer seguimiento de manera adecuada a la evolución de las componentes en el tiempo.

El registro de los niveles limnimétricos para el año 2023, se grafican en las Figura 5-17 y Figura 5-18, dada la escasa disponibilidad de puntos no permite realizar un análisis más detallado en relación a la tendencia o amplitudes.

En la Figura 5-16, se puede observar que las mediciones de los puntos de monitoreo LM-06 y LM-08, se encuentran en torno a los 2.299,93 m s.n.m. En el mismo periodo el punto LM-07, presenta cotas menores cercanas a 2.299,70 m s.n.m. En la misma Figura (Figura 5-16) se grafican los limnímetros LM-09 y LM-10, y las estacas: E1, E2, E3 y E4 ubicados en el sector de Laguna Interna, este grupo de puntos se encuentran entre niveles de 2.298,70 y 2.999,50 m s.n.m., para todo el periodo de registro de 2023.

En el gráfico de la Figura 5-18, pese a que faltan registros del año, se observa el comportamiento del punto de monitoreo LM-17, muestra una importante variación en su registro mínimo con 2.298,22 m s.n.m. y con un de máximo 2.298,40 m s.n.m., con una diferencia de 17,8 cm, segado por la información disponible. Este punto presenta registro entre los meses de marzo y octubre de 2023, principalmente debido a que se presenta seco en los meses de enero y febrero, y entre octubre y diciembre, además, en el mes de septiembre hubo restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine, conforme a la carta 2023 09 11 ALB-GMA-2023-SMA-048.

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
LM-05	01/01/2023	2.300,583	(1)		08/07/2023	2.300,583	(1)	
	05/02/2023	2.300,583	(1)		27/08/2023	2.300,583	(3)	
	20/02/2023	2.300,583	(4)		03/09/2023	2.300,583	(1)	
	04/03/2023	2.300,583	(1)		08/10/2023	2.300,583	(1)	
	20/03/2023	2.300,583	(1)		18/10/2023	2.300,583	(1)	
	02/04/2023	2.300,583	(1)		05/11/2023	2.300,583	(1)	
	27/04/2023	2.300,583	(1)		21/11/2023	2.300,583	(1)	
	02/05/2023	2.300,583	(1)		03/12/2023	2.300,583	(1)	
	22/05/2023	2.300,583	(1)		19/12/2023	2.300,583	(1)	
26/06/2023	2.300,583	(1)						
LM-06	01-01-23	2.300,776	(1)		08-07-23	2.299,922	0,854	2.299,922
	05-02-23	2.300,776	(1)		27-08-23	2.299,922	(3)	
	20-02-23	2.300,776	(4)		03-09-23	2.299,921	0,855	2.299,921
	04-03-23	2.300,776	(1)		08-10-23	2.299,921	(1)	
	20-03-23	2.300,776	(1)		18-10-23	2.299,921	(1)	
	02-04-23	2.300,776	(1)		05-11-23	2.299,921	(1)	
	27-04-23	2.300,776	0,855	2.299,921	21-11-23	2.299,921	(1)	
	02-05-23	2.300,776	0,852	2.299,924	03-12-23	2.299,921	(1)	
	22-05-23	2.300,776	0,854	2.299,922	19-12-23	2.299,921	(1)	
	26-06-23	2.300,776	0,851	2.299,925				
LM-07	11-01-23	2.300,447	(1)		22-07-23	2.300,447	0,755	2299.691
	05-02-23	2.300,447	(1)		12-08-23	2.300,447	(3)	
	20-02-23	2.300,447	(4)		04-09-23	2.300,447	0,760	2299.687
	04-03-23	2.300,447	(1)		12-10-23	2.300,447	0,762	2.299,685
	20-03-23	2.300,447	(1)		18-10-23	2.300,447	(1)	
	02-04-23	2.300,447	(1)		12-11-23	2.300,447	(1)	
	27-04-23	2.300,447	0,757	2299.69	21-11-23	2.300,447	(1)	
	02-05-23	2.300,447	0,756	2299.691	06-12-23	2.300,447	(1)	
	22-05-23	2.300,447	0,755	2299.692	19-12-23	2.300,447	(1)	
04-06-23	2.300,447	0,755	2299.692					
LM-08	11-01-23	2.300,542	(1)		22-07-23	2.300,542	(1)	
	05-02-23	2.300,542	(1)		12-08-23	2.300,542	(3)	
	20-02-23	2.300,542	(4)		04-09-23	2.300,542	0,672	2.299.870
	04-03-23	2.300,542	(1)		12-10-23	2.300,542	(1)	

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
	20-03-23	2.300,542	(1)		18-10-23	2.300,542	(1)	
	02-04-23	2.300,542	(1)		12-11-23	2.300,542	(1)	
	27-04-23	2.300,542	(1)		21-11-23	2.300,542	(1)	
	02-05-23	2.300,542	0,668	2.299,874	06-12-23	2.300,542	(1)	
	22-05-23	2.300,542	(1)		19-12-23	2.300,542	(1)	
	26-06-23	2.300,542	0,664	2.299,878				
LM-09	11-01-23	2.299,726	(1)		22-07-23	2.299,730	0,726	2.299,000
	05-02-23	2.299,726	(1)		12-08-23	2.299,726	(3)	
	20-02-23	2.299,726	(4)		04-09-23	2.299,730	0,746	2298.983
	04-03-23	2.299,726	(1)		12-10-23	2.299,730	0,753	2298.973
	20-03-23	2.299,726	(1)		18-10-23	2.299,730	0,752	2298.974
	02-04-23	2.299,726	(1)		12-11-23	2.299,726	(1)	
	27-04-23	2.299,726	(1)		21-11-23	2.299,730	(1)	
	02-05-23	2.299,726	0.725	2299.001	06-12-23	2.299,730	(1)	
	22-05-23	2.299,726	0.726	2299.000	19-12-23	2.299,730	(1)	
	04-06-23	2.299,726	0.723	2299.003				
LM-10	11-01-23	2.299,691	(1)		22-07-23	2.299,690	(1)	
	05-02-23	2.299,691	(1)		12-08-23	2.299,690	(3)	
	20-02-23	2.299,691	(4)		04-09-23	2.299,690	0,762	2298.929
	04-03-23	2.299,691	(1)		12-10-23	2.299,690	0,773	2298.918
	20-03-23	2.299,691	(1)		26-10-23	2.299,690	0,776	2298,915
	02-04-23	2.299,691	(1)		12-11-23	2.299,691	(1)	
	27-04-23	2.299,691	(1)		20-11-23	2.299,691	(1)	
	02-05-23	2.299,691	(1)		06-12-23	2.299,690	(1)	
	22-05-23	2.299,691	(1)		19-12-23	2.299,690	(1)	
	26-06-23	2.299,691	0,774	2.298,917				
LM-17	08-03-23	2.299,606	1.243	2298.363	06-08-23	2.299,606	1.341	2298.265
	29-03-23	2.299,606	1.217	2298.389	12-10-23	2.299,606	1.389	2298.217
	05-04-23	2.299,606	1.211	2298.395				
	18-04-23	2.299,606	1.212	2298.394				
	04-05-23	2.299,606	1.234	2298.372				
	23-05-23	2.299,606	1.249	2298.357				
	10-06-23	2.299,606	1.271	2298.335				
	16-07-23	2.299,606	1.322	2298.284				

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2023

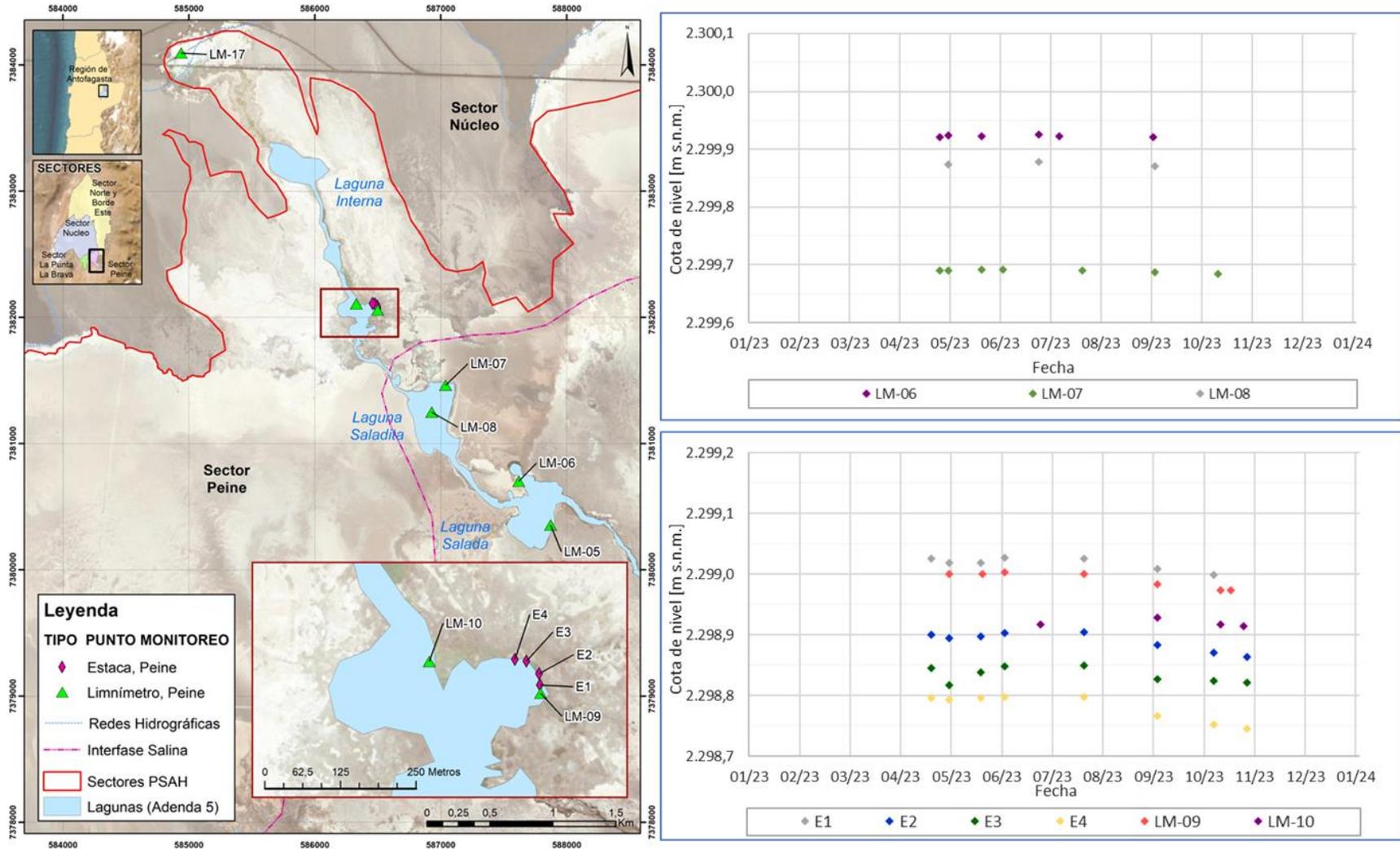
Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
E1	11-01-23	2.299,472		(1)	22-07-23	2.299,472	0,447	2.299,025
	05-02-23	2.299,472		(1)	12-08-23	2.299,472		(4)
	20-02-23	2.299,472		(4)	04-09-23	2.299,472	0,463	2.299,009
	04-03-23	2.299,472		(1)	08-10-23	2.299,472	0,473	2.298,999
	20-03-23	2.299,472		(1)	28-10-23	2.299,472		(2)
	02-04-23	2.299,472		(1)	12-11-23	2.299,472		(1)
	21-04-23	2.299,472	0.447	2299.025	29-11-23	2.299,472		(1)
	02-05-23	2.299,472	0.453	2299.019	06-12-23	2.299,472		(1)
	21-05-23	2.299,472	0.453	2299.019	19-12-23	2.299,472		(1)
	04-06-23	2.299,472	0.445	2299.027				
E2	11-01-23	2.299,453		(1)	22-07-23	2.299,453	0.548	2298.905
	05-02-23	2.299,453		(1)	12-08-23	2.299,453		(3)
	20-02-23	2.299,453		(4)	04-09-23	2.299,453	0,572	2298.884
	04-03-23	2.299,453		(1)	08-10-23	2.299,453	0.582	2298.871
	20-03-23	04-03-23		(1)	28-10-23	2.299,453	0.589	2298.864
	02-04-23	04-03-23		(1)	12-11-23	2.299,453		(1)
	21-04-23	2.299,453	0.553	2298.9	2.299,453	2.299,453		(1)
	02-05-23	2.299,453	0.558	2298.895	2.299,453	2.299,453		(1)
	21-05-23	2.299,453	0.556	2298.897	2.299,453	2.299,453		(1)
	04-06-23	2.299,453	0.550	2298.903				
E3	11-01-23	2.299,369		(1)	22-07-23	2.299,369	0.519	2298.85
	05-02-23	2.299,369		(1)	12-08-23	2.299,369		(3)
	20-02-23	2.299,369		(4)	04-09-23	2.299,369	0.541	2298.828
	04-03-23	2.299,369		(1)	08-10-23	2.299,369	0.545	2298.824
	20-03-23	2.299,369		(1)	28-10-23	2.299,369	0.548	2298.821
	02-04-23	2.299,369		(1)	12-11-23	2.299,369		(1)
	21-04-23	2.299,369	0.524	2298.845	29-11-23	2.299,369		(1)
	02-05-23	2.299,369	0.552	2298.817	06-12-23	2.299,369		(1)
	21-05-23	2.299,369	0.530	2298.839	19-12-23	2.299,369		(1)
	04-06-23	2.299,369	0.520	2298.849				
E4	11-01-23	2.299,503		(1)	22-07-23	2.299,503	0,705	2298.798
	05-02-23	2.299,503		(1)	12-08-23	2.299,503		(3)
	20-02-23	2.299,503		(4)	04-09-23	2.299,503	0,736	2298.767

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
	04-03-23	2.299,503	(1)		08-10-23	2.299,503	0,711	2298.753
	20-03-23	2.299,503	(1)		28-10-23	2.299,503	0.758	2298.745
	02-04-23	2.299,503	(1)		12-11-23	2.299,503	(1)	
	21-04-23	2.299,503	0.706	2298.797	29-11-23	2.299,503	(1)	
	02-05-23	2.299,503	0.709	2298.794	06-12-23	2.299,503	(1)	
	21-05-23	2.299,503	0.707	2298.796	19-12-23	2.299,503	(1)	
	04-06-23	2.299,503	0.705	2298.798				

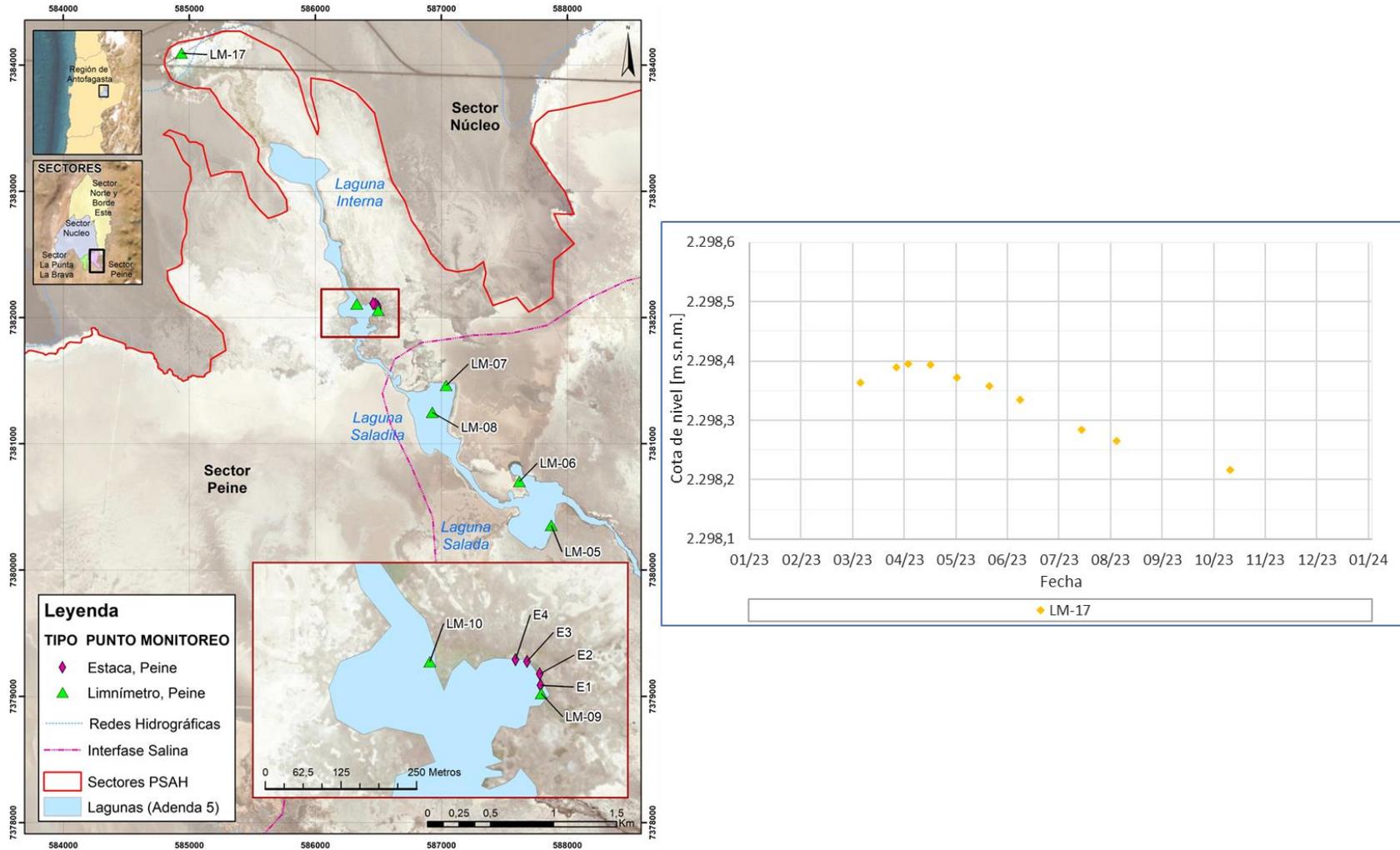
- (1) Restricción de acceso por parte de la Comunidad de Peine (época de reproducción)
- (2) Estaca averiada
- (3) Monitoreos suspendidos por Comunidad de Peine, se avisa a en el tercer trimestre según Carta ALB-GMA-2023-SMA-043
- (4) Sin autorización de ingreso al sector para medición quincenal por activación de PAT. Se registra fecha y hora para efectos del reporte.

Figura 5-17 Evolución anual (2023) de nivel limnimétrico en sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-18 Evolución anual (2023) de nivel limnimétrico en LM-17 en sector Peine



Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Sector Norte y Borde Este

En el Sector Norte y Borde Este, existen 4 puntos de monitoreo de medición de nivel limnimétrico, estos son: LM-11, LM-12 (Sistema Soncor), LM-13 y LM-14 (Aguas de Quelana). Los 4 limnímetros se ubican dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos, administrada por CONAF. Su ubicación se presenta en el mapa de la Figura 5-19 y los resultados de las mediciones de nivel efectuadas durante 2023 se presentan en la Tabla 5-15.

Durante el año 2023, al igual que para el sector de Peine, no se cuenta con todas las mediciones limnimétricas, principalmente, por restricción de acceso por parte de CONAF (carta N° 23/2022) periodos, el primer período en enero y marzo del año 2023, y el segundo periodo de septiembre hasta la diciembre 2023.

Tabla 5-15 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Norte y Borde Este, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
LM-11	12-01-23	2.299,865		(1)	20-07-23	2.299,865	1.102	2298.763
	09-02-23	2.299,865		(1)	10-08-23	2.299,865	1.110	2298.755
	23-02-23	2.299,865		(1)	24-08-23	2.299,865	1.116	2298.749
	09-03-23	2.299,865		(1)	15-09-23	2.299,865		(1)
	23-03-23	2.299,865	1.125	2298.740 ⁽²⁾	28-09-23	2.299,865		(1)
	06-04-23	2.299,865	1.112	2298.753	06-10-23	2.299,865		(1)
	20-04-23	2.299,865	1.118	2298.747	19-10-23	2.299,865		(1)
	11-05-23	2.299,865	1.115	2298.750	02-11-23	2.299,865		(1)
	25-05-23	2.299,865	1.109	2298.756	16-11-23	2.299,865		(1)
	01-06-23	2.299,865	1.110	2298.755	15-12-23	2.299,865		(1)
	22-06-23	2.299,865	1.110	2298.755	28-12-23	2.299,865		(1)
06-07-23	2.299,865	1.100	2298.765					
LM-12	12-01-23	2.299,732		(1)	20-07-23	2.299,732	0.755	2298.977
	09-02-23	2.299,732		(1)	10-08-23	2.299,732	0.759	2298.973
	23-02-23	2.299,732		(1)	24-08-23	2.299,732	0.761	2298.971
	09-03-23	2.299,732		(1)	15-09-23	2.299,732		(1)
	23-03-23	2.299,732	0.789	2298.943	28-09-23	2.299,732		(1)
	06-04-23	2.299,732	0.780	2298.952	06-10-23	2.299,732		(1)
	20-04-23	2.299,732	0.783	2298.949	19-10-23	2.299,732		(1)
	11-05-23	2.299,732	0.773	2298.959	02-11-23	2.299,732		(1)
	25-05-23	2.299,732	0.764	2298.968	16-11-23	2.299,732		(1)
	01-06-23	2.299,732	0.761	2298.971	15-12-23	2.299,732		(1)
	22-06-23	2.299,732	0.754	2298.978	28-12-23	2.299,732		(1)
06-07-23	2.299,732	0.750	2298.982					
LM-13	12-01-23	2.300,376	1.008	2299.368	06-07-23	2.300,376	0.911	2299.465
	26-01-23	2.300,376		(2)	20-07-23	2.300,376	0.915	2299.461
	09-02-23	2.300,376	0.914	2299.462	10-08-23	2.300,376	0.915	2299.461
	23-02-23	2.300,376		(3)	24-08-23	2.300,376	0.915	2299.461
	09-03-23	2.300,376	0.951	2299.425	15-09-23	2.300,376	0.920	2299.456
	23-03-23	2.300,376	0.922	2299.454	28-09-23	2.300,376	0.922	2299.454
	06-04-23	2.300,376	0.934	2299.442	06-10-23	2.300,376	0.940	2299.436
	20-04-23	2.300,376	0.935	2299.441	19-10-23	2.300,376	0.946	2299.430
	11-05-23	2.300,376	0.921	2299.455	02-11-23	2.300,376	0.962	2299.414
	25-05-23	2.300,376	0.916	2299.46	16-11-23	2.300,376	0.974	2299.402
	01-06-23	2.300,376	0.917	2299.459	15-12-23	2.300,376	0.990	2299.386
22-06-23	2.300,376	0.914	2299.462	28-12-23	2.300,376	1.000	2299.376	

Tabla 5-15 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Norte y Borde Este, año 2023

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
LM-14	12-01-23	2.300,496	(2)		06-07-23	2.300,496	0.888	2299.604
	26-01-23	2.300,496	(2)		20-07-23	2.300,496	0.888	2299.604
	09-02-23	2.300,496	0.890	2299.606	10-08-23	2.300,496	0.892	2299.601
	23-02-23	2.300,496	(3)		24-08-23	2.300,496	0.892	2299.579
	09-03-23	2.300,496	0.922	2299.574	15-09-23	2.300,496	0.892	2299.539
	23-03-23	2.300,496	0.894	2299.602	28-09-23	2.300,496	0.895	2299.485
	06-04-23	2.300,496	0.908	2299.588	06-10-23	2.300,496	0.917	2299.468
	20-04-23	2.300,496	0.910	2299.586	19-10-23	2.300,496	0.957	2299.456
	11-05-23	2.300,496	0.892	2299.604	02-11-23	2.300,496	1.011	2299.604
	25-05-23	2.300,496	0.890	2299.606	16-11-23	2.300,496	1.028	2299.604
	01-06-23	2.300,496	0.892	2299.604	15-12-23	2.300,496	1.040	2299.601
	22-06-23	2.300,496	0.890	2299.606	28-12-23			

(1) Restricción de acceso por CONAF, dada la época de reproducción de flamencos.

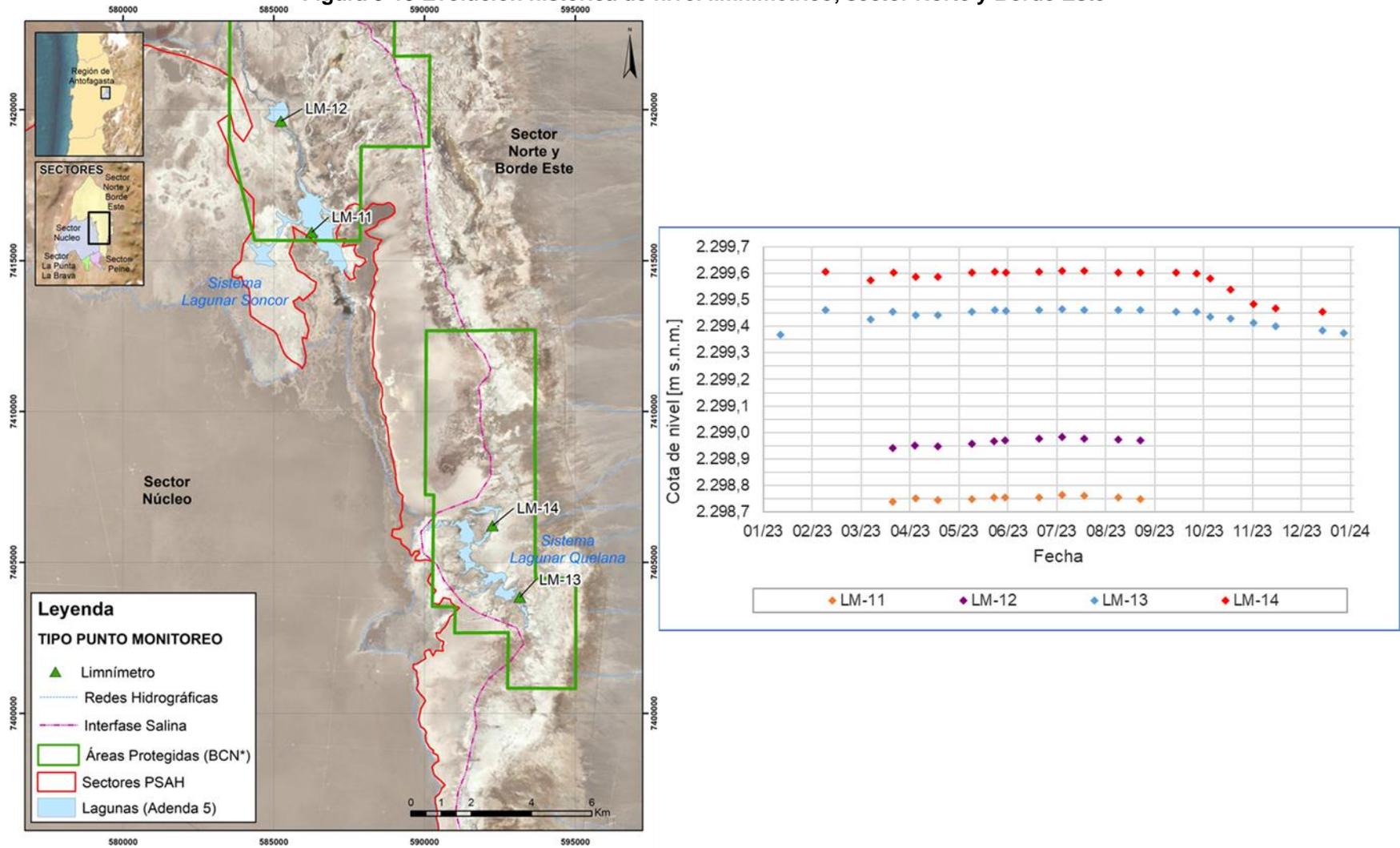
(2) Punto seco

(3) No se pide por falta de personal de CONAF.

Los niveles limnimétricos en el puntos LM-11 y LM-12 presentan datos de 6 meses lo que no permite observar su tendencia. Por otra parte, los puntos LM-13 y LM-14 presentan un descenso neto de entre 0,9 cm (LM-13, calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023) y 2,7 cm (LM-11 calculado entre agosto 2022 y agosto 2023).

Además, en la Figura 5-19, se observa que los puntos de control LM-11 y LM-12, ubicados en el sistema lagunar Soncor, presentan un comportamiento similar entre los meses con datos de marzo a agosto y un nivel en torno a los 2.298,75 m s.n.m (LM-11) y en torno a 2.298,95 m s.n.m. (LM-12). Se tiene que los puntos de control LM-13 y LM-14 (ver Figura 5-19) ubicados en el sistema lagunar Aguas de Quelana, presentan un comportamiento sincrónico, con variaciones estacionales de mayor amplitud en LM-14 con 15,2 cm (LM-13 9,7 cm de amplitud) y un comportamiento estabilizado para todo el periodo de 2023, con descensos netos muy similares en los puntos LM-13 y LM-14 de 0,9 cm y 1,0 cm respectivamente, calculados entre diciembre 2022 y diciembre 2023. Además se observa que a partir de octubre 2023, los puntos LM-13 y LM-14 (estos puntos cuentan con el registro posterior a septiembre) muestran descenso en su niveles a partir de octubre y desde noviembre siguen descendiendo, pero con menor pendiente.

Figura 5-19 Evolución histórica de nivel limnimétrico, sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.5 Caudales Superficiales

En el presente subcapítulo se muestran los resultados de medición de caudales de la red de monitoreo comprometida en el PSAH para el año 2023, conformada por 6 puntos de aforo (AFP-01, AFP-02, AFP-03, AFP-04, Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine), todos localizados en el sector Peine. La distribución de dichos puntos se muestra en el mapa de la Figura 5-20.

En la Tabla 5-16, se muestra el resumen de información de las mediciones por punto de aforo.

Los puntos AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04, se encuentran ubicados en el Sistema Lagunar Peine, formado por las lagunas Salada, Saladita e Interna; y los puntos Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine, los cuales corresponden a vertientes cuyos flujos provienen de las zonas cordilleranas. Se debe mencionar que el punto “Vertiente Peine”, corresponde al punto AFP-00 de la Adenda 5 del EIA del Proyecto.

Tabla 5-16 Resumen información puntos de medición de caudal de escorrentía superficial

Punto	Ubicación - Descripción	Periodo de registro	
		Primer	Último
AFP-01	Sistema Lagunar Peine - Vertiente	Septiembre 2014	Diciembre 2023 ⁽¹⁾
AFP-02	Sistema Lagunar Peine - Vertiente	Septiembre 2014	Diciembre 2023 ⁽¹⁾
AFP-03	Sistema Lagunar Peine - Vertiente	Septiembre 2014	Diciembre 2023 ⁽¹⁾
AFP-04	Sistema Lagunar Peine - Vertiente	Septiembre 2014	Diciembre 2023 ⁽¹⁾
Anterepresa Tilomonte	Quebrada	Septiembre 2014	Diciembre 2023
Vertiente Peine (AFP-00)	Vertiente	Septiembre 2014	Diciembre 2023

Nota: (1) Último dato medido en septiembre 2023, dado que en diciembre 2023 no se pudo por la restricción de ingreso establecido por la comunidad de Peine con motivo de la época de reproducción de flamencos (correo 13 de octubre 2022, Anexo L).

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de los caudales aforados durante las campañas del año 2023 en los puntos comprometidos se presentan en la Tabla 5-17. Durante el primer trimestre del año 2023 no se realizó la medición de caudal en ninguno de los puntos AFP-XX, debido a restricciones de ingreso establecidas por la comunidad de Peine dada la época de reproducción de flamencos (correo 13 de octubre 2022, Anexo L), con apertura para retomar mediciones el 3 de abril 2023 (carta de apertura Salada, Saladita e Interna, Anexo L).

Tabla 5-17 Resultados campañas de aforo año 2023

Punto	Caudal (l/s)							
	Trimestre 1		Trimestre 2		Trimestre 3		Trimestre 4	
	mar-23		jun-23		sept-23		dic-23	
AFP-01	(1)		63,3(3)	93(4)	60,7(3)	106(5)	(2)	
AFP-02	(1)		40,3(3)	60(4)	48,1(3)	57(5)	(2)	
AFP-03	(1)		56,3(3)	64(4)	39,5(3)	47(5)	(2)	
AFP-04	(1)		39,8(3)	58(4)	18,5(3)	23(5)	(2)	
Anterrepresa Tilomonte	43,4(3)	48(4)	50,5(3)	58(4)	35,4(3)	29(5)	29,9(3)	25,1(5)
Vertiente Peine	7,6(3)	9(4)	5,6(3)	9(4)	5,2(3)	3(5)	6,1(3)	6,2(5)

(1) En marzo 2023 no se realiza aforo, dada la restricción de ingreso establecidas por la comunidad de Peine, debido a la época de reproducción de flamencos (correo 13 de octubre 2022, Anexo L).

(2) Último dato medido en septiembre 2023, dado que en diciembre 2023 no se pudo por la restricción de ingreso establecido por la comunidad de Peine con motivo de la época de reproducción de flamencos (correo 13 de octubre 2022, Anexo L).

(3) Dato medido por Albemarle.

(4) Dato medido por SGS.

(5) Dato medido por ANAM.

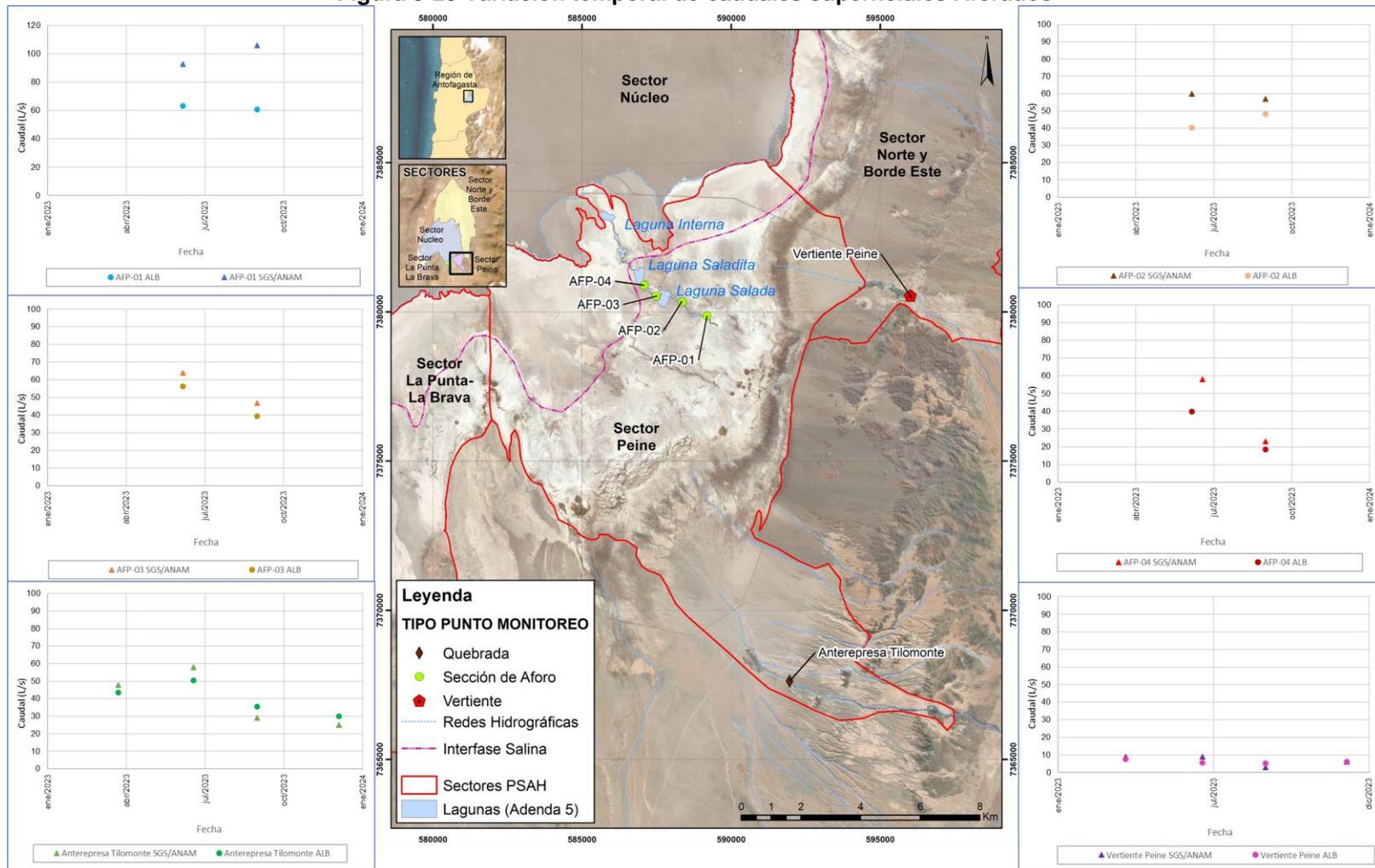
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-20 se muestra el registro del año 2023 de los caudales aforados en cada punto de monitoreo y la ubicación de estos.

Durante el año 2023 el máximo caudal fue registrado en el punto AFP-01 con un valor de 106 l/s en septiembre (medido por ANAM), y el menor caudal se registró en Vertiente Peine, con un valor de 3 l/s en septiembre (medido por ANAM) (Tabla 5-17).

En los puntos Anterepresa Tilomonte y Vertiente peine, se observa una oscilación en el periodo 2023, para el resto de los puntos es imposible determinar una tendencia debido a la cantidad de datos.

Figura 5-20 Variación temporal de caudales superficiales Aforados



Nota: Las mediciones en este gráfico son las realizadas por SGS para los 2 primeros trimestres y ANAM realiza los 2 últimos trimestres.
Fuente: Elaboración propia

5.6 Nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre

En el presente subcapítulo se exhiben los resultados de las mediciones del año 2023, del nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre medidos en los 124 puntos de monitoreo descritos en la sección 4.2.4 de este documento. Dichos resultados se presentan según los 4 sectores PSAH:

- La Punta - La Brava,
- Peine,
- Norte - Borde Este,
- y Núcleo.

Las mediciones del nivel freático se realizan de acuerdo con la RCA N°21/2016, con frecuencia mensual durante la operación normal del proyecto, y quincenal durante activaciones del Plan de Alerta Temprana (PAT) (ver sección 4.2.6). En particular, durante el año 2023 la frecuencia de monitoreo del nivel freático en salmuera y agua dulce/salobre, se vio aumentada a quincenal los meses de febrero, marzo y abril 2023, y se extendió hasta mayo 2023, debido a que no hubo coordinación durante el mes de febrero con la Comunidad de Peine y durante aquel mes, sólo se monitoreó con frecuencia quincenal parte de la red de monitoreo, en forma proactiva se extendió hasta mayo para cumplir a cabalidad el compromiso que consta de 3 meses con medición en monitoreo quincenal¹³.

Además, también se hicieron mediciones quincenales los meses de octubre, noviembre y diciembre 2023, por la activación del PAT Núcleo en Fase I¹⁴. El monitoreo del mes de diciembre 2023 coincidió también con la activación del PAT Acuífero.

Los resultados de las mediciones se presentan en metros sobre el nivel de mar (m s.n.m.) calculados a partir de la profundidad medida desde la cota collar hasta el nivel de agua y/o salmuera, y su cota topográfica equivalente. La base de datos histórica con las mediciones de nivel freático se incluye en el Anexo F-3 y los resultados del año 2023 se encuentran en el Anexo F-1.

Los multipiezómetros MP están habilitados en agua dulce/salobre (MP-XXA), en toda la columna de agua dulce/salobre – salmuera (MP-XXC) y salmuera (MP-XXB); cuando los puntos de la misma serie se comportan de forma similar en el año 2023, estos se analizan y grafican juntos, por ejemplo: MP-03A, MP-03B y MP-03C (ver Figura 5-22). En el caso que los puntos MP-XXB muestren un comportamiento notoriamente distinto a los de la serie A y C en

¹³ Este debido a la activación del PAT, en el sector de Alerta Acuífero en Fase Única entre el 31 de enero y 30 de julio del 2023.

¹⁴ Se activa con fecha 29 de septiembre y se informa mediante la carta ALB-GMA-2023-SMA-051, lo cual se mantiene hasta la última medición a la fecha (29 de diciembre de 2023)

el año 2023, el punto MP-XXB se analizará y graficará de forma separada, por ejemplo, el punto MP-05B se comporta diferente en relación con los puntos MP-05A y MP-05-C, lo que se puede ver en la Figura 5-23, que muestra que el punto MP-05B presenta mediciones de niveles menores (en torno a 2.299,5 m s.n.m.) en comparación a los puntos MP-05A y MP-05-C (entre 2.301,0 y 2.302,0 m s.n.m.).

Para la descripción y análisis de resultados, es importante tener a la vista que durante el año 2023 se registraron los siguientes eventos de precipitación¹⁵:

- En febrero 2023, la estación meteorológica EM – Chaxa registró una precipitación de 36,57 mm.
- En marzo 2023, la estación meteorológica EM – Rockwood registró una precipitación de 21,2 mm.
- En la estación meteorológica EM – KLC, no se registraron precipitaciones relevantes con un registro de 0,3 mm en abril 2023.

5.6.1 Sector La Punta – La Brava

En el sector La Punta-La Brava la red de monitoreo de niveles se compone de 39 puntos, (20 piezómetros someros, 17 multipiezómetros y 2 expresiones superficiales del nivel freático: vertiente Tilopozo y Pozo Zanja Tucúcaro) descritos en la sección 4.2 Variables Ambientales, Parámetros y Ubicación de los Puntos de Medición y Muestreo de este informe. Su ubicación se muestra en (ver ubicación en la Figura 5-21). En la Tabla 5-18 se indica el periodo de registro histórico disponible de cada punto de monitoreo y en Anexo F-1 se entregan todos los registros para el año 2023.

Los puntos de monitoreo se han clasificado según su distribución espacial en 5 zonas para su descripción en el presente documento:

1. Zona Norte Lagunas,
2. Zona Centro Lagunas,
3. Zona Este Lagunas,
4. Zona Sur Lagunas, y
5. Zona Borde Sur (Tucúcaro y vegas de Tilopozo)

¹⁵ Las estaciones mencionadas son las relevantes para el presente informe y coherentes con lo presentado en el Tercera Actualización (ALBEMARLE-VAI 2023), en dicho informe se usan 4 estaciones para calcular el gradiente de precipitación en relación a los sectores PSAH, estas son: EM-Chaxa EM-SCL/EM – Rockwood, EM – KLC y EM-Peine, para el presente informe se consideran 3 de dichas estaciones, dado que no se considera EM-Peine, porque no cuenta con datos desde junio 2020.

Tabla 5-18 Periodo de registro red de monitoreo del sector LP-LB

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
Norte de las lagunas	BA-01	07/09/2013	24/12/2023	17	19
	BA-09	20/10/2013	24/12/2023	17	19
	BA-11	19/08/2013	24/12/2023	17	19
Centro de las lagunas	BA-02	19/08/2013	24/12/2023	17	19
	BA-03	18/08/2013	24/12/2023	17	19
	BA-06	17/05/2013	30/12/2023	17	19
	BA-10	07/09/2013	24/12/2023	17	19
	BA-12	19/08/2013	24/12/2023	17	19
	BA-13	19/08/2013	24/12/2023	17	19
Este de las lagunas	BA-27	07/06/2015	23/12/2023	17	19
Sur de las lagunas	BA-04	22/06/2013	30/12/2023	17	19
	BA-05	17/05/2013	29/12/2023	18	20
	BA-07	17/05/2013	29/12/2023	18	20
	BA-08	17/05/2013	17/12/2023	18	19
	BA-14	21/06/2013	17/12/2023	18	19
	BA-15	21/06/2013	17/12/2023	18	19
	BA-16	17/05/2013	29/12/2023	18	20
	BA-25	18/08/2013	30/12/2023	17	19
	MP-01A	22/10/2013	17/12/2023	18	19
	MP-01B	25/10/2013	17/12/2023	18	19
	MP-01C	22/10/2013	17/12/2023	18	19
	MP-03A	22/10/2013	26/12/2023	17	19
	MP-03B	25/10/2013	26/12/2023	17	19
MP-03C	22/10/2013	26/12/2023	17	19	
Borde Sur (Tucúcaro y vegas de Tilopozo)	MP-04A	22/10/2013	25/12/2023	17	19
	MP-04B	14/01/2014	25/12/2023	17	19
	MP-04C	22/10/2013	25/12/2023	17	19
	MP-05A	22/10/2013	21/12/2023	17	19
	MP-05B	25/10/2013	21/12/2023	17	19
	MP-05C	22/10/2013	21/12/2023	17	19
	MP-06A	22/10/2013	21/12/2023	17	19
	MP-06B	25/10/2013	21/12/2023	17	19

Tabla 5-18 Periodo de registro red de monitoreo del sector LP-LB

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
	MP-06C	22/10/2013	21/12/2023	17	19
	MP-09A	12/07/2016	25/12/2023	17	19
	MP-09C	12/07/2016	25/12/2023	17	19
	Tilopozo	28/01/2001	31/12/2023	17	19
	TIL-P03	14/07/2015	31/12/2023	17	19
	TUC-P06	10/06/2015	31/12/2023	17	19
	Tucúcaro	28/01/2001	31/12/2023	17	19

Realizadas : Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezometrico.

Totales : Total de intentos de medición, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no puedo registrarse el nivel piezometrico.

Fuente: Elaboración propia

5.6.1.1 Zona Norte de las lagunas

En la Zona Norte de las lagunas, se monitorea el nivel freático en 3 piezómetros someros (BA-01, BA-09, y BA-11) con profundidades de perforación máximas de 2 m.

En la Figura 5-21 se muestra el gráfico de la evolución de los niveles freáticos monitoreados en el 2023, donde se aprecia que, en relación a las oscilaciones estacionales, estos 3 puntos presentan valores máximos tardíos en el mes de septiembre, se debe considerar que no se cuenta con el dato de agosto 2023, lo que puede sesgar este análisis.

Durante el año 2023, las cotas del nivel freático variaron entre los 2298,915 (BA-11 en febrero) y los 2299,213 m s.n.m. (BA-01 en septiembre), mostrando amplitudes estacionales de entre 12 cm (BA-01) y 16 cm (BA-11). Sin variación neta de nivel en los puntos BA-01 y BA-09, calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023, y con descensos netos de 1 cm (BA-11), calculado en la misma fecha.

Los niveles no mostraron aumentos abruptos relacionados a las precipitaciones sobre 10 mm ocurridas en el año 2023 (21,1 mm en marzo en EM-Rockwood, y de 36,57 mm en febrero EM-Chaxa).

5.6.1.2 Zona Centro de las lagunas

La Zona Centro de las lagunas es monitoreada por 6 piezómetros someros (BA-02, BA-03, BA-06, BA-10, BA-12 y BA-13). Estos puntos cuentan con datos desde el año 2013 a 2023. Estos piezómetros son someros y muestran profundidades de perforación máximas de 2 m.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático en esta zona varió entre 2299,210 y 2299,986 m s.n.m. medidos en BA-12 (febrero) y en BA-03 (septiembre), respectivamente. Con una amplitud estacional de entre 22 cm (BA-03) a 31 cm (BA-02), y descensos netos de entre 1 cm (BA-10) y 3 cm (BA-06), calculado para diciembre 2022 y diciembre 2023.

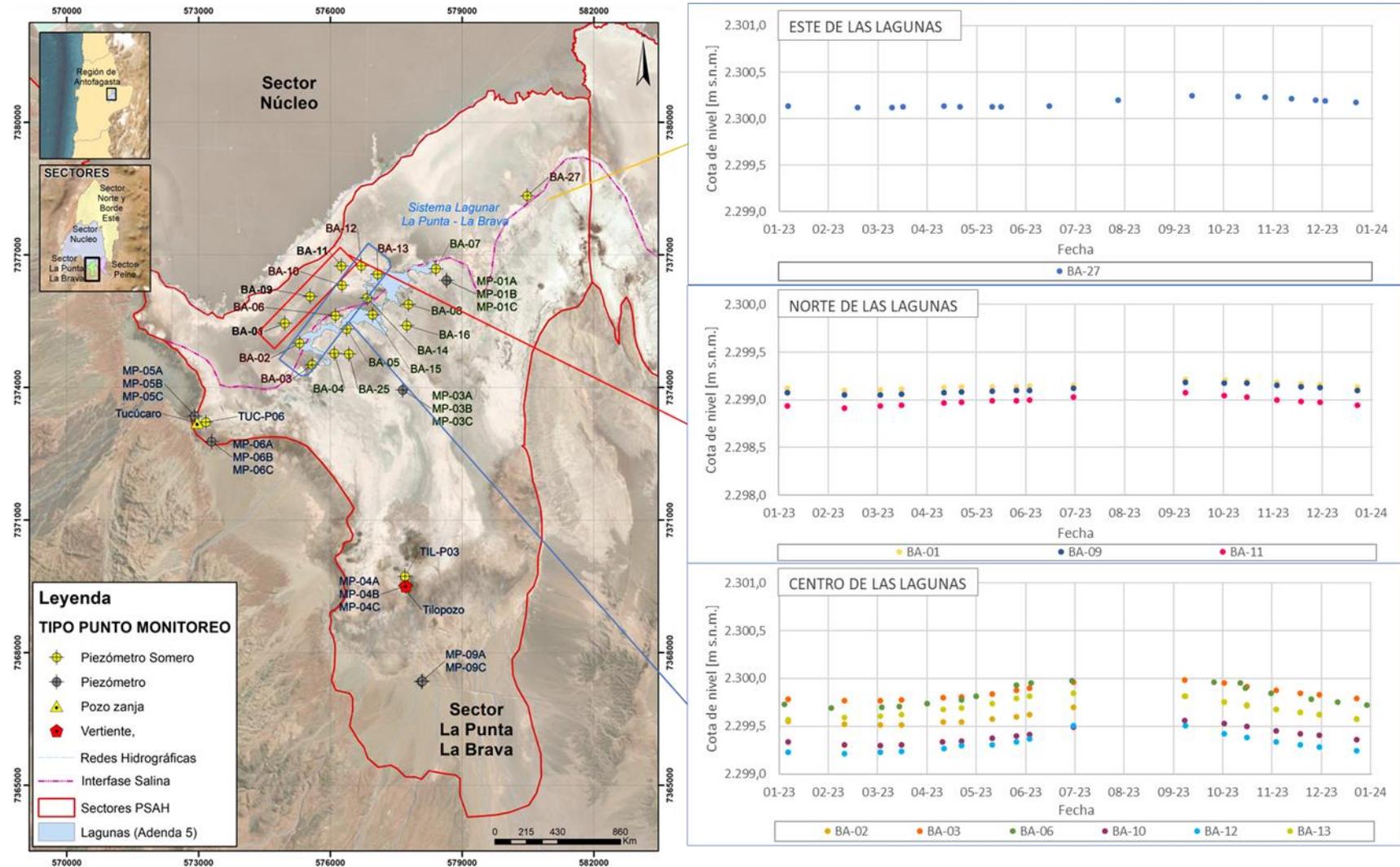
Los niveles freáticos de este sector, al igual que la Zona Norte de las lagunas no mostraron aumentos abruptos relacionados a las precipitaciones mayores ocurridas en el año 2023 (21,1 mm en marzo en EM-Rockwood, y de 36,57 mm en febrero EM-Chaxa), con valores máximos tardíos en el mes de septiembre, se debe tener en cuenta que no se cuenta con el dato de agosto 2023, por lo que este análisis está sesgado.

5.6.1.3 Zona Este de las lagunas

En la Zona Este de las lagunas se cuenta con un único punto de medición, el piezómetro somero BA-27, el cual tiene una profundidad de 1,89 m, es somero al igual que los piezómetros de las Zona norte y Zona centro de las lagunas.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático varió entre 2300,122 (febrero) y 2300,250 (septiembre) m s.n.m., lo que equivale a una amplitud estacional, de 13 cm y presentó un ascenso neto de 2 cm, entre diciembre 2022 y diciembre 2023. Los niveles de este punto de monitoreo no mostraron aumentos abruptos relacionados a las precipitaciones importantes ocurridas en el año 2023 (21,1 mm en marzo en EM-Rockwood, y de 36,57 mm en febrero EM-Chaxa), con valor máximo de nivel en el mes de septiembre (tardío, ya que era esperable que los máximos ocurriesen en junio o julio) en este caso se cuenta con todos los del periodo), al igual que las zonas Norte y Centro. Además, se hace importante mencionar, que el año 2022 también había presentado el máximo en el mismo mes de septiembre.

Figura 5-21 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava, para el año 2023



Fuente: Elaboración propia

5.6.1.4 Zona Sur de las lagunas

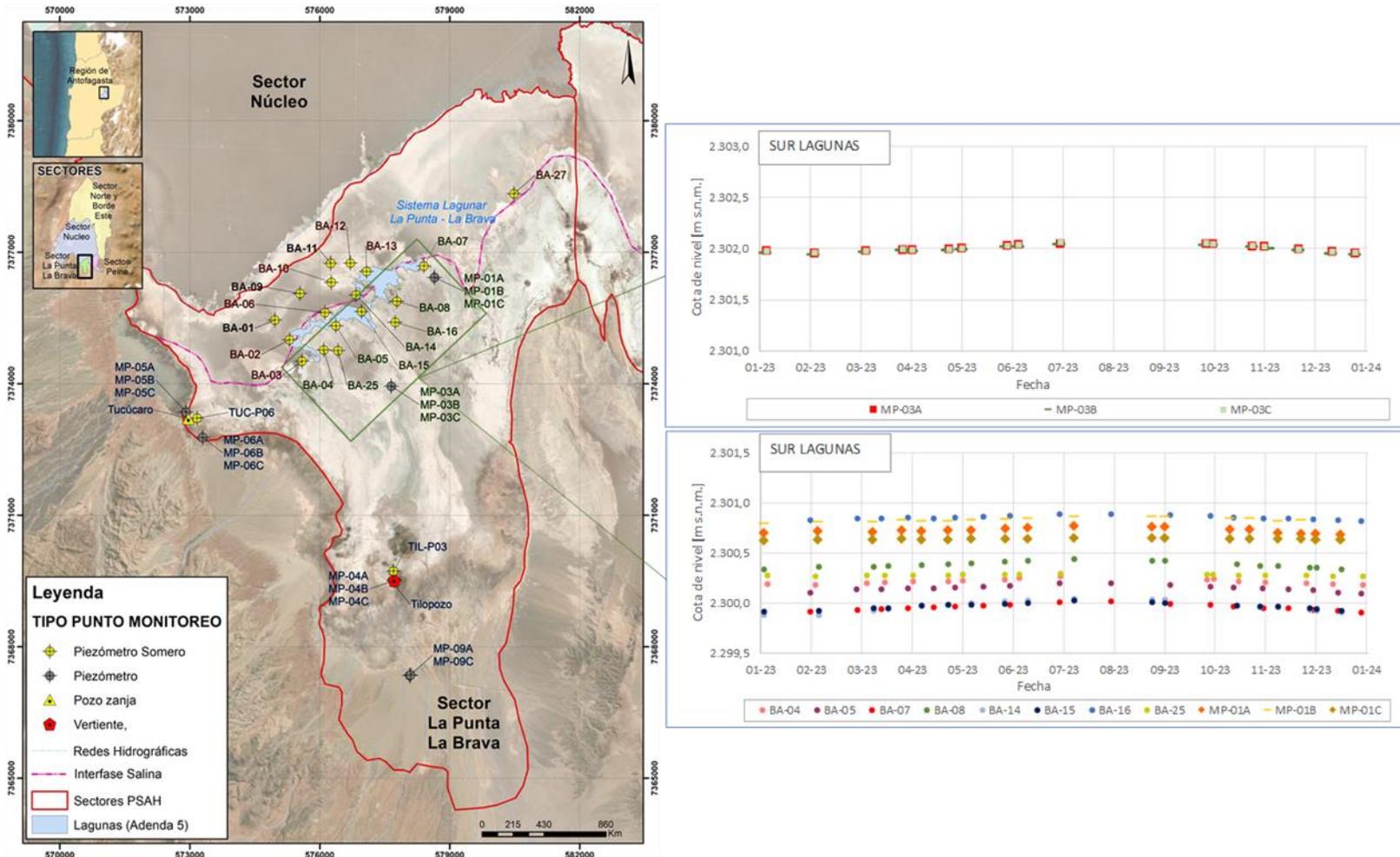
En la Zona Sur de las lagunas, se monitorean 14 puntos, de los cuales 8 son piezómetros someros (BA-04, BA-05, BA-07, BA-08, BA-14, BA-15, BA-16 y BA-25) de menos de 2 m de profundidad y 6 son multipiezómetros (MP-01A a C y MP-03A a C) que cuentan con tres habilitaciones, una somera en el acuífero de agua salobre (A), una profunda (B) en la salmuera y una instalación habilitada en todo su espesor (C), en toda la columna de agua dulce/salobre – salmuera.

Como se menciona anteriormente los puntos MP de la serie B captan salmuera en el caso del punto MP-01B en diciembre 2023 se comporta distinto a los puntos MP-01A y MP-01C, pero este dato se considera anómalo, por lo que se gráfica y analiza junto a los otros puntos, y se tiene además que el punto MP-03B, que muestra un comportamiento similar a MP-03A y MP-03C, por lo que también se analizan juntos.

Los niveles freáticos de los puntos de monitoreo de esta zona, al igual que las zonas analizadas anteriormente no muestran aumentos abruptos de nivel asociado a las precipitaciones sobre 20 mm ocurridas en el año 2023 (21,1 mm en marzo en EM-Rockwood, y de 36,57 mm en febrero EM-Chaxa).

Durante el 2023 el nivel freático en la Zona Sur de las lagunas presentó valores entre 2299,887 m s.n.m. y 2302,063 m s.n.m., medidos en BA-14 en febrero y MP-03C en julio, respectivamente, con amplitudes estacionales de entre 2 a 16 cm en los puntos BA-25 y BA-14, respectivamente. Se observa que los puntos BA-08, BA-25 y MP-01C, se mantienen relativamente constantes registrando 0 cm de variación neta entre diciembre 2022 y diciembre 2023, por otra parte, los puntos BA-04, BA-05, BA-07, BA-14, BA-15, BA-16, MP-01A, MP-03A, MP-03B y MP-03C descienden en su nivel neto entre 1 cm (BA-16, BA-14, BA-15, BA-04 y BA-07) y 3 cm (MP-01A).

Figura 5-22 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.6.1.5 Zona Borde Sur

En la Zona Borde Sur, más al Sur de las lagunas, se monitorean los niveles freáticos de 15 puntos (11 son multipiezómetros y 4 piezómetros someros). Los multipiezómetros MP de la serie A, tienen profundidades entre 20 y 40 m, los de la serie B son más profundos y están habilitados por debajo de la interfase, en la salmuera, y los de la serie C están habilitados completos, con profundidades de hasta 120,5 m (MP-04C). Los piezómetros someros son, entre otros, los puntos TIL-P03 y TUC-P06 con profundidades entorno a los 2 m. Los otros puntos someros del sector son el Pozo Tucúcaro y la vertiente Tilopozo, que corresponden a puntos de extracción de agua industrial.

En los hidrogramas de las Figura 5-23 y Figura 5-24 se hace la distinción entre los piezómetros MP de la serie B, dado que están habilitados en la salmuera que el resto de los puntos y muestran un comportamiento distinto, asociado a que están captando la salmuera que está en profundidad.

Sector Tucúcaro

En la Figura 5-23, se muestra el gráfico de los datos anuales del nivel freático, de los puntos monitoreados MP-05A, MP-05B, MP-05C, MP-06A, MP-06B, MP-06C, TUC-P06 y pozo Tucúcaro, todos ubicados en el sector Tucúcaro. Los puntos MP-05B y MP-06B, se comportan distinto a los puntos de su serie, por lo que se grafican y analizan de forma separada.

Durante el año 2023 para los puntos: MP-05A, MP-05C, MP-06A, MP-06C, TUC-P06 y pozo Tucúcaro, la cota del nivel freático se registró entre los 2301,287 (TUC-P06 medido en diciembre) y 2303,786m s.n.m, (MP-06C medido en septiembre).

Los puntos MP-05A, MP-05C, MP-06A, MP-06C y TUC-P06 y muestran oscilación estacional, que va de 11 cm (MP-06C) a 26 cm (TUC-P06), con descensos neto entre 2 cm (MP-05C, MP-06A y MP-06C) y 9 cm (MP-05A y TUC-P06), calculado entre diciembre 2022 a diciembre 2023. El punto Tucúcaro presenta niveles con descensos netos 15 cm, calculado entre diciembre 2022 a diciembre 2023, los niveles medidos en este punto son niveles dinámicos.

En el punto MP-05B que mide salmuera, muestra un registro cota de nivel freático entre los 2.299,283 (diciembre) y los 2.299,328 m s.n.m. (octubre), y presentó un descenso neto de 5 cm, calculado entre diciembre 2022 a diciembre 2023.

El punto MP-06B que también mide salmuera, se tiene que la cota del nivel freático se registró entre los 2303,861 (septiembre) y los 2304,000 m s.n.m. (enero), y presenta un descenso neto de 13 cm, calculado entre diciembre 2022 a diciembre 2023.

Sector Vegas de Tilopozo

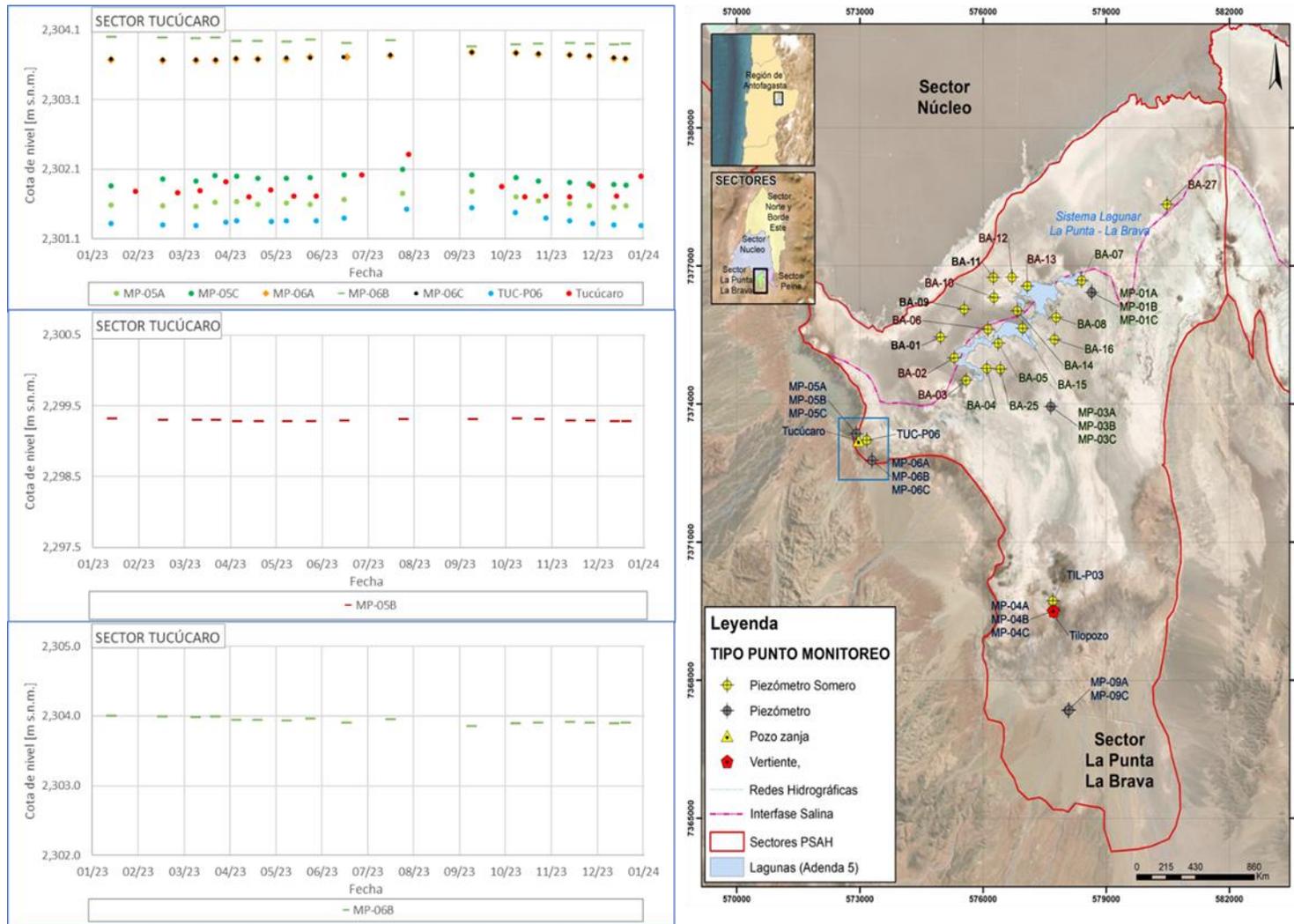
Durante el año 2023 para los puntos: MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C y TIL-P03, la cota del nivel freático se registró entre los 2305,380 (TIL-P03 en diciembre) y 2309,145 m s.n.m. (MP-09C en septiembre).

Los puntos MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C y TIL-P03 presenta niveles con descensos netos entre 3 cm (MP-04A) y 12 cm (TIL-P03), calculado entre diciembre 2022 a diciembre 2023. Los puntos MP-04A, MP-04C, MP-09A y MP-09C muestran amplitudes de entre 5 cm (MP-09A y MP-09C) y 8 cm (MP-04C), por otra parte el punto TIL-P03 muestra una amplitud de 31 cm.

Tilopozo presenta mayores descensos netos de nivel con 16 cm, en el mismo período, los niveles en este punto son niveles dinámicos, dado que es un punto de extracción.

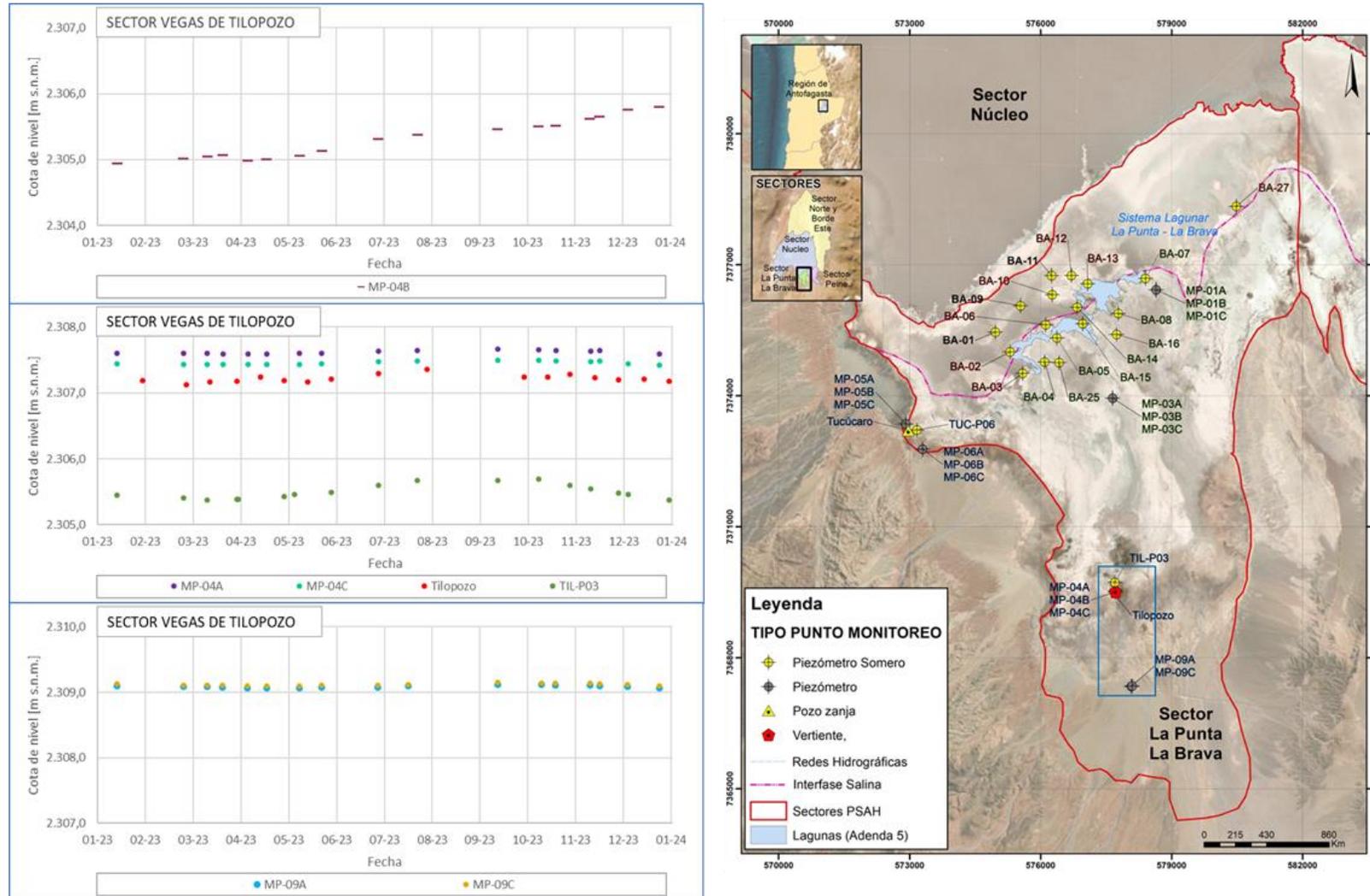
Por otra parte, en la salmuera, el punto MP-04B registró la cota del nivel piezométrico entre los 2304,944 m s.n.m (enero) y 2305,808 m s.n.m. (diciembre), con un ascenso neto de 82 cm, calculado entre diciembre 2022 a diciembre 2023.

Figura 5-23 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-24 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Vegas de Tilopozo, sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Sector Peine

En el sector de Peine, la red de monitoreo se compone de 21 puntos (9 piezómetros someros, 9 multipiezómetros y 3 pozos), ubicados según muestra el mapa de la Figura 5-24. La Tabla 5-19 presenta el periodo registro de mediciones en cada punto y en Anexo F-1 se entregan todos los registros para el año 2023.

Los puntos de monitoreo se han clasificado según su distribución en 4 zonas:

- Zona Laguna Interna
- Zona Media Lagunas
- Zona Inicio Laguna Salada
- Zona Borde Este y Sur de Peine

El análisis en el Sector de Peine esta sesgado por la falta de datos de niveles en el año 2023, debido principalmente a las restricciones de acceso al área por la Comunidad de Peine.

Tabla 5-19 Periodo de registro red de monitoreo del sector Peine

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
Laguna interna	BA-17	17/06/2013	23-12-2023(1)	6	19
	BA-18	17/06/2013	25-12-2023(2)	10	19
	BA-19	17/06/2013	25-12-2023(2)	10	19
	BA-20	17/06/2013	25-12-2023(2)	9	19
	BA-23	21/05/2013	19-12-2023(2)	9	19
	MPS-CA	24/10/2013	22-12-2023(2)	9	19
	MPS-CB	24/10/2013	22-12-2023(2)	9	19
	MPS-CC	24/10/2013	22-12-2023(2)	9	19
Media lagunas	BA-21	21/05/2013	29-12-2023(2)	9	19
	BA-22	10/09/2013	29-12-2023(2)	9	19
	MPS-AA	24/10/2013	22-12-2023(2)	8	19
	MPS-AB	24/10/2013	22-12-2023(2)	8	19
	MPS-AC	24/10/2013	22-12-2023(2)	8	19
Inicio laguna Salada	BA-28	09/07/2015	29-12-2023(2)	10	20
	BA-30	09/07/2015	29-12-2023(2)	10	20
Borde este y sur de Peine	MP-07A	25/09/2016	27/12/2023	17	19
	MP-07C-1	01/09/2016	27/12/2023	17	19
	MP-08A	01/08/2016	27/12/2023	18	19

Tabla 5-19 Periodo de registro red de monitoreo del sector Peine

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
	PP-01	11/07/2016	27/12/2023	17	19
	PP-02	25/09/2016	26/12/2023	17	19
	PP-03	01/08/2016	26/12/2023	17	19

(1) Algunas medidas no se mide por pozo seco (más detalle ver Anexo F-1).

(2) Algunas fechas de monitoreo no contaron con la autorización de ingreso por Comunidad de Peine, dada la época de reproducción de flamencos (más detalle en Anexo F-1).

Realizadas: Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezométrico.

Totales : Total de intentos de medición, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no puedo registrarse el nivel piezométrico.

Fuente: Elaboración propia

La representación gráfica de los registros de niveles del sector Peine y las diferentes zonas que se describen a continuación, se presentan en la siguientes Figura 5-25 y Figura 5-26.

5.6.2.1 Zona Laguna Interna

En esta zona se monitorean 8 puntos, los que corresponden a 5 piezómetros someros (BA-17, BA-18, BA-19, BA-20 y BA-23) más 3 puntos del multipiezómetro somero de la serie MPS-CA a MPSC-C. El punto MPS-CB se comporta similares a MPS-CA y MPSC-C, por lo que se grafican y analizan juntos.

Debido principalmente a las restricciones de acceso al área por la Comunidad de Peine, dada la época de reproducción de flamencos (de octubre a marzo), en el año 2023 no se pudieron medir los niveles en los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre, en ningún punto (detallado en el Anexo F-1), excepto el punto BA-17 que ha permanecido seco gran parte del año, presentándose columna de agua sobre el sensor solamente en los meses de marzo, abril y mayo de 2023, lo cual se puede asociar a las precipitaciones registradas en marzo 2023 en la estación meteorológica EM – Rockwood con 21,2 mm.

Los puntos MP-05B y MP-06B, se comportan distinto a los puntos de su serie, por lo que se grafican y analizan de forma separada.

En esta zona se registró durante el año 2023, la cota del nivel freático entre los 2298,133 y 2299,435 m s.n.m. medidos en MPS-CC (octubre) y en BA-23 (abril), respectivamente.

El punto MPS-CB, presenta a un ascenso en su nivel neto de 2 cm, calculado entre octubre 2022 a octubre 2023, y en el punto MPS-CA se presenta ascenso neto de 1 cm en el mismo período. Por otra parte, el punto BA-23, muestra un nivel estable con 0 variación neta, calculado entre septiembre 2022 a septiembre 2023 y el resto de los puntos (BA-17, BA-18,

BA-19, BA-20 y MPS-CC) presenta descensos netos entre 1 cm (BA-17; calculado entre mayo 2022 y mayo 2023¹⁶) y 6 cm (BA-18 y BA-19; calculado entre octubre 2022 y octubre 2023).

5.6.2.2 Zona Media Lagunas

Este sector es monitoreado en 5 puntos -(BA-21 y BA-22, y MPS-AA a MPS-AC). Los puntos más profundos (serie B y C) se comportan similares, por lo que se analizan juntos.

Durante el año 2023 para todos los puntos, la cota del nivel freático se registró entre los 2299,443 (MPS-BA en octubre) y 2300,300 m s.n.m. (BA-22 en julio).

Los puntos BA-21, BA-22, MPS-AA, MPS-AB y MPS-AC muestran ascensos netos entre 1 cm (MPS-AA, MPS-AB y MPS-AC) y 2 cm (BA-21 y BA-22), calculado en los puntos de la serie BA-XX entre septiembre 2022 y septiembre 2023, y para los puntos de la serie MPS-XX, entre octubre 2022 y octubre 2023, dada la disponibilidad de datos.

5.6.2.3 Zona Inicio Laguna Salada

Este sector es monitoreado en 2 piezómetros someros (BA-28 y BA-30), con profundidades inferiores a los 2 metros.

La representación gráfica del registro anual de niveles se presenta en la Figura 5-25 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático se registró entre los 2300,683 y 2301,595 m s.n.m. medidos en BA-28 (abril) y en BA-30 (junio), respectivamente.

El punto BA-30 muestran el nivel estable con variación de 0 cm, calculado entre septiembre 2022 y septiembre 2023 (dada la disponibilidad de datos). Por otra parte, el punto BA-28 presenta descensos netos de 1 cm, calculado entre septiembre 2022 y septiembre 2023 (dada la disponibilidad de datos).

Este sector presenta amplitud estacional, para el año 2023 es de 5 cm (BA-28) y 7 cm (BA-30).

¹⁶ Dada la disponibilidad de datos
Informe N°8 del PSAH

5.6.2.4 Zona Borde Este y Sur de Peine

La red de monitoreo del sector corresponde exclusivamente a piezómetros profundos, dada su ubicación alejada de los cuerpos de agua en superficie y cercana a la zona del piedemonte del frente de montaña. Por la proximidad al acuífero aluvial que se desarrolla en este sector, la red de monitoreo es sensible a los aportes provenientes desde las subcuencas producto de eventos de precipitación o deshielo, al igual que aluviones que hacen su descarga en el sector marginal del Salar de Atacama.

La red está compuesta por 6 puntos, de los cuales 3 corresponden a multipiezómetros de la serie MP-XX (MP-07A, MP-07C-1, MP-08A) y 3 a la serie PP-XX (PP-01 a PP-03)¹⁷. La representación gráfica del registro anual de niveles se presenta en Figura 5-26 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

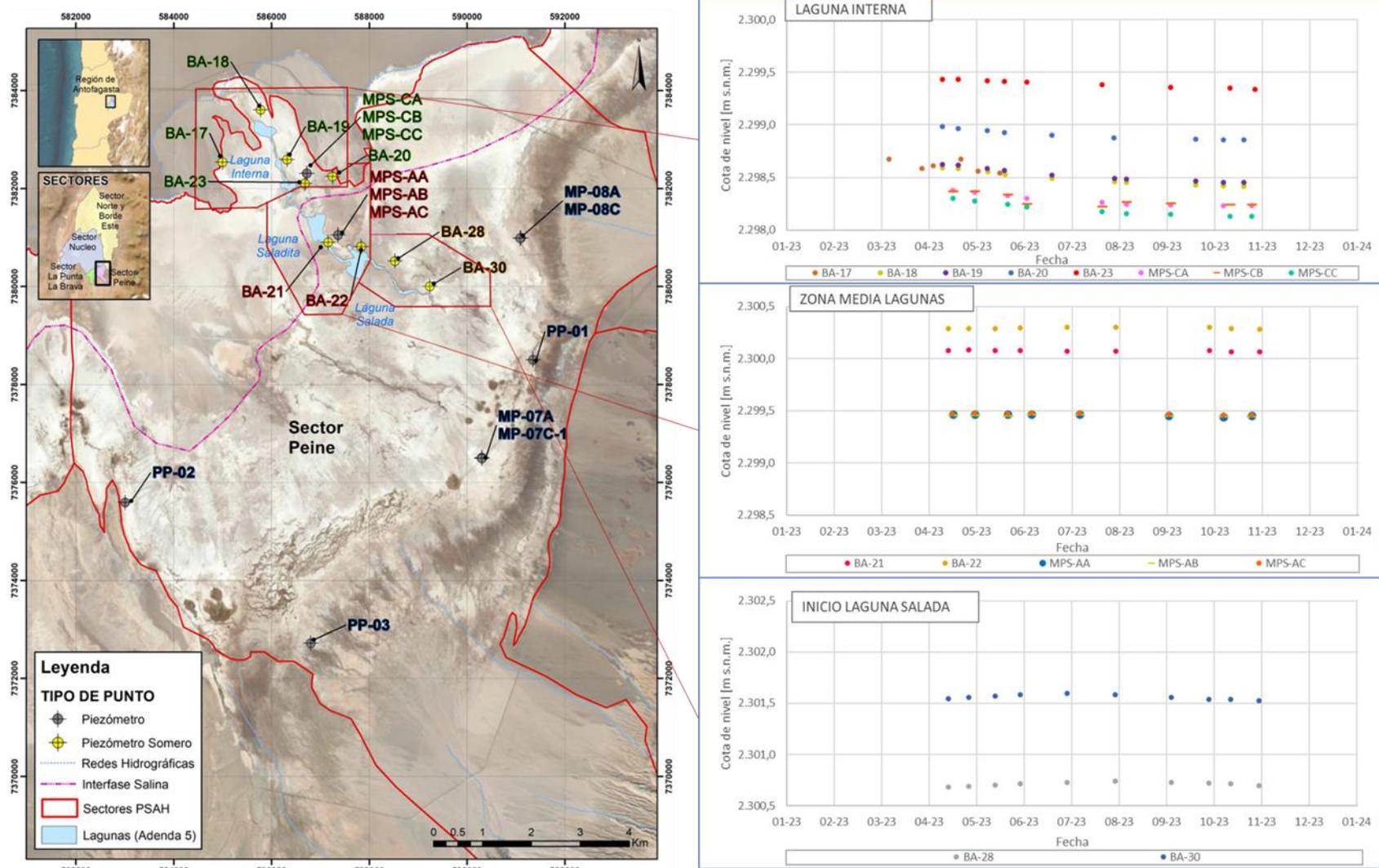
Durante el año 2023, la cota del nivel freático se registró entre los 2302,574 y 2308,623 m s.n.m. medidos en MP-08A (marzo) y en PP-03 (octubre), respectivamente.

El punto PP-02 muestra niveles con ascensos netos de 1 cm entre diciembre 2022 y diciembre 2023 que es diferente a lo que se observa en los otros puntos del sector y se debe tener en cuenta que este punto fue chocado (detalles en sección 4.4). Por otra parte, los puntos MP-07A, MP-07C-1, MP-08A, PP-01 y PP-03 presentan niveles con descensos netos entre 1 cm (MP-08A y PP-03) y 7 cm (MP-07A), calculado para diciembre 2022 y diciembre 2023.

Este sector presenta amplitud estacional, la que se calcula para el año 2023, es entre 5 y 19 cm en los puntos PP-03 y MP-07A, respectivamente.

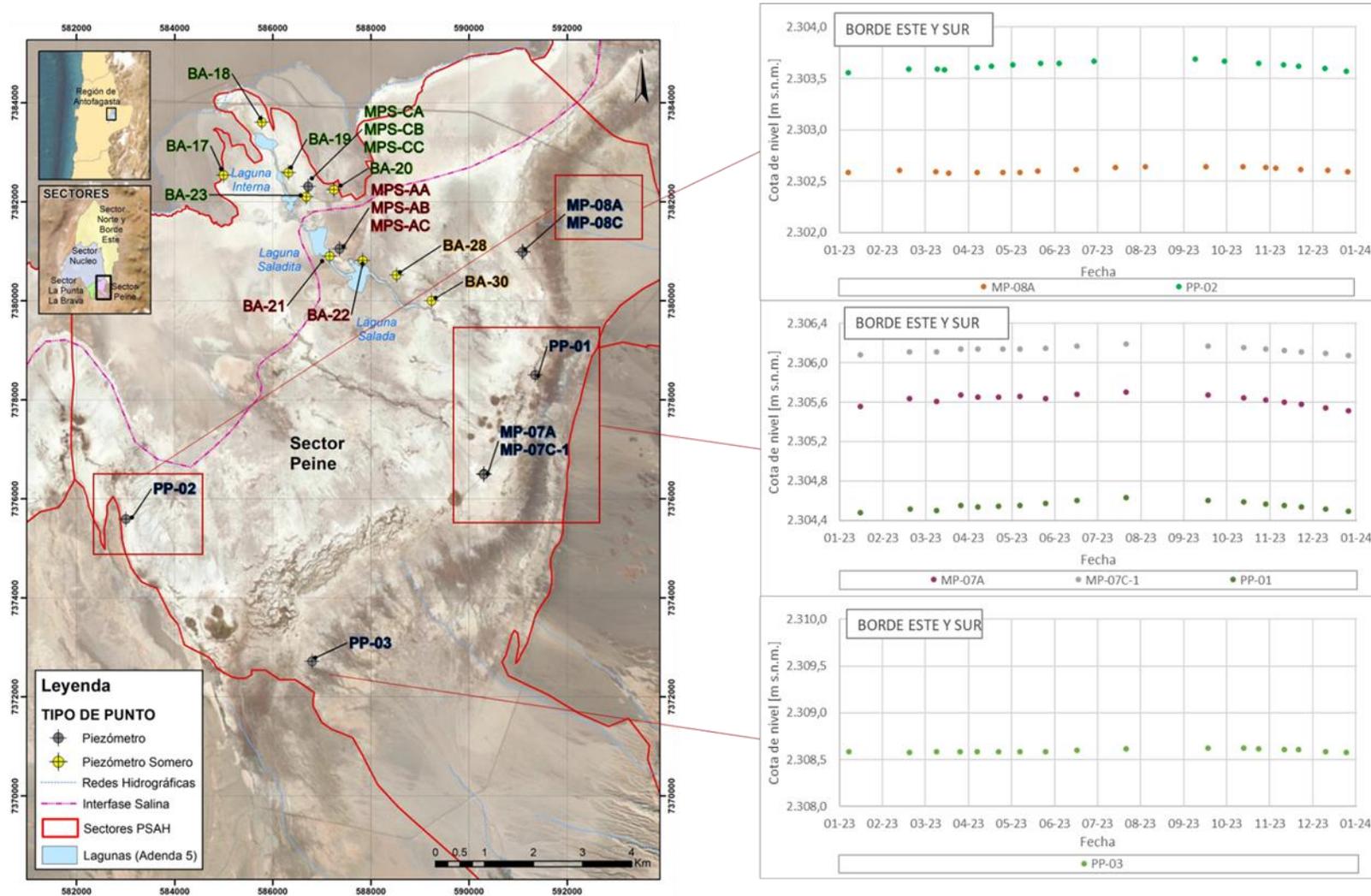
¹⁷ El punto PP-02 fue chocado en 2023, por lo que sus medidas están sesgadas dado este evento.

Figura 5-25 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-26 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Bordo Este y sur de Peine



El punto MP-08C no tiene datos, dado que MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016.
 Fuente: Elaboración propia

5.6.3 Sector Norte y Borde Este

En el sector Norte y Borde Este la red de monitoreo se compone de 3 puntos, según se aprecia en la Tabla 5-20, donde además se detalla el periodo registro mediciones para todos los puntos. En Anexo F-1 se entregan todos los registros medidos para el año 2023.

Estos puntos corresponden a 2 multipiezómetros (MP-12A y MP-12C) ubicados en el sur de dicho sector, y 1 un piezómetro somero (BA-31), ubicado en el sistema lagunar Soncor, según muestra la Figura 5-27. La representación gráfica del registro anual de niveles de estos puntos se presenta en las Figura 5-27.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático se registró entre los 2297,477 y 2307,057 m s.n.m., medidos en BA-31 (diciembre) y en MP-12C (enero) respectivamente.

Estos puntos presentan descenso neto de entre 2 (MP-12C) y 7 cm (BA-31), calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023.

Tabla 5-20 Periodo de registro red de monitoreo del sector Norte y Borde Este

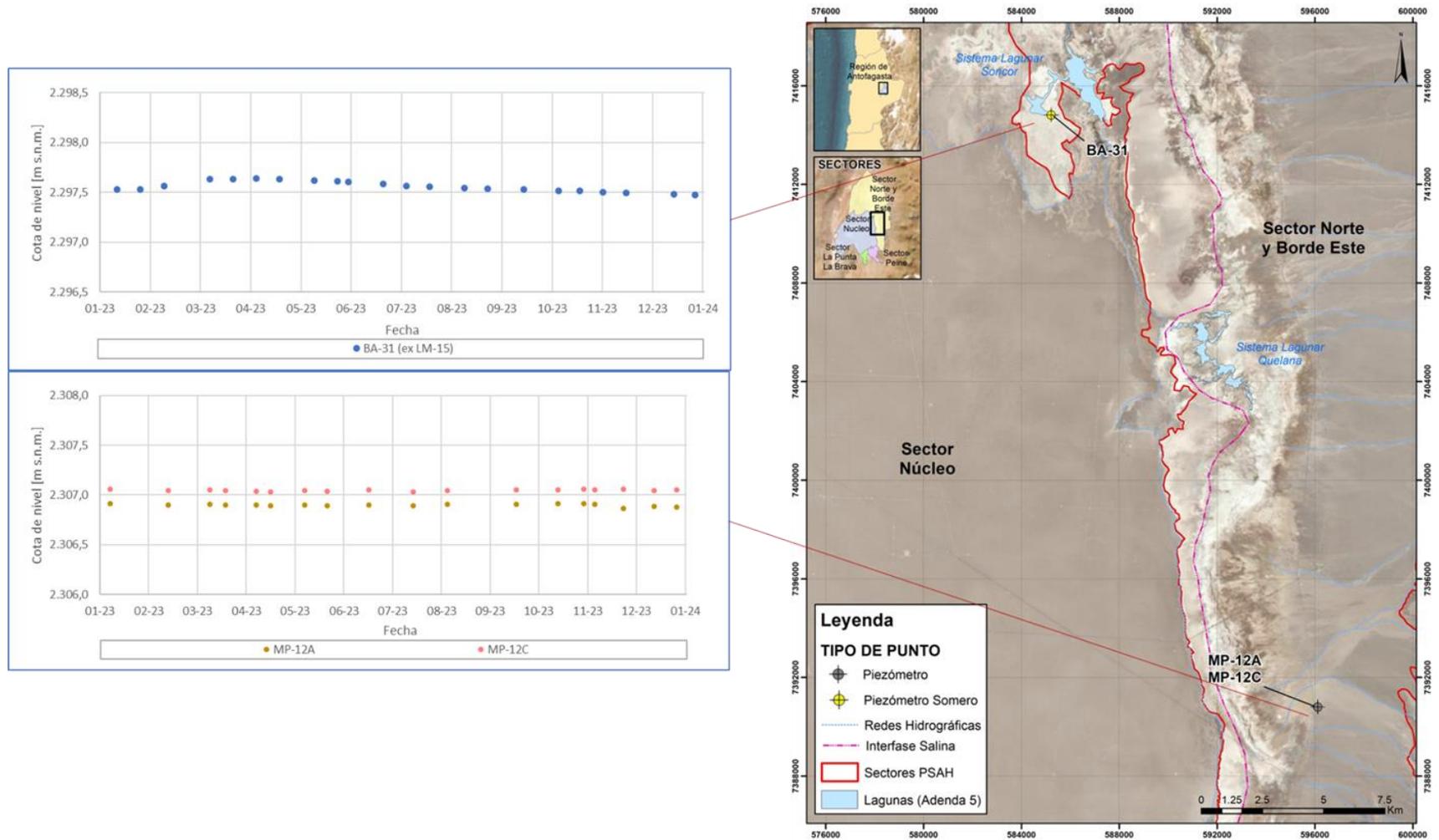
Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
	Fecha inicio	Fecha inicio	Realizadas	Totales
BA-31 (ex LM-15)	21/10/2016	28/12/2023	22	24
MP-12A	25/09/2016	27/12/2023	18	19
MP-12C	25/09/2016	27/12/2023	18	19

Realizadas: Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezométrico.

Totales: Total de intentos de medición, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no pudo registrarse el nivel piezométrico.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-27 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.6.4 Sector Núcleo

En el Sector Núcleo la red de monitoreo se compone de 61 puntos, según se aprecia en Tabla 5-21, donde además se detalla el periodo registros que iniciaron entre los años 1985 y 2016. En Anexo F-1 se entregan todos los registros para el año 2023.

De estos 57 son piezómetros, 3 pozos de extracción¹⁸ (CL-17, CL-28 y CL-29) y 1 zanja (Zanja Camino a Peine).

Los puntos de monitoreo se han clasificado según su distribución en 4 zonas:

- Núcleo Centro Norte
- Núcleo Oeste
- Núcleo Este
- Zona de Producción

Tabla 5-21 Periodo de registro puntos de monitoreo sector Núcleo

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
Núcleo Centro Norte	ES-01	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-02	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-03	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-04	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-05	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-06	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-07	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-08	17/11/2016	21/12/2023	24	24
	ES-09	02/08/2016	21/12/2023	19	19
	ES-10	02/08/2016	21/12/2023	19	19
	ES-11	08/07/2016	21/12/2023	24	24
	PN-18	25/10/2016	21/12/2023	24	24
	PN-19	25/10/2016	21/12/2023	24	24
Núcleo Oeste	CS-01	28/01/2001	30/12/2023	19	19
Núcleo Este	SAMPLE-4A	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-6	28/01/2001	17/12/2023	19	19

¹⁸ Estos puntos de extracción no se bombean hace más de 25 años. En el punto CL-17 se dejó de bombear en 1996, el punto CL-28 en el año 1994 y CL-29 en el año 1996.

Tabla 5-21 Periodo de registro puntos de monitoreo sector Núcleo

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
	P-01	20/07/2013	24/12/2023	19	19
	P-02	19/07/2013	17/12/2023	19	19
	P-03	21/07/2013	24/12/2023	19	19
	P-04	06/09/2013	16/12/2023	19	19
	P-05	17/10/2013	29/12/2023	18	19
	PN-02	08/07/2016	16/12/2023	19	19
	PN-03	08/07/2016	16/12/2023	19	19
	PN-04	08/07/2016	23/12/2023	17	19
	PN-05B	12/11/2014	29/12/2023	20	20
	PN-06	02/08/2016	24/12/2023	19	19
	PN-07	02/08/2016	23/12/2023	17	19
	PN-08A	07/12/2014	29/12/2023	24	26
	PN-09	08/07/2016	23/12/2023	17	19
	PN-10	02/08/2016	24/12/2023	19	19
	PN-11	02/08/2016	24/12/2023	19	19
	PN-13	02/08/2016	24/12/2023	19	19
	PN-14B	07/11/2014	29/12/2023	20	20
	PN-15	02/08/2016	24/12/2023	19	19
	PN-16B	07/11/2014	29/12/2023	18	20
	S-1	24/08/1989	24/12/2023	19	19
	S-2-1	27/09/1990	24/12/2023	19	19
	S-3	24/08/1989	24/12/2023	19	19
	S-4	24/08/1989	16/12/2023	19	19
	Zanja Camino a Peine	28/01/2001	23/12/2023	17	19
Zona de Producción	CL-10	02/05/1985	30-12-2023	0 ⁽¹⁾	19
	CL-11	02/05/1985	30/12/2023	19	19
	CL-12	02/05/1985	30/12/2023	19	19
	CL-13	02/05/1985	30-12-2023	0 ⁽¹⁾	19
	CL-14-1	24/08/1989	30/12/2023	19	19
	CL-16-1	02/05/1985	30/12/2023	19	19
	CL-17	02/05/1985	30/12/2023	19	19
	CL-18	02/05/1985	30/12/2023	19	19

Tabla 5-21 Periodo de registro puntos de monitoreo sector Núcleo

Zona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2023	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas	Totales
	CL-2-1	04/07/1985	16/12/2023	19	19
	CL-26-1	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-27	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-28	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-29	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-30	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-31	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-32	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-33	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	CL-34-1	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	EXP-2-1	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	First well	28/01/2001	30/12/2023	19	19
	Well IK-1	02/05/1985	30/12/2023	19	19

Notas: **Realizadas** : Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezométrico.

Totales : Total de intentos de medición, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no puedo registrarse el nivel piezométrico.

(1) Punto Seco.

Fuente: Elaboración propia

En relación a las precipitaciones importantes ocurridas en febrero y marzo 2023¹⁹, se ve respuesta con aumento en los niveles principalmente en el sector Núcleo Centro Norte.

El análisis de la evolución temporal del nivel freático en el sector Núcleo se presenta a continuación.

5.6.4.1 Zona Núcleo Centro Norte

En la Zona Núcleo Centro Norte, se monitorean 13 piezómetros desde el año 2016, que son: ES-01, ES-02, ES-03, ES-04, ES-05, ES-06, ES-07, ES-08, ES-09, ES-10, ES-11, PN-18 y PN-19. El hidrograma y la ubicación de estos puntos se presenta en la Figura 5-28, y cuentan con datos desde el año 2016 a 2023, ver Tabla 5-21.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático se registró entre los 2297,214 y 2298,164 m s.n.m., en PN-19 (diciembre) y ES-09 (febrero), respectivamente.

¹⁹ En febrero 2023, la estación meteorológica EM – Chaxa registró una precipitación de 36,57 mm. En marzo 2023, la estación meteorológica EM – Rockwood registró una precipitación de 21,2 mm.

Todos los puntos presentan descensos netos para el año 2023 entre 6 cm (ES-03) y 8 cm (ES-01 y ES-02) calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023.

5.6.4.2 Zona Núcleo Oeste

En la zona Núcleo Oeste, se monitorean desde el año 2001, 2 piezómetros que son: CS-01 y SAMPLE-4A, los que reemplazaron a los puntos Zanja Cordillera de la Sal y SAMPLE-4 respectivamente, según se aprecia en la Tabla 5-21. La ubicación de los puntos de monitoreo de nivel freático en el sector Núcleo Oeste, junto con su hidrograma se presentan en el mapa de la Figura 5-28.

Durante el año 2023 la cota del nivel freático se registró entre los 2292,230 y 2292,774 m s.n.m. medidos en SAMPLE-4A (diciembre) y en CS-01 (enero), respectivamente.

Los descensos netos en ambos puntos durante el año fueron de 18 cm (CS-01) y 24 cm (SAMPLE-4A), calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023.

5.6.4.3 Zona Núcleo Este

En la zona Este, se monitorean 25 puntos, que corresponde a 24 piezómetros y 1 a una zanja que son: CL-6, P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, PN-02, PN-03, PN-04, PN-05B, PN-06, PN-07, PN-08A, PN-09, PN-10, PN-11, PN-13, PN-14B, PN-15, PN-16B, S-1, S-2-1 (ex S-2), S-3, S-4 y Zanja Camino a Peine, ubicados según se presenta en el mapa de la Figura 5-29.

Es relevante mencionar que el pozo S-2-1, fue construido en 2019, con el fin de reemplazar al pozo S-2 (Tabla 5-21), que se secó el mismo año, y de esta manera tener continuidad de datos en su ubicación.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático se registró entre los 2297,227 y 2299,106 m s.n.m. medidos en PN-03 (diciembre) y en Zanja Camino a Peine (abril), respectivamente.

Todos los puntos de esta zona durante el año 2023 presentan descensos netos de entre 5 cm (Zanja Camino a Peine, P-05 y PN-15) y 8 cm (P-04 y PN-08A), calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023, con excepción del punto PN-16B que muestra ascenso de nivel de 5 cm (calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023). Estos descensos son menores a los calculados en la zona del núcleo Oeste.

5.6.4.4 Zona de Producción

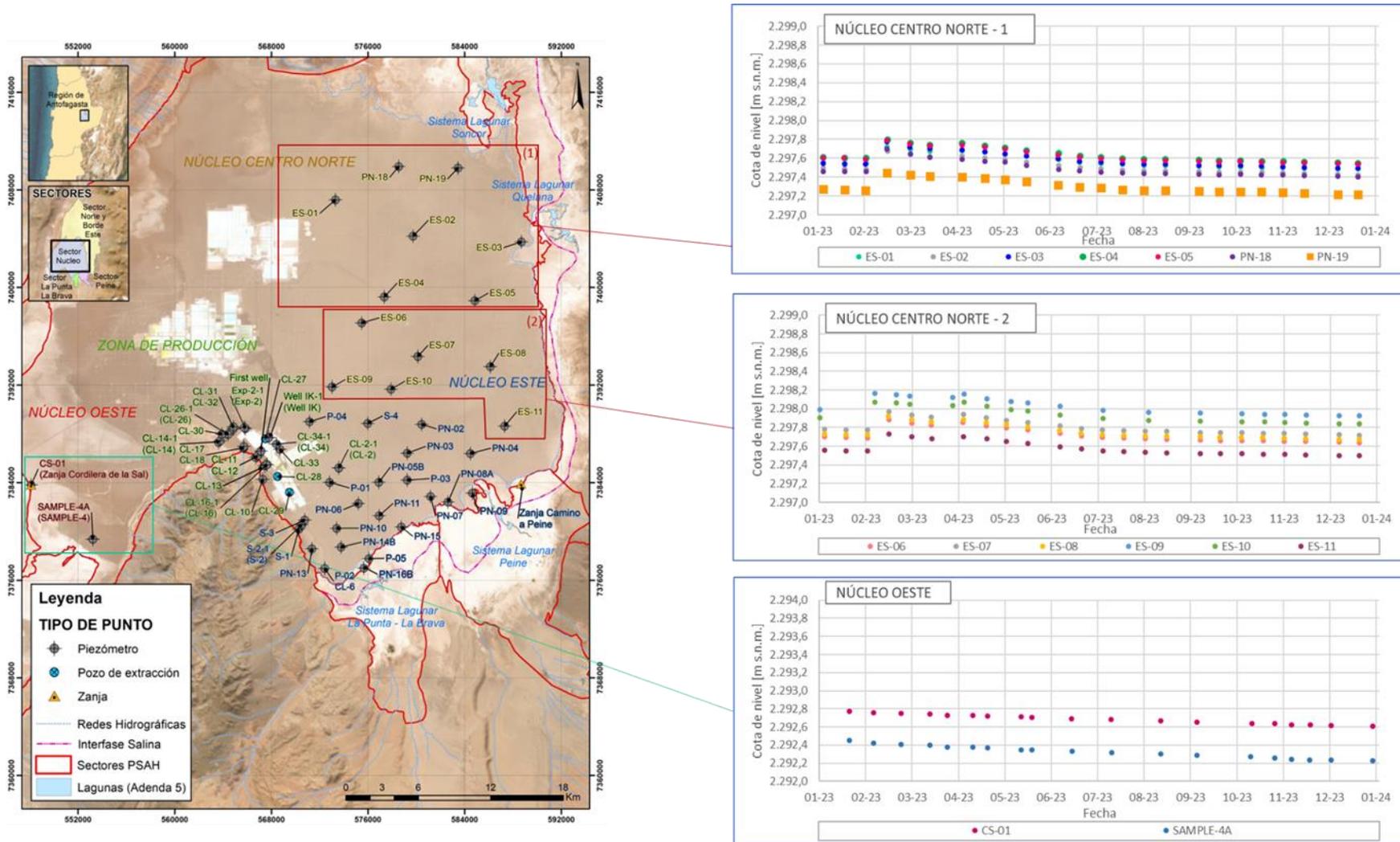
En la Zona de Producción, se monitorean 21 puntos (CL-34-1, CL-27-P, Well IK-1, CL-26-1, CL-33, CL-29, CL-32, CL-10, CL-13, CL-31, CL-30, EXP-2-1, CL-2-1, First well, CL-28, CL-17, CL-18, CL-14-1, CL-11, CL-12 y CL-16-1) desde el año 1985 en el caso de la data más antigua

(Tabla 5-21), y cuya ubicación e hidrograma se muestra en la Figura 5-30. Los puntos CL-13 y CL-10 se encuentran secos para todo el año 2023.

Durante el año 2023, la cota del nivel freático se registró entre los 2285,184 y 2298,436 m s.n.m. medidos en CL-12 (diciembre) y en CL-2-1 (abril), respectivamente.

Los puntos CL-26-1, CL-27-P, CL-29, CL-32, CL-33, CL-34-1 y Well IK-1, ascienden en su nivel neto en entre de 4 cm (CL-32) y 122 cm (CL-34-1) (calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023). Por otra parte, el punto CL-31 muestra niveles estable con 0 cm de variación calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023. Y por último los puntos CL-11, CL-12, CL-14-1, CL-16-1, CL-17, CL-18, CL-2-1, CL-28, CL-30, EXP-2-1 y First well, presentan descensos netos de su nivel de entre 3 cm (CL-30) y 509 cm (5,09 m, en CL-16-1) calculados también entre diciembre 2022 y diciembre 2023.

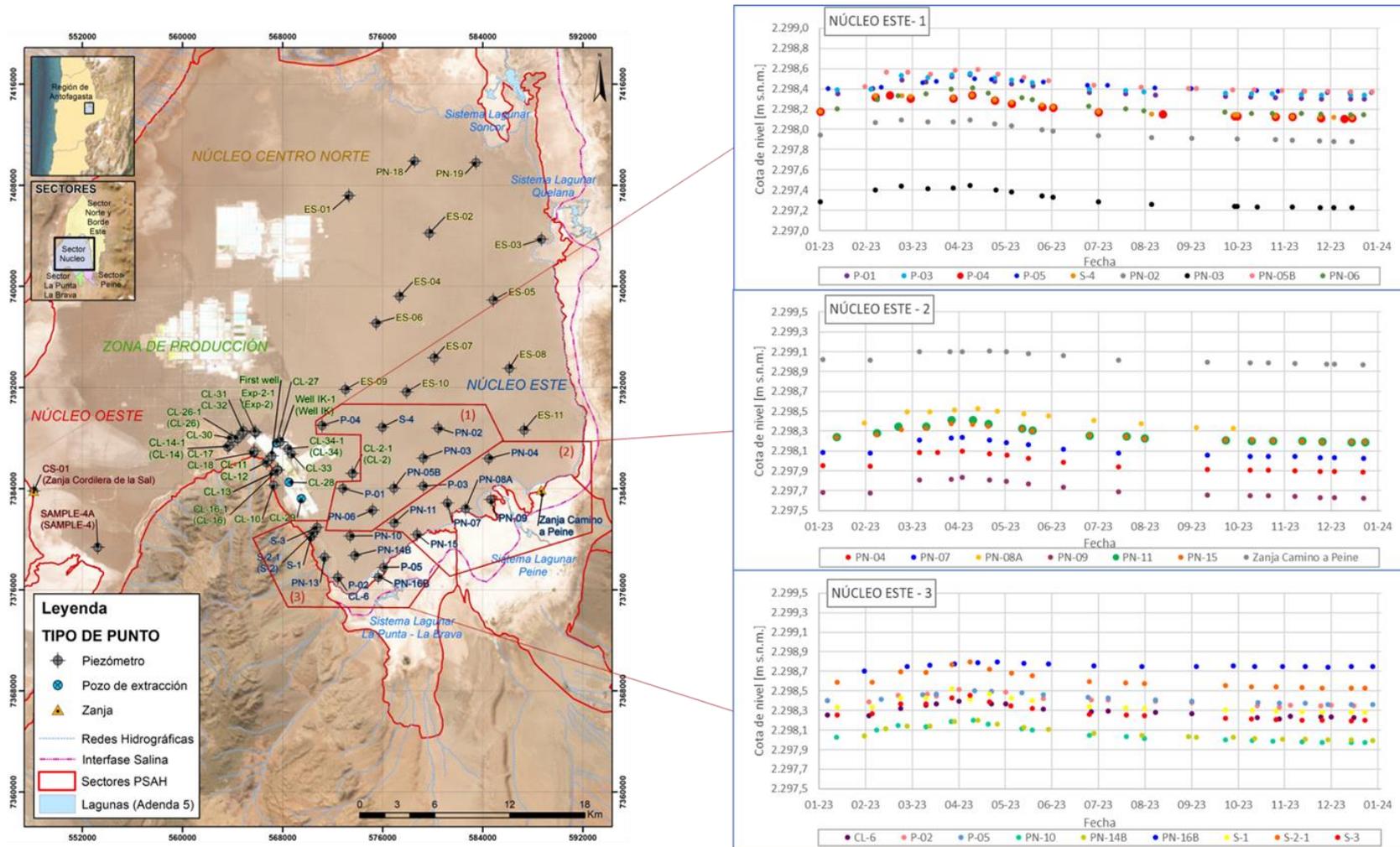
Figura 5-28 Hidrogramas de los pozos de observación de los sectores Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste



Elaboración propia

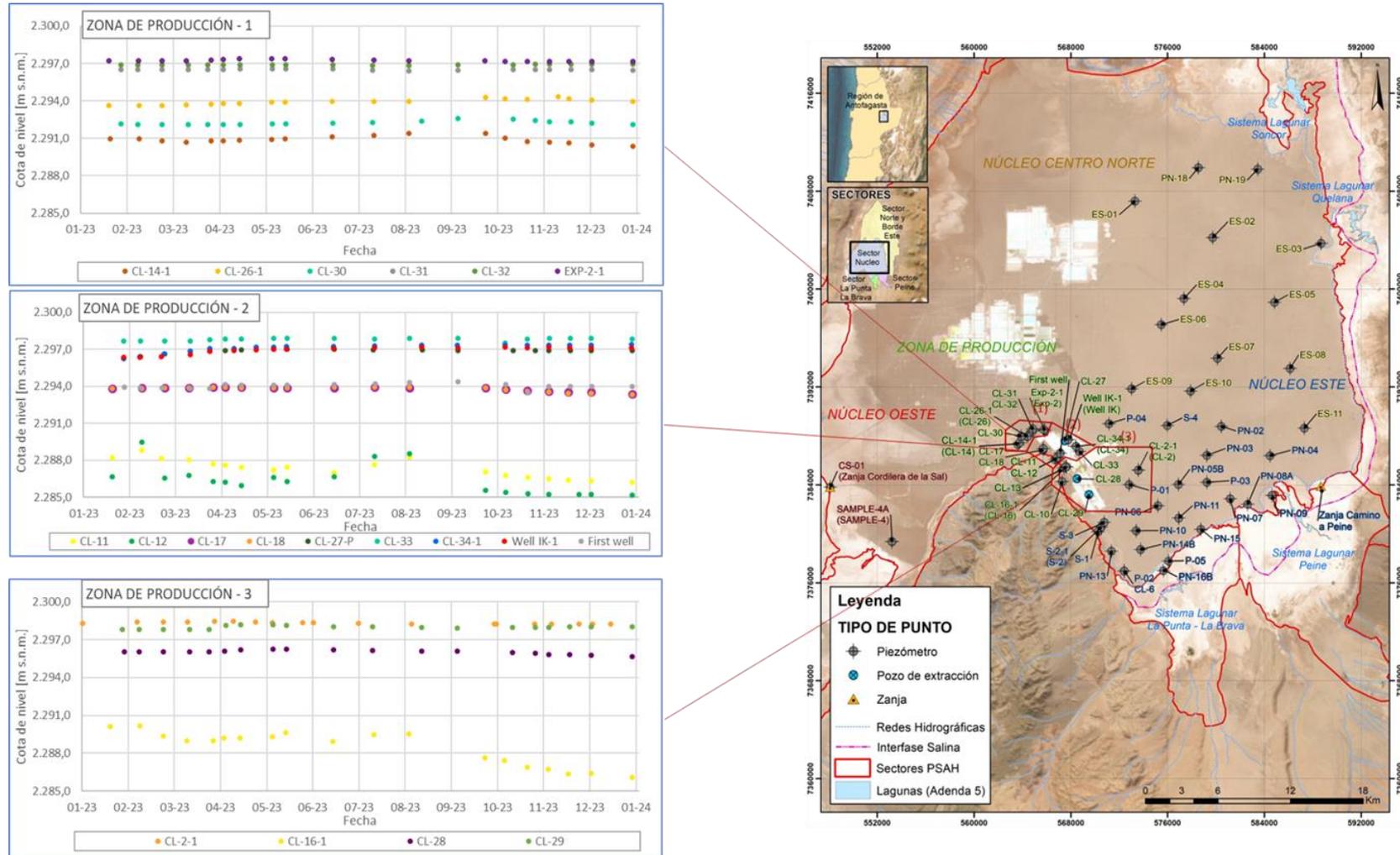
Fuente:

Figura 5-29 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Núcleo Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-30 Hidrogramas de los pozos de observación de la Zona de Producción



Fuente: Elaboración propia

5.7 Posición de la Interfase Salina

La Interfase Salina corresponde a una zona de mezcla de aguas, en donde se produce la transición gradual de aguas dulces/salobres del acuífero a la salmuera que las subyace. Considerando lo anterior, se entenderá por la posición de la Interfase Salina, como aquel tramo de profundidad en el cual se detecta un cambio importante en la conductividad eléctrica (C.E.) del fluido. Este comportamiento se exhibe a través de perfiles de conductividad eléctrica (C.E.) los que muestran un escalonamiento o cambio abrupto, alcanzando valores de conductividad por sobre los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La profundidad a la que se alcanza los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ es considerada como la base de la interfase salina.

En el presente subcapítulo, se exhiben los resultados de los perfiles de conductividad eléctrica en profundidad de la columna de agua de puntos pertenecientes a la red de monitoreo del PSAH durante el año 2023. El objetivo de estas mediciones es determinar la profundidad a la cual se encuentra la Interfase Salina, las que se realizan en 13 puntos distribuidos en los sectores que se individualizan a continuación:

- Sector La Punta La Brava
- Sector Peine
- Sector Norte y Borde Este

Durante el año 2023 se realizó un aumento en la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual por activaciones del PAT, contando con mediciones mensuales en los meses de febrero, marzo, abril, mayo (PAT Acuífero), julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre (PAT Núcleo Fase I²⁰). De manera complementaria, se grafican los perfiles de conductividad eléctrica con los resultados de las campañas comprendidas en el presente período de reporte en formato mensual y trimestral agrupado en un solo perfil para el año.

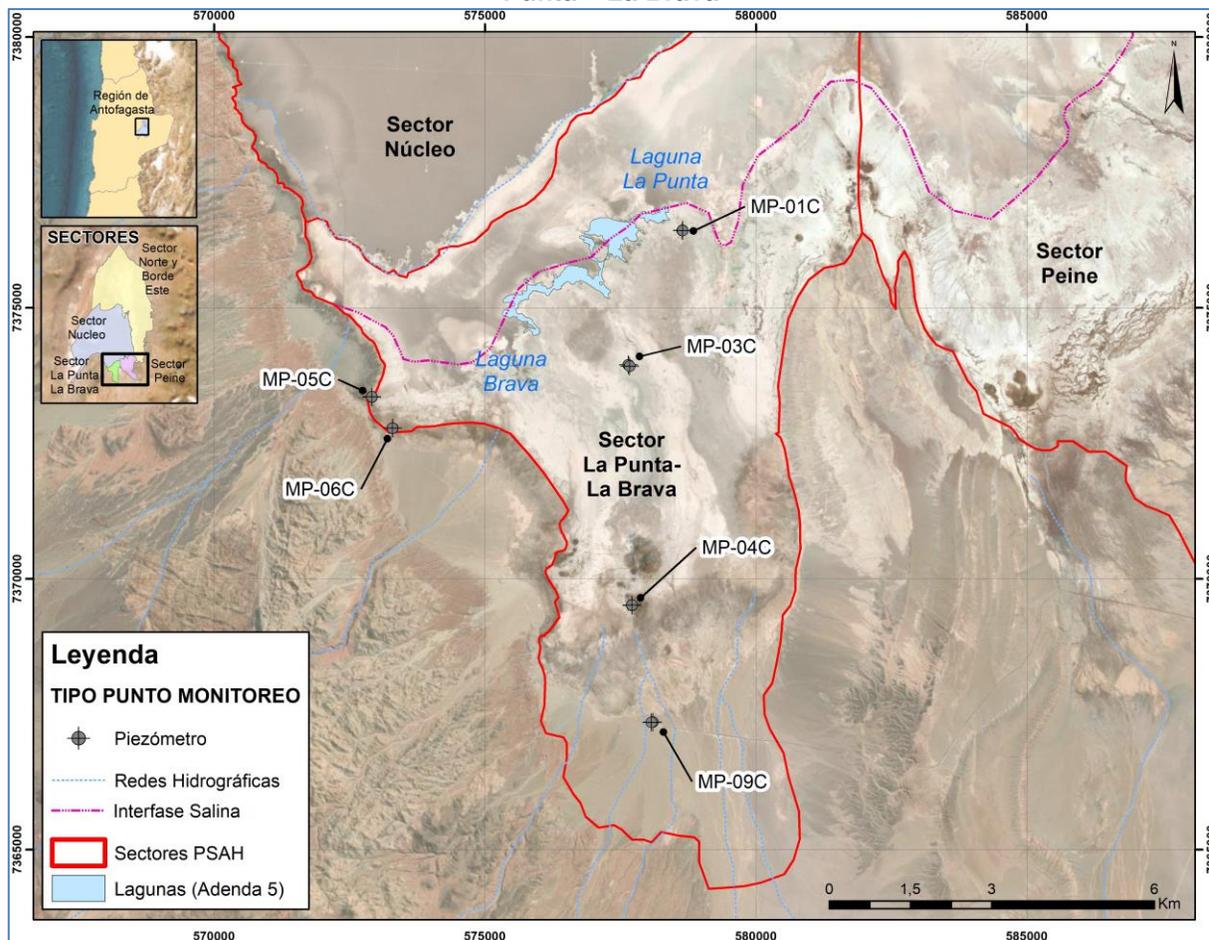
A continuación, se presentan los análisis de los datos obtenidos por sector (La Punta – La Brava, Peine y, Norte y Borde Este), en el cual se grafica toda la data disponible para el año 2023.

5.7.1 Sector La Punta – La Brava

En la Figura 5-31 se muestra la ubicación de los puntos comprometidos para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el sector La Punta – La Brava. Estos corresponden a los puntos: MP-01C, MP-03C, MP-04C, MP-05C, MP-06C y MP-09C.

²⁰ El PAT sector Núcleo Fase I, se activó en septiembre 2023.

Figura 5-31 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector La Punta – La Brava



Fuente: Elaboración propia

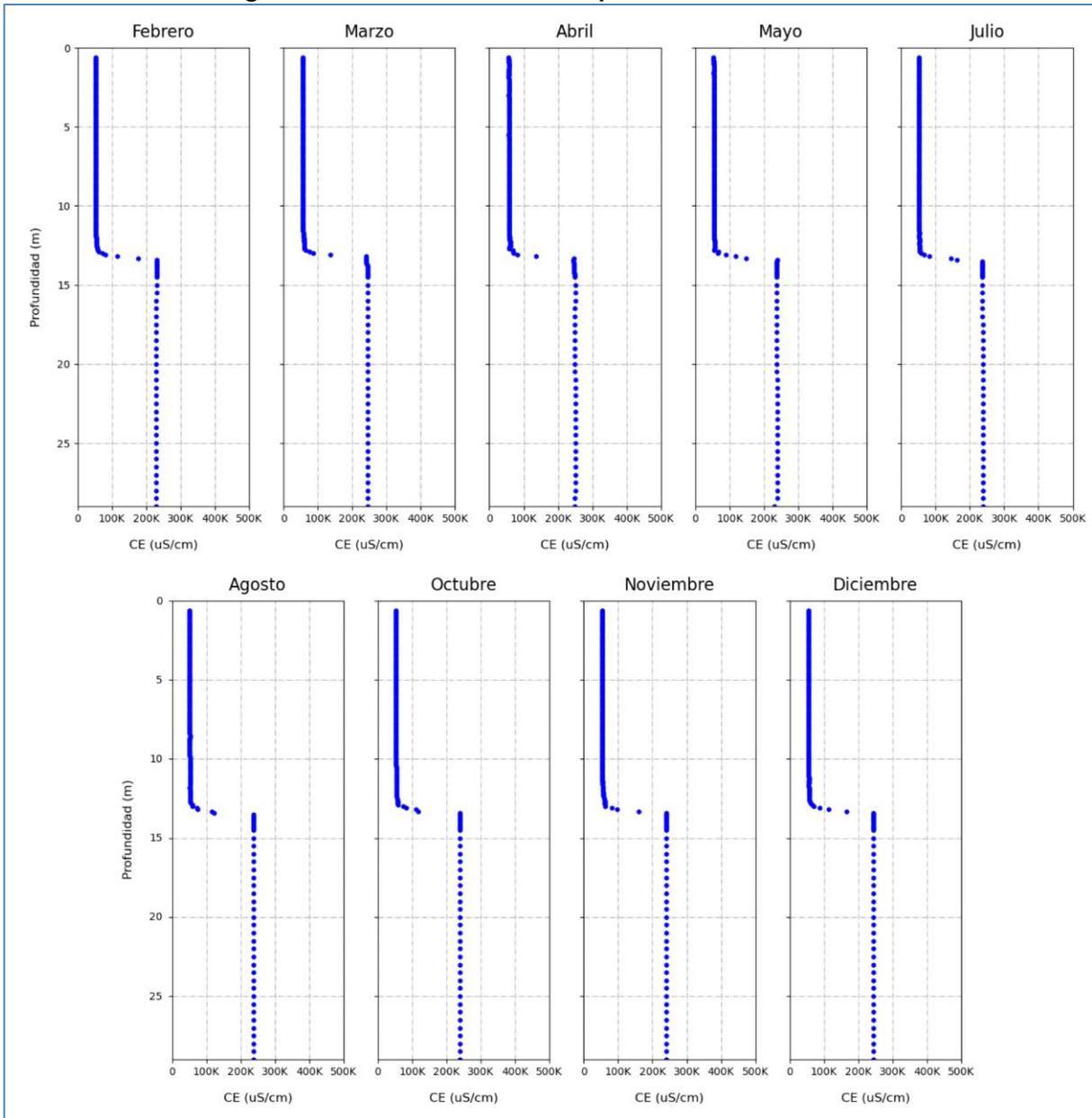
En el Anexo G-1 se muestran los registros de profundidad (m), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de los distintos puntos obtenidos en las campañas realizadas en el año 2023.

A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas del año 2023, en conjunto con su representación gráfica de profundidad (m) versus conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Para una mejor comparación además se grafica todo el registro 2023 separado en trimestres.

5.7.1.1 MP-01C

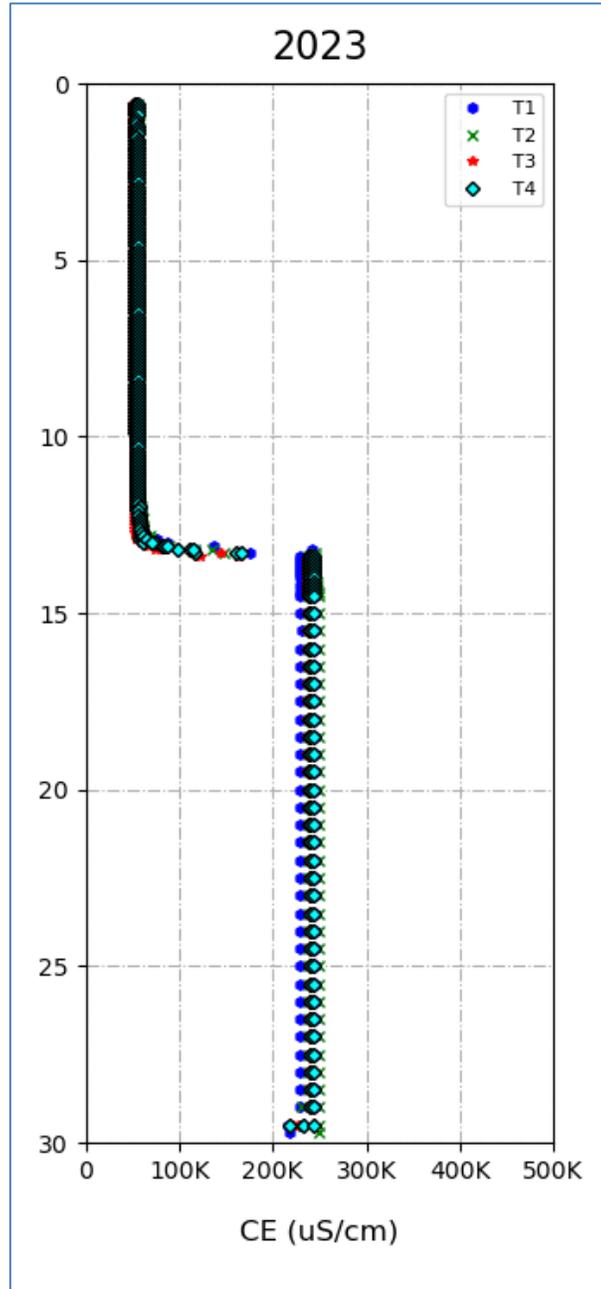
Durante el año 2023 la posición de la interfase salina en el punto MP-01C se mantiene entre los 13,1 y 13,5 m de profundidad (Figura 5-32). La profundidad de la interfase varía mínimamente durante el año (Ver Figura 5-33).

Figura 5-32 Perfiles de C.E. en el punto MP-01C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-33 Perfil trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-01C



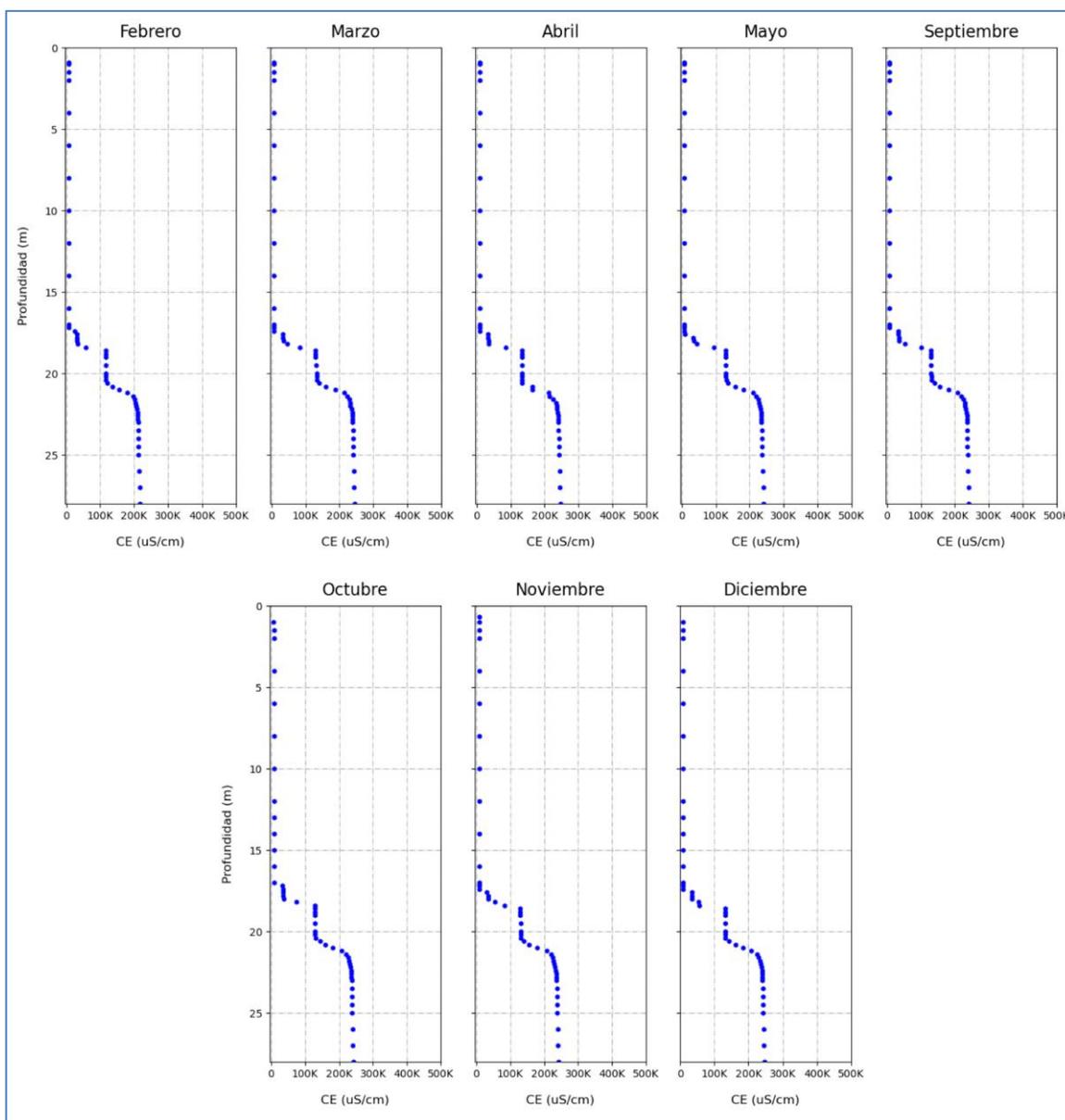
Fuente: Elaboración propia

5.7.1.2 MP-03C

El punto MP-03C muestra un patrón escalonado en la conductividad eléctrica del fluido durante las mediciones del año 2023 (Figura 5-34), con tres aumentos notorios hasta estabilizarse en valores cercanos a los 250.000 $\mu\text{S/cm}$. La interfase salina ha sido reconocida entre los 17 y 21 m de profundidad en las campañas del año 2023, y no muestra variaciones en este periodo.

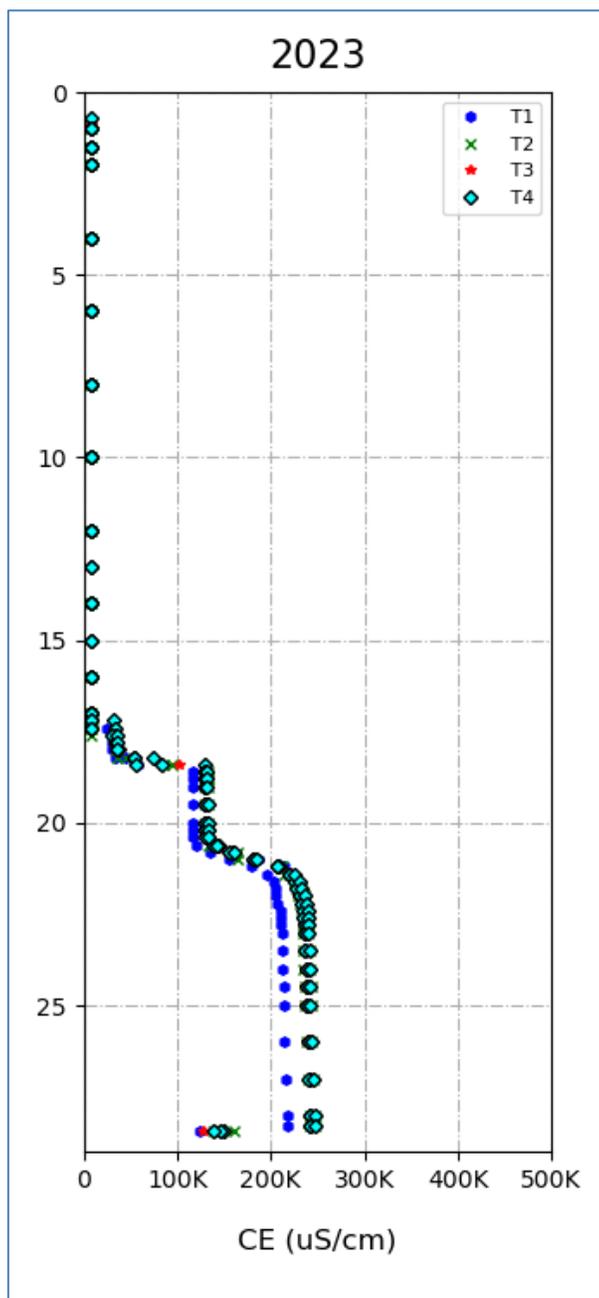
El límite inferior de la interfase salina se muestra estable en el 2023 en 21 m (Figura 5-35), con un valor levemente mayor en febrero con 21,6 m de profundidad.

Figura 5-34 Perfiles de C.E. en el punto MP-03C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-35 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-03C

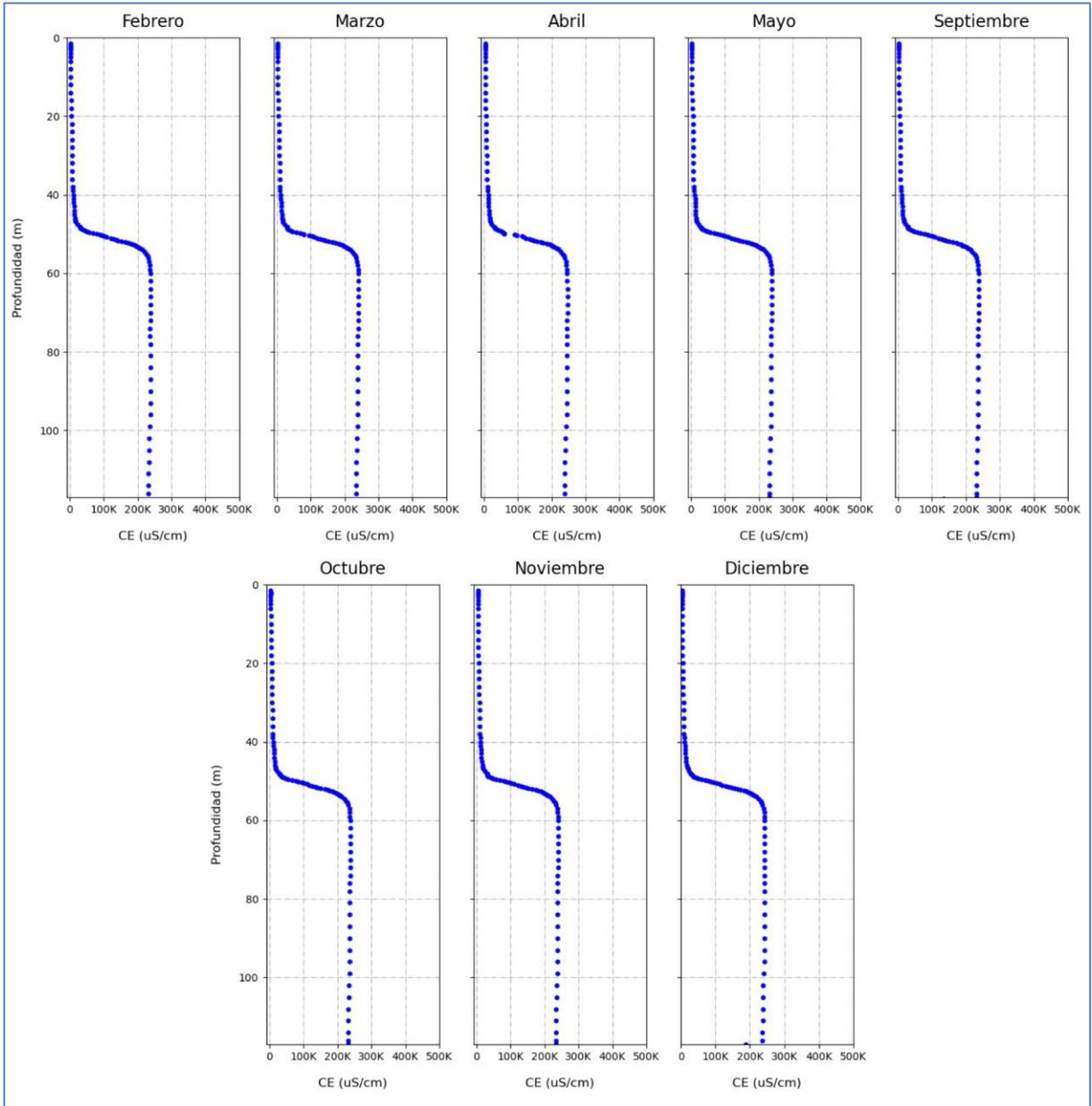


Fuente: Elaboración propia

5.7.1.3 MP-04C

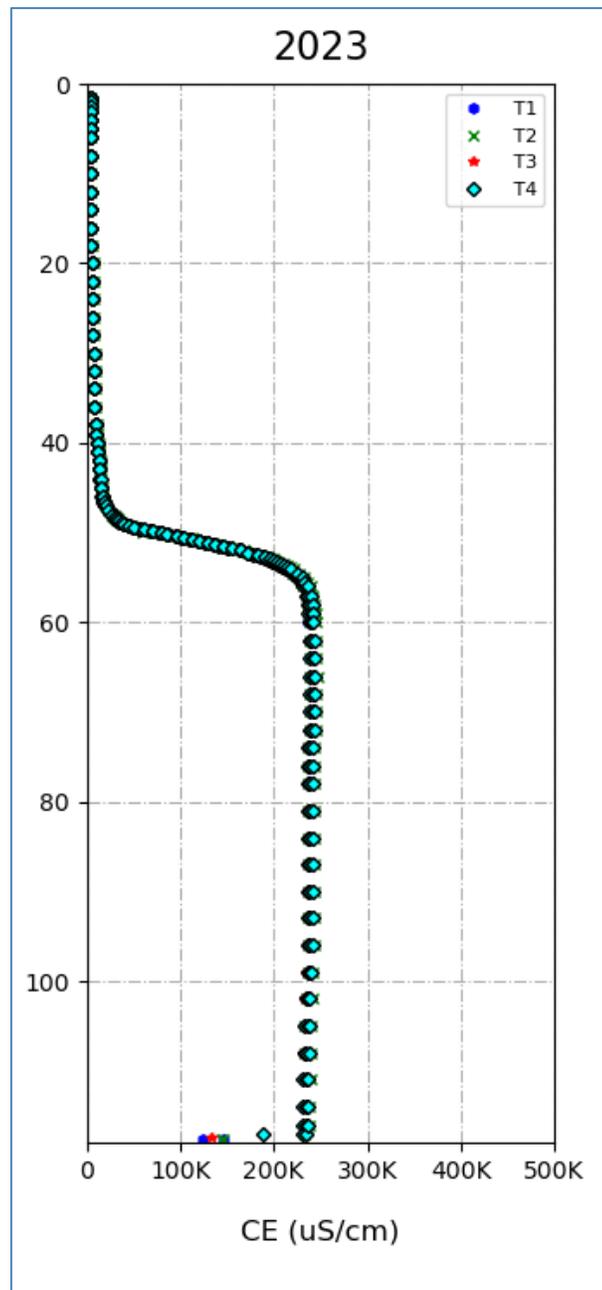
La información levantada en las campañas de 2023 en este punto muestra una interfase salina que no muestra variaciones (Figura 5-36), con un aumento gradual de la conductividad eléctrica entre los 50 y los 55 m. hasta alcanzar más de 200.000 uS/cm, en un tramo de aproximadamente 5 m (Figura 5-37).

Figura 5-36 Perfiles de C.E. en el punto MP-04C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-37 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-04C



Fuente: Elaboración propia

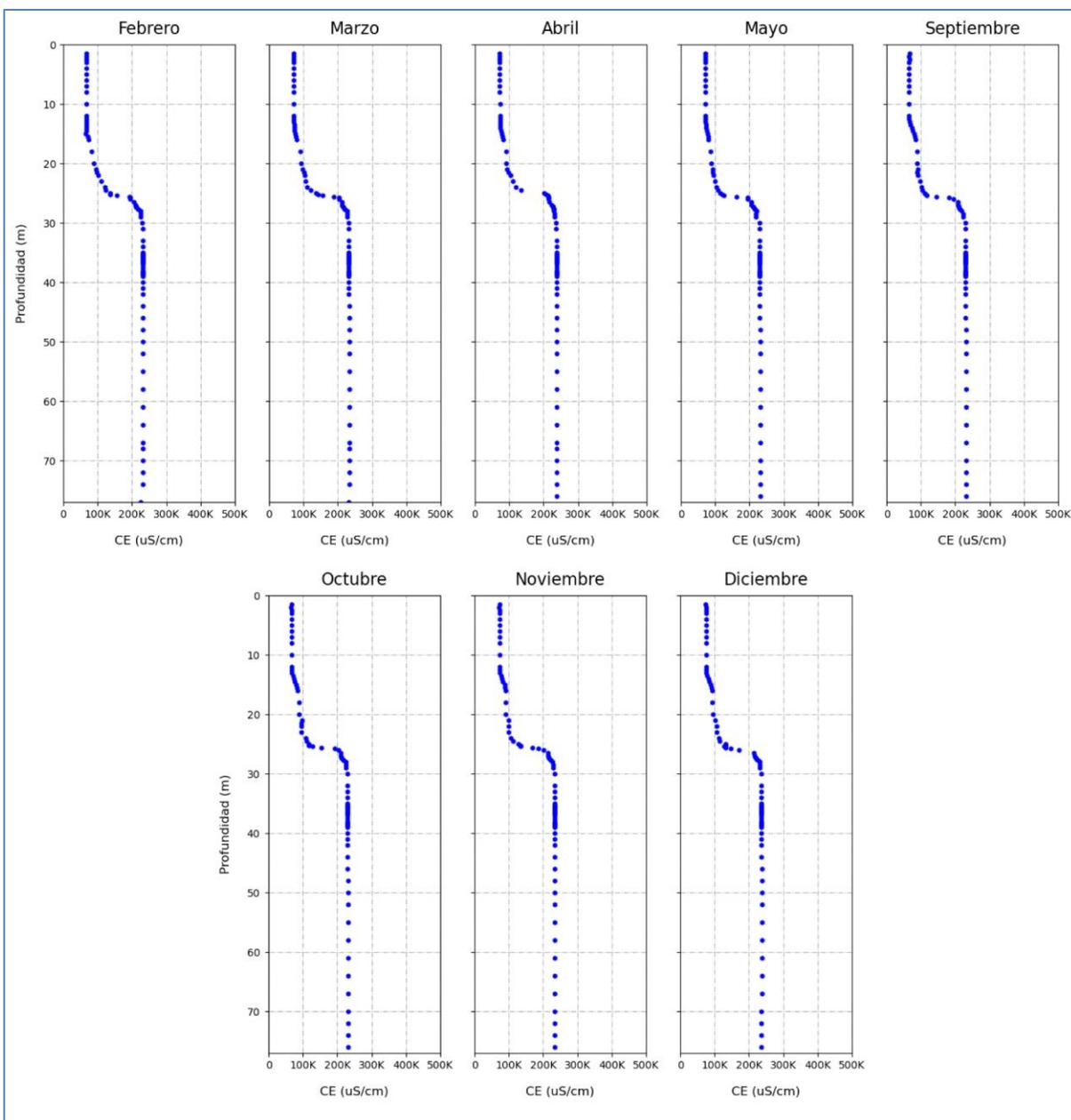
5.7.1.4 MP-05C

Los perfiles realizados durante el año 2023 en el punto MP-05C no muestran variaciones en la posición de la interfase salina, ubicada entre los 24 y 26 m de profundidad (Figura 5-38). En todas las campañas se observa un aumento gradual de la conductividad eléctrica desde

aproximadamente 18 m bajo la superficie, variando hasta los 27 m de profundidad para estabilizarse en los 30 metros de profundidad hasta valores cercanos a 230.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

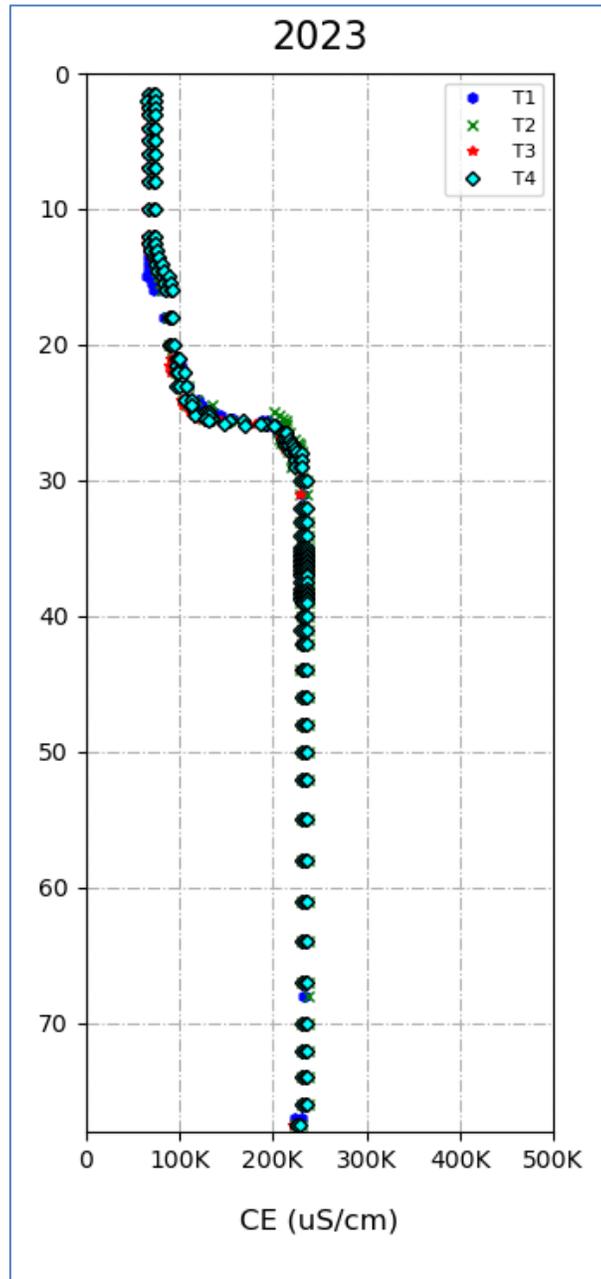
Durante el año 2023, se ha mantenido una interfase estable entorno a los 25 m de profundidad (Figura 5-39).

Figura 5-38 Perfiles de C.E. en el punto MP-05C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-39 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-05C

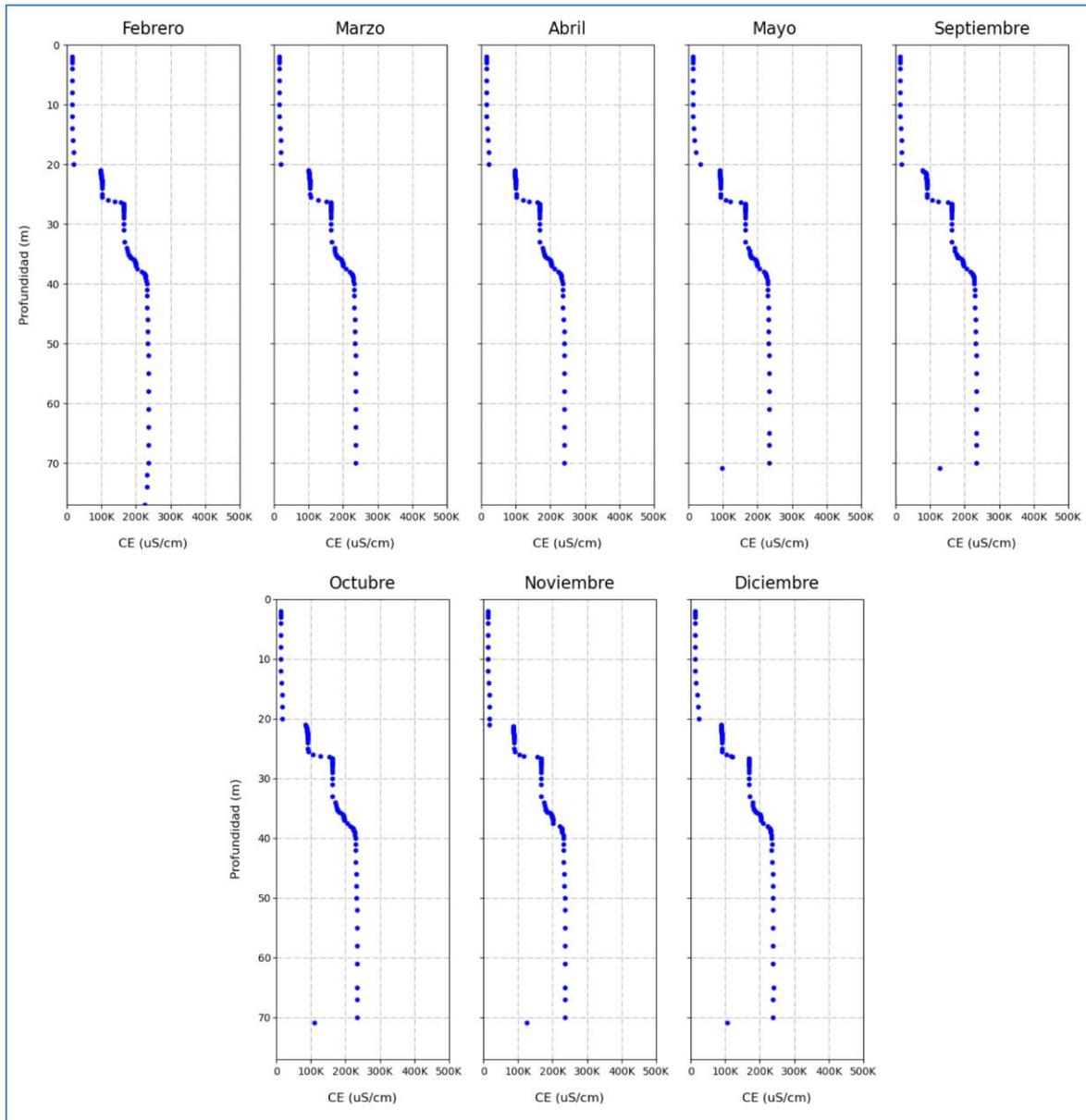


Fuente: Elaboración propia

5.7.1.5 MP-06C

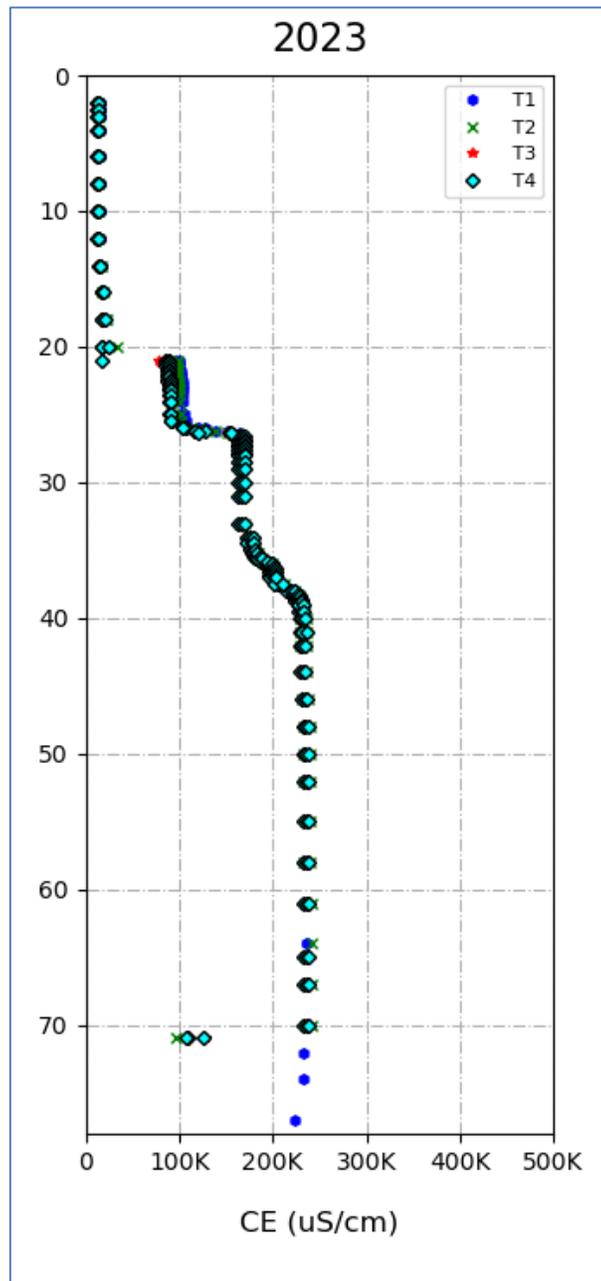
En la Figura 5-40 se muestran los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica de las campañas del año 2023 en el punto MP-06C. Los resultados muestran un patrón escalonado similar en todas las mediciones entre los 20 y 40 m. La interfase salina no muestra variaciones en su posición para el 2023 (Figura 5-41).

Figura 5-40 Perfiles de C.E. en el punto MP-06C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-41 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-06C



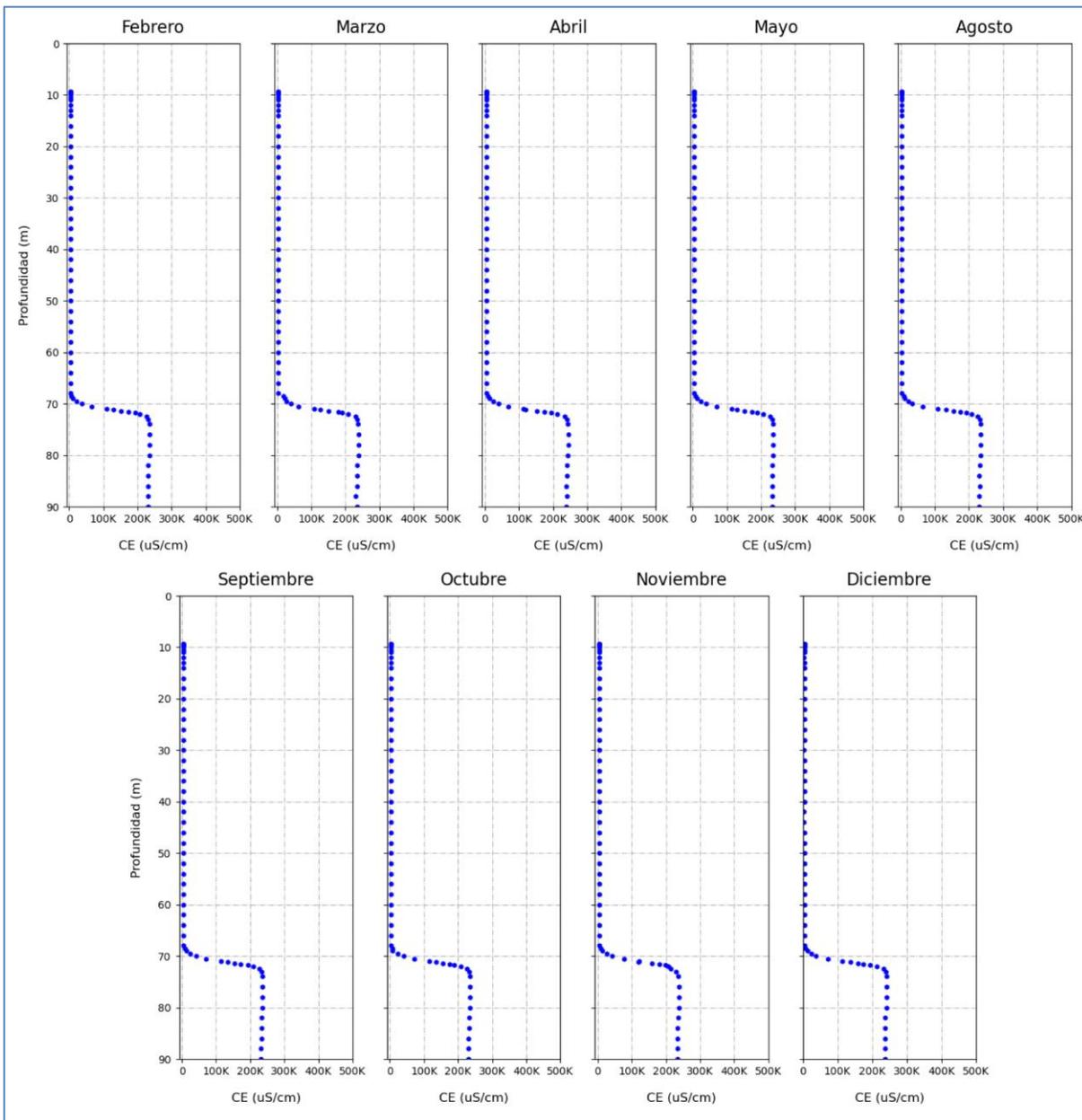
Fuente: Elaboración propia

5.7.1.6 MP-09C

Los perfiles realizados durante el año 2023 en el punto MP-09C muestra que la interfase salina se encuentra aproximadamente entre los 70 y 73 m, con un aumento gradual de la conductividad eléctrica en ese tramo (Figura 5-42). La interfase salina no muestra variaciones en su posición para el 2023.

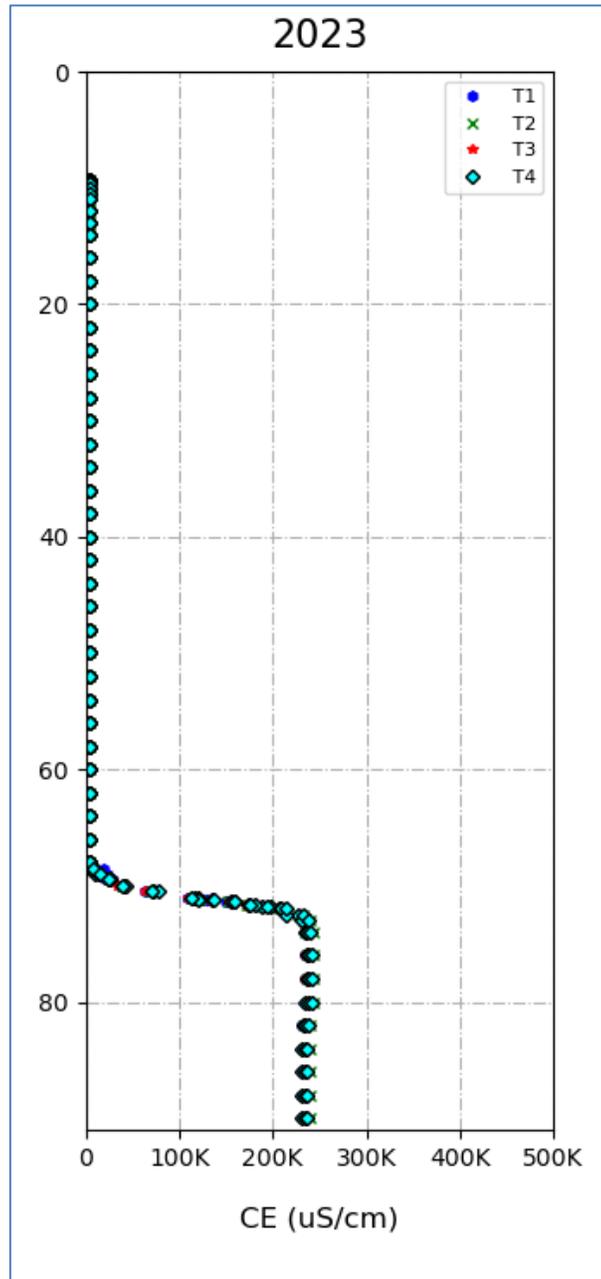
No se registran cambios en la posición de la interfase en el 2023 (Figura 5-43).

Figura 5-42 Perfiles de C.E. en el punto MP-09C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-43 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-09C

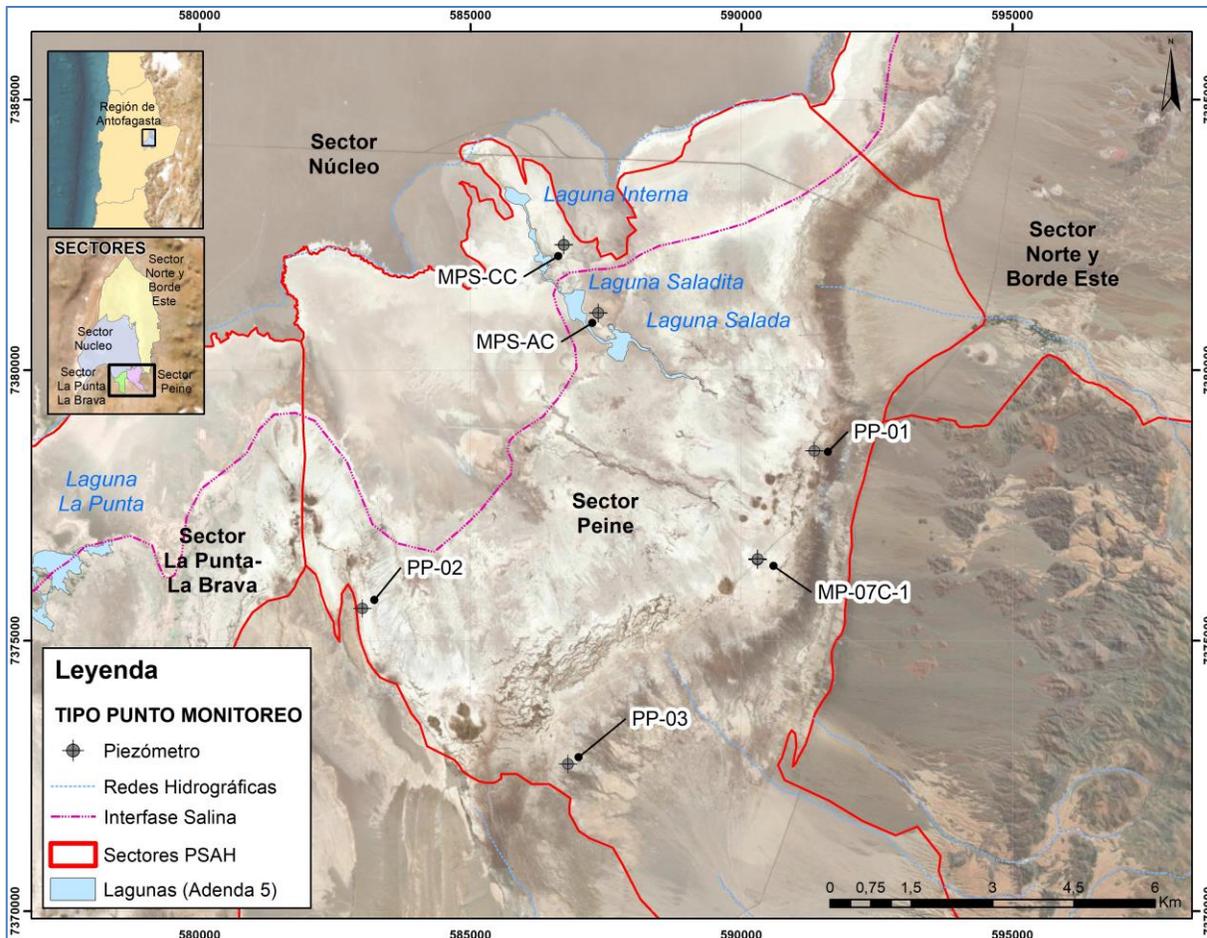


Fuente: Elaboración propia

5.7.2 Sector Peine

En la Figura 5-44 se muestra la ubicación de los puntos comprometidos para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el sector Peine. Estos corresponden a los puntos: MP-07C-1, PP-01, PP-02, PP-03, MPS-AC y MPS-CC.

Figura 5-44 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

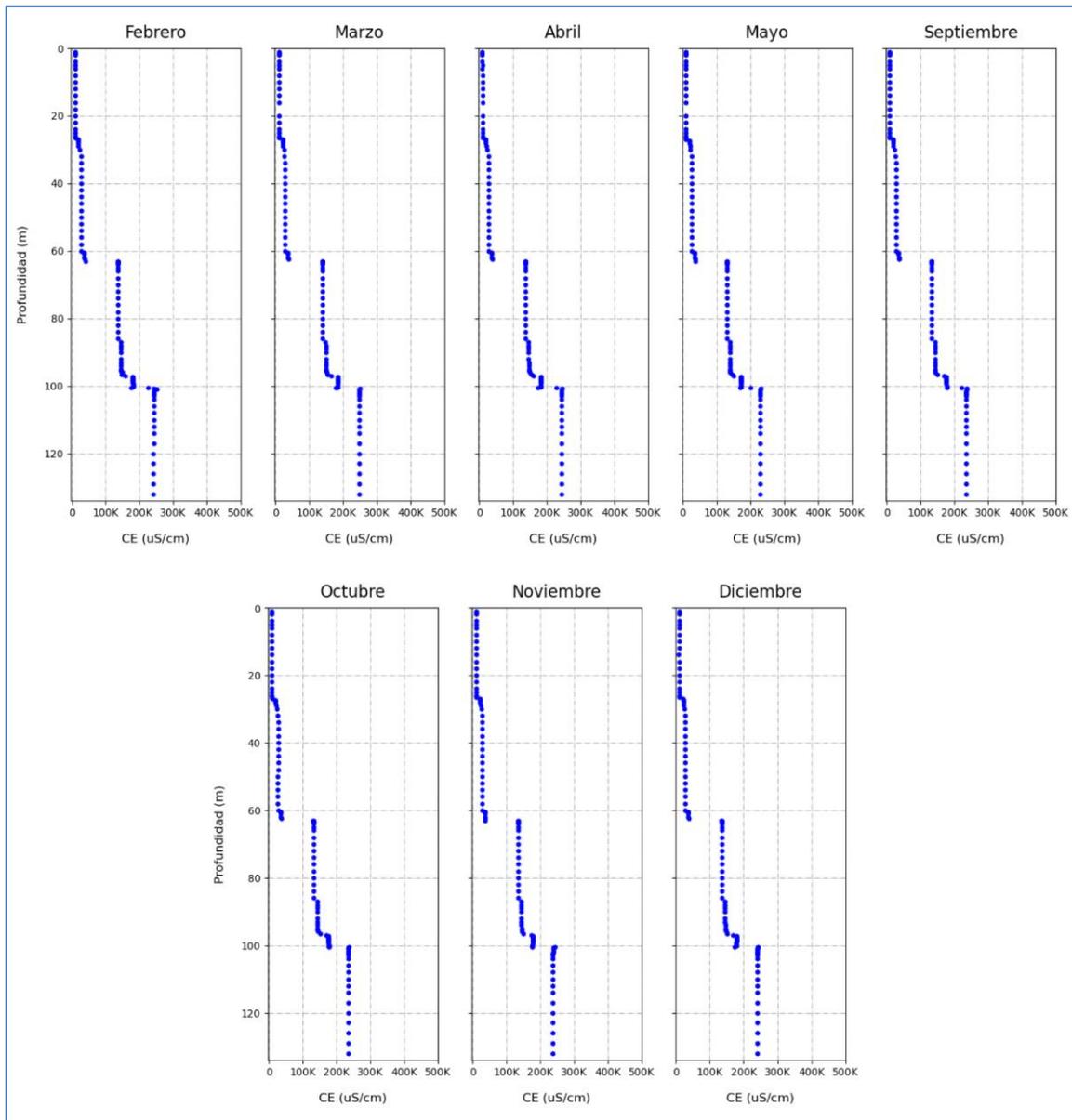
En el Anexo G-1 se muestran los resultados de los perfiles de conductividad eléctrica y temperatura en profundidad de cada uno de los puntos monitoreados en las campañas del año 2023.

A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas del año 2023, en conjunto con su representación gráfica. Se incluye un gráfico con todo el registro 2023 separado en trimestres para una mejor comparación.

5.7.2.1 MP-07C-1

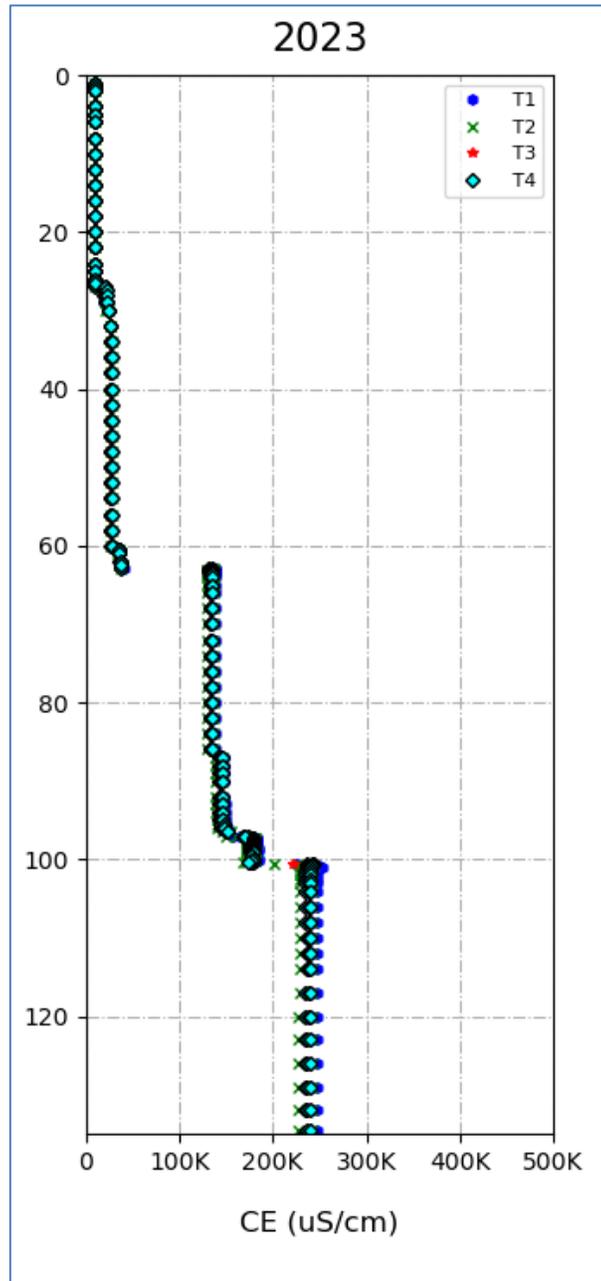
En el registro para el año 2023 del punto MP-07-C (Figura 5-45), se observa un notorio aumento escalonado en dos etapas de la conductividad eléctrica desde los 65 m de profundidad, con valores entre 100.000 y 200.000 $\mu\text{S/cm}$ por aproximadamente 35 m. A aproximadamente 100 m de profundidad, se registran valores de conductividad eléctrica mayores a 200.000 $\mu\text{S/cm}$, característicos para salmuera. No se observan cambios en la posición de la interfase salina durante el año (Figura 5-46).

Figura 5-45 Perfiles de C.E. en el punto MP-07C-1 año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-46 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-07C-1



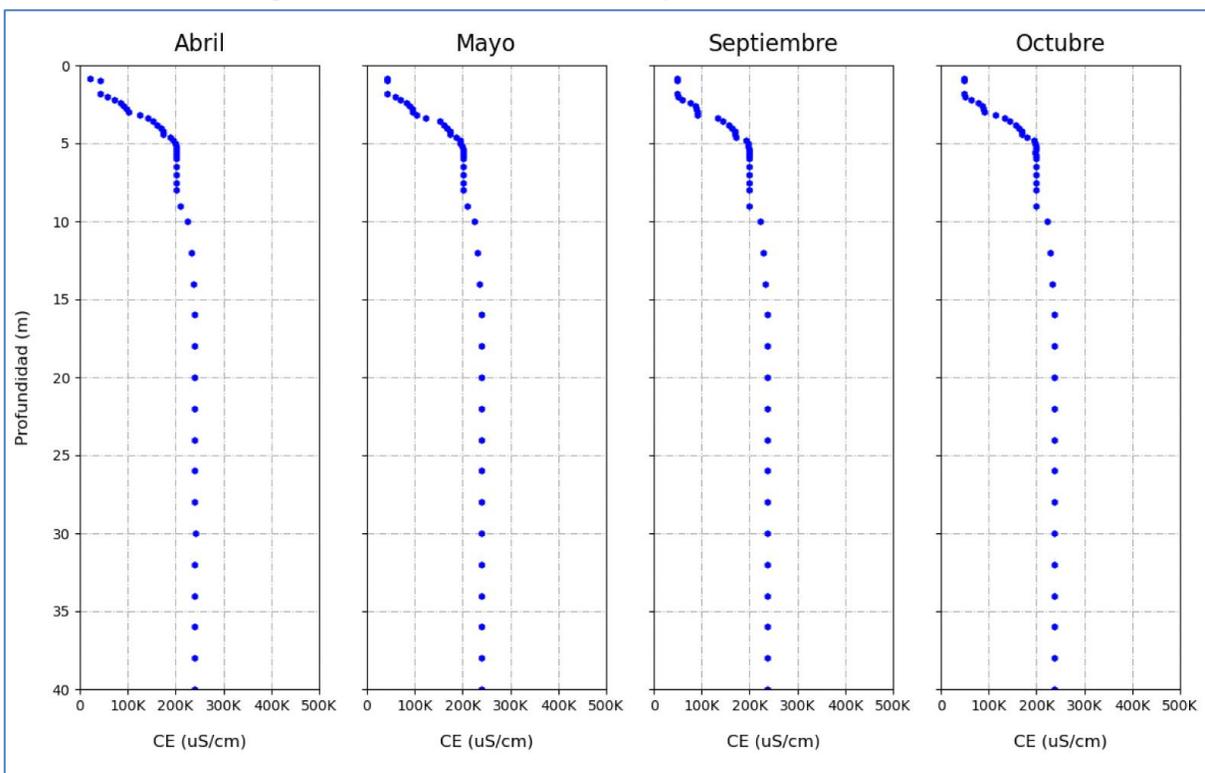
Fuente: Elaboración propia

5.7.2.2 MPS-AC

En el punto MPS-AC, ubicado en el entorno del sistema Peine, las medidas de las campañas del 2023 identifican la posición de la interfase salina a través del aumento gradual de la conductividad eléctrica entre los 3 y 5 m de profundidad, alcanzando alrededor de 230.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5-47).

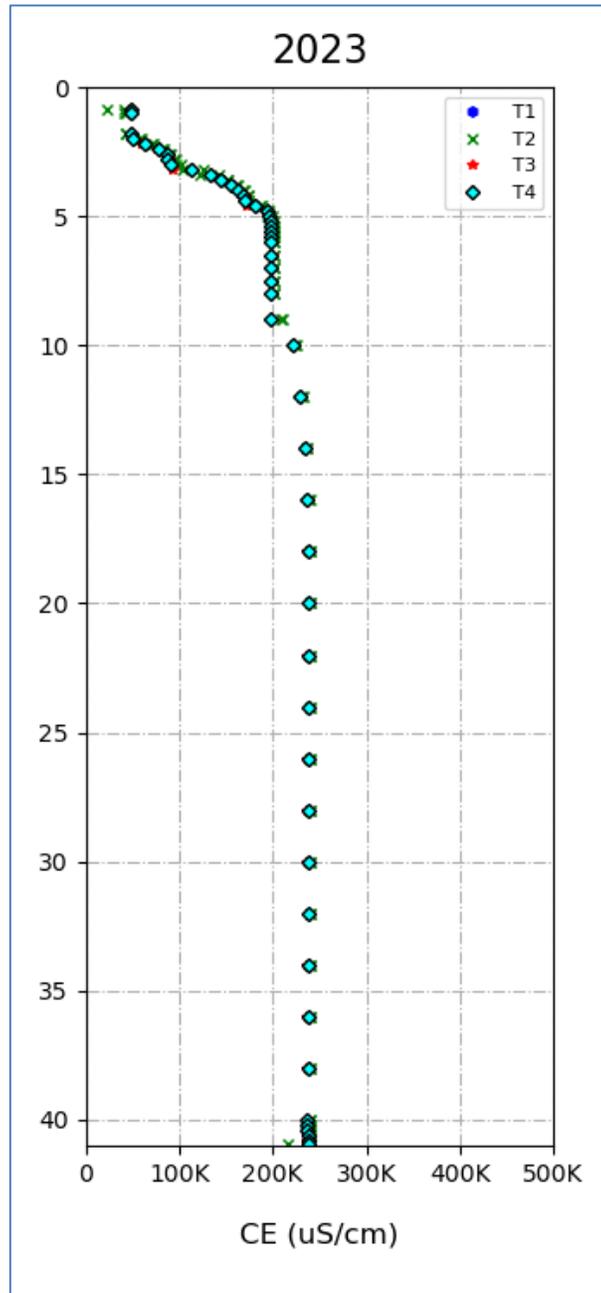
En la Figura 5-48 se observa que la profundidad del nivel de la interfase salina no ha variado durante el año.

Figura 5-47 Perfiles de C.E. en el punto MPS-AC año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-48 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MPS-AC



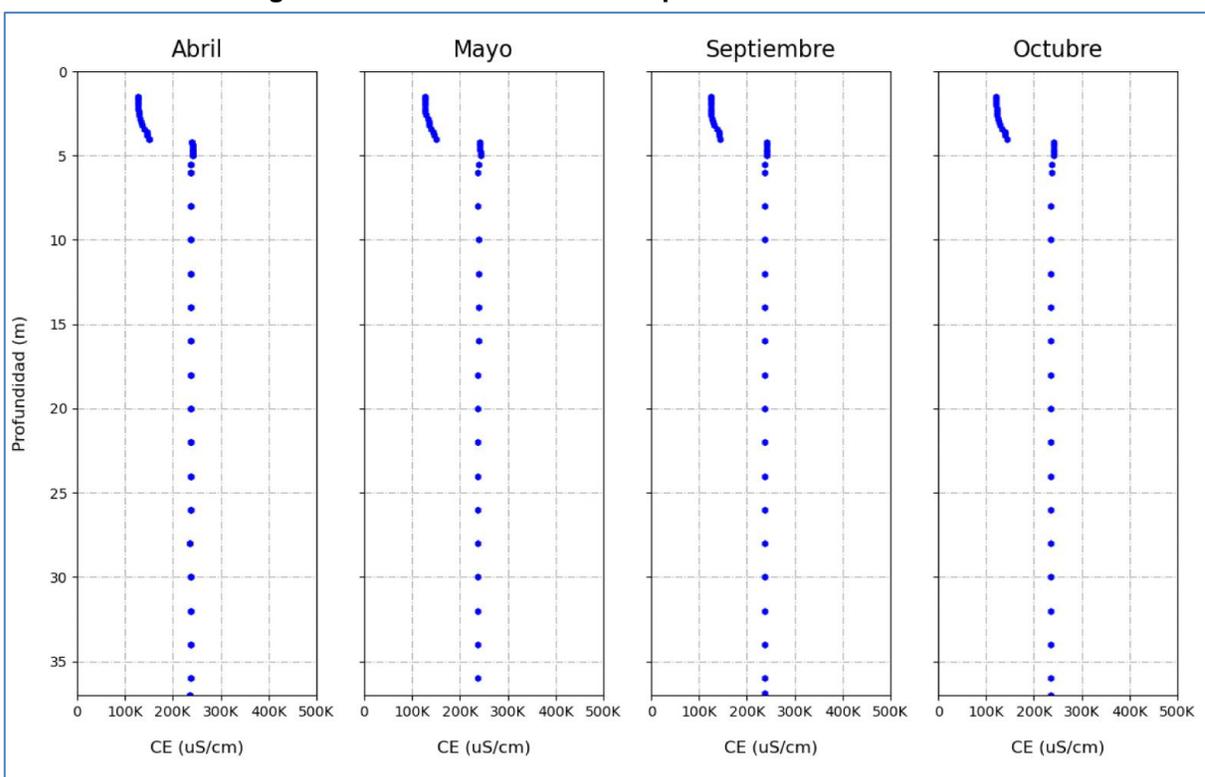
Fuente: Elaboración propia

5.7.2.3 MPS-CC

En la Figura 5-49 se muestra el resultado de las campañas durante el año 2023. La interfase salina se observa entre los 3 y 5 m, con una posición similar que el pozo MPS-AC. El grafico trimestral muestra una interfase en una posición estable, entre 3 y 5 m (Figura 5-50), los puntos MPS-AC y MPS-CC corresponden a los más cercanos al núcleo del salar en el sector Peine, donde se encuentra la interfase salina a una profundidad somera. No se observan cambios en la posición de la interfase salina durante el año.

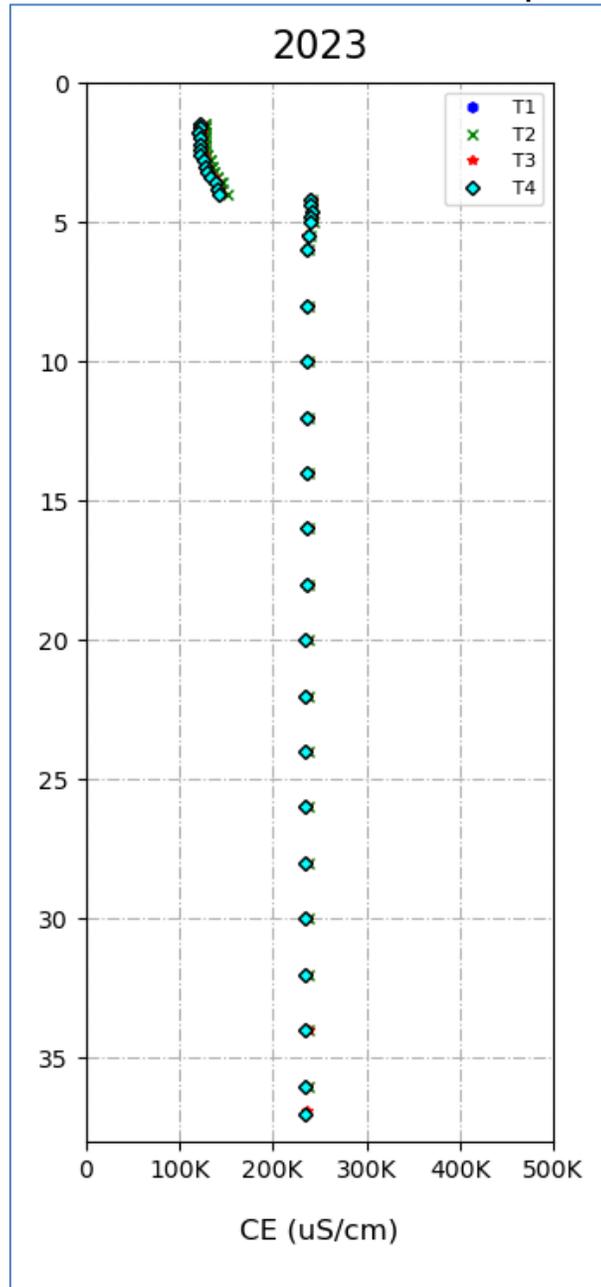
Destaca la alta conductividad eléctrica registrada en profundidades más someras desde el inicio del pozo, con agua salobre de conductividad eléctrica desde los 150.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 5-49 Perfiles de C.E. en el punto MPS-CC año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-50 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MPS-CC

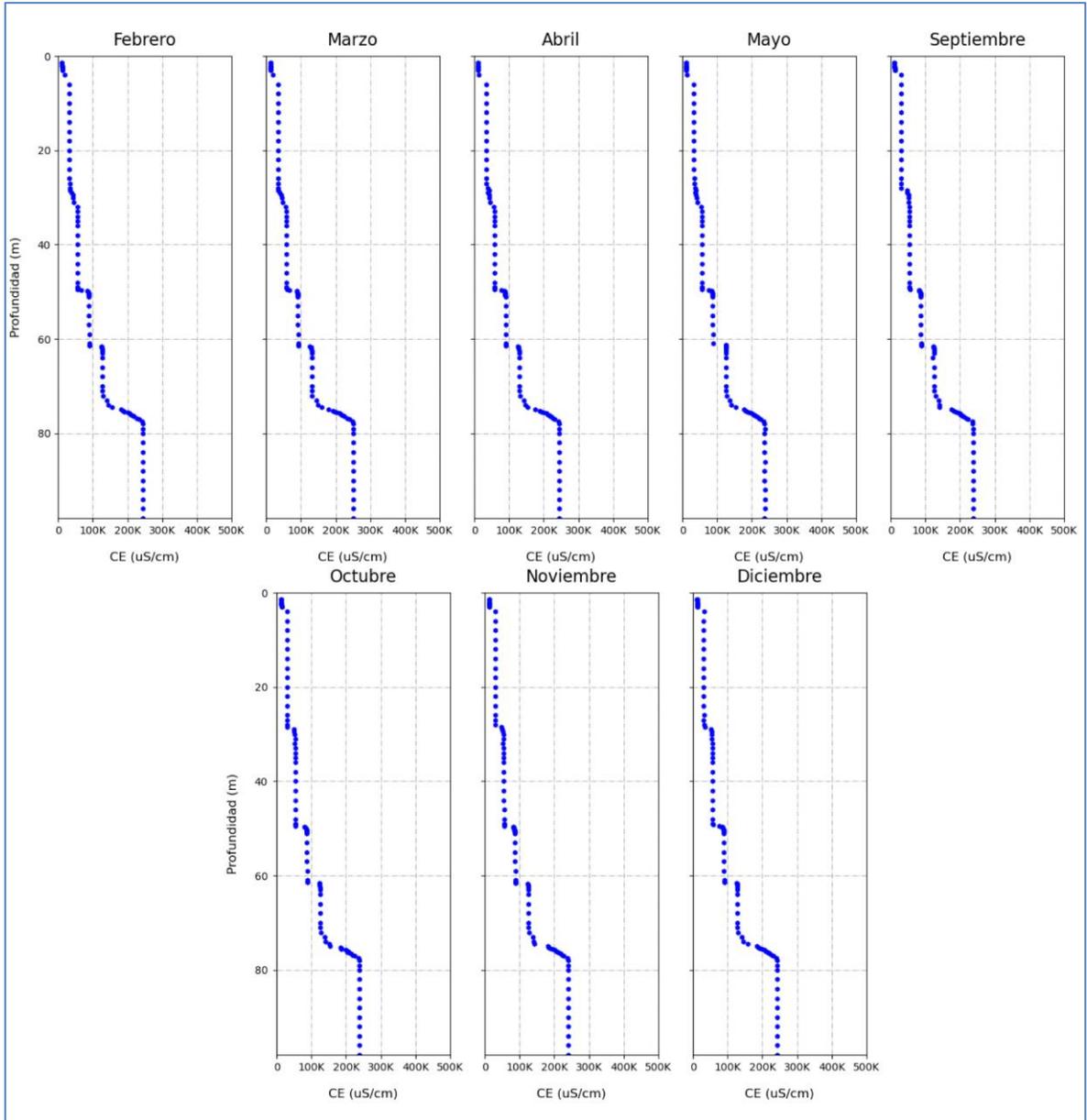


Fuente: Elaboración propia

5.7.2.4 PP-01

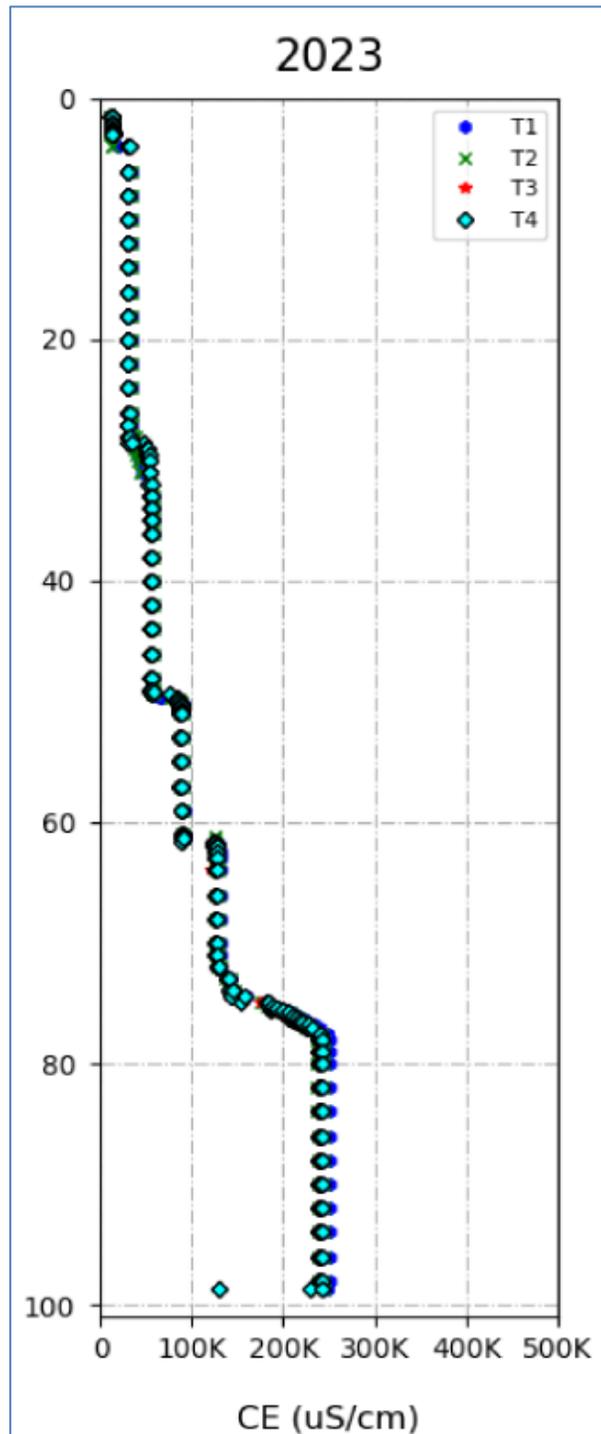
Durante el año 2023 el punto PP-01 muestra cuatro aumentos escalonados de conductividad eléctrica hasta los 80 m de profundidad aproximadamente (Figura 5-51). El comportamiento de este pozo se ha mantenido estable durante el 2023 (Figura 5-51).

Figura 5-51 Perfiles de C.E. en el punto PP-01 año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-52 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto PP-01



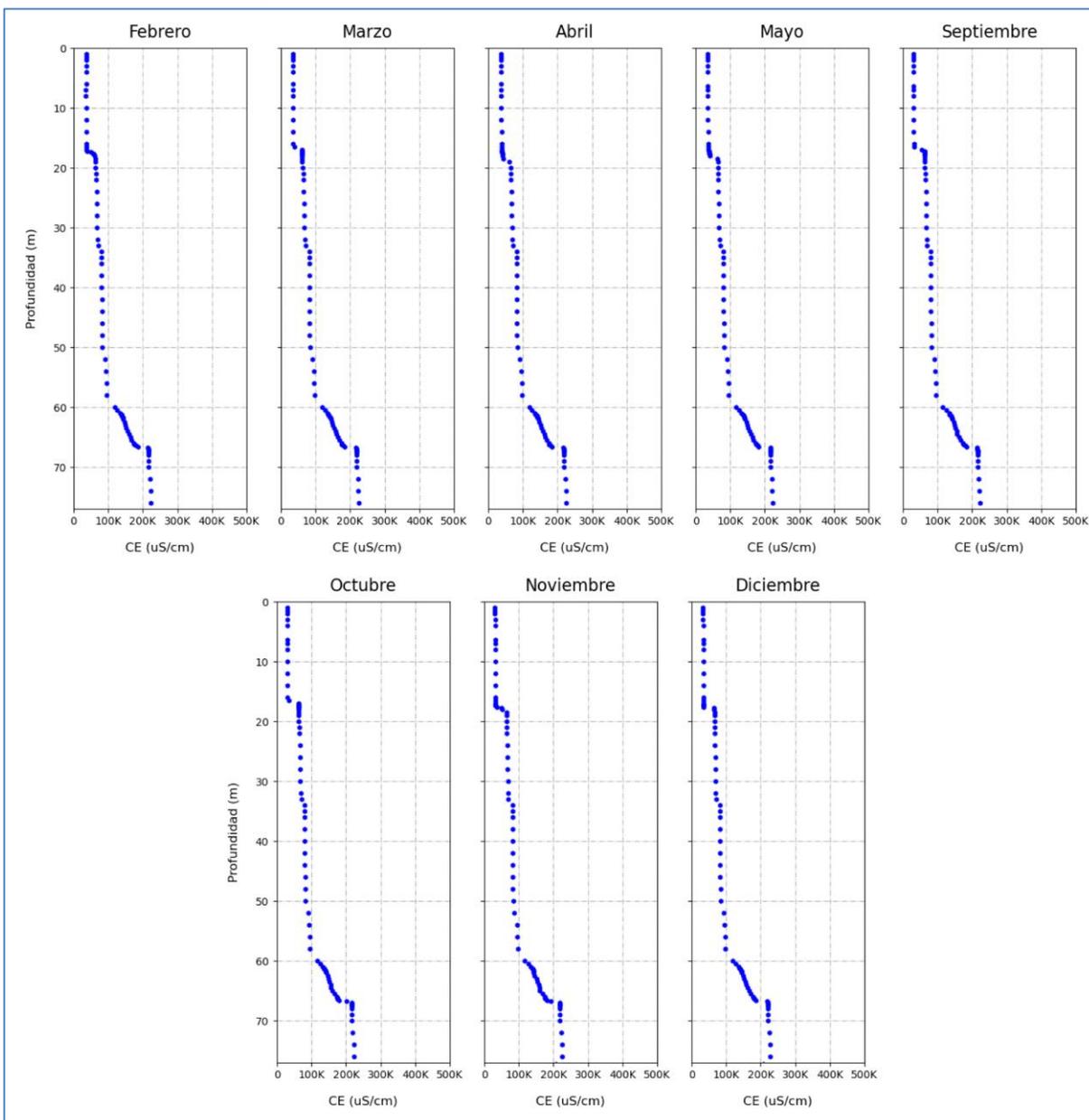
Fuente: Elaboración propia

5.7.2.5 PP-02

En la Figura 5-53 se muestran los resultados de los perfiles realizados durante el 2023 para el punto PP-02. La zona de cambio de conductividades eléctricas se presenta entre los 20 a 67 m de profundidad, con un aumento más pronunciado entre los 60 y 67 m, desde donde se registran valores superiores a los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

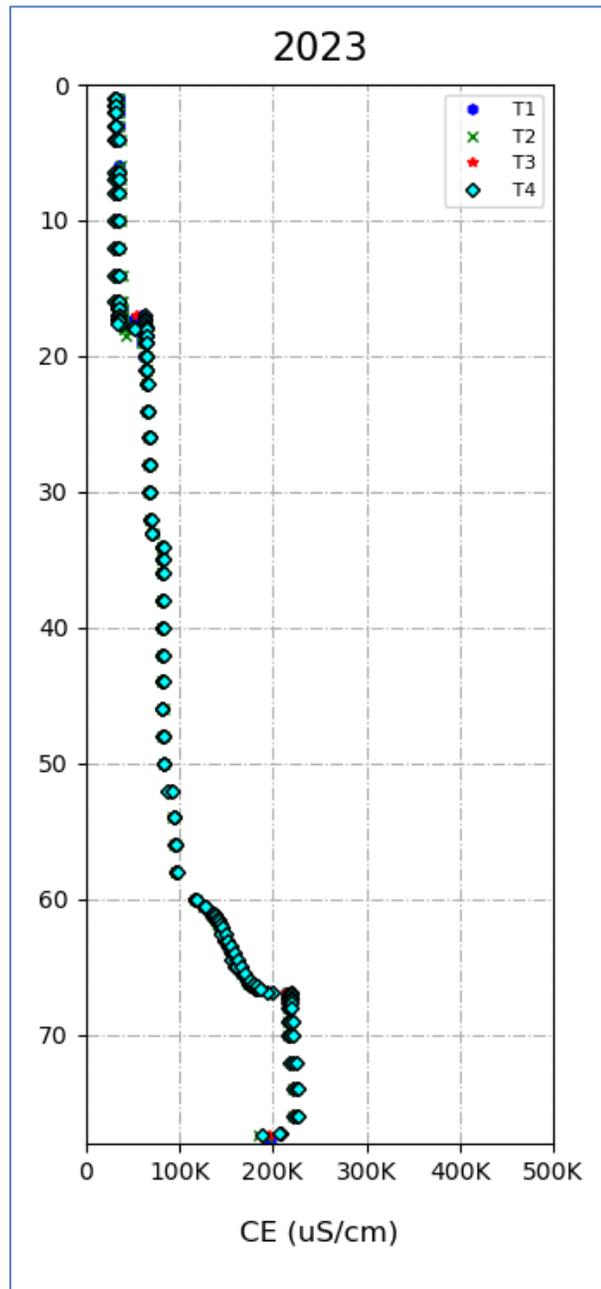
En la Figura 5-54, se aprecia que la interfase salina no ha variado su posición durante el 2023.

Figura 5-53 Perfiles de C.E. en el punto PP-02 año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-54 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto PP-02



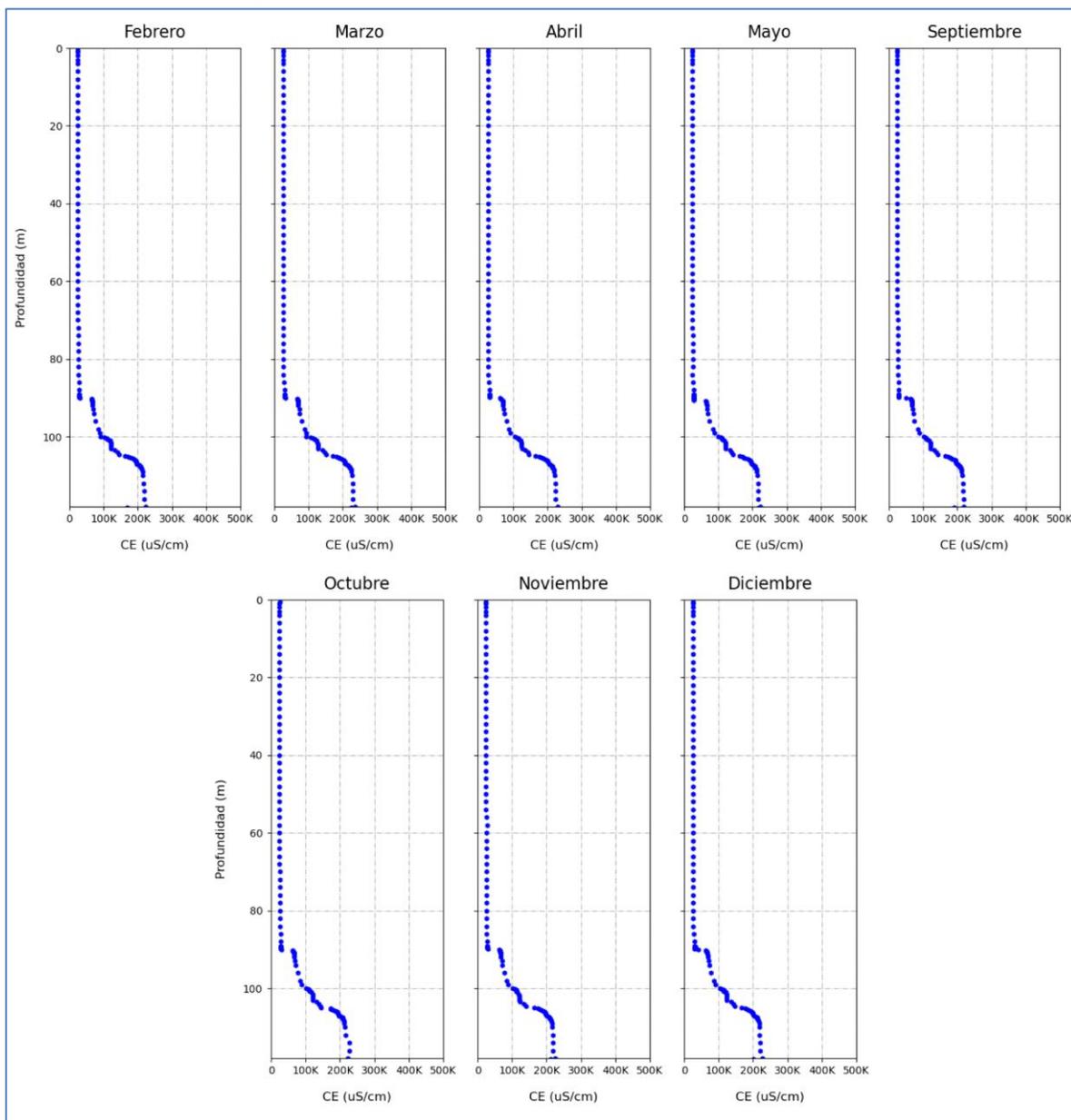
Fuente: Elaboración propia

5.7.2.6 PP-03

Las campañas de 2023 de perfiles de conductividad en el punto PP-03 muestran que la interfase salina se presenta desde los 90 hasta 110 m de profundidad, donde la conductividad eléctrica aumenta de manera gradual a valores por sobre los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5-55).

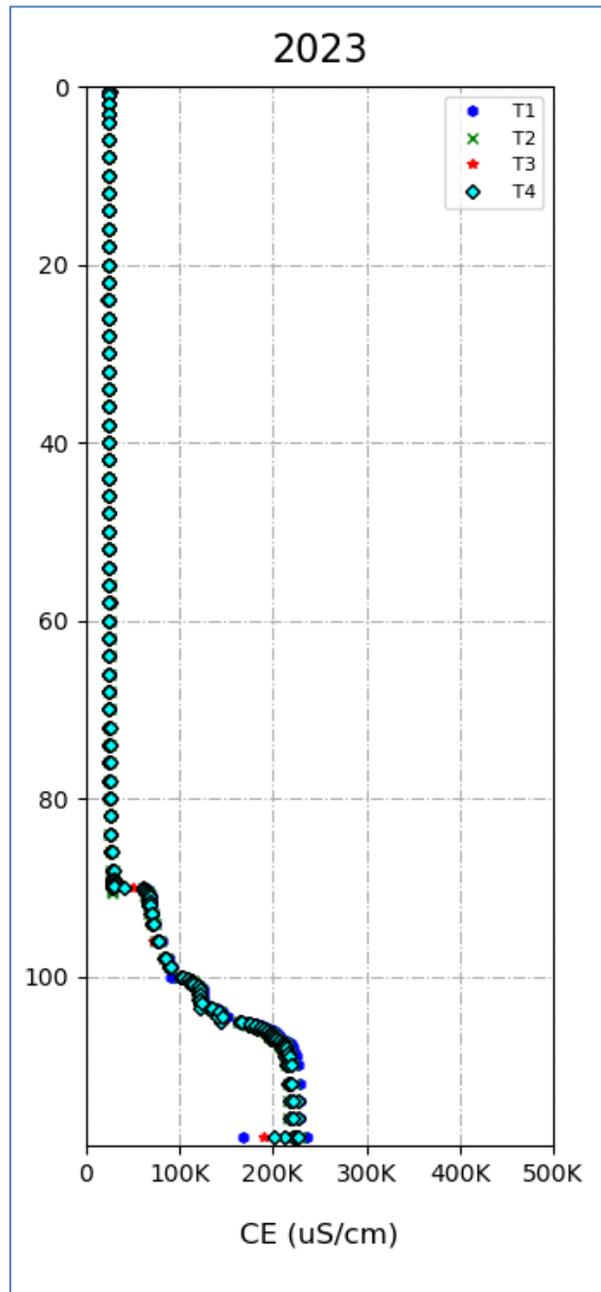
El gráfico trimestral no muestra variaciones en la posición de la interfase salina durante el 2023 (Figura 5-56).

Figura 5-55 Perfiles de C.E. en el punto PP-03 año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-56 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto PP-03

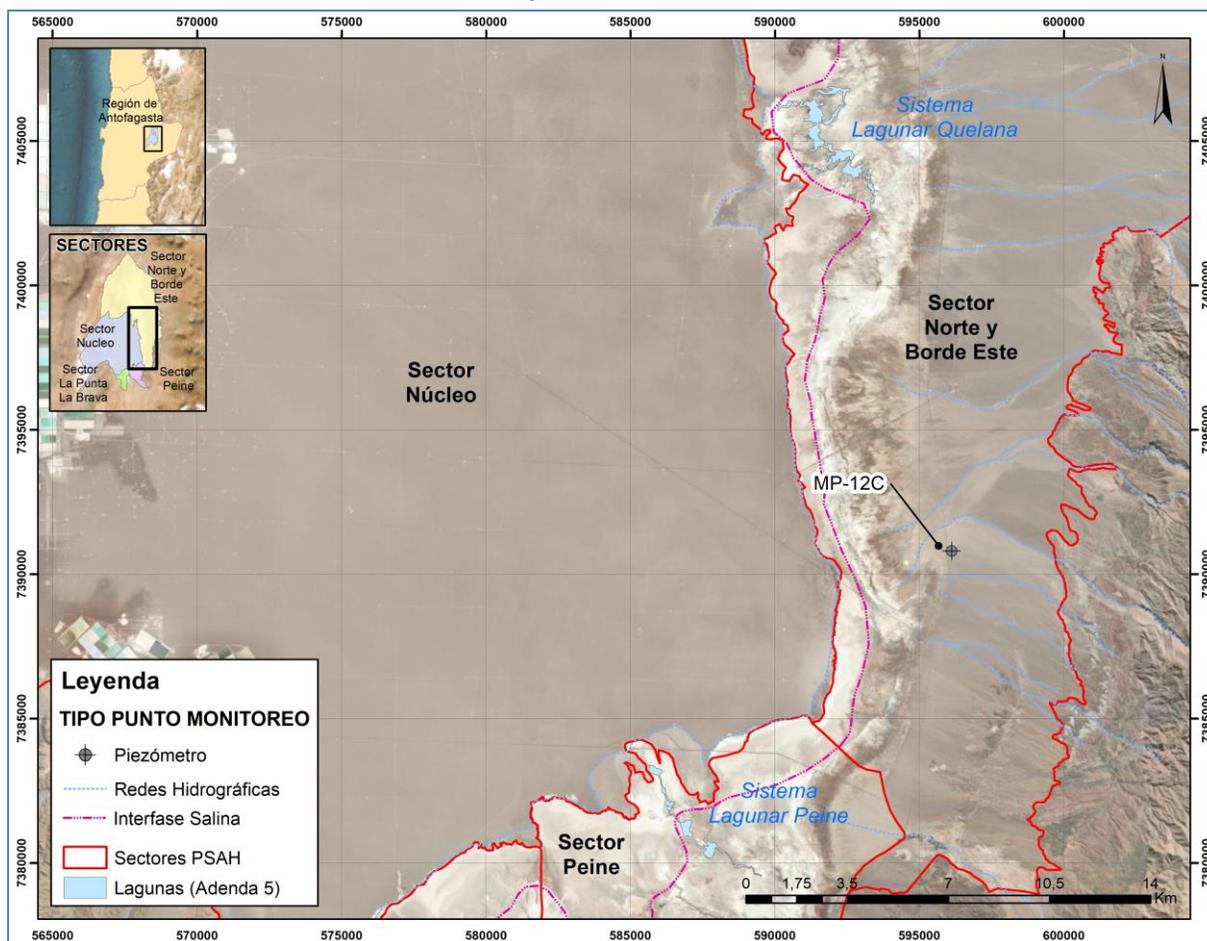


Fuente: Elaboración propia

5.7.3 Sector Norte y Borde Este

En la Figura 5-57 se muestra la ubicación del punto comprometido para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el Norte y Borde Este, el cual corresponde al punto MP-12C.

Figura 5-57 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

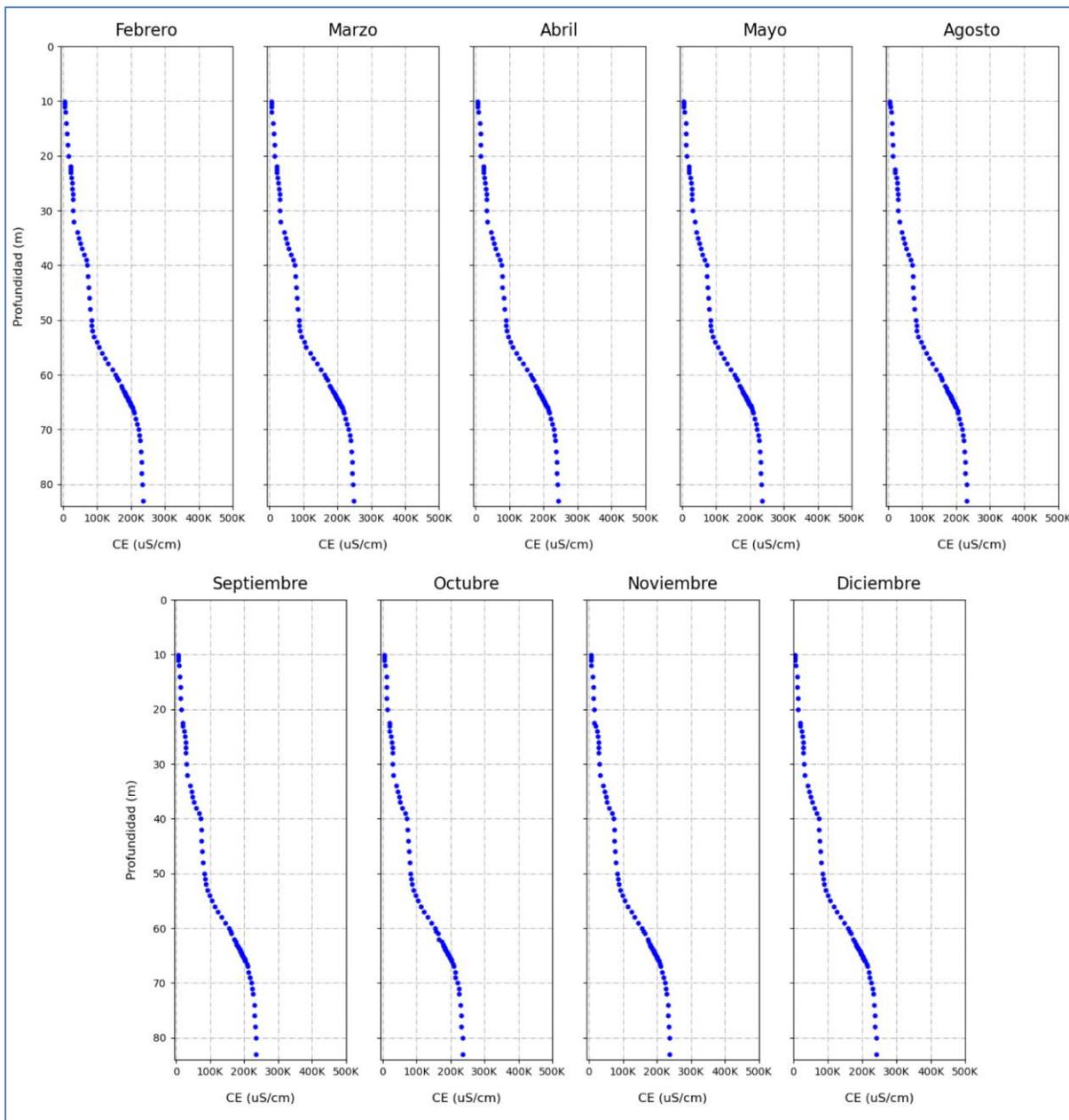
En el Anexo G-1 se muestran los registros de profundidad, conductividad eléctrica y temperatura obtenidos durante las campañas realizadas en el año 2023.

5.7.3.1 MP-12C

En la Figura 5-58 se observan los resultados para las campañas de medición de perfiles de conductividad eléctrica para el año 2023. Se observa un aumento gradual en la conductividad eléctrica entre los 50 m hasta los 70 m llegando a valores superiores a 200.000 $\mu\text{S/cm}$

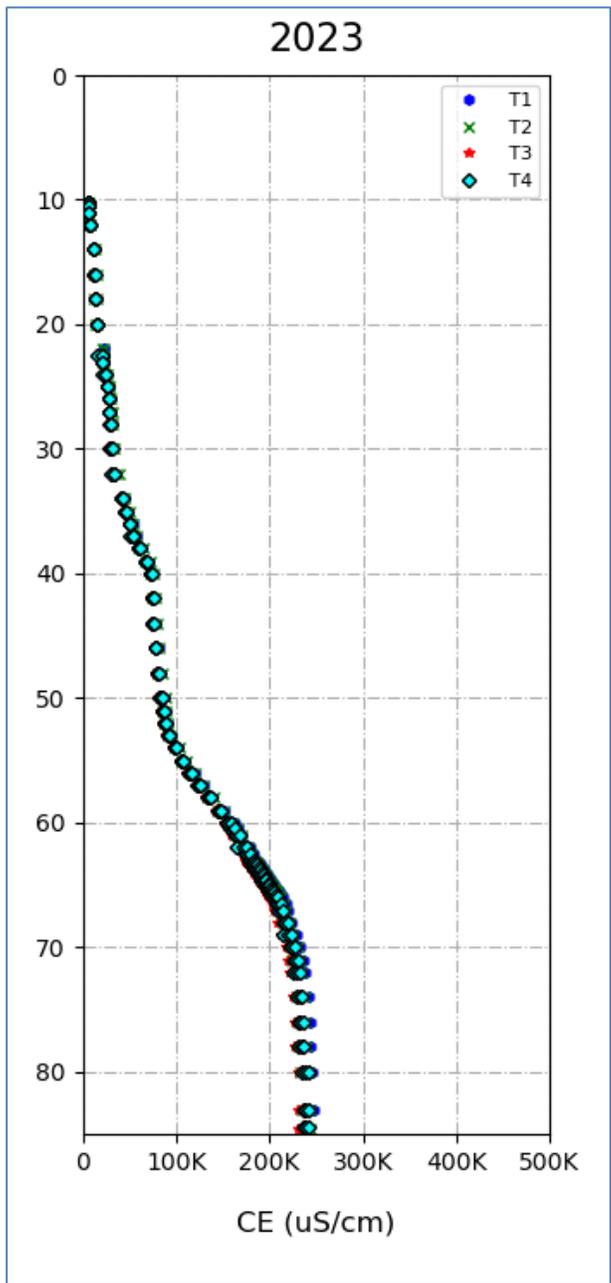
alrededor de los 70 m de profundidad. La grafica trimestral muestra que la interfase salina se ha mantenido constante durante el 2023 (Figura 5-59).

Figura 5-58 Perfiles de C.E. en el punto MP-12C año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-59 Perfiles trimestral 2023 de C.E. en el punto MP-12C



Fuente: Elaboración propia

5.8 Composición Química de las aguas

En el presente subcapítulo se exhiben los resultados de la composición química de las aguas en base al monitoreo comprometido de frecuencia trimestral del año 2023, en los puntos definidos en el PSAH, los cuales se distribuyen en 3 sectores individualizados como:

- Sector La Punta-La Brava
- Sector Peine
- Sector Norte y Borde Este

La descripción de los resultados se realiza abordando su presentación por cada sector señalado. La ubicación de los puntos de monitoreo se presenta en la Figura 5-60, Figura 5-72 y Figura 5-84.

Como se menciona en el 4.3.8 la variable de calidad de las aguas superficiales, subterráneas, y salmueras se obtiene a través de la medición de parámetros *in situ* y del muestreo de aguas para su análisis químico en laboratorio.

El total de puntos comprometidos en la RCA 21/2016 como parte de esta variable son 40, incluyendo puntos en aguas superficiales (vertientes y lagunas) y pozos, todos los cuales se encuentran operativos. En el Anexo H se presentan todos los puntos de monitoreo de calidad de agua para cada uno de los sectores.

Por otro lado, debido a la activación en enero 2023 de la Fase Única del PAT sector Alerta Acuífero, según se indica en la sección 0 de este Informe, se aumentó la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual, durante los meses de marzo, abril y mayo de 2023 (dicha extensión fue debido a que no se pudo realizar durante el mes de febrero, por no contar con la coordinación con la Comunidad de Peine). Además, debido a la activación durante el mes de septiembre 2023 de la Fase I del PAT del sector Alerta Núcleo, también se aumentó la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual en noviembre y diciembre 2023 (octubre 2023 también se realizó, dado el compromiso trimestral).

Sin embargo, existen puntos ubicados en la Reserva Nacional Los Flamencos donde por falta de permisos que entrega CONAF y/o Comunidades, no se pudo efectuar el monitoreo comprometido. En la sección 4.4.1 se indican los puntos en que no fue posible realizar el muestreo en determinadas campañas del 2023 y los motivos asociados.

En el Anexo H-1 se entregan los resultados y/o registros de las campañas del año 2023, de los meses de enero, marzo, abril, mayo, julio, y octubre²¹, indicando el nombre de cada punto, la fecha de muestreo y medición, los valores de los parámetros *in situ* y resultados de los parámetros analizados en laboratorio comprometidos en el PSAH. Cabe destacar que en estas

²¹ Se hicieron campañas en noviembre y diciembre, pero estos datos no están validados por la ETFA, al desarrollar el presente informe.

mismas tablas se indica que los monitoreos de 2023 fueron realizados por las ETFA SGS y ANAM.

Cumplimiento del error de Balance Iónico

El error de balance iónico se calculó para todas las muestras a partir de la siguiente expresión con los cationes Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Sr^{2+} , Li^+ y B^+ , y aniones Cl^- , HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} y NO_3^- (ver metodología en Capítulo 4).

$$\text{error de balance (\%)} = 100 \times \frac{\text{suma de cationes} - \text{suma de aniones}}{\text{suma de cationes} + \text{suma de aniones}} (\text{meq/L})$$

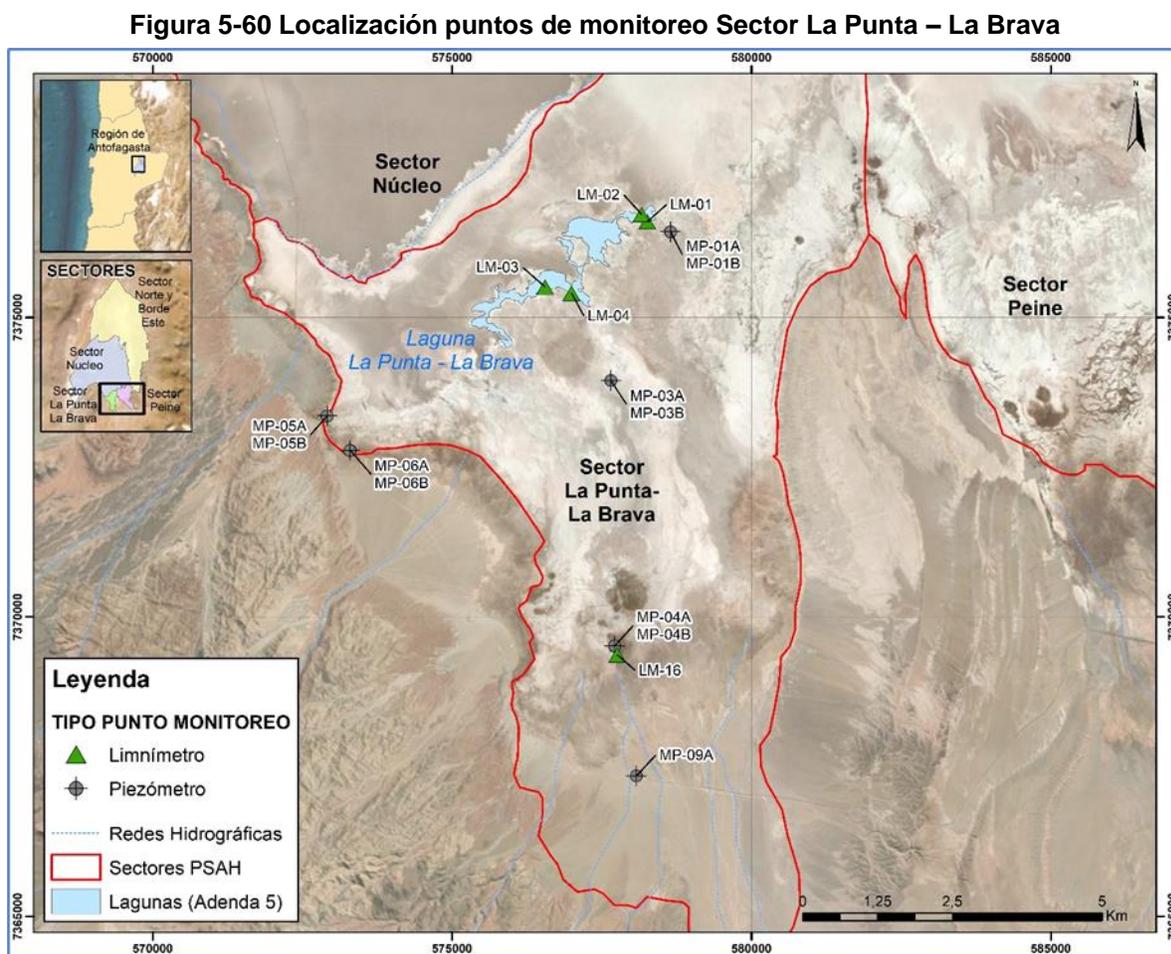
Los errores obtenidos se incluyen en las tablas anteriores de resultados químicos. De las 173 muestras analizadas el 2023, el 52,6% de las muestras (91) presenta un error inferior al 5%, 39 muestras (22,5%) presentan un error entre 5% y 7% (ambos porcentajes inclusive), 42 muestras (24,3%) presentan un error de balance entre 7% y 10% y 1 muestra (0,6%) presentan un error de balance mayor que 10%, todo lo anterior en valor absoluto.

Estos porcentajes de cumplimiento se consideran adecuados por la tipología de muestras analizadas (mayoritariamente muestras salobres y salmueras), siendo que los lineamientos de la Guía SEA, 2012, “de carácter indicativo y referenciales”, son aplicables para aguas dulces y no consideraría las aguas salobres y salmueras. Porcentajes del error del balance iónico menores a 10% como valor absoluto se consideran aceptables de acuerdo con la ETFA SGS (ver carta LAB-003-22-EC-STGO en Anexo M), debido a que se pueden esperar errores más altos debido a la necesidad de realizar diluciones sucesivas de las muestras (para obtener un resultado de cada uno de los analitos involucrados en el cálculo de balance iónico, y también para disminuir la interferencia por las altas concentraciones de cloruro en los ensayos) y al efecto matriz (la viscosidad y densidad de las muestras tan concentradas dificultan determinar con una alta exactitud las concentraciones de cada uno de los compuestos químicos disueltos debido a que muchos de ellos se encuentran cercanos a su índice de solubilidad).

A continuación, se muestran las gráficas de evolución temporal de los parámetros in situ más del pH y conductividad eléctrica (los otros parámetros se pueden ver en sección 6.1.8). A partir de las concentraciones de los elementos mayoritarios disueltos (cationes y aniones) se han elaborado los diagramas de Piper, con el objetivo de caracterizar el tipo de aguas. Y un mapa de con la presentación espacial de la variación temporal de la CE in situ, Sector La Punta-La Brava 2023.

5.8.1 Sector La Punta – La Brava

La ubicación de los 16 puntos de monitoreo (LM-01, LM-02, LM-03, LM-04, LM-16, MP-01A, MP-01B, MP-03A, MP-03B, MP-04A, MP-04B, MP-05A, MP-05B, MP-06A, MP-06B y MP-09A) de este sector se presenta en la Figura 5-60.



Fuente: Elaboración propia

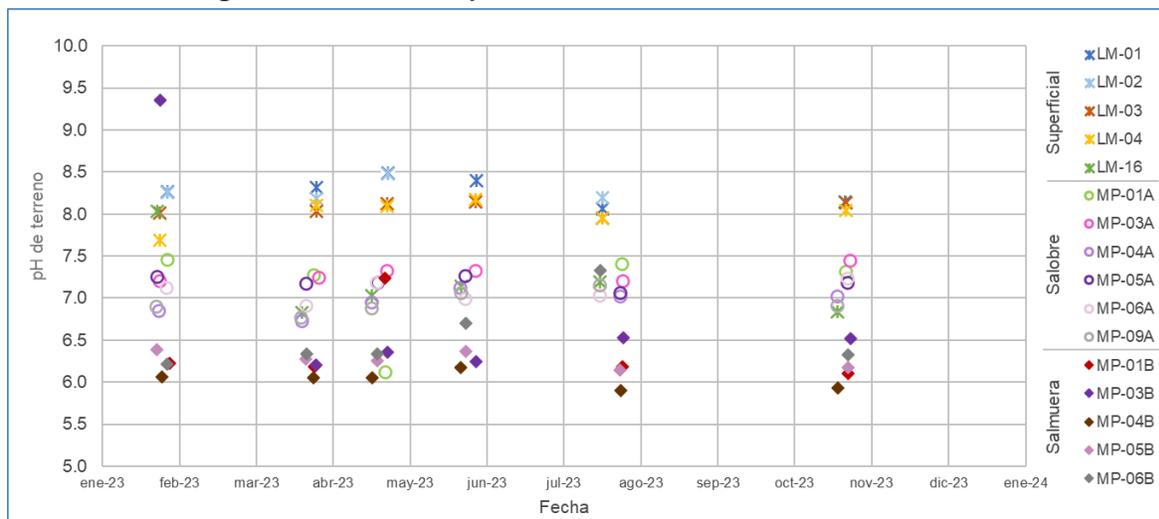
5.8.1.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

pH in situ

Los resultados de pH para el Sector La Punta-La Brava, indican que las aguas superficiales de las lagunas presentan los valores de pH más altos, entre 7,69 (LM-04) y 8,49 (LM-01), con excepción del punto LM-16 se encuentra en el sector denominado Tilopozo, ubicado al sur del resto de los puntos de las lagunas, con un pH de tendencia neutra (pH entre 6,83 y 7,19). Las aguas salobres presentan rangos de pH intermedios, con medidas entre 6,12 y 7,46 en MP-01A, mientras que las salmueras son las que presentan los valores pH más bajos, en general

con valores inferiores a 7, que varían entre 5,90 (MP-04B) y 6,55 (MP-03B), a excepción del MP-06B en el mes de julio que presentó un valor de 7,33. Lo anterior se puede ver en la Figura 5-61.

Figura 5-61 Variación pH *in situ* Sector La Punta-La Brava 2023



Fuente: Elaboración propia

Conductividad Eléctrica *in situ*

Respecto a la conductividad eléctrica (CE) del sector La Punta-La Brava (Figura 5-62), las muestras tomadas en salmuera (pozos MP-04B y MP-05B), tienen valores que varían aproximadamente entre los 203.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 280.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a excepción de 1 registro anómalo en el punto MP-04B, correspondiente a 191.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octubre 2023 (posible error en la profundidad de medición).

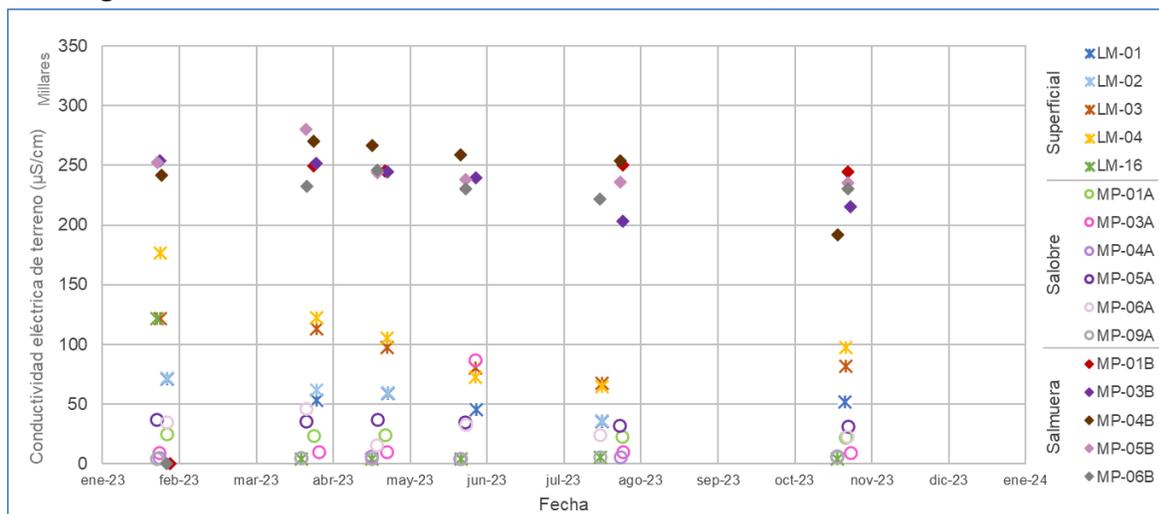
Las aguas subterráneas salobres, presentan conductividades entre 4.341 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MP-09A) y 46.050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MP-06A), que corresponden a los valores más bajos de CE del sector. El único punto anómalo MP-03A con una conductividad de 86.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por sobre el rango esperado, que podría asociarse a un error de medida de la EFTA.

Las aguas superficiales muestran valores intermedios entre 35.440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LM-01 y 176.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LM-04. El punto LM-16 registró 121.410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en enero del 2023. Lo anterior se puede ver en la

Se observan 2 tendencias principales en el sector LP-LB. Por una parte, en las lagunas de La Punta – La Brava (LM-01, LM-02, LM-03 y LM-04) presenta valores de conductividades que corresponden a agua salobre, y muestran una tendencia al descenso hasta octubre, mes en que comienzan a subir las conductividades nuevamente. Y, por otra parte, en el sur el punto

LM-16 ubicado en Tilopozo, tiene los menores valores de CE relativo al resto de las lagunas, con un rango entre 4.129 $\mu\text{S/cm}$ y 5.103 $\mu\text{S/cm}$.

Figura 5-62 Variación durante el año 2023 de CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava

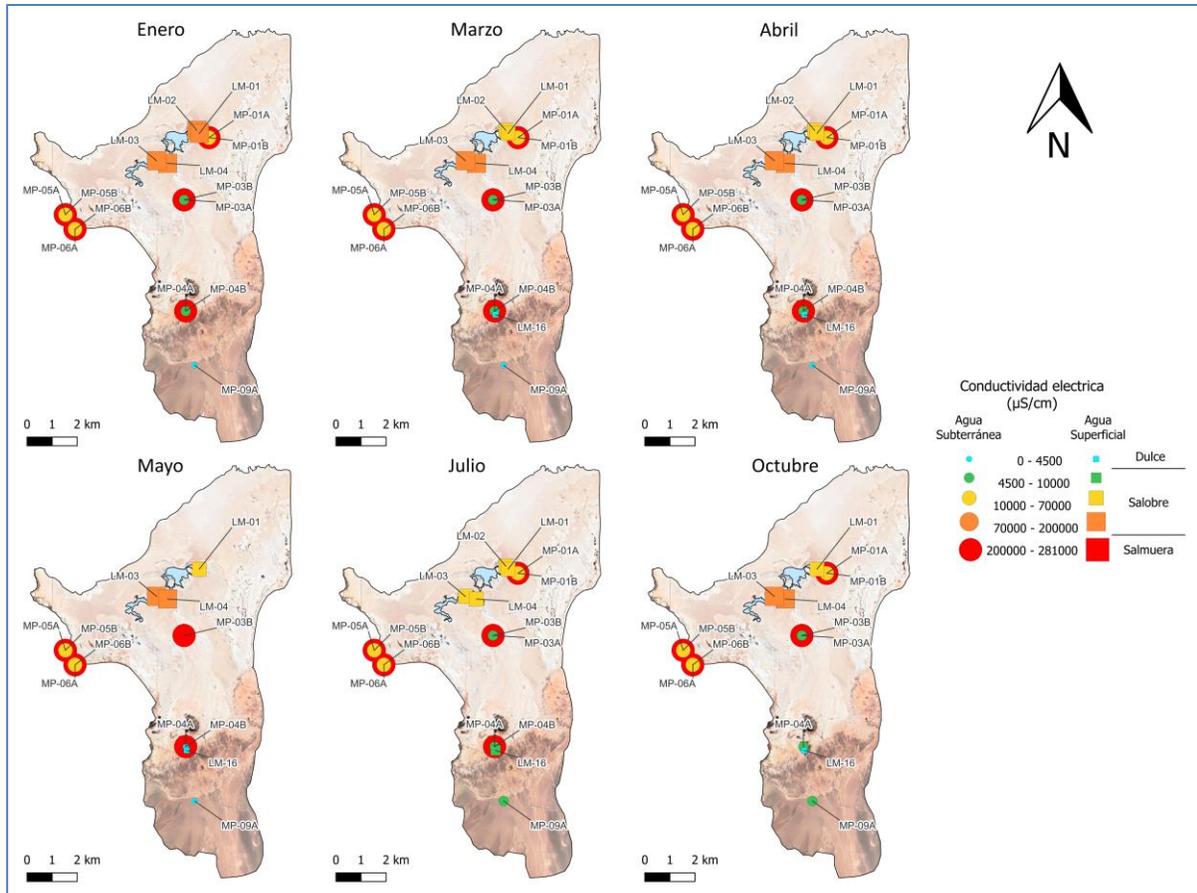


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-63 se presenta el mapa, para el Sector La Punta-La Brava, que muestra la variación temporal de la conductividad eléctrica durante el 2023, y su respectiva clasificación del tipo de agua de los puntos monitoreados. En dicha Figura (Figura 5-63) se observa, que en general los puntos monitoreados en La Punta – La Brava no presentan variaciones importantes en sus conductividades durante el 2023, y los cambio en las clasificaciones de agua se deben a valores que salen de los rangos establecidos por escasos $\mu\text{S/cm}$, lo cual no representa cambios realmente importantes en las condiciones de estas aguas.

Los puntos donde se identifica una tendencia, es en los datos de limnímetros ubicados en las lagunas al norte del sector, en los que es clara una tendencia a disminuir los valores de conductividad eléctrica, la cual cambia en los datos de octubre en el cual se evidencia como la estacionalidad afecta estos sistemas superficiales.

Figura 5-63 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava 2023



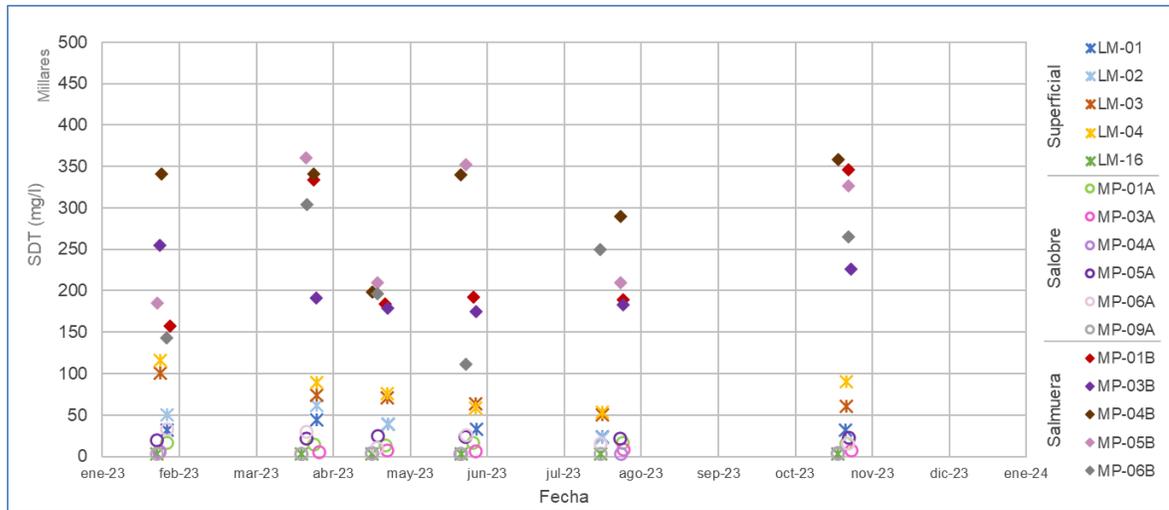
Fuente: Elaboración propia

5.8.1.2 Parámetros Físicoquímicos de laboratorio

Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 5-65 se presentan los resultados de laboratorio del análisis de SDT. La carga de material disuelto, como es esperable, es mucho mayor en las muestras de salmuera, que varían entre los 142.860 mg/l y 360.560 mg/l. Los SDT de las muestras de las lagunas (superficiales) están en un rango intermedio de concentraciones, el valor mínimo es de 116.280 mg/l en LM-04 y el máximo es de 23.050 mg/l en LM-02. Es importante destacar que para el punto LM-16, en Tilopozo, los valores de sólidos disueltos son menores, manteniéndose en un rango entre 2.608 mg/l y 3.340 mg/l. Para las aguas subterráneas someras (salobres) los SDT son menores a los 33.320 mg/l y mayores a 2.624 mg/l.

Figura 5-64 Variación Temporal de SDT en laboratorio, Sector La Punta-La Brava 2023



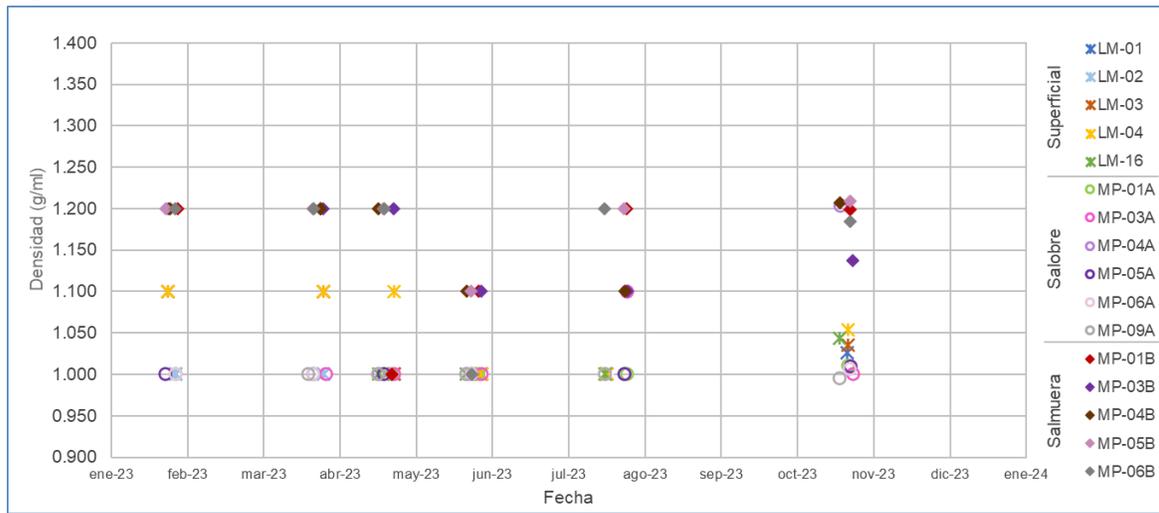
Fuente: Elaboración propia

Densidad

Con respecto a la densidad, los valores para las salmueras son mayores que aquellos de las aguas salobres, con mediciones entre 1,199 y 1,209 g/ml (sin considerar el valor mínimo anómalo de 1,000 g/ml). Las aguas salobres, como es de esperar por la menor carga de material disuelto, tienen mediciones entre 0,995 g/ml y 1,100 g/ml. Las aguas superficiales de las lagunas tienen densidades que se circunscriben entre las de las salmueras y las aguas salobres, con densidades entre 1,000 g/ml y 1,100 g/ml. Es importante destacar que para el año de 2023 una gran cantidad de muestras de agua salobre y superficial presentaron valores por debajo del límite de detección considerándose valores anómalos, esto es debido al valor del límite de detección (<1) utilizado por del laboratorio, no permite obtener el valor real de ese parámetro en ese punto (5 muestra de agua salobre y 2 de agua superficial).

En la Figura 5-64, se presenta la variación temporal de la densidad medida en laboratorio, donde se observan claramente los cambios en las densidades de las aguas superficiales, producto de las precipitaciones del invierno altiplánico del año 2023. Los puntos LM-01 a LM-04 muestran que la densidad de las aguas aumenta relativamente en los meses de febrero y marzo para luego disminuir pasado el estío y aumentar nuevamente en octubre.

Figura 5-65 Variación en el año 2023 de la densidad en laboratorio, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.8.1.3 Elementos Mayoritarios Disueltos-

5.8.1.3.1 Aniones mayores

Los aniones mayores corresponden a cloruros (Cl^-), bicarbonatos (HCO_3^-), nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}).

Entre estos aniones, las concentraciones de los cloruros son las mayores, por lo que responden de manera similar a lo descrito para la CE y los SDT. Las aguas superficiales, representadas por los puntos LM, presentan concentraciones que varían entre un mínimo de 11.190 mg/l y un máximo de 106.568 mg/l. Para el punto LM-16, la concentración de cloruros es menor a los anteriores, con un mínimo de 875 mg/l y un máximo de 1.050 mg/l. En estos puntos superficiales se identifica una tendencia al descenso, la cual finaliza en julio, para volver a ascender en los registros de octubre. Por otro lado, las aguas salobres presentan valores menores a las aguas superficiales lagunares, variando entre un mínimo de 909 mg/l en el punto MP-09A (octubre), y un máximo de 16.464 mg/l en el punto MP-06A (enero) (sin considerar el dato anómalo de marzo 22.568 mg/l en MP-06A). Los pozos que monitorean la salmuera presentan las mayores concentraciones de cloruros, con valores que varían entre un mínimo de 83.632 mg/l en el punto MP-06B (enero) y un máximo de 209.635 mg/l en el punto MP-04B (julio), junto al mínimo mencionado solo hay un dato más que es menor a los 100.000 mg/l registrado igualmente en el punto MP-06B en marzo. Estas concentraciones resultan ser consistentes con la presencia de la salmuera en profundidad y sin percibir los cambios estacionales que sí se detectan en superficie.

Las concentraciones de bicarbonatos poseen rango de variación similar entre las 3 fuentes de aguas, que se circunscriben en general entre los 200 mg/l y 600 mg/l. Las aguas superficiales lagunares, sin embargo, presentan concentraciones mayores de bicarbonato, llegando a un mínimo de 366 mg/l en LM-01 (julio) (sin considerar el dato anómalo de marzo 41,2 mg/l en LM-02), y un máximo de 864 mg/l en LM-04 (enero). En el otro extremo, las concentraciones en la salmuera obtenida desde MP-04B son las menores, registrando un mínimo de 209,4 mg/l de bicarbonato disuelto en marzo (sin considerar el dato atípico de marzo 85,6 mg/l en el punto MP-03B), llegando a un máximo de 652 mg/l en MP-06B (abril). Finalmente, los valores de agua salobre oscilan entre un mínimo de 363,2 mg/l en MP-06A (marzo) (sin considerar el valor anómalo de abril 17,4 mg/l en el punto MP-01A), y un máximo de 532,9 mg/l en MP-05A (marzo).

El nitrato, en el caso de la salmuera, presenta dispersión en sus valores más que el agua salobre y superficial. En el caso de las lagunas y aguas salobres, los valores son bajos y similares entre sí. En 2023 el valor mínimo fue de 4,02 mg/l en el punto MP-06B (abril) (sin considerar el valor atípico de mayo 1,13 mg/l en el punto MP-01B), mientras que el máximo valor registrado en salmuera de nitrato fue de 104,08 mg/l en el punto MP-01B (abril). Por otro

lado, los valores de agua superficial y salobre oscilan entre un mínimo de 0,92 mg/l en el punto MP-03A (enero), y un máximo 6,69 mg/l en el punto LM-04 (enero).

En el caso de los sulfatos, al igual que en el caso de los cloruros, también se observa la diferencia de concentración para las aguas salobres y para la salmuera, oscilando entre un mínimo de 403 mg/l en MP-09A (mayo) y un máximo de 1729 mg/l en MP-06A (marzo) para el caso de las aguas salobres, y entre un mínimo de 6.596 mg/l en MP-01B (marzo) (sin considerar el valor atípico de julio 1.412 mg/l en MP-06B) y un máximo de 18.687 mg/l en MP-05B (enero) (sin considerar los datos atípicos de marzo 25.684 mg/l y julio 28.302 mg/l, en MP-04B y MP-05B respectivamente), para la salmuera. Se observa que producto de procesos de evaporación y precipitaciones durante el verano existen altas concentraciones de sulfato a comienzo del año en las lagunas, LM-03 y LM-04, mayores que LM-01 y LM-02, lo que no se vislumbra tan marcadamente en las aguas salobres como en el caso de las lagunas. En general, las concentraciones de sulfato en las lagunas durante el 2023, registrándose un mínimo de 411 mg/l en LM-16 (enero), y un máximo de 14.241 mg/l en LM-04 (enero).

5.8.1.3.2 Cationes mayores

Los cationes mayores que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y sodio (Na^+).

Una característica común a los cationes considerados es que los pozos que monitorean la salmuera presentan los mayores contenidos o concentraciones, mientras que los pozos someros, correspondientes a aguas salobres, presentan valores semejantes a las concentraciones de las aguas superficiales en lagunas.

Las concentraciones de calcio muestran un rango de variación para las aguas superficiales de entre un mínimo de 75,3 mg/l en LM-16 (abril) y un máximo de 1.098,8 mg/l en LM-04 (enero), para aguas salobres entre un mínimo de 140,7 mg/l en MP-03A (abril) y un máximo de 525,7 mg/l en MP-05A (marzo) (sin considerar el valor anómalo de mayo 1.305,3 mg/l en MP-05A), y para la salmuera entre un mínimo de 327,7 mg/l en MP-05B (enero) y un máximo de 1.058,3 mg/l en MP-03B (julio) (sin considerar el dato atípico de abril 1.566,3 mg/l en MP-05B).

El potasio se presenta estable a lo largo del tiempo, con las mayores concentraciones alcanzadas en la salmuera. El limnómetro LM-16 posee los valores más bajos de potasio, con un mínimo de 64,1 mg/l en octubre, y un máximo de 90,7 mg/l en enero. Para el resto de las aguas superficiales las concentraciones de potasio muestran un rango de variación de entre un mínimo de 1005,4 mg/l en LM-01 (julio) (sin considerar el valor anómalo de octubre 665 mg/l en LM-01), y un máximo de 3.644 mg/l en LM-03 (marzo) (sin considerar el valor anómalo de enero 6.763,5 mg/l en LM-04), para aguas salobres entre un mínimo de 80 mg/l en MP-09A (enero) y un máximo de 1.526,2 mg/l en MP-05A (marzo), y para la salmuera entre un mínimo

de 6.766,4 mg/l en MP-06B (julio) (sin considerar los datos anómalos de enero 325 mg/l y octubre 5.446 mg/l, en MP-01B y MP-06B respectivamente) y un máximo de 35.239,5 mg/l en MP-04B (abril).

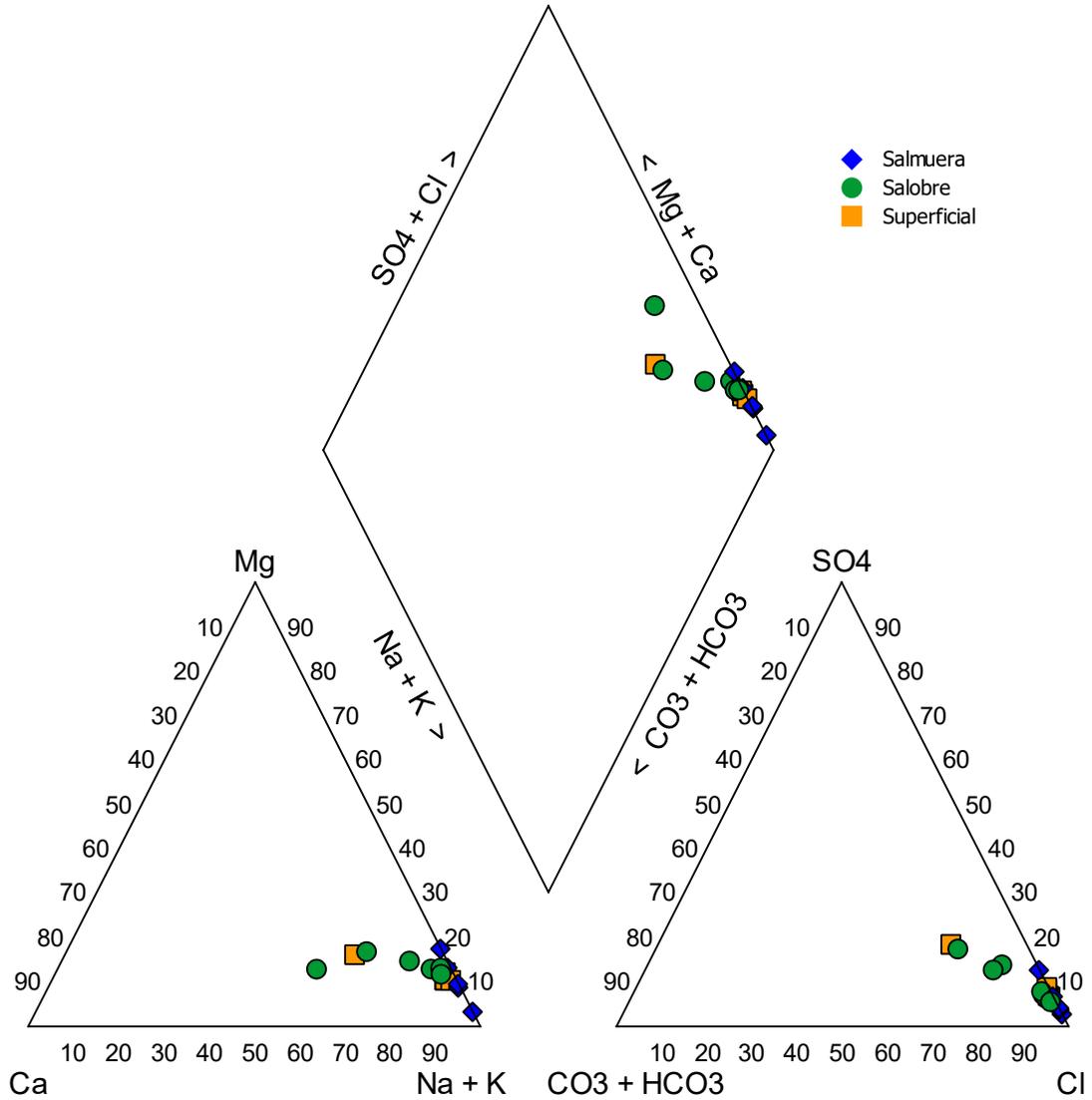
Las concentraciones de magnesio presentan los valores más bajos en los pozos someros, exceptuando el punto LM-16; este último posee valores entre un mínimo de 30,9 mg/l en julio, y un máximo de 86,4 mg/l en enero. Las lagunas presentan concentraciones mayores, con un mínimo de 538,7 mg/l en LM-02 (julio) (sin considerar los datos anómalos de marzo 236,5 mg/l y marzo 424,4 mg/l, en LM-02 y LM-01 respectivamente), y un máximo de 2.329,1 mg/l en LM-03 (enero) (sin considerar el valor anómalo de enero 4.437,3 mg/l en LM-04). Para las aguas salobres el mínimo registrado es de 66,34 mg/l en MP-04A (marzo), y el máximo es de 1.266 mg/l en MP-06A (marzo). Finalmente, los pozos profundos (salmuera), alcanzan un mínimo de 2.185,8 mg/l en MP-01B (abril) (sin considerar el valor anómalo de enero 889,6 mg/l en MP-06B).

El sodio es el elemento que se presenta en mayor concentración respecto al resto de cationes mayoritarios. En los pozos someros (agua salobre), el mínimo registrado fue de 522,1 mg/l en MP-09A (octubre), y un máximo de 9.285,6 mg/l en MP-05A (marzo). Le siguen las lagunas, con un mínimo 7.181,1 mg/l en LM-02 (julio) y un máximo de 31.628,4 mg/l en LM-04 (mayo) (sin considerar el valor anómalo de enero 66.079 mg/l en LM-04), pero LM-16 sigue manteniendo concentraciones más bajas que las anteriores, con un mínimo de 467,6 mg/l en julio y un máximo de 653,4 mg/l en abril. Las lagunas presentan un aumento de la concentración de sodio en enero debido a mayores procesos de evaporación y precipitaciones durante el verano. En la salmuera el mínimo registrado fue de 44.297,2 mg/l en MP-06B (enero) (sin considerar el valor anómalo de marzo 39.288,3 mg/l en MP-06B), y un máximo de 106.726,1 mg/l en MP-05B (abril) (sin considerar los datos anómalos de enero 119.478,5 mg/l y mayo 112.751,6 mg/l, en MP-04B y MP-05B respectivamente).

Por otro lado, durante el 2023 se mantienen las mayores concentraciones de calcio disuelto en las muestras lagunares de LM-04, por sobre las de salmueras.

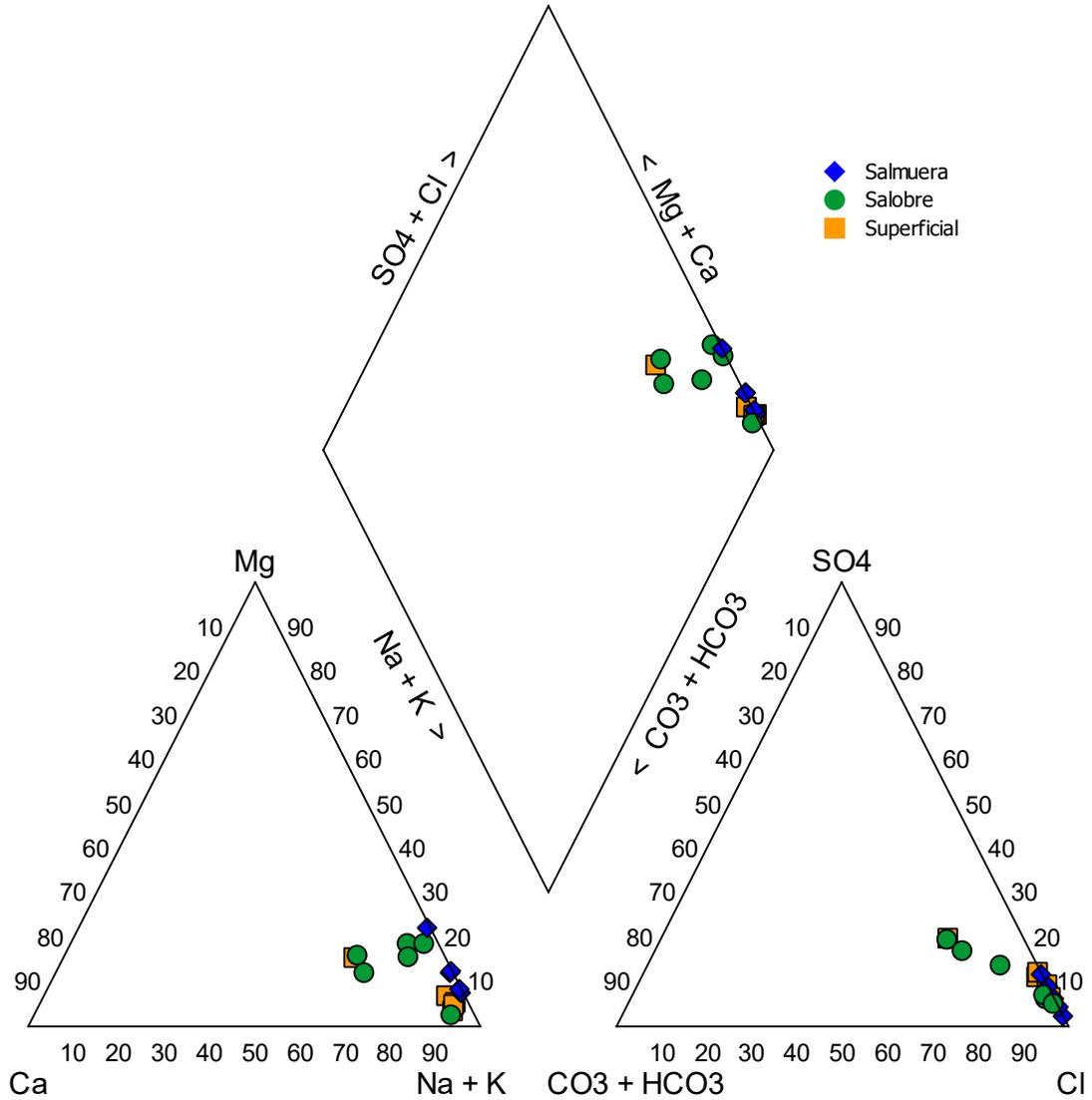
Desde la Figura 5-66 a la Figura 5-71, se presentan Diagramas de Piper con las clasificaciones de composición de las aguas de acuerdo a sus concentraciones de elementos mayores, para las campañas de enero, marzo, abril, mayo, julio y octubre de 2023.

Figura 5-66 Diagrama de Piper, campaña enero 2023, Sector La Punta-La Brava



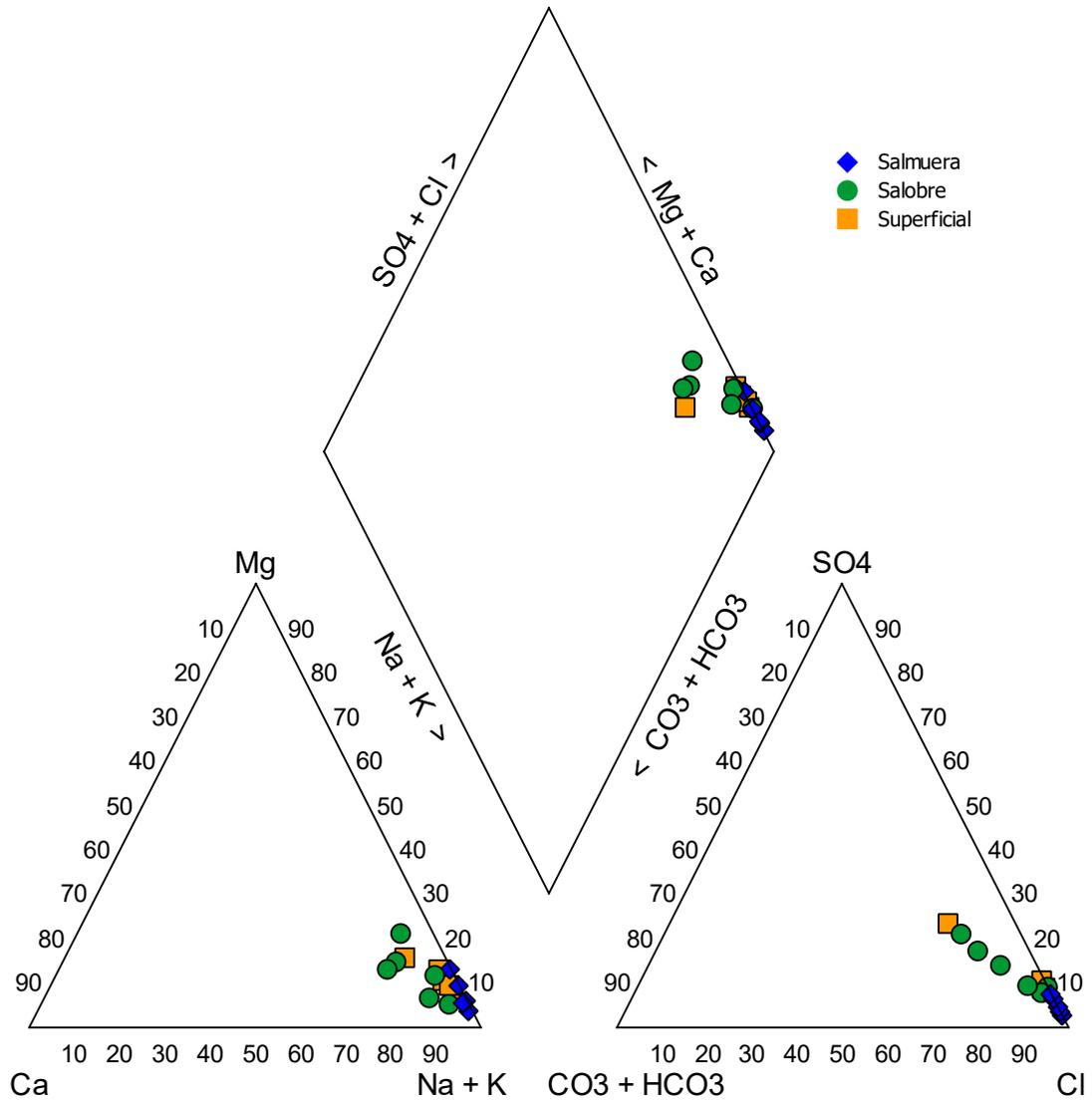
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-67 Diagrama de Piper, campaña marzo 2023, Sector La Punta-La Brava



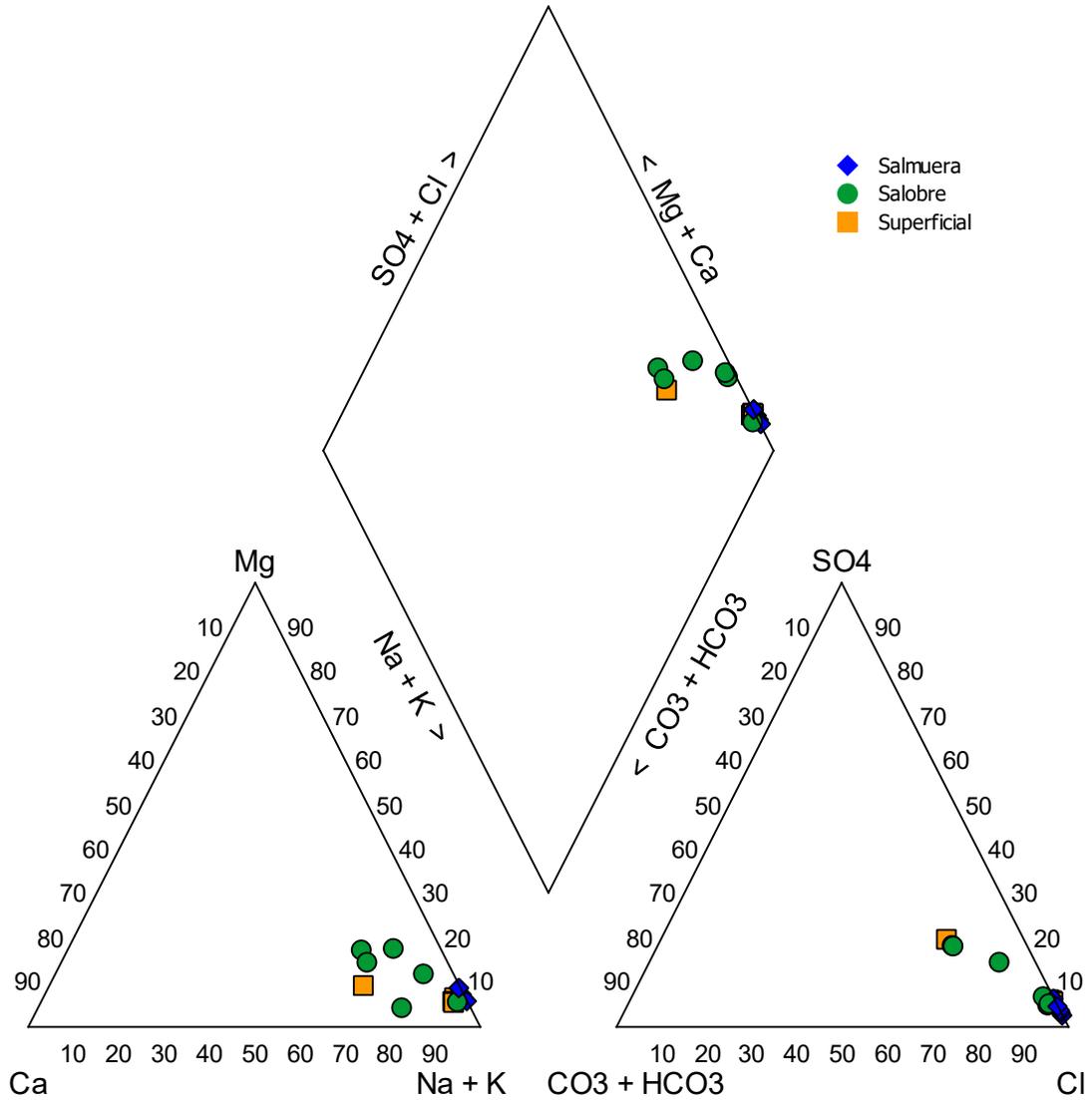
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-68 Diagrama de Piper, campaña abril 2023, Sector La Punta-La Brava



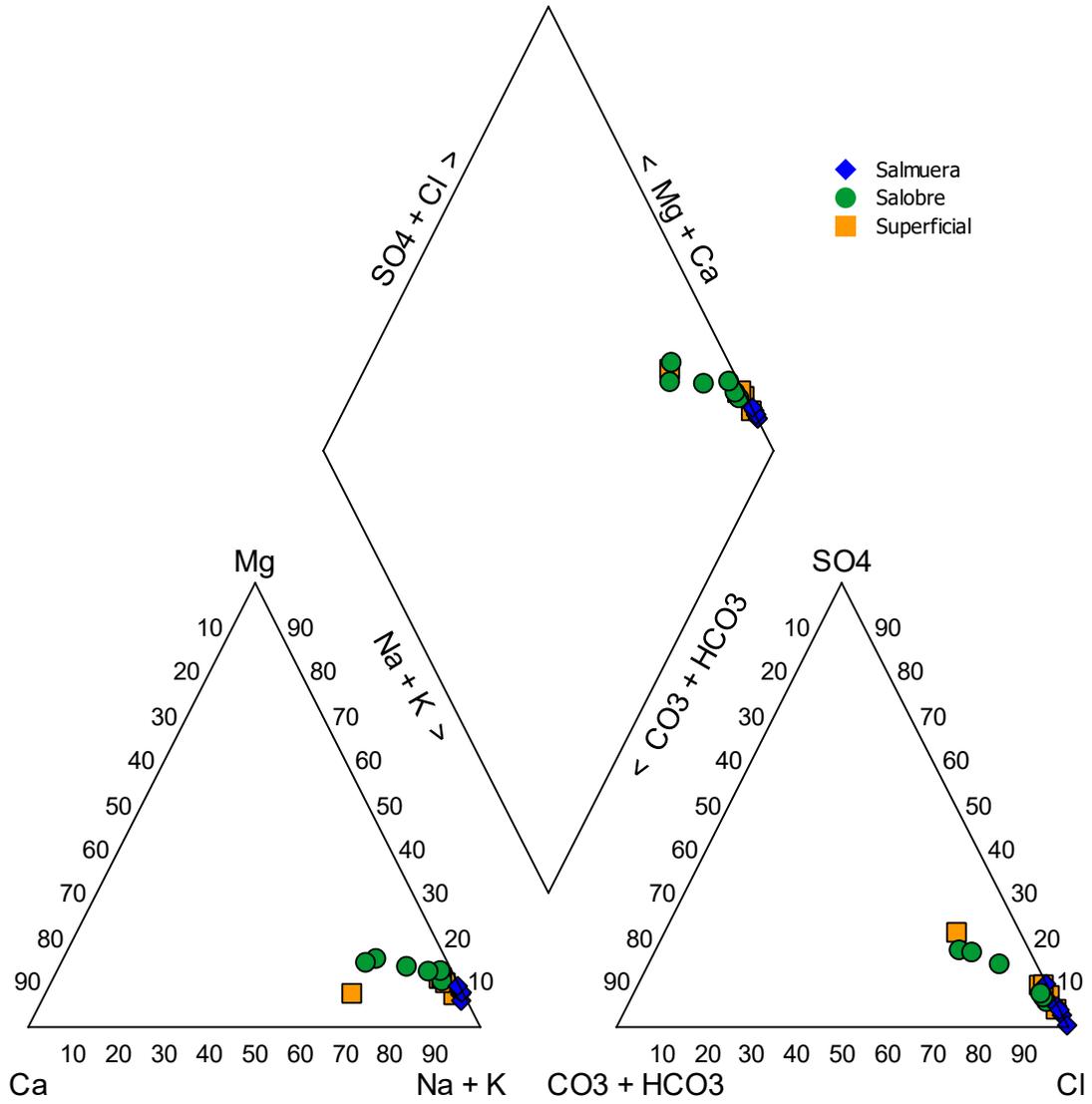
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-69 Diagrama de Piper, campaña mayo 2023, Sector La Punta-La Brava



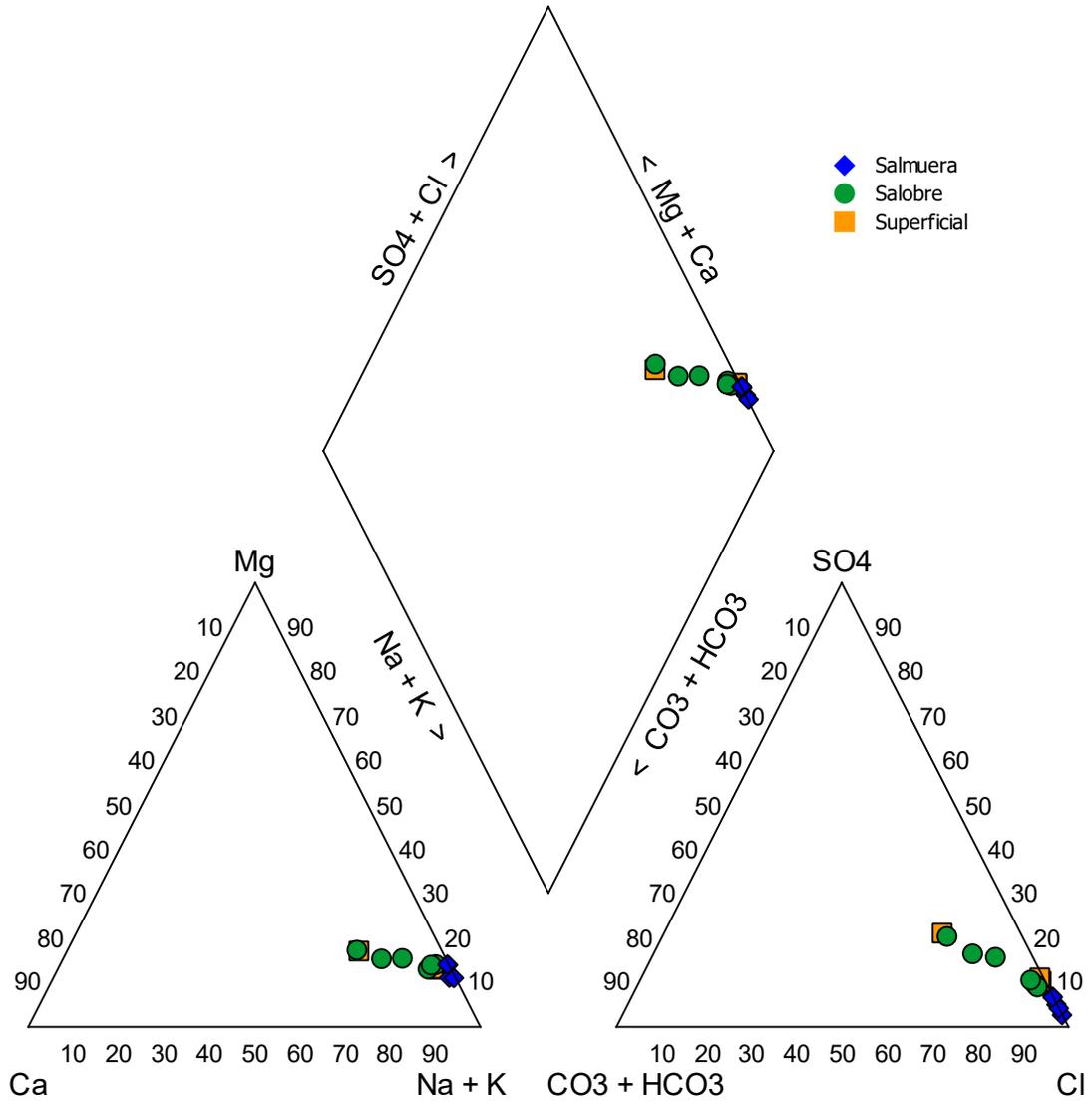
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-70 Diagrama de Piper, campaña julio 2023, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

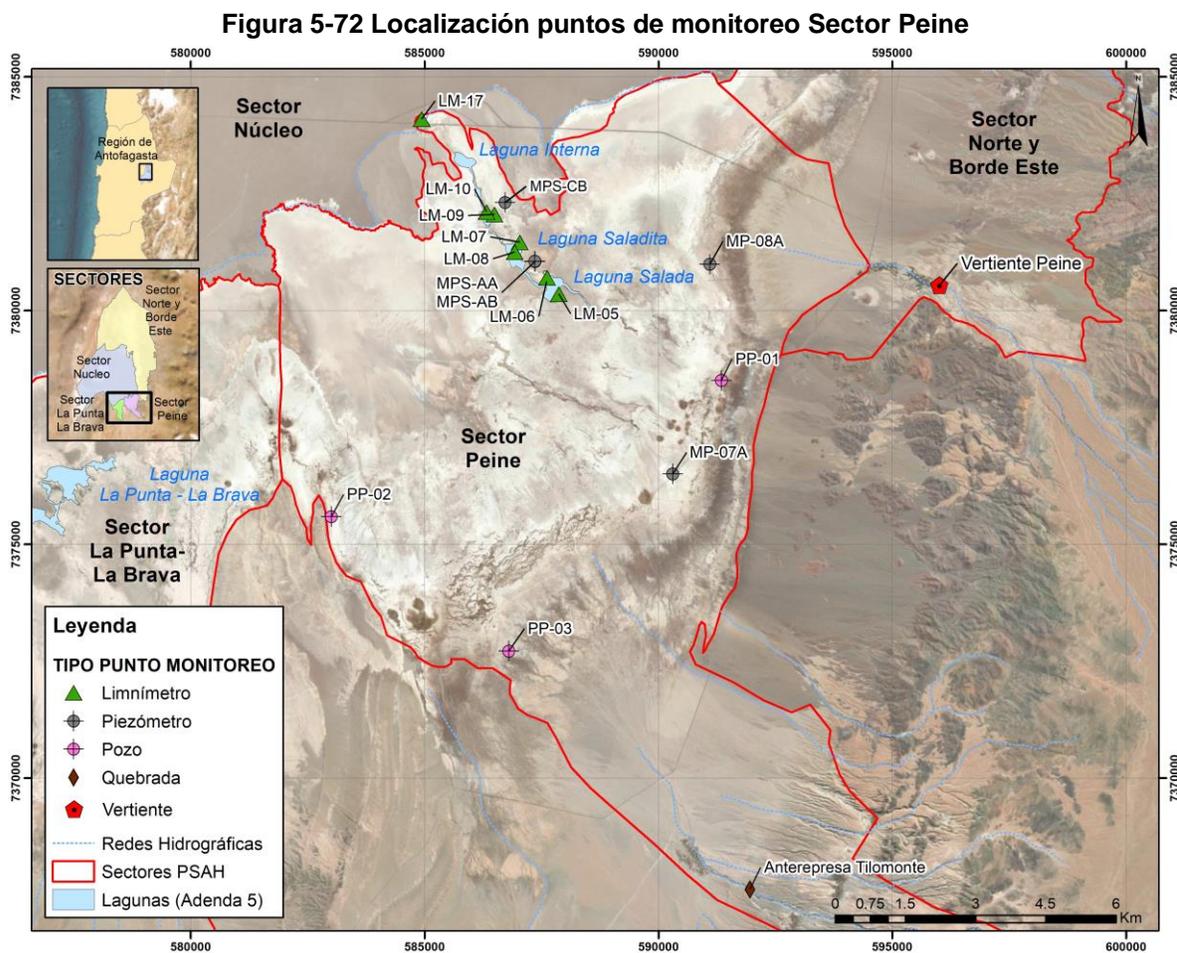
Figura 5-71 Diagrama de Piper, campaña octubre 2023, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.8.2 Sector Peine

La distribución de los 16 puntos de monitoreo (Antepresa Tilomonte, LM-05, LM-06, LM-07, LM-08, LM-09, LM-10, LM-17, MP-07A, MP-08A, MPS-AA, MPS-AB, MPS-CB, PP-0, PP-02, PP-03 y vertiente Peine) para el sector se detalla en la Figura 5-72.



Es importante señalar que el punto LM-17 es un limnímetro que se instaló en avance de laguna Interna, que gran parte del año está seco y solo puede muestrearse cuando hay lluvia o cuando la laguna Interna genera desbordes. Sin embargo, cuando ocurre un evento de lluvia mayor el acceso se encuentra restringido por peligro en el camino. Para el presente periodo de reporte, año 2023, el pozo se encontró seco los meses de enero, febrero, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, mientras que para el 20 de febrero no hubo acceso al punto.

El punto Vertiente Peine se incluye en este sector (Peine), aunque dada su ubicación geográfica, según el Anexo 3 de la Adenda 5, se indicó como parte del sector Norte y Borde Este.

Los pozos PP-01, PP-02 y PP-03 están definidos como pozos de monitoreo de niveles freáticos, calidad química y posición de la cuña salina y, debido a esto último, los pozos están ranurados completamente. Para el monitoreo de la calidad química, la muestra se toma en la parte somera del pozo por lo que es representativa de las aguas salobres de este sector.

Es relevante indicar que durante el 2023 no se pudo llevar a cabo el muestreo en algunos puntos debido a que no se contó con autorizaciones de la Comunidad para acceder a este sector (ver Tabla 4-31).

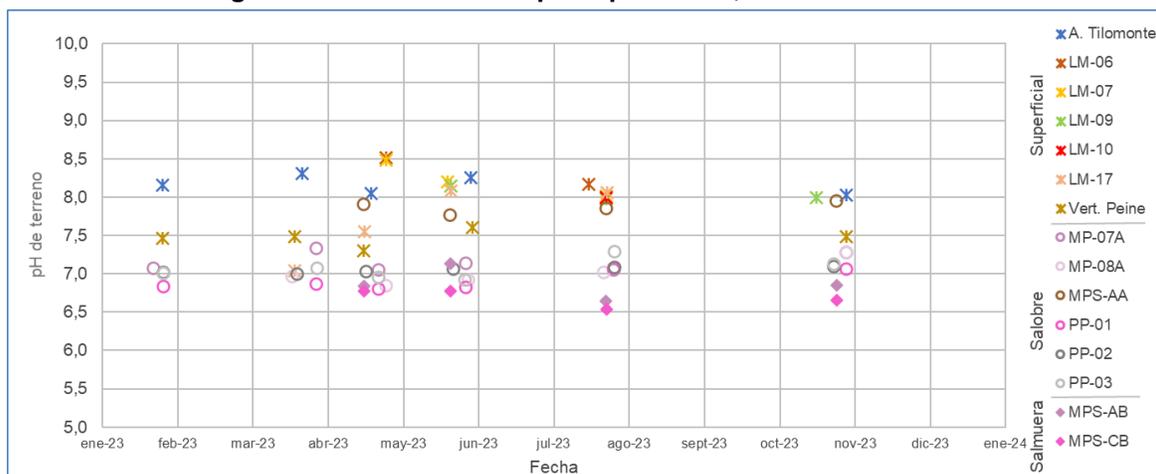
5.8.2.1 Parámetros Fisicoquímicos in situ

pH in situ

Los resultados de pH para el Sector Peine indican que las aguas superficiales de las lagunas presentan valores de pH mayores que las aguas de pozos, con valores que varían entre 7,04 (LM-17) a 8,51 (LM-06). Las aguas salobres de este sector presentan rangos de pH intermedios, que varían entre 6,80 (PP-01) y 7,95 (MPS-AA) y las salmueras son las que presentan en general el pH más bajo, con valores de medidas que varían entre 6,54 (MPS-CB) a 7,13 (MPS-AB). La distribución de los valores de 2023 se presenta en la Figura 5-73.

Se puede observar que para las muestras de las lagunas predominan aguas neutras a básicas, entre 7 y 9; para las someras la tendencia es neutra a básica y para las profundas más neutras, entre 6 a 7.

Figura 5-73 Variación Temporal pH in Situ, Sector Peine 2023



Fuente: Elaboración propia

Conductividad Eléctrica in situ

La conductividad eléctrica (CE) del sector Peine, de acuerdo con la Figura 5-74, muestra medidas para aguas salobres entre 7.645 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medido en MP-08A) y 83.960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medido en MPS-AA). Por otra parte, el LM-17, que como se ha informado anteriormente corresponde

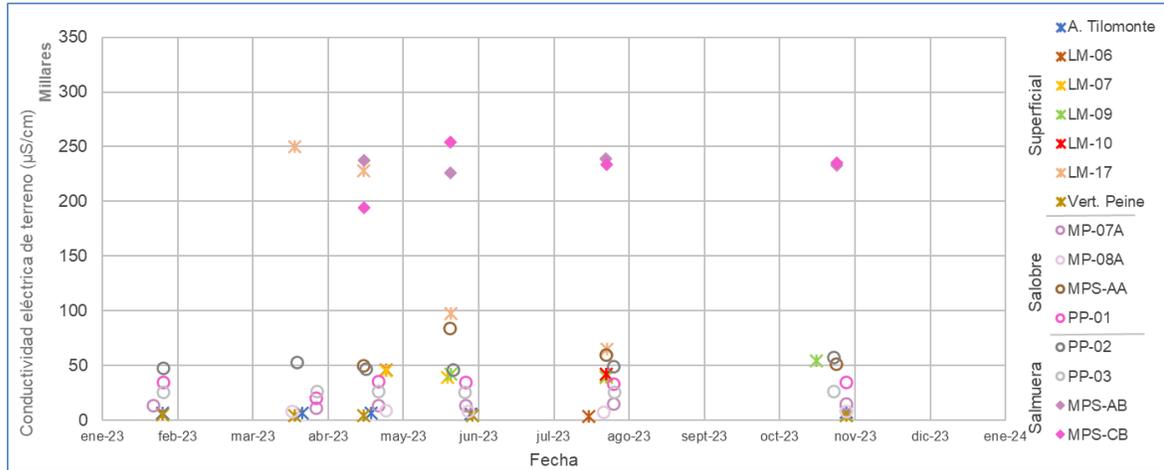
a un punto ubicado en avance de laguna Interna, presenta valores de CE promedio de 160.202 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una tendencia importante a la disminución en los meses de mayo y julio. Particularmente el punto de monitoreo Anterepresa Tilomonte presenta CE con un promedio de 6.235 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cercano al límite inferior de las aguas consideradas como salobres. Este punto se ubica al sur del sector Peine, más alejado del Núcleo y donde recibe agua de las quebradas provenientes de la precordillera. Vertiente Peine, con un promedio de conductividad eléctrica de 4.427 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se considera agua dulce, lo que se condice con su ubicación y el origen de sus aguas. En general los pozos de aguas salobres mantienen mediciones dentro del rango esperado con la excepción de MPS-AA, el cual registra en mayo 83.960 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor que sale de su tendencia general.

Para el caso de las salmueras, los valores de CE son bastante altos, con valores máximos de 253.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ medido en MPS-CB y mínimos de 226.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ medido en MPS-CB. Se cuenta con un valor anómalo en el registro de 2023 donde el pozo MPS-CB registra una CE de 194.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En términos generales no se observan mayores variaciones a lo largo del 2023 en las conductividades de estos puntos.

Para las aguas someras los registros de CE son menores, aunque comparables a los de las aguas lagunares superficiales, con el valor más alto en el LM-17 con 250.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el cual se encuentra en el avance de la Laguna Interna y con un mínimo de 3.623 $\mu\text{S}/\text{cm}$ registrado en LM-06. Los puntos MP-07A y MP-08A, cercanos al borde del salar, presentan valores que tienden a ser más bajos (promedios de 13.114 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8.098 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente). Los puntos PP-XX, presentan diferencias relativas en sus valores, esto posiblemente debido a su ubicación. Cabe destacar que la ubicación de los puntos PP-XX se encuentran sobre el borde del salar, alejados del Núcleo, por lo que es considerable que los valores de los parámetros medidos sean valores intermedios. En el caso de estos pozos someros, se observa una cierta variación estacional sin presentar grandes cambios, a excepción del dato de marzo del punto PP-01, el cual está casi 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bajo la tendencia de este punto.

La CE, según la serie de datos registrados no presenta una variabilidad estacional marcada. Las aguas profundas presentan una tendencia estable, con rangos entre los 213.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 269.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el caso de las aguas someras, estas presentan mayor dispersión de los datos y rango de valores, entre los 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 115.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aproximadamente.

Figura 5-74 Variación Temporal CE *in Situ*, Sector Peine 2023

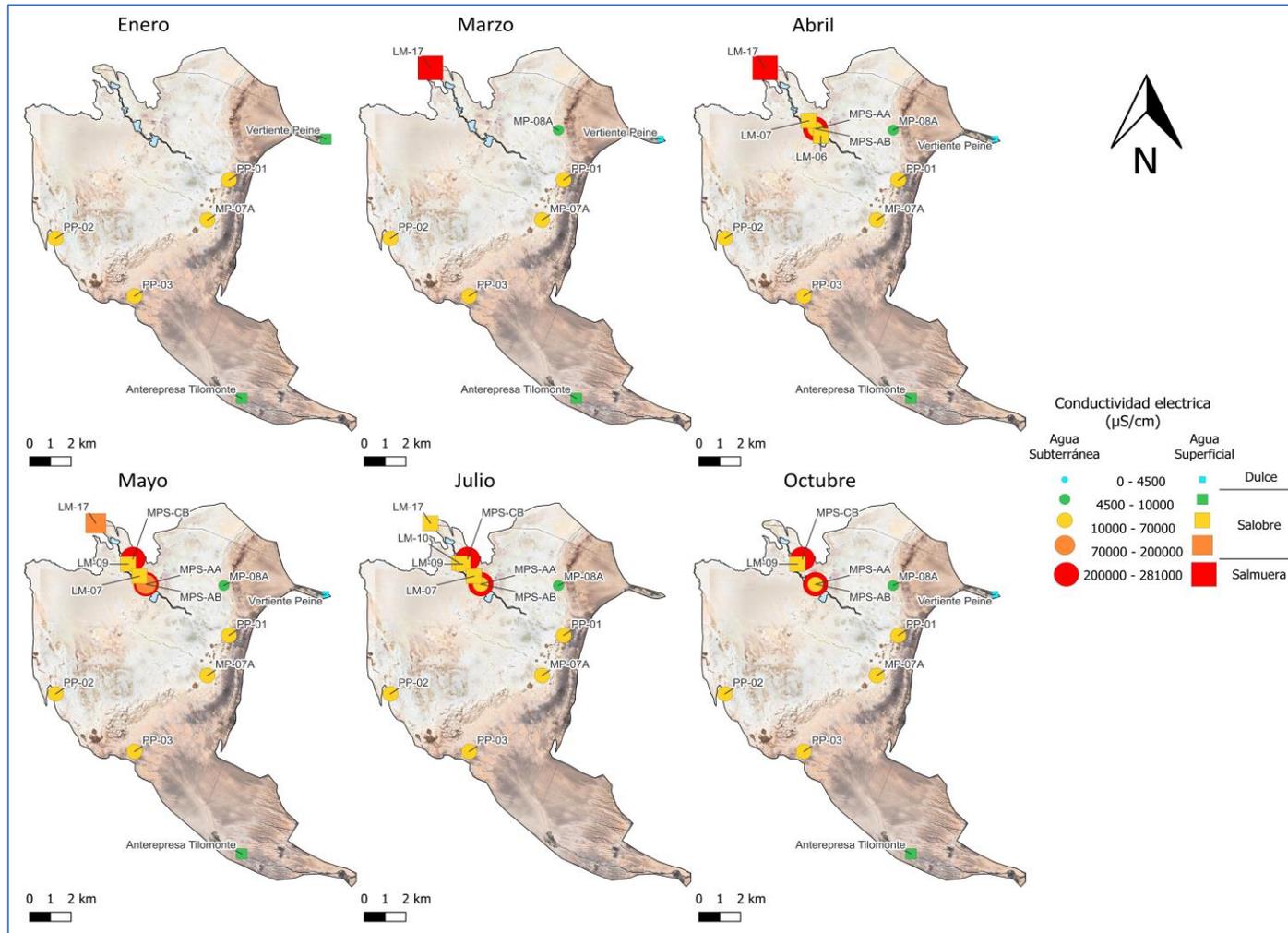


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-75 se presenta el mapa, para el Sector Peine, que muestra la variación temporal de la conductividad eléctrica durante el 2023, y su respectiva clasificación del tipo de agua de los puntos monitoreados.

En el sector Peine es posible identificar 2 grupos de puntos en base a su comportamiento y ubicación, el primero corresponde a los puntos de monitoreo superficial y subterráneo que están en las lagunas o alrededor de estas, esto son LM-06, LM-07, LM-09, LM-10, LM-17, MPS-AA, MPS-AB y MPS-CB y el segundo corresponde a los puntos hacia el sur y este de las lagunas, esto son Antrepresa Tilomonte, MP-07A, MP-08A, PP-01, PP-02, PP-03 y Vertiente Peine, estos puntos se mantienen en un rango acotado de conductividades sin presentar mayores variaciones, a excepción del punto PP-01 en relación al dato de marzo, el cual está aproximadamente en 10.000 µS/cm bajo la tendencia de este punto. El único punto que presenta conductividades características de 2 tipos de agua es la Vertiente Peine, sin embargo, de manera similar a lo que ocurre en La Punta – La Brava, muestra en el dato de enero (4.797 µS/cm) sobre los 4.500 µS/cm, lo que no representa un cambio relevante en la conductividad en este punto.

Figura 5-75 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector Peine 2023



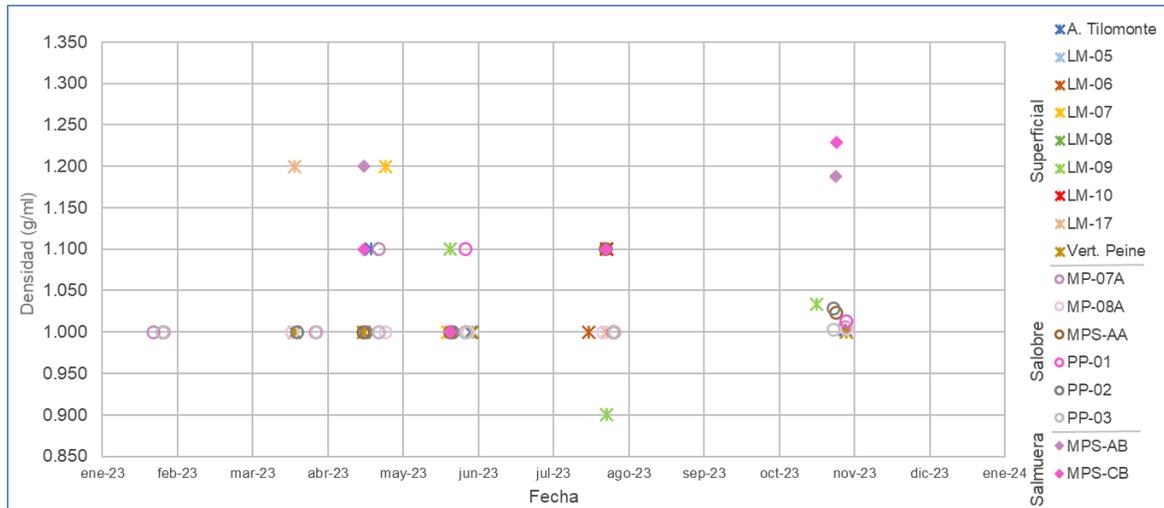
Fuente: Elaboración propia

5.8.2.2 Parámetros Físicoquímicos de laboratorio

Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 5-76 se presentan los resultados de laboratorio del análisis de SDT. Se obtienen resultados más acotados y valores menores para el caso de las lagunas y pozos someros, y valores mayores para el caso de LM-17 y pozos profundos. Las muestras de salmuera presentan un rango de mediciones entre 155.660 mg/l y 364.900 mg/l, medidos en MPS-CB. Los SDT de las muestras de las lagunas (superficiales) están en un rango intermedio de concentraciones, el valor mínimo es de 2.260 mg/l en La Vertiente Peine (valores estables en todo el registro 2023) y el máximo es de 199.870 mg/l en LM-17. Para las aguas subterráneas someras (salobres) los SDT son menores a los 41.300 mg/l y mayores a 4.720 mg/l, a excepción del valor anómalo en PP-02 en su medición de octubre con 41.300 mg/l.

Figura 5-76 Variación Temporal Densidad en laboratorio, Sector Peine 2023



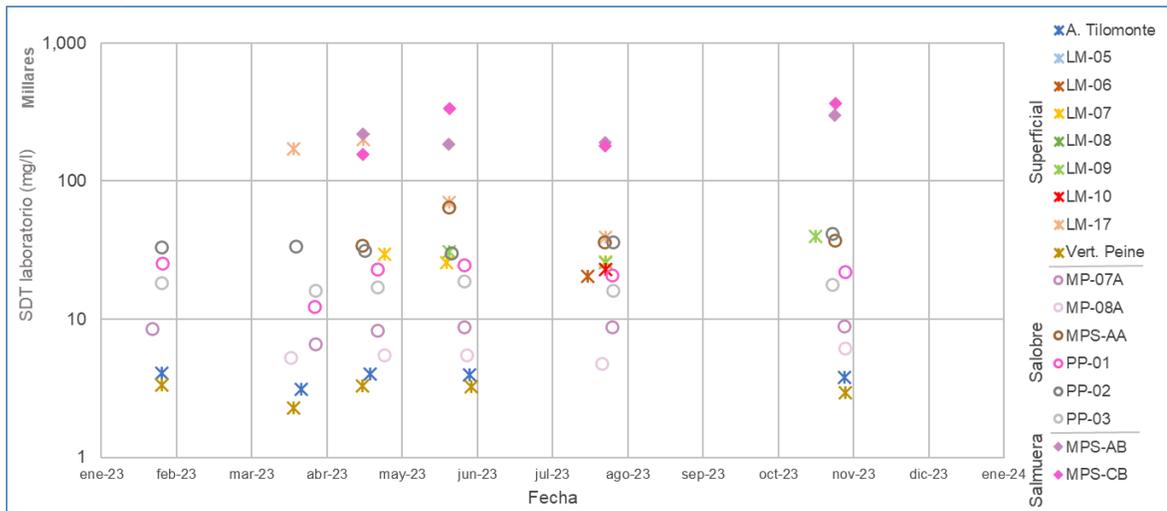
Fuente: Elaboración propia

Densidad

En la Figura 5-77 se presentan los datos de densidad medida en laboratorio. Estos indican que tanto la estación Antepresa Tilomonte como las lagunas y los pozos someros, tienen menor densidad y rangos muy acotados, con valores entre 1,000 g/ml y 1,100 g/ml ya que corresponden a aguas dulces y salobres, pero menos densas que, lógicamente, las salmueras las cuales presentan un mínimo y un máximo de 1,100 g/ml y 1,228 g/ml. Estos valores son similares a los valores de densidad medidos en las muestras del punto LM-17 (ubicada en avance de laguna Interna), Finalmente, los valores de aguas superficiales presentan densidades entre 0,900g/ml y 1,200 g/ml.

El registro de densidad muestra un comportamiento estable para todos los datos disponibles en el año 2023.

Figura 5-77 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Peine 2023



Fuente: Elaboración propia

5.8.2.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

5.8.2.3.1 Aniones mayores

Los aniones que se analizan corresponden a cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y nitratos (NO_3^-).

Los registros de cloruros permiten evidenciar un comportamiento distinto entre las tipologías de muestras, con rangos diferenciados en magnitud. Las salmueras (MPS-AB y MPS-CB) presentan un valor mínimo de 105.450 mg/l en MPS-CB en abril (sin considerar el valor anómalo de julio 44.686 mg/l en MPS-CB) y un máximo de 188.115,6 mg/l en MPS-CB en octubre; las aguas salobres registran un mínimo de 2.034 mg/l en MP-08A en octubre, y un máximo de 20.700,4 mg/l en PP-02 en octubre (sin considerar el valor atípico de mayo 47.547 mg/l en MPS-AA), mientras que las aguas dulces de quebradas o vertientes tienen concentraciones bastante más bajas, con un valor mínimo de 872,6 mg/l en Vertiente Peine en octubre, y un máximo de 1.715 mg/l en Anterrepresa Tilomonte en enero. Los registros de las lagunas presentan un valor mínimo de 12.232 mg/l en LM-06 en julio, y un máximo de 132.058 mg/l en LM-17 en abril (sin considerar el valor anómalo de marzo 202.917 mg/l en LM-17). El punto LM-17, ubicado en avance de laguna Interna, tiene concentraciones mayores que el resto de los puntos de las lagunas.

Con respecto a los bicarbonatos se observa que las aguas superficiales y salobres (someras) se encuentran en un rango de variación muy similar, con un valor mínimo registrado de 79,3 mg/l en LM-09 en octubre, y un máximo de 525,82 mg/l en MP-08A en octubre, a diferencia de las salmueras, que están entre un mínimo de 428,3 mg/l en MPS-AB en mayo (sin considerar el valor anómalo de abril 125 mg/l en MPS-CB), y un máximo de 647,8 mg/l en MPS-CB en octubre.

Para el nitrato todos los valores de octubre están bajo el límite de detección, por lo que no se consideran para el análisis de mínimo y máximo. Se observa en general que las salmueras poseen las concentraciones más altas, registrando un mínimo de 17,9 mg/l en MPS-CB en octubre, y un máximo de 115,6 mg/l en MPS-CB en julio. En Anterrepresa Tilomonte los valores registrados son menores a la tendencia general de aguas superficiales, con un mínimo de 0,04 mg/l en abril, y un máximo de 0,28 mg/l en marzo, el resto de las aguas superficiales varían entre un mínimo de 1,1 mg/l en LM-07 en julio, y un máximo de 5,4 mg/l en LM-17 en abril. Las concentraciones en las aguas salobres varían entre un mínimo de 1,8 mg/l en PP-03 en marzo, y un máximo de 4,96 mg/l en PP-02 en enero.

Las concentraciones de sulfatos muestran que existen diferencias de concentración, dependiendo de la ubicación y profundidad de las muestras. Las concentraciones más altas se registran en los pozos profundos que monitorean la salmuera, variando entre un mínimo de

7.804 mg/l en MPS-AB en mayo, y un máximo de 14.018,5 mg/l en MPS-CB en octubre. Las aguas salobres varían entre un mínimo de 559 mg/l en MP-07A en marzo, y un máximo de 4.089,1 mg/l en MPS-AA en octubre (sin considerar el valor anómalo de mayo 5.120 mg/l en MPS-AA). Las aguas superficiales son las que más dispersión presentan, con un mínimo de 608 mg/l en Anterrepresa Tilomonte en enero, y un máximo de 9.121 mg/l en LM-17 en abril.

5.8.2.3.2 Cationes mayores

Los cationes que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+).

Para el calcio se observa que los puntos de monitoreo de salmuera varían sus concentraciones entre un mínimo de 287,2 mg/l en MPS-CB en abril, y un máximo de 965,6 mg/l en MPS-AB en octubre (sin considerar el valor anómalo de mayo 1.256 mg/l en MPS-AB). Las aguas salobres varían entre un mínimo de 216,9 mg/l en MP-07A en enero (sin considerar el valor anómalo de julio 33,3 mg/l en MPS-AA), y un máximo de 1.506,3 mg/l en MPS-AA en abril. Finalmente, las aguas superficiales varían entre un mínimo de 239,7 mg/l en Anterrepresa Tilomonte en abril, y un máximo de 1.871,1 mg/l en LM-17 en abril.

Para el potasio los mayores valores de concentración se dan en los pozos de salmuera, con un mínimo de 7.470,8 mg/l en MPS-CB en abril (sin considerar el valor anómalo de julio 795,4 mg/l en MPS-CB), y un máximo de 20.759 mg/l en MPS-CB en octubre. Para las aguas salobres las concentraciones varían entre un mínimo de 43,1 mg/l en MP-08A en abril, y un máximo de 1.964 mg/l en PP-02 en octubre (sin considerar los valores anómalos de mayo, 2.031,8 mg/l y 2.242,1 mg/l, en MPS-AA y PP-02 respectivamente). Las concentraciones más bajas se registran en los puntos A. Tilomonte y V. Peine, con un mínimo de 25,8 mg/l en V. Peine en marzo, y un máximo de 61,8 mg/l en A. Tilomonte en enero. Finalmente, en las lagunas las concentraciones varían entre un mínimo de 788,5 mg/l en LM-06 en julio, y un máximo de 15.892,5 mg/l en LM-17 en marzo.

Las concentraciones de magnesio más altas se dan en los pozos de salmuera, con un mínimo de 1511,6 mg/l en MPS-CB en abril, y un máximo de 8.719,2 mg/l en MPS-CB en octubre. Para las aguas salobres las concentraciones varían entre un mínimo de 108,13 mg/l en MP-07A en mayo (sin considerar el valor anómalo de mayo 100,3 mg/l en MP-07A), y un máximo de 876,5 mg/l en MPS-AA en julio. Las concentraciones más bajas se registran en los puntos A. Tilomonte y V. Peine, con un mínimo de 70,5 mg/l en V. Peine en octubre, y un máximo de 200,9 mg/l en A. Tilomonte en abril. Finalmente, en las lagunas las concentraciones varían entre un mínimo de 214,4 mg/l en LM-07 en julio, y un máximo de 4.397,6 mg/l en LM-17 en marzo.

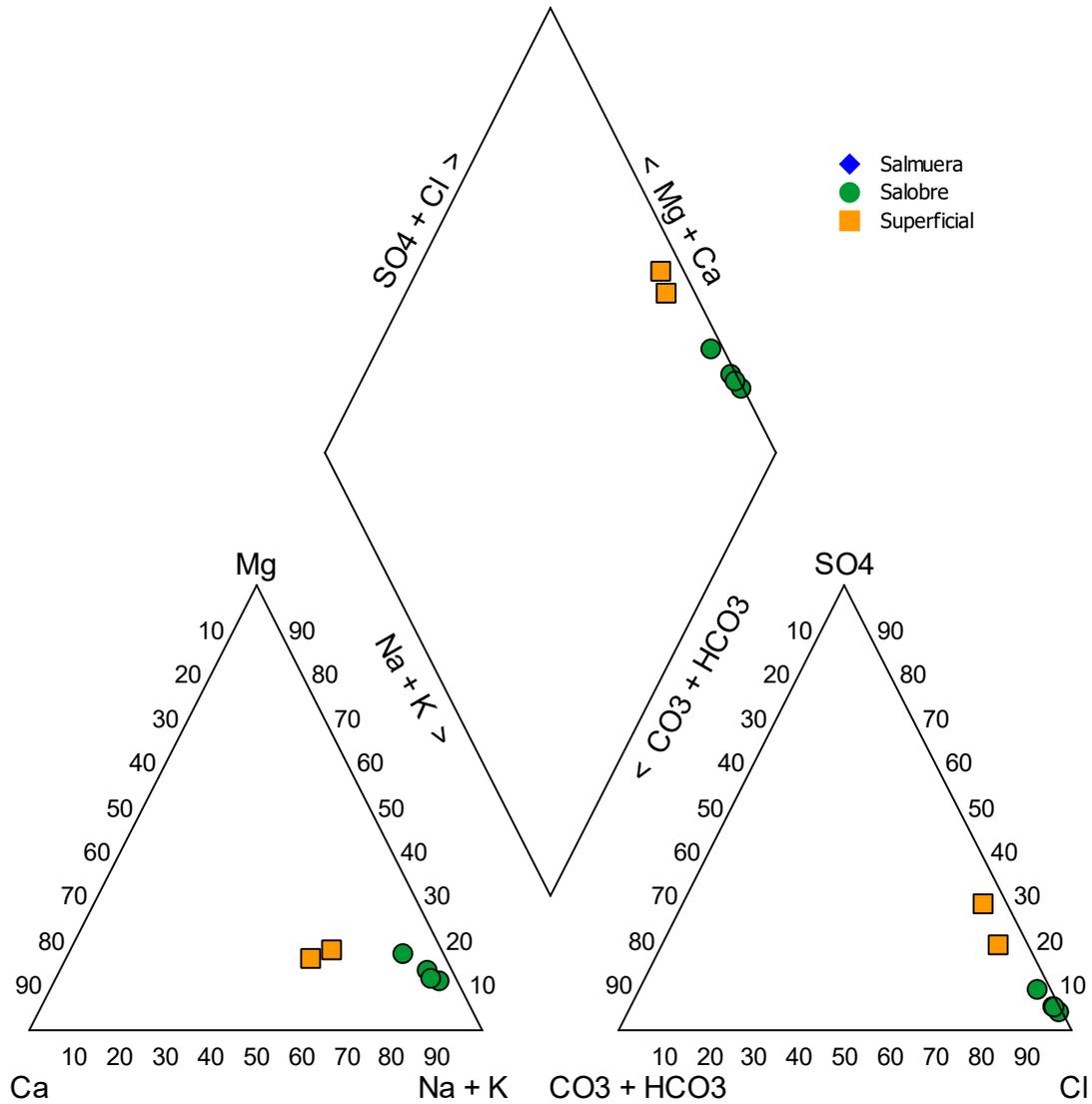
En el caso del sodio las concentraciones de salmuera varían entre un mínimo de 56.254,8 mg/l en MPS-CB en abril (sin considerar el valor anómalo de julio 26.660,8 mg/l en MPS-CB), y un máximo de 84.156,4 mg/l en MPS-AB en julio. Para las aguas salobres las concentraciones varían entre un mínimo de 818,9 mg/l en MP-08A en octubre, y un máximo de 12.841,5 mg/l en MPS-AA en julio (sin considerar el valor anómalo de mayo 31.530,8 mg/l en MPS-AA). Las concentraciones más bajas se registran en los puntos A. Tilomonte y V. Peine, con un mínimo de 377,6 mg/l en V. Peine en octubre, y un máximo de 1052,6 mg/l en A. Tilomonte en abril. Finalmente, en las lagunas las concentraciones varían entre un mínimo de 5.510,7 mg/l en LM-06 en julio, y un máximo de 92.773,5 mg/l en LM-17 en marzo.

Para todos los elementos mencionados se observa que LM-17, por su ubicación en el avance de laguna Interna, presenta concentraciones de calcio, sodio y potasio cercanas al rango de las salmueras.

El potasio, magnesio y sodio disueltos muestran que las salmueras son las que tienen mayores concentraciones de estos elementos. Se observan concentraciones diferenciadas entre salmueras, aguas someras (salobres) y aguas superficiales.

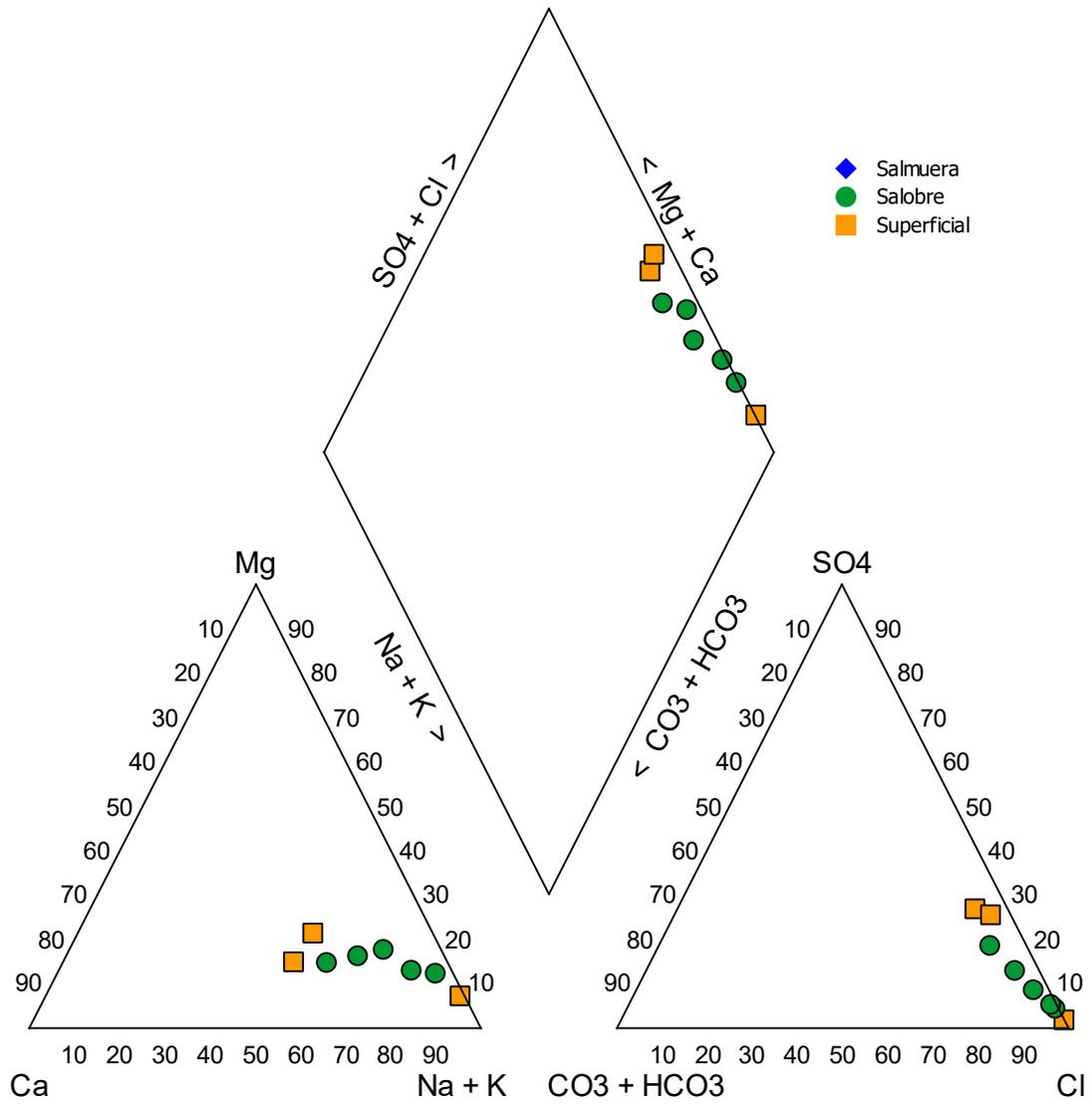
Desde la Figura 5-78 a la Figura 5-83, se presentan Diagramas de Piper con las clasificaciones de composición de las aguas respecto a sus elementos mayores, para las campañas de enero, marzo, abril, mayo, julio y octubre de 2023. Se puede observar que las muestras son del tipo cloruradas sódicas. La variación de los contenidos porcentuales de los elementos mayores entre una campaña y otra no ha sido significativa y no varía su clasificación entre campañas en el año 2023. Tan solo en las muestras de Vertiente Peine la clasificación cambia a clorurada sódico-cálcica, en los meses de abril, mayo y octubre de 2023.

Figura 5-78 Diagrama de Piper, Campaña enero 2023 Sector Peine



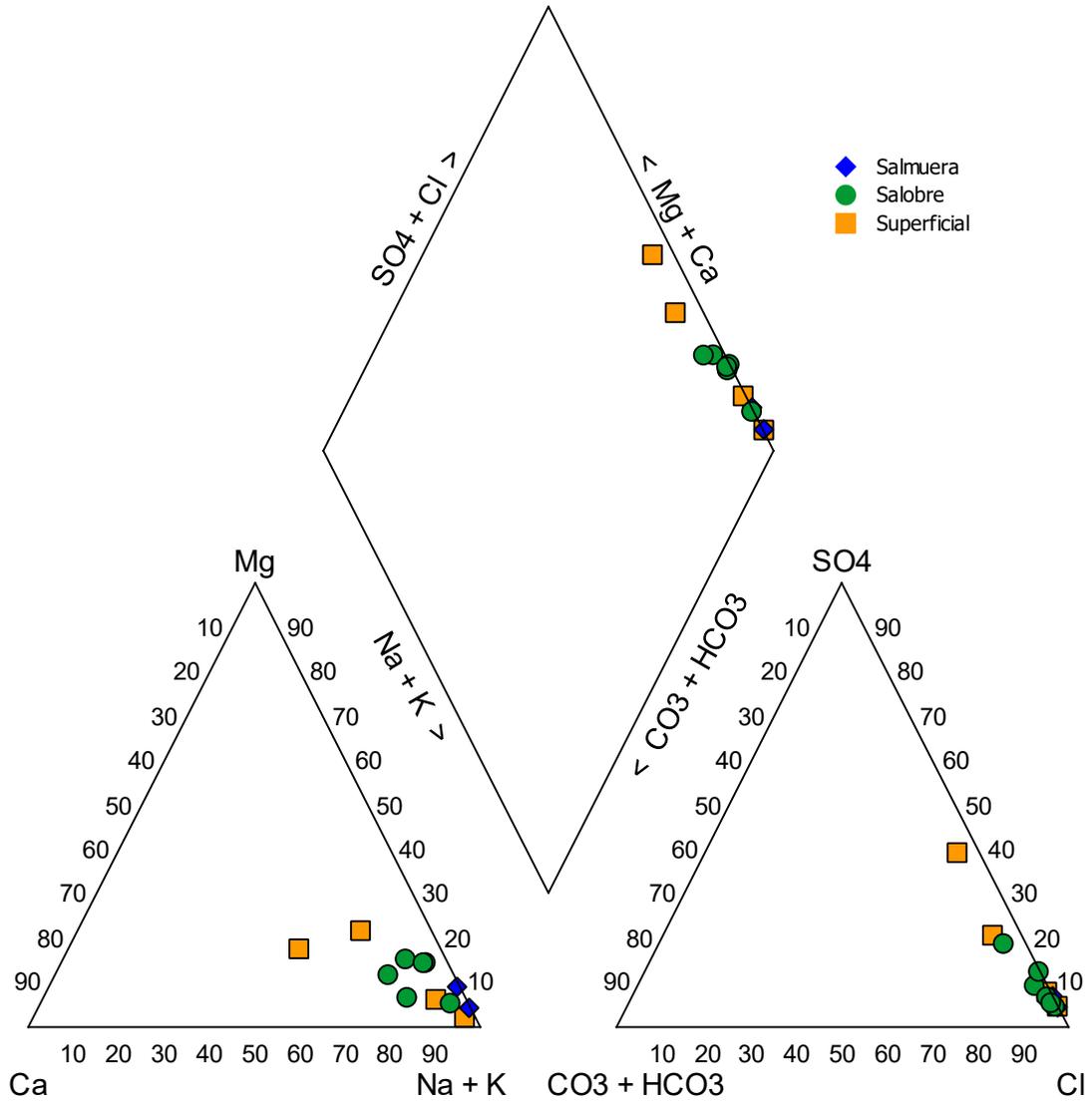
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-79 Diagrama de Piper, Campaña marzo 2023, Sector Peine



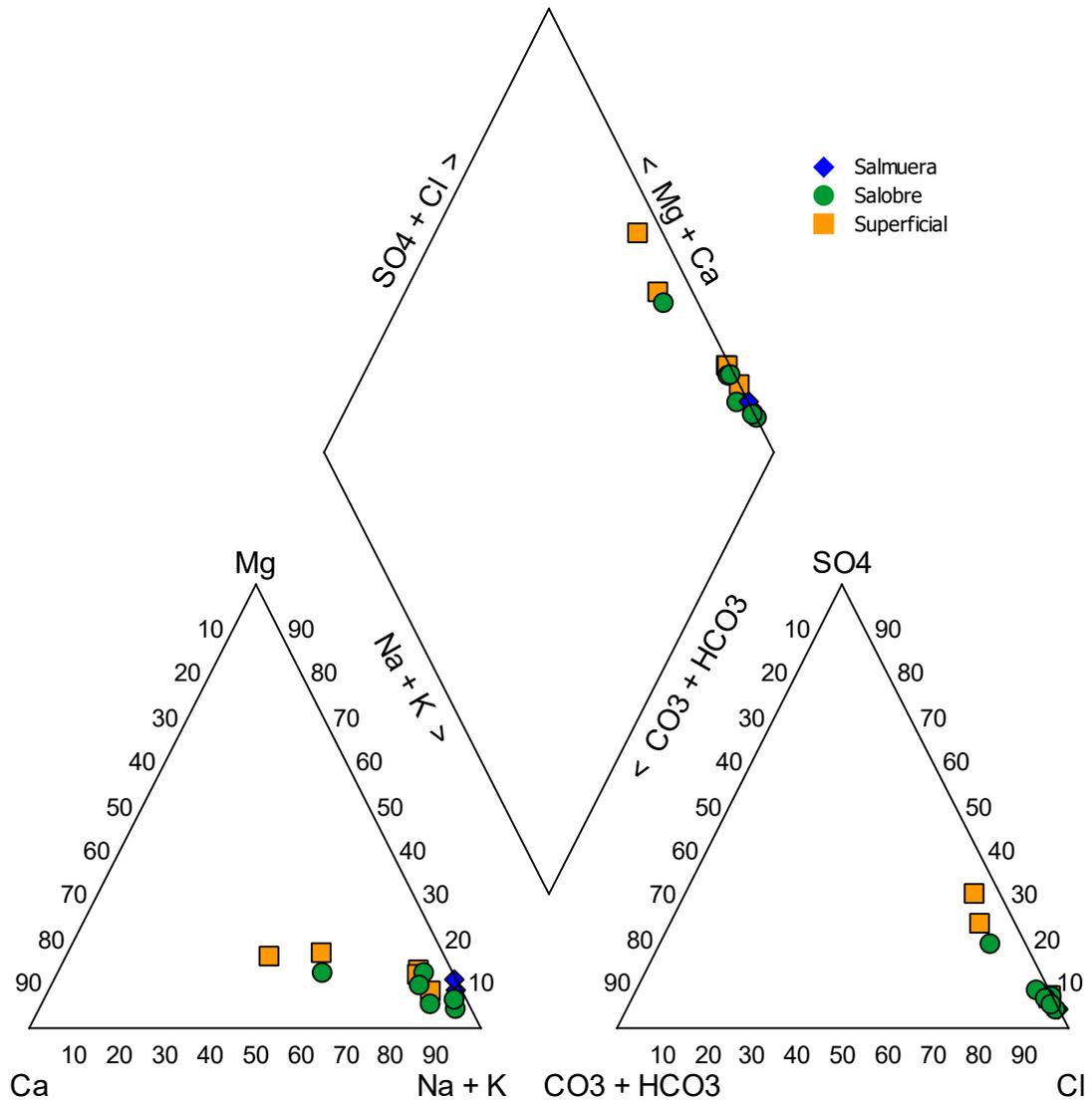
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-80 Diagrama de Piper, Campaña abril 2023, Sector Peine



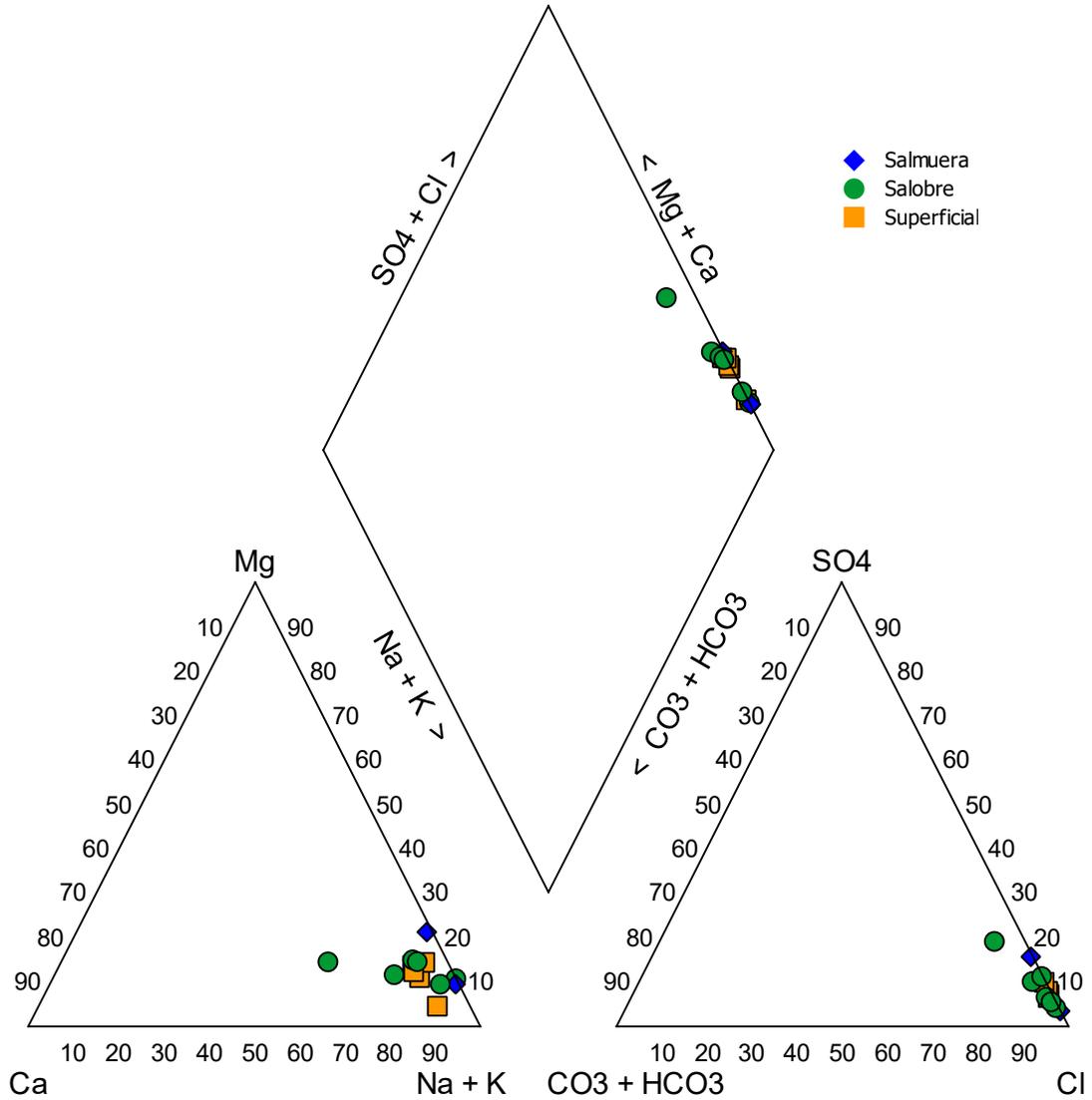
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-81 Diagrama de Piper, Campaña mayo 2023, Sector Peine



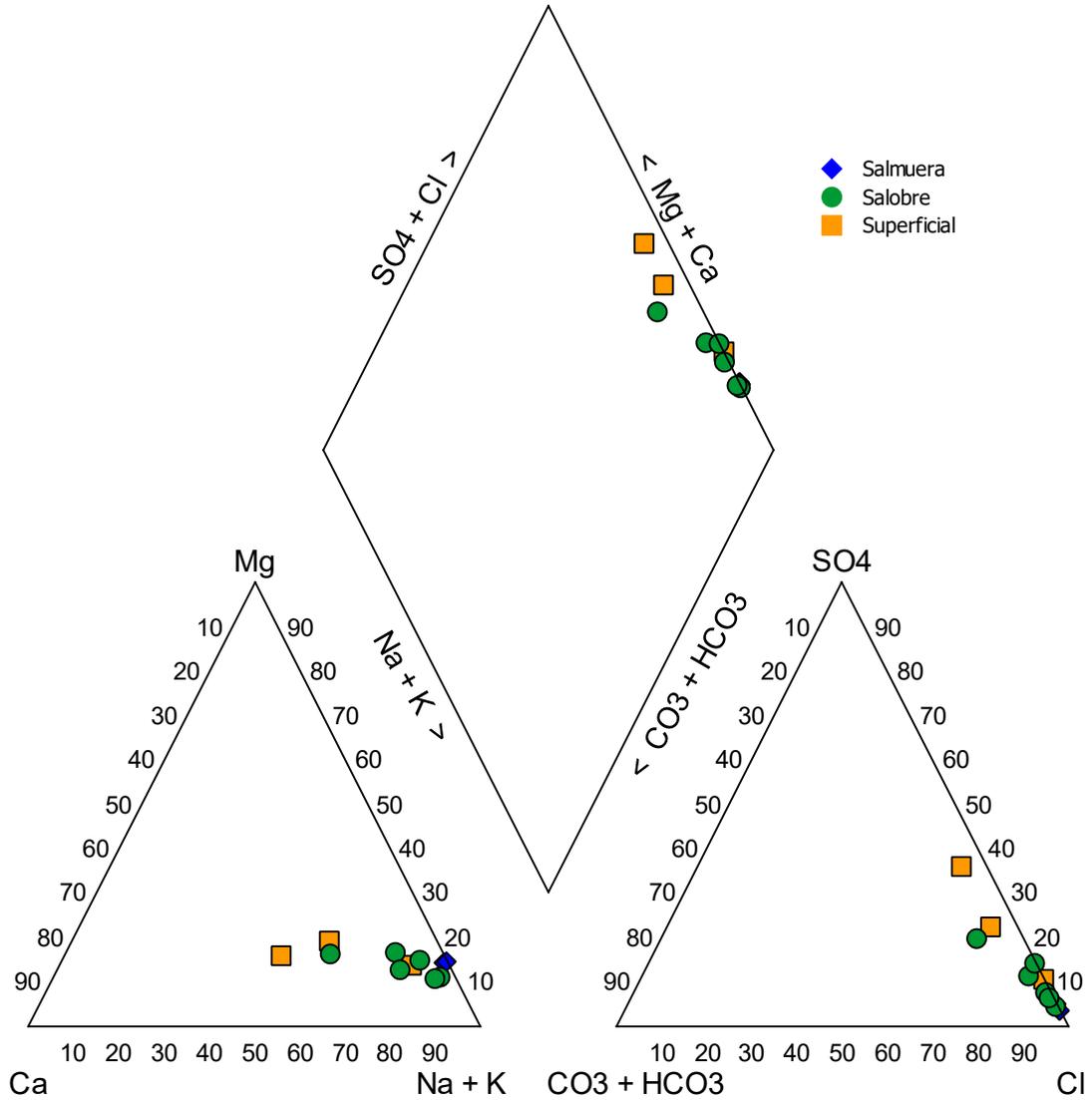
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-82 Diagrama de Piper, Campaña julio 2023, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-83 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2023, Sector Peine

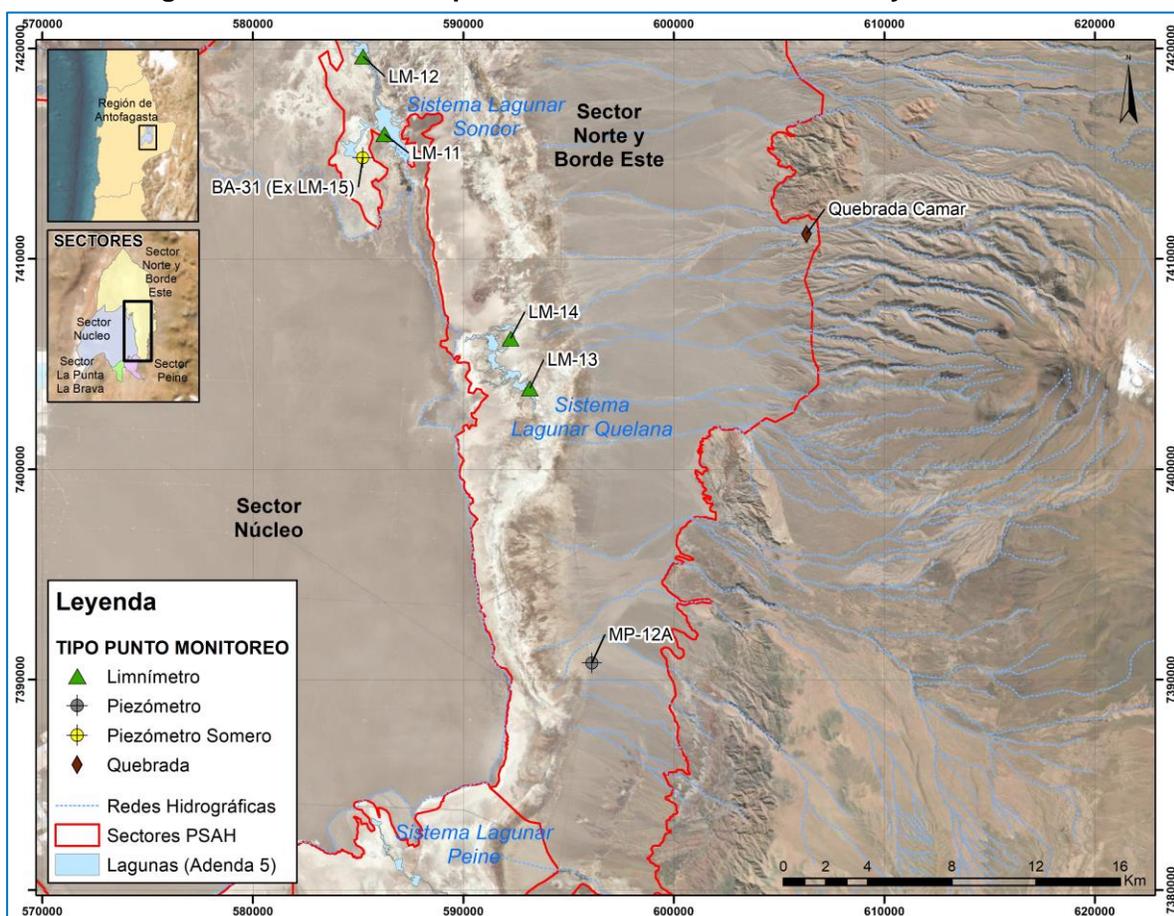


Fuente: Elaboración propia

5.8.3 Sector Norte y Borde Este

La distribución de los 8 puntos de monitoreo del sector Norte y Borde Este (BA-31, LM-11, LM-12, LM-13, LM-14, MP-12A, Quebrada Camar), se presenta en la Figura 5-84.

Figura 5-84 Localización puntos de monitoreo Sector Norte y Borde Este



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

Es relevante indicar que durante el 2023 no se pudo llevar a cabo el muestreo en algunos puntos debido a que no se contó con autorizaciones desde la CONAF y de la Comunidad para acceder a este sector (Tabla 4-31).

5.8.3.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

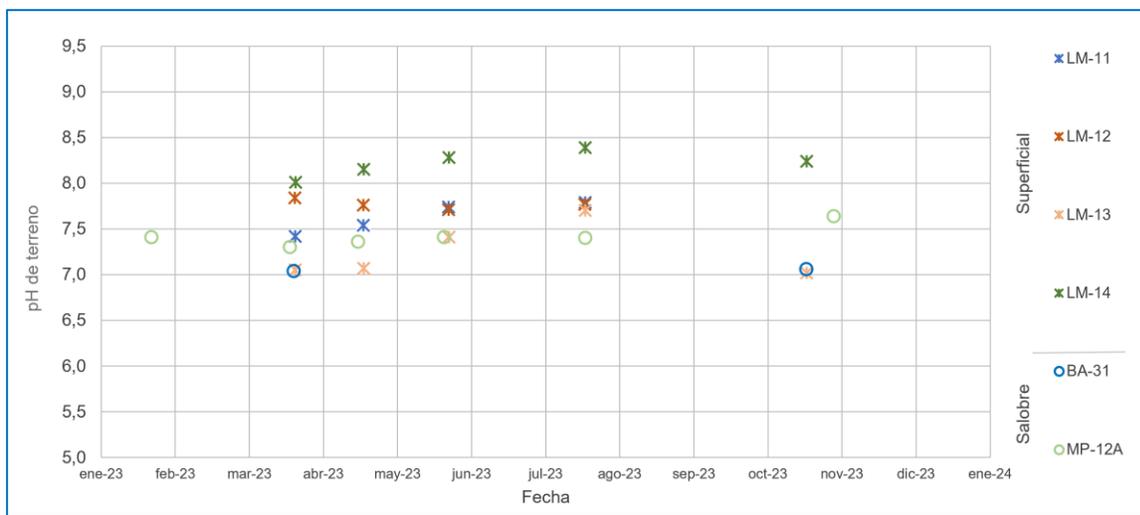
pH *in situ*

Los resultados de pH para el Sector Norte y Borde Este indican que las aguas superficiales de las lagunas presentan valores de pH mayores pero cercanos a las aguas de pozos, con valores que varían entre 7,02 (LM-13) y 8,39 (LM-14). Las aguas salobres de este sector presentan

rangos de pH acotados que varían entre 7,04 (BA-31) y 7,64 (MP-12A). Ambos tipos de aguas tienden a presentar aguas neutras a básicas. La distribución de los valores de 2023 se presenta en la Figura 5-85.

Las aguas superficiales LM-11, LM-12, LM-13 y LM-14 presentan una tendencia de aguas neutras a básicas. Los pozos someros, en el caso de MP-12A y BA-31, presenta en general muestras principalmente neutras.

Figura 5-85 Variación Temporal pH in situ, Sector Norte y Borde Este 2023



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

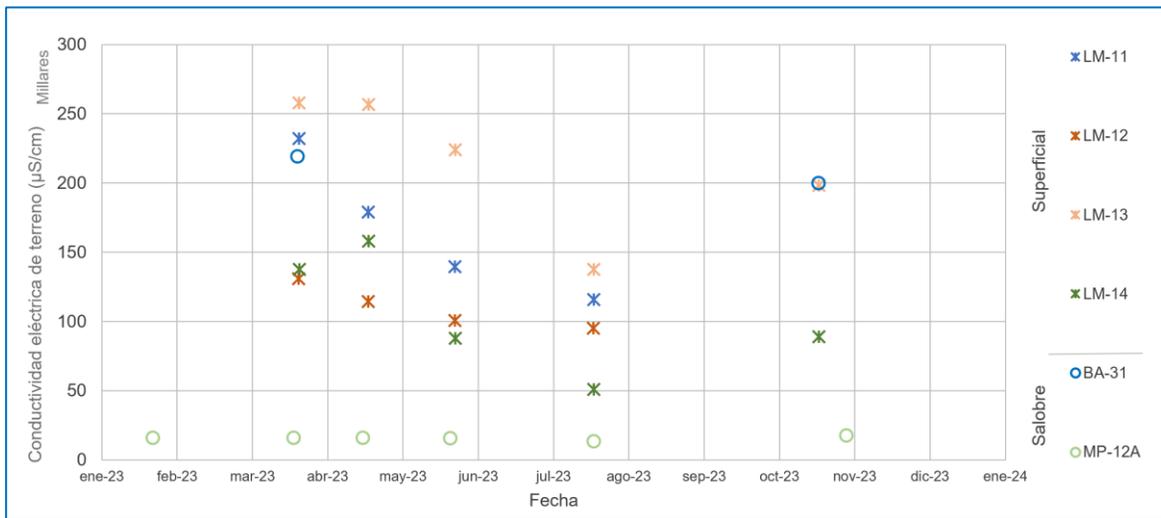
Conductividad Eléctrica in situ

A diferencia del pH, la Conductividad Eléctrica (CE) muestra una marcada diferencia entre las aguas de lagunas y de vertientes, e incluso con las aguas subterráneas (Figura 5-86).

Los valores más altos de CE se registran en las lagunas (puntos LM-XX) con mediciones variables entre 50.980 $\mu\text{S/cm}$ (LM-14) hasta los 257.900 $\mu\text{S/cm}$ (LM-13).

Para las muestras de agua subterránea somera (MP-12A) los valores son intermedios, aunque bajos, presentando valores entre 13.490 $\mu\text{S/cm}$ (MP-12A) hasta los 219.300 $\mu\text{S/cm}$ (BA-31 ex LM-15). En el pozo BA-31, con valores similar a las de las aguas lagunares (superficiales).

Figura 5-86 Variación Temporal CE in situ, Sector Norte y Borde Este 2023



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-87 se presenta el mapa, para el Sector Norte y Borde Este, con la variación temporal de la conductividad eléctrica durante el 2023, y su respectiva clasificación del tipo de agua.

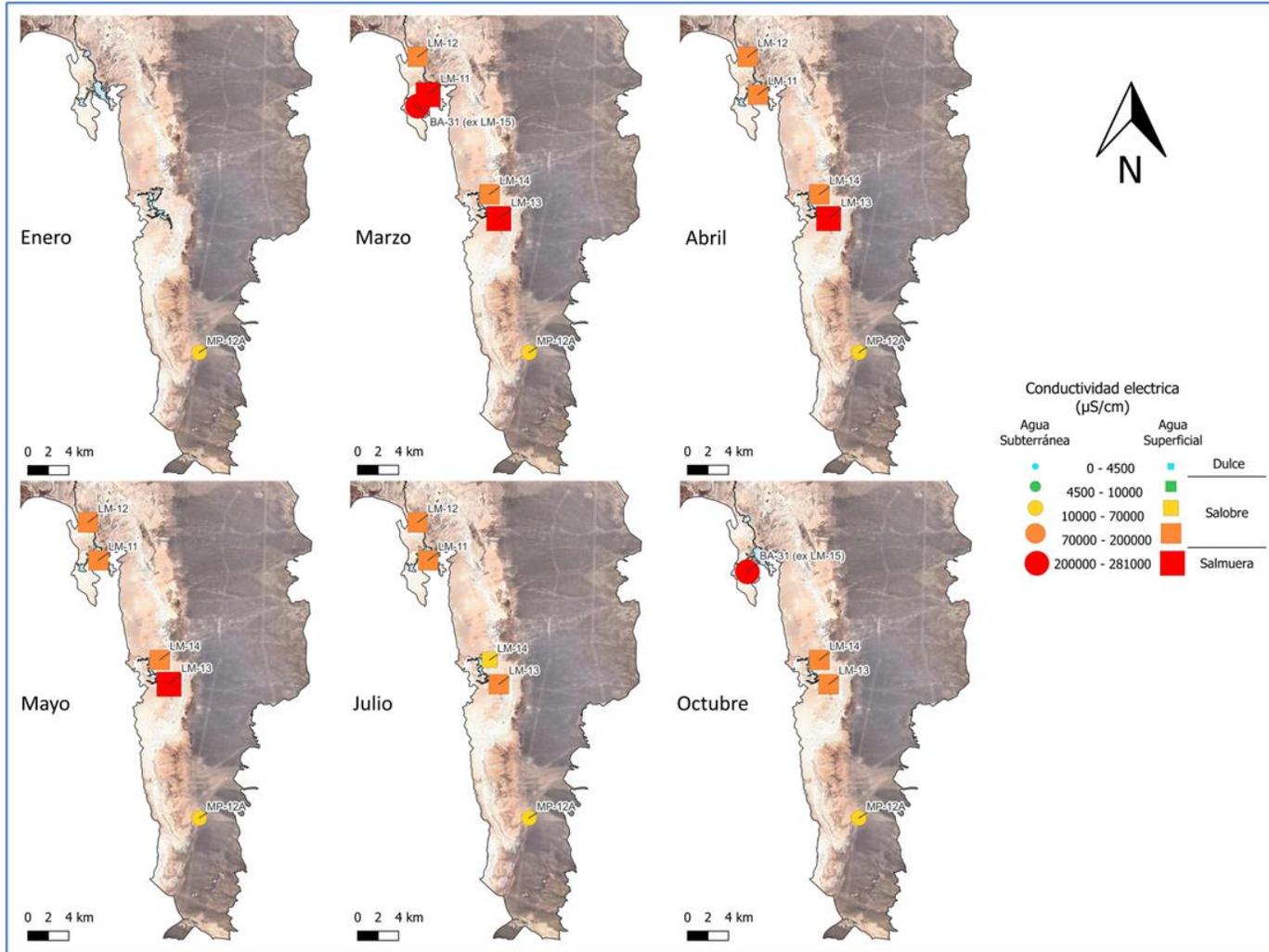
En la Figura 5-87 se observa principalmente una tendencia al descenso en las conductividades a lo largo del 2023, lo cual se revierte en los datos de octubre.

Los puntos de muestreo de agua subterránea que fueron originalmente clasificados como agua salobre son el BA-31 y el MP-12A, el primero solo cuenta con 2 datos, ambos sobre los 200.000 µS/cm (por lo que clasificaría como salmuera), mientras que el punto MP-12A mantiene sus valores de conductividad en un rango bastante estable de variación, sin embargo, en la Figura 5-86 se logra identificar una tendencia al descenso hasta julio, para posteriormente incrementar en octubre.

El resto de los puntos de muestreo de este sector son de agua superficial (de la serie LM-XX), estos puntos vuelven a mostrar esta tendencia al descenso, aparentando llegar a un mínimo en julio, para posteriormente incrementar ligeramente en octubre. Dentro de estos puntos hay 2 limnímetros (LM-11 y LM-13), que presentan valores de conductividad dentro del rango de la salmuera, sin embargo, debido a la tendencia general, ambos puntos adquieren características salobres en abril y julio respectivamente, para posteriormente en octubre registrar 198.300 µS/cm en el punto LM-13, por lo que es esperable que vuelva a registrar conductividades típicas de salmuera en los meses venideros.

En general los puntos monitoreados en Norte y Borde Este presentan una clara tendencia oscilatoria en sus conductividades durante el 2023, llegando incluso a observarse un cambio en el tipo de agua en el punto LM-13, el cual pasa de salobre a salmuera, para posteriormente volver a subir su conductividad a valores muy cercanos a la salmuera. Lo anterior evidencia la fuerte influencia de la estacionalidad en los puntos de este sector.

Figura 5-87 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector Norte y Borde Este 2023



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

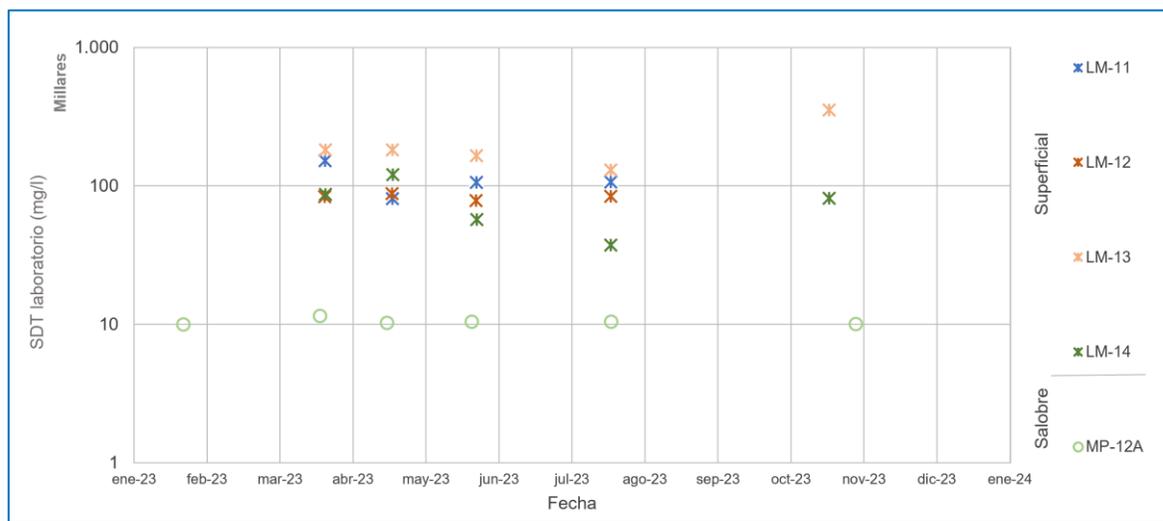
5.8.3.2 Parámetros Fisicoquímicos en laboratorio

Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 5-88 se presentan los resultados de laboratorio del análisis de SDT. Los SDT de las muestras de las lagunas (superficiales) están en un rango amplio de concentraciones, el valor mínimo es de 37.330 mg/l en LM-14 y el máximo es de 352.600 mg/l en LM-13. Para las aguas subterráneas someras (salobres) los SDT son menores a los 11.520 mg/l y mayores a 9.972 mg/l.

De los resultados obtenidos para este sector se observa que el comportamiento de los registros de SDT es muy similar a los de CE, dada la relación existente entre estos parámetros.

Figura 5-88 Variación Temporal: SDT en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2023



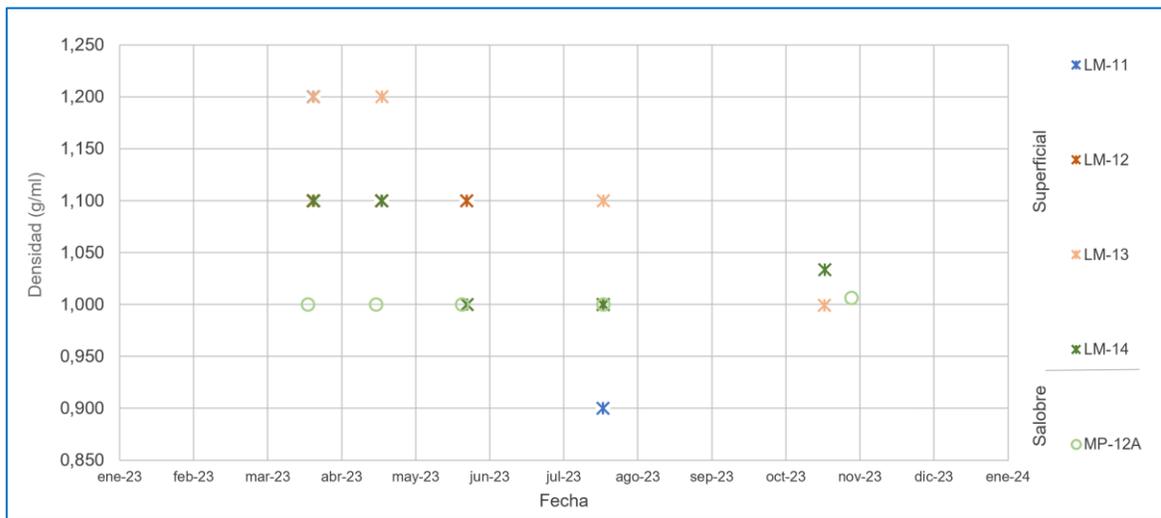
Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

Densidad

Las mediciones de densidad se presentan en la Figura 5-89. Los rangos varían entre los puntos de las lagunas y las aguas salobres. Para las muestras de las lagunas se tienen valores que varían entre los 0,900 g/ml (LM-11) y 1,200 g/ml (punto LM-13). Por otro lado, las aguas salobres presentan densidades mayores con un rango acotado entre 1,00 g/ml y 1,006 g/ml.

Figura 5-89 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2023



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

5.8.3.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

Durante el 2023 solo se pudo monitorear un punto de agua salobre, el MP-12A, de agua superficial se monitorearon los limnímetros LM-11, LM-12, LM-13 y LM-14.

5.8.3.3.1 Aniones mayores

Los aniones que se analizan corresponden a cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y nitratos (NO_3^-).

Entre los aniones mayoritarios analizados, los cloruros son los predominantes, particularmente en las muestras de agua de las lagunas, lo que es totalmente concordante con la ubicación de estos puntos.

Las concentraciones de cloruro en las lagunas son superiores a las del agua salobre, estas varían entre un mínimo de 20.513 mg/l en LM-14 en julio, y un máximo de 191.337 mg/l en LM-13 en abril, se observa una tendencia influenciada por la estacionalidad, mientras que el pozo MP-12A (agua salobre) varía entre un mínimo de 4.938 mg/l en enero, y un máximo de 6.581 en mayo.

En cuanto a la concentración de bicarbonatos, las lagunas poseen concentraciones más altas que el agua salobre, al igual que para el cloruro, estas varían entre un mínimo de 206,5 mg/l en LM-13 en abril, y un máximo de 1.284,7 mg/l en LM-11 en marzo, la estacionalidad influencia las concentraciones en estos puntos, mientras que el pozo MP-12A (agua salobre) varía entre un mínimo de 233,5 mg/l en julio, y un máximo de 279,8 en marzo.

Para los nitratos disueltos, es posible indicar que el agua en las lagunas y en el pozo MP-12A poseen concentraciones similares, sin embargo, el pozo MP-12A varía sus concentraciones en un intervalo mucho más acotado que las aguas superficiales. Los datos de octubre 2023 se presentan valores bajo el límite de detección (probablemente error de laboratorio). Sin considerar estos datos de octubre, el mínimo valor registrado en las lagunas es de 1,33 mg/l en julio, mientras que el máximo es de 7,6 mg/l registrado en marzo. Por otro lado, en el pozo MP-12A el mínimo valor registrado es de 3,62 mg/l en marzo, y el máximo de 3,88 mg/l en abril.

De la misma manera que los cloruros las lagunas presentan concentraciones de sulfato más altas respecto del punto MP-12A. Para las lagunas, las concentraciones varían entre un mínimo de 1.945 mg/l en LM-14 en julio, y un máximo de 19.707 mg/l en LM-13 en octubre (sin considerar el valor anómalo de octubre 22.531,2 mg/l en LM-13). En el punto MP-12A el valor mínimo registrado fue de 475 mg/l en julio, y el máximo de 593 mg/l en abril.

5.8.3.3.2 Cationes mayores

Los cationes que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y sodio (Na^+).

Para el calcio disuelto, las aguas superficiales varían entre un mínimo de 203,62 mg/l en LM-14 en julio (sin considerar el valor anómalo de octubre 164,1 mg/l en LM-14), y un máximo de 940,9 mg/l en LM-11 en marzo (sin considerar el valor atípico de abril 1.562,9 en LM-13), mientras que en el punto MP-12A el mínimo valor registrado es de 121,8 mg/l en octubre, y el máximo es de 230,1 mg/l en abril.

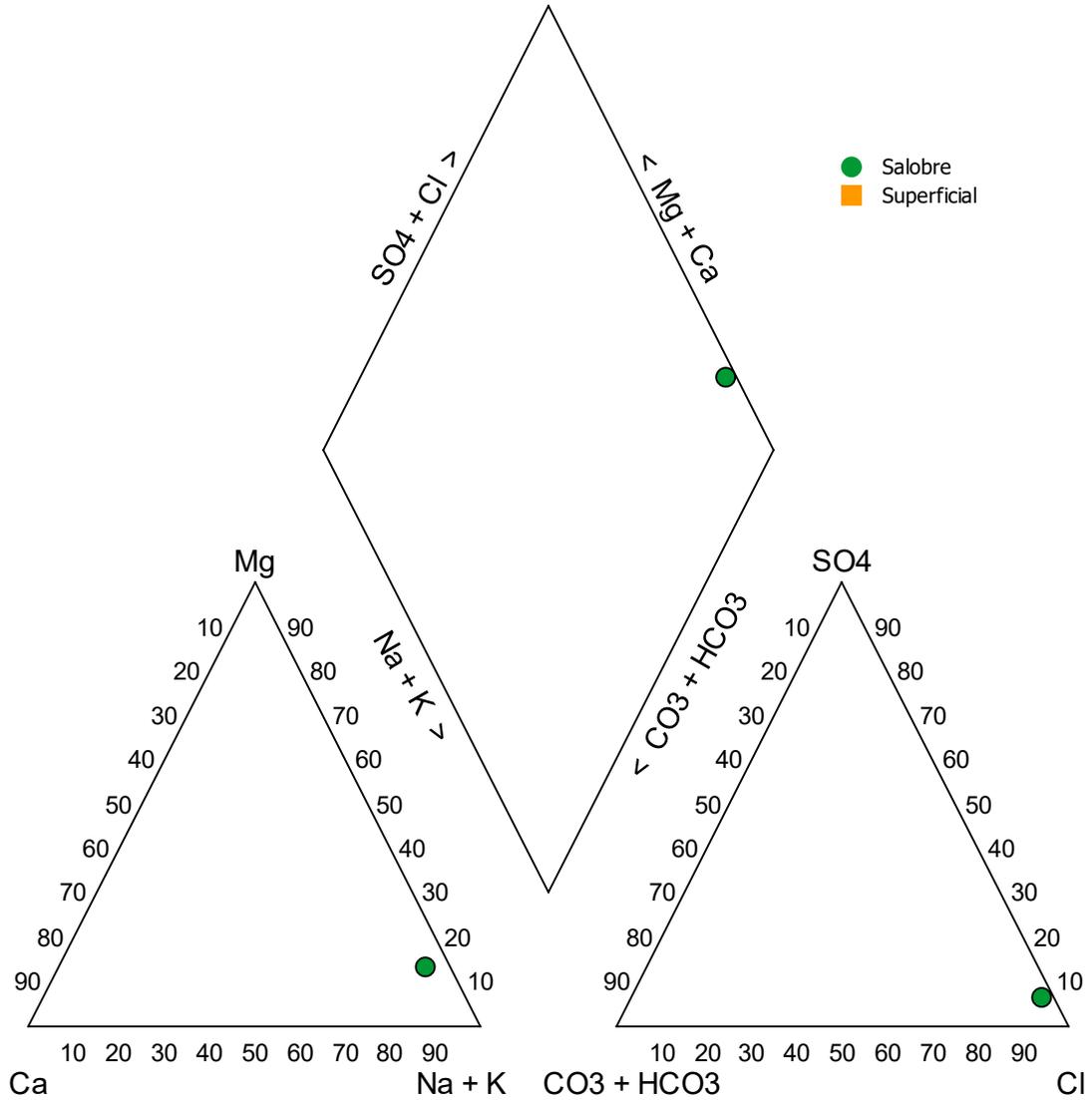
Las muestras de MP-12A para potasio, donde el mínimo registrado el 2023 es de 323,6 mg/l en abril, y el máximo es de 446 mg/l en marzo. Estos valores están por debajo de las concentraciones medidas en las muestras de las lagunas, las cuales registran un mínimo de 1.417,8 mg/l en LM-12 en julio, y un máximo de 12.120 mg/l en LM-11 en marzo (sin considerar los valores anómalos de octubre 20.671 mg/l, marzo 22.895,6 mg/l y marzo 39.166,5 mg/l en los puntos LM-13, LM-13 y LM-12 respectivamente).

Las concentraciones de magnesio muestran que MP-12A posee las más bajas del sector, con un mínimo de 109,2 mg/l en mayo, y un máximo de 234,1 mg/l en enero. Las aguas lagunares, son las que presentan las mayores concentraciones de magnesio disuelto, con un valor mínimo de 883,2 mg/l en LM-14 en mayo (sin considerar los valores anómalos de mayo 506,7 mg/l, 584,5 mg/l y 795,4 mg/l en los puntos LM-14, LM-12 y LM-11 respectivamente), y un valor máximo de 9.257,4 mg/l en LM-13 en octubre.

El sodio se comporta de manera similar al potasio, donde las muestras de MP-12A poseen las menores concentraciones. El mínimo registrado en MP-12A es de 2.171,7 mg/l en octubre, y el máximo de 3.532,5 mg/l en mayo, mientras que las muestras superficiales (lagunas) varían entre un mínimo 10.662,6 mg/l en LM-14 en julio, y un máximo de 102.321,8 mg/l en LM-13. Las mediciones para el año 2023 están acotadas a la variación natural.

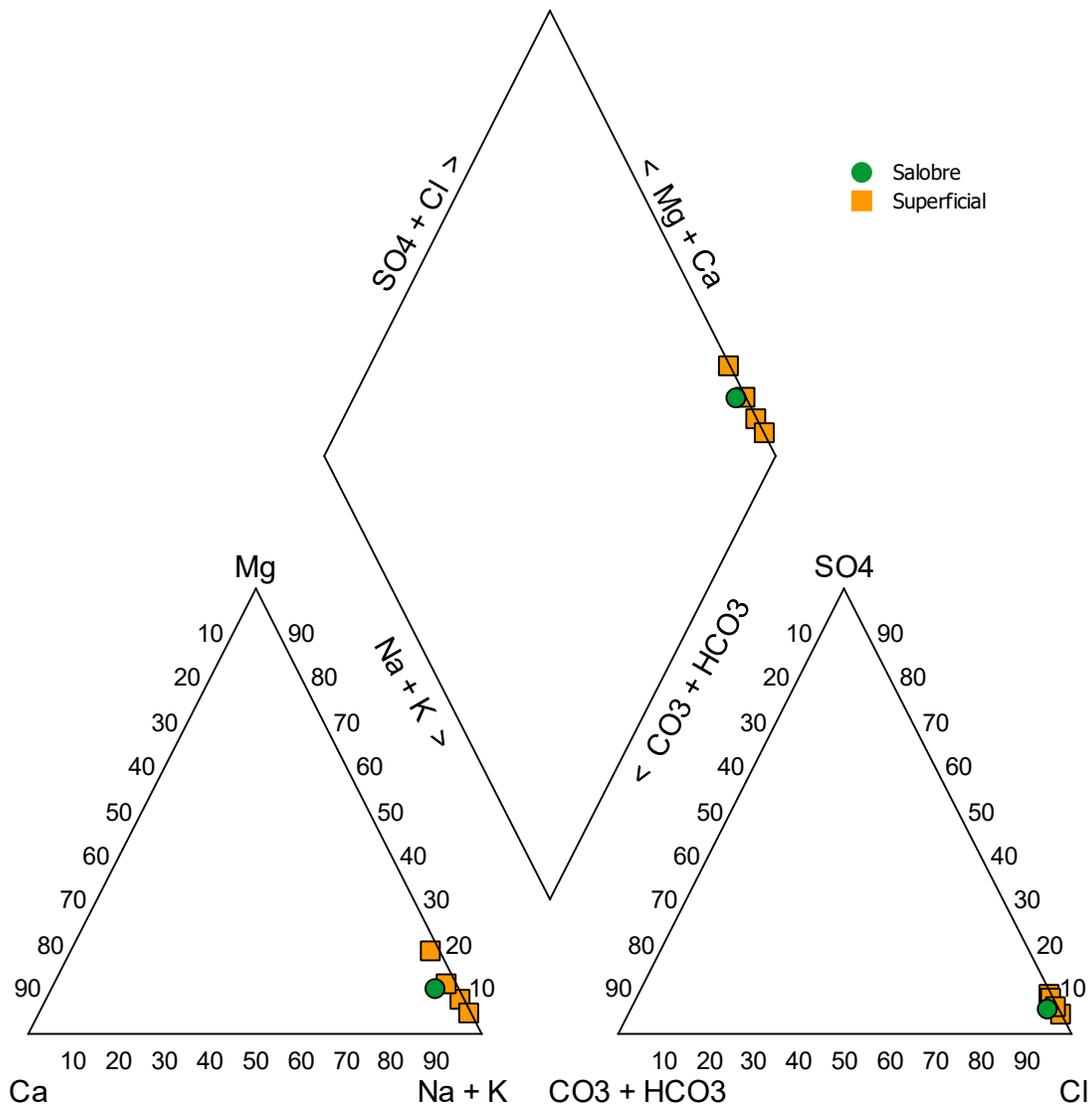
Desde las Figura 5-90 a la Figura 5-95, se presentan Diagramas de Piper con la clasificación de la composición de las aguas respecto a sus elementos mayores, para las campañas de enero, marzo, abril, mayo, julio y octubre de 2023. Se puede observar que las muestras son del tipo cloruradas sódicas. La variación de los contenidos porcentuales de los elementos mayores entre una campaña y otra no ha sido significativa, manteniéndose entre campañas la misma clasificación de las aguas en cada punto.

Figura 5-90 Diagrama de Piper, Campaña enero 2023, Sector Norte y Borde Este



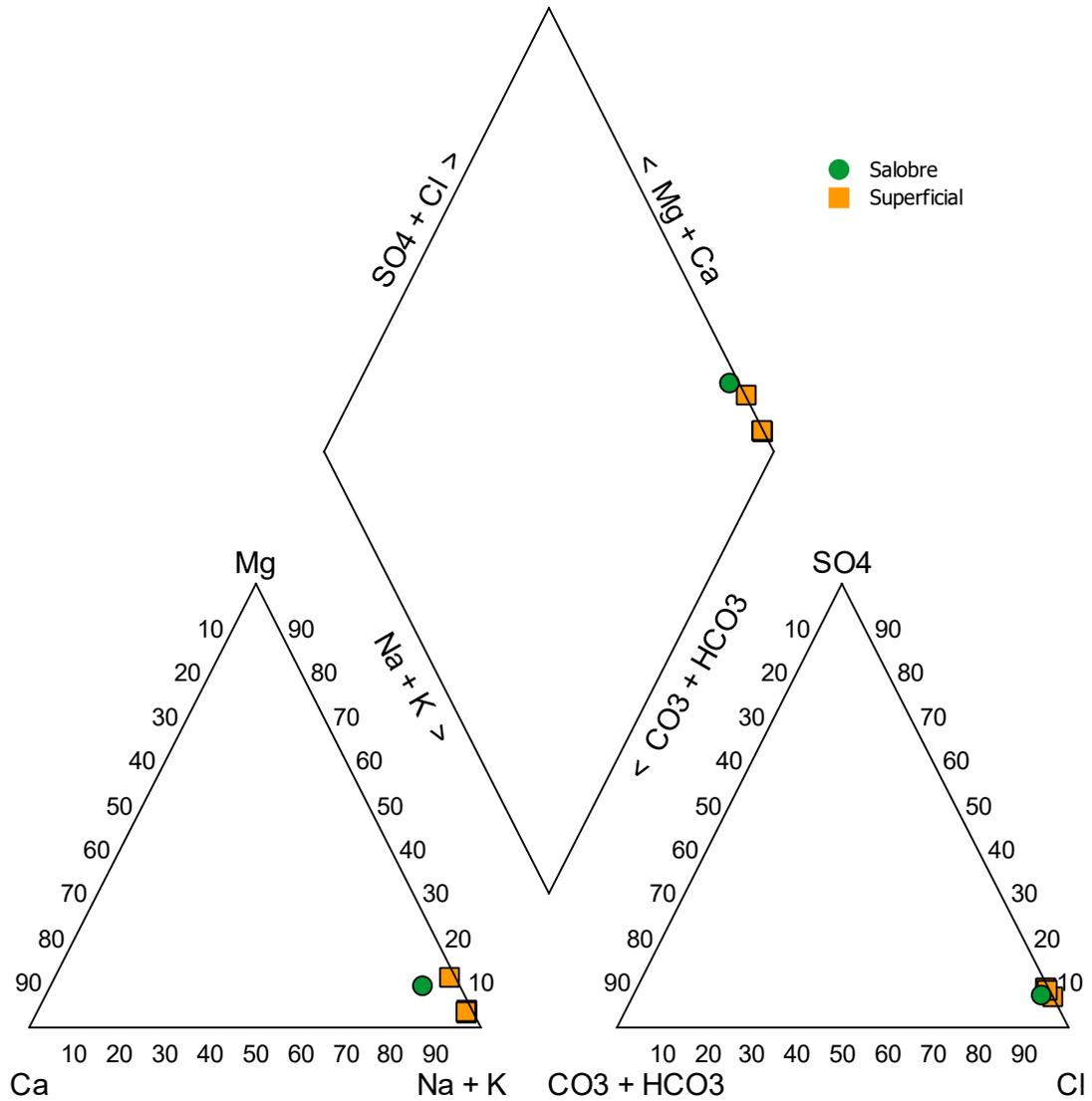
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-91 Diagrama de Piper, Campaña marzo 2023, Sector Norte y Borde Este



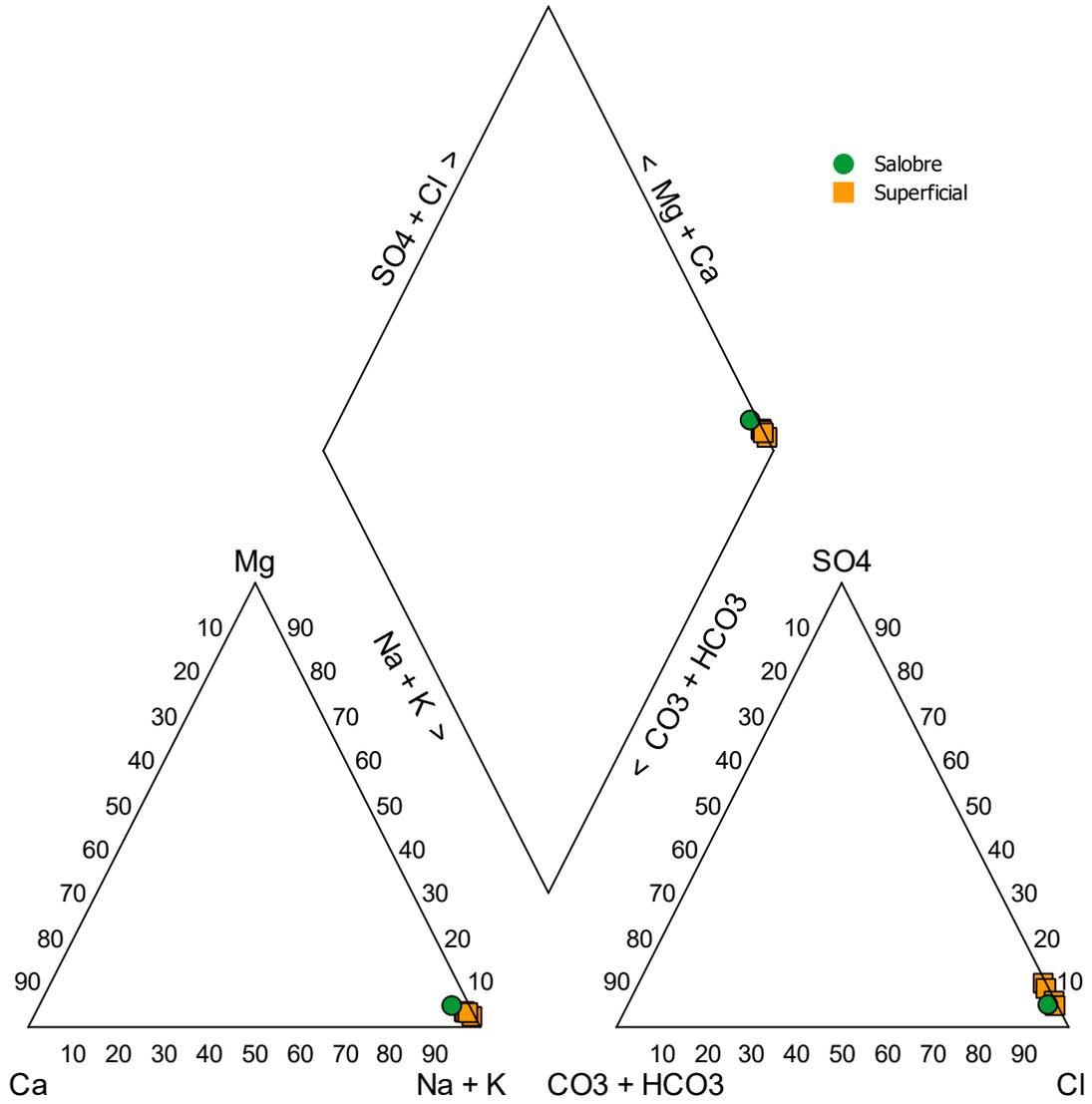
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-92 Diagrama de Piper, Campaña abril 2023, Sector Norte y Borde Este



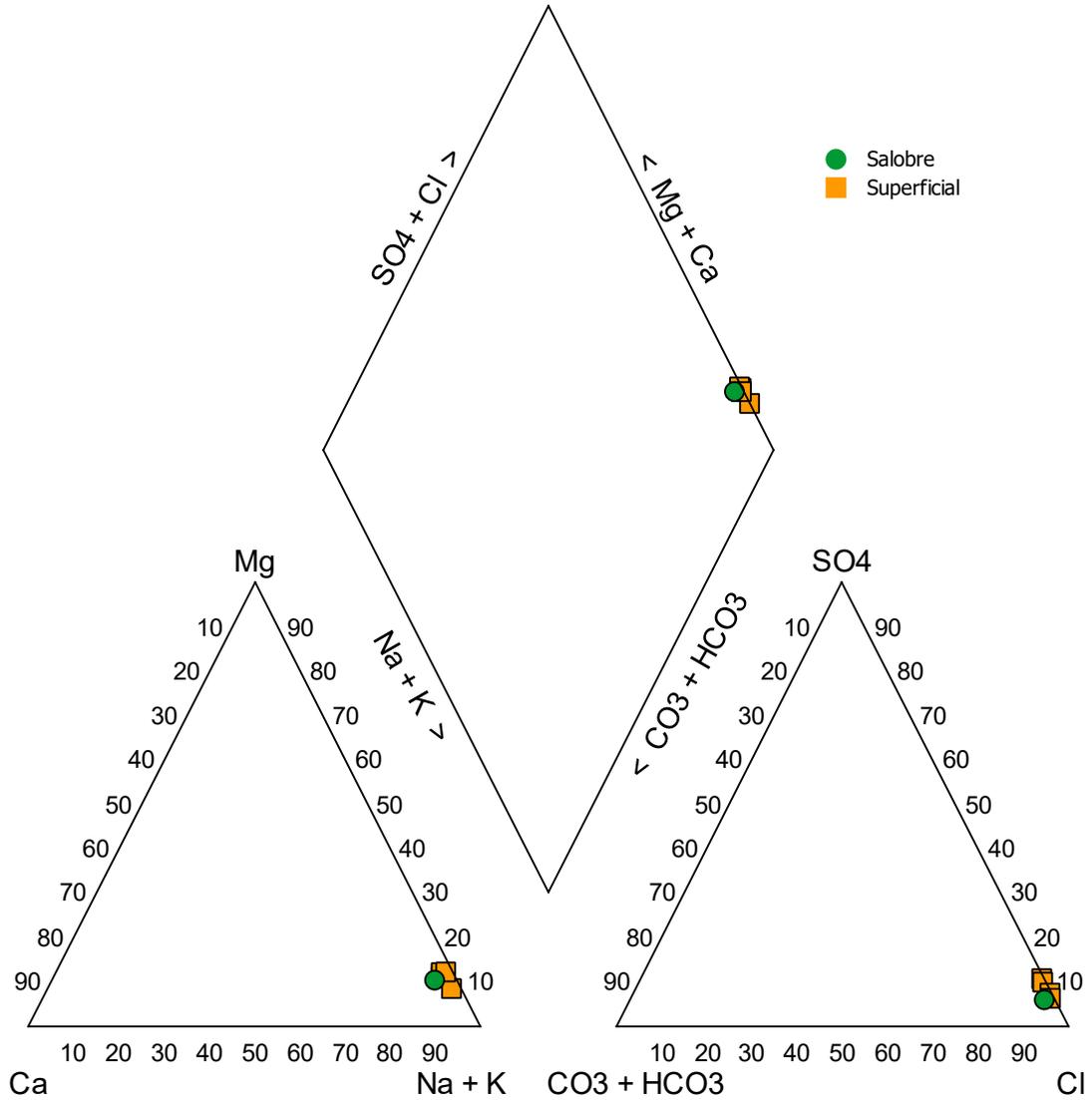
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-93 Diagrama de Piper, Campaña mayo 2023, Sector Norte y Borde Este



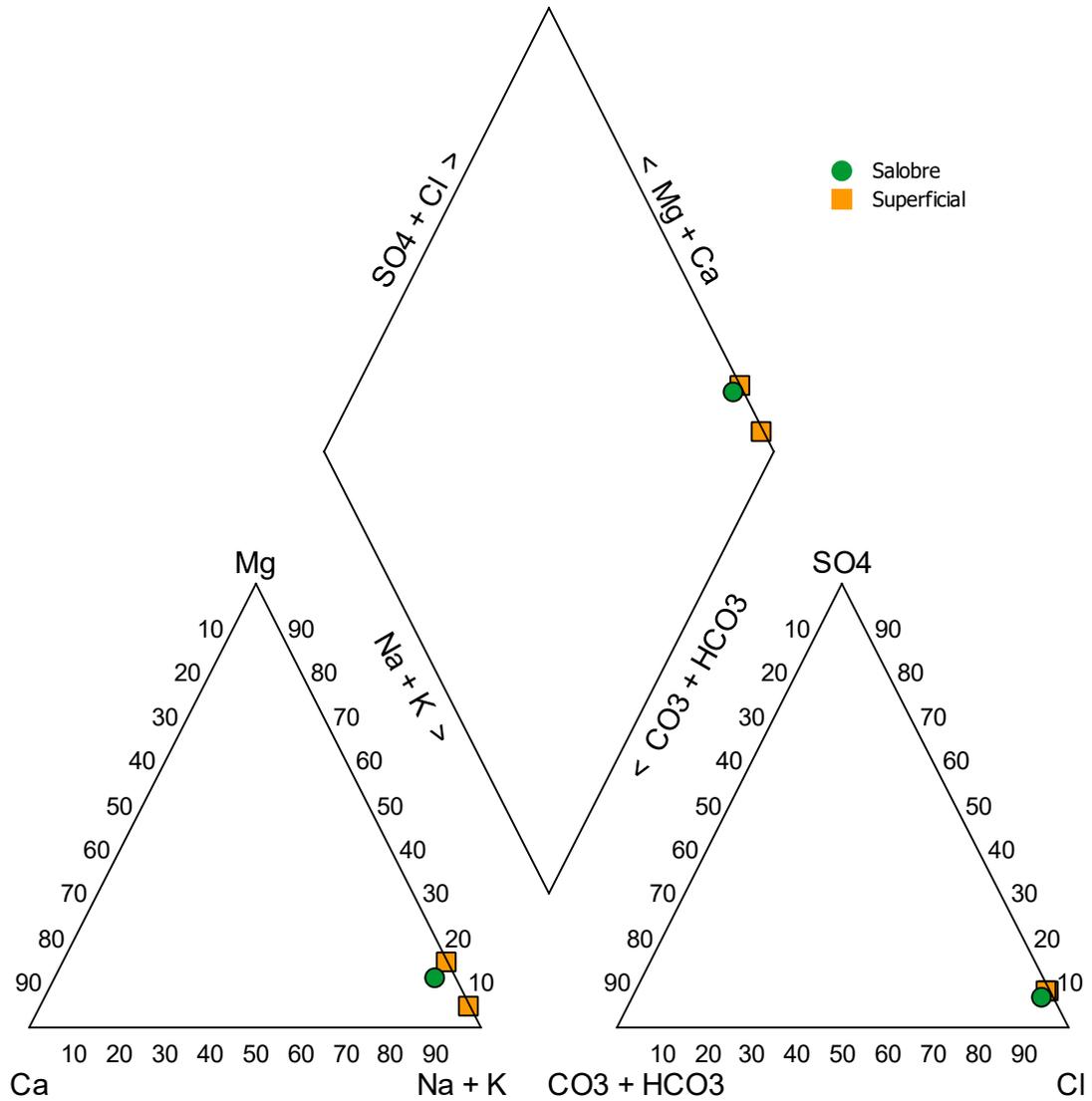
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-94 Diagrama de Piper, Campaña julio 2023, Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-95 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2023, Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.8.4 Química de los Pozos de Extracción-

En la siguiente sección se presentan los resultados de la química de los 3 pozos de extracción (ver ubicación en la Figura 4-6 y Figura 4-7) con derechos de aguas, que son: pozo Peine, vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro, de los parámetros respectivos: calcio, litio, potasio, magnesio, sodio y sulfato, reportados en unidades de ppm (partes por millón) para el año 2023.

En la Tabla 5-22, Figura 5-23y Tabla 5-24, se presentan los resultados registrados de calidad química en el año 2023 para dichos pozos.

Tabla 5-22 Resultados Calidad Química de pozo Peine año 2023

Mes	Densidad (g/cm ³)	Calcio (ppm)	Litio (ppm)	Magnesio (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Sulfato (ppm)
Enero	1,002	485	2	117	42	744	858
Febrero	1,001	469	1	105	35	676	982
Marzo	1,001	372	1	103	33	606	901
Abril	1,001	417	1	105	32	613	1.033
Mayo	1,001	421	1	105	36	626	851
Junio	1,001	450	1	103	35	659	838
Julio	1,001	429	1	104	31	572	934
Agosto	1,001	417	1	105	37	667	918
Septiembre	1,000	364	1	106	34	609	1002
Octubre	1,000	380	1	118	34	631	824
Noviembre	1,000	324	1	107	33	479	837
Diciembre	1,000	369	1	107	35	585	813

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-23 Resultados Calidad Química de vertiente Tilopozo año 2023

Mes	Densidad (g/cm ³)	Calcio (ppm)	Litio (ppm)	Magnesio (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Sulfato (ppm)
Enero	1,000	162	5	93	80	622	346
Febrero	1,004	160	5	91	81	619	429
Marzo	1,000	139	5	94	77	597	432
Abril	1,000	126	5	93	76	537	411
Mayo	1,005	137	5	93	77	521	397
Junio	1,000	133	5	92	77	571	387
Julio	1,000	140	5	94	76	514	445
Agosto	1,000	137	5	94	77	531	391
Septiembre	1,000	140	5	108	80	548	424
Octubre	1,000	163	5	108	79	579	399
Noviembre	1,000	128	5	93	75	549	230
Diciembre	1,000	129	5	94	78	518	369

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-24 Resultados Calidad Química de pozo Tucúcaro año 2023

Mes	Densidad (g/cm ³)	Calcio (ppm)	Litio (ppm)	Magnesio (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Sulfato (ppm)
Enero	1,000	175	11	127	169	1098	570
Febrero	1,016	170	12	124	177	1099	565
Marzo	1,002	149	11	126	167	1037	589
Abril	1,002	135	11	125	170	1022	615
Mayo	1,000	144	11	123	167	1034	521
Junio	1,001	132	11	122	157	1011	525
Julio	1,002	147	11	123	156	956	594
Agosto	1,002	136	11	123	159	969	520
Septiembre	1,001	143	11	128	153	987	520
Octubre	1,001	148	13	133	161	1011	479
Noviembre	1,001	128	11	129	163	782	522
Diciembre*	1,001	135	12	126	162	981	487

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5-25, se puede ver que la densidad es similar en los 3 puntos analizados, y que las mayores concentraciones de calcio (485 en enero) y sulfato (1033 en abril) ocurren en el punto Peine, mientras que mayores concentraciones de litio (13 ppm en octubre), magnesio (133 ppm en octubre), potasio (177 en febrero) y sodio (1099 en febrero) se observan en el punto de Tucúcaro.

Tabla 5-25 Mínimos y máximos de los puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro

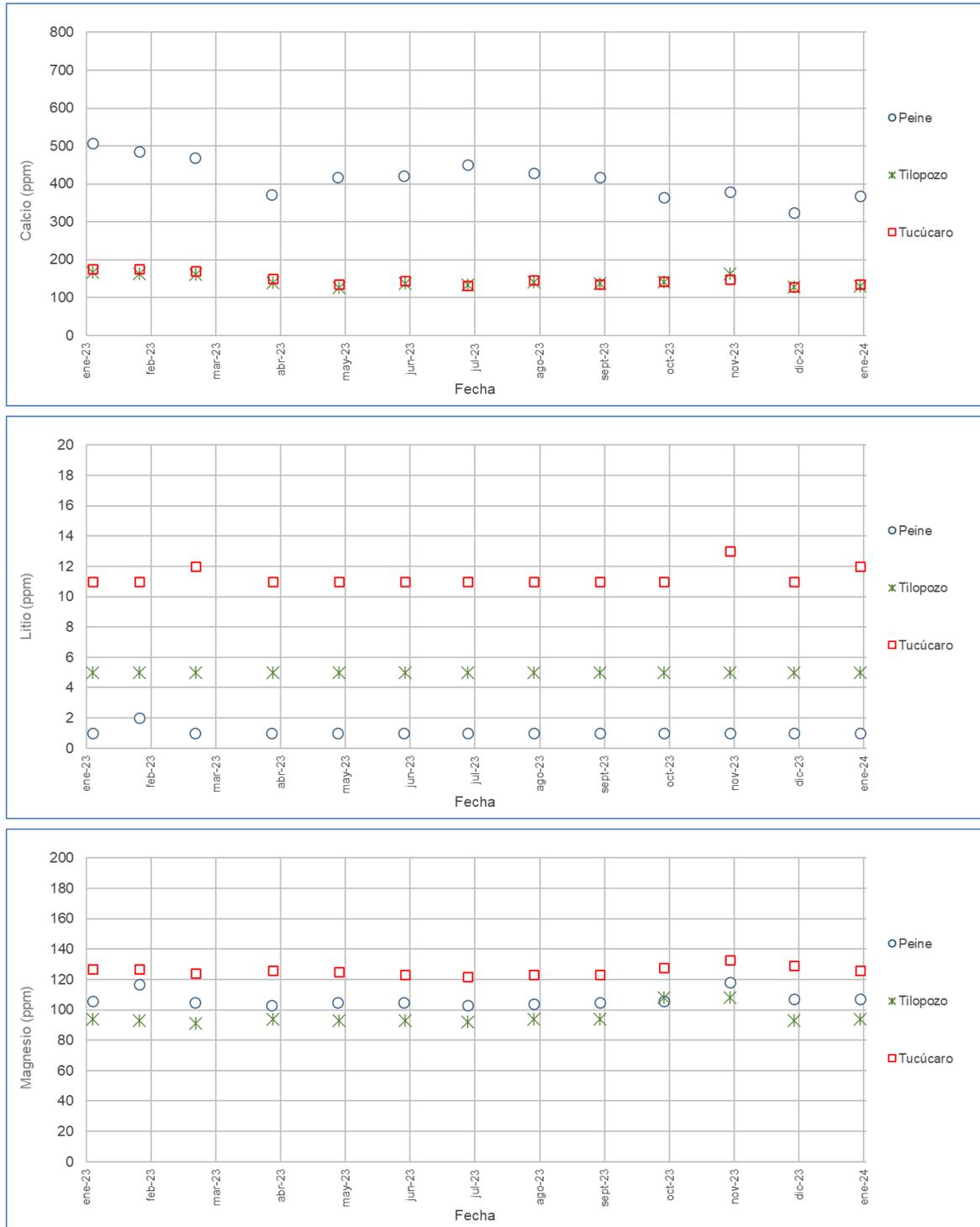
Puntos	Rango	Densidad	Calcio	Litio	Magnesio	Potasio	Sodio	Sulfato
		(g/cm ³)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
PEINE	Mínimo	1,000	324	1	103	31	479	813
	Máximo	1,002	485	2	118	42	744	1033
TILOPOZO	Mínimo	1,000	126	5	91	75	514	230
	Máximo	1,005	163	5	108	81	622	445
TUCÚCARO	Mínimo	1,000	128	11	122	153	782	479
	Máximo	1,016	175	13	133	177	1099	615

La Figura 5-96 presenta la gráfica de la variación de calcio, litio y magnesio durante el 2023 y la Figura 5-97 presenta la variación de potasio, sodio y sulfato para los puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro.

En la Figura 5-96 se puede observar que en Tilopozo y Tucúcaro el calcio se comporta de forma similar, con valores entre 126 y 175 ppm, y Peine con valores mayores entre 324 y 485 ppm. Por otra parte, en Peine, Tilopozo, y Tucúcaro el litio se muestra relativamente constante para cada punto, con valores de entre 1 y 2 (Peine), 5 ppm (Tilopozo) y de entre 11 y 13 ppm (Tucúcaro). Además, se tiene en los 3 puntos los valores de magnesio se comportan similares con valores entre 91 y 133 ppm.

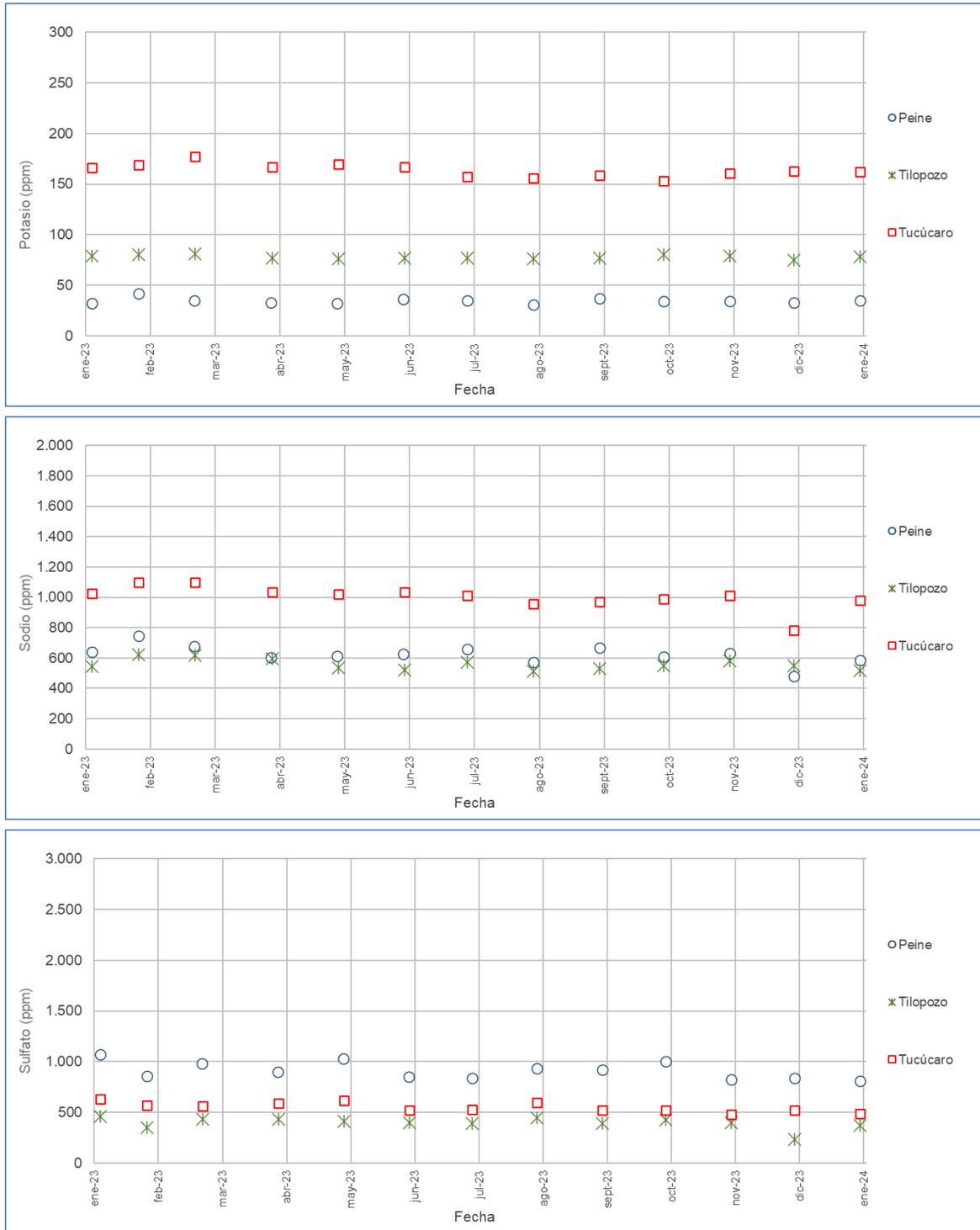
En la Figura 5-97, se puede observar que, en Peine, el potasio presenta menores valores entre 31 y 42 ppm, y los máximos en Tucúcaro con valores entre 153 y 177 ppm. Por otra parte, en Peine y Tilopozo el sodio muestra valores relativamente similar entre 479 y 744 ppm, y en Tucúcaro con valores mayores entre 782 y 1099 ppm. Por último, se tiene que los menores valores de sulfato se observan en Tilopozo, entre 230 y 445 ppm, y mayores valores en Peine, entre 813 y 1033.

Figura 5-96 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-97 Variación temporal de Potasio, Sodio y Sulfato en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

5.9 Caudales bombeados en salmuera y en agua dulce-salobre

En el presente subcapítulo se muestran los registros asociados a la extracción de salmuera y agua dulce-salobre durante el año 2023. Durante este periodo fueron bombeados un total de 84 pozos de extracción de salmuera en las áreas de extracción A1 y A2, en la Tabla 4-9 de la sección 4.2.5, se presentan las coordenadas de cada pozo y su correspondiente área de extracción, además de tres puntos de extracción de agua dulce-salobre correspondientes a la vertiente Tilopozo, pozo Tucúcaro y pozo Peine.

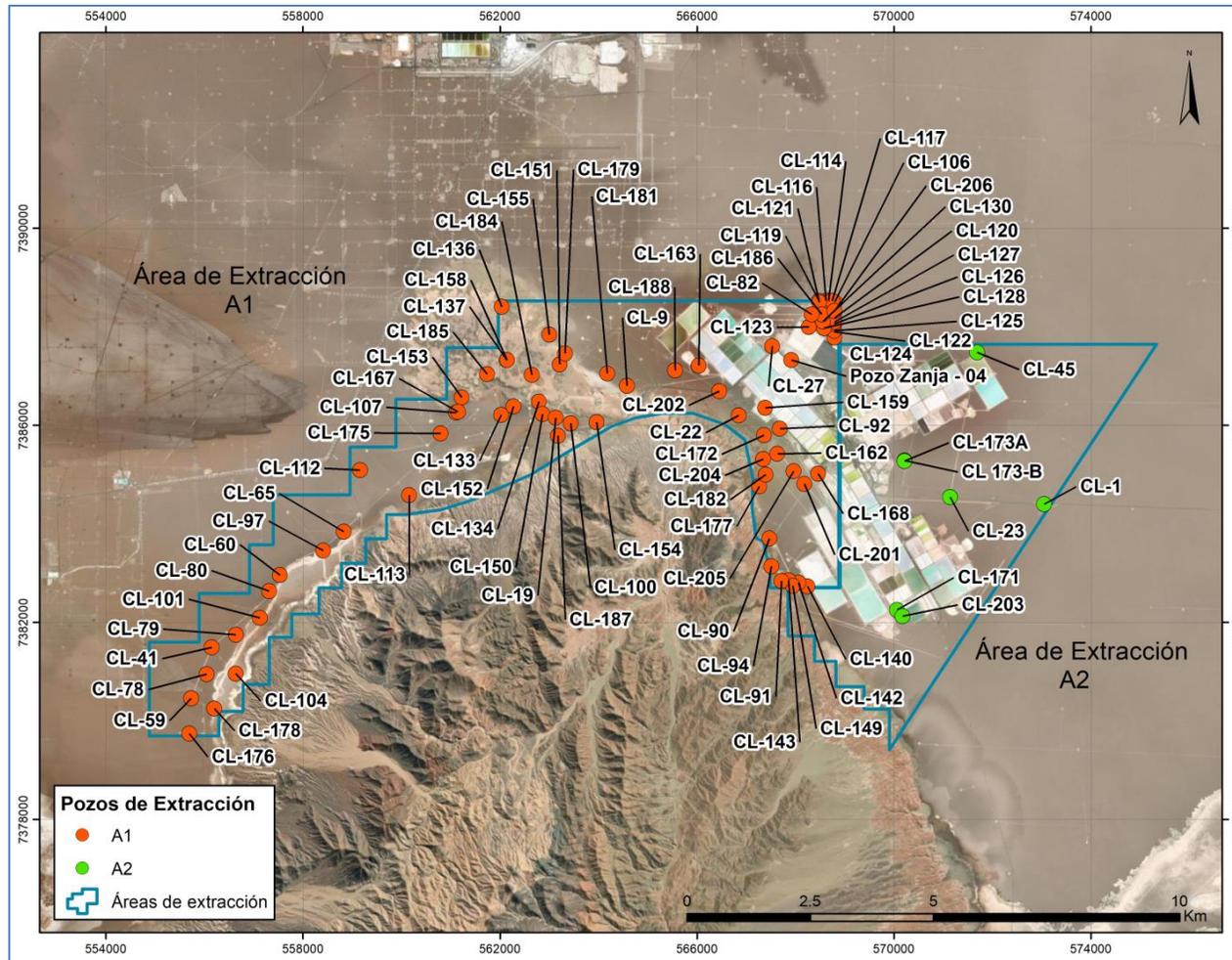
Se aclara que la cantidad de pozos bombeados a lo largo del tiempo es variable, y su dinámica responde a razones operacionales que se ajustan al caudal de bombeo aprobado ambientalmente.

A continuación, se presentan los valores de los caudales bombeados durante 2023.

5.9.1 Caudales bombeados en salmuera

La ubicación de los pozos de extracción de salmuera se enmarca en los polígonos A1 y A2, y su ubicación se representa en el mapa de la Figura 5-98. El detalle de los caudales bombeados durante 2023 se presenta en Tabla 5-26.

Figura 5-98 Mapa de ubicación de los pozos de extracción de salmuera de Albemarle



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
ÁREA A1														
CL-9	Volumen [m3/mes]	7.696	2.513	100	0	0	0	0	0	6.420	5.147	5.476	625	27.977
	Caudal [l/s]	2,87	1,04	0,04	0	0	0	0	0	2,48	1,92	2,11	0,23	
CL-19	Volumen [m3/mes]	48.452	37.333	38.451	36.081	28.930	7.409	172	1.444	35.024	39.712	34.445	12.169	319.622
	Caudal [l/s]	18,09	15,43	14,36	13,92	10,80	2,86	0,06	0,54	13,51	14,83	13,29	4,54	
CL-22	Volumen [m3/mes]	41.631	25.913	33.673	32.637	29.132	28.168	6.782	30.437	26.124	25.771	22.139	21.037	323.444
	Caudal [l/s]	15,54	10,71	12,57	12,59	10,88	10,87	2,53	11,36	10,08	9,62	8,54	7,85	
CL-27	Volumen [m3/mes]	16.399	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.399
	Caudal [l/s]	6,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CL-41	Volumen [m3/mes]	16.198	10.290	653	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.141
	Caudal [l/s]	6,05	4,25	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CL-59	Volumen [m3/mes]	0	9.585	1.485	609	148	569	4.865	1.948	12.337	1.621	21.129	2.468	56.764
	Caudal [l/s]	0	3,96	0,55	0,23	0,06	0,22	1,82	0,73	4,76	0,61	8,15	0,92	
CL-60	Volumen [m3/mes]	34.180	17.760	1.469	0	0	0	392	670	8.108	30.286	26.770	1.842	121.477
	Caudal [l/s]	12,76	7,34	0,55	0	0	0	0,15	0,25	3,13	11,31	10,33	0,69	
CL-65	Volumen [m3/mes]	0	2.386	830	7.265	237	0	1	0	0	204	2.661	138	13.722
	Caudal [l/s]	0	0,99	0,31	2,80	0,09	0	0,00	0	0	0,08	1,03	0,05	
CL-78	Volumen [m3/mes]	17.715	7.461	416	0	0	0	338	0	11.484	6.787	15.963	939	61.103
	Caudal [l/s]	6,61	3,08	0,16	0	0	0	0,13	0	4,43	2,53	6,16	0,35	
CL-79	Volumen [m3/mes]	25.605	7.167	13.552	10.200	7.795	1.601	0	0	0	1.219	10.253	1.222	78.614
	Caudal [l/s]	9,56	2,96	5,06	3,94	2,91	0,62	0	0	0	0,46	3,96	0,46	
CL-80	Volumen [m3/mes]	17.464	7.056	180	0	0	0	0	0	4.931	674	6.631	794	37.730
	Caudal [l/s]	6,52	2,92	0,07	0	0	0	0	0	1,90	0,25	2,56	0,30	
CL-82	Volumen [m3/mes]	9.275	4.478	4.979	770	0	0	0	0	13.602	16.602	13.090	13.256	76.052

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	3,46	1,85	1,86	0,30	0	0	0	0	5,25	6,20	5,05	4,95	
CL-90	Volumen [m3/mes]	21.766	8.386	11.740	9.519	6.759	6.947	7.477	4.995	13.950	16.077	14.760	4.513	126.889
	Caudal [l/s]	8,13	3,47	4,38	3,67	2,52	2,68	2,79	1,86	5,38	6,00	5,69	1,68	
CL-91	Volumen [m3/mes]	14.264	7.420	13.929	5.456	6.302	0	8.248	6.129	6.760	12.436	10.904	677	92.525
	Caudal [l/s]	5,33	3,07	5,20	2,10	2,35	0	3,08	2,29	2,61	4,64	4,21	0,25	
CL-92	Volumen [m3/mes]	11.931	8.576	10.840	12.921	10.936	11.234	4.810	10.407	16.478	18.675	15.548	13.356	145.712
	Caudal [l/s]	4,45	3,54	4,05	4,98	4,08	4,33	1,80	3,89	6,36	6,97	6,00	4,99	
CL-94	Volumen [m3/mes]	12.808	5.968	13.815	9.798	8.902	9.921	13.004	14.561	13.641	15.492	12.135	12.850	142.895
	Caudal [l/s]	4,78	2,47	5,16	3,78	3,32	3,83	4,86	5,44	5,26	5,78	4,68	4,80	
CL-97	Volumen [m3/mes]	4.448	9.293	11.921	13.576	16.265	4.788	2.418	9.784	16.216	18.693	18.329	18.952	144.683
	Caudal [l/s]	1,66	3,84	4,45	5,24	6,07	1,85	0,90	3,65	6,26	6,98	7,07	7,08	
CL-100	Volumen [m3/mes]	36.706	19.683	19.477	19.078	19.382	16.496	10.705	16.937	21.147	15.234	11.279	12.984	219.108
	Caudal [l/s]	13,70	8,14	7,27	7,36	7,24	6,36	4,00	6,32	8,16	5,69	4,35	4,85	
CL-101	Volumen [m3/mes]	28.968	22.674	28.150	23.558	21.714	4.574	0	0	1.718	571	17.872	5.079	154.878
	Caudal [l/s]	10,82	9,37	10,51	9,09	8,11	1,76	0	0	0,66	0,21	6,90	1,90	
CL-104	Volumen [m3/mes]	17.991	15.122	517	0	0	0	1.516	0	11.167	14.202	15.458	3.243	79.216
	Caudal [l/s]	6,72	6,25	0,19	0	0	0	0,57	0,00	4,31	5,30	5,96	1,21	
CL-106	Volumen [m3/mes]	21.898	16.448	15.385	18.798	20.385	20.886	22.591	46.561	36.452	36.905	41.005	9.652	306.966
	Caudal [l/s]	8,18	6,80	5,74	7,25	7,61	8,06	8,43	17,38	14,06	13,78	15,82	3,60	
CL-107	Volumen [m3/mes]	23.640	14.779	19.402	18.030	18.598	15.659	15.445	11.762	20.683	17.084	18.835	4.795	198.712
	Caudal [l/s]	8,83	6,11	7,24	6,96	6,94	6,04	5,77	4,39	7,98	6,38	7,27	1,79	
CL-112	Volumen [m3/mes]	16.094	10.199	11.285	12.443	11.312	11.812	7.625	13.615	14.885	15.354	10.851	15.174	150.649
	Caudal [l/s]	6,01	4,22	4,21	4,80	4,22	4,56	2,85	5,08	5,74	5,73	4,19	5,67	
CL-113	Volumen [m3/mes]	15.001	8.824	79	0	2.315	18	0	0	6.927	8.478	11.204	10.724	63.570

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	5,60	3,65	0,03	0	0,86	0,01	0	0	2,67	3,17	4,32	4,00	
CL-114	Volumen [m3/mes]	10.025	8.565	9.278	10.669	9.201	7.423	7.867	6.283	12.056	12.682	11.737	12.935	118.721
	Caudal [l/s]	3,74	3,54	3,46	4,12	3,44	2,86	2,94	2,35	4,65	4,73	4,53	4,83	
CL-116	Volumen [m3/mes]	17.075	5.990	11.784	12.012	9.208	9.607	7.755	7.617	7.522	7.192	7.471	12.862	116.095
	Caudal [l/s]	6,38	2,48	4,40	4,63	3,44	3,71	2,90	2,84	2,90	2,69	2,88	4,80	
CL-117	Volumen [m3/mes]	13.733	9.988	8.580	8.497	7.631	8.785	9.784	5.320	11.588	12.956	12.985	1.414	111.261
	Caudal [l/s]	5,13	4,13	3,20	3,28	2,85	3,39	3,65	1,99	4,47	4,84	5,01	0,53	
CL-119	Volumen [m3/mes]	12.407	7.735	8.934	9.322	8.157	6.857	8.211	10.511	18.041	18.989	16.713	17.049	142.926
	Caudal [l/s]	4,63	3,20	3,34	3,60	3,05	2,65	3,07	3,92	6,96	7,09	6,45	6,37	
CL-120	Volumen [m3/mes]	23.748	21.787	16.334	15.886	16.041	14.693	13.994	13.682	18.355	20.019	21.134	22.562	218.235
	Caudal [l/s]	8,87	9,01	6,10	6,13	5,99	5,67	5,22	5,11	7,08	7,47	8,15	8,42	
CL-121	Volumen [m3/mes]	23.357	21.302	21.306	19.677	21.817	19.163	18.333	16.646	19.089	19.686	21.401	24.166	245.943
	Caudal [l/s]	8,72	8,81	7,95	7,59	8,15	7,39	6,84	6,21	7,36	7,35	8,26	9,02	
CL-122	Volumen [m3/mes]	15.698	4.256	11.470	9.797	3.686	8.001	14.438	15.256	11.353	10.255	11.865	12.902	128.977
	Caudal [l/s]	5,86	1,76	4,28	3,78	1,38	3,09	5,39	5,70	4,38	3,83	4,58	4,82	
CL-123	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	672	4.028	7.215	2.100	14.015
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	1,50	2,78	0,78	
CL-124	Volumen [m3/mes]	10.903	9.436	9.947	8.806	10.231	9.863	10.943	12.528	11.075	12.549	11.973	12.317	130.571
	Caudal [l/s]	4,07	3,90	3,71	3,40	3,82	3,81	4,09	4,68	4,27	4,69	4,62	4,60	
CL-125	Volumen [m3/mes]	13.821	11.350	9.593	8.979	9.843	8.785	9.864	9.729	13.620	16.653	14.754	13.905	140.896
	Caudal [l/s]	5,16	4,69	3,58	3,46	3,67	3,39	3,68	3,63	5,25	6,22	5,69	5,19	
CL-126	Volumen [m3/mes]	14.505	12.324	13.767	13.028	9.485	7.420	9.394	12.312	12.182	13.576	12.423	11.581	141.997
	Caudal [l/s]	5,42	5,09	5,14	5,03	3,54	2,86	3,51	4,60	4,70	5,07	4,79	4,32	
CL-127	Volumen [m3/mes]	19.051	11.484	18.918	18.670	19.418	15.456	11.308	15.528	18.167	23.862	18.966	21.470	212.298

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	7,11	4,75	7,06	7,20	7,25	5,96	4,22	5,80	7,01	8,91	7,32	8,02	
CL-128	Volumen [m3/mes]	8.399	2.598	5.128	3.987	3.686	2.746	884	0	0	0	0	0	27.428
	Caudal [l/s]	3,14	1,07	1,91	1,54	1,38	1,06	0,33	0	0	0	0	0	
CL-130	Volumen [m3/mes]	9.881	9.488	10.225	10.222	10.071	10.647	11.018	9.695	5.958	5.819	2.833	235	96.092
	Caudal [l/s]	3,69	3,92	3,82	3,94	3,76	4,11	4,11	3,62	2,30	2,17	1,09	0,09	
CL-133	Volumen [m3/mes]	26.162	23.630	27.048	25.035	28.686	31.095	28.973	30.764	25.633	25.781	21.867	26.135	320.809
	Caudal [l/s]	9,77	9,77	10,10	9,66	10,71	12,00	10,82	11,49	9,89	9,63	8,44	9,76	
CL-134	Volumen [m3/mes]	27.608	17.020	25.608	22.713	24.599	22.937	19.568	15.771	18.314	19.501	20.732	20.605	254.976
	Caudal [l/s]	10,31	7,04	9,56	8,76	9,18	8,85	7,31	5,89	7,07	7,28	8,00	7,69	
CL-136	Volumen [m3/mes]	10.801	9.655	10.469	10.004	6.652	8.959	8.216	8.871	9.097	8.801	8.879	9.746	110.150
	Caudal [l/s]	4,03	3,99	3,91	3,86	2,48	3,46	3,07	3,31	3,51	3,29	3,43	3,64	
CL-137	Volumen [m3/mes]	14.460	12.796	13.007	11.961	12.217	11.842	8.662	11.037	11.373	11.239	10.402	13.089	142.085
	Caudal [l/s]	5,40	5,29	4,86	4,61	4,56	4,57	3,23	4,12	4,39	4,20	4,01	4,89	
CL-140	Volumen [m3/mes]	26.573	17.492	27.193	25.710	21.828	23.508	19.554	15.681	14.251	19.051	20.770	22.870	254.481
	Caudal [l/s]	9,92	7,23	10,15	9,92	8,15	9,07	7,30	5,85	5,50	7,11	8,01	8,54	
CL-142	Volumen [m3/mes]	26.773	14.184	22.860	16.094	17.080	13.884	19.662	25.245	23.776	24.056	25.146	26.094	254.854
	Caudal [l/s]	10,00	5,86	8,53	6,21	6,38	5,36	7,34	9,43	9,17	8,98	9,70	9,74	
CL-143	Volumen [m3/mes]	6.294	8.422	14.330	17.755	18.157	20.193	21.239	20.942	20.077	22.214	21.268	20.833	211.724
	Caudal [l/s]	2,35	3,48	5,35	6,85	6,78	7,79	7,93	7,82	7,75	8,29	8,21	7,78	
CL-149	Volumen [m3/mes]	1.560	3.864	19.064	15.493	13.059	7.728	12.743	19.353	19.125	23.038	21.311	1.381	157.719
	Caudal [l/s]	0,58	1,60	7,12	5,98	4,88	2,98	4,76	7,23	7,38	8,60	8,22	0,52	
CL-150	Volumen [m3/mes]	16.737	1.625	6.210	9.388	2.400	3.416	9.074	10.128	9.592	8.883	8.050	8.008	93.511
	Caudal [l/s]	6,25	0,67	2,32	3,62	0,90	1,32	3,39	3,78	3,70	3,32	3,11	2,99	
CL-151	Volumen [m3/mes]	0	801	5.930	4.188	0	6.661	10.521	12.143	10.193	11.228	10.594	1.294	73.553

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	0	0,33	2,21	1,62	0	2,57	3,93	4,53	3,93	4,19	4,09	0,48	
CL-152	Volumen [m3/mes]	9.779	10.329	9.210	8.229	9.376	9.180	6.953	9.090	8.586	8.498	7.885	11.739	108.854
	Caudal [l/s]	3,65	4,27	3,44	3,17	3,50	3,54	2,60	3,39	3,31	3,17	3,04	4,38	
CL-153	Volumen [m3/mes]	19.325	13.176	12.510	10.228	9.201	8.420	7.520	7.199	6.191	3.542	5.067	4.915	107.294
	Caudal [l/s]	7,22	5,45	4,67	3,95	3,44	3,25	2,81	2,69	2,39	1,32	1,95	1,84	
CL-154	Volumen [m3/mes]	15.219	9.601	14.606	12.263	13.697	12.789	12.622	16.774	19.745	17.047	15.383	14.528	174.274
	Caudal [l/s]	5,68	3,97	5,45	4,73	5,11	4,93	4,71	6,26	7,62	6,36	5,93	5,42	
CL-155	Volumen [m3/mes]	14.742	3.150	756	0	0	0	0	0	1.949	2.524	694	49	23.864
	Caudal [l/s]	5,50	1,30	0,28	0	0	0	0	0	0,75	0,94	0,27	0,02	
CL-158	Volumen [m3/mes]	20.974	18.522	20.141	19.744	19.866	15.037	19.390	21.708	20.300	21.817	19.922	20.724	238.145
	Caudal [l/s]	7,83	7,66	7,52	7,62	7,42	5,80	7,24	8,10	7,83	8,15	7,69	7,74	
CL-159	Volumen [m3/mes]	6.616	3.260	270	2.265	2.124	983	0	0	2.979	2.771	2.295	66	23.629
	Caudal [l/s]	2,47	1,35	0,10	0,87	0,79	0,38	0	0	1,15	1,03	0,89	0,02	
CL-162	Volumen [m3/mes]	17.603	16.560	21.420	20.887	17.994	14.955	12.944	20.180	18.721	16.713	12.262	12.494	202.733
	Caudal [l/s]	6,57	6,85	8,00	8,06	6,72	5,77	4,83	7,53	7,22	6,24	4,73	4,66	
CL-163	Volumen [m3/mes]	10.036	7.363	7.580	7.838	2.596	0	0	0	4.320	8.879	8.493	7.257	64.362
	Caudal [l/s]	3,75	3,04	2,83	3,02	0,97	0	0	0	1,67	3,32	3,28	2,71	
CL-167	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.702	2.702
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,01	
CL-168	Volumen [m3/mes]	9.625	2.889	231	1.521	0	2.813	1.960	220	0	264	235	149	19.907
	Caudal [l/s]	3,59	1,19	0,09	0,59	0	1,09	0,73	0,08	0	0,10	0,09	0,06	
CL-172	Volumen [m3/mes]	37.481	19.303	19.551	30.713	17.286	19.238	8.721	26.361	27.456	35.573	30.113	20.272	292.068
	Caudal [l/s]	13,99	7,98	7,30	11,85	6,45	7,42	3,26	9,84	10,59	13,28	11,62	7,57	
CL-175	Volumen [m3/mes]	27.375	22.962	22.981	23.259	23.049	21.603	19.383	23.778	21.601	22.992	18.319	21.152	268.454

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	10,22	9,49	8,58	8,97	8,61	8,33	7,24	8,88	8,33	8,58	7,07	7,90	
CL-176	Volumen [m3/mes]	18.082	8.205	3.039	636	14	0	0	0	9.751	12.133	11.512	11.065	74.437
	Caudal [l/s]	6,75	3,39	1,13	0,25	0,01	0	0	0	3,76	4,53	4,44	4,13	
CL-177	Volumen [m3/mes]	22.694	14.793	6.911	6.216	3.987	13.561	18.276	16.404	13.478	11.565	11.686	8.836	148.407
	Caudal [l/s]	8,47	6,11	2,58	2,40	1,49	5,23	6,82	6,12	5,20	4,32	4,51	3,30	
CL-178	Volumen [m3/mes]	0	1.711	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.711
	Caudal [l/s]	0	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CL-179	Volumen [m3/mes]	12.541	12.426	14.428	13.436	13.001	9.223	0	0	14.598	15.830	12.230	16.791	134.504
	Caudal [l/s]	4,68	5,14	5,39	5,18	4,85	3,56	0	0	5,63	5,91	4,72	6,27	
CL-181	Volumen [m3/mes]	8.395	2.050	0	0	61	3.967	0	0	9.760	6.601	1.649	0	32.483
	Caudal [l/s]	3,13	0,85	0	0	0,02	1,53	0	0	3,77	2,46	0,64	0	
CL-182	Volumen [m3/mes]	19.352	0	15.812	14.853	8.163	11.019	17.045	19.295	18.798	18.300	15.163	15.857	173.657
	Caudal [l/s]	7,23	0	5,90	5,73	3,05	4,25	6,36	7,20	7,25	6,83	5,85	5,92	
CL-184	Volumen [m3/mes]	12.670	2.003	177	6.716	8.859	10.137	5.763	5.084	10.795	7.570	9.705	11.716	91.195
	Caudal [l/s]	4,73	0,83	0,07	2,59	3,31	3,91	2,15	1,90	4,16	2,83	3,74	4,37	
CL-185	Volumen [m3/mes]	37.058	32.892	35.150	34.783	35.390	33.172	27.456	35.223	34.591	37.136	34.314	31.607	408.772
	Caudal [l/s]	13,84	13,60	13,12	13,42	13,21	12,80	10,25	13,15	13,35	13,86	13,24	11,80	
CL-186	Volumen [m3/mes]	12.199	10.780	13.487	11.747	9.817	10.918	12.495	12.361	19.603	17.858	17.937	3.430	152.632
	Caudal [l/s]	4,55	4,46	5,04	4,53	3,67	4,21	4,67	4,62	7,56	6,67	6,92	1,28	
CL-187	Volumen [m3/mes]	600	4.156	18.947	19.354	14.924	16.553	14.278	5.447	16.702	14.313	8.920	8.149	142.343
	Caudal [l/s]	0,22	1,72	7,07	7,47	5,57	6,39	5,33	2,03	6,44	5,34	3,44	3,04	
CL-188	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	4.280	5.927	5.688	5.629	21.524
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	1,65	2,21	2,19	2,10	
CL-201	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	9.567	13.367	12.173	12.546	47.653

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

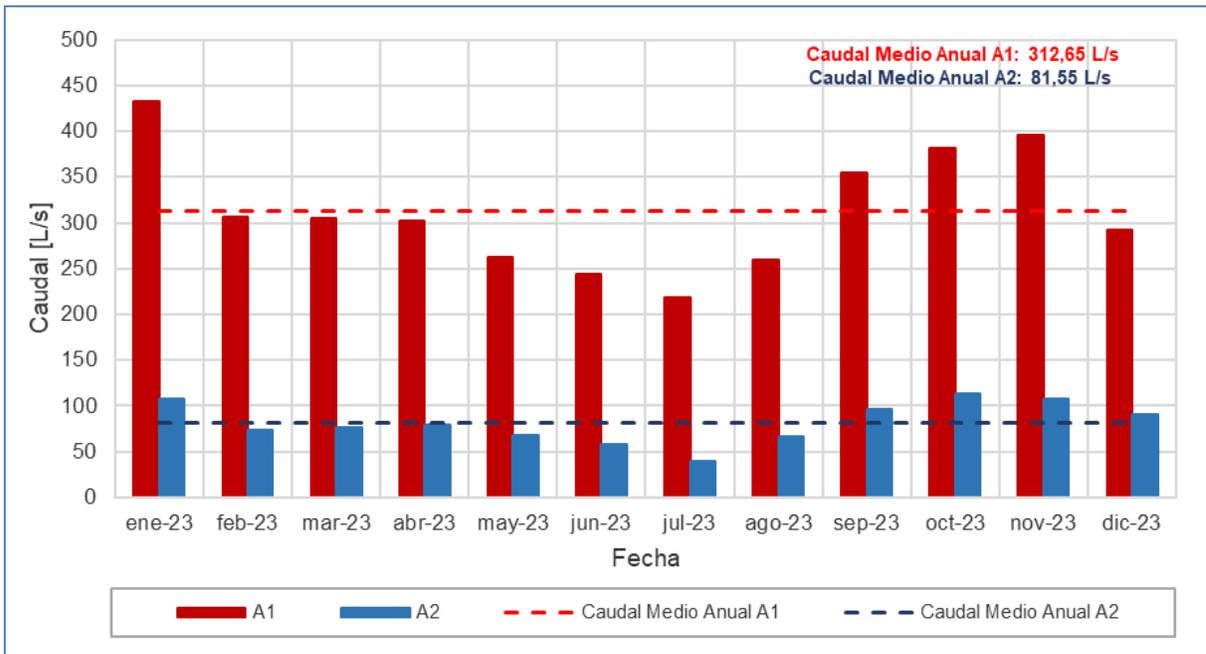
Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	3,69	4,99	4,70	4,68	
CL-202	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	6.576	12.732	11.162	2.869	33.339
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	2,54	4,75	4,31	1,07	
CL-204	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.866	34.943	34.974	100.783
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,52	13,48	13,06	
CL-205	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.497	14.845	12.453	32.795
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,05	5,73	4,65	
CL-206	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	949	6.169	7.350	14.468
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	2,38	2,74	
Pozo Zanja - 04	Volumen [m3/mes]	17.612	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.612
	Caudal [l/s]	6,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Volumen total anual área de extracción A1 [m3/año]														9.859.766
Caudal mensual A1 [l/s]		432,97	306,40	304,85	302,21	261,97	244,34	217,74	258,89	354,75	381,03	395,83	291,73	-
Caudal medio anual área de extracción A1 [l/s]														312,65
Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
ÁREA A2														
CL-1	Volumen [m3/mes]	80.932	37.816	55.921	50.272	53.556	51.634	58.407	78.566	75.555	83.959	82.827	69.369	778.814
	Caudal [l/s]	30,22	15,63	20,88	19,40	20,00	19,92	21,81	29,33	29,15	31,35	31,95	25,90	
CL-23	Volumen [m3/mes]	76.541	50.107	55.965	58.389	41.681	37.181	10.768	69.672	83.045	88.329	71.035	60.731	703.444
	Caudal [l/s]	28,58	20,71	20,90	22,53	15,56	14,34	4,02	26,01	32,04	32,98	27,41	22,67	
CL-45	Volumen [m3/mes]	64.928	54.696	62.229	60.835	60.999	52.185	34.303	31.965	77.479	67.244	73.834	72.948	713.645
	Caudal [l/s]	24,24	22,61	23,23	23,47	22,77	20,13	12,81	11,93	29,89	25,11	28,49	27,24	
CL-171	Volumen [m3/mes]	22.438	6.504	7.289	9.707	7.830	8.807	2.345	0	0	0	0	0	64.920
	Caudal [l/s]	8,38	2,69	2,72	3,74	2,92	3,40	0,88	0	0	0	0	0	

Tabla 5-26 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2023

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
CL-173A	Volumen [m3/mes]	43.038	29.023	23.792	27.429	17.382	243	0	0	3.459	15.909	13.568	14.752	188.595
	Caudal [l/s]	16,07	12,00	8,88	10,58	6,49	0,09	0	0	1,33	5,94	5,23	5,51	
CL 173-B	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.421	2.201	5.622
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,32	0,82	
CL-203	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	11.487	50.273	33.537	21.462	116.759
	Caudal [l/s]	0	0	0	0	0	0	0	0	4,43	18,77	12,94	8,01	
Volumen total anual área de extracción A2 [m3/año]														2.571.800
Caudal mensual A1 [l/s]		107,48	73,64	76,61	79,72	67,74	57,89	39,51	67,28	96,85	114,14	107,34	90,15	-
Caudal medio anual área de extracción A2 [l/s]														81,55
Volumen total de extracción Salmuera [m3/año]														12.431.566
Caudal medio anual total [l/s]														394,20

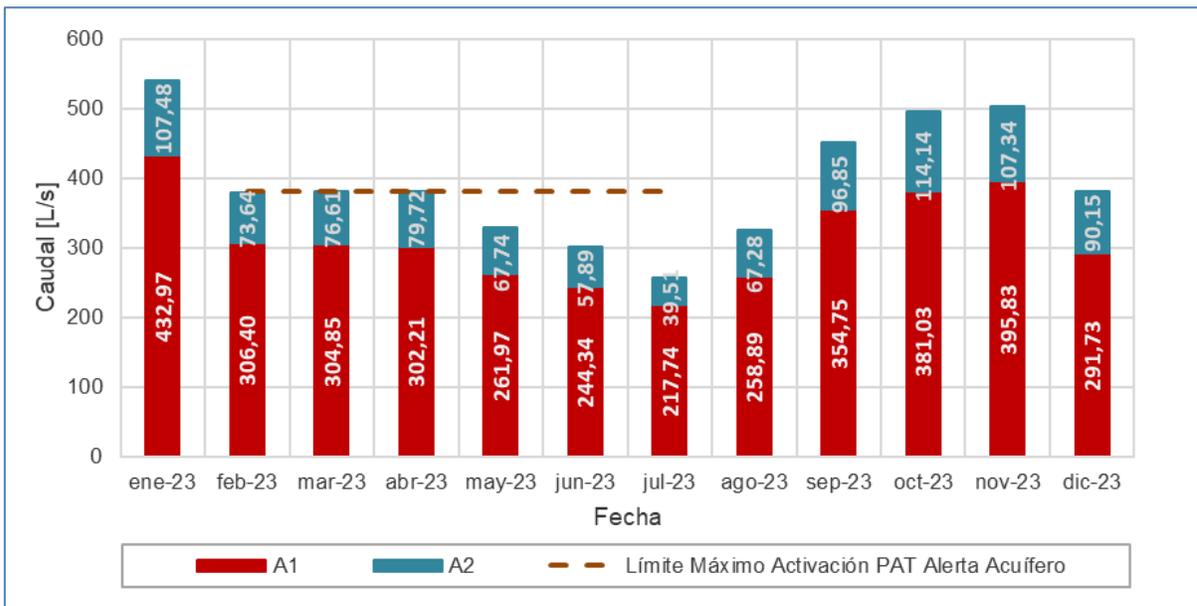
Los caudales mensuales de extracción de salmuera durante el año 2023 en las áreas A1 y A2 se presentan en la Figura 5-99. Los caudales mensuales promedio más bajos en las áreas A1 y A2 fueron de 217,74 l/s y 39,51 l/s, respectivamente, observados en julio para A1 y en julio para A2. Por otra parte, los caudales máximos fueron de 432,97 l/s y 114,14 l/s, respectivamente, durante el mes de enero para el área A1 y octubre para el área A2. Los caudales medios anuales en las áreas A1 y A2 fueron de 312,65 l/s y 81,55 l/s, respectivamente.

Figura 5-99 Caudales Promedio Mensuales de Extracción de Salmuera por zona, año 2023



Fuente: Elaboración propia

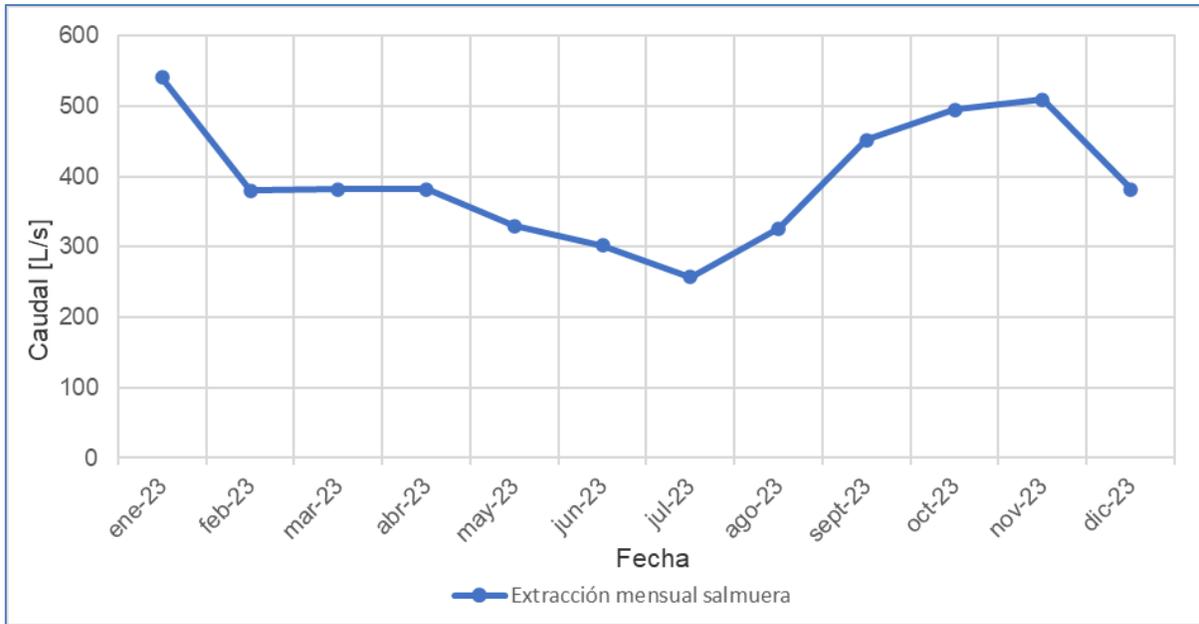
Figura 5-100 Caudales mensuales por zona año calendario 2023, junto a límite PAT.



Fuente: Elaboración propia

La extracción mensual de salmuera de Albemarle en el año 2023 se muestra en la Figura 5-101. En general, la menor extracción de salmuera se realiza en los meses de invierno, mientras que la mayor extracción se desarrolla en los meses de verano, como consecuencia de la mayor evaporación en los sistemas de pozas de salmuera.

Figura 5-101 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, durante 2023 (extracción total de zonas A1 y A2)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del volumen anual (año calendario y operacional) de extracción de salmuera en ambas áreas (A1 y A2) en el período 2023 se presenta en la Figura 6-127, en dicha figura se observa que el volumen de extracción total del año calendario 2023 fue de 12.431.567 m³, lo que equivale a un caudal medio anual de 394,20 l/s, mientras que para el área A1 el volumen total de extracción fue de 9.859.767 m³ equivalente a un caudal medio anual de 312,65 l/s, y para el área A2 el volumen total de extracción durante el 2023 fue de 2.571.800 m³, equivalente a un caudal de 81,55 l/s.

5.9.2 Caudales bombeados en agua dulce-salobre

La extracción de agua dulce-salobre se realiza desde la vertiente Tilopozo²² y el pozo Tucúcaro²³, ubicados en la zona marginal, en el sector La Punta-La Brava. Ambas captaciones cuentan con derechos de aprovechamiento de agua de 8,5 l/s y de 10 l/s, respectivamente, mientras que la aprobación ambiental establecida en la RCA N°21/2016 para el ejercicio de sus derechos es por un máximo de 16,9 l/s entre ambos puntos simultáneamente. Adicionalmente, se cuenta con un derecho de aprovechamiento de 5 l/s en el pozo Peine²⁴ para el abastecimiento del campamento emplazado en esta localidad.

22 Conforme a R.E. N°316/1983 DGA, permite aprovechamiento de aguas por 8,5 l/s.

23 Conforme a R.E. N°453/1996 DGA, permite aprovechamiento de aguas por 10,0 l/s.

24 Conforme a R.E. N°584/2000 DGA, permite aprovechamiento de aguas por 5,0 l/s.

Los volúmenes y caudales bombeados en estos pozos durante 2023 se presentan resumidos en la Tabla 5-27.

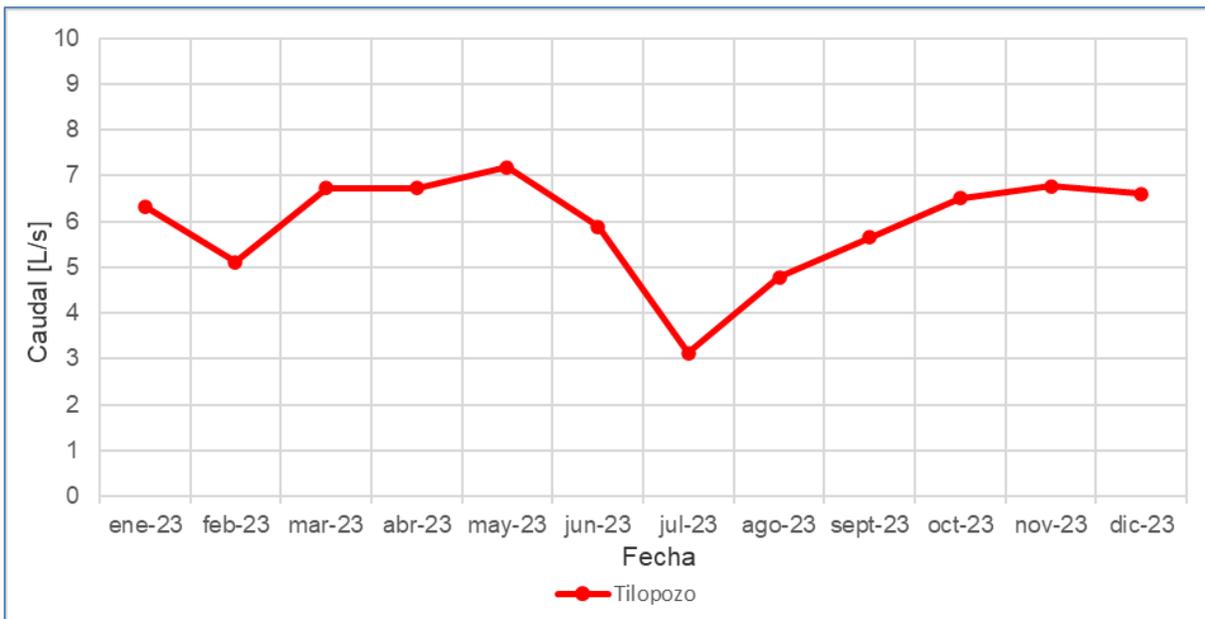
Tabla 5-27 Caudales promedio y volúmenes bombeados de agua dulce-salobre, año calendario 2023

Fecha	Vertiente Tilopozo		Tucúcaro		Peine	
	Volumen [m³/mes]	Caudal [l/s]	Volumen [m³/mes]	Caudal [l/s]	Volumen [m³/mes]	Caudal [l/s]
Enero	16.937	6,324	6.670	2,490	143	0,053
Febrero	12.366	5,112	4.303	1,779	124	0,051
Marzo	18.003	6,722	4.976	1,858	156	0,058
Abril	17.440	6,728	6.438	2,484	111	0,043
Mayo	19.252	7,188	8.302	3,100	136	0,051
Junio	15.246	5,882	4.822	1,860	110	0,042
Julio	8.365	3,123	3.318	1,239	93	0,035
Agosto	12.817	4,785	3.445	1,286	69	0,026
Septiembre	14.640	5,648	6.748	2,603	74	0,029
Octubre	17.417	6,503	9.416	3,516	90	0,034
Noviembre	17.538	6,766	8.179	3,155	48	0,019
Diciembre	17.670	6,597	5.426	2,026	58	0,022
Volumen anual [m³/año] /Caudal promedio anual [l/s]	187.691	5,952	72.043	2,284	1.212	0,038

Fuente: Elaboración propia

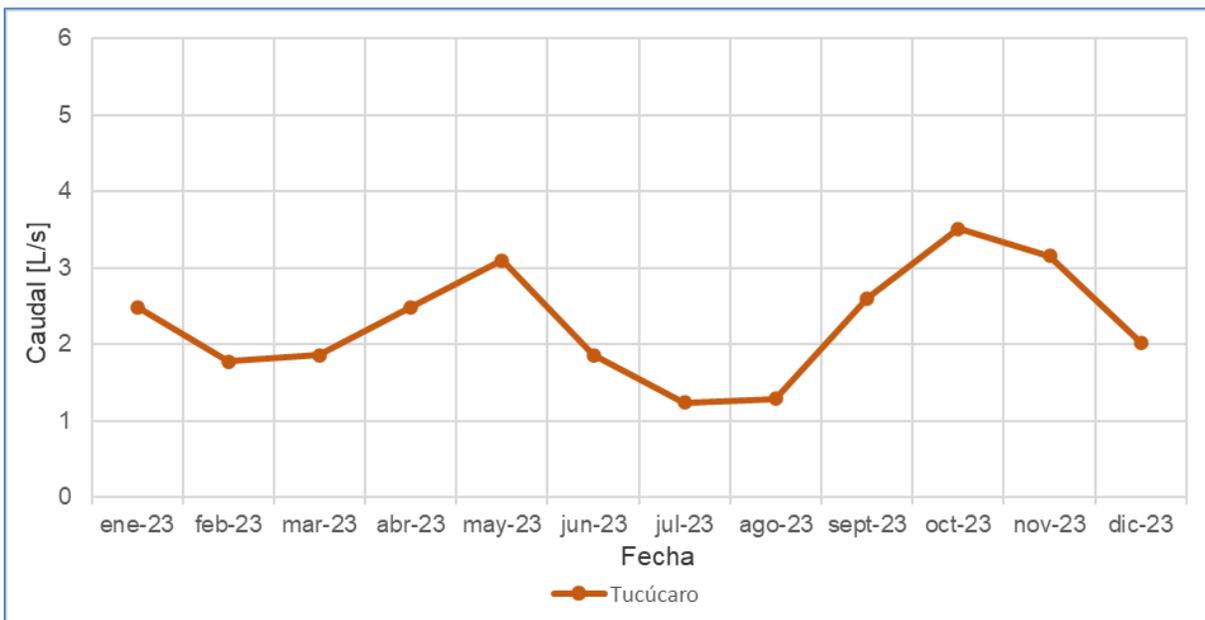
Los caudales que han sido bombeados durante el 2023 en la Vertiente Tilopozo, y los pozos Tucúcaro y Peine, se presentan en los gráficos de las Figura 5-102, Figura 5-103 y Figura 5-104 respectivamente.

Figura 5-102 Caudales mensuales 2023 bombeados en Vertiente Tilopozo



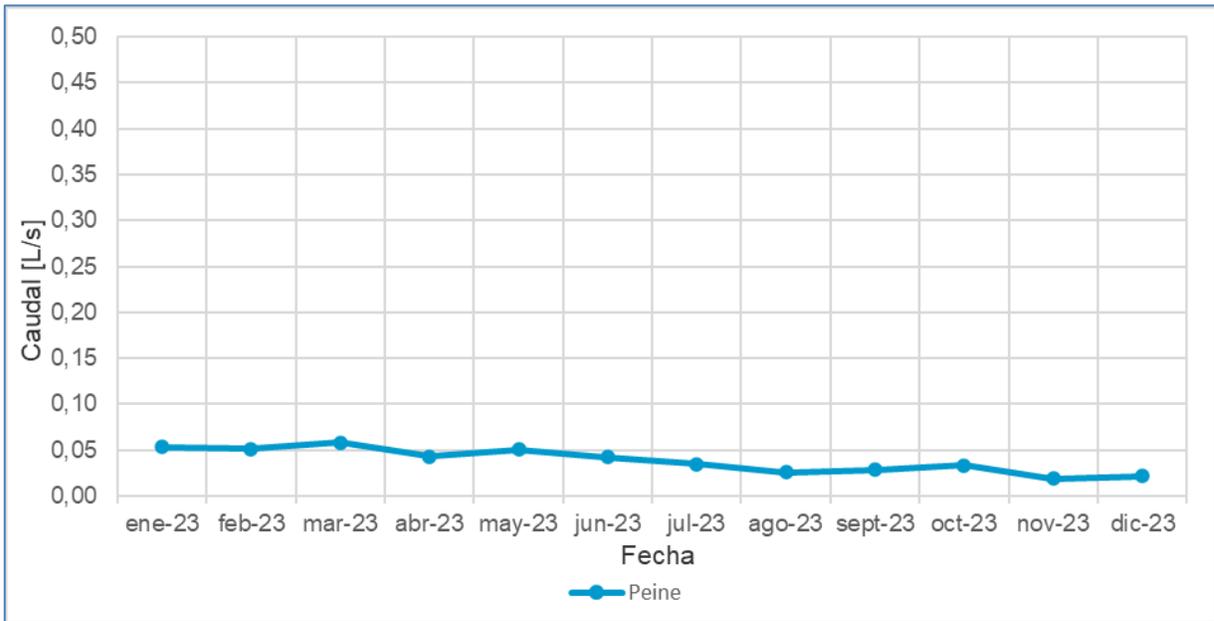
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-103 Caudales mensuales 2023 bombeados en pozo Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

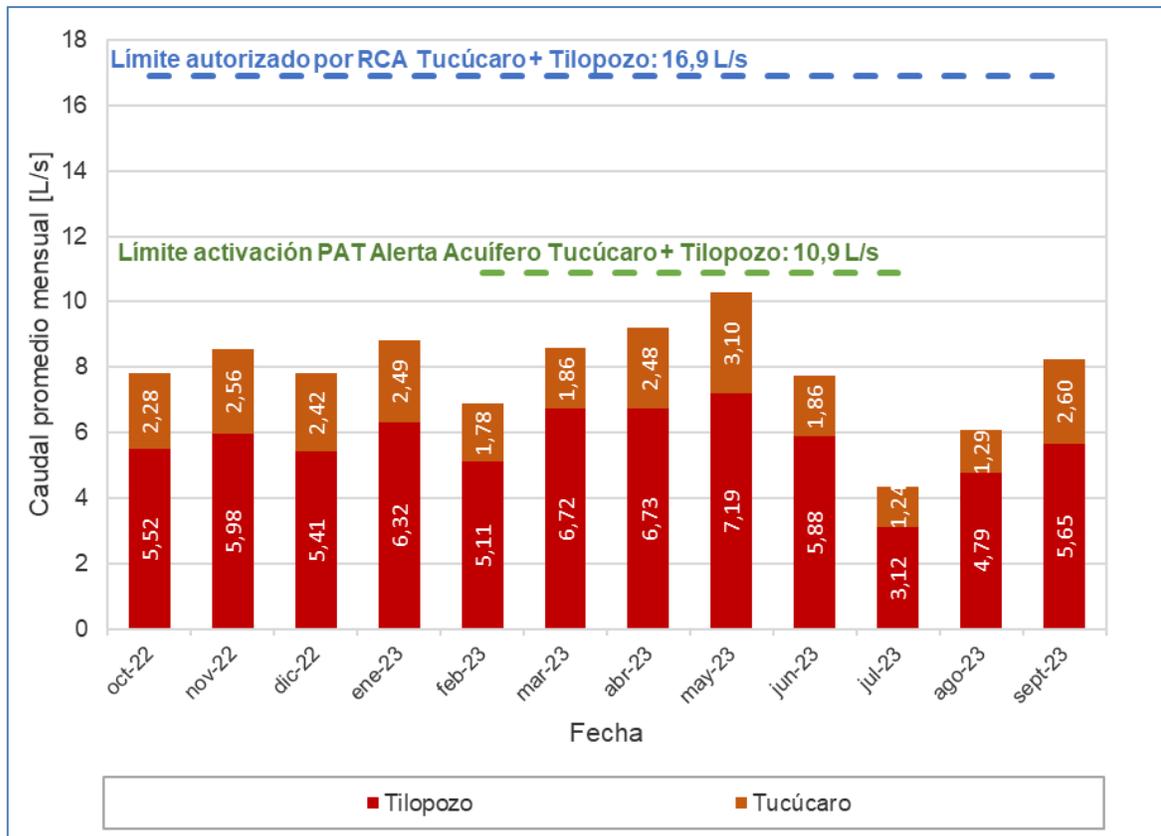
Figura 5-104 Caudales mensuales 2023 bombeados en pozo Peine



Fuente: Elaboración propia

La información sobre volúmenes y caudales de los pozos mencionados para el último trimestre del 2022 (que corresponde al primer trimestre del año operacional 2023) se encuentra disponible en el Anexo J.

Figura 5-105 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año operacional 2023



Fuente: Elaboración propia

5.10 Límites Comprometidos por Variable y Límites PAT

En la **Tabla 5-28** para cada parámetro monitoreado en el área de estudio, se presentan los niveles o límites comprometidos según la Resolución Exenta N°21/2016.

Tabla 5-28 Límites comprometidos por Variables Ambientales y Parámetros

Componente Ambiental	Impacto ambiental potencial	Monitoreo	Parámetros	Niveles o límites Comprometidos
FISICO Clima y Meteorología	No existe impacto asociado	Variables Meteorológicas	Precipitación diaria en [mm] Temperatura atmosférica en [°C] Evaporación en lámina libre en [mm] Presión atmosférica en [mbar]	No aplica
FISICO Hidrología		Superficie Cubierta por Lagunas	Superficie en [m ²] de sistemas lagunares	Mantener superficie sobre mínimo histórico
		Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Nivel en [m s.n.m.]	Mantener niveles dentro de los rangos de oscilación natural
		Aforo de Caudales superficiales	Caudal en [l/s]	Mantener los caudales dentro de su variación histórica
FÍSICO Hidrogeología	No existe impacto asociado	Evapotranspiración	Flujo de evaporación en [mm/día]	No aplica
		Niveles Freáticos en Salmuera	Profundidad Nivel en [m s.n.m.]	Descenso según modelo
		Niveles Agua dulce-salobre		Mantener niveles dentro de los rangos de oscilación natural
		Posición de la Interfase Salina	Conductividad Eléctrica [μS/cm] v/s Profundidad [m s.n.m.]	Mantener posición de la interfase salina
		Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Caudal de salmuera en [l/s] Caudal de agua industrial en [l/s]	Mantener caudales de extracción autorizados ambientalmente
FISICO Calidad del Agua	No existe impacto asociado	Calidad química del agua en agua superficial y subterránea	<ul style="list-style-type: none"> - Parámetros Físicos <i>in situ</i>: pH, C.E., T°, TDS y Oxígeno Disuelto. - Parámetros físico-químicos laboratorio: pH, C.E., TDS y Densidad. - Elementos mayoritarios disueltos: Cl⁻, SO₄⁼, HCO₃⁻, NO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, y K⁺. - Elementos mayoritarios totales: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, y K⁺. - Elementos minoritarios y trazas disueltos: B, Li, Sr. 	Mantener parámetros dentro de variabilidad natural

Tabla 5-28 Límites comprometidos por Variables Ambientales y Parámetros

Componente Ambiental	Impacto ambiental potencial	Monitoreo	Parámetros	Niveles o límites Comprometidos
			- Elementos minoritarios y trazas totales: Al, As, B, Fe, Li, Si, Sr.	

Fuente: modificado de Resolución Exenta 21/2016

A continuación, se presentan los umbrales de activación para el sector Alerta Norte sector Alerta Núcleo y sector Alerta Acuífero, en la Tabla 5-29, Tabla 5-30 y Tabla 5-31, respectivamente.

Tabla 5-29 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Norte

Nombre	Umbral Fase I (m s.n.m.) PSAD56*	Umbral Fase I (m s.n.m.) WGS84**	Umbral Fase II (m s.n.m.) PSAD56*	Umbral Fase II (m s.n.m.) WGS84**
L1-G4 Pozo	2.298,51	2.299,37	2.298,35	2.299,21
L1-5	2.298,51	2.299,37	2.298,35	2.299,21
L3-9	2.299,37	2.300,25	2.299,34	2.300,22
L4-12	2.298,72	2.299,63	2.298,69	2.299,60
L5-10	2.299,05	2.299,97	2.299,02	2.299,94

* Referencia topográfica según Informe N° 15 del PSAH de SQM, en Datum PSAD56

**Referencia topográfica según Informe N° 17 del PSAH de SQM, en Datum WGS84

Fuente: Elaboración propia, en base a Tabla 4-12 Anexo 3 Adenda 5 y referencias indicadas.

Tabla 5-30 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Núcleo

Pozo	Año Operacional	Periodo Operacional	Umbral Fase I (m s.n.m.)	Umbral Fase II (m s.n.m.)	Umbral Final (m s.n.m.)
PN-05B	2023	oct. 2022 - sep. 2023	2.298,36	2.298,27	2.297,74
	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.298,33	2.298,24	2.297,74
PN-08A	2023	oct. 2022 - sep. 2023	2.298,39	2.298,30	2.297,82
	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.298,36	2.298,27	2.297,82
PN-14B	2023	oct. 2022 - sep. 2023	2.297,91	2.297,82	2.297,27
	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.297,88	2.297,79	2.297,27
PN-16B	2023	oct. 2022 - sep. 2023	2.298,44	2.298,35	2.297,99
	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.298,42	2.298,33	2.297,99

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 4-3, Tabla 4-4, Tabla 4-5 y Tabla 4-6 de Anexo 3, Adenda 5.

Tabla 5-31 Umbrales de Activación Sector Alerta Acuífero

Pozo	Sistema lagunar	Umbral Fase única (m s.n.m.) (Datum WSG84)
BA-05	La Punta – La Brava	2.300,11
BA-07	La Punta – La Brava	2.299,97
BA-16	La Punta – La Brava	2.300,80
BA-28	Peine	2.300,59
BA-30	Peine	2.301,42

Fuente: Tabla 4-10, Anexo 3 de la Adenda 5.

6 DISCUSIONES

El desarrollo de la discusión se organiza con el objetivo del entendimiento del funcionamiento de la cuenca, analizar la evolución de los parámetros en el tiempo y verificar que las condiciones consideradas o comprometidas en la RCA (umbrales, variabilidad histórica) se comportan según lo esperado. Además, se presenta un análisis integral de las variables comprometidas en el PSAH, tomando en cuenta los resultados de los monitoreos del PSAH y resultados de informes previos y/o relacionados. Los subcapítulos siguientes se estructuran como sigue:

- 1) Análisis de la Variabilidad Temporal y/o Espacial de las Variables Ambientales
- 2) Análisis del Año Hidrológico
- 3) Análisis Integrado de la Información por Sectores
- 4) Compromisos y Reportabilidad con la Autoridad durante 2023

6.1 Análisis de la variabilidad temporal y/o espacial de las Variables Ambientales y Límites Considerados por Variable

6.1.1 Variables meteorológicas

En el presente subcapítulo, se presenta el análisis de la evolución del comportamiento de las variables meteorológicas de la estación EM-SCL y EM-Rockwood (Albemarle), las cuales reportan datos de precipitación, presión atmosférica, temperatura atmosférica (máxima y mínima) y evaporación de lámina libre.

Además, junto a los datos de las estaciones de Albemarle, se presentan los datos medidos por las estaciones de la DGA y de terceros en la Cuenca del Salar de Atacama. Entre las estaciones de ALB, DGA y terceros se cuenta con 13 estaciones presentadas en la Tabla 4-2, en conjunto con un resumen del periodo disponible de registro para cada estación, y su ubicación.

Los registros históricos a escala diaria y mensual de las estaciones meteorológicas de Albemarle, y los datos históricos a escala mensual de las estaciones meteorológicas de la DGA y terceros, se encuentran en el Anexo A.

En las variables meteorológicas no aplica límite comprometido, ver Tabla 5-28, por lo que no se hace mención de esto.

Tabla 6-1 Resumen registros por estación meteorológica

Nombre	Propietario	Sector	Precipitación		Evaporación agua		Evaporación salmuera		Temperatura		Presión Atmosférica	
			Periodo de registro		Periodo de registro		Periodo de registro		Periodo de registro		Periodo de registro	
			Fecha Inicio	Fecha Término	Fecha Inicio	Fecha Término	Fecha Inicio	Fecha Término	Fecha Inicio	Fecha Término	Fecha Inicio	Fecha Término
EM-SCL	ALBEMARLE	Núcleo	ene-02	abr-16	ene-02	dic-16	ene-11	dic-16	ene-09	abr-16	-	-
EM-Rockwood	ALBEMARLE	Núcleo	may-16	dic-23	abr-16	dic-23	abr-16	dic-23	abr-16	dic-23	may-16	dic-23
Camar ⁽³⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-70	oct-23	-	-	-	-	-	-	-	-
El Tatio ⁽³⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-70	dic-23	mar-84	may-96	-	-	may-12	may-14	-	-
Peine ⁽⁴⁾	DGA	Peine	ene-70	sep-20	nov-74	dic-18	-	-	ene-13	abr-20	-	-
Río Grande ⁽⁵⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-70	oct-23	ene-00	ene-00	-	-	-	-	-	-
San Pedro de Atacama ⁽⁵⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-59	dic-23	jul-63	mar-89	-	-	-	-	-	-
Socaire ⁽⁶⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-70	nov-17	-	-	-	-	-	-	-	-
Talabre ⁽³⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-70	oct-23	-	-	-	-	-	-	-	-
EM-Toconao experimental ⁽⁷⁾	DGA	Norte y Borde Este	ene-70	jun-18	nov-75	nov-09	-	-	-	-	-	-
EM-Chaxa ⁽¹⁾	SQM	Núcleo	ene-90	feb-24	ago-99	feb-24	-	-	ago-99	feb-24	sep-22	febe-24
EM-Salar	SQM	Núcleo	sep-99	dic-14	sep-99	dic-14	-	-	-	-	-	-
EM-KCI ⁽²⁾	SQM	Núcleo	sep-99	feb-24	sep-99	feb-24	-	-	sep-99	feb-24	sep-22	febe-24
EM-Tilopozo ⁽⁸⁾	MEL	La Punta – La Brava	feb-99	ago-21	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: para el análisis se usan datos rellenos ver detalle en Anexo A.

(1) Actualización 2023 tomado de SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232>. Consulta 05-01-2023.

(2) EM-KCL reemplazó EM-Salar en el año 2015. Actualización 2023 tomado de SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232>. Consulta 05-01-2023.

(3) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, en primera instancia actualizados con los datos recibidos el 23-11-2023 y carta asociada N°AM006T000149074, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939, ambas cartas se encuentran en el Anexo M.

(4) Estación meteorológica cuenta con datos hasta abril del 2020, según lo reportado en carta "Respuesta Solicitud Transparencia - AM006W0067963" de fecha 30 de agosto 2021, que se encuentra en Anexo M, y aparece como estación suspendida en sitio de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta 19-03-2024.

(5) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939 (Anexo M).

(6) Estaciones meteorológica sin datos desde 2017, según lo enviado por ley de transparencia, recibidos el 24-02-23, la carta N°AM006T0009653 se encuentra en el Anexo M, La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta realizada 19-03-24

(7) La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta realizada 19-03-24

(8) Estación meteorológica sin datos actualizados al año 2023, últimos datos conocidos, tomados del Informe: "Reporte Anual Monitoreo Ambiental Lixiviación de Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado, julio 2021".

Fuente: Elaboración propia

Se aclara que, para cumplir con los parámetros de medición comprometidos en la RCA N° 21/2016, la estación EM-Rockwood reemplaza a la estación EM-SCL ubicada en Planta Salar a partir de mayo 2016, de modo que el registro histórico de las variables meteorológicas de las estaciones de Albemarle considera la integración de los datos obtenidos por la EM-SCL desde enero 2009 hasta abril 2016 junto a los datos obtenidos por la EM-Rockwood desde mayo 2016 hasta diciembre 2023. Esta nueva estación se ubica a una distancia de 750 m al noreste de la estación que reemplaza.

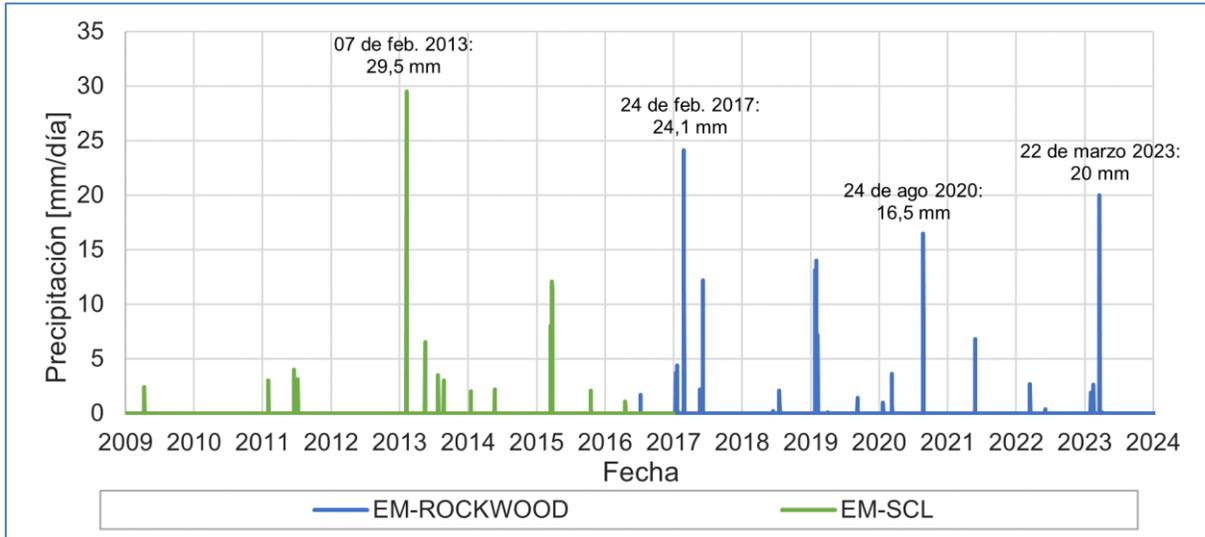
A continuación, se presentan cada una de las variables meteorológicas de las estaciones de propiedad de Albemarle y de terceros.

6.1.1.1 Precipitación

El registro histórico disponible de precipitaciones varía según la frecuencia, de manera que el registro de precipitación anual y mensual se inicia en 2002 mientras que el registro de precipitación diaria se inició en enero 2009.

La Figura 6-1 presenta el registro histórico de precipitación diaria desde enero 2009 hasta diciembre 2023. En él, se observa que las lluvias más intensas registradas en un mismo día alcanzaron 29,5 mm/día el día 7 de febrero 2013, seguidas por los 24,1 mm/días registradas el 24 de febrero 2017, luego con 20 mm/día el 22 de marzo 2023 y 16,5 mm/días registrados el 24 agosto 2020. Se reconoce un período de recurrencia de 2 años entre eventos de precipitaciones intensas que superan los 10 mm/día de agua caída como se observa en los años 2013, 2015, 2017 y 2019 (el patrón parece continuar con desfase en los años posteriores) las que ocurren principalmente en los meses de verano. No obstante, se han reconocido precipitaciones diarias sobre los 5 mm en meses del invierno estacional, como es el caso de los años 2017, 2020 y 2021. En el año 2023 se observa un aumento en las precipitaciones diarias en frecuencia y mm caídos, respecto al año 2022 (EM-Rockwood).

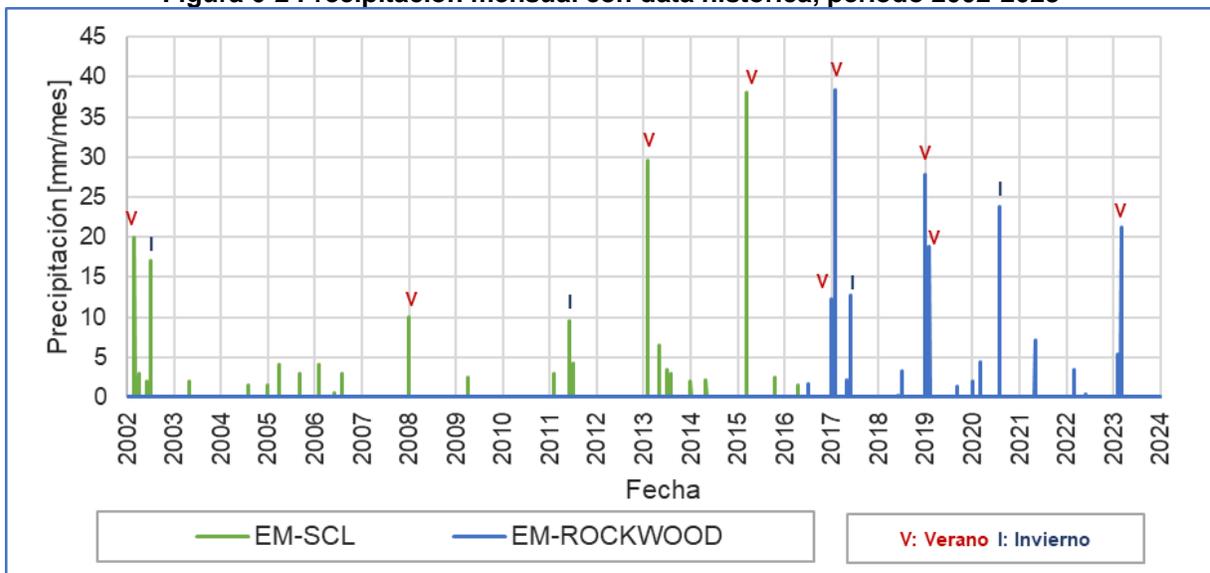
Figura 6-1 Precipitación diaria con data histórica, periodo 2009-2023



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-2 se presenta el registro mensual histórico de precipitaciones a partir del 2002, y se observa que las mayores precipitaciones se desarrollan en los meses estivales coincidiendo con el invierno altiplánico (representados con “v” en la gráfica). No obstante, existen algunas ocasiones en donde precipitaciones de relevancia tienen lugar en el invierno estacional como ocurre en julio 2002 (16,7 mm), junio/julio 2011 (13,7 mm), junio 2017 (12,8 mm) y agosto 2020 (23,8 mm).

Figura 6-2 Precipitación mensual con data histórica, periodo 2002-2023



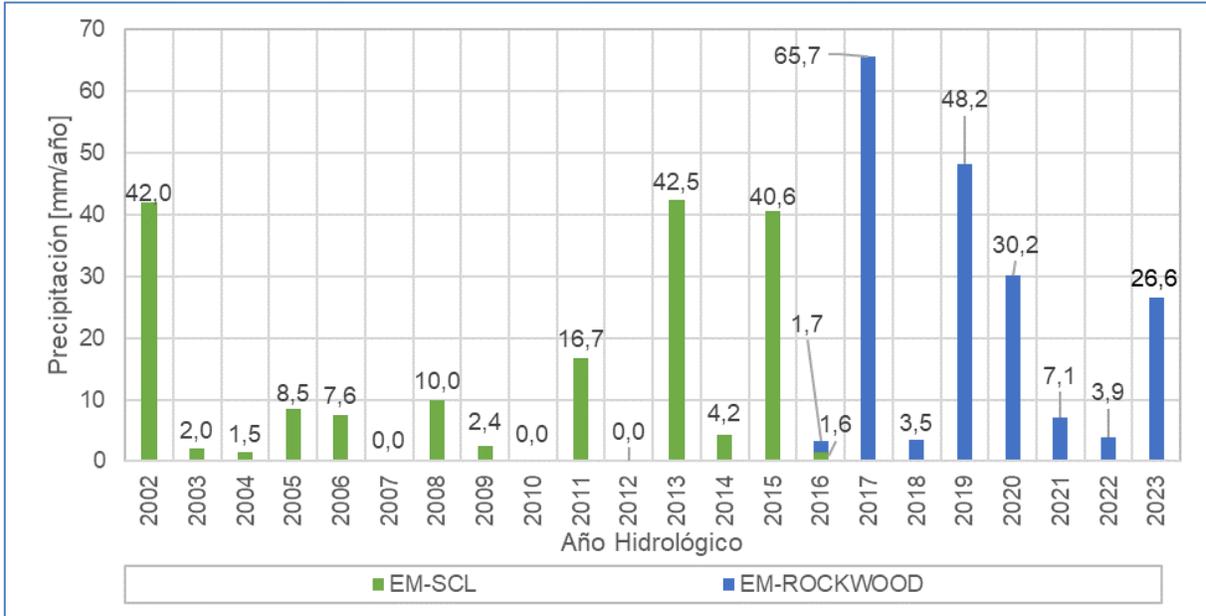
Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-3 presenta la precipitación total anualizada entre el año 2002 y 2023, en esta figura se observa que los años más lluviosos del registro, en orden decreciente, corresponden a los

años 2017, 2019 y 2013, alcanzando 65,7 mm/año; 48,2 m/año y 42,5 m/año, respectivamente. En el 2023 la precipitación incrementó considerablemente relativo a 2021 y 2022, años en los que las precipitaciones no superaron los 8 mm anuales, similar a las registradas en los años 2003, 2009, 2014 y 2018, sin embargo, al comparar los registros desde 2017 la tendencia sigue siendo al descenso.

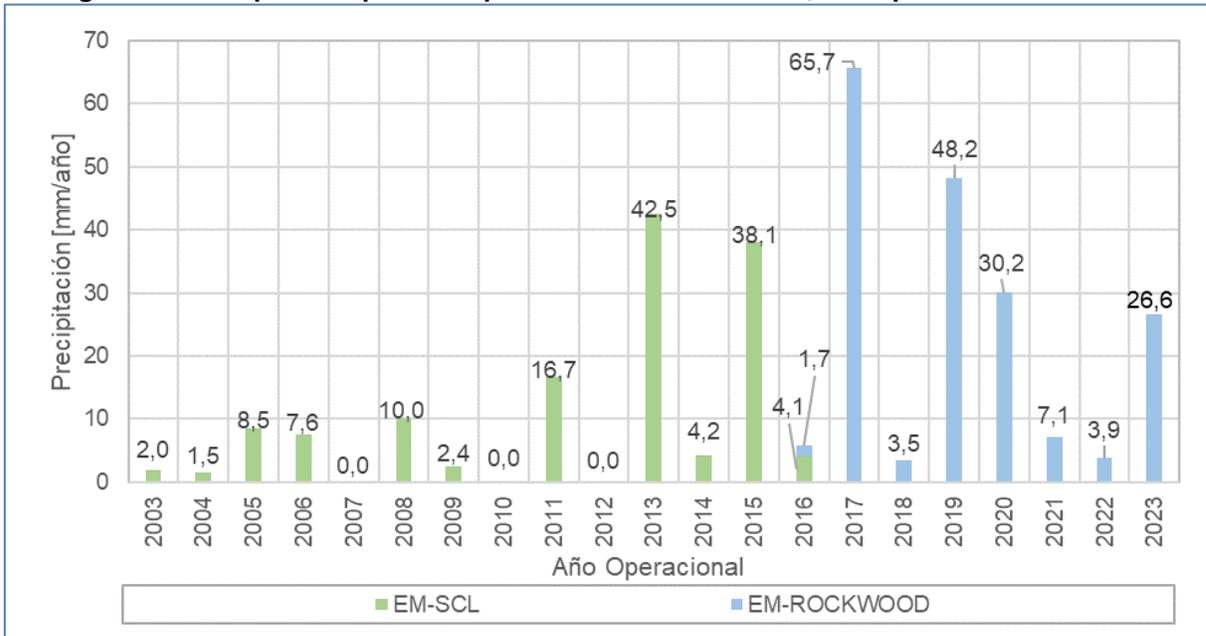
En las Figura 6-3 y Figura 6 4 se observa que la distribución de precipitaciones por año operacional e hidrológico (2003 a 2023), presentan las mismas precipitaciones para todo el periodo, con excepción de los años 2015 y 2016.

Figura 6-3 Precipitación año hidrológico EM-Rockwood, periodo 2002-2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-4 Precipitación por año operacional EM-Rockwood, año operacional 2003-2023



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-5 y Figura 6-6 se presentan las gráficas de precipitación anual (mm/año), y la distribución espacial de todas las estaciones meteorológicas consideradas para este informe. La estación El Tatio es la ubicada más al norte del SDA, esta presenta el registro más abundante de precipitaciones, alcanzando el 2001 un máximo de 421,7 mm/año y promediando 137,4 mm/año, a su vez esta es la estación con la cota más elevada, a 4.329 m

s.n.m. (metros sobre el nivel del mar). Las estaciones Talabre y Río Grande también tienen abundantes precipitaciones, promediando 73,7 mm/año y 72,2 mm/año respectivamente, ambas se ubican por sobre los 3.000 m s.n.m. El resto de las estaciones que se ubican por bajo los 3.000 m s.n.m. presentan promedios que varían entre 41,5 mm/año (EM-Camar) y 9 mm/año (EM-KCL). Lo anterior evidencia que la altitud es un factor de influencia importante en la distribución de las precipitaciones (ver Tabla 6-2).

La estación Socaire se ubica a una cota de 3.248 m s.n.m., y promedia 35,7 mm/año, siendo la única estación por sobre los 3.000 m s.n.m. con un promedio de precipitaciones relativamente bajo, esto probablemente es debido a su ubicación más hacia el sur del SDA respecto a las otras estaciones por sobre los 3.000 m s.n.m.

Por último, se menciona que no se considera la estación Tilopozo dado su escasez de datos.

Tabla 6-2 Cota, precipitación promedio y máxima anual de estaciones meteorológicas.

Estación	Cota	Promedio	Máximo
EM-ROCKWOOD	2300	18,9	85,9
EM-CAMAR	2721	41,5	221,0
EM-EL TATIO	4329	137,4	421,7
EM-PEINE	2390	19,4	79,0
EM-RIO GRANDE	3217	72,2	220,8
EM-SAN PEDRO DE ATACAMA	2445	29,9	113,4
EM-SOCAIRE	3248	35,7	155,9
EM-TALABRE	3255	73,7	194,0
EM-TOCONAO EXPERIMENTAL	2500	34,9	155,3
EM-CHAXA	2307	19,6	124,6
EM-KCL	2300	9,0	31,3
EM-TILOPOZO	2312,55	0,2	0,9

Elaboración Propia

La Tabla 6-3 presenta un resumen mensual y anual de la precipitación media durante los periodos de registro pluviométrico histórico de las estaciones meteorológicas que se encuentran en el entorno del Salar, tanto propias como de terceros, cuyos datos se presentan en el Anexo A. La información de las estaciones DGA se obtiene por ley de transparencia, y se actualiza según los datos recibidos el 23-11-2023 y carta asociada N°AM006T000149074, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939, ambas cartas se encuentran en el Anexo M, y los datos obtenidos se encuentran en el Anexo A. La vigencia de la estación se toma desde la plataforma de Estadística hidrológica en línea de la DGA el día 14 de febrero de 2024 (<https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>).

Para las estaciones meteorológicas de SQM la información se obtuvo desde el portal www.sqmsenlinea.com (04 de enero de 2024). Por último, la información de la estación

meteorológica Tilopozo se ha obtenido de los informes del Plan de Alerta Temprana para Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo N°17, N°19, N°20 y N°21 presentados por Minera Escondida.

A considerar que la precipitación media mensual y media anual de la Tabla 6-3 ha sido calculada con los registros que se tiene disponibles, dado que en varias estaciones de propiedad de DGA, SQM y MEL, no cuentan datos actualizados hasta diciembre de 2023.

Tabla 6-3 Precipitación media mensual [mm] en estaciones meteorológicas en torno al Salar de Atacama

Estación	Propietario	P. de registro	Precip. Media mensual [mm]												Precip. Media Anual [mm]
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
SCL/Rockwood	Albemarle	2002-2023	2,53	4,50	3,96	0,51	0,91	1,16	1,35	1,42	0,20	0,11	0,00	0,00	16,66
EM-Camar ⁽¹⁾	DGA	1979-2023	9,55	16,08	7,92	0,55	1,22	2,92	0,63	1,29	0,61	0,05	0,17	0,55	41,50
EM-EI Tatio ⁽¹⁾	DGA	1978-2022	40,63	45,57	31,03	1,01	3,28	3,17	1,00	1,68	1,61	0,37	1,02	7,04	137,37
EM-Peine ⁽²⁾	DGA	1974-2020	2,01	6,74	5,51	0,52	1,29	1,42	0,41	0,78	0,45	0,07	0,02	0,21	19,42
EM-Río Grande ⁽³⁾	DGA	1977-2022	20,75	30,05	13,36	0,70	1,03	3,07	0,76	0,96	0,54	0,08	0,18	1,69	73,08
EM-San Pedro de Atacama ⁽³⁾	DGA	1970-2017	5,02	17,90	4,33	0,00	0,84	1,65	0,16	0,29	0,70	0,37	0,65	0,11	29,11
EM-Socaire ⁽⁴⁾	DGA	1974-2017	10,35	13,06	7,56	1,07	2,42	2,43	0,84	0,79	0,78	0,23	0,27	0,71	39,64
EM-Talabre ⁽¹⁾	DGA	1995-2022	17,00	25,77	16,70	4,25	2,84	1,70	2,71	2,59	0,41	0,04	0,00	0,22	73,66
EM-Toconao experimental ⁽⁵⁾	DGA	1970-2018	7,33	14,81	6,34	0,46	1,89	2,24	0,27	0,39	0,29	0,09	0,06	0,80	34,94
EM-Chaxa ⁽⁶⁾	SQM	1990-2022	5,11	7,94	2,06	1,36	0,39	0,73	0,21	0,88	0,40	0,00	0,05	0,47	19,60
EM-Salar/KCL ⁽⁷⁾	SQM	2000-2022	2,35	1,47	1,75	0,39	0,24	1,10	0,36	0,69	0,02	0,09	0,29	0,33	9,02
EM-Tilopozo ⁽⁸⁾	MEL	2016-2020	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,10	0,06	0,01	0,00	0,00	0,21

Nota: para el análisis se usan datos rellenados ver detalle en Anexo A.

(1) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, en primera instancia actualizados con los datos recibidos el 23-11-2023 y carta asociada N°AM006T000149074, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939, ambas cartas se encuentran en el Anexo M.

(2) Estación meteorológica cuenta con datos hasta abril del 2020, según lo reportado en carta "Respuesta Solicitud Transparencia - AM006W0067963" de fecha 30 de agosto 2021, que se encuentra en Anexo M, y aparece como estación suspendida en sitio de DGA https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes_Conulta_19-03-2024.

(3) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, con los datos recibidos el 14-03-24, y carta asociada N°AM006T00014939 (Anexo M).

(4) Estaciones meteorológica sin datos desde 2017, según lo enviado por ley de transparencia, recibidos el 24-02-23, la carta N°AM006T0009653 se encuentra en el Anexo M, La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes_Conulta_19-03-24

(5) La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes_Conulta_19-03-24

(6) Actualización 2023 tomado de SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232>. Consulta 05-01-2023.

(7) EM-KCL reemplazó EM-Salar en el año 2015. Actualización 2023 tomado de SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232>. Consulta 05-01-2023.

03-24

(8) Estación meteorológica sin datos actualizados al año 2023, últimos datos conocidos, tomados del Informe: "Reporte Anual Monitoreo Ambiental Lixiviación de Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado, julio 2021".

Fuente: Elaboración propia

6.1.1.1.1 Análisis del año hidrológico

La disponibilidad de agua en la zona juega un rol importante en los sistemas de interés ambiental, lo que depende principalmente de la ocurrencia de precipitaciones que generan recarga de los sistemas subterráneos y aportes a los cauces superficiales. Para abordar esta temática, se presenta a continuación un análisis hidrológico actualizado hasta el año 2023 en relación con el registro histórico de precipitaciones, para caracterizar el tipo de año hidrológico en términos de la probabilidad de excedencia.

Para realizar el análisis hidrológico, se consideraron las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas ubicadas en el Salar de Atacama. En este estudio se han considerado 7 estaciones de la DGA y la estación de Albemarle, EM-SCL, reemplazada por EM-Rockwood en el año 2016 (no se considera la EM-Tilopozo por escasos de datos). En la Tabla 6-4 se presentan las series de precipitaciones anuales consideradas y además se muestran los registros de las estaciones Chaxa y KCL de SQM, el detalle se presenta en el Anexo A.

Tabla 6-4 Precipitaciones anuales (mm)

Año	Estación Meteorológica (Pp en mm)										
	Toconao Experimental (1)	Peine (1)	Río Grande (1)	San Pedro de Atacama (1)	Socaire (1)	Talabre (1)	El Tatio (1)	Camar (1)	Rockwood / SCL	Chaxa (2)	KCL (2)
1970	11,0	-	-	14,0	-	-	-	-	-	-	-
1971	39,6	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-
1972	60,6	-	-	81,0	-	-	-	-	-	-	-
1973	32,6	-	-	51,1	-	-	-	-	-	-	-
1974	0,0	0,0	-	2,5	0,0	-	-	-	-	-	-
1975	39,1	24,0	-	40,0	128,1	-	-	-	-	-	-
1976	44,2	14,0	-	39,0	45,8	-	-	-	-	-	-
1977	72,0	5,5	168,0	61,0	71,0	-	-	-	-	-	-
1978	9,5	39,0	35,9	18,0	43,5	-	91,1	-	-	-	-
1979	16,5	21,0	67,1	23,6	40,5	-	142,9	17,0	-	-	-
1980	38,0	21,5	31,6(3)	12,5	22,8	-	55,7	20,0	-	-	-
1981	100,8	11,5	113,4	23,5	29,5	-	126,1	96,0	-	-	-
1982	5,0	6,0	9,1	8,0	19,1	-	57,8	10,5	-	-	-
1983	56,5	40,5	73,4	23,0	62,0	-	152,0	74,0	-	-	-
1984	100,0	50,0	220,8	10,5	155,9	-	341,5	125,0	-	-	-
1985	28,5	27,2	95,9	35,0	48,0	-	259,5	35,0	-	-	-
1986	86,3	15,5	116,1	40,0(3)	46,6	-	187,0	60,5	-	-	-
1987	71,5	69,5	148,1	47,5	97,2	-	282,9	60,9	-	-	-
1988	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	-	75,7	3,1	-	-	-
1989	36,0	12,0	91,3	42,5(3)	40,0	-	156,2	40,5	-	-	-
1990	41,3	14,1	64,0	-	33,1	-	128,3	25,5	-	2,7	-

Tabla 6-4 Precipitaciones anuales (mm)

Año	Estación Meteorológica (Pp en mm)										
	Toconao Experimental (1)	Peine (1)	Río Grande (1)	San Pedro de Atacama (1)	Socaire (1)	Talabre (1)	El Tatio (1)	Camar (1)	Rockwood / SCL	Chaxa (2)	KCL (2)
1991	8,0	0,0	9,6	-	0,8	-	82,4	2,0	-	7,5	-
1992	2,0	11,0	7,5	-	16,5	-	45,0	8,1	-	6,2	-
1993	2,5	10,5	37,9	-	13,8	-	124,1	20,1	-	0,4	-
1994	6,6	1,5	42,4	-	10,0	-	116,6	12,4	-	0,5	-
1995	25,5	17,5	81,3	-	35,7	66,8	180,5	28,5	-	2,8	-
1996	5,0	11,5	20,2	-	24,5	48,0	20,5	16,0	-	9,6	-
1997	37,8	26,5	129,1	-	60,5	82,0	186,6	60,5	34,5	33,4	-
1998	3,5	9,0	30,1	-	14,0	9,0	79,9	2,0	5,5	5,3	-
1999	27,0	18,5	70,2	-	23,0	38,0	243,0	25,5	8,5	7,7	-
2000	19,5	5,5	112,7	-	70,0	112,5	244,7	37,9	9,4	24,7	3,4
2001	71,0	37,5	194,3	-	55,0	161,0	421,7	98,5	85,9	47,0	9,1
2002	84,2	79,0	100,9	-	34,0	99,0	71,5	58,8	42,0	28,2	20,8
2003	31,7	48,0	21,6	-	24,0	50,0	36,0	17,0	2,0	11,6	2,7
2004	3,0	1,5	42,8	-	13,5	41,5	6,8	5,0	1,5	4,0	0,7
2005	6,5	17,5	67,2	-	17,0	58,7	110,2	33,0	8,5	12,8	1,0
2006	0,0	4,0	4,5	-	14,2	28,7	0,0	13,4	7,6	5,8	6,6
2007	9,0	0,0	19,7	-	0,0	11,9	53,4	8,1	0,0	3,5	10,4
2008	28,6	0,0	35,6	-	4,8	40,0	123,1	5,2	10,0	1,3	0,0
2009	0,0	2,5	20,5	-	3,8	7,1	36,7	6,0	2,4	3,5	0,8
2010	1,9	2,0	16,9	0,0(3)	1,5	12,0	8,8	2,0	0,0	0,4	5,1
2011	41,0	28,4	70,6	7,2	102,9	125,8	207,0	43,9	16,7	11,7	5,8

Tabla 6-4 Precipitaciones anuales (mm)

Año	Estación Meteorológica (Pp en mm)										
	Toconao Experimental (1)	Peine (1)	Río Grande (1)	San Pedro de Atacama (1)	Socaire (1)	Talabre (1)	El Tatio (1)	Camara (1)	Rockwood / SCL	Chaxa (2)	KCL (2)
2012	84,4	38,0	220,7	113,4	121,2	194,0	352,7	90,4	0,0	39,5	5,0
2013	43,4	37,5	71,5	96,6	73,4	133,0	94,2	46,5	42,5	40,6	25,8
2014	2,2	3,5	55,6	12,8	1,0(3)	6,0	63,4	2,4	4,2	1,2	0,2
2015	83,3	58,5	88,4	36,9	126,1	186,0	142,6	89,2	40,6	34,4	23,3
2016	21,5	0,0	87,8	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	3,3	2,3	3,6
2017	155,3	46,0	182,1	37,3	0,0(3)	192,2	174,8	166,2	65,7	124,6	31,3
2018	18,6(3)	8,0	89,1(3)	10,4(3)	-	53,0	157,1	32,9	3,5	9,0	3,1
2019	-	5,5	166,6	-	-	177,0	147,9	221,0	48,2	77,2	30,3
2020	-	12,6(3)	63,8	-	-	4,2	143,6	45,0	30,2	40,7	16,2
2021	-	-	10,3	-	-	7,6(3)	149,6	13,0	7,1	4,0	3,6
2022	-	-	19,4	0(3)(4)	-	69,0(3)	112,8(3)	25,0(3)	3,9	30,2	0,2
2023	-	-	0(3)	14,5	-	122,0(3)	325,0(3)	41,2(3)	26,6	32,2	7,4
Promedio	34,9	19,4	73,1	29,1	39,6	73,7	137,4	41,5	18,9	19,6	9,0

Nota:

- Datos de estaciones públicos no disponibles.

(1) Datos actualizados según cartas DGA AM006T0014074 y AM006T0014939.

(2) Para el periodo 1999-2018 - datos de las estaciones meteorológicas de SQM presentados en el EIA de 2020 "Proyecto Actualización Plan de Alerta Temprana y Seguimiento Ambiental, Salar de Atacama". Para el periodo 2019-2022 - datos de precipitaciones de la página de SQM www.sqmsenlinea.com/salmuera

(3) Dato anual con información mensual incompleta.

(4) Dato corregido según solicitud de transparencia según cartas N°AM006T0015426.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6-4, existen estaciones con ausencia de datos de precipitaciones. Se solicitaron los datos por ley de transparencia, no obstante, los datos de las estaciones públicas de Toconao Experimental (datos hasta 2018), Peine (datos hasta 2020), San Pedro, Socaire (datos hasta 2019), Talabre y Camar, no cuentan con datos disponible para toda la data. En la Figura 6-5 y Figura 6-6, se grafican los registros históricos de precipitación para las estaciones de meteorológicas de ALB (Rockwood / SCL), DGA (Toconao Experimental, Peine, Río Grande, San Pedro de Atacama, Socaire, Talabre y El Tatio) y SQM (Chaxa y KCL).

Para caracterizar el comportamiento hidrológico de cada una de las estaciones, se ajustó a la estadística disponible de cada una de éstas con una función de probabilidad tipo Weibull, la cual se considera adecuada para representar probabilidades de excedencia de precipitaciones anuales. En la Tabla 6-5 se presentan los porcentajes de excedencia característicos para cada una de las series.

La Tabla 6-6 muestra la precipitación anual registrada durante el año 2023 en las estaciones meteorológicas de la zona. También se indica el porcentaje de probabilidad de excedencia (Pexc %) para cada una de las estaciones de acuerdo con la precipitación registrada para el año 2023 en las estaciones con las que se cuenta registro.

Tabla 6-5 Precipitación Anual histórica para diferentes probabilidades de excedencia

Probabilidad Excedencia	Estación Meteorológica (Pp en mm)										
	Toconao Experimental	Peine	Río Grande	San Pedro de Atacama	Socaire	Talabre	El Tatio	Camar	Rockwood / SCL	Chaxa	KCL
95%	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	2,1	2,4	2,0	0,0	0,4	0,1
85%	2,4	1,5	11,6	0,5	1,0	7,4	37,1	5,2	1,6	1,5	0,6
50%	28,5	12,6	67,1	23,0	27,0	53,0	125,1	25,5	8,5	8,4	5,1
10%	84,4	48,4	170,8	77,0	112,1	186,0	295,5	97,0	51,7	43,9	28,1
5%	100,4	65,1	210,1	103,3	127,6	193,1	348,8	153,8	77,8	89,1	31,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-6 Precipitación Anual Año 2023 (mm)

Probabilidad Excedencia									
	Río Grande	San Pedro de Atacama	Talabre	El Tatio	Camar	Rockwood / SCL	Chaxa	KCL	
Pp 2023 (mm)	0(1)	14,5	122(1)	325(1)	41,2(1)	26,6	32,2	7,4	
Pexc (%)	98%	56%	27%	9%	35%	32%	26%	36%	

(1) Dato anual con información mensual incompleta

(2) DGA se corrige según malos datos instantáneos y eran mensuales

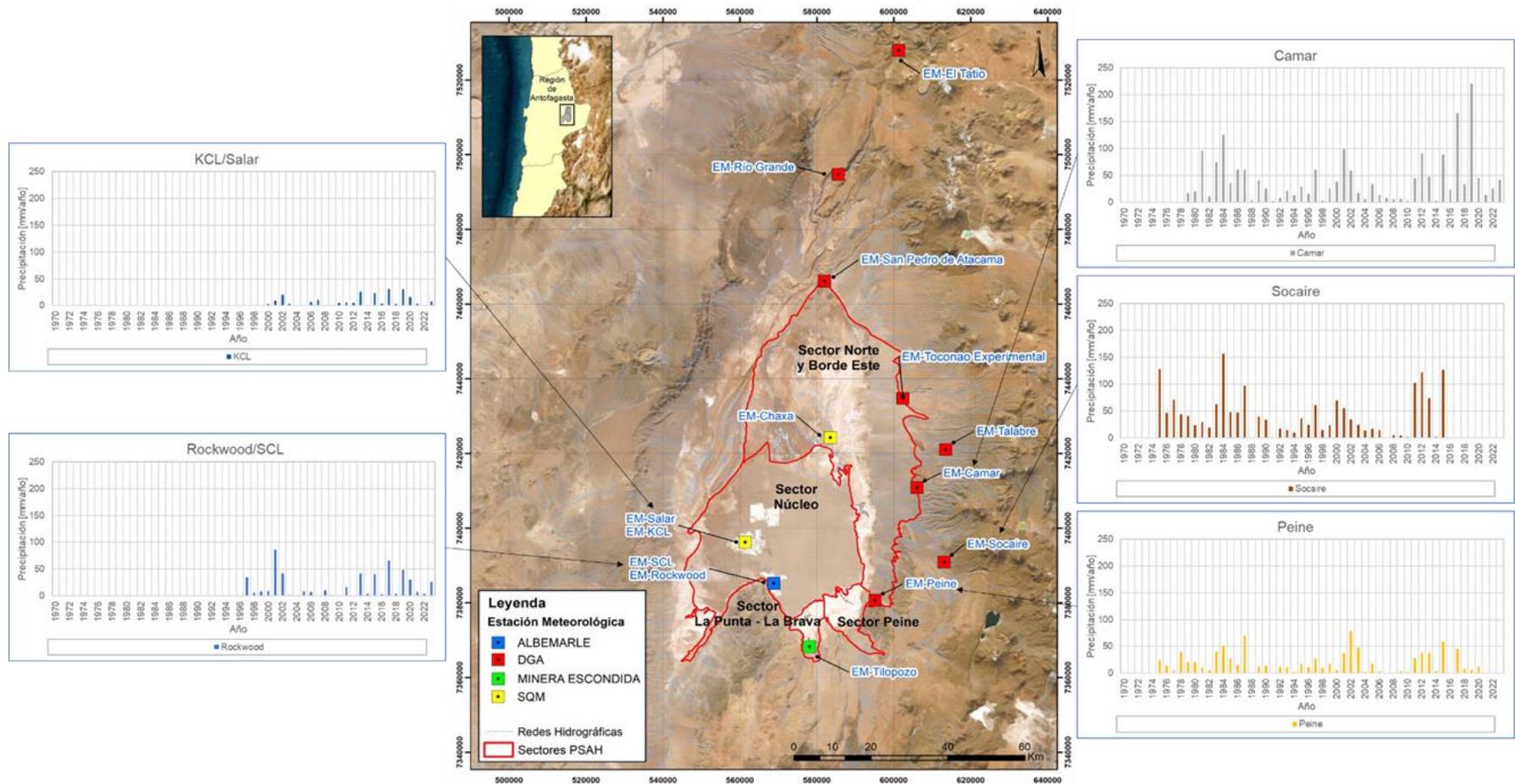
Fuente: Elaboración propia

Según el criterio para la clasificación de un año seco la probabilidad de excedencia puede ser considerado como >70% o >85% para Chile (Quevedo-Tejada et al 2015). Basado en este criterio, la precipitación registrada en las estaciones pluviométricas de la zona indica lo siguiente:

- Las estaciones meteorológicas Río Grande y San Pedro de Atacama muestran valores de probabilidad de excedencia muy diferentes de 98%, y de 56% respectivamente, datos que representan un porcentaje de excedencia característico de un año seco y húmedo respectivamente. La estación El Tatio también muestra valores porcentuales que representan un año húmedo.
- Las estaciones KCL y Río Grande muestran los valores de probabilidad de excedencia (PE) más altos, alcanzando 84% y 98% respectivamente, lo que demuestra una condición de año seco. Por otro lado, las estaciones Camar, Chaxa, Talabre y Rockwood presentan valores porcentuales de excedencia de 35%, 26%, 27% y 37%; respectivamente, indicando una condición de año normal a húmedo en estas estaciones (ver Tabla 6-6).

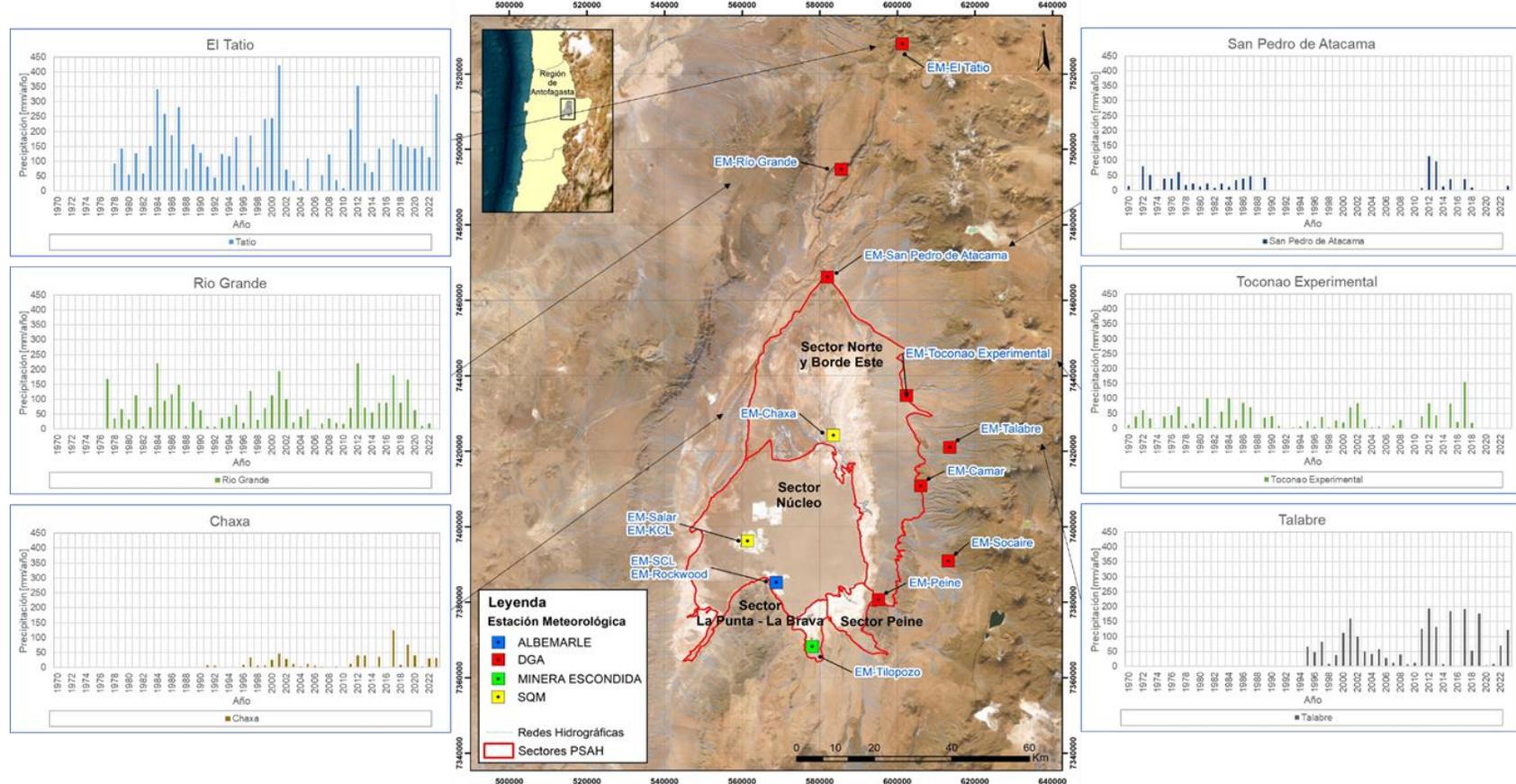
De lo expuesto con anterioridad, se observa gran variabilidad espacial en relación con las precipitaciones en la cuenca (Salar de Atacama), en la que se aprecian sectores con Pexc de años secos y otros con Pexc años húmedos.

Figura 6-5 Precipitaciones acumuladas anuales por estación periodo 1970-2023



Nota: EM - Tilopozo por la ausencia de datos
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-6 Precipitaciones acumuladas anuales por estación periodo 1970-2023



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.2 Temperatura

En la Figura 6-7 se presenta el registro de las temperaturas extremas diarias obtenidas desde las estaciones EM-SCL y EM-Rockwood a partir de 2009 y hasta 2023. En dicha figura se observan variaciones de frecuencia estacional en donde las temperaturas máximas se registran entre octubre y abril, coincidiendo principalmente con las estaciones de primavera y verano, y las temperaturas mínimas se registran entre los meses de mayo y septiembre, coincidiendo principalmente con las estaciones de otoño e invierno.

Para analizar más en detalle el comportamiento de las temperaturas, se han elaborado diagramas de caja para representar la variabilidad anual de las temperaturas mínimas y máximas (Figura 6-8 y Figura 6-9).

En relación con las temperaturas mínimas se observa un aumento en la mediana de las mediciones anuales entre los períodos de 2010 a 2012 y 2013 hasta abril de 2016 (para la estación SCL) y entre el período de 2016 a 2020 (para la estación Rockwood). Luego de este último aumento, se observan disminución en la mediana durante los años 2021 y 2022, para posteriormente volver a subir el 2023, sin alcanzar los valores registrados en 2019 y 2020.

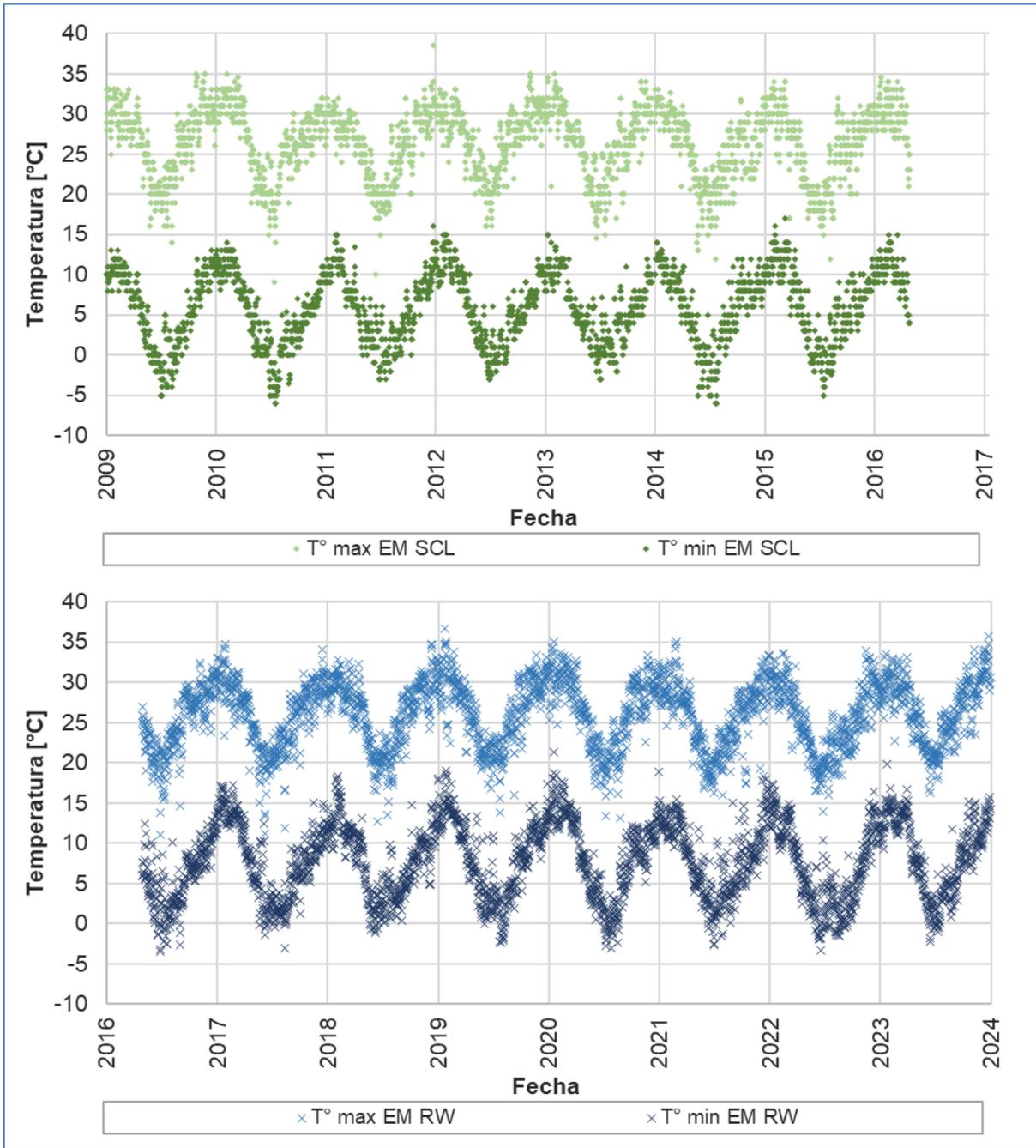
Las temperaturas mínimas para la estación SCL, oscilan en torno a los -6 y los 16°C para los meses fríos, por otro lado, para la estación Rockwood las temperaturas mínimas oscilan en torno a los -4 y los 18°C para los meses fríos, siendo relativamente similares los rangos en ambas estaciones.

Por otra parte, las temperaturas máximas muestran una oscilación de las medianas con aumentos y descensos en el período de 2009 a 2014, donde ocurre además un aumento entre 2014 y abril de 2016 (para la estación SCL). Además, se observa un aumento en las medianas entre el mes de mayo del 2016 y el año 2020, para luego descender 2°C el 2021, y posteriormente comenzar a incrementar la temperatura hasta el llegar a una mediana de 26,71°C el 2023, lo cual sigue por debajo de las medianas en el 2020 y 2021.

Continuando con el análisis de la temperatura máxima, las medianas y los rangos de variación se observan estables para el periodo de registro, donde la mayor variación de las medianas entre años se registra entre los años 2009 y 2015. Desde el año 2016 al 2020 estas se mantienen estables en torno a los 27°C, con una reducción a 25°C en el año 2021, tendencia que se está revirtiendo.

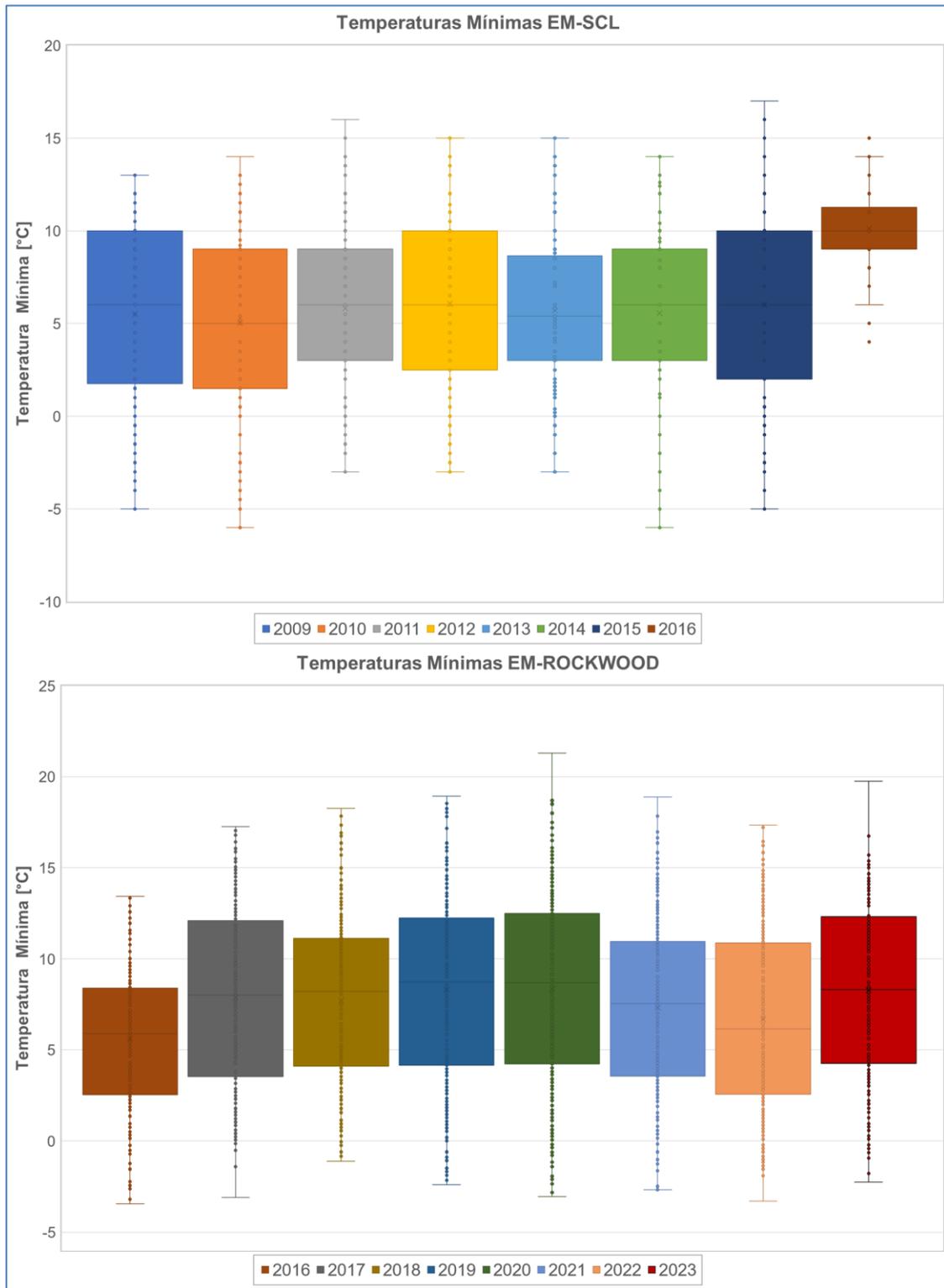
Las temperaturas máximas para la estación SCL, oscilan en torno a los 15 y los 35°C para los meses cálidos, y entre para los meses fríos; para la estación Rockwood las temperaturas mínimas también oscilan en torno a los 15 y los 35°C para los meses cálidos.

Figura 6-7 Temperaturas extremas diarias [°C], periodo 2009-2023



Fuente: Elaboración propia

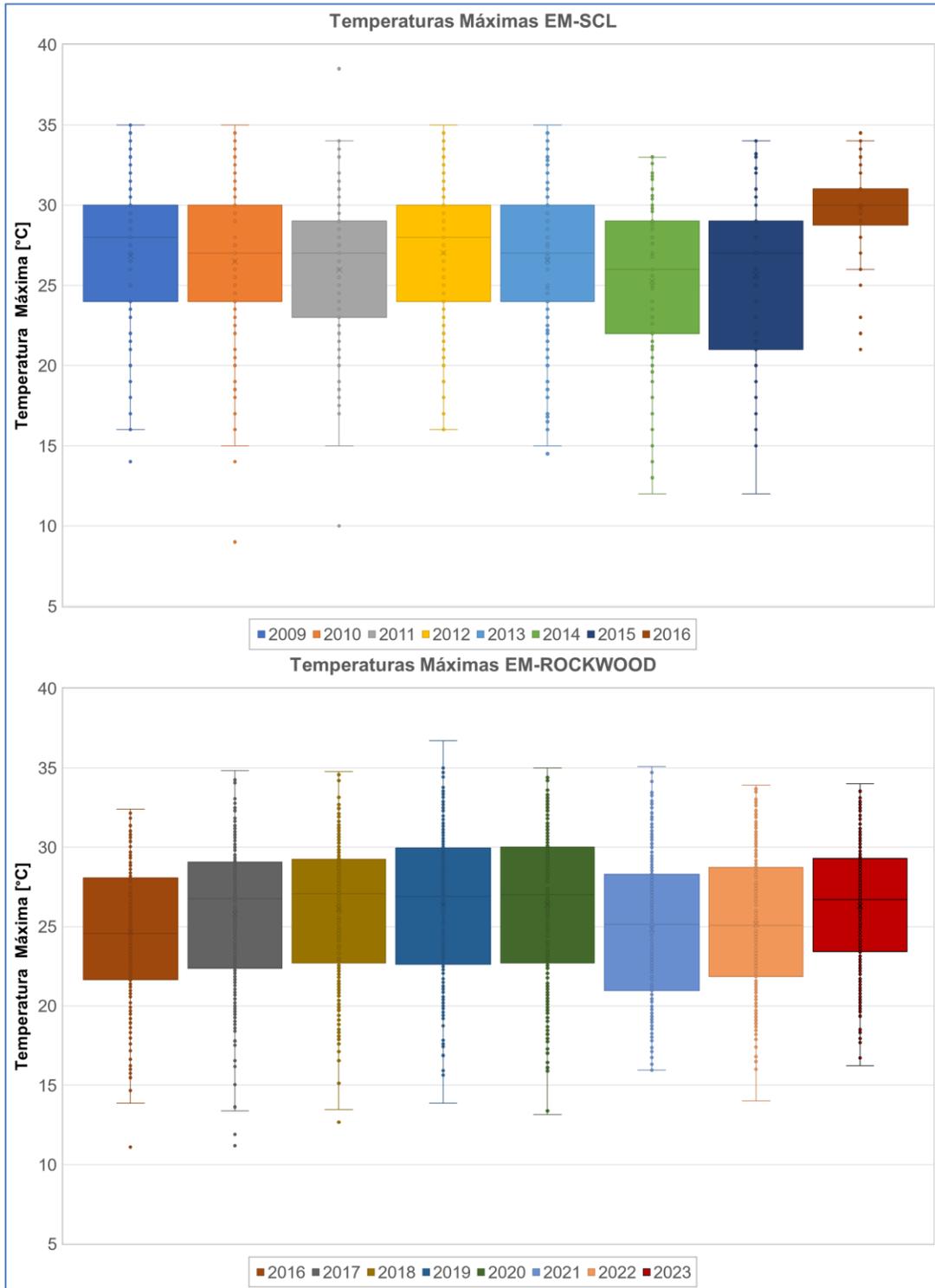
Figura 6-8 Distribución T° mínimas por año EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2023



Nota: Año 2016 incompleto, dado que hubo cambio de estación. En EM-SCL cuenta sólo con los registros hasta abril de 2016 y la EM-ROCKWOOD inicia con valores en abril 2016.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-9 Distribución T° máximas por año EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2023



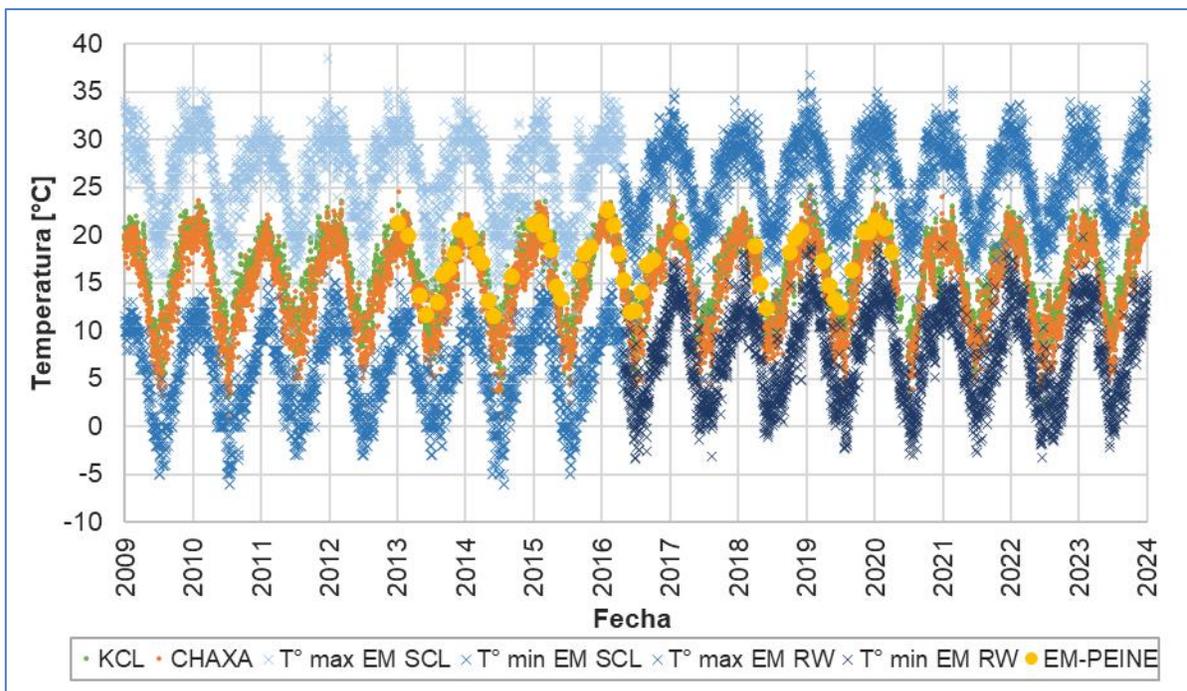
Nota: Año 2016 incompleto, dado que hubo cambio de estación. En EM-SCL cuenta sólo con los registros hasta abril de 2016 y la EM-ROCKWOOD inicia con valores en abril 2016.

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la Figura 6-10, se muestran en conjunto los registros de temperatura de terceros (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Peine) y se comparan con la estación de Albemarle (EM-SCL y EM-Rockwood), se observa que los registros varían en un rango relativamente similar entre las diferentes estaciones de monitoreo, y las de ALB. Aunque los valores reportados por Albemarle desde 2016, han presentado un aumento en las mínimas respecto al período previo, esto también coincide con el cambio de la estación EM-SCL a la estación EM-Rockwood en mayo de 2016.

Cabe destacar que se utilizan estas estaciones para graficar la temperatura, porque son las que tienen datos más actualizados, considerando de todas maneras que Peine sólo tiene datos hasta 2018 (los datos se presentan en el Anexo A).

Figura 6-10 Temperaturas extremas diarias Albemarle y medias de terceros [°C], periodo 2009-2023



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.3 Presión atmosférica

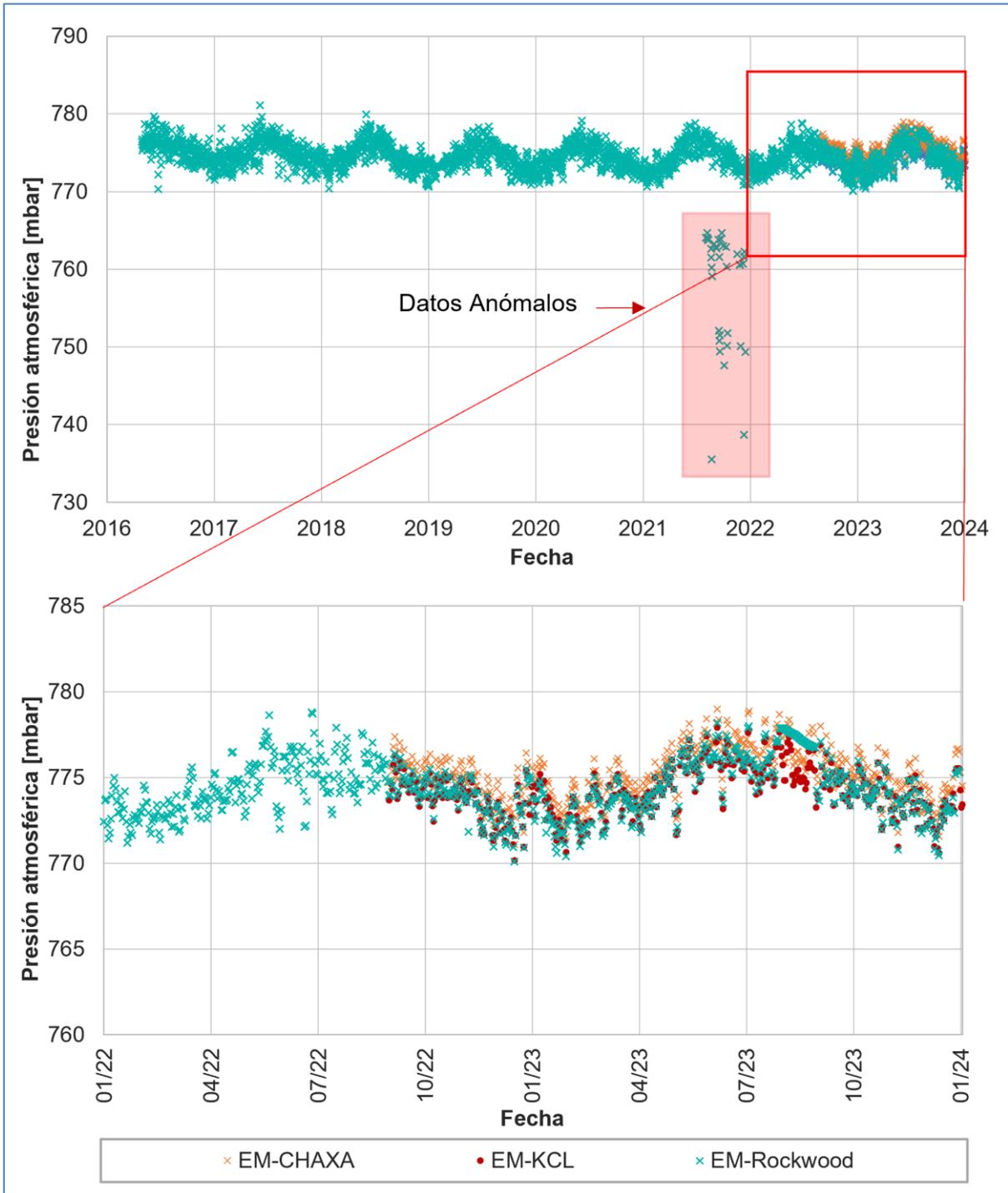
En la Figura 6-14 se presenta el registro histórico de presión atmosférica diaria, para el periodo 2016-2023. Estos datos comenzaron su registro desde el inicio de la estación EM-Rockwood que incorpora los instrumentos necesarios para la medición de esta variable.

Los registros de presión atmosférica muestran variaciones de origen estacional, registrándose los valores máximos en las estaciones húmedas (entre los meses de mayo y agosto) y los valores mínimos en las estaciones secas (entre los meses de octubre y marzo).

La tendencia general parece ser estable, manteniéndose acotados los valores de presión atmosférica entre los 770 y 780 mbar. Se observan datos inferiores a los 770 mbar en el segundo semestre de 2021, los que pueden estar relacionados a fallas en los instrumentos de la estación meteorológica. Estos datos se consideran anómalos debido a que se encuentran fuera del registro histórico y no responden a lo esperado según la situación geográfica que se encuentra la estación (indicados en rojo en la Figura 6 12). A pesar de esto, se presentan en la Figura 6 12 y la totalidad de los datos obtenidos para el periodo de reporte del presente informe, con el fin de cumplir con los compromisos ambientales adquiridos por el titular de proyecto. De manera complementaria se presentan en el Anexo A todos los valores considerados anómalos para el registro y consideraciones futuras.

Además, en la misma Figura (Figura 6-11) se observa que la EM-Chaxa y EM-KCL, tienen el mismo comportamiento que EM-Rockwood, con mayores valores en EM-Chaxa.

Figura 6-11 Presión atmosférica diaria, periodo 2016-2023



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.4 Evaporación

En la Figura 6-13 se presenta el registro de evaporación de agua libre diaria en el periodo 2009-2023. De la misma manera que en las variables anteriormente descritas, se reconocen

variaciones estacionales en donde los mayores registros de evaporación se presentan en las estaciones cálidas de primavera-verano, mientras que los menores registros se encuentran en las estaciones frías de otoño-invierno.

Además, se reconoce que los registros en ambas estaciones meteorológicas siguen una tendencia distinta, siendo mayores los registros de la EM-Rockwood en el orden de un 25% con respecto a la EM-SCL.

De esta manera, en el periodo 2009-2016 (EM-SCL) la evaporación de lámina libre oscila en torno a los 3,0 mm/día en los meses fríos y los 14,0 mm/día en los meses cálidos, mientras que en el periodo 2016-2023 (EM-Rockwood) la evaporación de lámina libre oscila en torno a los 4,0 mm/día en los meses fríos y los 20 mm/día en los meses cálidos. Estas diferencias podrían atribuirse a diferencias en la estandarización de las instalaciones y a las condiciones del estanque de evaporación en que se realizó el reemplazo de la estación meteorológica.

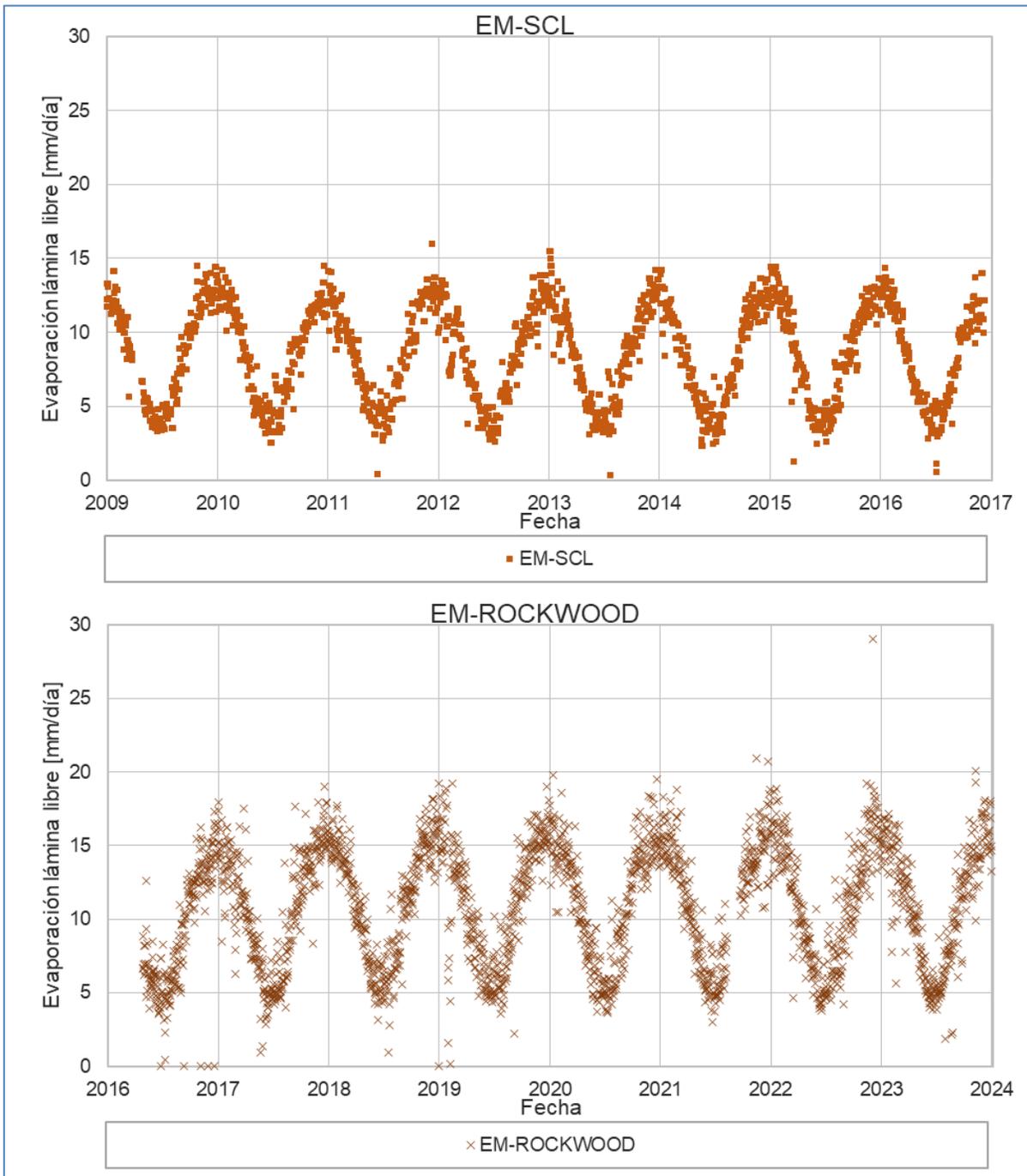
El máximo histórico de evaporación fue de 29,05 mm/día, registrado el 4 de diciembre del 2022 (EM-Rockwood), sin embargo, este se escapa considerablemente de la tendencia general, seguido a este registro se tienen 20,96 mm/día el 16 de noviembre del 2021 (EM-Rockwood).

Dentro de los últimos 4 años (2020-2023) los valores mínimos de evaporación fueron registrados en agosto del 2023, en específico el 1 de agosto de este año se registró una evaporación de 1,82 mm/día, sin embargo, estos valores también parecen salirse de la tendencia general.

Por otra parte, desde 2016 hasta 2021 era evidente una tendencia al alza de los máximos, la cual se tiende a estabilizar en el 2022 y 2023.

En la Figura 6-13 muestra la distribución anual de la evaporación en el período 2009-2023 para ambas estaciones meteorológicas (SCL/Rockwood). Como se mencionó anteriormente, se observa un contraste entre las mediciones realizadas en la estación SCL (2009 - abril 2016) y Rockwood (mayo 2016 – presente) con diferencias entre 2 a 3 mm entre sus medianas. No obstante, se observa un mayor rango de variación en la estación EM - Rockwood y sus medianas presentan una tendencia oscilante. pero relativamente estable, esto último coincide con lo observado en la Figura 6-12.

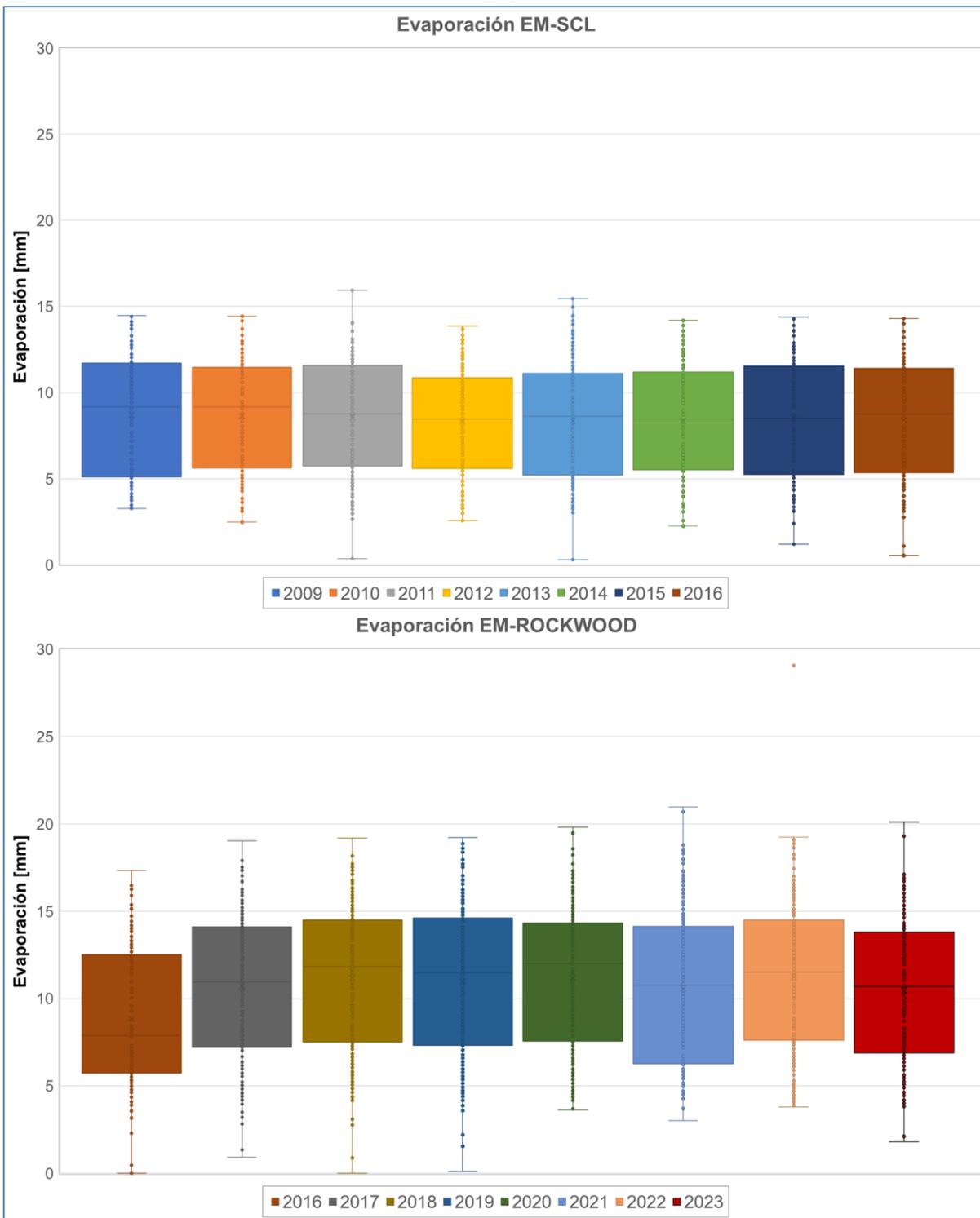
Figura 6-12 Evaporación diaria, periodo 2009-2023



Nota: En EM-SCL cuenta con registros hasta diciembre de 2016 y la EM-ROCKWOOD está incompleta inicia con valores desde abril 2016.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-13 Distribución Evaporación Lámina Libre EM-ROCKWOOD/SCL [mm], periodo 2009-2023

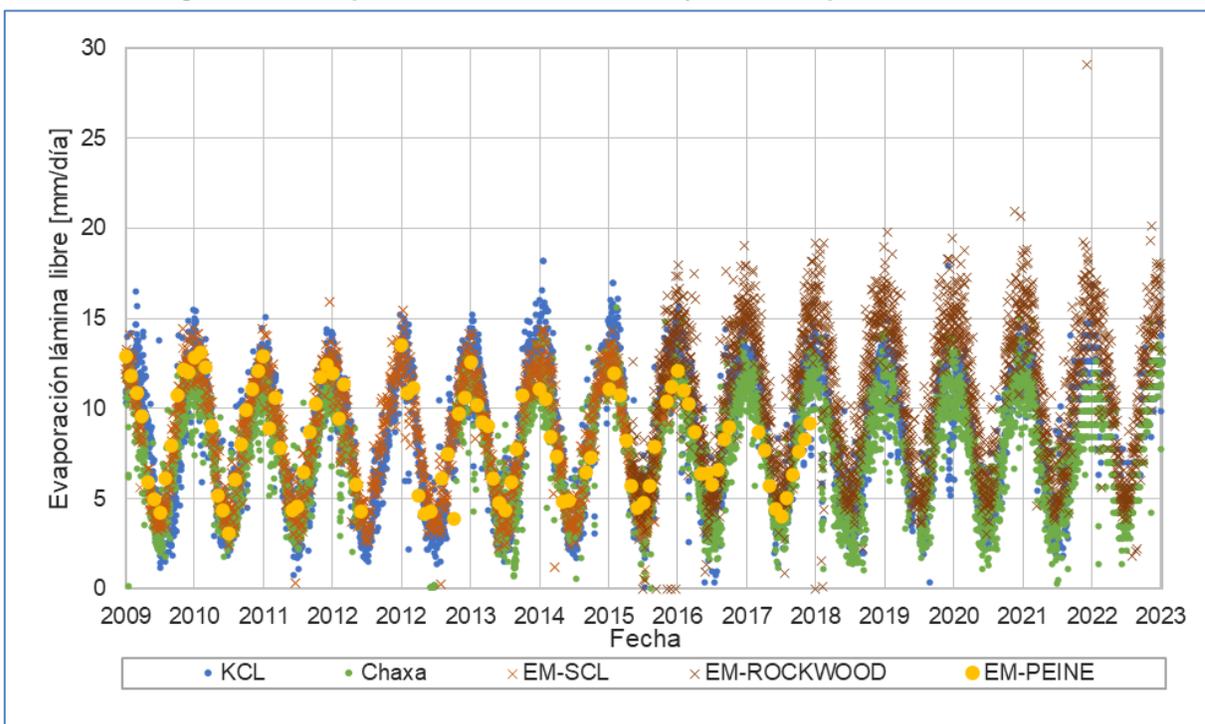


Nota: En EM-SCL cuenta con registros hasta diciembre de 2016 y la EM-ROCKWOOD está incompleta inicia con valores desde abril 2016.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-14, se muestran en conjunto los registros de evaporación²⁵ de terceros (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Peine) y se comparan con la estación de Albemarle (EM-SCL y EM-Rockwood), se observa una situación similar a lo que ocurre con el parámetro de temperatura mínima diaria, coincidente con el cambio de la estación Rockwood, por la estación SCL. Respecto a este parámetro, es importante tener presente que no son comparables los registros de la estación Rockwood, con las restantes, debido a que corresponden a valores extremos diarios (máximo y mínimo), mientras que los datos de Peine, KCL y Chaxa, similares entre sí, dan cuenta de valores promedio diario. Al respecto, se debe destacar que de todos modos, estos últimos varían dentro del rango definido por los valores extremos medidos en la estación Rockwood, lo que es indicador de la consistencia entre los diferentes registros. Los datos de evaporación de terceros se presentan en el Anexo-2.

Figura 6-14 Evaporación diaria Albemarle y terceros, periodo 2009-2023



Nota: Los datos de la estación Peine fueron transformados de mensuales a diarios dividiendo por la cantidad de días del mes en que se registró el dato.
 Fuente: Elaboración propia

No es posible realizar comparaciones directas entre los resultados de ambas estaciones (EM-SCL y EM-Rockwood) para estas variables (precipitación, temperatura, presión atmosférica y

²⁵ En EM-Chaxa y EM-KCL son evaporaciones diarias, por otra parte, la evaporación de EM-Peine son evaporaciones mensuales.

evaporación), debido a que no se cuenta con medidas para ambas estaciones en el periodo de funcionamiento conjunto.

Sin perjuicio de lo anterior, se ha observado el aumento paulatino de la evaporación en el período de funcionamiento de la estación Rockwood (2016 a 2022), el que queda evidenciado en la Figura 5-6 y Figura 6-13.

El aumento de la evaporación registrada en la estación Rockwood puede estar relacionada a diversos factores, como aumento de temperaturas, aumento de la velocidad del viento, cambios en la humedad relativa del aire u horas de sol en el sector de la estación.

6.1.2 Evapotranspiración

La presentación de los resultados de las mediciones de evaporación se realiza por sector, de acuerdo con la siguiente individualización Sector La Punta - La Brava, Sector Peine, Sector Norte y Borde Este, Sector Núcleo

A continuación, se presenta la evolución temporal de las tasas de evapotranspiración medidas durante las campañas de terreno realizadas por el titular en los puntos comprometidos en el PSAH. La ausencia de datos durante el año 2023 se justifica en el capítulo 5.2.

En las variable de evapotranspiración no aplica límite comprometido, ver en Tabla 5-28, por lo que no se hace mención de esto.

6.1.2.1 Sector La Punta-La Brava

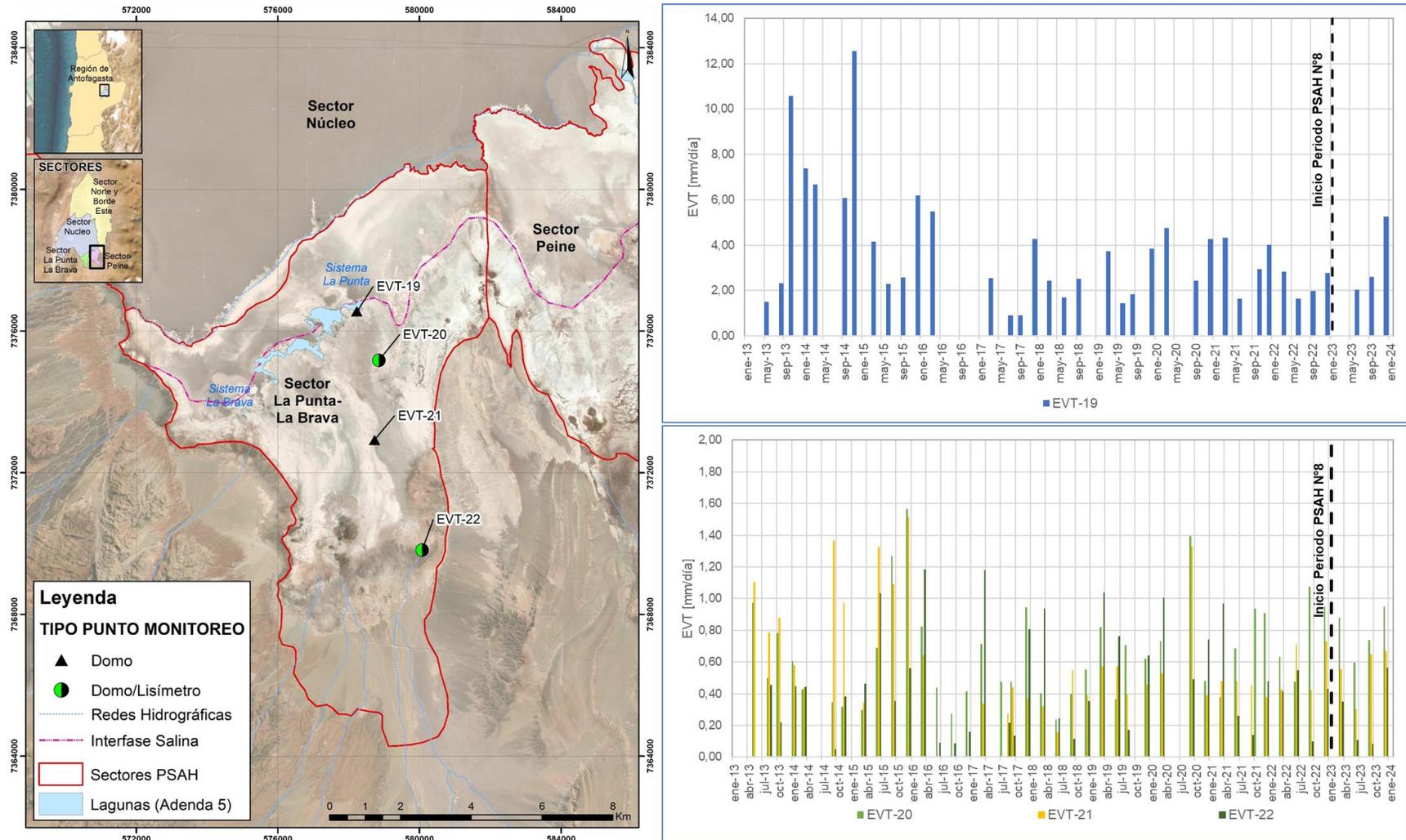
En la Figura 6-15 se muestra la evolución de la evapotranspiración en los puntos de medición de EVT comprometidos en el PSAH en el sector La Punta-La Brava (EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, detalles en sección 5.2.1).

El punto EVT-19, ubicado en el espejo de agua de la laguna La Punta, debido a la diferencia de escala con respecto al resto de las mediciones, se gráfica de manera independiente en el primer gráfico de la Figura 6-15, en su registro histórico presenta tasas de evapotranspiración determinadas entre 0,909 y 12,558 mm/día entre 2013 y 2023. Sin embargo, se denota una tendencia la estabilidad de estas tasas desde el año 2018 con valores que se mantienen entre 1,433 y 5,251 mm/día en este último periodo de mediciones, siendo el máximo del periodo 2018-2023 la EVT medida en el año 2023 (5,251 mm/día).

Por otra parte, en el segundo gráfico de la Figura 6-15 donde se muestran las estaciones EVT-20, EVT-21 y EVT-22, las tasas de evapotranspiración se mantienen dentro de un rango acotado entre los años 2017 a 2023 con un mínimo de 0,084 y un máximo de 1,394 mm/día. El registro de años anteriores (2013 a 2017) presenta mayores variaciones en el tiempo y entre estaciones. En general la estación con mayores tasas de evaporación es EVT-21, seguida por EVT-20 y finalmente EVT-22 con las menores tasas.

La serie de datos permite confirmar el comportamiento estacional mencionados en los informes PSAH anteriores, con máximos registrados principalmente en los meses de verano (diciembre a marzo) y mínimos en invierno (junio a septiembre).

Figura 6-15 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

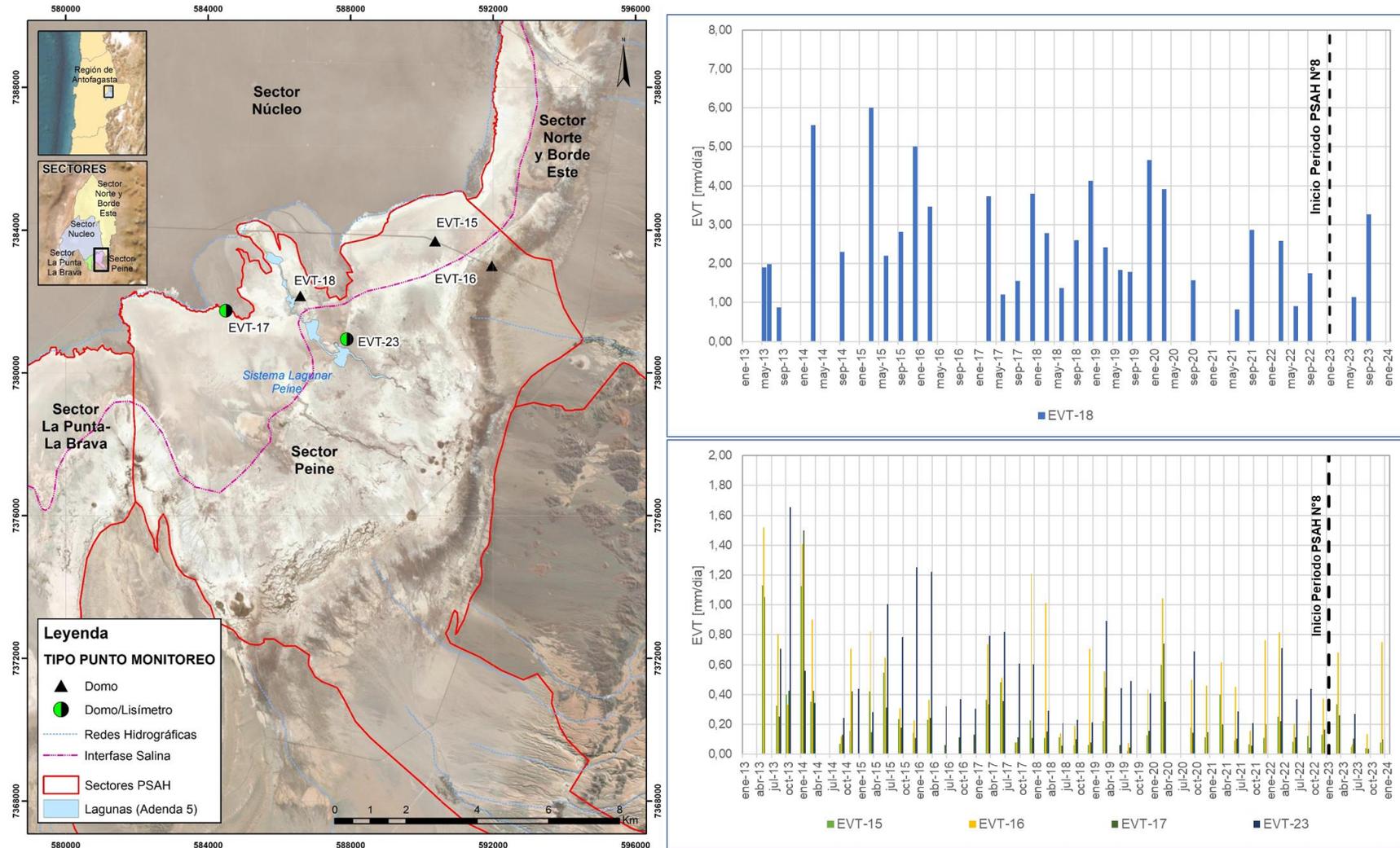
6.1.2.2 Sector Peine

En la Figura 6-16 se muestra la evolución de la evapotranspiración en los puntos de medición de EVT comprometidos en el sector Peine (EVT-15, EVT-16 y EVT-17, EVT-18 y EVT-23, mayor detalle sección 5.2.2). La estación EVT-18 se encuentra en el espejo de agua de la Laguna Interna (ver ubicación en Figura 6-16), debido a esto se gráfica de manera independiente (primer gráfico de la Figura 6-16) por la diferencia de escala entre las tasas de esta estación y el resto de los puntos.

La variabilidad histórica para los puntos EVT-15, EVT-16, EVT-17 y EVT-23 se mantiene en un rango de entre 0,021 mm/día (octubre de 2019) y 1,655 mm/día (octubre de 2013, EVT-23), EVT-15).

En general, se observa un comportamiento estacional de la evaporación, con menores tasas de evaporación durante el invierno estacional. Los valores obtenidos durante el año 2023 se mantienen dentro de lo observado históricamente para todos los puntos.

Figura 6-16 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

6.1.2.3 Sector Norte y Borde Este

La evolución histórica de la evapotranspiración de los 10 puntos de monitoreo de medición de evaporación (EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4, EVT-5, EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12) se presenta en la Figura 6-17 y la Figura 6-18.

En el primer gráfico de la Figura 6-17 se grafica la estación EVT-5 de manera separada, dado que se ubica en una superficie lagunar (ver Figura 6-17). y presenta una diferencia de escala de las mediciones con el resto de los puntos, dicho punto muestra una tasa promedio de 3,909 mm/día de evapotranspiración entre 2013 y 2023.

En el segundo gráfico de la Figura 6-17 se muestran las mediciones históricas de los puntos EVT-1, EVT-2, EVT-3 y EVT-4 donde se observa que se mantienen en un rango de entre 0,045 mm/día (julio de 2018, EVT-1) y 2,837 mm/día (diciembre de 2019, EVT-4). Se destaca las mediciones de EVT-4 por presentar los promedios más altos del registro histórico, en especial para los meses de marzo de 2019, diciembre de 2019 y diciembre de 2020.

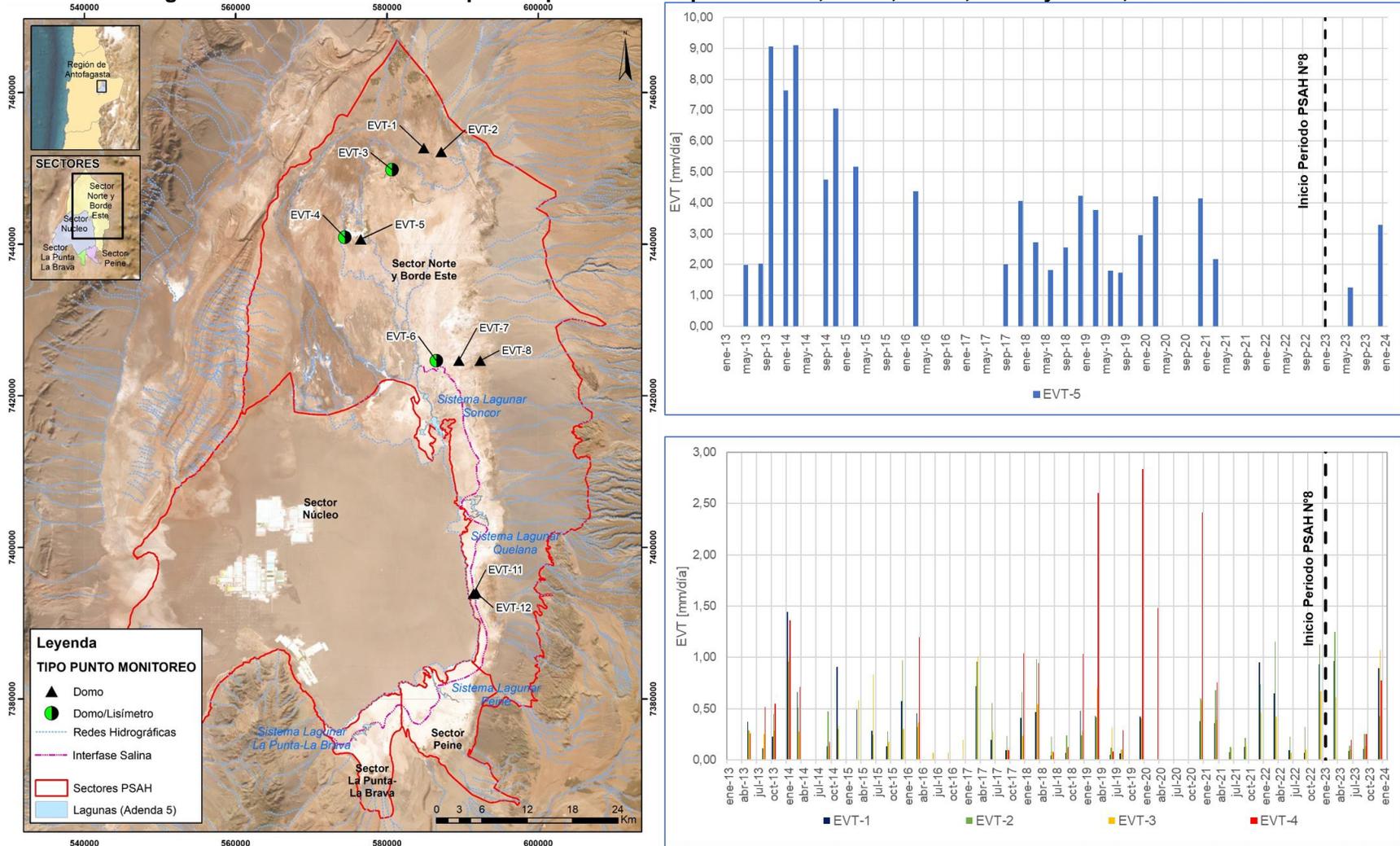
En el primer gráfico de la Figura 6-18 se grafican los puntos EVT-11 y EVT-12, la estación EVT-12 presenta un valor mínimo de 0,168 mm/día (registrado en junio de 2020) y un valor máximo de 2,430 mm/día (registrado en 01 septiembre de 2015). Para EVT-11 la mínima es de 0,041 mm/día (junio de 2018) y la máxima medición dentro del registro histórico es de 1,737 mm/día (agosto de 2013), por lo que la estación EVT-11 presenta valores de evapotranspiración mayores a EVT-12.

Los puntos EVT-6, EVT-7 y EVT-8 ubicados de la parte norte del Borde Este del salar (ver Figura 6-18), se grafican en el segundo gráfico de la Figura 6-18 y muestra valores de evapotranspiración entre los rangos de 1,745 mm/día y 0,121 mm/día. El punto EVT-7 presenta valores promedios más altos de este sector con un mínimo de 0,160 mm/día (junio de 2021) y un máximo de 1,745 mm/día (diciembre de 2015). Por otro lado, el punto EVT-6 muestra valores de evapotranspiración entre 0,186 mm/día (junio 2018) y 1,711 mm/día (marzo 2015). Finalmente, EVT-8 se mantiene entre los rangos de 0,100 mm/día (junio 2022) y 0,854 mm/día (junio 2015). Es importante destacar la falta de medición de estos puntos en el periodo de pandemia a lo largo del año 2020, dado el cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos.

En general, se observa una variación estacional de las tasas de evaporación con tasa de evaporación menores en los meses de invierno.

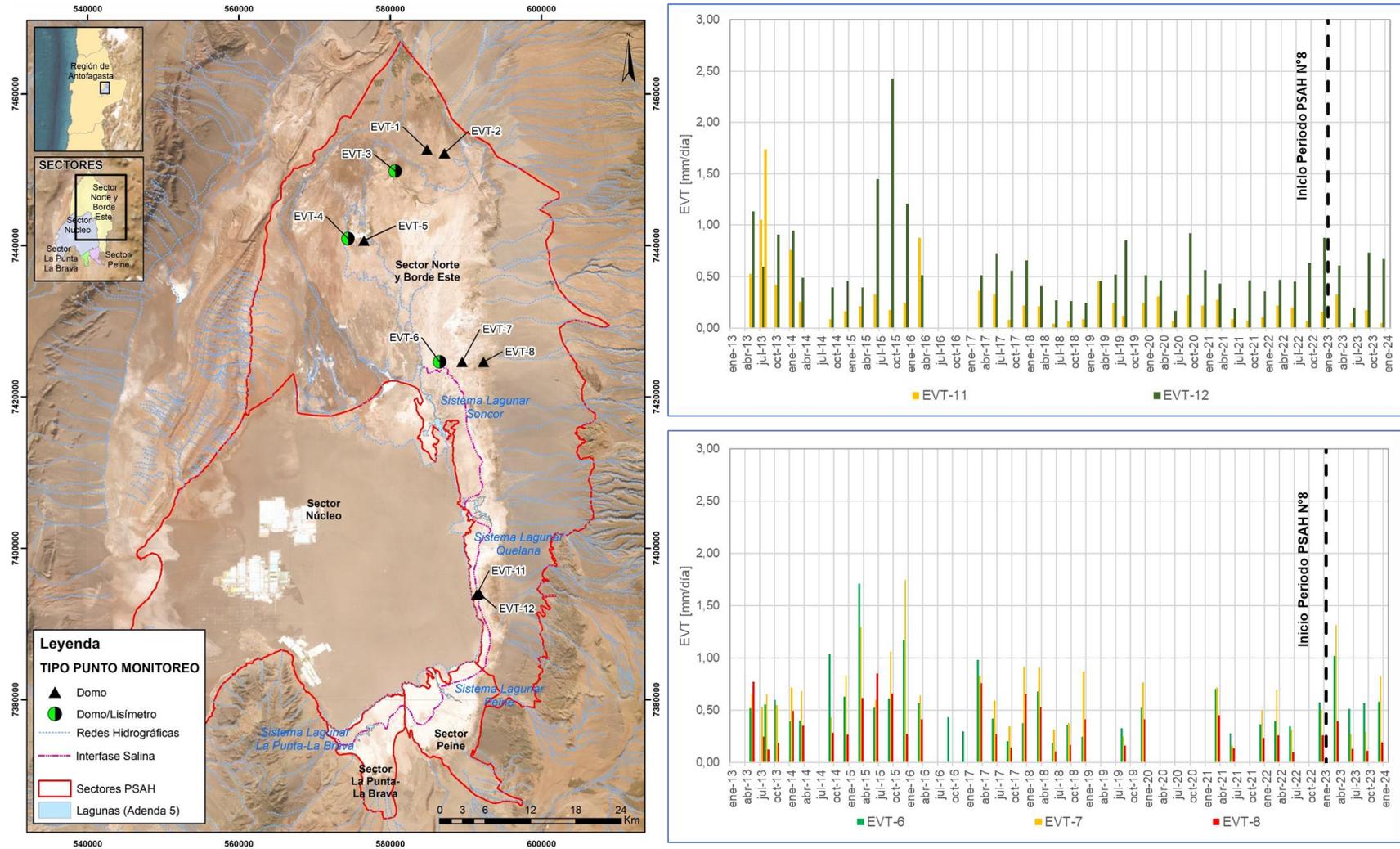
Los puntos EVT-4 y EVT-5 presentan ausencia de registros en algunos periodos, esto se debe fundamentalmente por la restricción de acceso a los puntos del sector por la Comunidad de Coyo.

Figura 6-17 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4 y EVT-5, Sector Norte



Nota: Falta de datos en EVT-5 fundamentalmente por restricción de acceso a los puntos del sector por la Comunidad de Coyo.
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-18 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, Borde Este

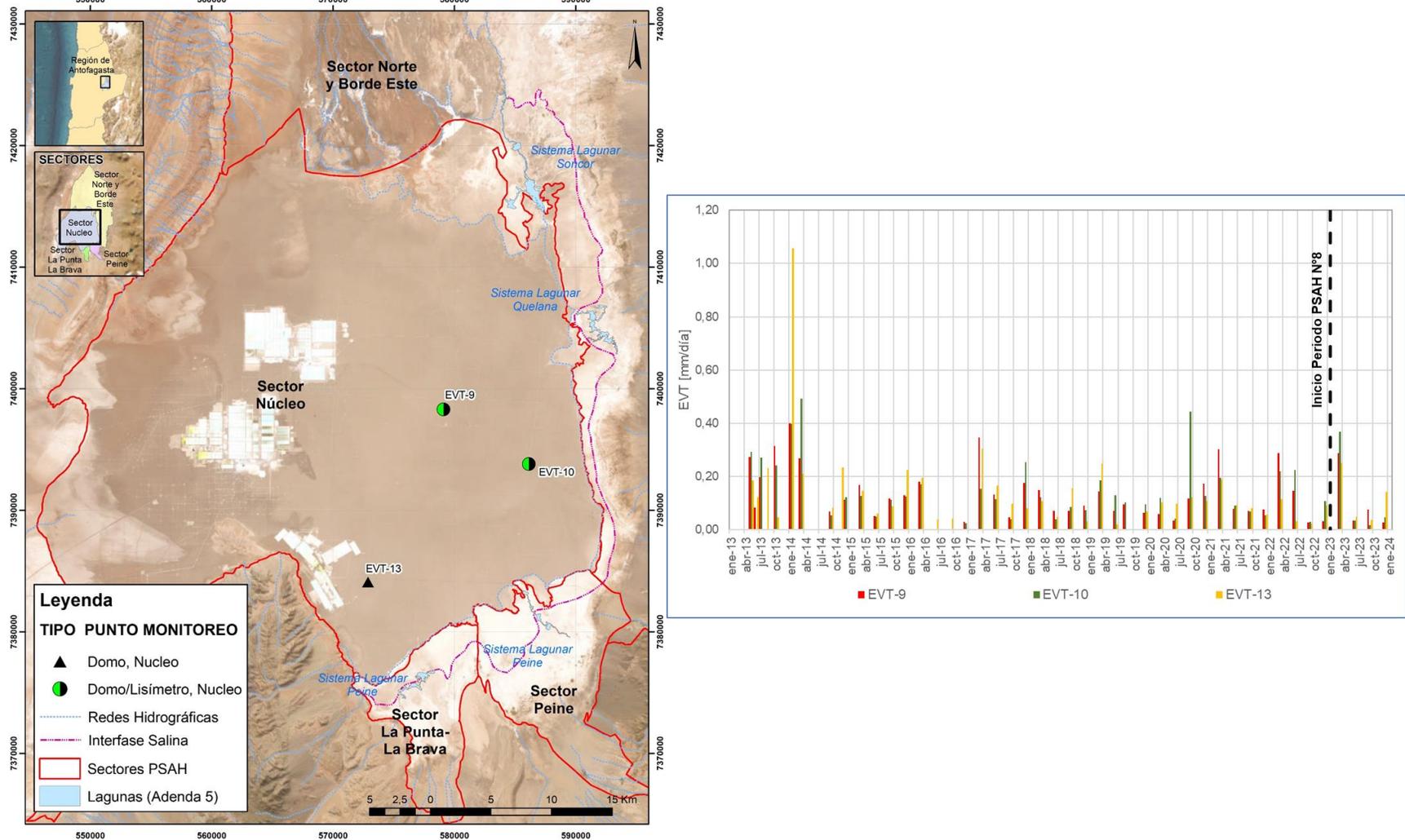


Fuente: Elaboración propia

6.1.2.4 Sector Núcleo

En la Figura 6-19 se muestra la evolución histórica de la evapotranspiración en los puntos de la red de monitoreo de evapotranspiración en el Núcleo del salar EVT-9, EVT-10 y EVT-13. Los puntos (EVT-9, EVT-10 y EVT-13, más detalle en la sección 5.2.4) presentan valores de evapotranspiración entre los rangos de 0,003 mm/día y 0,492 mm/día (sin considerar el valor anómalo 1,057 mm/día en enero 2014). Si bien los valores promedios de evapotranspiración en el sector núcleo son muy similares el punto de medición EVT-10 presenta valores promedios ligeramente más altos del sector con un mínimo de 0,016 mm/día (septiembre 2023) y un máximo de 0,492 mm/día (marzo 2014). Por otra parte, las menores tasas de evapotranspiración se registraron en el punto EVT-13 con un mínimo de 0.003 mm/día registrado en agosto de 2019.

Figura 6-19 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-9, EVT-10 y EVT-13, Sector Núcleo



Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Superficie Cubierta por Lagunas

A continuación, se presenta el análisis de los datos históricos de la superficie lagunar y su evolución en el tiempo. En la Tabla 6-7 y Tabla 6-8 presentan las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada para el año 2023, determinadas desde la imagen de alta resolución (Pléiades 1-A) y de media resolución (Landsat 8).

Junto con lo anterior, en las mismas tablas, se presenta el detalle por sistema lagunar y la comparación tanto con los 5 registros históricos disponibles de Alta Resolución de la Adenda 5 RWL (2006-2014), como con las superficies históricas (1973-1976) de Landsat 8 (Tabla 6-8).

Además, se presentan la subsección 6.1.3.5 los límites comprometidos para la superficie cubierta por lagunas.

Tabla 6-7 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y datos monitoreo 2023 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos disponibles en Adenda 5 RWL, 2015.

Sistema Lagunar	Superficies Mínimas disponibles en Adenda 5 (ha) Quickbird/Worldview/Geoeye ²		Superficies lagunares (ha) Monitoreo Fase Operación ¹			
			Invierno 2023		Verano 2023	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta La Brava	31,6 feb-14	316.000	45,5	455.090,30	26,6	266.615
Peine	48,9 mar-06	489.000	29,4	293.950,50	22	220.413
Aguas de Quelana	11,3 mar-07	113.000	18,9	189.179,80	5,9	59.003
Soncor	192,4 mar-07	1.924.000	177,3	1.772.903,30	112,9	1.128.774

(1) Superficies a partir de modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2023.

(2) Las fechas en que se obtuvieron los 5 registros históricos, corresponden a las que se presentaron en el "Apéndice B. Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de agua" del "Anexo 2 Plan de Manejo Biótico" y que se enmarcan en las áreas definidas por los polígonos indicados en la RCA N°21/2016 (Considerando N°7), "Polígonos en Tabla de 3-4 del Anexo 3" del PSAH del proyecto.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-8 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos monitoreo 2023 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos históricos (1973-1976) de la Adenda 5 RWL (2015).

Sistema Lagunar	Superficie Mínima Histórica (ha) Adenda 5 Landsat Histórico (1973-1976)		Superficies lagunares (ha) Monitoreo Fase Operación ¹			
			Invierno 2023		Verano 2023	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	19,2 mar-73	192.000	39,4	393.827,2	28,8	287.706,7
Peine	25,4 Nov-75	254.000	62,2	621.914,9	26,9	268.952,2
Aguas de Quelana	0,2 (nov 1975, feb - mar 1976)	2.000	28,8	288.145,1	13,0	129.567,5
Soncor	143,3 Feb-76	1.433.000	219,7	2.196.775,7	119,1	1.191.265,3

(1) Superficies a partir de modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2023.

(2): Las fechas en que se obtuvieron los registros históricos, corresponden a las que se presentaron en el "Apéndice B. Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de agua" del "Anexo 2 Plan de Manejo Biótico" y que se enmarcan en las áreas definidas por los polígonos indicados en la RCA N°21/2016 (Considerando N°7), "Polígonos en Tabla de 3-4 del Anexo 3" del PSAH del proyecto.

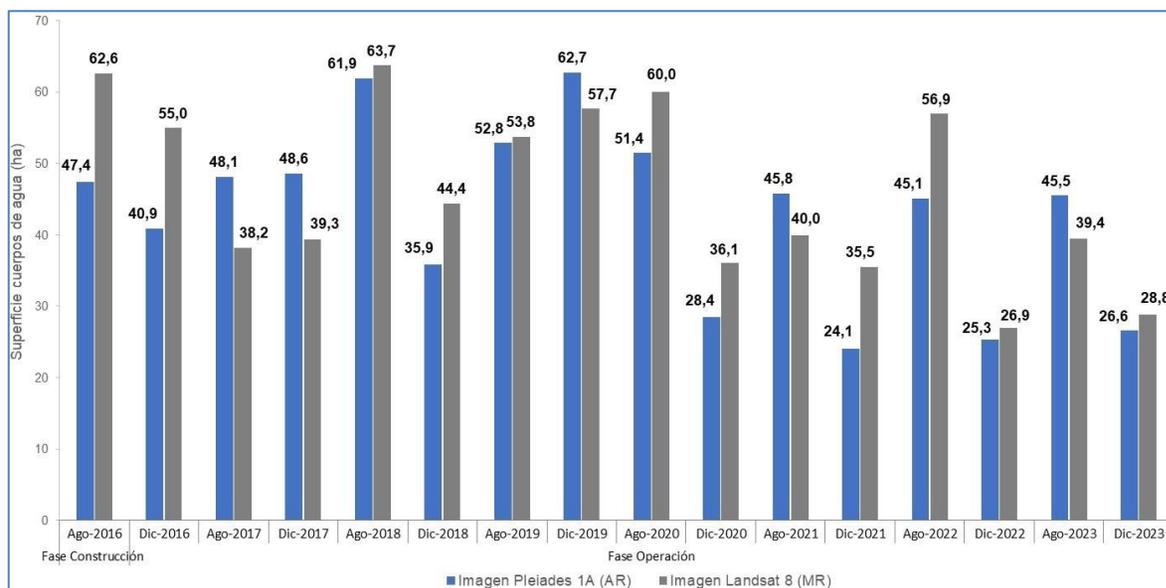
Fuente: Elaboración Propia

6.1.3.1 La Punta - La Brava

La Figura 6-20 muestra los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas durante el seguimiento ambiental del proyecto, entre 2016 a 2023, desde que se aprobó la RCA N° 21/2016 hasta la última campaña 2023.

La correlación entre las superficies desde 2016 a 2023 en el sector La Punta – La Brava, calculadas desde de alta resolución (Pléiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,763²⁶ lo que indica una relación positiva moderada entre variables ($r^2 = 58,2\%$); mientras que el valor p es de 0,0004 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pléiades y Landsat. Para mayor detalle ver Anexo C de este informe.

Figura 6-20 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava.



Dónde; MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); AR: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

Las Figura 6-21 a la Figura 6-24, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo (se hace la distinción entre invierno y verano), y desde 2016 a la fecha (mayor detalle en Anexo C).

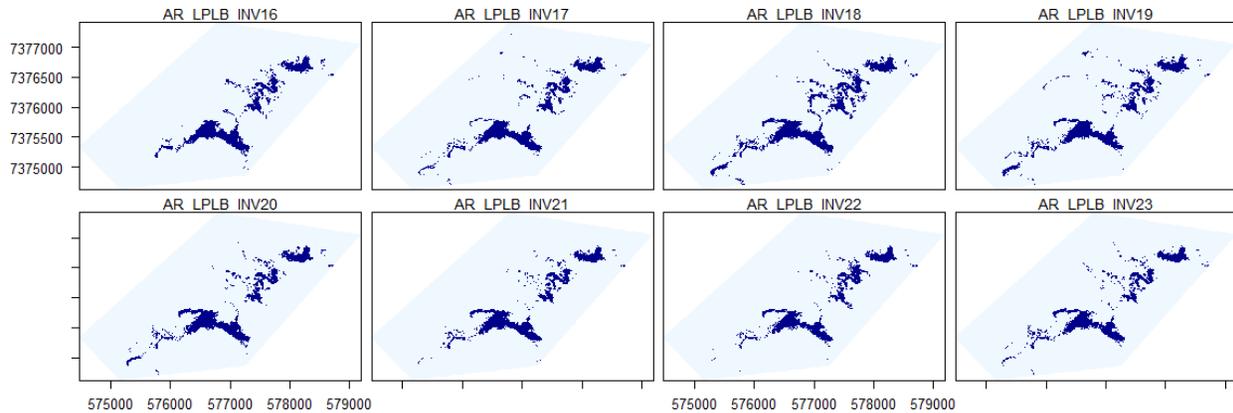
Para el sector de La Punta - La Brava, la comparación de la superficie calculada en este sistema revela patrones cíclicos. En los registros de invierno entre 2016 e invierno de 2023,

²⁶ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

se evidencia una variación, pero dentro de cierta estabilidad hasta 2018, seguido de una disminución marcada en el año 2020. Aunque se observa una ligera recuperación en invierno de 2023, se mantiene dentro del rango de los últimos tres inviernos.

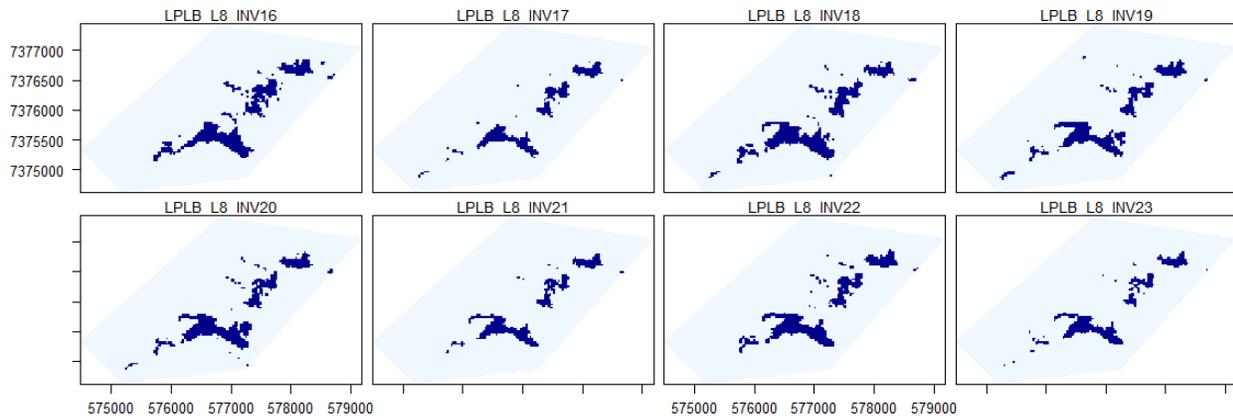
Entre los veranos de 2016 y 2023, se observa una variación estacional al descenso, con registros desde el verano de 2020 hasta la fecha mostrando coberturas menores en comparación con los veranos de 2016 a 2019. Sin embargo, se destaca un leve aumento en las coberturas de cuerpos de agua en el verano de 2023 con respecto a 2021 y 2022. El seguimiento de verano de 2019 exhibe la máxima cobertura lagunar registrada hasta la fecha para esa temporada. La diferencia marcada entre 2019 y 2021 se atribuye al aumento de precipitaciones, expandiendo los límites naturales de lagunas y canales. En resumen, la tendencia general a lo largo del tiempo muestra un patrón de crecimiento inicial, seguido de una disminución y, finalmente, una estabilización en los últimos años.

Figura 6-21 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-22 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-23 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A.

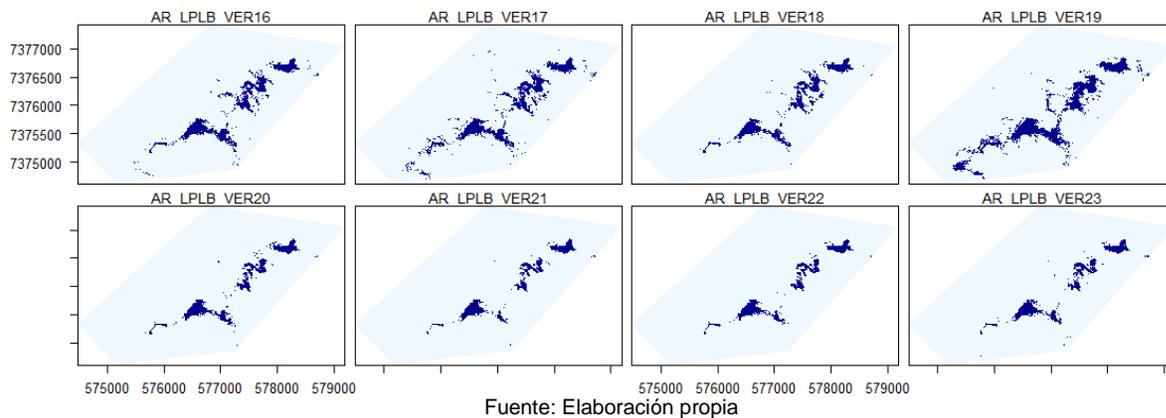
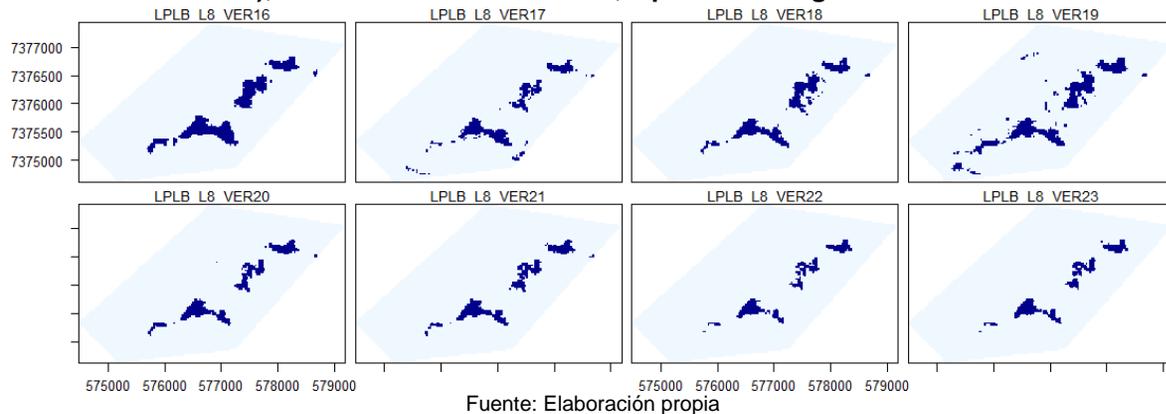


Figura 6-24 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.

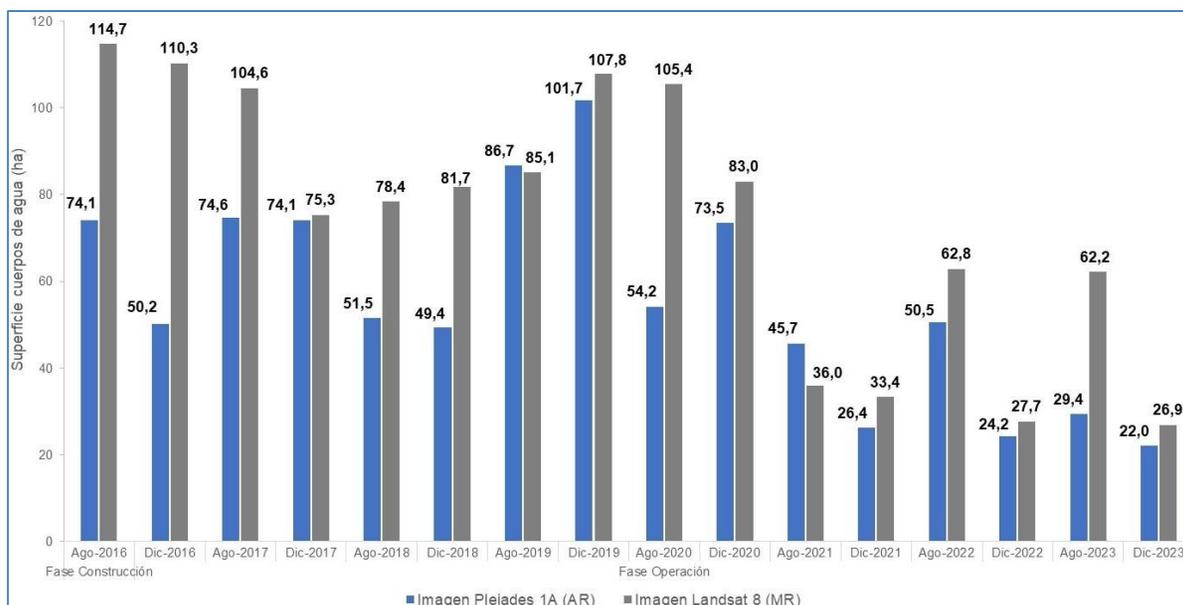


6.1.3.2 Peine

La Figura 6-25, muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2023, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

La correlación entre las superficies del sector Peine desde 2016 a 2023, calculadas desde de alta resolución (Pléiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,748²⁷ lo que indica una relación positiva moderada entre variables ($r^2 = 56,0\%$); mientras que el valor p es de 0,001 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pléiades y Landsat. Mayor detalle se presenta en Anexo C de este Informe.

Figura 6-25 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); AR: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
 Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

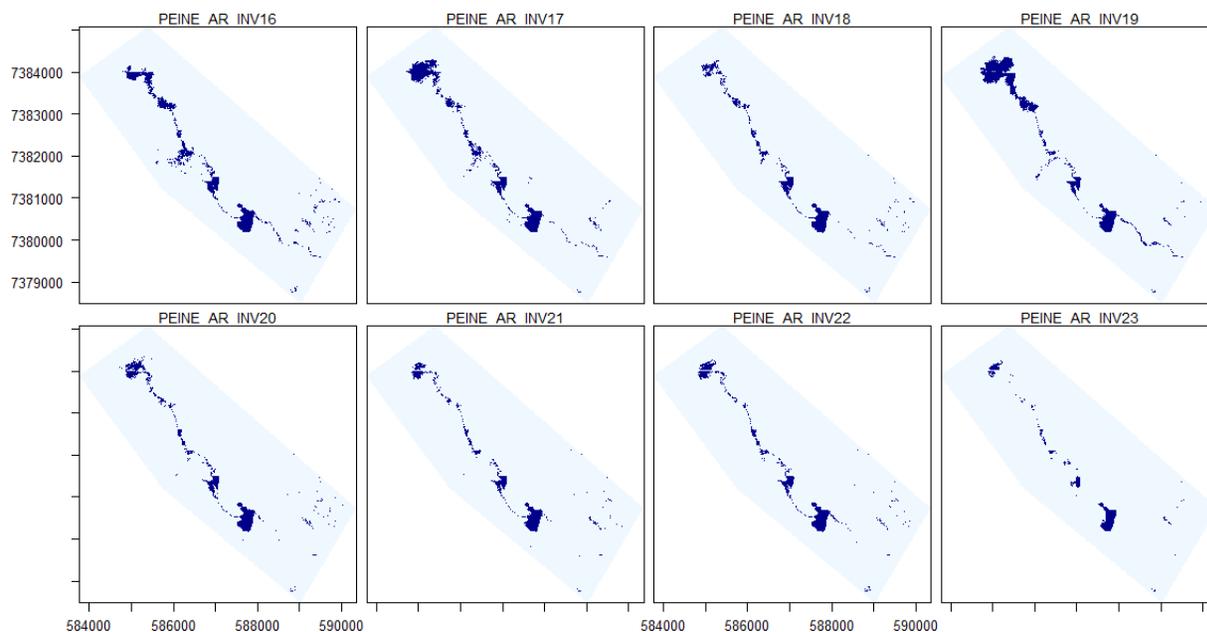
Las Figura 6-26 a la Figura 6-29 muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo (se hace la distinción entre invierno y verano), y desde 2016 a la fecha (mayor detalle en Anexo C).

Entre las principales diferencias entre registros de invierno, se observan mayores superficies de invierno en 2016 y 2017 respecto del 2018. En el invierno de 2019, se registra un aumento

²⁷ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

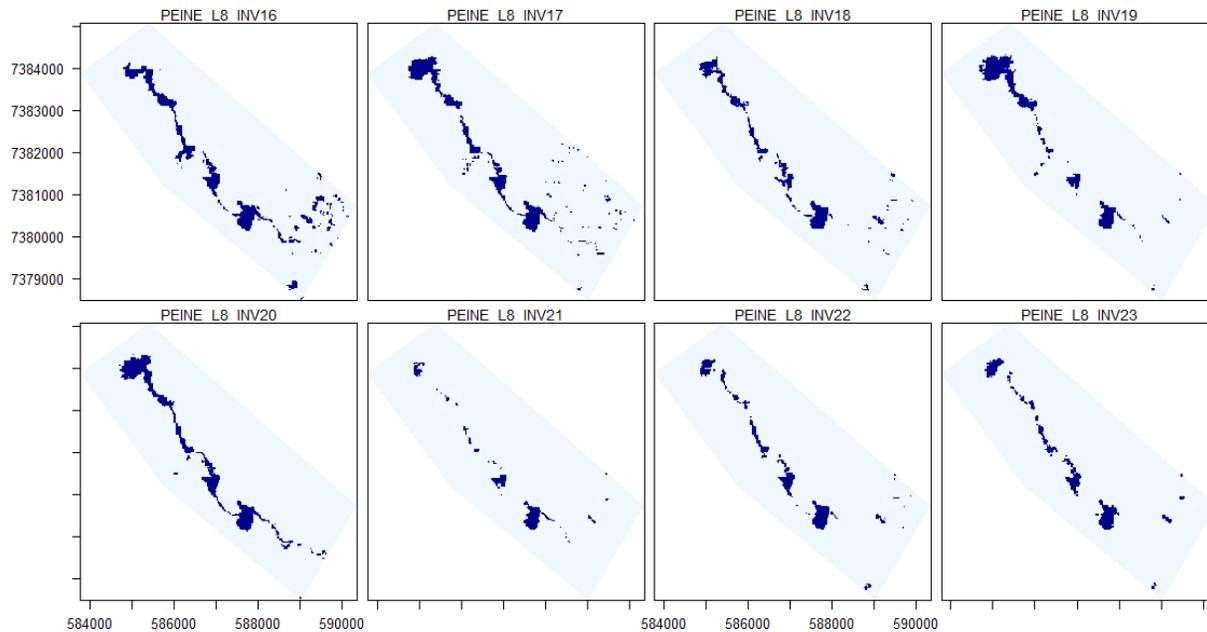
considerable, el que se infiere fue debido a las precipitaciones de ese año. A partir de 2020, si se observan las superficies de Alta Resolución, se presenta una disminución que continuó hasta 2021. Aunque se presenta una recuperación en el invierno de 2022, en 2023 se experimenta una nueva disminución. Estas fluctuaciones indican la influencia de condiciones climáticas y otros factores en la dinámica de las lagunas. La Laguna Interna destaca como una parte significativa de los cambios, mostrando variaciones notables en su zona de inundación. Para el verano de 2023, se observa una mayor disminución en las zonas de interconexión entre la Laguna Interna y la Laguna Salada. Además, el análisis de imágenes de alta resolución revela una reducción en las coberturas de cuerpos de agua desde el verano de 2021, especialmente en las áreas de Laguna Interna y Saladita, debido a variaciones en la inundación.

Figura 6-26 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



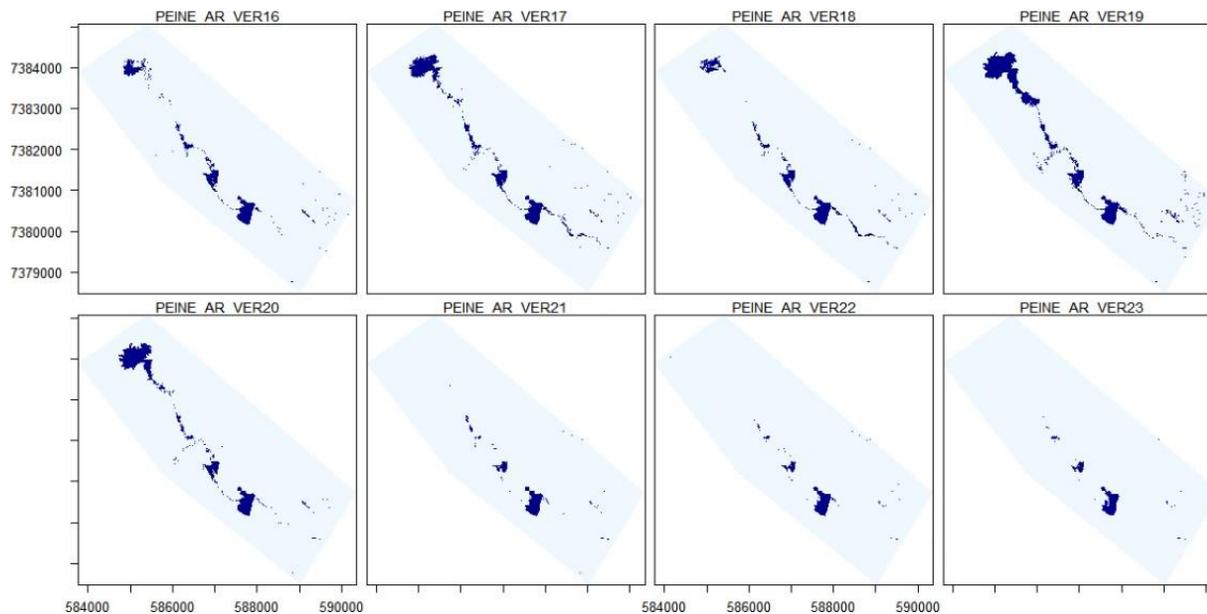
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-27 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



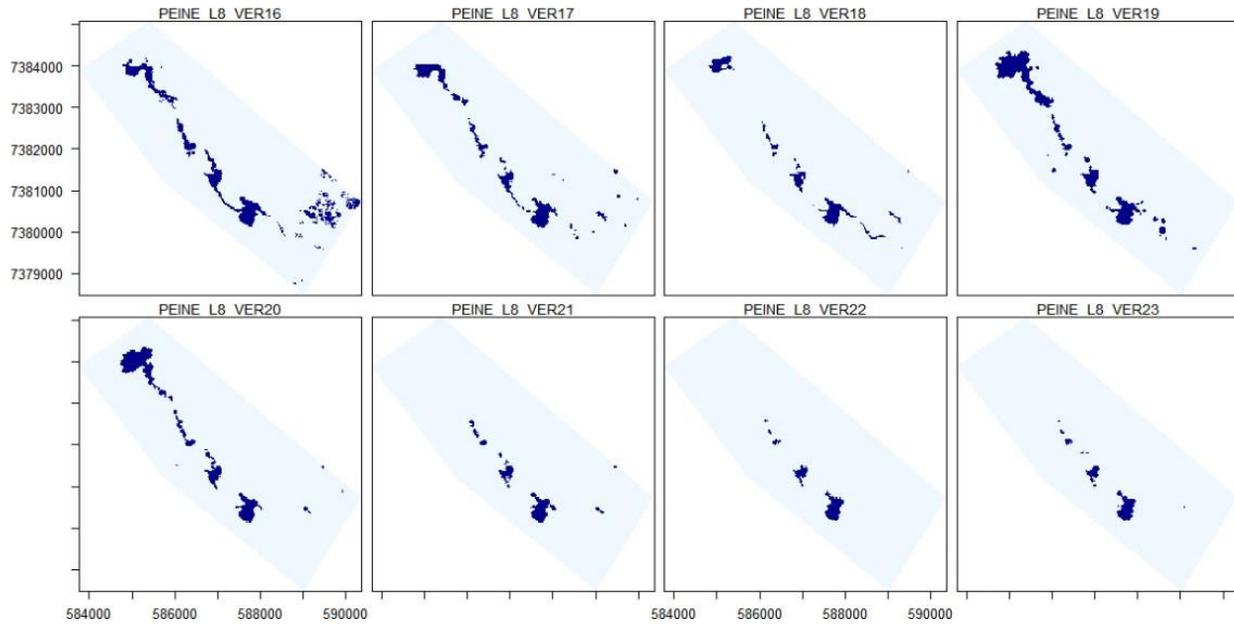
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-28 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-29 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.

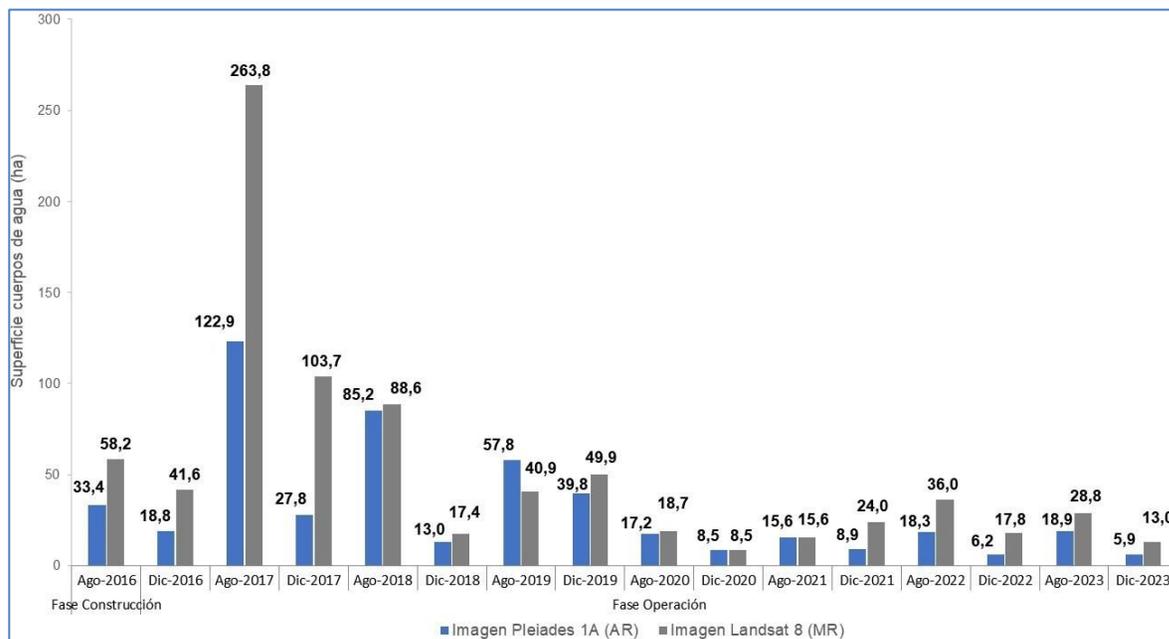


Fuente: Elaboración propia

6.1.3.3 Aguas de Quelana

La Figura 6-30 muestra los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas en el seguimiento ambiental del proyecto entre 2016 a 2023, desde la aprobación de la RCA 021/2016.

Figura 6-30 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua sistema lagunar Aguas de Quelana



MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR:** Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
 Fuente: Elaboración propia

La correlación entre las superficies del sector Aguas de Quelana desde 2016 a 2023, calculadas desde de alta resolución (Pléiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,878²⁸ lo que lo que indica una relación positiva alta entre variables ($r^2 = 77,1\%$); mientras que el valor p es de 0,000004, lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pléiades y Landsat.

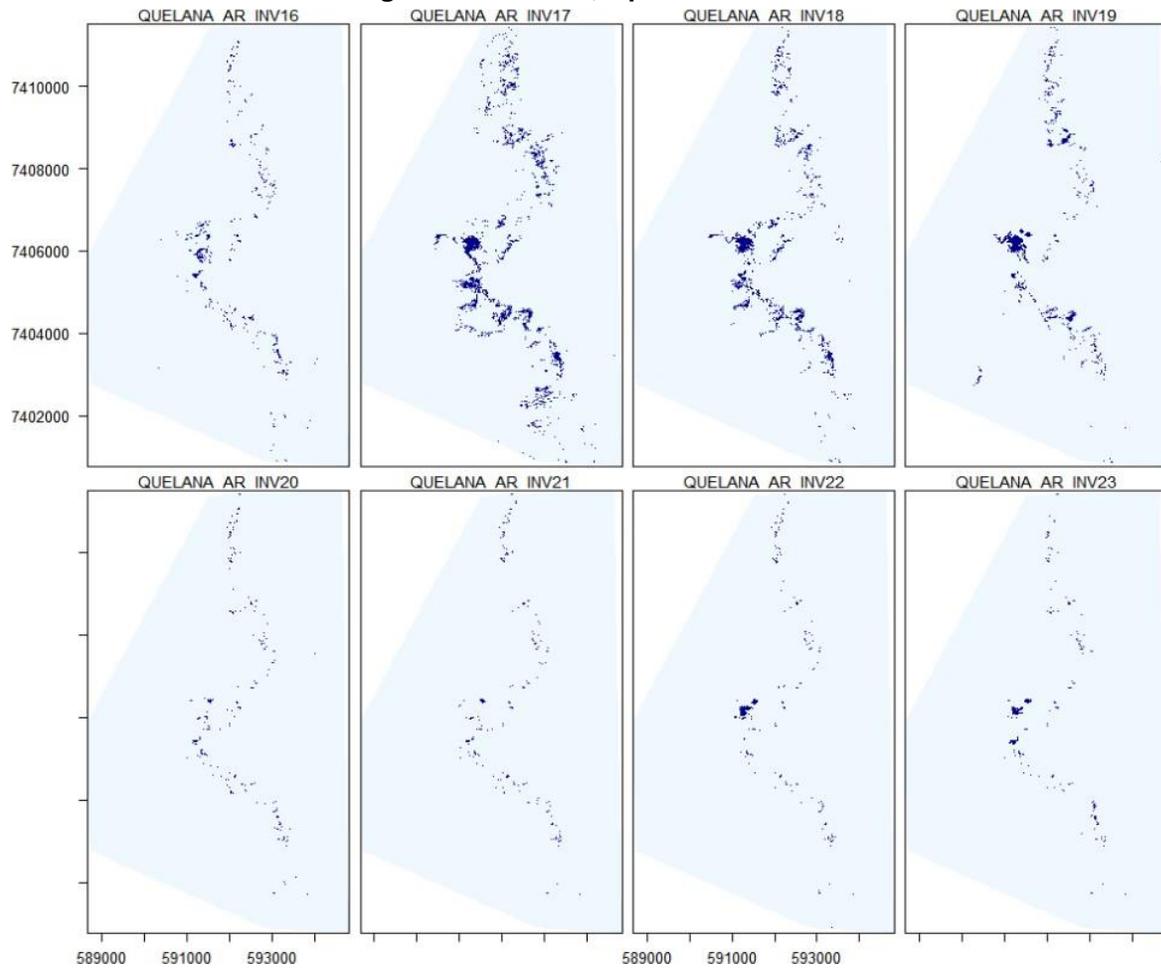
Desde la Figura 6-31 y Figura 6-32, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo (se hace la distinción entre invierno y verano), y desde 2016 a la fecha (mayor detalle en Anexo C). Entre las principales diferencias entre registros,

²⁸ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

se observa la disminución de los pequeños cuerpos de agua que se reparten en faja central del sector Aguas de Quelana, asociadas principalmente con vegetación ribereña, y la contracción de zonas de inundación que surgen de la interconexión de estos pequeños cuerpos.

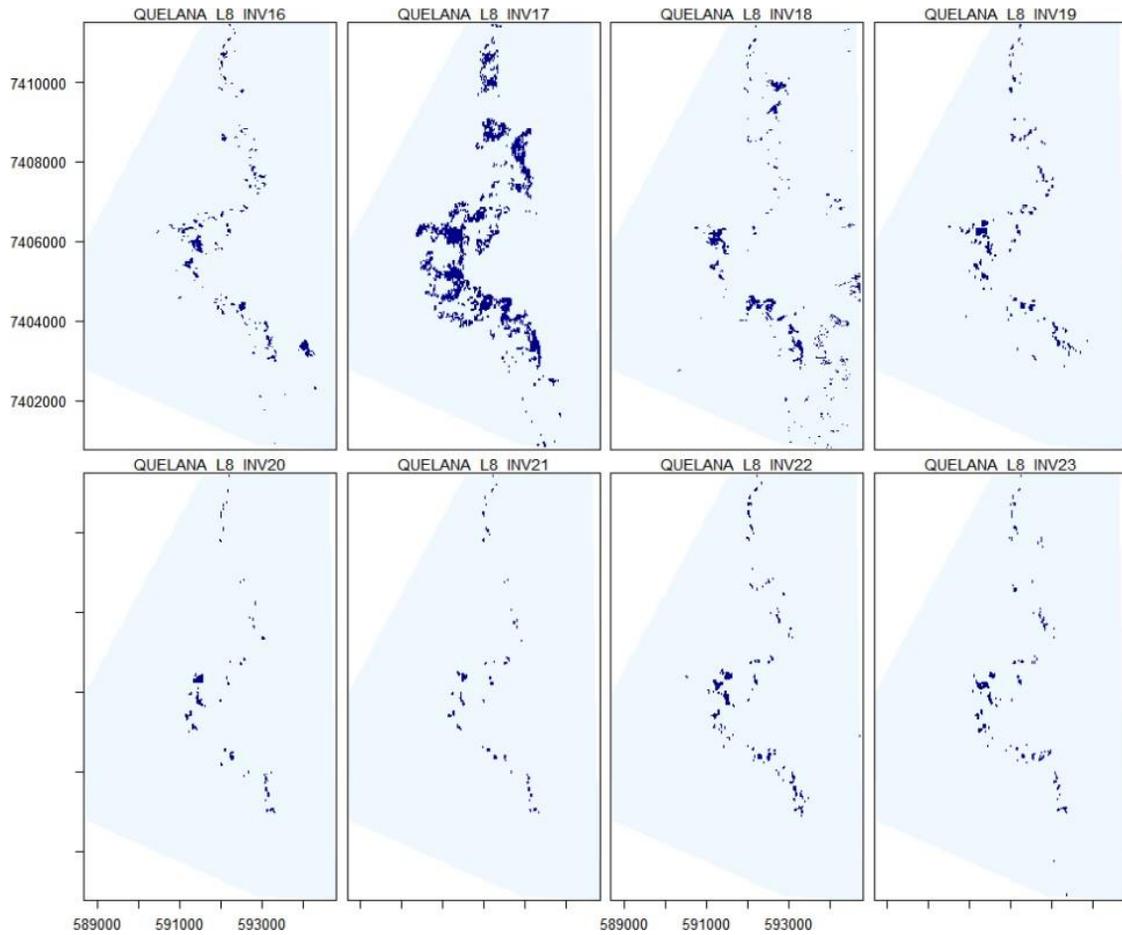
Se destacan las diferencias observadas al comparar los registros de invierno y verano, siendo una de las más evidentes la disminución en verano de los pequeños cuerpos de agua que muestran una reducción en su extensión y número. Además, se evidencia una contracción en las zonas de inundación que se originan a partir de la interconexión de estos pequeños cuerpos de agua al presentarse eventos de precipitación. La reducción en la extensión de estos humedales y áreas inundadas se ve acrecentada en los meses de verano desde diciembre de 2019.

Figura 6-31 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Aguas de Quelana, a partir de Pléiades 1-A.



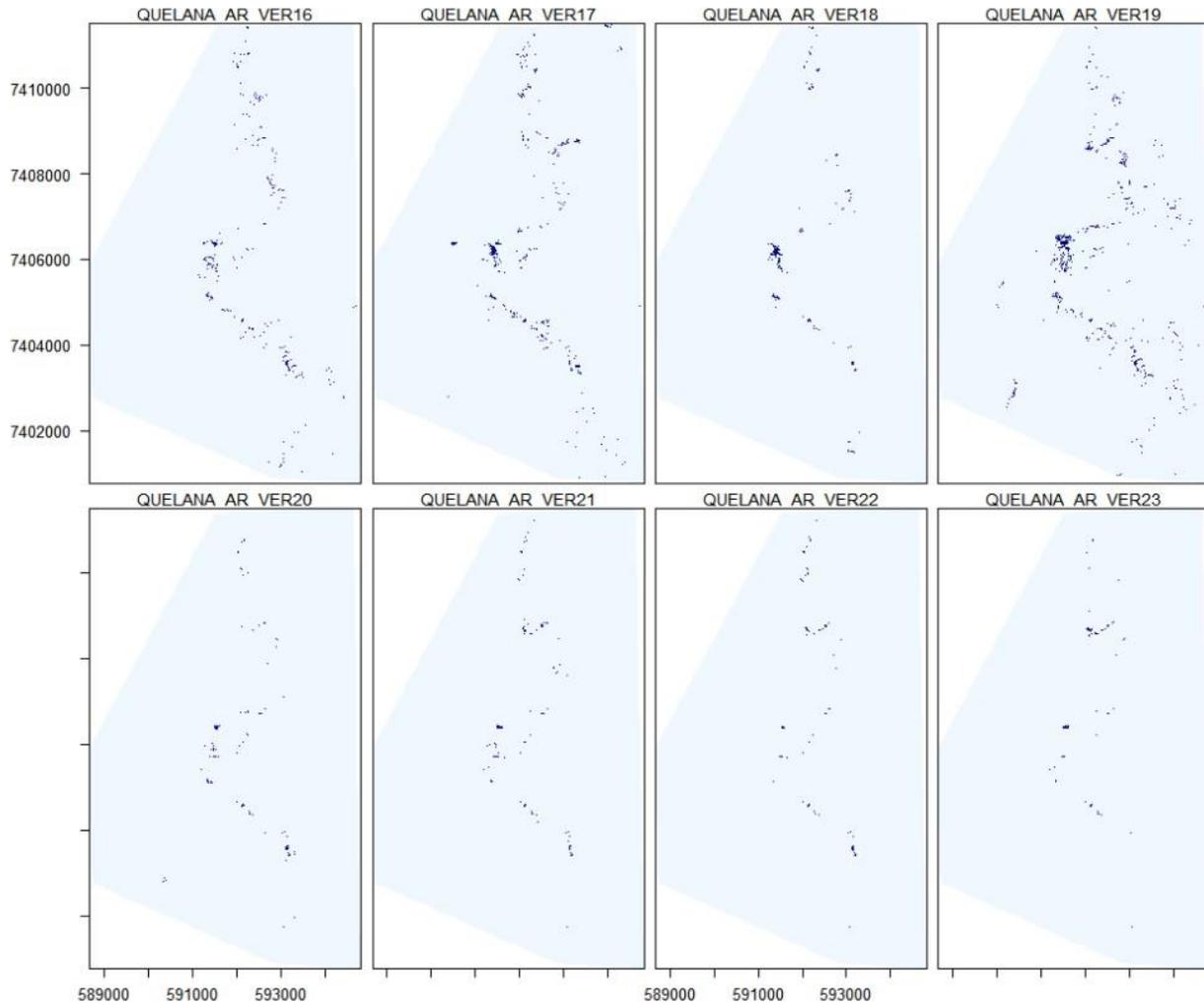
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-32 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Aguas de Quelana, de imágenes Landsat 8.



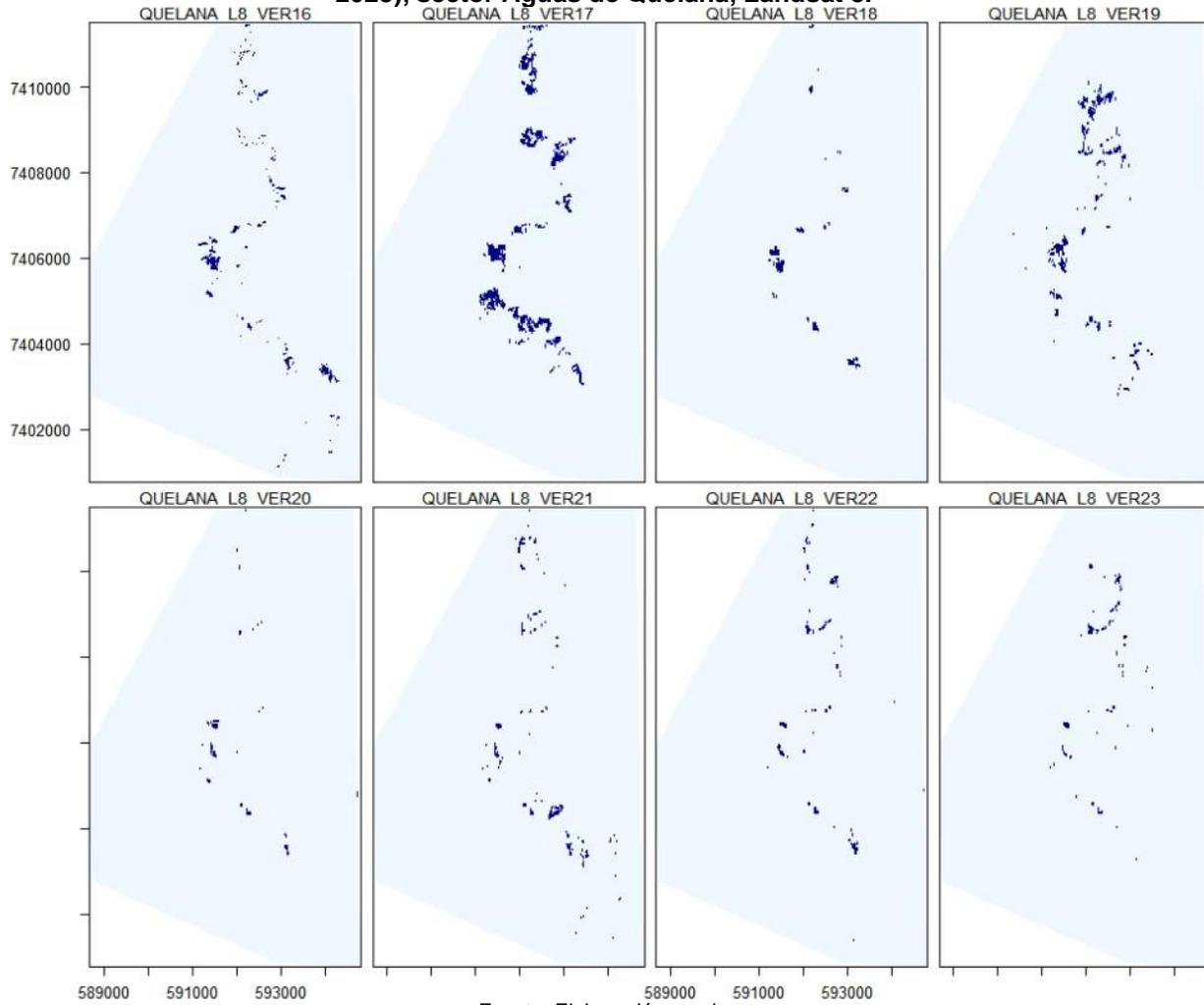
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-33 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), Aguas de Quelana, imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-34 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Aguas de Quelana, Landsat 8.

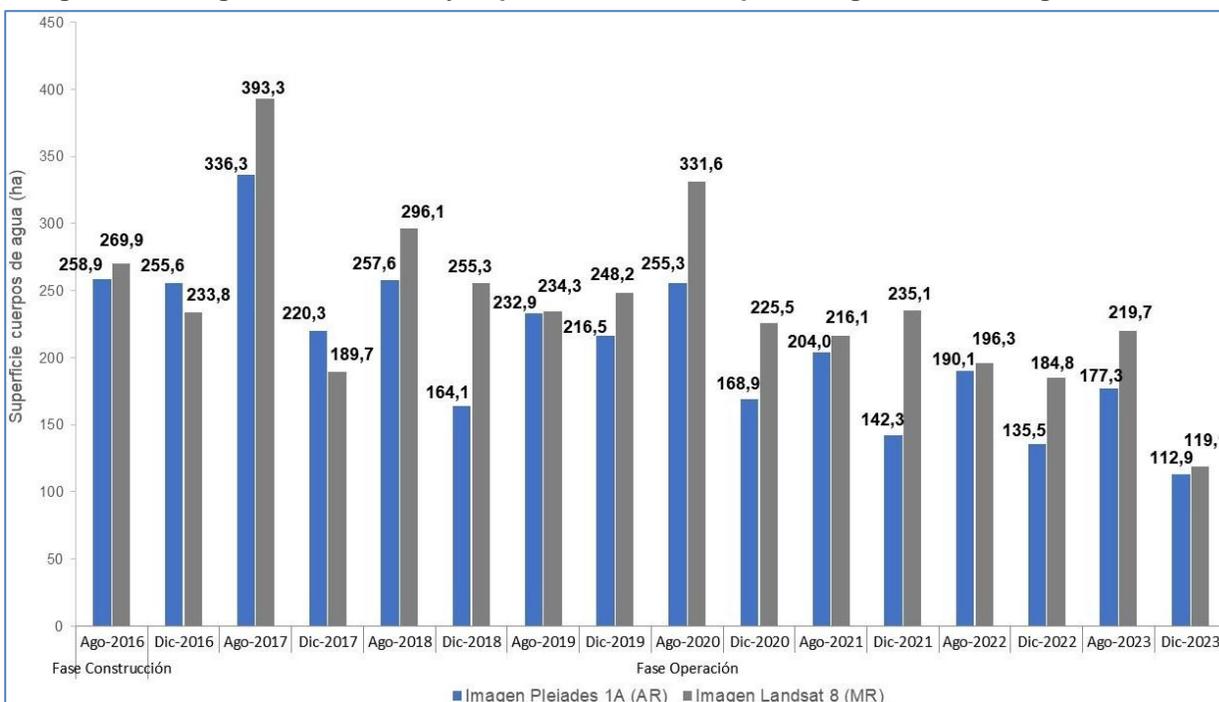


Fuente: Elaboración propia

6.1.3.4 Soncor

La Figura 6-35 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2023, desde la aprobación de la RCA 021/2016. Al analizar las superficies de invierno de AR y Landsat, se observa una variabilidad entre los años 2016 hasta agosto 2020 y posterior a ello, un descenso en las superficies llegando a un invierno 2023 en el rango de las superficies de invierno 2022. En el caso de los veranos, se observa una tendencia histórica de descenso y con un 2023 mínimo en los registros.

Figura 6-35 Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Soncor.



MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); AR: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
 Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

La correlación entre las superficies del sector Soncor desde 2016 a 2023, calculadas desde de alta resolución (Pléiades 1-A) y desde media resolución (Landsat 8), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,814²⁹ lo que indica una relación positiva entre variables ($r^2 = 66,3\%$); mientras que el valor p es de 0,0001 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pléiades y Landsat.

Las Figura 6-36 a la Figura 6-39, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo (se hace la distinción entre invierno y verano), y desde 2016 a la fecha (mayor detalle en Anexo C). Para el sector de Soncor, las principales diferencias entre monitoreos se observan en la zona sur del sistema y por derrames de la laguna Barros Negros al sector de entrada oeste, cuyas variaciones contribuyen aumentando o disminuyendo las superficies calculadas para los cuerpos de agua.

Figura 6-36 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A.

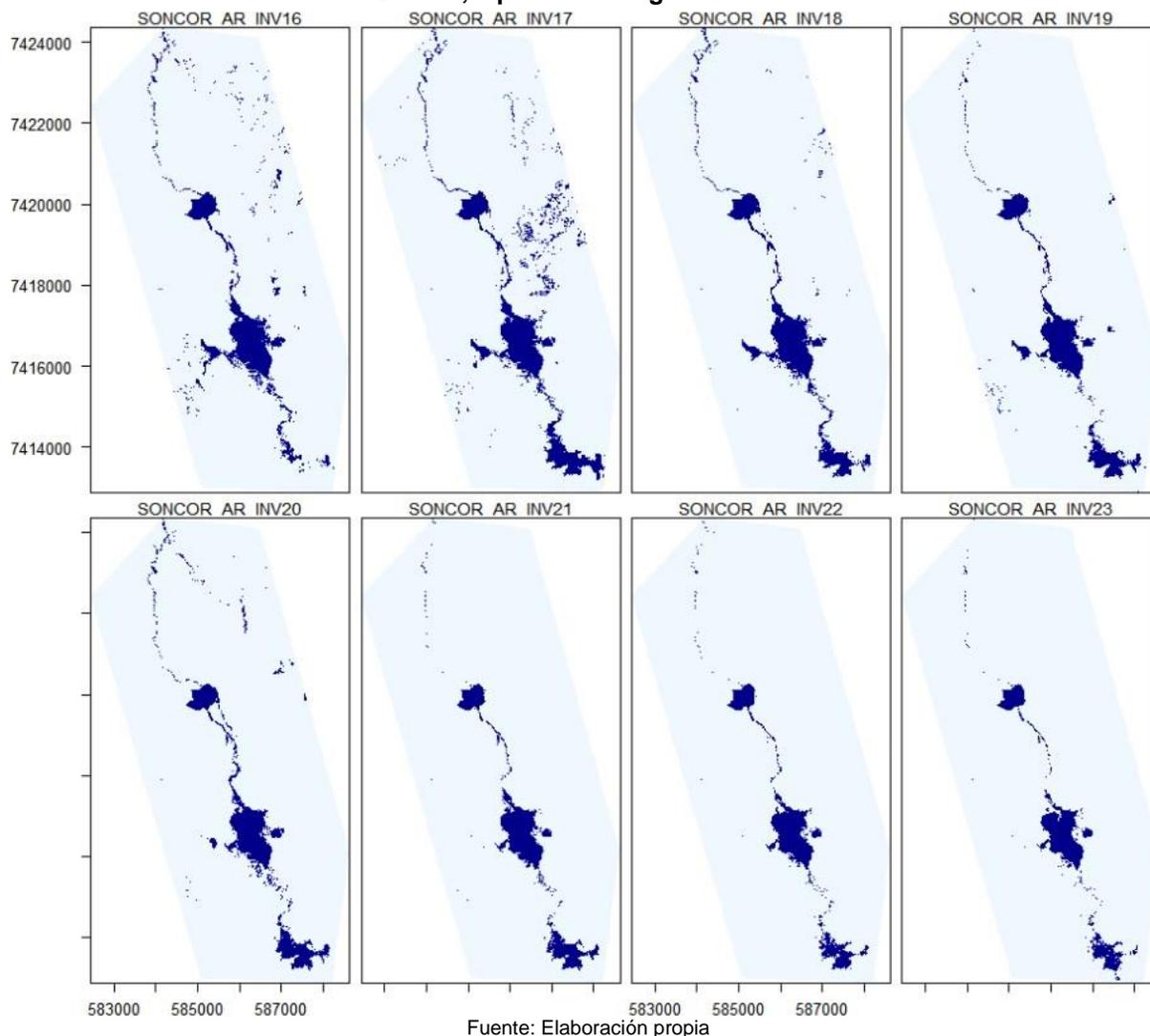


Figura 6-37 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.

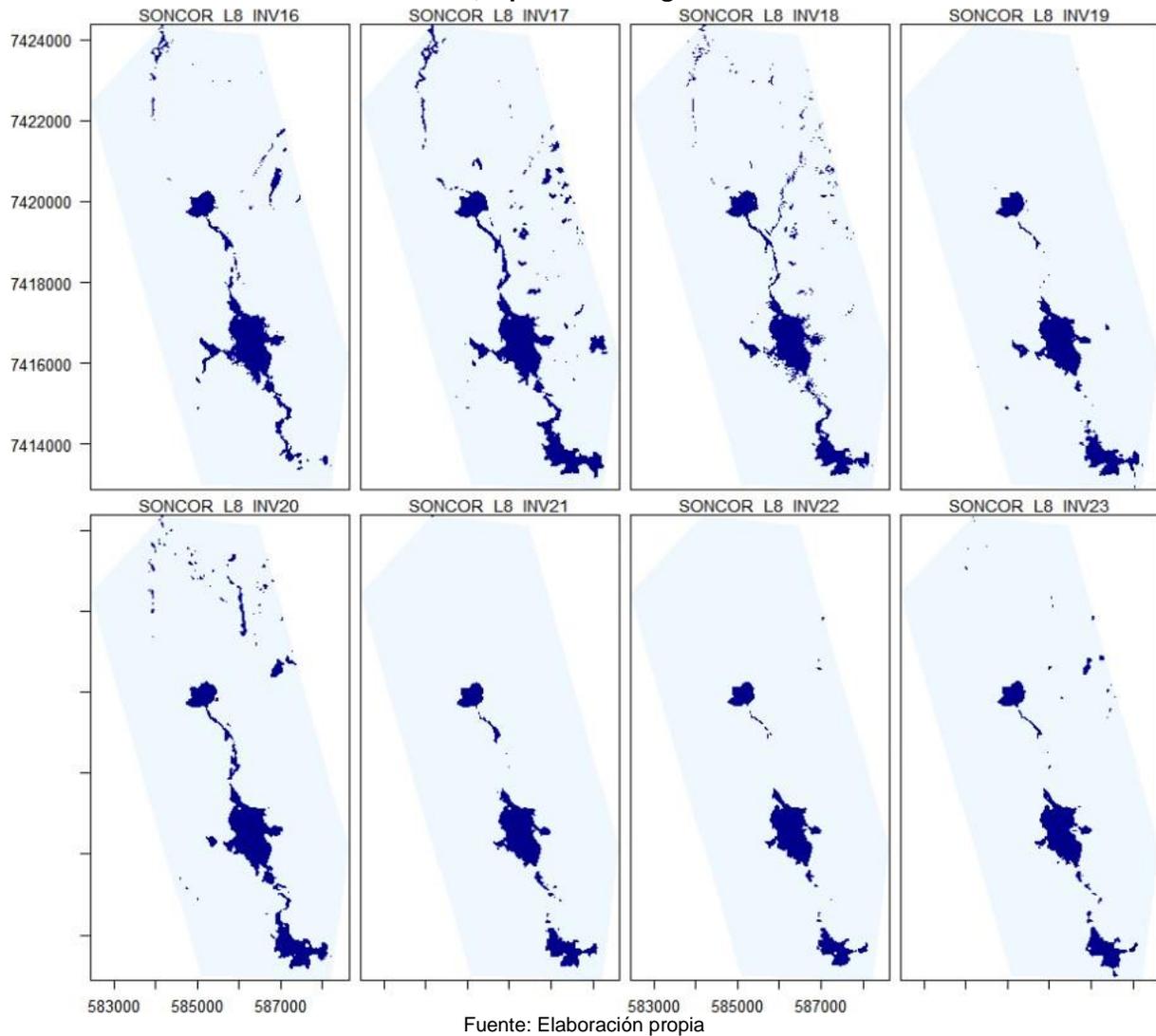


Figura 6-38 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos(diciembre 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A.

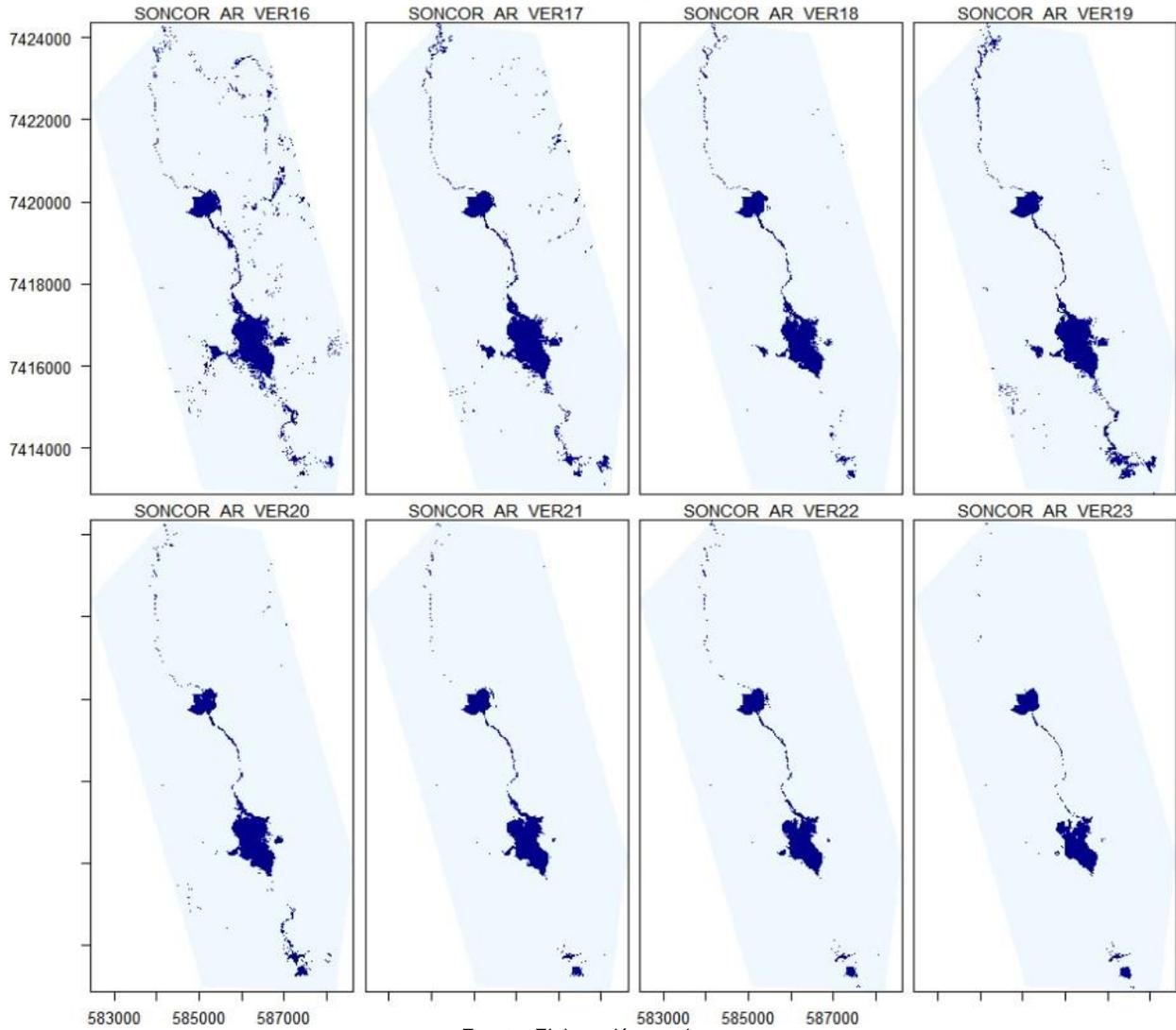
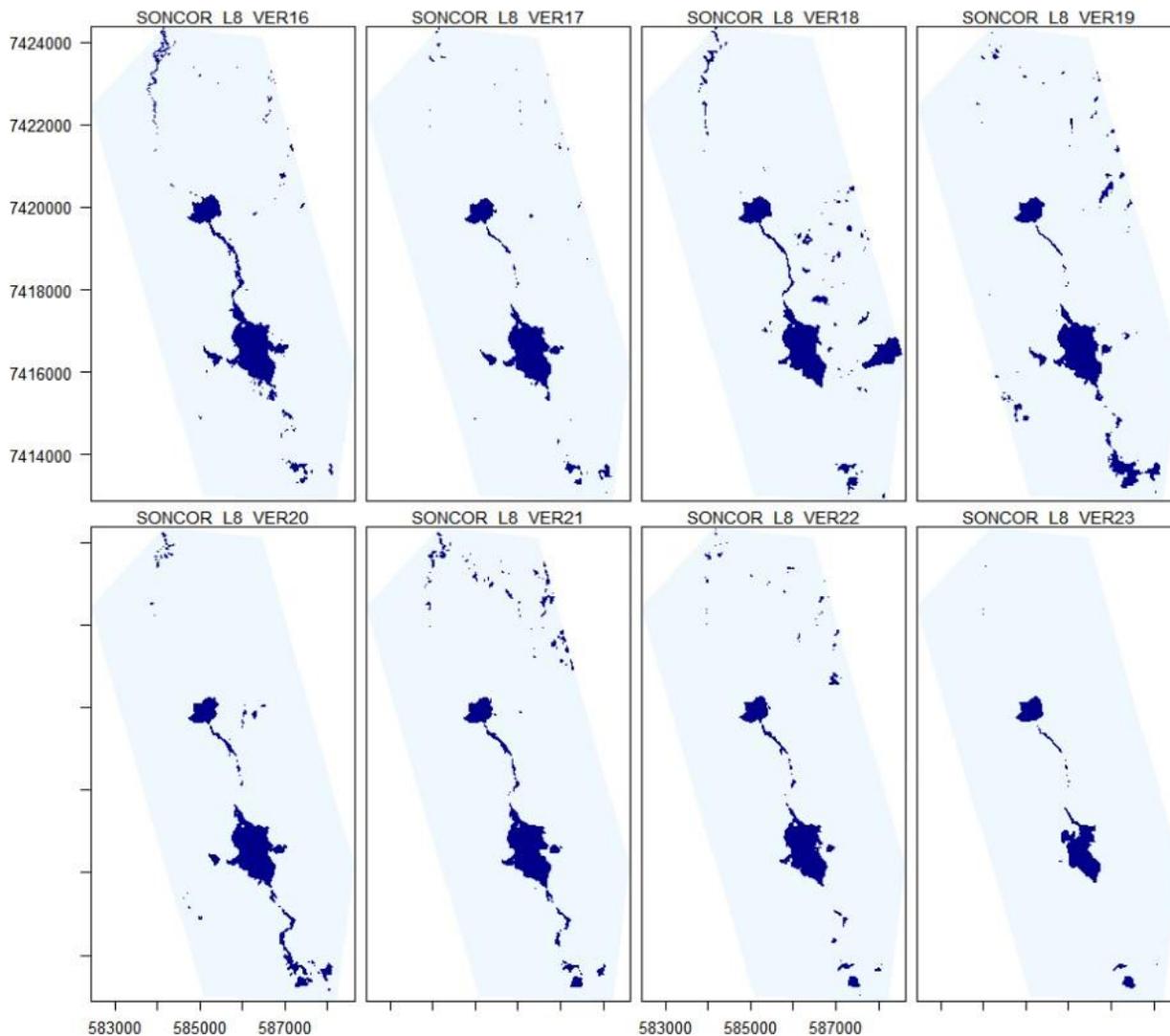


Figura 6-39 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia

6.1.3.5 Límites Comprometidos

Tal como se menciona en la Tabla 5-28 el nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA es “Mantener la superficie sobre mínimo histórico” (Numeral 7 de la RCA 21/2016, Pág.55/72), cuyo procedimiento de medición se señala a través de “Imágenes satelitales alta definición y apoyo en terreno”.

A continuación, en la Tabla 6-9, se muestra la comparación de las superficies mínimas históricas en relación con las del año 2023, en dicha tabla se presenta por un lado la superficie mínima de cada sistema lagunar medido con 4 - 5 imágenes de alta resolución (periodo 2006 a 2014), recopiladas en la Adenda 5, y presentadas en el *Apéndice B del Anexo 2 Plan de*

Manejo Biótico (estos valores de entregan y describen en el capítulo 5, sección 5.3); y por otro lado, se presenta para los cuatro sistemas lagunares los resultados de superficies mínimas de las campañas del año 2023 (Anexo C), estimadas a través de las imágenes de alta resolución (AR) utilizadas.

Tabla 6-9 Superficies mínimas de los sistemas lagunares (imágenes de alta resolución AR)

Sistema Lagunar	Superficie Mínima Histórica Adenda 5 (ha) QuickBird/Worldview/GeoEye	Superficie mínima 2023 (ha) Pléiades Alta resolución
La Punta-La Brava	31,6 (febrero 2014)	26,6 (diciembre)
Peine	48,9 (marzo 2006)	22,0 (diciembre)
Aguas de Quelana	11,3 (marzo 2007)	5,9 (diciembre)
Soncor	192,4 (marzo 2007)	112,9 (diciembre)

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 6-9 se aprecia que los valores mínimos de superficie cubierta de agua del 2023 corresponden a los valores de la campaña de verano (diciembre), y estas son inferiores a las superficies lagunares mínimas históricas de AR presentadas en Adenda 5.

Es importante señalar que las superficies históricas disponibles en AR fueron cuatro a cinco para cada sistema lagunar y corresponden a meses distintos de los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre principalmente). El hecho que fueron medidas en meses distintos (enero, febrero y abril en LP-LB; marzo y abril en Peine, Aguas de Quelana y Soncor) es un aspecto importante para considerar, dada la alta variabilidad intranual que presenta esta variable.

En razón de lo anterior, y dado que existe un número más elevado de imágenes históricas de mediana resolución (Landsat), las que fueron también fueron presentadas en la Línea Base del Proyecto (*Apéndice I, del Anexo 1 Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico de la Adenda 5*) es que en la siguiente Tabla 6-10 se comparan los valores mínimos de superficie lagunar registrados en el año 2023 con las imágenes de mediana resolución, considerando el valor mínimo histórico de cada sistema lagunar determinado a partir de 68 imágenes de mediana resolución (imágenes Landsat *en Anexo C Apéndice I, del Anexo 1*), entre los años 1972 al 2014 (en general dos imágenes por año de julio y diciembre).

Con estas imágenes Landsat y la validación en terreno de los índices calculados y los píxeles definidos de superficie inundada (compromiso del PSAH) se obtuvieron como valores mínimos de superficie cubierta de agua de los datos históricos, al compararlo con los mínimos de Landsat del 2023 que corresponden a la campaña de verano (diciembre). De estas, se observa que estas últimas (2023), en el sistema lagunar La Punta-La Brava, Peine y Aguas de Quelana,

estarían sobre las superficies lagunares mínimas históricas (definidas con las imágenes de mediana resolución presentadas en la Adenda 5), y en el sistema lagunar Soncor estarían por bajo de la superficie mínima histórica.

Tabla 6-10 Comparación valores mínimos superficie lagunar año 2023

Sistema Lagunar	Superficie Mínima Histórica (ha) Adenda 5 Landsat Histórico	Superficie mínima 2023 (ha) Landsat 8
La Punta-La Brava	19,2 (marzo 1973)	28,8 (diciembre)
Peine	25,4 (noviembre 1975)	26,9 (diciembre)
Aguas de Quelana	0,2 (nov 1975, feb y mar 1976)	13,0 (diciembre)
Soncor	143,3 (feb 1976)	119,1 (diciembre)

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Nivel limnimétrico histórico de las lagunas

En el presente subcapítulo, se presenta el registro histórico completo y evolución en el tiempo de los resultados de las mediciones de nivel de agua de las lagunas a través de las reglas limnimétricas y estacas, según 3 sectores mencionados en la sección 5.4 (sector La Punta-La Brava, sector Peine, sector Norte y Borde Este). Además, se analiza en la presente subsección 6.1.4.4, el límite comprometido para esta variable.

El período de registro general presenta datos para 20 puntos de monitoreo desde el 2016 a 2023. La base de datos histórica con las mediciones de nivel limnimétrico se incluye en el Anexo D.

6.1.4.1 Sector La Punta-La Brava

En la Figura 6-40, se grafican el monitoreo histórico (2016-2023), de los 5 puntos de monitoreo detallados en la sección 5.4 (LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 y LM-16). En ambos gráficos, se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de estaciones frías.

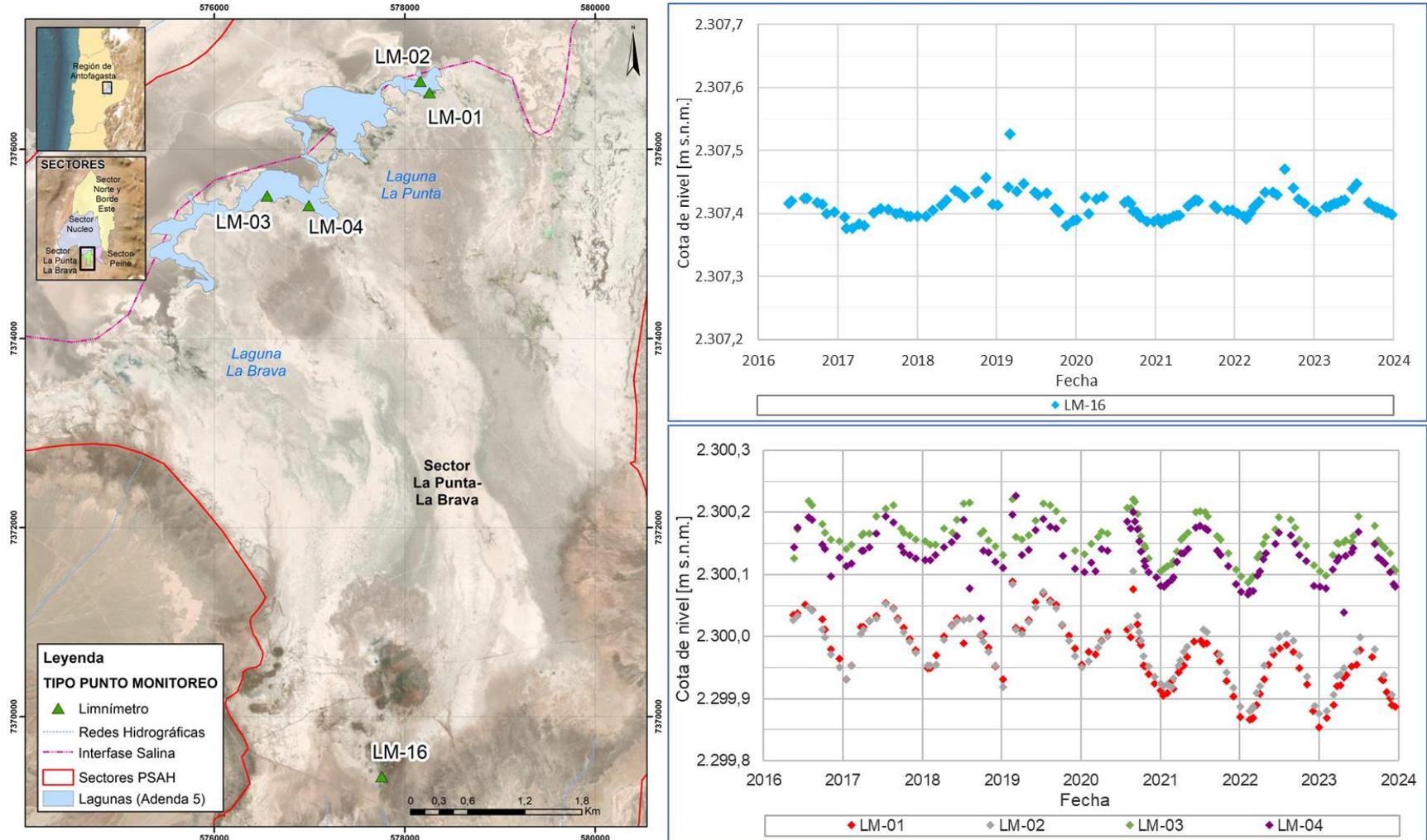
En particular en el primer gráfico de la Figura 6-40, se observa el comportamiento del punto de monitoreo LM-16, el cual se ubica en la zona de vegas de Tilopozo; por esta razón que este punto presenta una cota de nivel más alta que los otros puntos, y muestra una tendencia a mantener los niveles relativamente estables durante todo el periodo de registro (2016 a 2023), muestra niveles estables para todo el periodo (2016-2023) con 0 cm, de descenso.

En el segundo gráfico de la Figura 6-40, se observan las mediciones de los puntos LM-01, LM-02 (Laguna La Punta), LM-03 y LM-04 (Laguna La Brava), los que muestran tendencia general al descenso de los niveles para todo el periodo (2016-2023), la que es mayor en LM-01 con descensos de 8 cm y los puntos LM-02, LM-03 y LM-04 presentan descensos de 5 cm (calculado entre diciembre 2016 y diciembre 2023).

Entre el año 2016 y el año 2019 si bien se observa variabilidad, los niveles se presentan con una tendencia más estabilizados que el período siguiente (interrumpidos por el evento de precipitación de 2019); y entre los años 2020 y finales del año 2021 se observa una tendencia al descenso, mayor en los puntos del sector La Punta (LM-01 y LM-02) muestra un descenso máximo 8 cm, medido en LM-01 (diciembre 2019 y diciembre 2021), que el sector La Brava (LM-03 y LM-04) ambos con descensos netos de 3 cm, (diciembre 2019 y diciembre 2021). Desde 2022 a la fecha, se observa una cierta tendencia estable de los niveles limnimétricos mínimos o de verano. Además, se observa en el segundo gráfico de la Figura 6-40 que todos los puntos de monitoreo presentan aumentos de nivel en respuesta a los eventos de precipitación, en particular a los del año 2019 y 2020. Después de las alzas, vuelve a retomar

la tasa de descenso previa, en la sección 5.1.1, se puede ver con mayor detalle las precipitaciones.

Figura 6-40 Evolución histórica de nivel limnimétrico (2016-2022), sector La Punta - La Brava Zona de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.2 Sector Peine

En la Figura 6-41 y Figura 6-42 se presenta el registro histórico de los niveles limnimétricos hasta el año 2023, de los 11 puntos presentados en la sección 5.4 (LM-05, LM-06, LM-07, LM-08, LM-09, LM-10, LM-17, E1, E2, E3 y E4). En esta misma sección se presentan las justificaciones de las ausencias de datos para el año 2023, principalmente por restricción de acceso al sector.

En el primer gráfico de la Figura 6-41, se observan los niveles limnimétricos de los puntos LM-05, LM-06 ubicados en el sector Laguna Salada y de LM-07 y LM-08 ubicados en el sector laguna Saladita, los que muestran en relación con el nivel limnimétrico distintas tendencias generales para el periodo (2016-2023). Por una parte, el punto LM-05 (Salada) presenta una tendencia de aumento en sus niveles durante todo el periodo (2016-2023), con un ascenso neto de 4 cm, (calculado entre octubre 2016 y octubre 2023), y por otra parte el punto LM-06 (Salada) presenta una tendencia estable (0 cm calculado entere septiembre 2016 y septiembre 2023) de sus niveles en el tiempo. Finalmente, el punto LM-07 y LM-08 ambos ubicados en laguna Saladita, muestran de estabilidad a una leve tendencia al descenso de sus niveles, con un descenso neto de 1 cm (calculado entre octubre 2016 y octubre 2023 en el punto LM-07, y entre septiembre 2016 y septiembre 2023 en el punto LM-08).

En la misma Figura 6-41, se observa para todo el periodo (2016-2023), que las mediciones de los puntos de monitoreo LM-05 y LM-06, se encuentran en torno a los 2.299,93 m s.n.m. En el mismo periodo los puntos aguas abajo, LM-07 y LM-08 presentan cotas menores, LM-08 cercano a 2.299,88 m s.n.m., y en torno a niveles más abajo el punto LM-07, con una cota de nivel cercano a los 2.299,70 m s.n.m. Para los puntos LM-06, LM-07 y LM-08 se reconocen dentro del registro histórico tres datos estadísticamente anómalos, en el punto LM-06 en abril del año 2022, y en los puntos LM-07 y LM-08 en enero 2017.

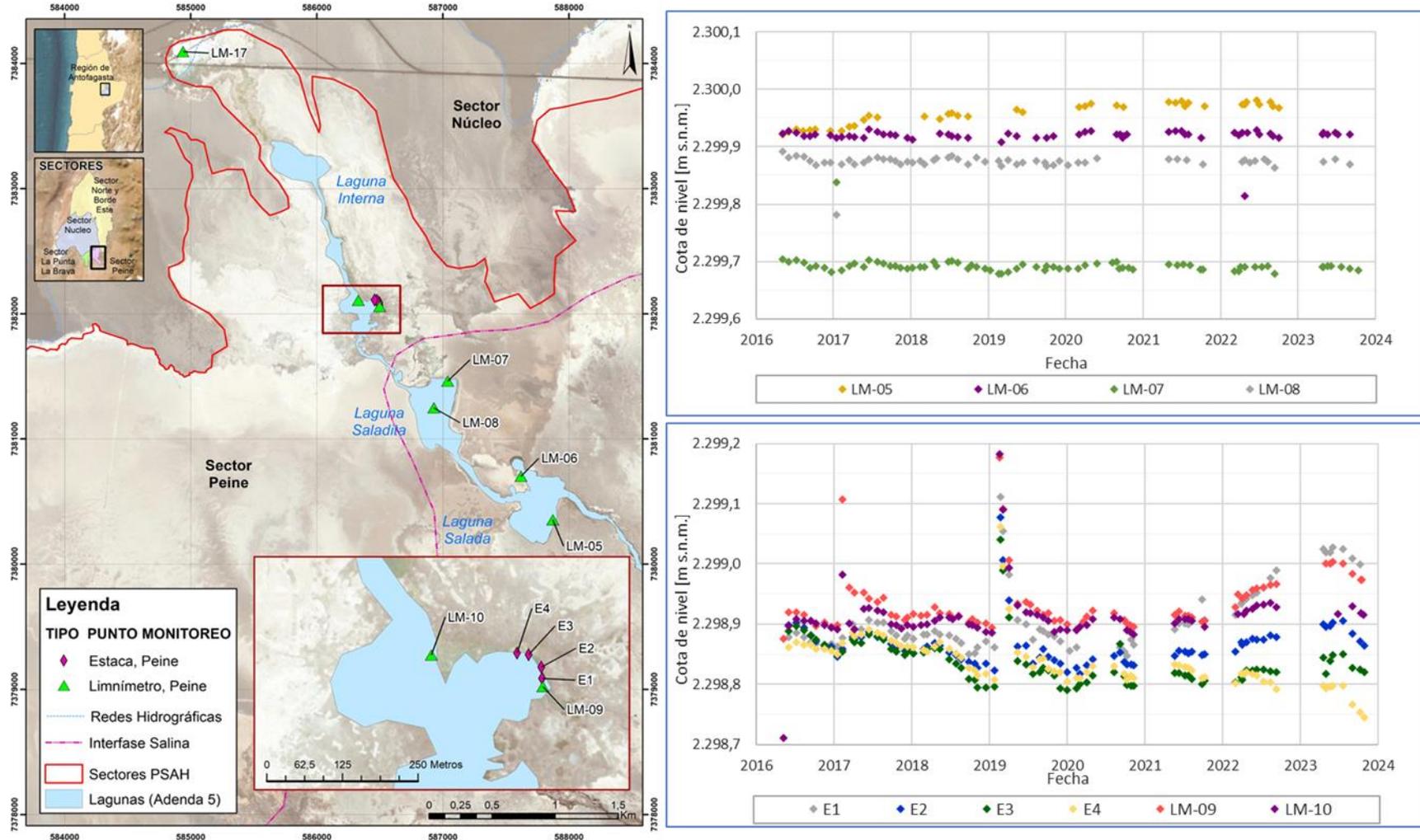
En el segundo gráfico de la Figura 6-41 se grafican los datos limnimétricos históricos de los puntos LM-09 y LM-10, y las estacas: E1, E2, E3 y E4 ubicados en el sector de Laguna Interna. En relación con la tendencia general se tiene que los puntos E1, LM-09 y LM-10 muestran una tendencia a mantenerse relativamente estable desde el año 2016 al 2021, mientras en los puntos E2, E3 y E4 muestran descenso de nivel entre 2016 a 2019 y se mantienen relativamente estables entre el 2019 y 2021. Para todo el periodo (2016-2023) el nivel neto asciende en los puntos E1, LM-09 y LM-10, con un ascenso entre 1 cm (LM-10) y 13 cm (E1).

En el segundo gráfico de la Figura 6-41, además se observa que todos los puntos muestran variaciones estacionales que oscilan principalmente sobre los 2.298,80 m s.n.m., y bajo 2.999,00 m s.n.m, para todo el periodo de registro, con excepción de la respuesta de los niveles al evento de precipitación de enero 2019. En marzo 2023 hubo un evento de

precipitación importante de 21,2 mm/mes EM-Rockwood, no se puede observar si hay respuesta a esta precipitación, dado que no hay medidas en los primeros meses del año 2023, en la sección 5.1.1, se puede ver con mayor detalle las precipitaciones

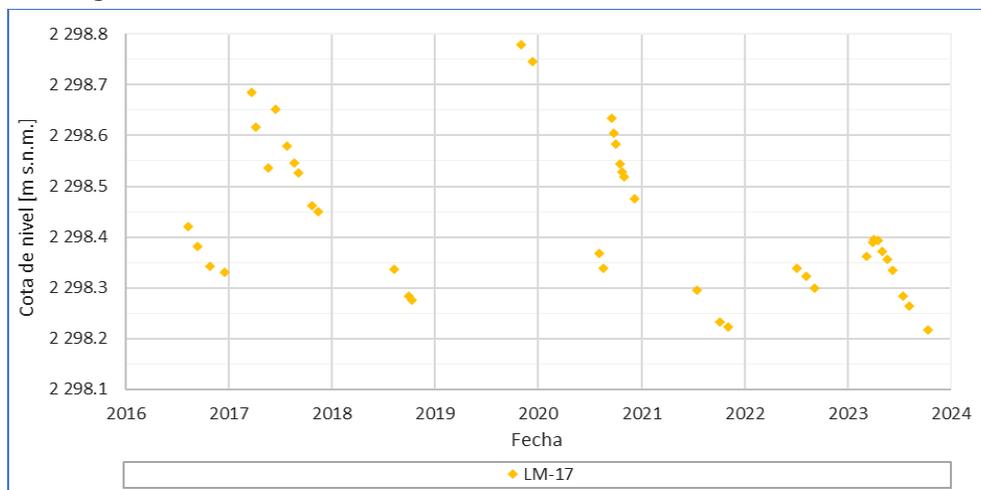
Desde el año 2021 a la fecha, es posible observar la ausencia de registros, dado que en el periodo estival la Comunidad de Peine, restringe el acceso al sistema lagunar de Peine, dada la época de reproducción de flamencos.

Figura 6-41 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine



En el gráfico de la Figura 6-42, se observa el comportamiento fuertemente variable del punto de monitoreo LM-17, el cual se encuentra en la zona de avance de la laguna Interna hacia el Núcleo. En dicho punto, se reconoce una rápida respuesta a eventos de precipitación, por ejemplo, respondiendo en septiembre 2020 al evento de precipitación de agosto 2020. En 2023, respecto a los años previos, se presenta con niveles menores que irían en directa relación con las fluctuaciones de avance de interna, no obstante, se observa respuesta a las precipitaciones de marzo 2023, en la sección 5.1.1, se puede ver con mayor detalle las precipitaciones.

Figura 6-42 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.3 Sector Norte y Borde Este

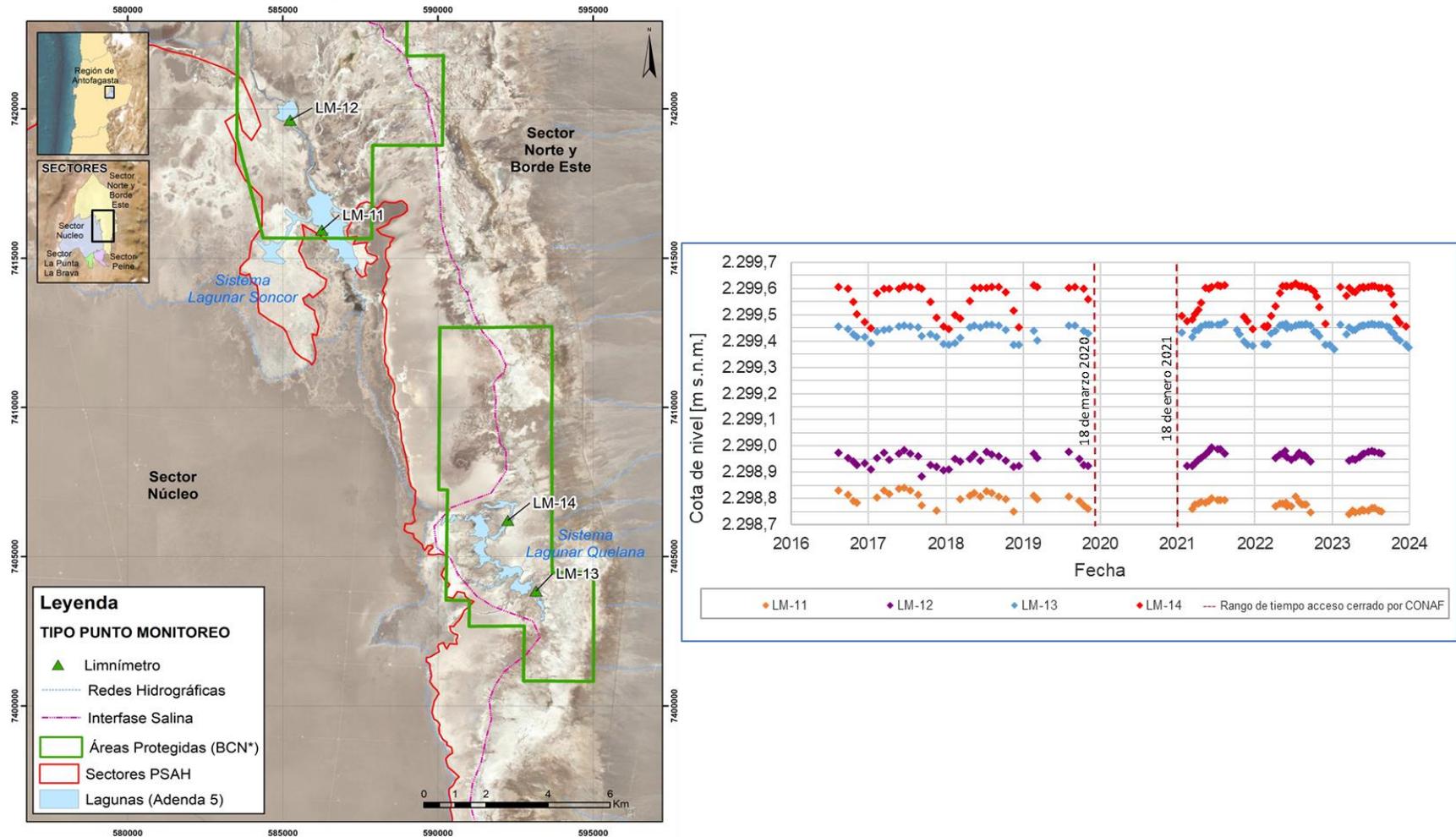
En el gráfico de la Figura 6-43 se grafican los puntos LM-11, LM-12 (Sistema Soncor), LM-13 y LM-14 (Aguas de Quelana), ver detalle en sección 5.4. En dichas Figuras se observa que los niveles limnimétricos en el punto LM-12 se han mantenido relativamente estables en el tiempo con 0 cm de descenso (calculado entre agosto 2016 y agosto 2023), y muestra descensos netos de nivel en los puntos LM-11, LM-13 y LM-14 entre 2 (LM-14) y 8 cm (LM-11) para el periodo 2016-2023 (en el punto LM-11 calculado entre agosto 2016 y agosto 2023 y para los puntos LM-13 y LM-14 entre diciembre 2016 y diciembre 2023).

Además, en la Figura 6-43, se observa que los puntos de control LM-11 y LM-12, ubicados en el sistema lagunar Soncor, presentan un comportamiento sincrónico con variaciones estacionales (estaciones frías y cálidas) y un nivel en torno a los 2.298,78 m s.n.m (LM-11) y en torno a 2.298,97 m s.n.m. (LM-12), para todo el periodo (2016-2023). Del mismo modo, los puntos de control LM-13 y LM-14 (ver Figura 6-43), ubicados en el sistema lagunar Aguas de Quelana, presentan un comportamiento sincrónico, con variaciones estacionales de mayor

amplitud en LM-14, los niveles de estos puntos se registran entre 2.299,35 m s.n.m. y 2.299,65 m s.n.m. (2016-2023).

En relación con los datos históricos, no se cuenta con mediciones limnimétricas entre marzo 2020 y enero 2021, debido a que el monitoreo limnimétrico se suspende, en el sector, con fecha 18 de marzo de 2020 asociado a la contingencia COVID-19, mediante la Res N° 162/2020 (Ver Anexo L) de la dirección ejecutiva de CONAF, para posteriormente retomar las mediciones el 18 de enero de 2021, de acuerdo con autorización presentada en Res N° 64/2020 de CONAF (Ver Anexo L). En cuanto a los otros años con ausencia de registros, en el periodo estival CONAF suspende el acceso a ciertos sectores por la época de reproducción de flamencos.

Figura 6-43 Evolución histórica de nivel limnimétrico, sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

6.1.4.4 Límite Comprometido

Tal como se menciona en la Tabla 5-28 de la sección 5.10, el nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA es “*Mantener niveles dentro de los rangos de oscilación natural*”. En general, se observa una estabilidad en los valores de nivel limnimétrico en las lagunas, con valores máximos en estaciones frías y mínimos en estaciones cálidas, lo que son atribuidos a la variación estacional. Durante el año 2023 los niveles se mantienen en general con variaciones menores de nivel limnimétrico con aumentos y descensos estacionales esperados (detalles sección 5.4). En la Punta- La Brava, en relación con la data histórica los niveles se mantienen dentro de los rangos de oscilación natural, exceptuando los puntos LM-01 y LM-02 (La Punta), que muestran niveles mínimos en 2023. En Peine, el registro de los niveles limnimétricos para el año 2023 presenta escasa data, por lo que no es posible observar la oscilación estacional, en relación con la data histórica se mantienen los niveles dentro de los rangos de oscilación natural, excepto en el punto LM-17 (ubicado en avance laguna interna, por lo que muestra fluctuaciones) y E-4 que presenta mínimos históricos en 2023. En el sector Norte y Borde Este, durante el año 2023, al igual que para el sector de Peine, no se cuenta con todas las mediciones limnimétricas, principalmente, por restricción de acceso por parte de CONAF (carta N° 23/2022), se observan en general dentro de la oscilación natural, excepto en los puntos LM-11 y LM-13 en los cuales se observan niveles mínimos (2023).

6.1.5 Caudales Superficiales

En el presente subcapítulo, se muestran el análisis histórico conformada por 6 puntos de aforo (AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04, Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine (AFP-00 nombre en Adenda 5 del EIA del Proyecto)), todos localizados en el sector Peine. La distribución de los puntos se muestra en el mapa de la Figura 5-20. Además, se analiza en la presente sección, el límite comprometido para esta variable.

En la Tabla 6-11, se muestra el resumen de información de las mediciones por punto de aforo.

En la Figura 6-44 se muestra la evolución de los caudales desde el año 2014 a diciembre 2023, en cada uno de los puntos de medición mediante gráficos de caja. En estos se representan los percentiles 25% y 75% a través de los límites inferiores y superiores de la caja, mientras que los extremos de los bigotes representan el percentil 25 menos 1,5 veces el rango intercuartil y el percentil 75 más 1,5 veces el rango intercuartil para la estación. De manera complementaria se muestran los estadígrafos determinados para cada uno de los puntos de monitoreo para el período 2014 a 2023 en la Tabla 6-11.

Dentro del registro histórico de Anterepresa Tilomonte el dato de octubre de 2015 se considera como anómalo, no se consideró en los cálculos estadísticos Anterepresa Tilomonte, el que corresponde a 0,8 l/s en octubre de 2015. Este dato se considera anómalo para la distribución

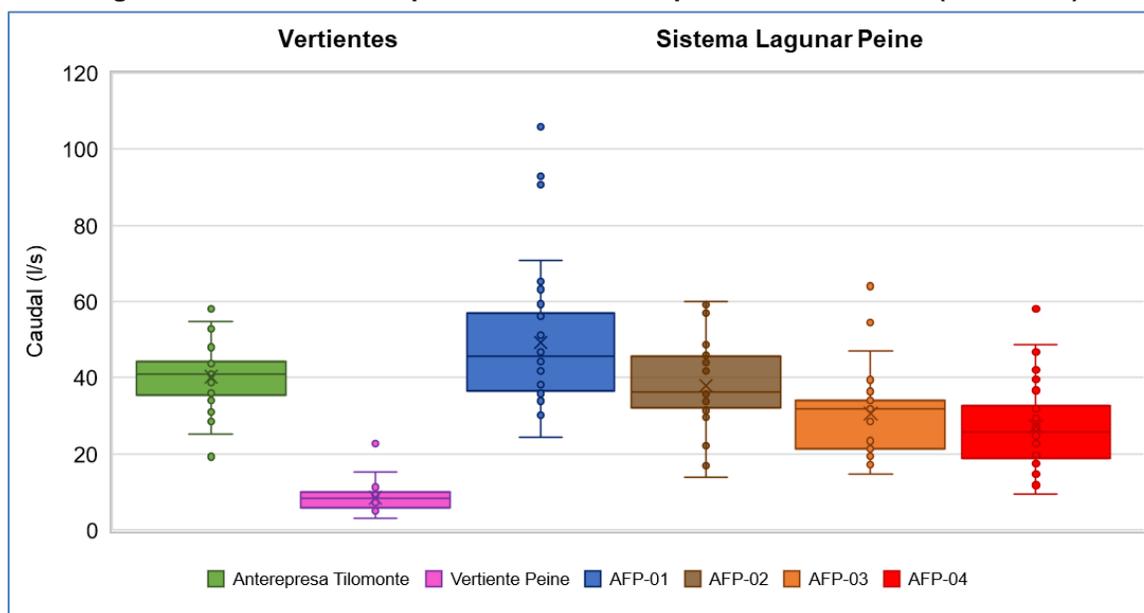
de caudales en el período de registro, por lo que se quitó de la serie de datos utilizados para determinar los estadígrafos, pero se mantuvo en el gráfico para evidenciar su existencia. Se observan mayores caudales en la quebrada asociada a la Anterrepresa Tilomonte (mediana 40,88 l/s) que en la Vertiente Peine (mediana 8,41 l/s).

A partir de la Figura 6-45 se puede observar la evolución espacial de los caudales aforados en el Sistema Lagunar Peine, donde la numeración de los puntos de monitoreo es creciente en sentido aguas abajo, se puede observar una disminución de caudal en dirección aguas abajo del sistema lagunar, observándose los mayores caudales en el punto AFP-01, con una mediana de 45,66 l/s, y los menores en la estación de aforo AFP-04, con una mediana de 25,87 l/s.

Además, en la Figura 6-45 se muestra la evolución temporal (2014 a 2023) de los caudales aforados en cada punto de monitoreo. En general, los caudales aforados durante el año 2023 se han incrementado respecto a años anteriores, específicamente en los puntos AFP, en los cuales se evidencia un aumento en los valores de la mediana en comparación a lo calculado para el año 2022 (a excepción del punto AFP-03), lo anterior reportado en el informe anual PSAH N°7 (ALBEMARLE-VAI, 2023).

El detalle de las mediciones de los caudales de aforo se encuentra en el Anexo E del presente informe.

Figura 6-44 Variación temporal de caudales superficiales Aforados (2014-2023)



Nota: Para el cálculo de esta tabla se usaron solo los valores ETFA.
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-11 Estadígrafos por punto de monitoreo de caudal

Punto de Monitoreo	Anterepresa Tilomonte	Vertiente Peine	AFP-01	AFP-02	AFP-03	AFP-04
N° Datos	47	48	39	33	27	42
Mínimo	19,24	3,00	24,28	13,99	14,74	9,38
P25	35,51	6,01	36,60	32,50	22,10	18,99
Promedio	40,24	8,50	49,24	37,96	30,64	27,29
Mediana	40,88	8,41	45,66	36,17	31,75	25,87
P75	44,23	9,99	57,06	45,56	33,76	32,49
Máximo	58,80	22,65	106,00	60,00	64,00	58,00
RIC(1)	8,82	4,06	20,66	13,44	12,87	13,95
Desviación Estándar	7,82	3,29	17,65	11,24	11,36	10,76

Notas: 1. Rango Inter Cuartil: corresponde a la diferencia entre el tercer y el primer cuartil (P75-P25).

2. Para el cálculo de esta tabla se usaron solo los valores ETFA.

Fuente: Elaboración propia

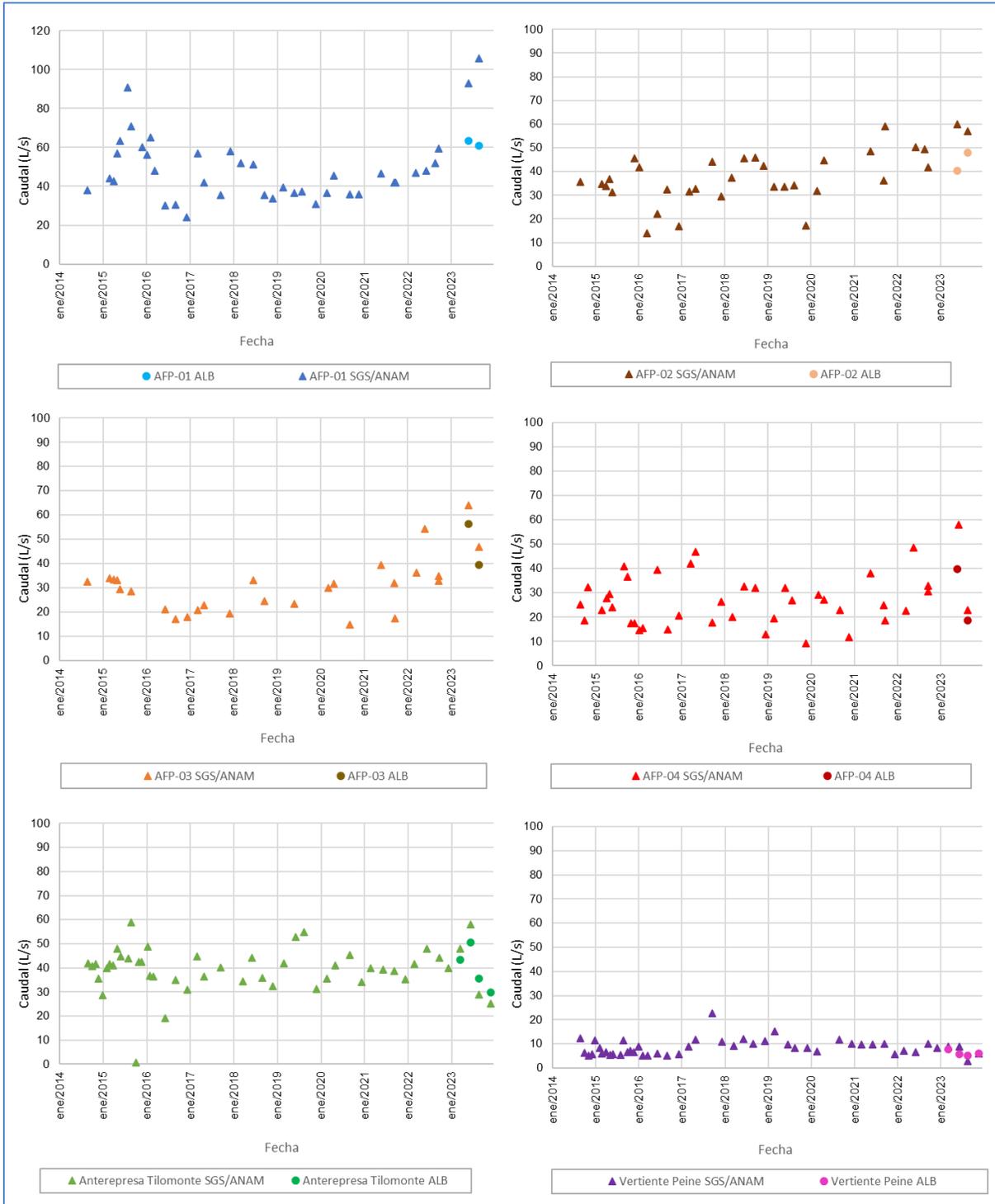
Entre el 2014 y 2019 se observa en AFP-01 una ligera tendencia al descenso, con una variación de hasta 66 l/s entre el mínimo y el máximo caudal registrado en este periodo, posteriormente entre el 2019 y 2021 se observa una leve tendencia al incremento de los caudales, para posteriormente en el 2022 y 2023 incrementar la tasa de incremento del caudal, alcanzando en el último año a máximos históricos (Figura 6-45).

Los puntos AFP-02, AFP-03 y AFP-04 muestran un aumento sostenido en sus caudales desde el 2020, registrándose los máximos históricos en el 2023 (Figura 6-45).

La Anterepresa Tilomonte se ha mantenido constante en las mediciones de sus caudales en casi todo su registro, entre el 2021 y 2022 se registró un incremento en las mediciones, para posteriormente en 2023 descender a valores más bajos (25,09 y 29 l/s en diciembre y septiembre respectivamente) respecto a la tendencia de los mínimos (Figura 6-45). La Vertiente Peine muestra un mínimo histórico en septiembre del año 2023 con de 3 l/s. Para el resto de los puntos de aforo, desde AFP-01 hasta AFP-04, se tiene que desde el año 2020 a la fecha los caudales aforados han ido con tendencia al aumento, presentándose en el 2023 con máximas históricas. Cabe destacar que las medidas tomadas por ALB dan con valores menores a los tomado por ETFA (SGS/ANAM).

En relación con el límite comprometido que es “*Mantener los caudales dentro de su variación histórica*” (ver tabla **Tabla 5-28**), en términos generales, ver Figura 6-45, todos los puntos monitoreados se encuentran dentro de su variación histórica, con excepción de Vertiente Peine que muestra mínimos históricos en 2023. Los puntos cercanos al sistema lagunar Peine muestran aumentos en su caudal y por otra parte los de monitoreo Anterepresa Tilomonte presenta descensos dentro del rango histórico.

Figura 6-45 Variación temporal de caudales superficiales Aforados



Fuente: Elaboración propia

6.1.6 Nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre

En el presente subcapítulo se presentan los resultados de las mediciones de nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre históricos, detalle de periodos de registro en la Tabla 5-18, Tabla 5-19, Tabla 5-20 y Tabla 5-21 . El análisis al igual que lo mostrado en la sección 5.6 se realiza en los 4 sectores mencionados (La Punta - La Brava, Peine, Norte - Borde Este, y Núcleo). Los resultados de las mediciones históricas en el Anexo F. Además, se analiza en la presente sección (subsección 6.1.6.5), el límite comprometido para esta variable.

6.1.6.1 Sector La Punta – La Brava

Al igual que lo presentado en la sección 5.6 los 39 puntos de monitoreo se han clasificado según su distribución espacial en 5 zonas (Zona Norte Lagunas, Zona Centro Lagunas, Zona Este Lagunas, Zona Sur Lagunas, y Zona Borde Sur (Tucúcaro y vegas de Tilopozo)). La ubicación de los puntos se exhibe en el mapa de la Figura 6-46, y más detalle se puede ver en la sección 5.6.

6.1.6.1.1 Zona Norte de las lagunas

En la Figura 6-46, se muestra el gráfico de la evolución (2013-2023) de los niveles freáticos para los 3 puntos monitoreados de esta zona (BA-01, BA-09, y BA-11) con tendencia histórica general al descenso. Los niveles presentan variaciones estacionales con niveles más bajos en los meses de estaciones cálidas (de verano), mostrando recuperación en los meses de estaciones frías.

En relación con los registros históricos de niveles considerados hasta el año 2023 (periodo de registro entre los años 2013 y 2023), se tiene que la cota de nivel de este subsector varía entre un mínimo de 2.298,915 y máximo de 2.299,723 m s.n.m. (medidos ambos en BA-11 en las fechas de febrero 2023 y febrero 2019, respectivamente). El descenso neto promedio para estos tres pozos entre diciembre de 2013 y diciembre de 2023 es de 37 cm.

En relación con la amplitud estacional promedio para todos los años de medición del orden de 16 cm para BA-01, 17 cm para BA-09 y 27 cm para BA-11.

En relación con las precipitaciones históricas los puntos BA-01, BA-09 y BA-11 se han mostrado sensibles a los eventos de precipitación importantes. Por ejemplo, posterior a las precipitaciones de 2019, se generaron aumentos de su nivel freático, de hasta 0,67 m (en el piezómetro somero BA-11) (Figura 6-46). En cambio, durante los años 2022 y 2023 los niveles freáticos de este sector no mostraron aumentos abruptos relacionados con las precipitaciones,

las cuales fueron mayores el año 2023³⁰. El último año (2023) se observa que los niveles se mantienen relativamente estables y con valores máximos superiores a 2022.

6.1.6.1.2 Zona Centro de las lagunas

En la Figura 6-46, se muestra el gráfico de la evolución histórica (2013-2023), de los niveles freáticos de todos los puntos monitoreados que incluye los 6 puntos de esta zona (BA-02, BA-03, BA-06, BA-10, BA-12 y BA-13), con tendencia general al descenso y los últimos dos años con una cierta estabilidad en los niveles. Se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de estaciones frías alcanzando su nivel máximo, en la mayoría de los puntos, en los meses de julio-agosto de cada año.

En relación con los registros de niveles considerados hasta el año 2023 (periodo entre los años 2013 y 2023), se tiene que la cota de nivel de este subsector varía entre 2.299,210 y 2.300,131 m s.n.m. medidos en BA-12 (febrero de 2023) y BA-02 (febrero de 2019), respectivamente. Los puntos BA-03 y BA-06, presentan descensos netos del orden de 10 cm; mientras que los puntos BA-02, BA-10, BA-12 y BA-13 presentan descensos netos entre 20 (BA-02) y 29 cm (BA-12), todos los descensos netos medidos entre diciembre 2013 y diciembre 2023.

En relación con la amplitud estacional promedio para todos los años de medición (2013-2023), ésta es del orden de 31 cm para BA-02, 22 cm para BA-03, 33 cm para BA-10, 38 cm para BA-12, 25 cm para BA-13, mayor que en la zona norte de las lagunas.

En relación con las precipitaciones los puntos de la zona Centro de lagunas, ha mostrado históricamente que son sensibles a los eventos de precipitación (Figura 6-46) como se ve en el aumento de niveles tras las precipitaciones de los años 2019 y 2020; sin embargo, durante el año 2022 las precipitaciones diarias ocurridas, fueron bajas, de sólo 0,8 mm/día, 2,7 mm/día y 0,4 mm/día (estación EM – Rockwood), por lo que no generaron aumentos abruptos de los niveles freáticos en la zona. Así como tampoco se observan saltos abruptos en febrero y marzo asociado a las precipitaciones del año 2023³¹.

6.1.6.1.3 Zona Este de las lagunas

En la Figura 6-46, se muestra la ubicación del punto BA-27, único punto de monitoreo de este sector, y el gráfico de la evolución histórica del nivel freático (2015-2023), se observa tendencia general al descenso, no obstante, los últimos dos años (2022 y 2023) se observa estable,

³⁰ 36,57 mm en febrero EM-Chaxa 21,1 mm y de en marzo en EM-Rockwood,

³¹ 36,57 mm en febrero EM-Chaxa, y de 21,1 mm en marzo en EM-Rockwood

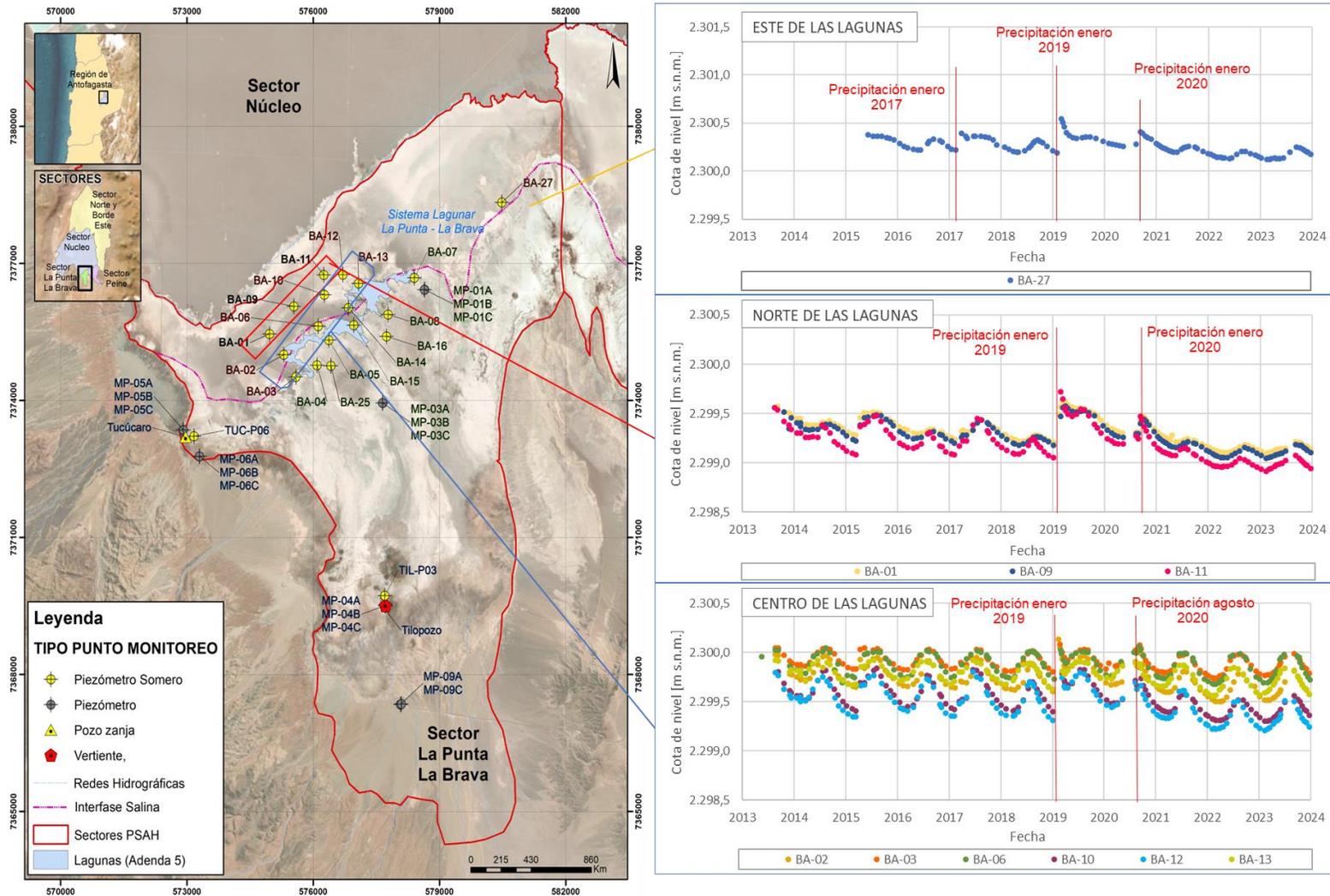
incluso con máximos similares este 2023 a 2021. Este punto muestra variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones más frías.

En relación con los valores históricos las cotas de nivel han variado entre 2.300,122 m s.n.m. (febrero 2023) y 2.300,546 (febrero 2019) m s.n.m., con un descenso neto de 15 cm (calculado entre diciembre 2015 y diciembre 2023).

Además, en la Figura 6-46 se observa que el comportamiento del BA-27 es similar al de los piezómetros someros ubicados al norte de las lagunas, más cercanos al núcleo, con amplitudes de oscilación estacional promedio de 15 cm similares a BA-01 y BA-09.

En relación con las precipitaciones históricas, el punto BA-27, también responde con “saltos” posteriores a los eventos de precipitación importantes, con el máximo aumento de 0,355 m luego de las precipitaciones de enero 2019 (27,8 mm/mes-EM-Rockwood) y un aumento de 0,129 m luego de las precipitaciones de agosto de 2020 (23,8 mm/mes-EM-Rockwood). No obstante, durante los años 2021 y 2022, los niveles freáticos del BA-27 tampoco mostraron aumentos abruptos, ya que las precipitaciones ocurridas fueron muy bajas. Al igual que en 2021 y 2022, en el año 2023 no muestra saltos abruptos relacionados con las precipitaciones, si bien el año 2023 si registra precipitaciones importantes en marzo (21,2-EM-Rockwood).

Figura 6-46 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava



Nota: Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood
 Fuente: Elaboración propia

6.1.6.1.4 Zona Sur de las lagunas

En la zona Sur de las lagunas, se monitorean 14 puntos (8 son piezómetros someros y 6 multipiezómetros, ver Tabla 5-18). Estos puntos cuentan con datos desde el año 2013 a 2023, ver Tabla 5-18. Las mediciones históricas se presentan en el Anexo F.

En la Figura 6-47 se muestra la ubicación y el gráfico de la evolución histórica del nivel freático (2013-2023) de los 14 puntos monitoreados en esta zona, 11 muestran tendencias al descenso, relacionado posiblemente a los conos de descenso producto de los bombeos que se han realizado en el sector sur de la cuenca (campos de pozos del sector Monturaqui y Negrilla en la cabecera de la cuenca). Los puntos de esta Zona Sur presentan un comportamiento homogéneo y oscilante, aunque con una menor amplitud en la variabilidad estacional que lo observado en la Zona Norte y Centro. Los niveles más someros se miden durante meses de junio y agosto, y los niveles más profundos durante los meses de enero y febrero, con excepción de los puntos BA-25 y el MP-01C, que muestra una menor oscilación estacional. Los puntos MP-01B y MP-03B muestran un comportamiento similar a los MP-03A y MP-03C, y MP-03A y MP-03C, respectivamente, por lo que se analizan juntos (más detalles en la sección 5.6.1.4).

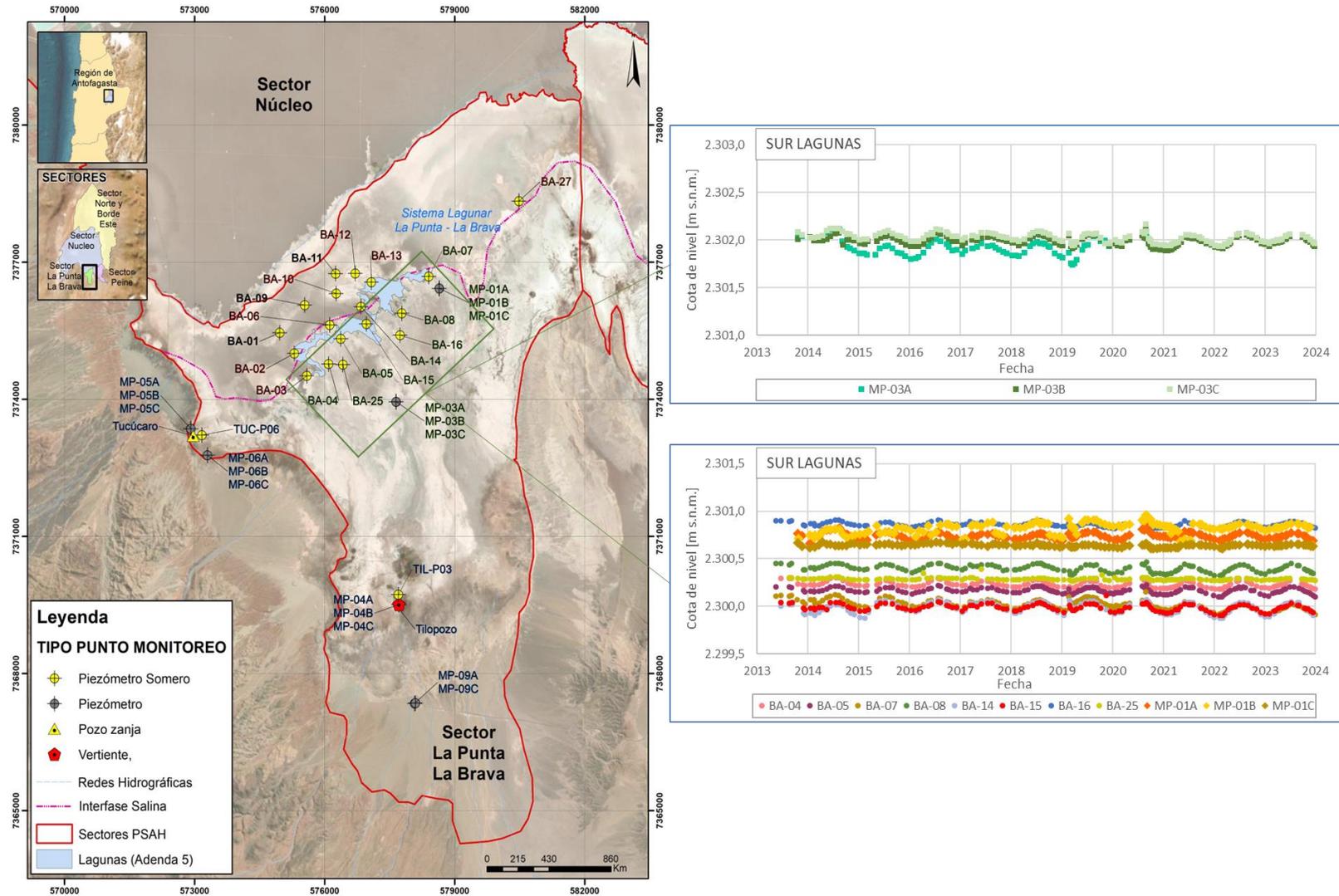
Los niveles históricos hasta el año 2023, muestran variaciones entre 2.299,872 m s.n.m. y 2.302,167 m s.n.m., medidos en BA-14 en febrero 2022 y en MP-03C en agosto 2020, respectivamente.

Respecto a las variaciones de nivel neto, los valores históricos muestran una tendencia con leves descensos y con un comportamiento distinto a las zonas anteriores. Los puntos MP-01B y MP-01C muestran un ascenso neto de 13 (calculado entre octubre 2013 y octubre 2023) y 1 cm (calculado entre noviembre 2013 y noviembre 2023), respectivamente. El punto MP-03B, muestra niveles estables 0 cm (calculado entre octubre 2013 y diciembre 2023). Y los descensos netos, en los puntos BA-04, BA-05, BA-08, BA-14, BA-15, BA-16, BA-25, MP-01A, MP-03A y MP-03C, registran valores de 1 cm (BA-14 y BA-25, calculado entre octubre 2013 y octubre 2023) a 5 cm (MP-01A, BA-05 y MP-03C) y el punto con mayor descenso del sector el punto BA-07.

En relación con la amplitud estacional promedio, esta varía entre 7 cm (BA-16) a 17 cm (MP-03A) para todos los años del registro histórico; a excepción de los pozos BA-25 y MP-01C los cuales presentan amplitudes promedio de 4 cm, menores al promedio regional.

En relación con las precipitaciones históricas del área, los puntos de esta zona muestran respuesta clara de aumento de niveles luego del evento de precipitación de enero 2019 y agosto 2020.

Figura 6-47 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

6.1.6.1.5 Zona Borde Sur

En la zona Borde Sur, más al Sur de las lagunas, se monitorean los niveles freáticos de 15 puntos, más detalle en la sección 5.6.

En los hidrogramas de las Figura 6-48 y Figura 6-49 se hace la distinción entre los piezómetros MP de la serie B, dado que están habilitados más profundos que el resto de los puntos y muestran un comportamiento distinto, asociado a que estos monitorean la salmuera que está en profundidad.

Sector Tucúcaro

En la Figura 6-48, se muestra el gráfico de la evolución histórica del nivel freático del sector, de los puntos monitoreados MP-05A, MP-05C, MP-06A, MP-06C, TUC-P06 y pozo Tucúcaro (el cual presenta un periodo de registro desde 2001, pero para hacerlo comparable con los otros puntos se grafica desde el 2013), los que exhiben tendencia general al descenso leve son MP-06A, MP-06C y TUC-P06. Se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas recuperándose en los meses de estaciones frías.

Los valores históricos de niveles entre 2013 y 2023 varían entre 2300,431 y 2304,024 m s.n.m., medidos en TUC-P06 (febrero 2021) y MP-06C (julio 2015), respectivamente (no se consideran los de la serie B).

De los puntos MP-05A, MP-05C, MP-06A, MP-06C y TUC-P06, el punto MP-05C muestra niveles con ascensos históricos netos de 31 cm (calculado entre noviembre 2013 y noviembre 2023), y el resto de los puntos muestran niveles con descensos netos históricos entre 5 cm (MP-05A, calculado entre diciembre 2013 y diciembre 2023) y 26 cm (TUC-P06, calculado entre noviembre 2013 y noviembre 2023).

Por otra parte, el punto Tucúcaro, también muestra ascenso en el nivel de 18 cm (calculado entre diciembre 2013 y diciembre 2023), el pozo Tucúcaro, se utiliza para la extracción de agua dulce-salobre para su posterior uso industrial, presenta un registro oscilante de niveles, esto es dado que presenta niveles dinámicos.

Los multipiezómetros MP-05A y MP-05C presentan un comportamiento sincrónico entre ambos. Los puntos MP-06A y MP-06C, presentan la cota de nivel más alta del sector, registran valores acotados entre el rango 2.298,982 m s.n.m. y 2.304,166 m s.n.m., con un comportamiento sincrónico entre ellos, y una leve tendencia histórica al descenso.

En la Figura 6-48 se observan los multipiezómetro MP-05B y MP-06B (habilitado entre 40 y 60 m b.n.t.). El multipiezómetro MP-05B presenta un descenso abrupto de su cota de 0,838 m en

su registro de junio de 2016, iniciando una tendencia al descenso que se mantuvo hasta mayo de 2020. Posteriormente, desde el año 2021, los niveles siguen descendiendo a una tasa menor. Los valores históricos de niveles entre 2013 y 2023 varían entre 2298,283 m s.n.m. (diciembre 2023) y 2301,694 m s.n.m. (octubre 2013), el descenso neto histórico de este punto es de 237 cm entre octubre de 2013 y octubre de 2023. En el mismo grafico se presentan los niveles medidos en el punto MP-06B, con un comportamiento irregular hasta mediados del 2017, momento en que muestra un comportamiento más estable incluso con niveles ascendientes. Los valores históricos de niveles entre 2013 y 2023 varían entre 2298,982 m s.n.m. (junio 2016) y 2304,166 m s.n.m. (abril 2019), los ascensos netos históricos son de 98 cm entre octubre de 2013 y octubre de 2023.

Sector Vegas de Tilopozo

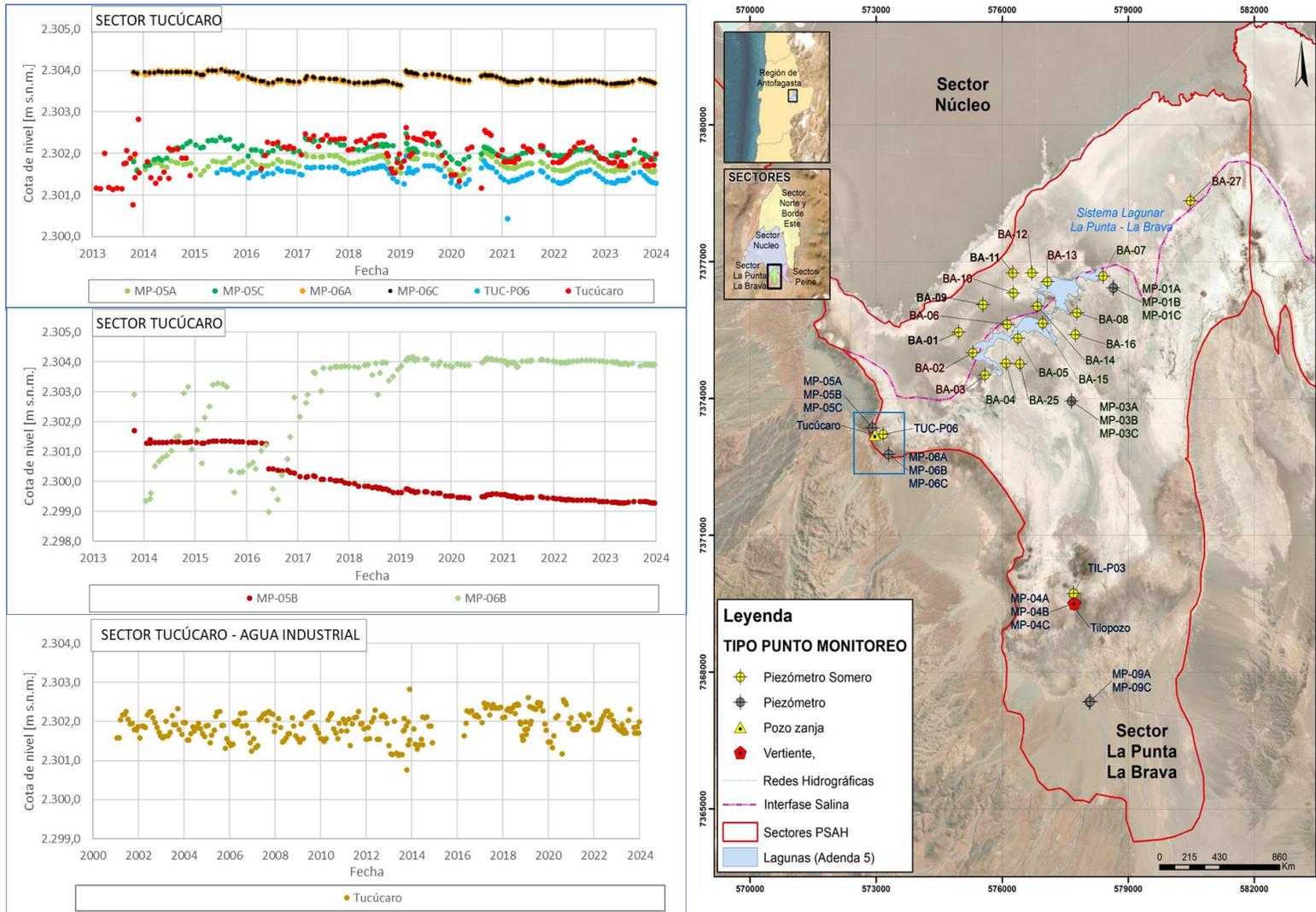
En la Figura 6-49, se muestra el gráfico de la evolución histórica (de 2013 a 2023) del nivel freático para los puntos (MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C, Tilopozo y TIL-P03) monitoreados en el sector. Se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas recuperándose en los meses de estaciones frías. Destaca la tendencia al descenso de los puntos MP-09A y MP-09C, estos descensos estarían relacionados con la llegada de los efectos de la extracción de agua industrial en el sector de Monturaqui y Negrillar.

Se tiene que los puntos MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C y TIL-P03, varían entre 2305,375 y 2309,268 m s.n.m. medidos en TIL-P03 (febrero 2022) y MP-09C (febrero 2019). Y muestran descensos netos históricos entre 6 cm (MP-04A) y 22 cm (TIL-P03) (calculado entre noviembre 2013 y noviembre 2023 para el punto MP-04A y entre diciembre de 2015 y diciembre de 2023, en el punto TIL-P03).

Se observa que en el punto de Tilopozo, (Figura 6-48) que se utiliza para la extracción de agua dulce-salobre para su posterior uso industrial. Si bien, en su registro histórico muestra descensos de nivel en toda su data de 11 cm (calculado entre diciembre 2001 y 2023,), pero desde el año 2019 a la fecha, se observa un tendencia al ascenso. Este punto presenta variabilidad en sus niveles dado que se miden niveles dinámicos.

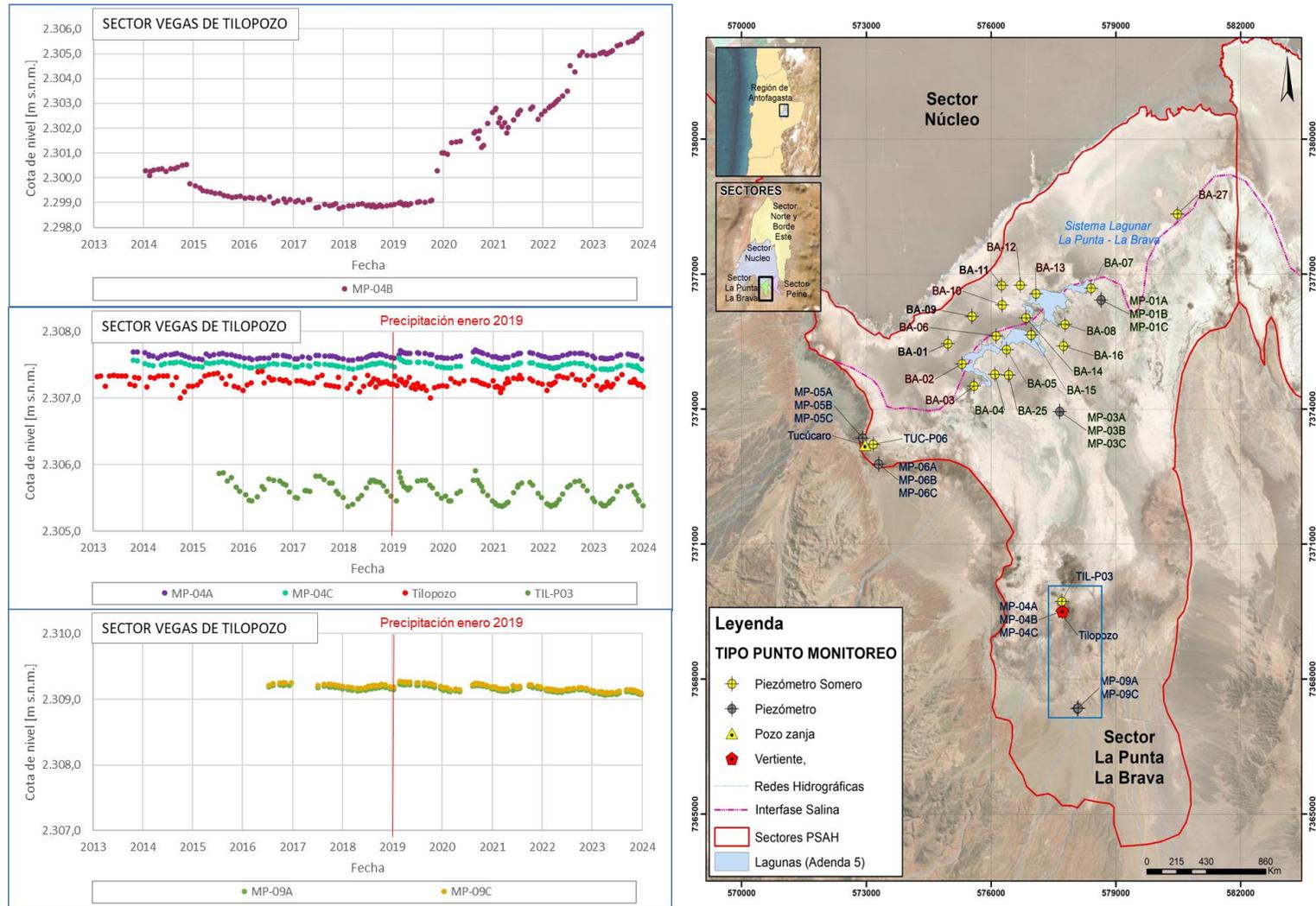
Por otra parte, el piezómetro MP-04B, al igual que MP-05B y MP-06B, habilitados en salmuera es un punto que se comporta diferente en relación con las tendencias de los puntos cercanos. Hasta el año 2023 (periodo de registro entre los años 2016 y 2023) muestra variaciones entre 2298,763 (diciembre 2017) y 2305,808 (diciembre 2023) m s.n.m. Con un ascenso neto histórico de 602 cm (6,02 m) (calculado entre diciembre de 2014 y diciembre de 2023).

Figura 6-48 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Sur 1, sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-49 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Sur 2, sector La Punta-La Brava



Nota: Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood
 Fuente: Elaboración propia

6.1.6.2 Sector Peine

A continuación, se realiza el análisis histórico de la evolución temporal del nivel freático, y se presenta la gráfica (Figura 6-50 y Figura 6-51), de los 21 puntos de niveles del sector Peine (9 piezómetros someros, 9 multipiezómetros y 3 pozos), este sector se analiza según las zonas mencionadas en la sección 5.6 (Zona Laguna Interna, Zona Media Lagunas, Zona Inicio Laguna Salada y Zona Borde Este y Sur de Peine).

Los resultados de las mediciones históricas se presentan en el Anexo F.

Cabe destacar que, en este sector, existe restricción de acceso en el periodo estival para todos los puntos cercanos al sistema lagunas Peine, por ende, se pierden alrededor de 6 meses de dato, esto influye directamente en los análisis. El detalle se presenta en la sección 5.6.2.

6.1.6.2.1 Laguna Interna

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en la Figura 6-50 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

Los niveles históricos de esta zona entre 2013 y 2023 varían entre un mínimo de 2298,133 y un máximo de 2299,717 m s.n.m. medidos en MPS-CC (octubre 2023) y BA-23 (febrero 2019), respectivamente.

Todos los puntos, muestran niveles con descensos netos entre 27 cm (BA-23) y 64 cm (BA-18) (calculado entre octubre 2013 y octubre 2023, en ambos puntos).

En el gráfico de la Figura 6-50 se observa que el conjunto de pozos de observación de la zona Laguna interna, describen un comportamiento sincrónico y exhiben una respuesta frente a las precipitaciones y a los descensos de nivel del núcleo. Los niveles mínimos se registran entre los meses de octubre y diciembre de cada año, y los máximos se alcanzan como respuesta a los eventos de precipitación, entre los años 2013 y 2019 ocurridos entre los meses de enero y mayo. Como respuesta a la precipitación los niveles pueden subir hasta 0,85 m respecto a su medida anterior (diferencia calculada en MPS-CB, entre enero y febrero de 2019). En el caso particular del año 2020, el evento de precipitación al cual responden los niveles ocurrió en el mes de agosto.

6.1.6.2.2 Zona Media Lagunas

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en la Figura 6-50 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

Los niveles históricos de esta zona entre 2013 y 2023 varían entre 2299,381 y 2300,332 m s.n.m. medidos en MPS-AC (enero 2015) BA-22 (septiembre 2020), respectivamente.

Todos los puntos, muestran niveles con descensos netos entre 2 cm (BA-22) y 7 cm (MPS-AC) (calculado entre octubre 2013 y octubre 2023, en ambos puntos).

Los niveles mínimos se registran en los meses más cálidos entre octubre y marzo de cada año, y los máximos se alcanzan como respuesta a los eventos de precipitación, entre los años 2013 y 2021. Los niveles muestran ascensos menores posterior a los eventos de precipitación respecto a lo que se observa en la Zona Laguna Interna con incrementos del nivel de hasta 0,156 m (MPS-AB) en respuesta al evento de precipitación intensa del año 2019.

A medida que los puntos de monitoreo se alejan del borde del Núcleo del salar, el grado de respuesta asociada a los eventos de precipitación disminuye.

6.1.6.2.3 Inicio Laguna Salada

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en la Figura 6-50 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector (BA-28 y BA-30).

Los niveles históricos de esta zona desde el año 2013 a han variado entre 2300,599 y 2301,652 m s.n.m. medidos en BA-28 (febrero 2016) y BA-30 (septiembre 2020), respectivamente.

El punto BA-28 muestra niveles netos estables con 0 cm y el punto BA-30 muestra descensos netos de 3 cm, ambos calculados entre septiembre 2015 y septiembre 2023, por falta de disponibilidad de datos. No obstante, en estos dos puntos, se observan una tendencia general al ascenso de niveles.

En el gráfico de la Figura 6-50 se observa que ambos piezómetros describen un comportamiento sincrónico y estacional, con niveles máximos que se registran entre junio y septiembre, y mínimos entre diciembre y marzo.

Los niveles de BA-28 tanto como los niveles de BA-30 responden con subidas leves frente a los eventos de precipitación ocurridos en 2017 y 2019; por ejemplo, en BA-28 los niveles suben entre 0,08 m (entre agosto y septiembre 2020) posterior a los eventos de precipitaciones, en el punto BA-30, en el evento de precipitación de 2020, éste mostró un ascenso de 0,06 m (entre agosto y septiembre 2020), ver Figura 6-50 además el punto BA-28 responde con alzas de niveles de hasta 0,11 m, en respuesta al evento de precipitación intensa del año 2019, a diferencia del BA-30, que no muestra respuesta a este evento.

En esta zona, los niveles mantienen un comportamiento estacional oscilatorio, a diferencia de lo que se observa en las zonas más al norte, en zona Laguna Interna y zona Media de Lagunas en las cuales no se observa este mismo comportamiento estacional oscilatorio.

6.1.6.2.4 Borde Este y Sur de Peine

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en Figura 6-51 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

Los niveles históricos de esta zona registrados entre los años 2016 y 2023 varían entre 2302,362 y 2308,754 m s.n.m. medidos en MP-08A (enero 2012) y PP-03 (febrero 2019), respectivamente.

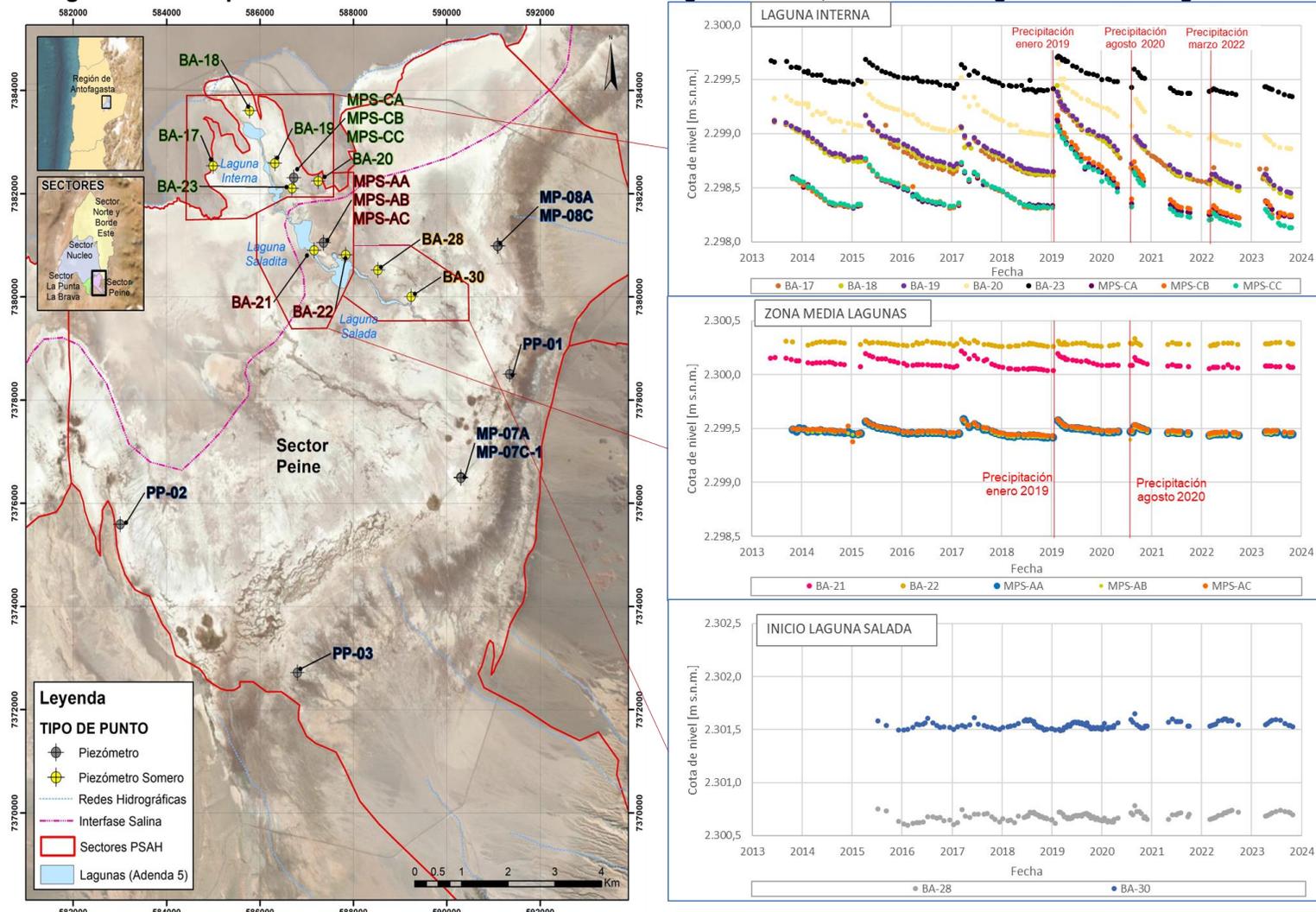
Los puntos MP-7A, MP-07C-1, MP-08A, PP-02 y PP-03, muestran niveles con ascensos netos entre 5 cm (PP-02) y 20 cm (MP-08A), ambos calculados en diciembre 2016 y diciembre 2023). Por otro lado, el punto PP-01 muestra un descenso neto histórico de 4 cm calculado entre diciembre 2016 y diciembre 2023.

Destaca en este sector la presencia de niveles surgentes ocasionales, en los puntos PP-02, MP-07C-1 y PP-03, con niveles medios hasta 0,21 m s.n.t. (metros sobre el nivel de terreno) (PP-02 en junio de 2021). Los niveles de estos puntos durante el periodo histórico de registros se observan estables.

El 23 de mayo de 2022, la obra superficial (brocal) del punto PP-02 fue chocada por una camioneta, hecho que eventualmente pudiera alterar las mediciones posteriores en ese punto. Este hecho se dio a conocer a la autoridad ambiental mediante la entrega del informe “reporte del evento ocurrido en punto de monitoreo PP-02” y carta ALB-GMA-2022-SMA-030 (Anexo M).

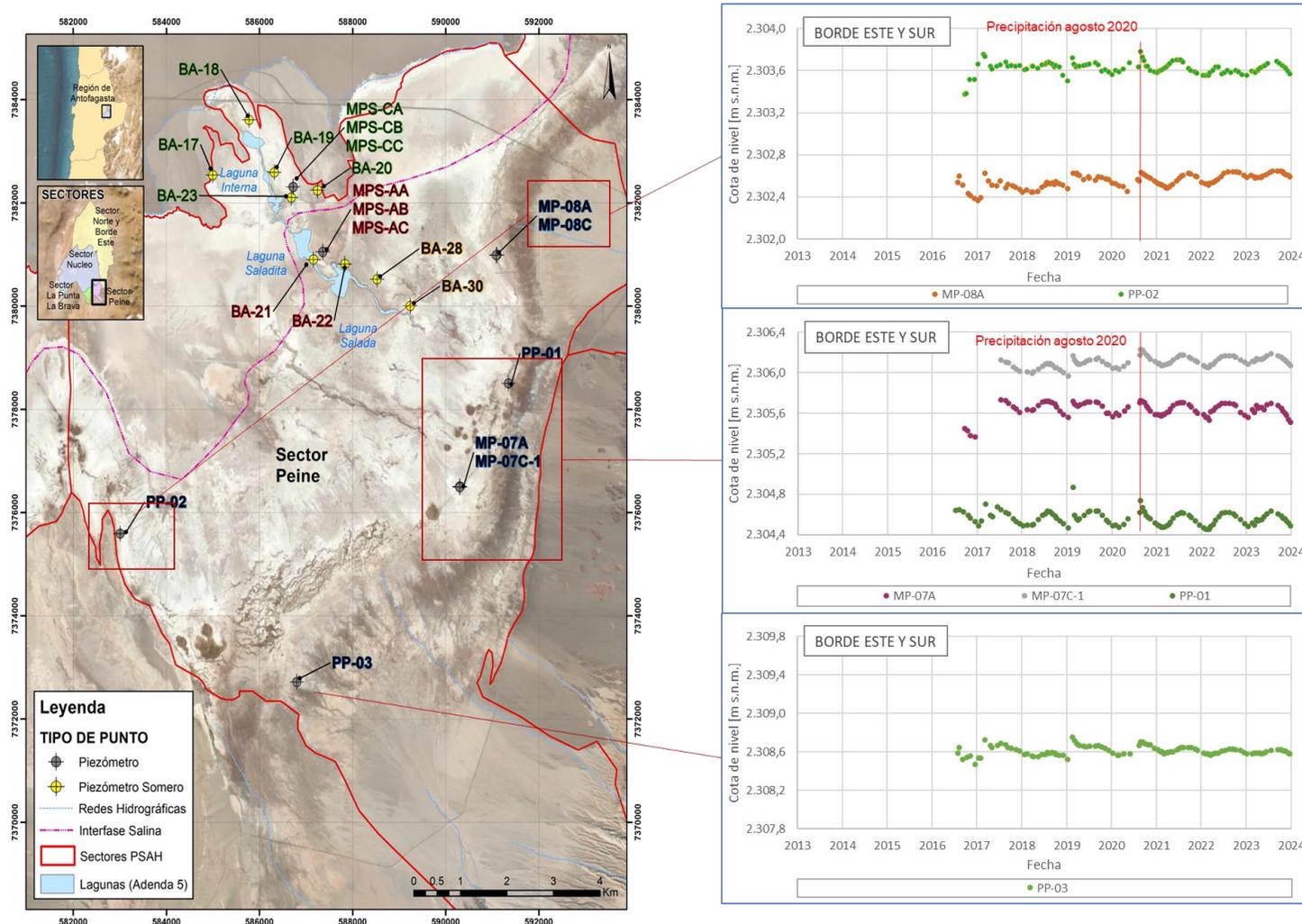
Todos los puntos de control del sector Borde Este y Sur de Peine, incluyendo los puntos con niveles surgentes, muestran un comportamiento sincrónico, con oscilaciones estacionales y respuestas a los eventos de precipitación con ascensos bruscos y puntuales de los niveles, con magnitudes distintas entre los puntos. Los niveles máximos se registran entre julio y septiembre, y mínimos entre enero y marzo.

Figura 6-50 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine



Nota: Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-51 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Bordo Este y sur de Peine



El punto MP-08C no tiene datos, dado que MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016.

Nota: Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood

Fuente: Elaboración propia

6.1.6.3 Sector Norte y Borde Este

La representación gráfica del registro histórico de niveles de estos puntos se presenta en la Figura 6-52, y los registros históricos se presentan en el Anexo F.

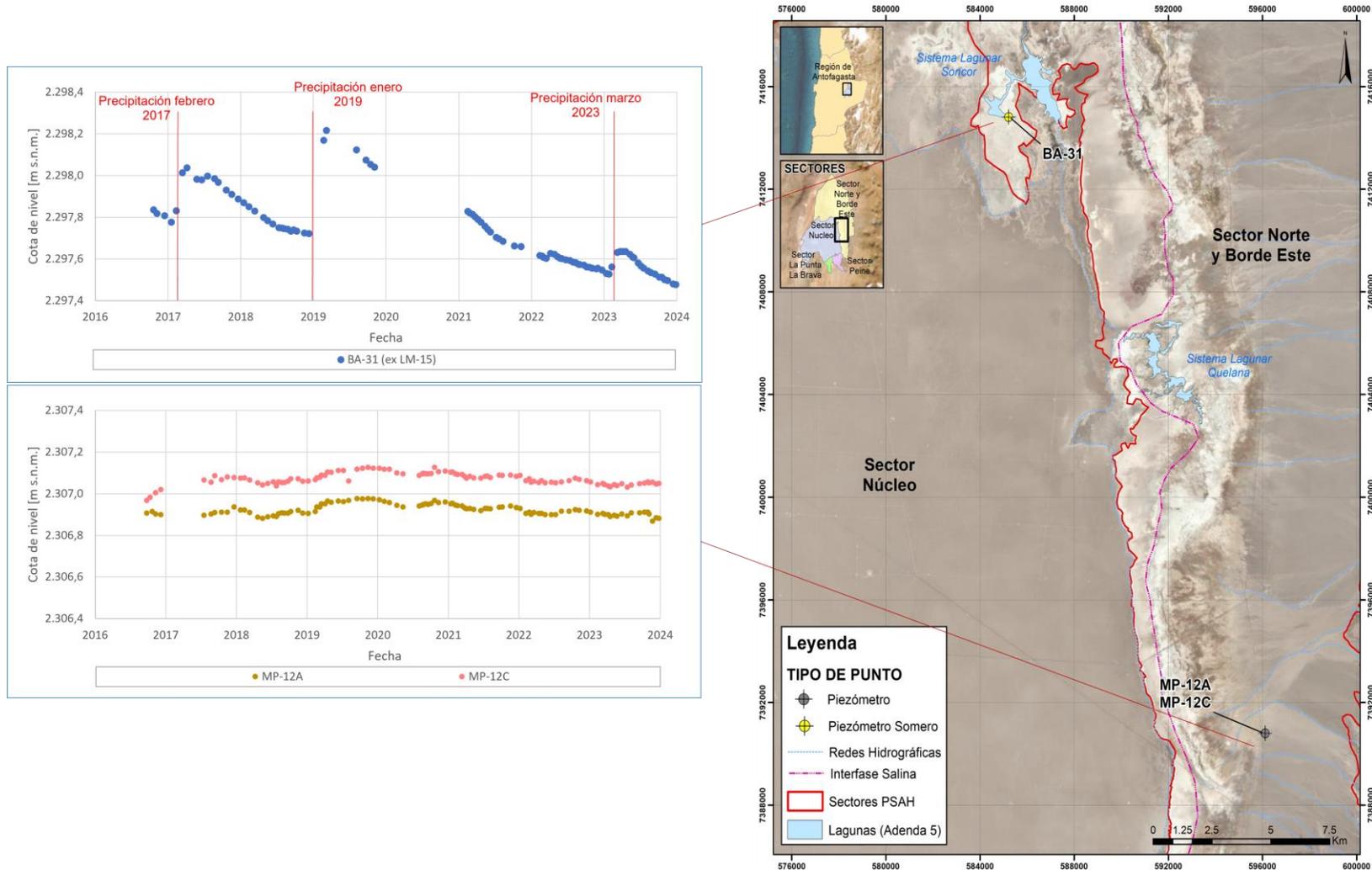
Los niveles históricos desde 2016 a 2023 en los 3 puntos de este sector Tabla 5-20, han variado entre 2297,660 y 2307,127 m s.n.m. medidos en BA-31 (ex LM-15) (noviembre 2021) y MP-12C (noviembre 2019), respectivamente.

El piezómetro BA-31 no se mide durante el año 2020 por encontrarse cerrada la Reserva Nacional Los Flamencos, administrada por CONAF, en el contexto de la pandemia por COVID-19. En los años 2022 y 2023 se cuenta con datos desde febrero a diciembre.

En la Figura 5-27 se observa que el punto BA-31, presenta descensos netos históricos de 33 cm (calculado entre diciembre de 2016 y diciembre de 2023), y muestra una rápida respuesta a eventos de precipitación intensa, evidencia de esto es el aumento de nivel de 0,44 m posterior a las precipitaciones ocurridas en enero-febrero 2019, y el menor aumento relacionado con la precipitación de marzo 2022, y no se observa respuesta a las precipitaciones de 2023. Posterior a las precipitaciones, los niveles retoman la tendencia pre-lluvia, similar a lo observado en los puntos de la zona Laguna Interna del sector Peine.

En cuanto al registro de los puntos MP-12A y MP-12C, se observa que ambos pozos presentaron una tendencia de aumento de niveles hasta la mitad del 2021 y luego una tendencia al descenso hasta el año 2023. No obstante, desde el inicio de las mediciones hasta ahora (2016-2023), en el punto MP-12A se observa un descenso de 2 cm y en el punto MP-12C un ascenso neto de 3 cm, ambos calculados entre noviembre 2016 y noviembre 2023, no se usa diciembre dado que este punto fue chocado en diciembre 2023. La recarga en la zona Este se deduce que ocurre principalmente por flujos de aporte subsuperficial y subterráneo, y en menor escala por precipitaciones y aportes superficiales, reconociéndose períodos de aumento tanto en los meses de verano como en los meses de invierno.

Figura 6-52 Mapa de ubicación puntos de monitoreo sector Norte y Borde Este



Nota: Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood
 Fuente: Elaboración propia

6.1.6.4 Sector Núcleo

En el Sector Núcleo la red de monitoreo se compone de 61 puntos, según se aprecia en Tabla 5-21, donde además se detalla el periodo registros que iniciaron entre los años 1985 y 2016. De estos 57 son piezómetros, 3 pozos de extracción y 1 zanja (Zanja Camino a Peine). La ubicación de los puntos se exhibe en el mapa de la Figura 6-53, y los registros históricos se presentan en el en Anexo F.

El análisis de la evolución temporal del nivel freático en el sector Núcleo se presenta a continuación.

- Núcleo Centro Norte
- Núcleo Oeste
- Núcleo Este
- Zona de Producción

6.1.6.4.1 Núcleo Centro Norte

En la zona Núcleo Centro Norte, se monitorean 13 piezómetros desde el año 2016, que son: ES-01, ES-02, ES-03, ES-04, ES-05, ES-06, ES-07, ES-08, ES-09, ES-10, ES-11, PN-18 y PN-19, la ubicación de estos puntos Figura 6-3. Estos puntos cuentan con datos desde el año 2016 a 2023, ver Tabla 5-21. Los resultados de las mediciones históricas se encuentran en el Anexo F.

Los niveles históricos desde el año 2016 al 2023 variaron entre un mínimo de 2.297,214 y un máximo de 2.298,896 m s.n.m. en los puntos PN-19 (diciembre de 2023) y ES-09 (febrero de 2019), respectivamente.

Todos los puntos, muestran niveles con descensos netos entre 27 (ES-09 cm) y 30 cm (ES-02 y ES-04), calculado en ambos entre diciembre 2013 y diciembre 2023.

Todos los pozos del sector presentan un comportamiento similar y sincrónico, con rápidas respuestas a eventos de precipitación intensa como los ocurridos en febrero 2019 y agosto de 2020, por ejemplo, en el evento de precipitaciones de enero del año 2019, generaron aumentos de nivel de 0,67 en PN-19 y 0,89 m en ES-11 (medidos entre enero y febrero 2019).

6.1.6.4.2 Núcleo Oeste

En la zona Núcleo Oeste, se monitorean desde el año 2001 dos piezómetros, CS-01 y SAMPLE-4A, que reemplazaron a los puntos Zanja Cordillera de la Sal y SAMPLE-4 respectivamente, según se aprecia en la Tabla 5-21. La ubicación de los puntos de monitoreo

de nivel freático en el sector Núcleo Oeste se presentan en el mapa de la Figura 6-53. Los resultados de las mediciones históricas se encuentran en el Anexo F.

Los niveles históricos de estos pozos han variado entre un mínimo de 2.292,230 (SAMPLE-4A diciembre de 2023) y máximo de 2.299,671 m s.n.m (SAMPLE-4, abril de 2002). Mostrando un descenso de nivel para este sector entre 656 cm (6,6 m) en CS-1 (ex de Zanja Cord. Sal) y 730 cm (7,3 m) en Sample-4A, calculado entre diciembre de 2001 y diciembre de 2023, coherente con la cercanía a las áreas activas de bombeo y extracción de salmuera por parte de SQM y Albemarle.

6.1.6.4.3 Núcleo Este

En la zona Este, se monitorean 25 puntos, que corresponde a 24 piezómetros y 1 a una zanja que son: CL-6, P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, PN-02, PN-03, PN-04, PN-05B, PN-06, PN-07, PN-08A, PN-09, PN-10, PN-11, PN-13, PN-14B, PN-15, PN-16B, S-1, S-2-1³² (ex S-2), S-3, S-4 y Zanja Camino a Peine, según se aprecia en la Tabla 5-21, cuya ubicación se presenta en el mapa de la Figura 6-54. Los que cuentan con registros más antiguos iniciaron sus mediciones en 1989 (Tabla 5-21); el conjunto de mediciones históricas se presenta en el Anexo F.

Los puntos con mayores periodos de registro son S-1, S-3 y S-4, con datos desde 1989 a la actualidad, y los que presentan registros más cortos, por ser nuevos puntos de monitoreo, son los de la serie PN-XX, con registros desde el año 2016 en adelante.

Los niveles históricos en esta zona han variado entre un mínimo de 2.297,227 m s.n.m. (PN-03, diciembre de 2023) y máximo de 2.299,968 m s.n.m. (Zanja Camino a Peine, marzo de 2002).

Los descensos de niveles netos calculados en este sector se presentan entre 10 cm (PN-16B, calculado entre diciembre 2014 y diciembre 2023) y 97 cm (CL-6, calculado entre diciembre 2001 y diciembre 2023). Con mayores descensos se observan en los puntos S-1, S-3 y S-4, Con descensos netos de entre 127 cm (1,27 m) y 146 cm (1,46 m), en todos los puntos calculados entre diciembre 1986 y diciembre 2023, esto coincide con que son los puntos que presentan mayor periodo de registro de aproximadamente 24 años, por lo que no necesariamente son puntos que muestren más descensos, sino que presentan mayor registro.

El comportamiento de los niveles de todos los puntos es sincrónico con la tendencia general al descenso ya mencionada, que se interrumpe con las recuperaciones de niveles que

³² El pozo S-2-1, fue construido en 2019, para reemplazar al pozo S-2 (Tabla 5-21), que se había secado en mayo de 2019, y de esta manera tener continuidad de datos en su ubicación.

provocan los eventos de precipitación intensas como las observadas en marzo 2013, abril 2015, febrero 2017, marzo 2019 y agosto 2020. Entre los años 2002 y 2013 no se generaron recuperaciones de nivel por este fenómeno, debido a la ausencia de precipitaciones significativas. En el año 2022, las precipitaciones bajas de marzo (de 2,7 mm medida en EM-Rockwood y de 9,8 mm medida en EM-Chaxa) generaron aumentos en los niveles pequeños y puntuales. Se observa respuesta a las precipitaciones registradas en Chaxa en el mes de febrero (30,97 mm/mes) y Rockwood en el mes de marzo 2023 (21,2 mm/mes).

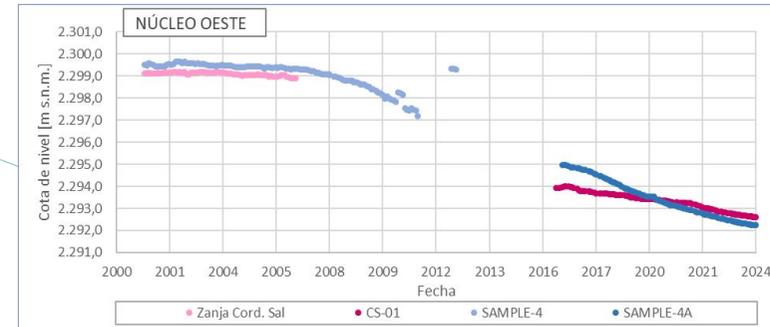
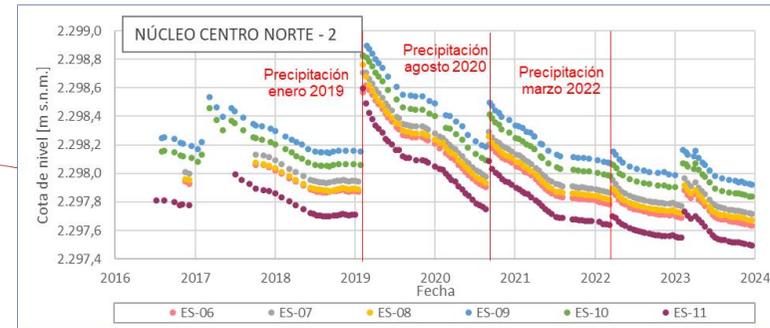
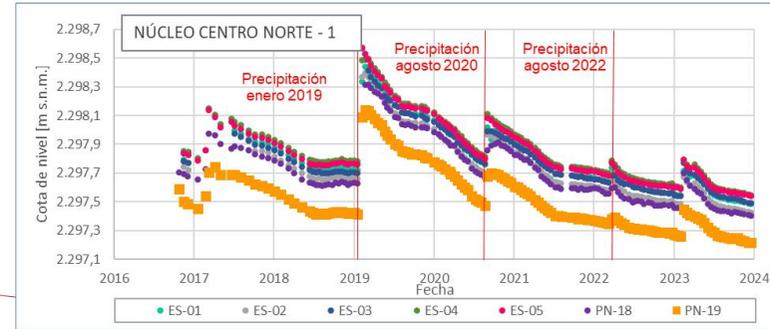
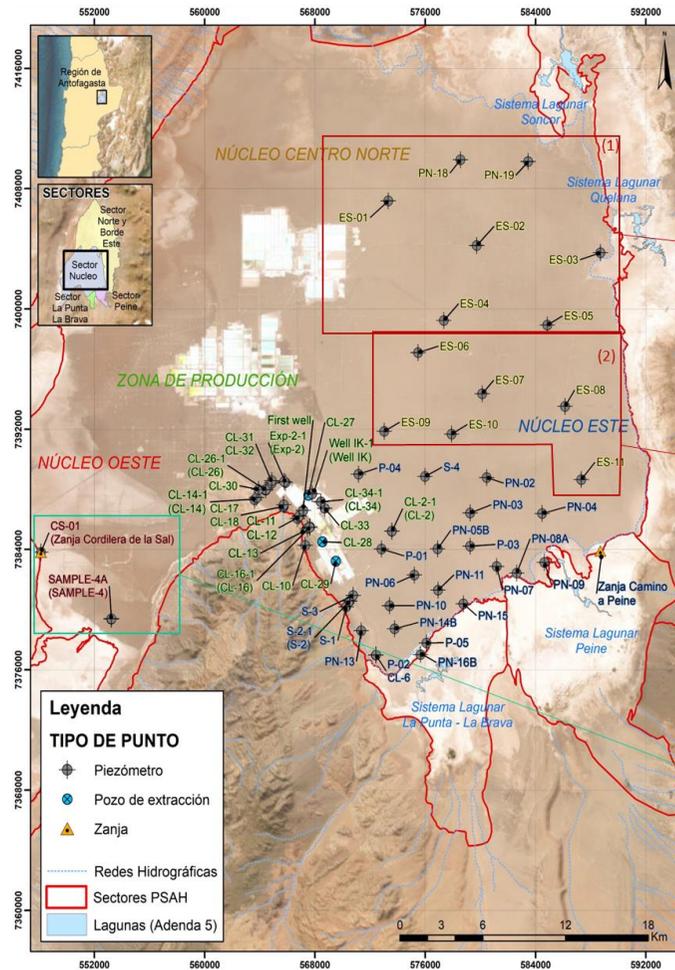
6.1.6.4.4 Zona de Producción

En la Zona de Producción, se monitorean 21 puntos desde el año 1985 o 2001 (Tabla 5-21), y cuya ubicación se muestra en la Figura 6-55. Los resultados de las mediciones históricas se presentan en el Anexo F. Los puntos CL-13 y CL-10 se encontraron secos durante todo el año 2022, excepto el punto CL-10, en abril 2022.

Los niveles históricos de esta zona entre los años 1985 y 2023 variaron entre un mínimo de 2.285,184 y un máximo de 2.300,780 m s.n.m. en CL-12 (diciembre de 2023) y CL-28 (marzo de 2013), respectivamente.

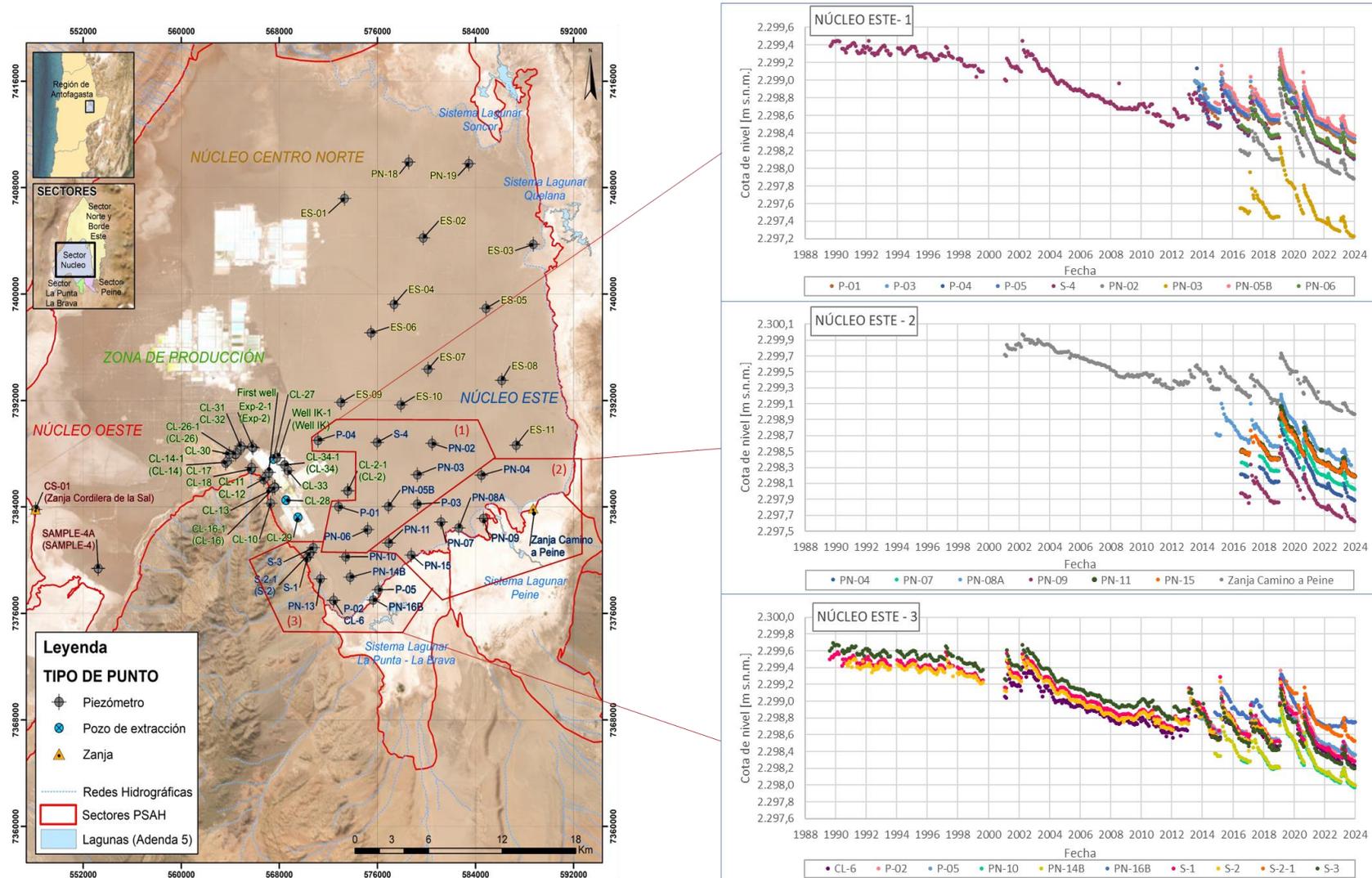
La mayor parte los puntos de la zona de producción registran descensos netos históricos, con la excepción del punto CL-27-P, el cual registra ascensos netos históricos de 39 cm (calculado entre diciembre de 2001 y diciembre de 2023). En los puntos CL-34-1 y CL-33 se muestran descensos de 35 y 61 cm respectivamente (ambos calculados entre diciembre de 2001 y diciembre de 2023). Luego con descensos mayores se tienen los puntos EXP-2-1 (ex Exp-2), CL-32, CL-2-1 (ex CL-2), Well IK-1, CL-31, CL-29, CL-13, CL-10, First Well, CL-26-1 (ex CL-26), CL-28, CL-30, CL-17, CL-18 y CL-14-1 (ex CL-14), muestran descensos entre 142 cm (1,42 m) y 815 cm (8,15 m), calculados entre diciembre de 2001 y diciembre de 2023, y entre diciembre de 1989 y diciembre de 2023, respectivamente). Finalmente, los puntos que muestran un mayor descenso neto de nivel son: CL-16-1 (ex CL-16), CL-11 y CL-12, con descensos entre 1090 (10,90 m) y 1304 cm (13,04 m), calculados en diciembre de 1985 y diciembre 2023, coincide los mayores descensos con tener el mayor registro de estos, por lo que no necesariamente son puntos que muestren más descensos, sino que presentan mayor registro.

Figura 6-53 Hidrogramas de los pozos de observación de los sectores Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste



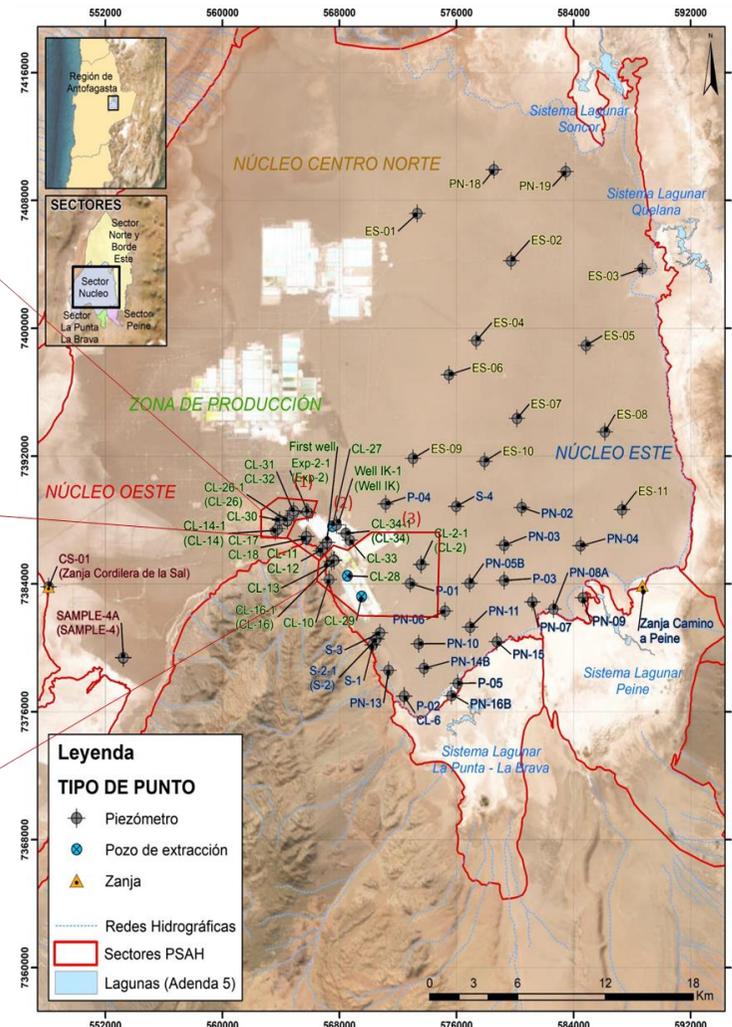
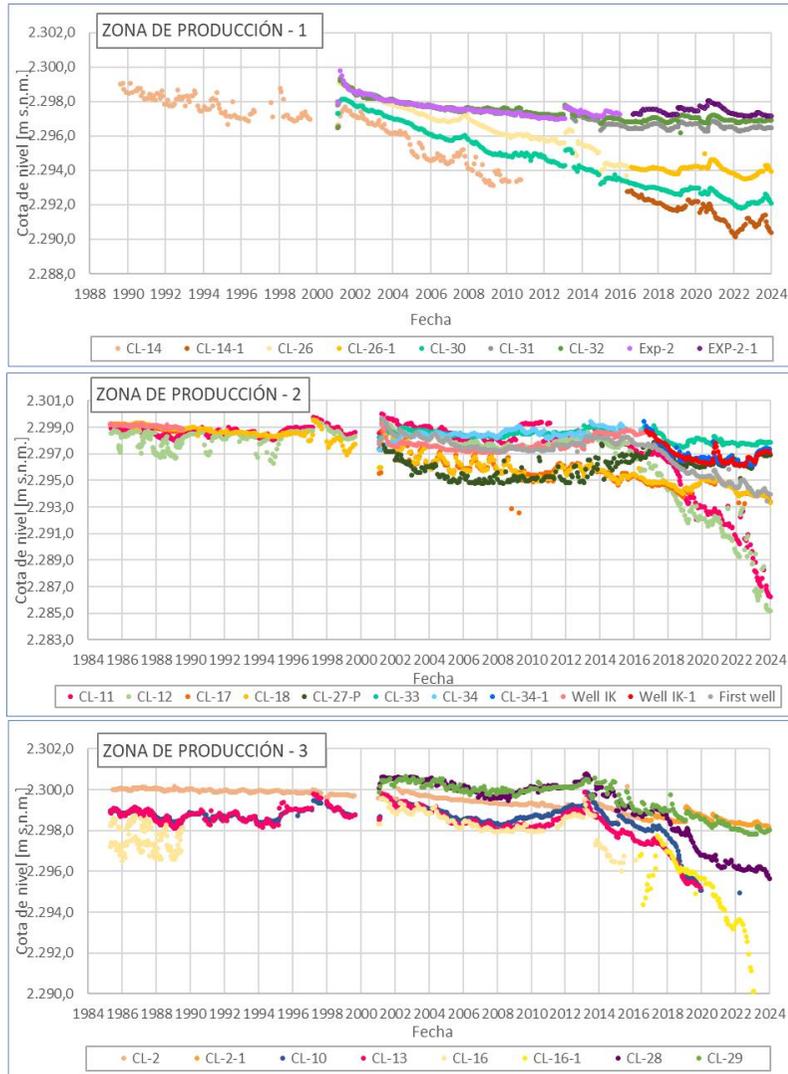
Nota: Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-54 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Núcleo Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-55 Hidrogramas de los pozos de observación de la Zona de Producción



Fuente: Elaboración propia

6.1.6.5 Límite comprometido

6.1.6.5.1 Niveles Freáticos en Salmuera

El nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA es “Descenso según modelo”, por lo que se han comparado los valores de niveles freáticos registrados en el año 2023, presentados los niveles modelados obtenidos de los escenarios de caso base con Proyecto (Esc1-CP) y recarga reducida (Esc2-CP) presentados en el informe de la Segunda Actualización del modelo de Flujo de Agua Subterránea en el Salar de Atacama (RCA N°21/2016), en Fecha 31 de marzo de 2021 (VAI-ALB, 2021), mediante carta ALB-GMA-2021-SMA-041. Cabe destacar, que este modelo fue validado por la DGA, a través del ORD N°129/2022, de fecha 9 de diciembre de 2022.

Es importante mencionar que, entre los principales cambios se encuentran la actualización o extensión de la recarga y con ello los eventos de precipitación acontecidos los años veranos de 2015, 2017, 2019 e invierno 2020; y por otro lado la actualización de los bombeos distribuidos y tasas actualizadas de bombeo desde SQM, lo que conlleva a un mejor ajuste y representatividad de los ascensos y descensos desde 2014 a 2021.

El Esc1-CP analiza la respuesta del sistema a la condición con Proyecto ante condiciones hidrológicas esperables, con montos de recarga por precipitación acorde a lo estimado en base a los registros históricos de precipitación.

El Esc2-CP analiza la respuesta del sistema a la condición con Proyecto ante situaciones hidrológicas extremas y que conlleven montos de recarga por precipitación menores a los estimados como más probables, de acuerdo con la estadística histórica y utilizada en la evaluación del Proyecto. Desde este punto de vista, se trata de un escenario ambientalmente desfavorable en relación con la disminución natural de la precipitación.

Considerando que los puntos más relevantes para la verificación del comportamiento de los niveles freáticos del sector Núcleo, donde subyace la salmuera, corresponden a los pozos que conforman el PAT en el sector de Alerta Núcleo, es en estos puntos en los cuales se realiza la comparación entre lo observado y lo modelado.

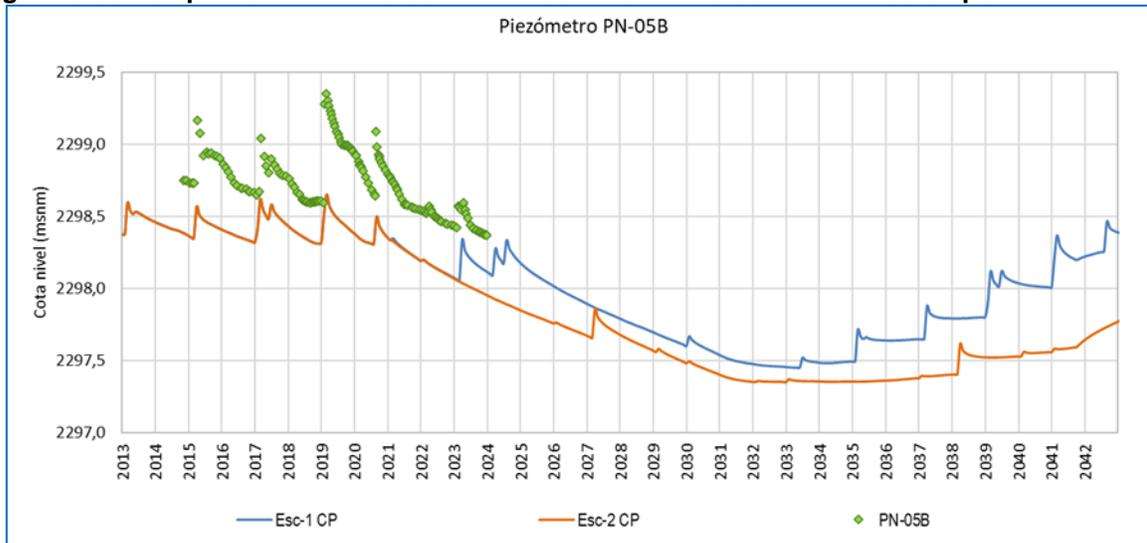
De la Figura 6-56 a la Figura 6-59, se presentan las series simuladas en los dos escenarios considerados (Esc1-CP y Esc2-CP) versus los valores observados de los puntos PAT del sector de Alerta Núcleo actualizados a diciembre de 2023.

En los gráficos de la Figura 6-56 a la Figura 6-59, los datos observados hasta diciembre 2023 de niveles del punto PN-05B y PN-08A, muestran una tasa de descenso, y aumentos provocados por las lluvias y descensos después de éstas, similar a lo modelado hasta diciembre 2023, como así también la tendencia de descenso marcada por los niveles mínimos

de los valores observados es también muy similar a la tendencia de los valores mínimos de lo modelado en dicho período. Respecto a las cotas de nivel, es importante señalar que el objetivo de este acápite es analizar los descensos y no las cotas, ya que, para esto último, se tienen los índices de ajuste de la calibración lo cual como ya ha sido mencionado, fue presentado y validado por la DGA en diciembre 2022.

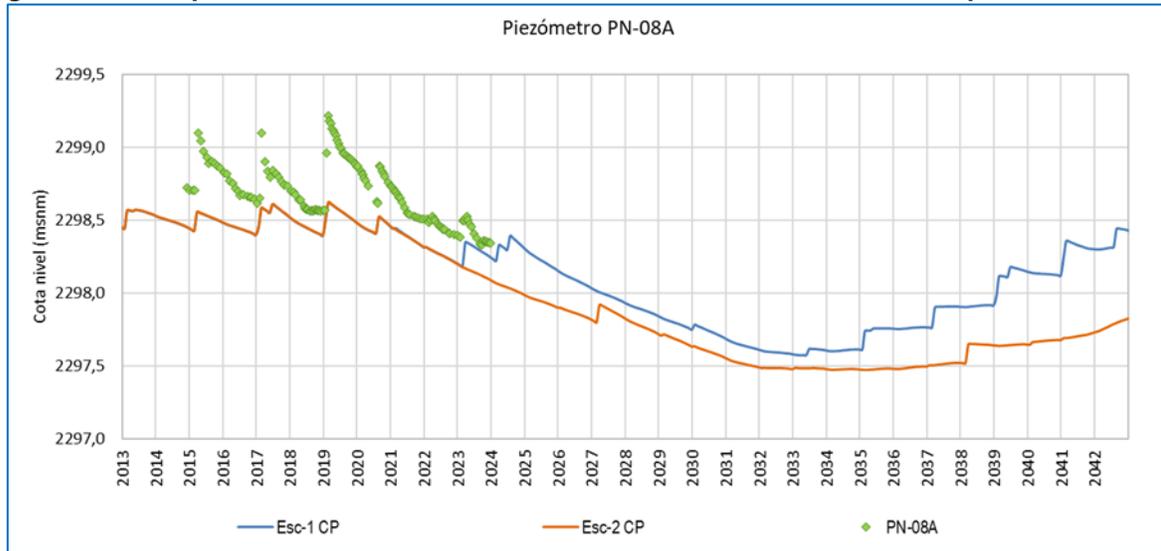
Por otra parte, el punto PN-14 B, muestra descensos y tendencias con valores similares al modelo, con algunos puntos observados con cotas mayores que en los niveles simulados del modelo numérico. Por último, el punto PN-16B, muestra una tendencia en el nivel que se estabiliza en el año 2022, mostrando en este caso que los datos medidos presentan menores tasas de descenso que lo modelado.

Figura 6-56 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-05B



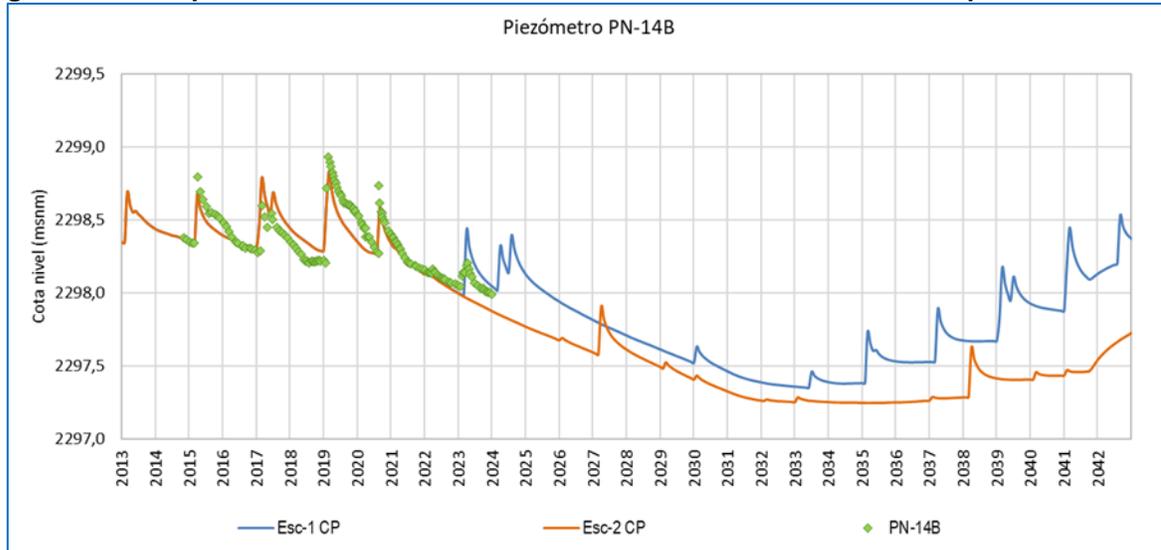
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-57 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-08A



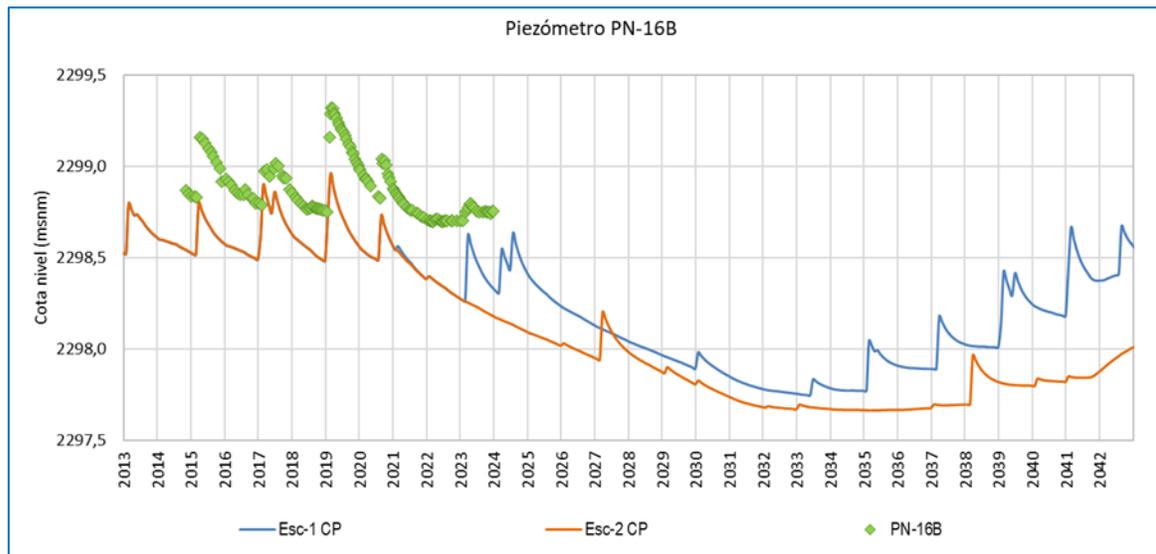
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-58 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-14B



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-59 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-16B



Fuente: Elaboración Propia

6.1.6.5.2 Niveles Freáticos en agua dulce-salobre

El nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA es “*Mantener niveles dentro de los rangos de oscilación natural*”, durante el año 2023 los niveles freáticos en agua dulce-salobre se mantienen dentro de la oscilación natural, con valores dentro del registro histórico, con excepción de los puntos BA-12, BA-27, BA-11 (La Punta- La Brava), MPS-CC (Peine, Laguna Interna) y BA-31 (sector Norte y Borde Este).

6.1.7 Posición de la Interfase Salina

En la Tabla 6-12 se presentan los pozos donde se monitorea la posición de la interfase salina, mediante los perfiles de conductividad, agrupados por sector, aquí se detallan datos históricos, como la fecha de construcción y periodo de registro de los perfiles de conductividad. Además, se analiza en la presente sección, el límite comprometido para esta variable.

Tabla 6-12 Puntos de realización de perfiles de conductividad eléctrica

Sector	Punto	Fecha de Construcción	Periodo de registro	
			Fecha Inicio	Fecha Término
La Punta-La Brava	MP-01C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2023
	MP-03C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2023
	MP-04C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2023
	MP-05C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2023
	MP-06C	agosto 2013	octubre 2013	diciembre 2023
	MP-09C	agosto 2016	julio 2016	diciembre 2023
Sector Peine	MP-07C-1 ⁽¹⁾	julio 2017	julio 2017	diciembre 2023

Tabla 6-12 Puntos de realización de perfiles de conductividad eléctrica

Sector	Punto	Fecha de Construcción	Periodo de registro	
			Fecha Inicio	Fecha Término
	MPS-AC	septiembre 2013	octubre 2013	octubre 2023
	MPS-CC	septiembre 2013	octubre 2013	octubre 2023
	PP-01	julio 2016	julio 2016	diciembre 2023
	PP-02	agosto 2016	octubre 2016	diciembre 2023
	PP-03	julio 2016	agosto 2016	diciembre 2023
Sector Norte y Borde Este	MP-12C	agosto 2016	octubre 2016	diciembre 2023

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los perfiles de conductividad eléctrica se muestran de manera gráfica con para las campañas históricas, seguimiento y el año reportado 2023. Las tablas con los resultados se incluyen en el Anexo G-2.

Cabe la pena mencionar que la dispersión de datos entre 2013 a 2015 para los sectores Peine y La Punta La Brava, puede deberse al equipo de medición que se utilizaba en aquellos años, el que, fue cambiado durante 2015 se hizo por uno de mayor precisión en medios de alta salinidad.

A continuación, se presentarán los análisis de los datos obtenidos por sector (La Punta – La Brava, Peine y, Norte y Borde Este).

6.1.7.1 Sector La Punta – La Brava

En la Figura 5-31 se muestra la ubicación de los puntos comprometidos para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el sector La Punta – La Brava. De forma particular estos corresponden a los puntos MP-01C, MP-03C, MP-04C, MP-05C, MP-06C y MP-09C.

A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas históricas y del año 2023, en conjunto con su representación gráfica. En los gráficos presentados para el registro histórico anual las series se separan en trimestres para una mejor representación.

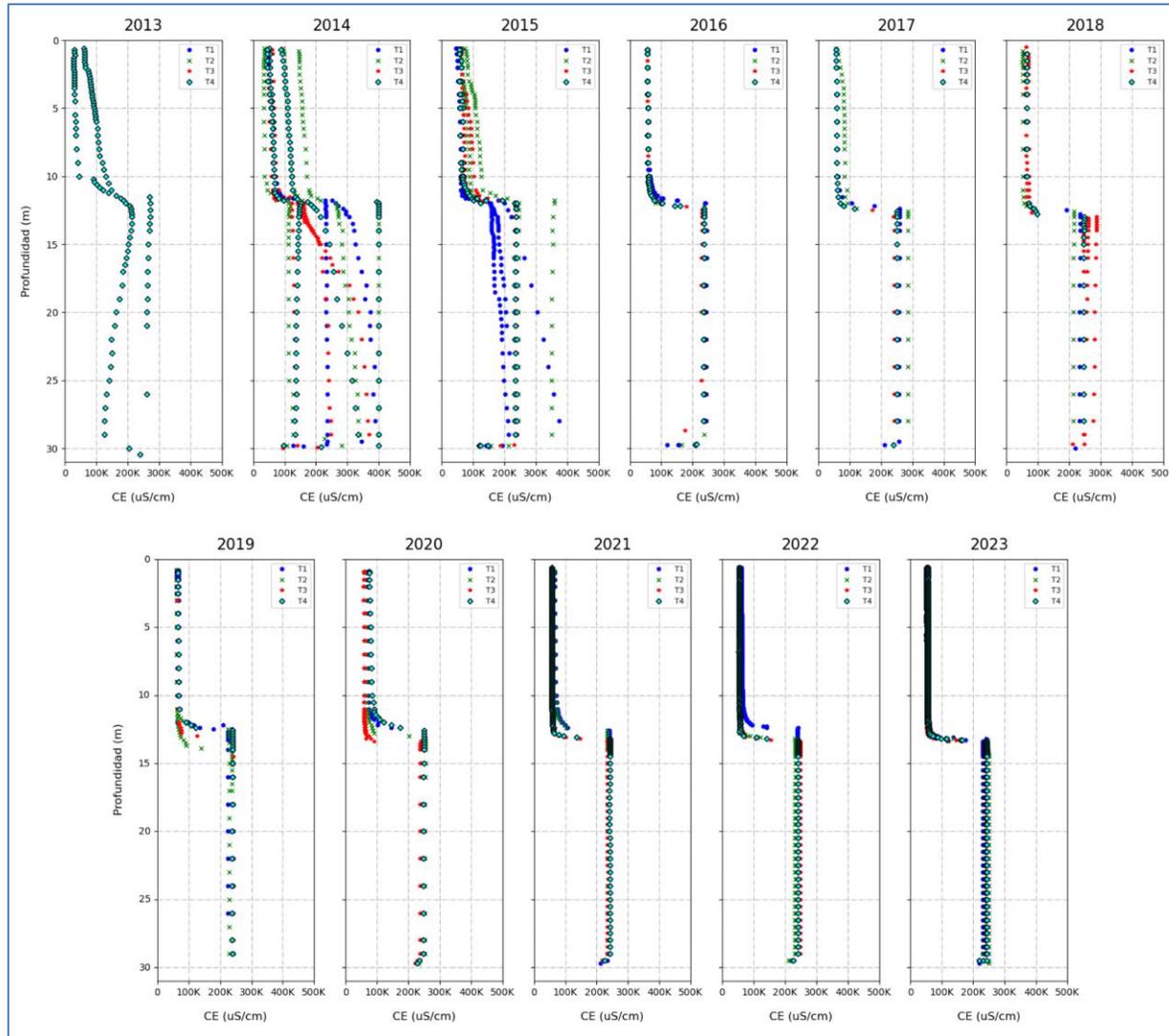
En general se observa una mayor dispersión durante los años 2013, 2014 y 2015 en el registro histórico, debido a la utilización de un equipo con baja precisión para la medición de conductividad eléctrica en medios de alta salinidad.

6.1.7.1.1 MP-01C

El punto MP-01C (Figura 6-60) no presenta cambios significativos a través del tiempo, se mantiene fija su interfase (como una zona o franja) a una profundidad de entre 11 y 14 m,

observándose una mayor oscilación en los años 2019, 2020 y 2022, la cual podría atribuirse a estacionalidad, posteriormente no presentando oscilación en el 2023.

Figura 6-60 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-01C

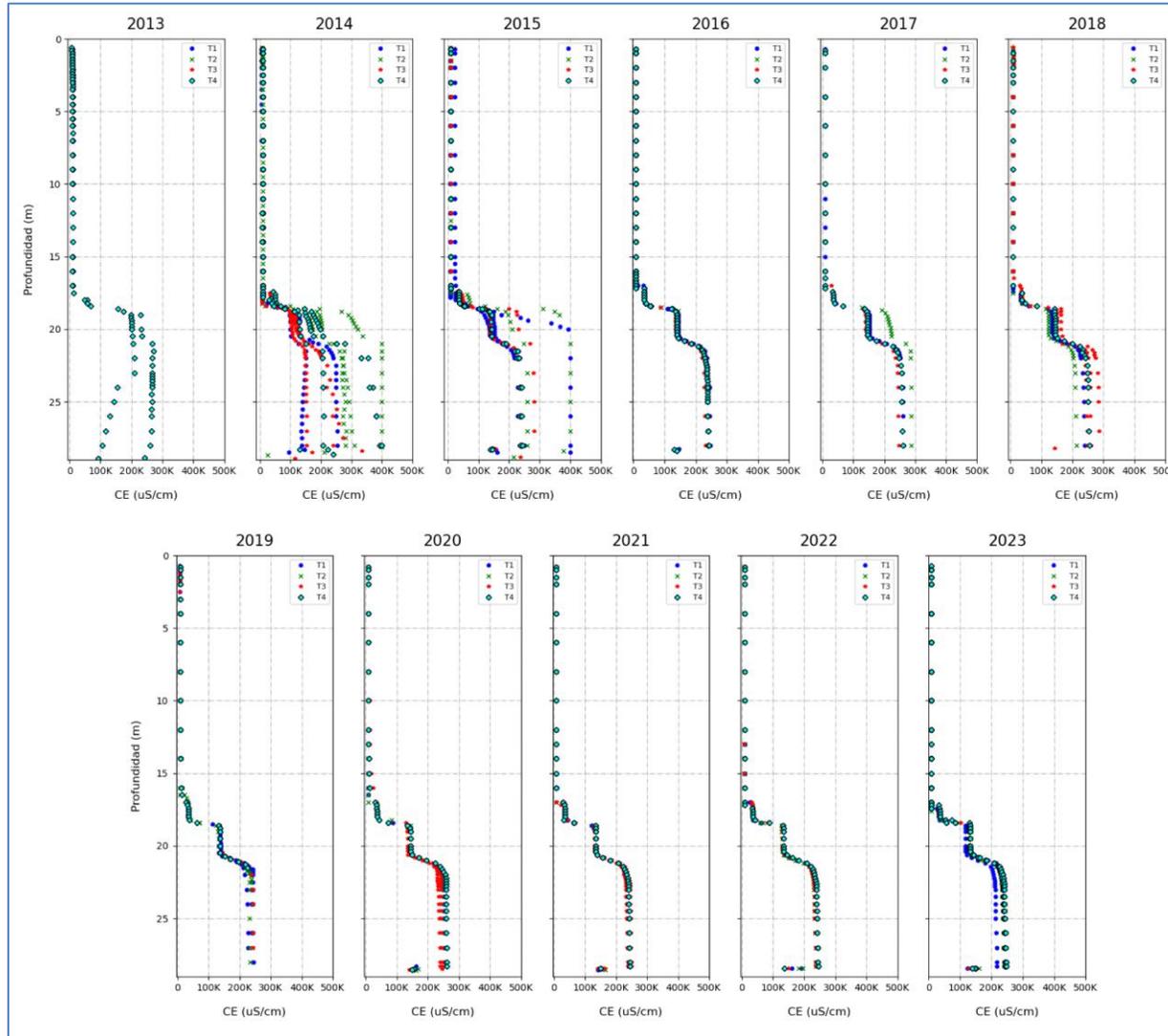


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.2 MP-03C

El punto MP-03C muestra en todo su registro (posterior al cambio de equipo) un patrón escalonado en la conductividad eléctrica del fluido con tres aumentos notorios hasta estabilizarse en valores cercanos a los 250.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La interfase salina ha sido reconocida entre los 17 y 21 m de profundidad en todas las campañas, no se registra una variación en su posición (Figura 6-61).

Figura 6-61 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-03C

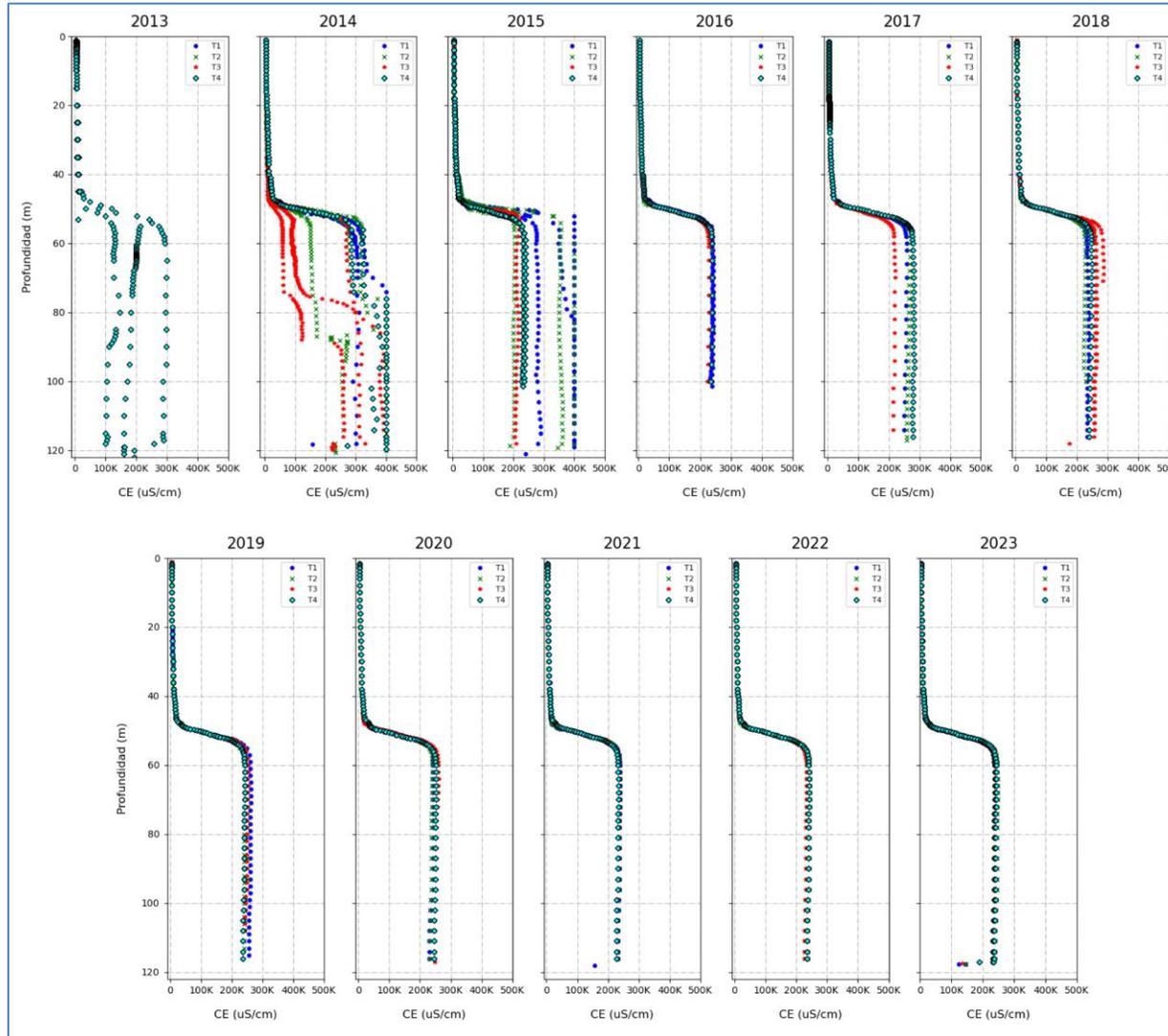


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.3 MP-04C

El registro histórico indica que la interfase salina ha mantenido una posición en general constante en este punto (Figura 6-62), aumentando la conductividad eléctrica de manera gradual a una profundidad de aproximadamente 50 m, en un tramo de aproximadamente 5 m.

Figura 6-62 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-04C



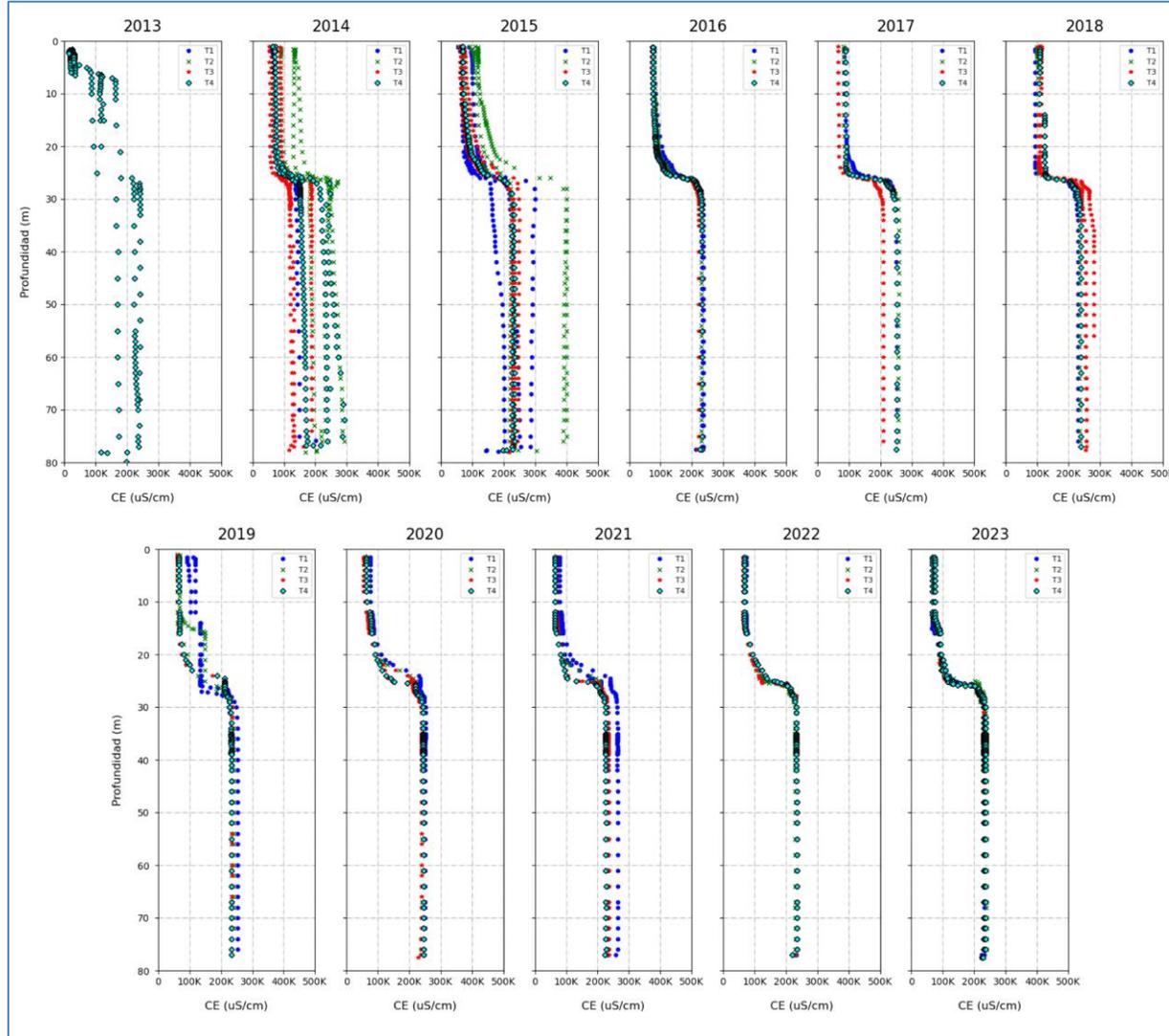
Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.4 MP-05C

En general, el registro histórico muestra una posición de la interfase salina estable, en torno a los 25 - 27 m de profundidad (Figura 6-63). El registro de abril de 2019 muestra una desviación puntual a esta tendencia, con un aumento escalonado de la conductividad eléctrica en profundidades menores, lo que no se ha vuelto a observar.

En todas las campañas se observa un aumento gradual de la conductividad eléctrica desde aproximadamente 18 m bajo la superficie, variando a un patrón escalonado hasta los 27 m de profundidad para estabilizarse en los 30 metros de profundidad hasta valores cercanos a 230.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 6-63 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-05C

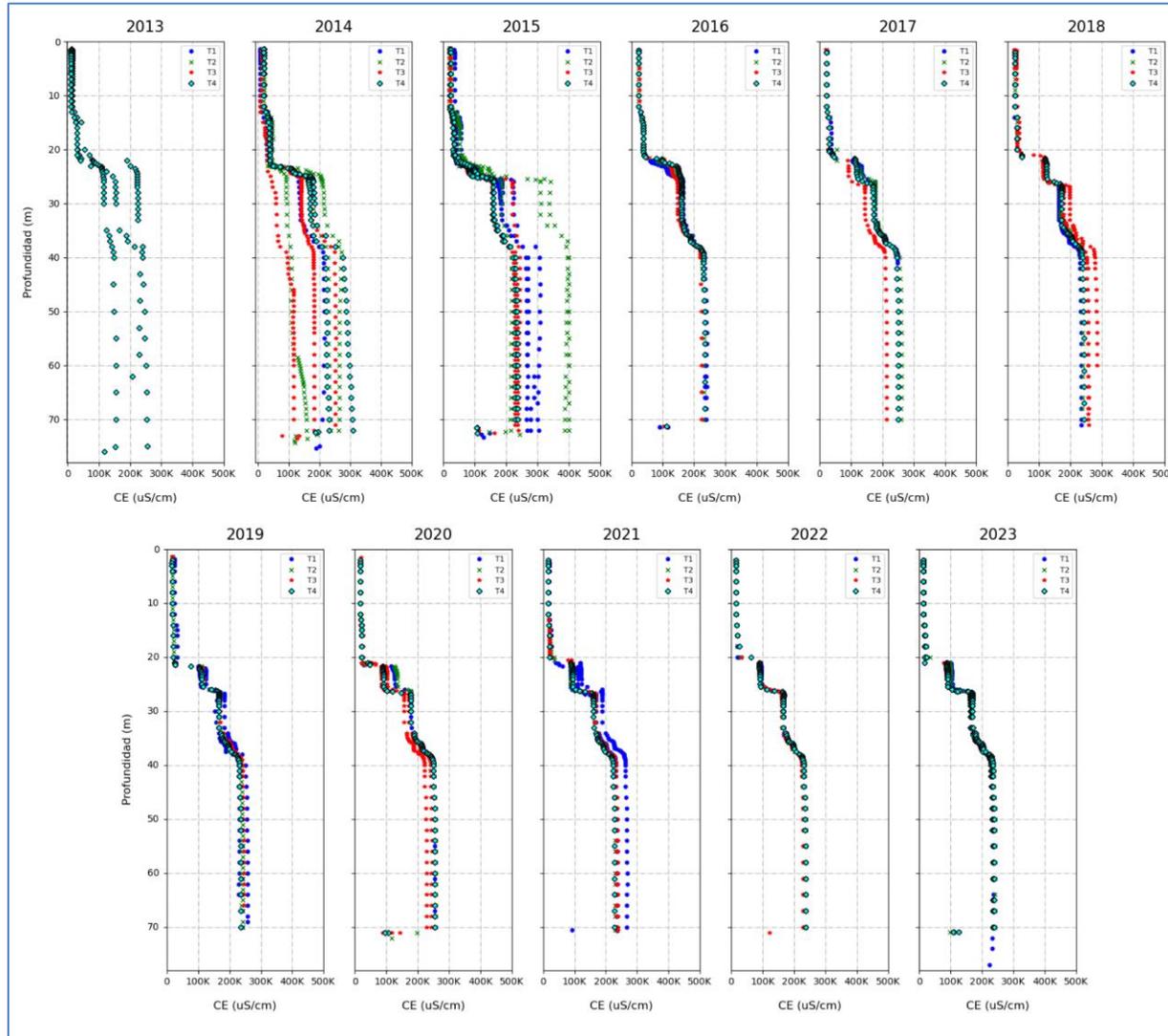


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.5 MP-06C

El registro histórico (Figura 6-64), así como los nuevos registros no muestran cambios con respecto a la posición de la interfase salina, donde esta se mantiene entre los 20 y 40 m de profundidad, mostrando un patrón escalonado.

Figura 6-64 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-06C

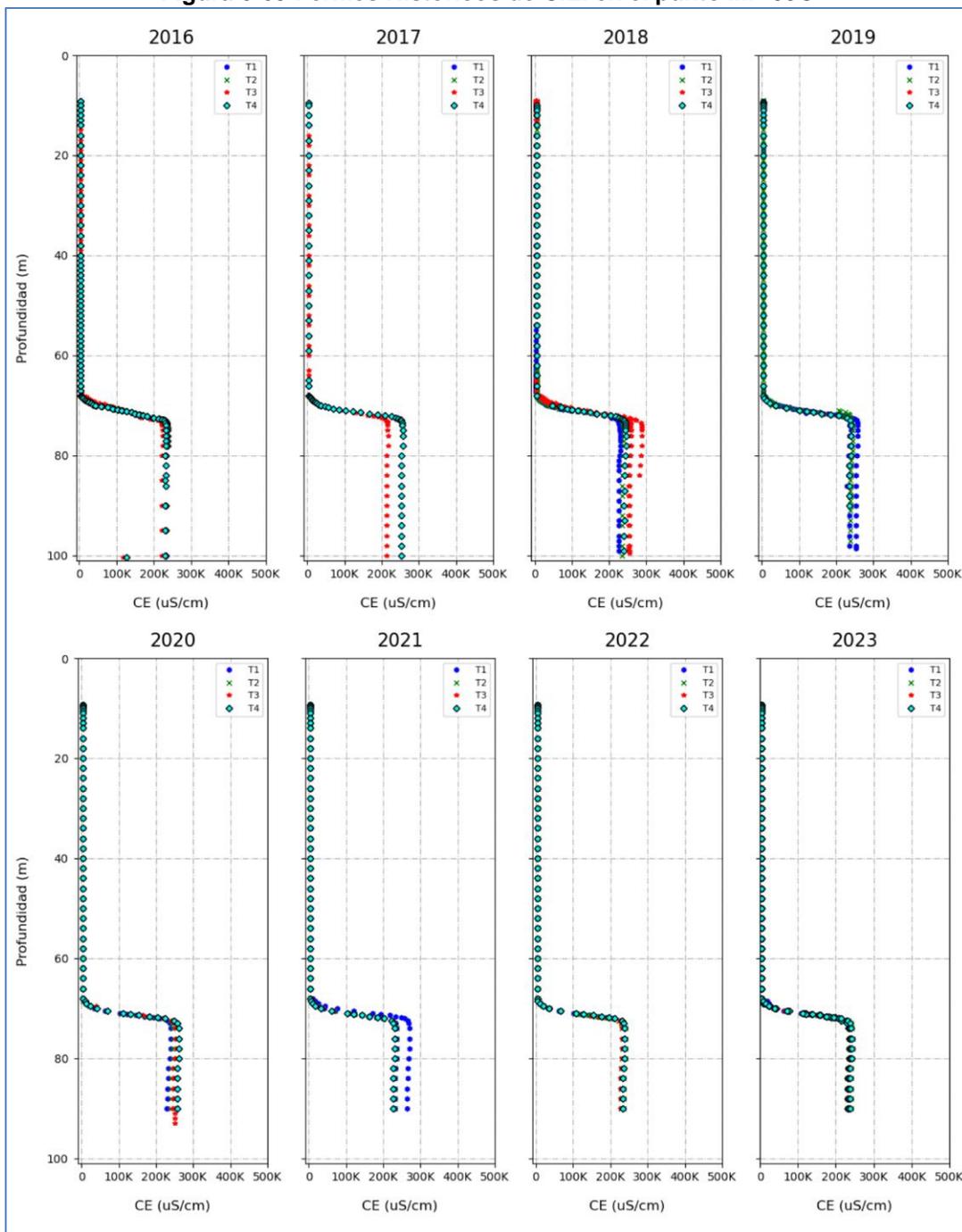


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.6 MP-09C

Los registros históricos muestran que la interfase salina se encuentra a aproximadamente 70 m, con un aumento gradual de la conductividad eléctrica en un tramo de aproximadamente 3 m, no registrándose cambios desde el inicio del registro (Figura 6-65).

Figura 6-65 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-09C



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2 Sector Peine

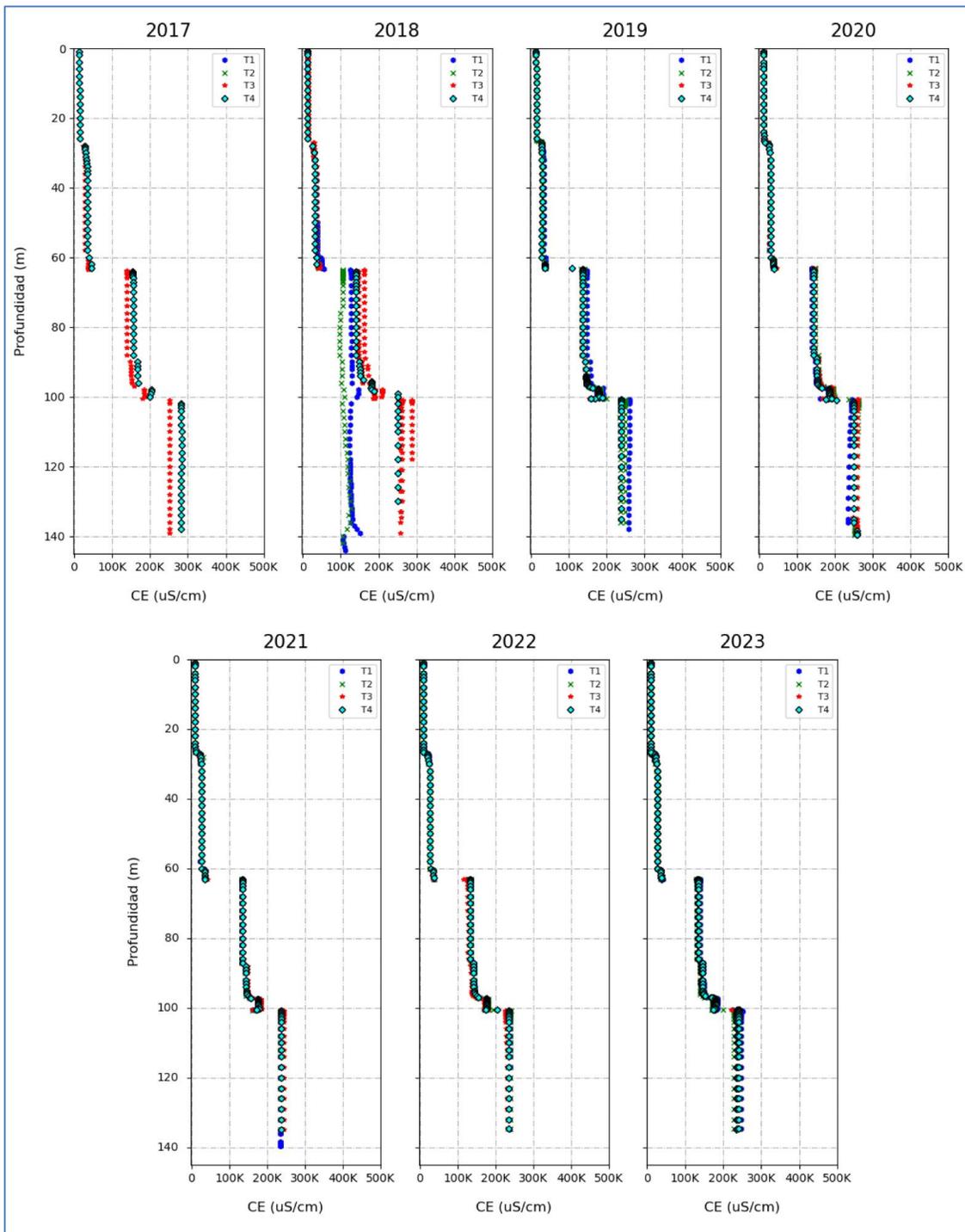
En la Figura 5-44 se muestra la ubicación de los puntos comprometidos para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el sector Peine. Estos corresponden a los pozos: MP-07C-1, PP-01, PP-02, PP-03, MPS-AC y MPS-CC.

A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas históricas y del año 2023, en conjunto con su representación gráfica. En los gráficos presentados para el registro histórico anual las series se separan en trimestres para una mejor representación. En el Anexo G-2 del presente informe se detallan los registros históricos en los puntos de medición.

6.1.7.2.1 MP-07C-1

En el registro histórico (Figura 6-66), se observa un notorio aumento escalonado en dos etapas de la conductividad eléctrica desde los 65 m de profundidad, con valores entre 100.000 y 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por aproximadamente 35 m. A aproximadamente 100 m de profundidad, se registran valores de conductividad eléctrica mayores a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, característicos para salmuera. No se observan cambios en la posición de la interfase salina en el registro histórico.

Figura 6-66 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-07C-1

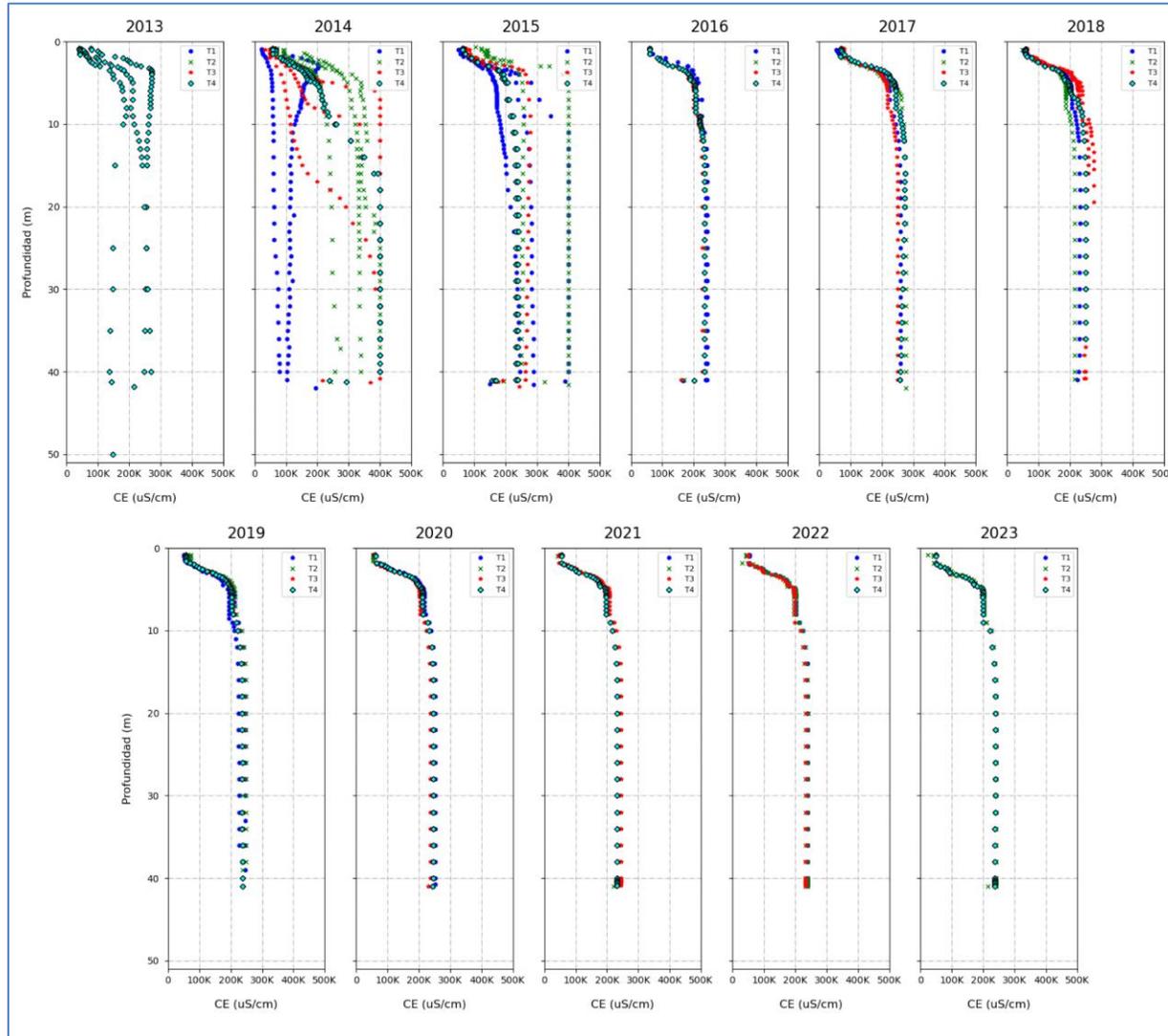


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.2 MPS-AC

En el punto MPS-AC, ubicado en el entorno del sistema Peine, las medidas de las campañas históricas identifican la posición de la interfase salina a través del aumento gradual de la conductividad eléctrica entre los 3 y 5 m de profundidad (posterior al cambio de equipo), alcanzando alrededor de 230.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 6-67), esta no ha variado en el periodo de registro.

Figura 6-67 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-AC



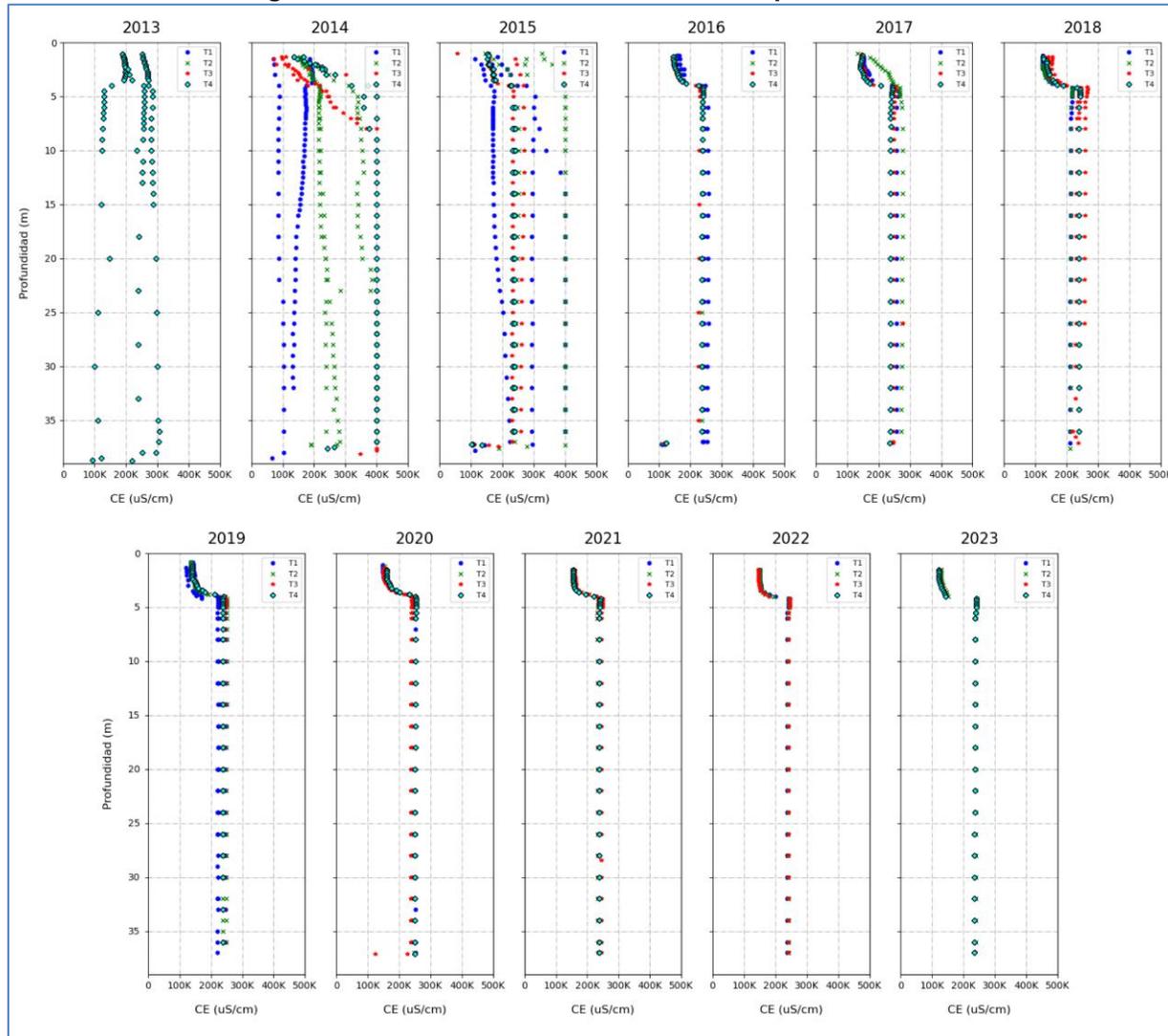
Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.3 MPS-CC

El registro histórico muestra una interfase en una posición estable, entre 3 y 5 m (Figura 6-68), los puntos MPS-AC y MPS-CC corresponden a los más cercanos al núcleo del salar en el sector Peine, donde se encuentra la interfase salina a una profundidad somera, ambos presentan un comportamiento similar.

Destaca la alta conductividad eléctrica registrada en profundidades más someras desde el inicio del pozo, con agua salobre de conductividad eléctrica desde los 150.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 6-68 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-CC

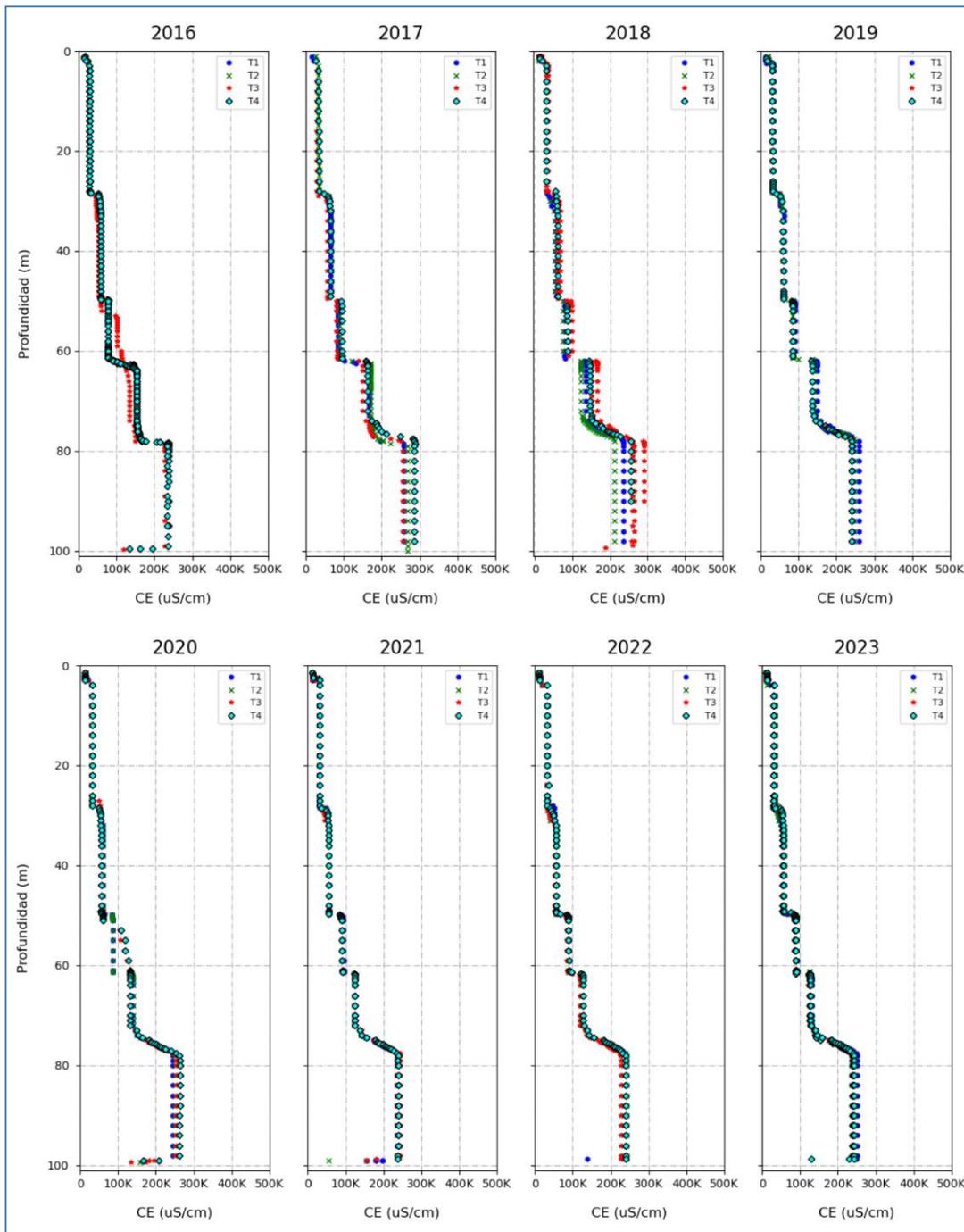


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.4 PP-01

El comportamiento de este pozo se ha mantenido relativamente estable durante el registro histórico (Figura 6-69), aunque se observa mayor variación de conductividad en el año 2018.

Figura 6-69 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-01



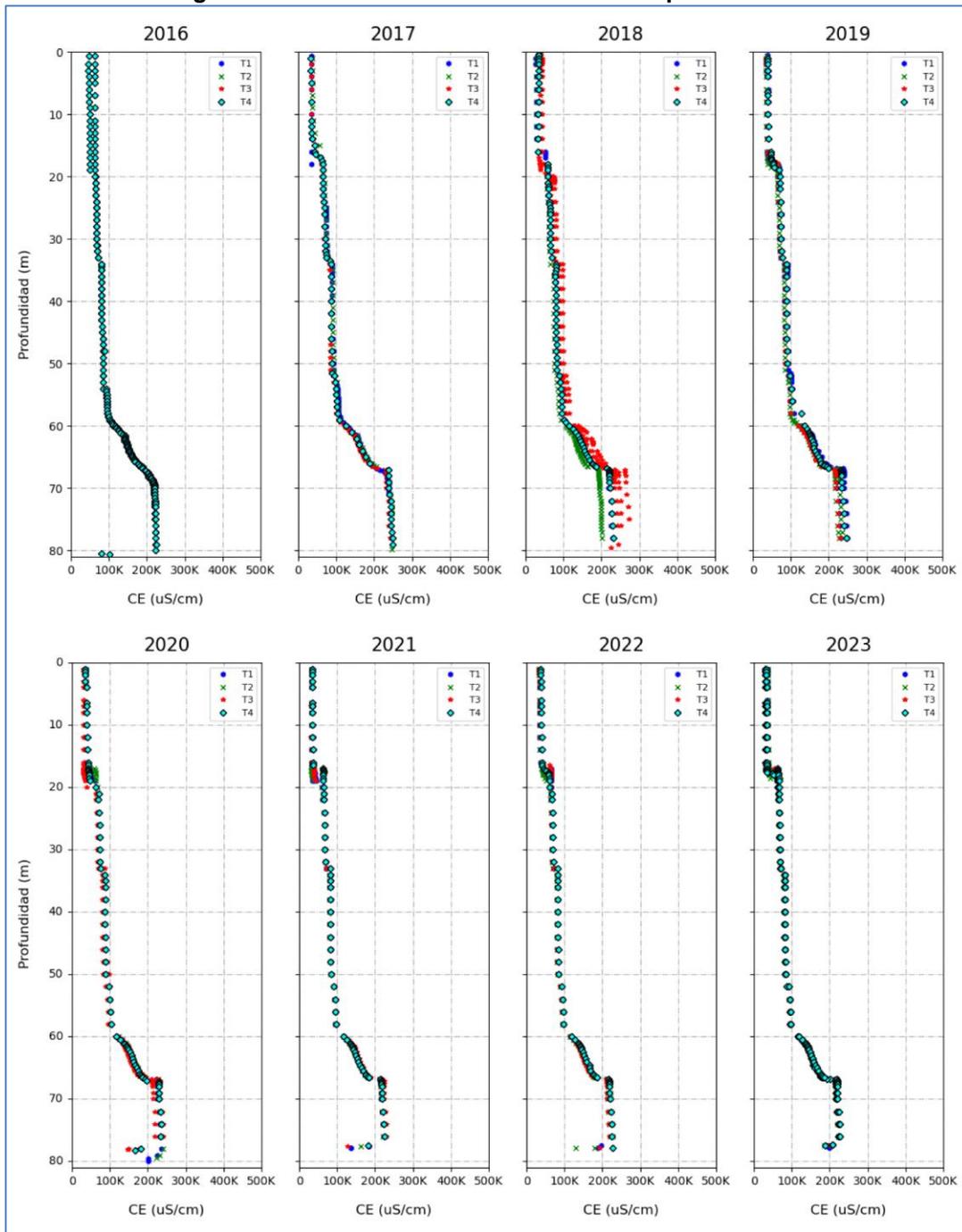
Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.5 PP-02

En la Figura 6-70, se presentan los registros históricos desde el año 2016 al año 2023, donde es posible apreciar que la posición de la interfase salina no ha tenido variaciones importantes.

La zona de cambio de conductividades eléctricas se presenta entre los 20 a 67 m de profundidad, con un aumento más pronunciado entre los 60 y 67 m, desde donde se registran valores superiores a los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 6-70 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-02



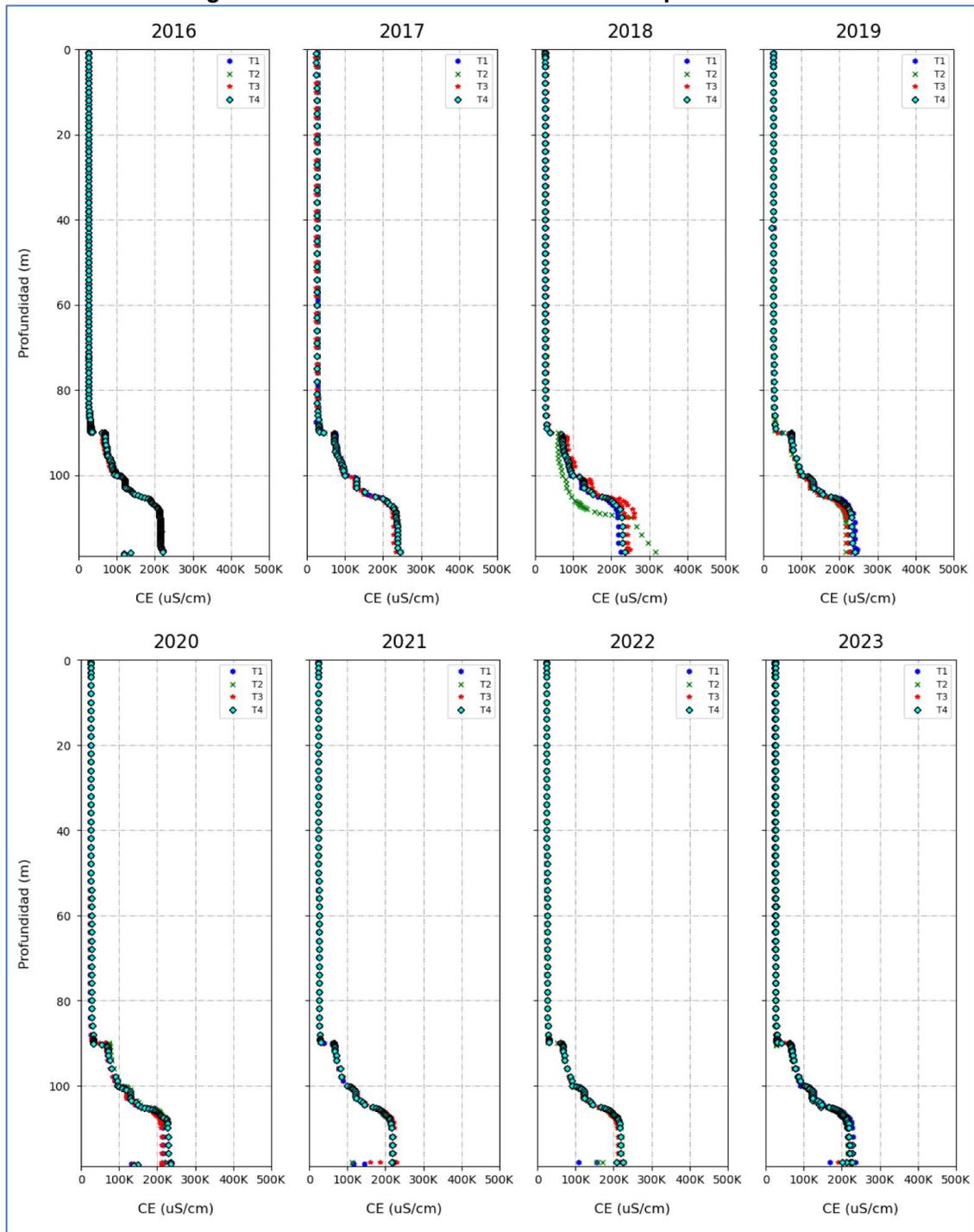
Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.6 PP-03

El registro histórico no muestra variaciones en la posición de la interfase salina durante el período de registro (Figura 6-71), mostrando excepcionalmente variación en las medidas en el año 2018, a partir aproximadamente de los 90 m de profundidad, lo que podría ser producto del equipo de medición.

La interfase salina se presenta desde los 90 hasta 110 m de profundidad, donde la conductividad eléctrica aumenta de manera gradual a valores por sobre los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 6-71 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-03



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.3 Sector Norte y Borde Este

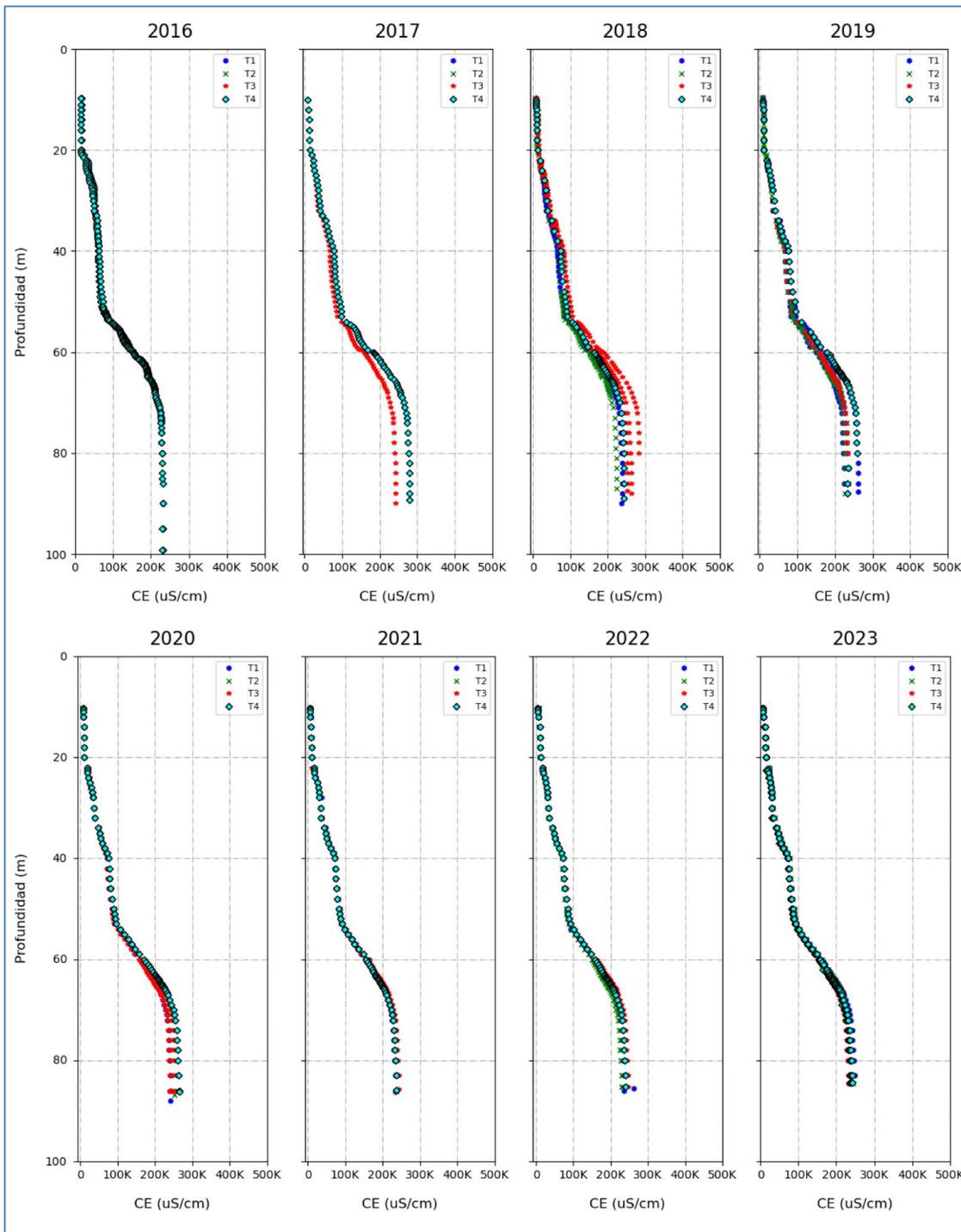
En la Figura 5-57 se muestra la ubicación del punto comprometido para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el Norte y Borde Este, el cual corresponde al punto MP-12C.

A continuación, se muestran los registros de profundidad y conductividad eléctrica obtenidos en las campañas históricas.

6.1.7.3.1 MP-12C

En los registros históricos del pozo MP-12C se observa un aumento gradual en la conductividad eléctrica entre los 50 m hasta los 70 m llegando a valores superiores a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alrededor de los 70 m de profundidad. La interfase salina se ha mantenido constante desde la perforación del pozo (Figura 6-72).

Figura 6-72 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-12C



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.4 Límite comprometido

El nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA es “Mantener la posición de la Interfase Salina” (ver Tabla 5-28). En general, para todos los puntos de monitoreo de todos los

sectores, se han mantenido los rangos de profundidad entre los cuales se presenta la variación de conductividad eléctrica que determina la profundidad de la salmuera, y la interfase salina entre esta y el acuífero de agua dulce-salobre. Por lo que en términos generales, la interfase salina se mantiene en la misma posición en todos los puntos.

6.1.8 Composición química del agua superficial y subterránea

En el presente subcapítulo se exhiben los resultados de composición química de las aguas en base al monitoreo comprometido de frecuencia trimestral, en los puntos definidos en el PSAH, los cuales se distribuyen en 3 sectores individualizados como:

- Sector La Punta-La Brava
- Sector Peine
- Sector Norte y Borde Este

La descripción de los resultados se realiza abordando su presentación por cada sector señalado. La ubicación de los puntos de monitoreo se presenta en la Figura 5-60, Figura 5-72 y Figura 5-84. Además, se analiza en la presente sección, el límite comprometido para esta variable.

Como se menciona en la sección 4.3.8, la composición química de las aguas superficiales y subterráneas se obtiene a través de la medición de parámetros *in situ* y del muestreo de aguas para su análisis químico en laboratorio.

El total de puntos comprometidos en la RCA 21/2016 como parte de esta variable son 40, incluyendo puntos en aguas superficiales (vertientes y lagunas) y subterráneas (piezómetros, pozos y multipiezómetros), todos los cuales se encuentran operativos. En la Tabla 4-5, Tabla 4-6 y Tabla 4-7, se presentan todos los puntos de monitoreo de composición de agua para cada uno de los sectores.

En el Anexo H de este Informe se presentan los registros e información relacionada composición química de aguas, dentro de los cuales se encuentran todos los datos históricos de composición química *in situ* y de laboratorio, los certificados e informes emitidos por las ETFA, respaldos de calibraciones, estabilizaciones de parámetros *in situ* y cadenas de custodia de las campañas que se han realizado, en el marco del Proyecto.

Además, en la sección 6.1.8.4 del presente capítulo, se presentan los resultados asociados a las tres captaciones de agua dulce-salobre que tienen compromiso de análisis químico de aguas en el marco de la RCA N° 92/2000, donde se monitorean la densidad y las concentraciones totales de calcio, litio, potasio, magnesio, sodio y sulfato. Estos puntos corresponden a los denominados Pozo Peine, Vertiente Tilopozo y Pozo Tucúcaro.

En las secciones siguientes se presentan los resultados en gráficos de cajas, estadígrafos y gráficas de evolución temporal para cada uno de los parámetros por sector de análisis y por tipología de parámetros (in situ, laboratorio, fisicoquímicos, cationes, aniones, elementos mayores, etc.). Algunas de las gráficas presentadas, dada la diferencia en los rangos de los valores para los diferentes tipos de aguas, se muestran en escala logarítmica. Se indica que para hacer uso de los registros en gráficos y estadígrafos de aquellos valores reportados como menores al límite de detección, se utilizó un tercio del valor de dicho límite.

Por otra parte, en salmueras se tienen valores históricos de conductividad eléctrica $>300.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (en particular, años 2014, 2015 y 2017), los cuales no se consideran válidos ya que son datos obtenidos a partir de mediciones realizadas sobre muestras diluidas a cuyos resultados se les aplicó un factor de corrección lineal en función del número de diluciones entregando resultados no muy precisos. En función de ello, se determinó dejar estos registros en la base de datos como dato no utilizable para realizar el análisis histórico.

Relacionado con el párrafo precedente, se indica que entre los parámetros de sólidos totales disueltos (SDT) y conductividad eléctrica (CE) existe siempre una buena correlación hasta valores en torno a $200.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad. El conjunto de puntos analizados históricamente en el Salar presenta una línea de tendencia según la siguiente relación $\text{TDS}=0,95*\text{CE}$ (ver sección 7.6.1 del Anexo 1 Adenda 5, que aprobó el Proyecto que da origen al presente PSAH). En cambio, en las muestras hipersalinas, por sobre $200.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, la correlación directa entre ambos parámetros es nula, dado que la conductividad es afectada por la composición específica de iones presentes en el agua (Custodio y Llamas, 2001). En dichos ambientes, si bien es posible determinar dos muestras con la misma salinidad, la conductividad puede ser significativamente diferente, dado que las especies iónicas presentan niveles de conductancia específica diferentes.

Cabe recalcar que los valores anómalos (ver Anexo I) identificados solo fueron excluidos de gráficos y tablas de estadígrafos, pero en ningún caso fueron eliminados de la base de datos, que se presenta en el Anexo H (Anexos H-1 y H-2). En el Anexo H-7, se presentan en detalle todos los registros considerados anómalos.

A continuación, se presentan los resultados gráficos, estadígrafos, resultados tabulares y gráficas temporales para cada uno de los parámetros por sector de análisis y por tipo de grupo de parámetros.

Se hace importante señalar que el análisis y descripción que se presenta de los resultados de cada parámetro hace énfasis en su comportamiento temporal, y los estadígrafos característicos considerados son la mediana. En caso de hablar de rangos en los sectores, se refiere fundamentalmente a los percentiles 25% (P25) y 75% (P75).

6.1.8.1 Sector La Punta – La Brava

La ubicación de los puntos de monitoreo de este sector se presenta en la Figura 5-60 del Capítulo 5, del presente informe.

6.1.8.1.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

6.1.8.1.1.1 pH *in situ*

Los resultados de pH para el Sector La Punta-La Brava, considerando los diagramas de caja y tabla con estadígrafos, que se presentan en la Figura 6-73, indican que las aguas superficiales de las lagunas presentan valores de pH mayores (básicos) que las aguas subterráneas, con medianas que varían entre 8,03 en LM-04 a 8,26 en LM-02. Las aguas salobres de este sector presentan rangos de pH intermedios (neutros), con medianas que varían entre 7,07 en MP-09A a 7,51 en MP-03A. Las salmueras son las que presentan en general el pH más bajo, con valores de medianas que varían entre 6,08 en MP-04B a 6,53 en MP-03B, manteniendo los valores dentro de los rangos históricos. El punto LM-16 se encuentra en el sector denominado Tilopozo, ubicado al sur del resto de los puntos de las lagunas, con un pH neutro (mediana de 7,06).

6.1.8.1.1.2 Conductividad Eléctrica *in situ*

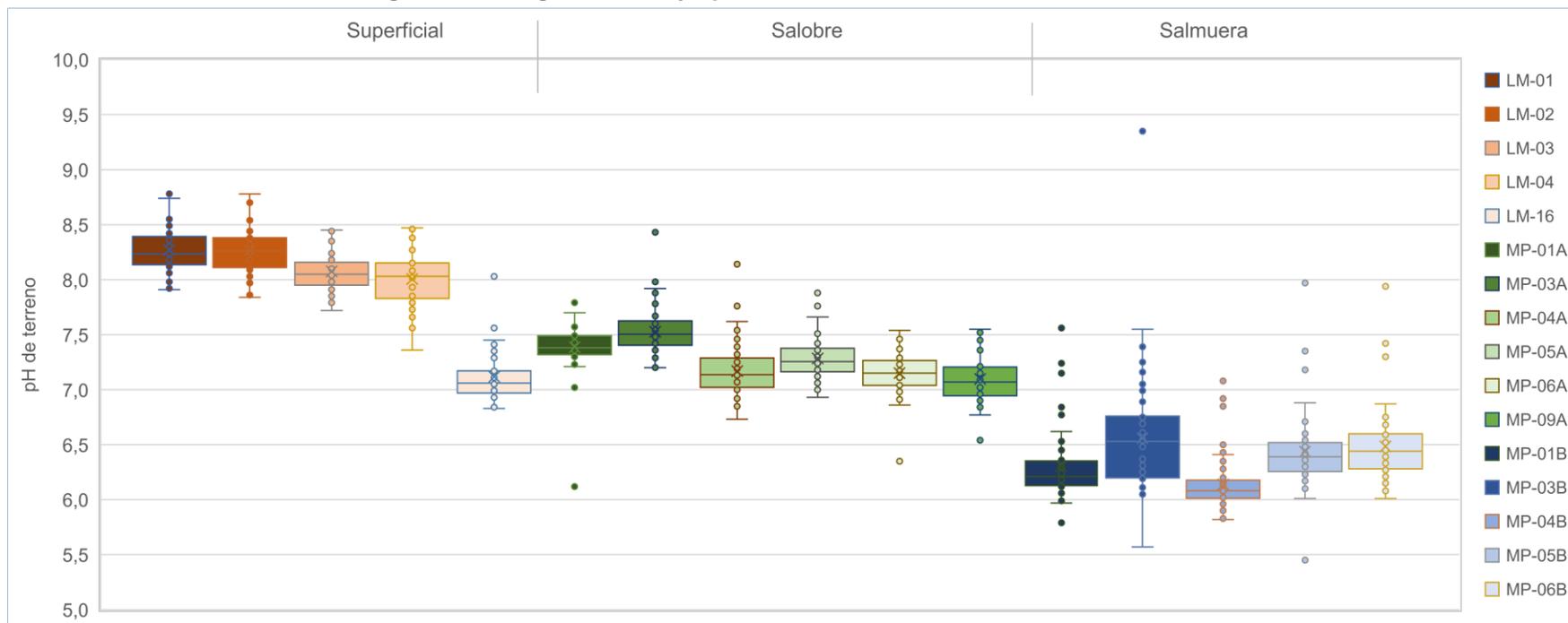
Respecto a la conductividad eléctrica (CE) del sector La Punta-La Brava (Figura 6-74), se aprecia que la salmuera (puntos “MP-XXB”) presenta mayor variabilidad que las aguas superficiales (“LM”) y que las aguas salobres (puntos “MP-XXA”), alcanzado típicamente valores por sobre los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Algunas muestras de salmuera (puntos MP-XXB), tienen valores que en el registro histórico son menores a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, las que corresponden a muestras que han sido tomadas a profundidades más someras. Estos registros se incluyen en los gráficos y tablas de estadísticos de este parámetro, pero como fue mencionado anteriormente no se consideran característicos de este tipo de aguas.

Para las aguas salmueras, el rango de la mediana de CE varía aproximadamente entre los 220.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 240.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor es consistente con la presencia de salmueras en profundidad, por debajo de la Interfase Salina. Para el caso de las aguas subterráneas someras (salobres), este rango está dado por un P25 de 4.414 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MP-09A) y un P75 de 41.625 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MP-06A). Estas aguas presentan los valores más bajos de CE del sector.

El agua de las lagunas La Punta-La Brava, representadas por los puntos LM-01 hasta LM-04, registran valores mayores a 34.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y menores a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P75 de 150.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica que son aguas salobres. En términos de la mediana, los puntos LM-01 y LM-02 presentan conductividades menores, con medianas en torno a 58.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y los puntos LM-03 y LM-04 presentan medianas en torno a 106.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El punto LM-16, ubicado en Tilopozo, en un afloramiento de agua de la Vega, tiene los menores valores de CE relativo al resto de las aguas superficiales, con una conductividad mediana de 4.317 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

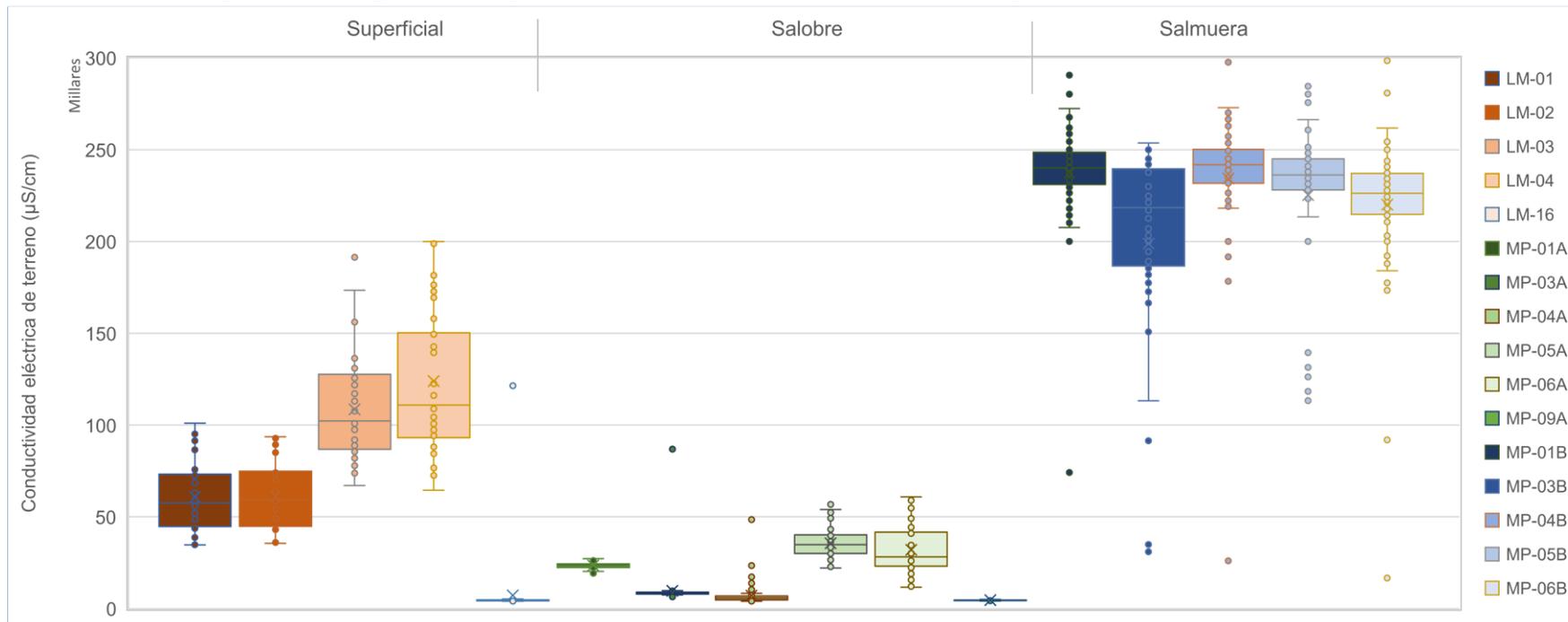
Figura 6-73 Diagrama de Caja, pH *in situ* histórico, Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	39	65	68	72	72	45	41	70	70	72	45	72
Min	7,91	7,84	7,72	7,36	6,83	6,12	7,20	6,73	6,93	6,35	6,54	5,79	5,57	5,82	5,45	6,01
P25	8,14	8,11	7,95	7,83	6,97	7,32	7,40	7,02	7,16	7,04	6,95	6,13	6,20	6,01	6,26	6,28
Mediana	8,24	8,26	8,05	8,03	7,06	7,38	7,51	7,14	7,26	7,15	7,07	6,21	6,53	6,08	6,39	6,44
P75	8,39	8,38	8,16	8,15	7,17	7,49	7,63	7,29	7,38	7,27	7,21	6,35	6,76	6,18	6,52	6,60
Max	8,78	8,78	8,47	8,47	8,03	7,82	8,43	8,14	7,88	7,54	7,55	7,57	9,35	7,08	7,97	7,94
RQ	0,25	0,27	0,21	0,32	0,20	0,17	0,23	0,27	0,22	0,23	0,26	0,22	0,56	0,17	0,26	0,32

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-74 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica *in situ* histórico ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	41	70	67	72	72	49	41	69	70	71	47	72
Min	34.760	35.630	67.130	64.500	4.043	19.271	6.474	4.003	22.150	11.720	4.188	74.190	31.030	26.100	113.300	16.630
P25	44.683	44.880	86.785	93.173	4.214	22.430	8.016	4.778	30.038	23.150	4.414	231.100	186.675	231.700	228.100	214.825
Mediana	57.550	59.480	102.200	110.900	4.317	23.235	8.585	5.770	34.895	28.250	4.497	240.100	218.450	241.800	236.200	226.200
P75	73.298	74.810	127.675	150.300	4.718	24.358	8.934	6.822	40.228	41.625	4.695	248.581	239.550	250.200	245.000	237.150
Max	101.000	93.600	191.400	200.000	121.410	27.160	86.830	48.540	56.970	60.930	5.654	290.647	253.600	297.600	284.567	298.560
RQ	28.615	29.930	40.890	57.127	504	1.928	918	2.044	10.190	18.475	281	17.481	52.875	18.500	16.900	22.325

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.1.1.3 Variación Temporal de los parámetros *in situ*

En esta sección se presentan los resultados del comportamiento temporal de estas variables, vale decir, se presenta gráficamente cuál ha sido la variación en el tiempo, representando los datos desde 2013 a 2023.

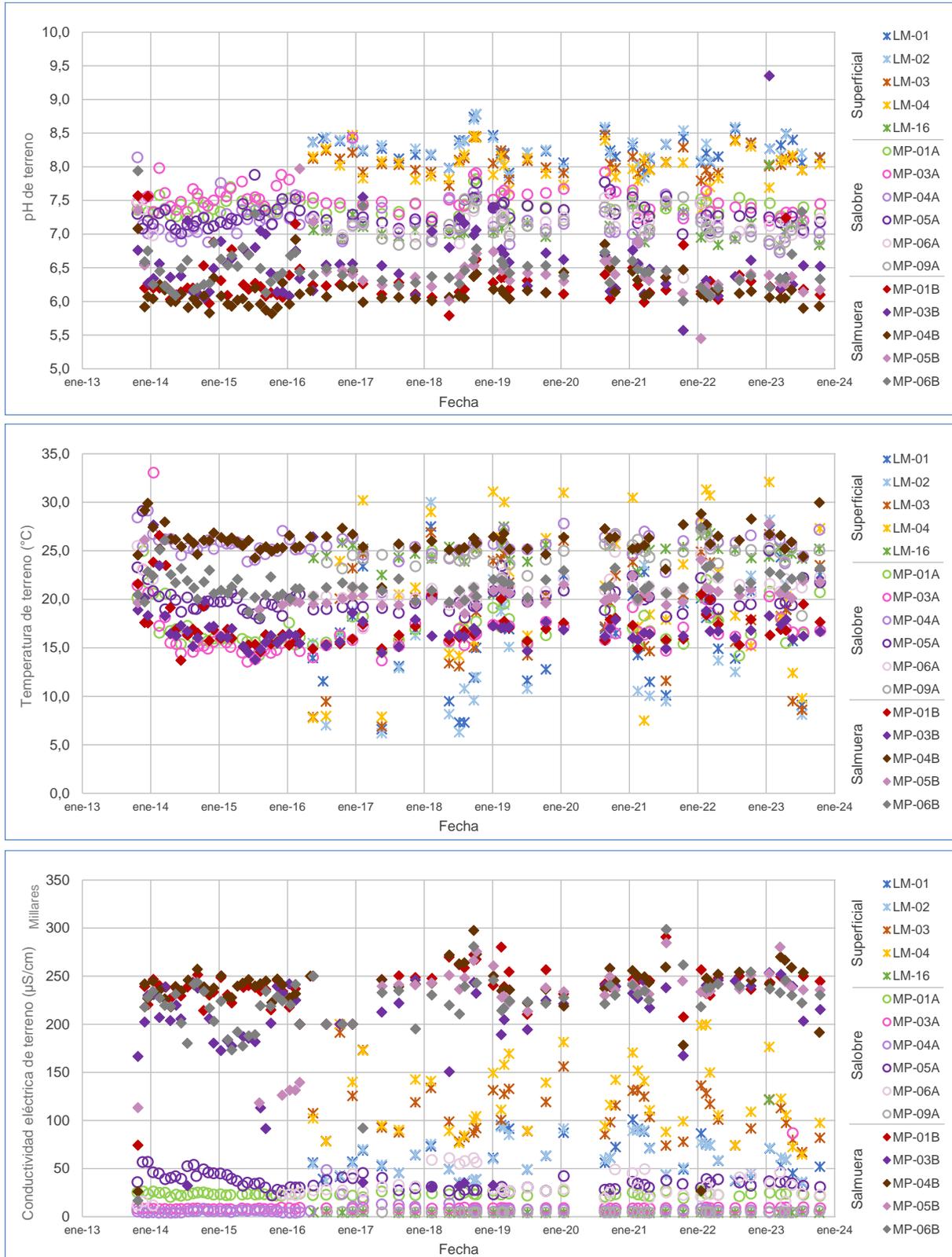
En la Figura 6-75 y Figura 6-76, se presenta la gráfica para los 5 parámetros *in situ* comprometidos: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales, para los puntos del Sector La Punta-La Brava.

La variación temporal general de los datos permite indicar que los valores de parámetros *in situ* para 2023 tienen un comportamiento similar a los años anteriores, con variaciones estacionales que se expresan mayormente en las variables de temperatura y CE.

Para el presente periodo de reporte, el valor de 9,35 del punto MP-03B que está fuera de tendencia, se considera erróneo, posiblemente debido a algún error de digitación.

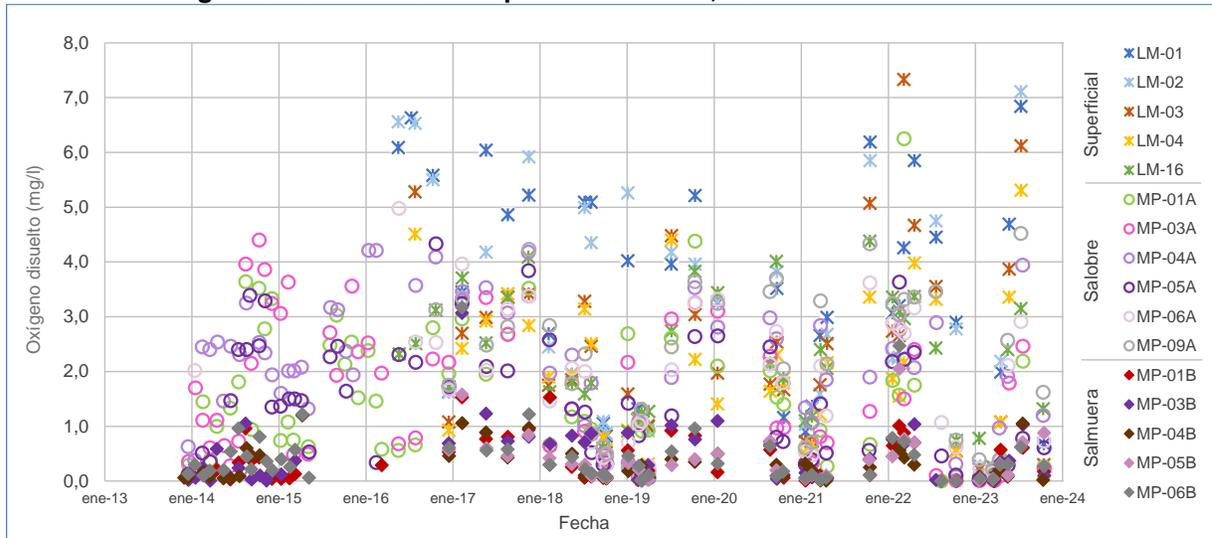
De manera general, el comportamiento de los parámetros *in situ* analizados durante el año 2023 se mantiene dentro de lo esperado, dentro de los rangos de la variación natural y estacional.

Figura 6-75 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-76 Variación Temporal: OD *in situ*, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.1.2 Parámetros Fisicoquímicos de laboratorio

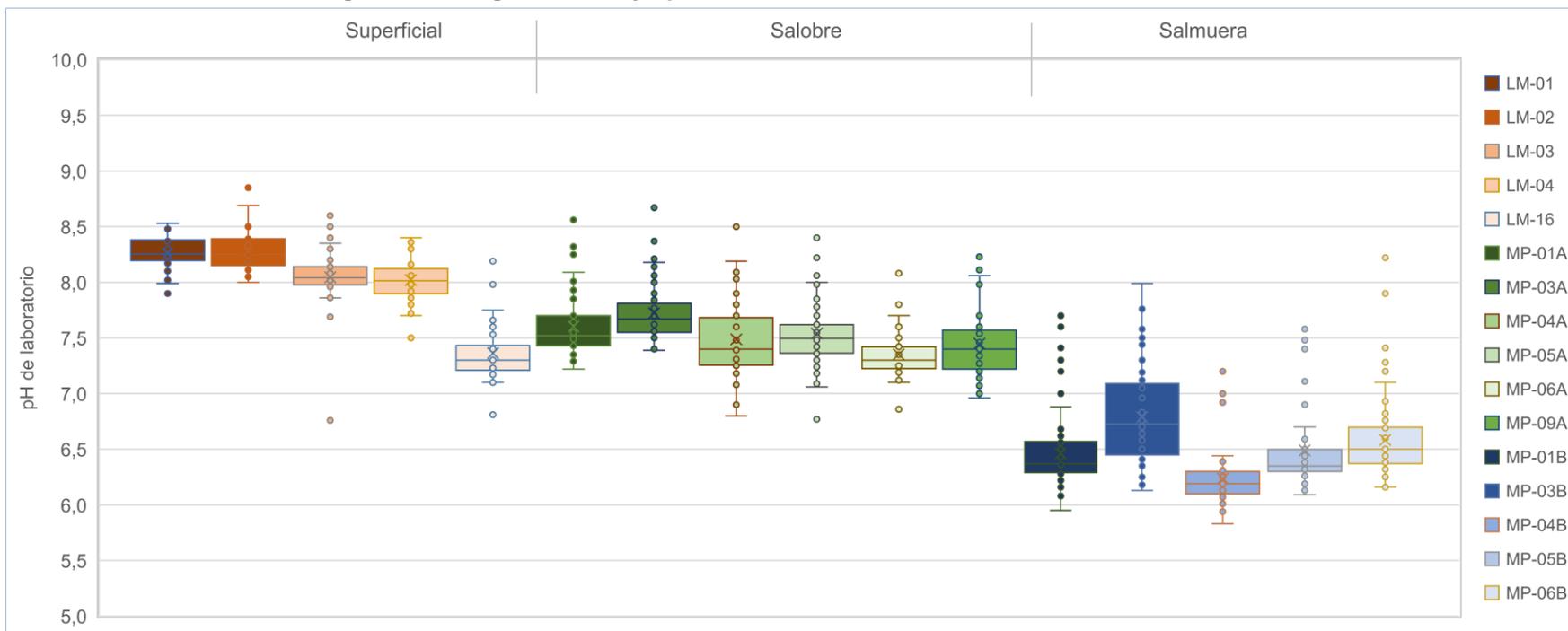
6.1.8.1.2.1 Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 6-79 se presentan los resultados de laboratorio de la estimación de SDT. La carga de material disuelto, como es esperable, es mucho mayor en las muestras de salmuera, con medianas que varían entre casi los 200.000 mg/l y 330.000 mg/l. Los SDT de las muestras de las lagunas (superficiales) están en un rango intermedio de concentraciones, con un valor de P75 de hasta 116.240 mg/l en LM-04. Para las aguas subterráneas someras (salobres) los SDT son generalmente menores a los 52.000 mg/l en MP-05A.

6.1.8.1.2.2 Densidad

Respecto a la densidad, cuyos resultados se presentan en la Figura 6-80, los valores para las salmueras son mayores que las aguas salobres, con medianas entre los 1,141 y 1,209 g/ml (valor mínimo podría estar asociado a un error de medición del laboratorio). Las aguas salobres, como es de esperar por la menor carga de material disuelto, tienen medianas entre 1,000 g/ml y 1,019 g/ml. Las aguas superficiales de las lagunas tienen densidades que se circunscriben entre las de las salmueras y las aguas salobres, siendo más cercanas a estas últimas, con densidades entre 1,000 g/ml y 1,064 g/ml.

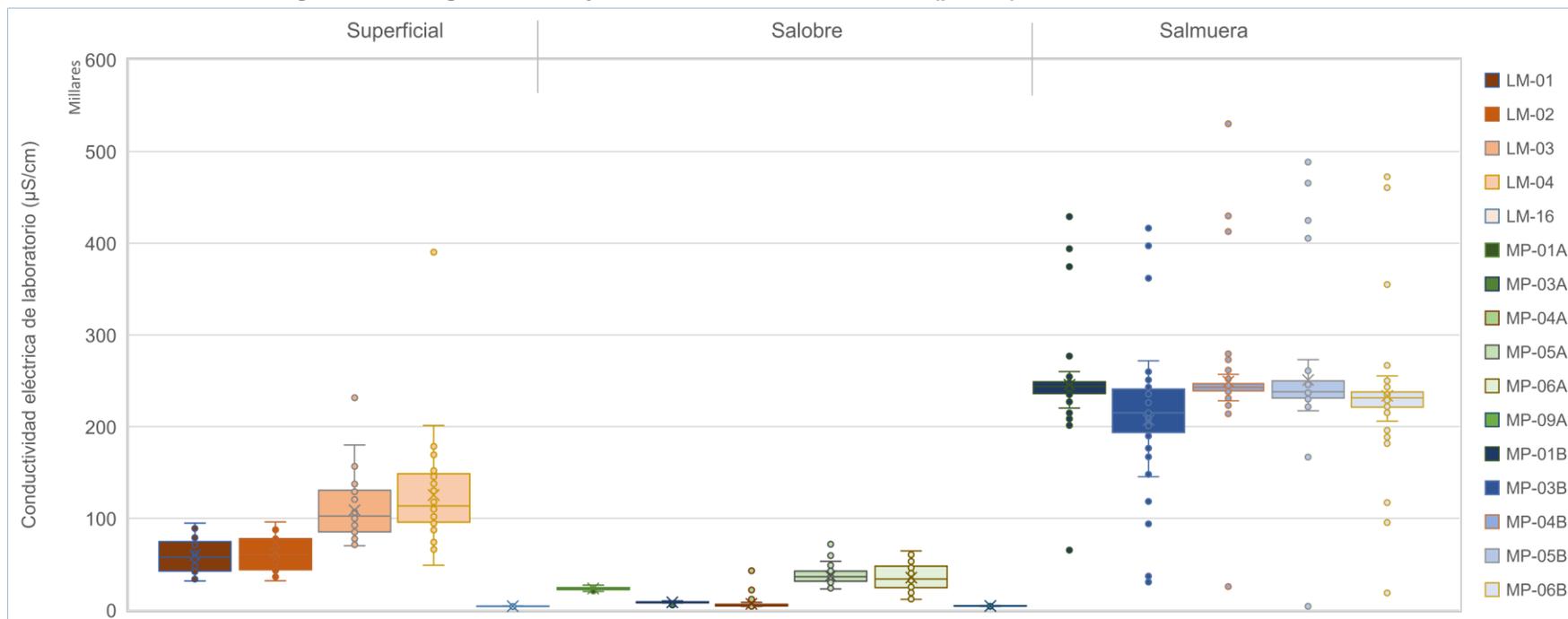
Figura 6-77 Diagrama de Caja, pH de laboratorio histórico, Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	71	70	72	72	45	41	71	70	72	44	72
Min	7,90	8,00	6,76	7,50	6,81	7,22	7,39	6,80	6,77	6,86	6,96	5,95	6,13	5,83	6,09	6,16
P25	8,20	8,15	7,98	7,90	7,21	7,43	7,55	7,26	7,36	7,23	7,22	6,29	6,45	6,10	6,30	6,37
Mediana	8,26	8,25	8,04	8,02	7,30	7,52	7,67	7,40	7,50	7,30	7,40	6,37	6,73	6,19	6,35	6,50
P75	8,38	8,39	8,14	8,12	7,43	7,70	7,81	7,68	7,62	7,42	7,57	6,57	7,09	6,30	6,50	6,70
Max	8,53	8,85	8,60	8,40	8,19	8,56	8,67	8,54	8,44	8,08	8,23	7,70	7,99	7,20	7,58	8,22
RQ	0,18	0,24	0,16	0,22	0,22	0,27	0,26	0,42	0,26	0,19	0,35	0,28	0,64	0,20	0,20	0,33

Fuente: Elaboración propia

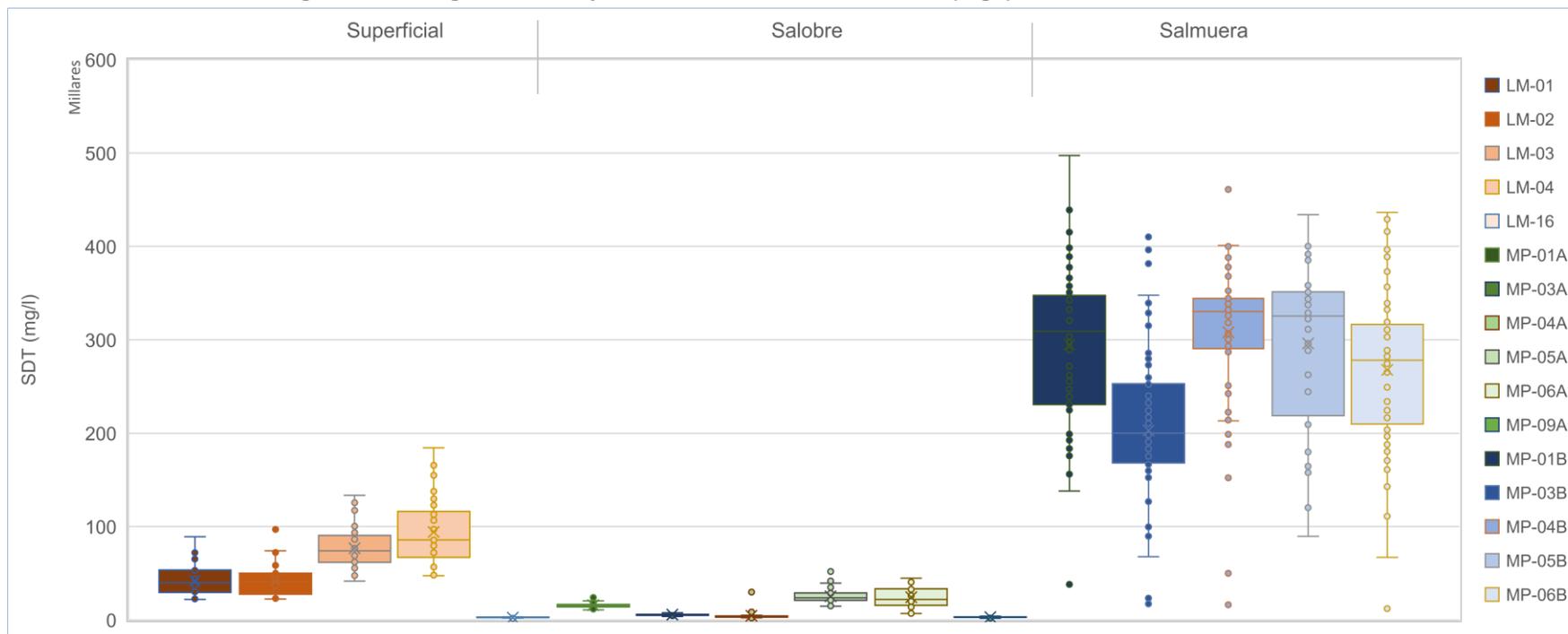
Figura 6-78 Diagrama de Caja, CE de laboratorio histórico (µS/cm), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	70	70	72	71	45	41	70	70	71	43	72
Min	31.700	32.100	70.120	49.000	3.980	20.500	5.660	4.120	23.100	11.780	4.100	65.400	30.600	25.600	4.300	18.890
P25	42.640	44.100	85.328	95.925	4.184	22.400	8.063	4.648	31.600	24.525	4.391	236.000	193.700	239.000	231.078	221.250
Mediana	57.550	60.454	102.607	113.598	4.255	23.200	8.497	5.635	36.370	33.846	4.490	244.000	215.000	243.000	238.000	231.500
P75	74.800	77.826	130.631	148.819	4.391	24.608	8.925	6.390	42.700	48.040	4.795	248.948	241.025	247.000	250.000	237.750
Max	94.900	96.100	231.599	390.259	5.050	27.330	11.483	42.900	71.800	64.600	6.376	428.859	416.335	530.222	488.448	472.400
RQ	32.160	33.726	45.303	52.894	207	2.208	862	1.742	11.100	23.515	404	12.948	47.325	8.000	18.922	16.500

Fuente: Elaboración propia

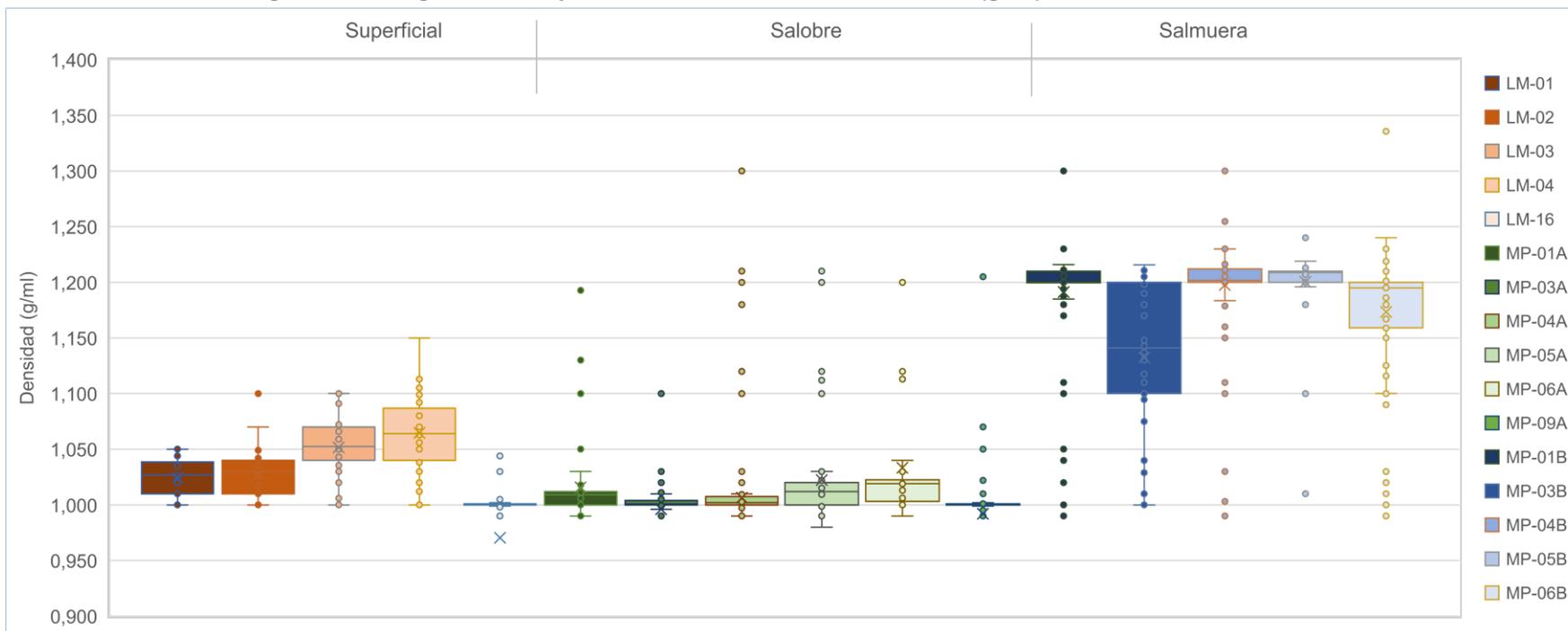
Figura 6-79 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	41	42	71	69	72	71	45	41	71	70	72	44	72
Min	22.050	22.480	41.550	47.400	1.740	10.800	3.910	2.320	14.640	7.010	1.950	38.210	17.200	16.360	89.530	12.215
P25	29.617	27.633	61.725	67.067	2.550	14.080	4.995	3.051	21.060	15.685	2.781	230.800	168.270	290.497	218.765	209.948
Mediana	39.850	41.233	74.150	85.667	2.668	15.333	5.292	3.646	23.624	22.100	3.020	309.250	200.227	330.203	325.547	278.090
P75	53.530	50.100	90.698	116.240	2.964	16.685	6.085	4.273	28.900	33.388	3.348	347.600	252.938	344.369	351.430	316.535
Max	89.200	97.033	133.433	184.300	3.440	25.450	9.860	29.800	51.890	44.733	4.400	497.350	410.192	461.194	434.100	436.392
RQ	23.913	22.467	28.973	49.173	414	2.605	1.090	1.222	7.840	17.703	567	116.800	84.668	53.872	132.665	106.587

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-80 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector La Punta-La Brava



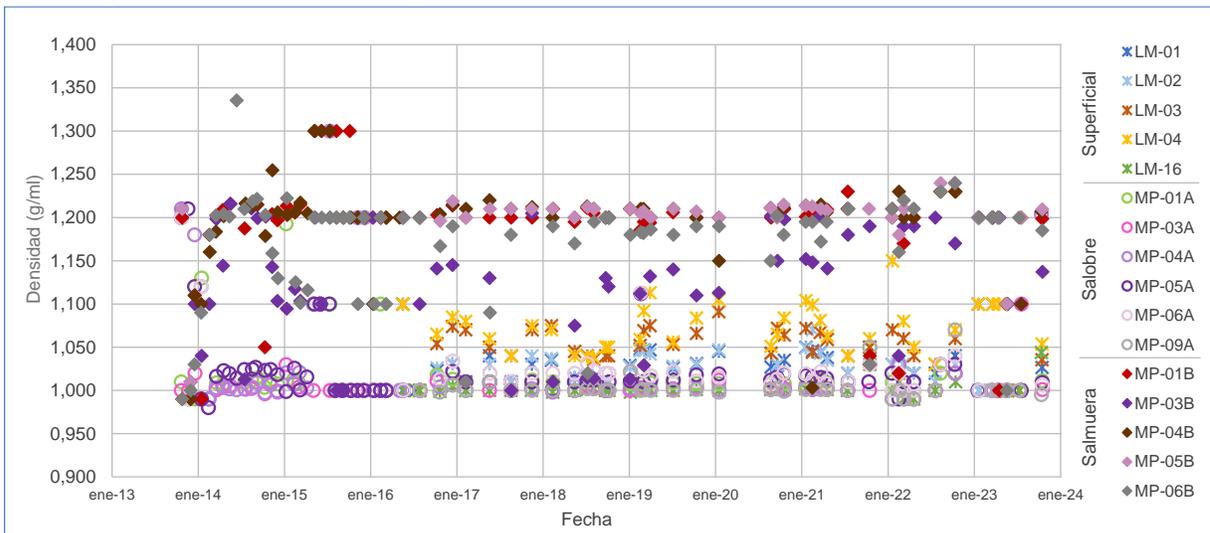
	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	69	69	71	71	45	41	70	69	71	44	72
Min	1,000	1,000	1,000	1,000	0,333	0,333	0,333	0,333	0,980	0,990	0,333	0,990	1,000	0,990	1,010	0,990
P25	1,010	1,010	1,040	1,040	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,003	1,000	1,200	1,100	1,200	1,200	1,159
Mediana	1,027	1,030	1,053	1,064	1,000	1,009	1,001	1,002	1,012	1,019	1,000	1,200	1,141	1,202	1,209	1,195
P75	1,039	1,040	1,070	1,087	1,001	1,012	1,004	1,007	1,020	1,023	1,001	1,210	1,200	1,212	1,210	1,200
Max	1,050	1,100	1,100	1,150	1,044	1,600	1,100	1,300	1,210	1,500	1,205	1,300	1,216	1,697	1,240	1,555
RQ	0,029	0,030	0,030	0,047	0,001	0,012	0,004	0,007	0,020	0,020	0,001	0,010	0,100	0,012	0,010	0,041

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.1.2.3 Variación Temporal de los parámetros fisicoquímicos de Laboratorio

En la Figura 6-81, se presenta la variación temporal de la densidad medida en laboratorio, donde se observan los cambios que se producen en este parámetro en las aguas superficiales luego de las precipitaciones del invierno altiplánico de cada año. Los puntos LM-01 a LM-04 muestran que la densidad de las aguas aumenta relativamente en los meses de febrero y marzo para luego disminuir pasado el estío. Los valores registrados en el 2023 se comportan dentro de la variabilidad natural histórica, aunque solo LM-04 muestra las variaciones estacionales de años anteriores.

Figura 6-81 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector La Punta-La Brava

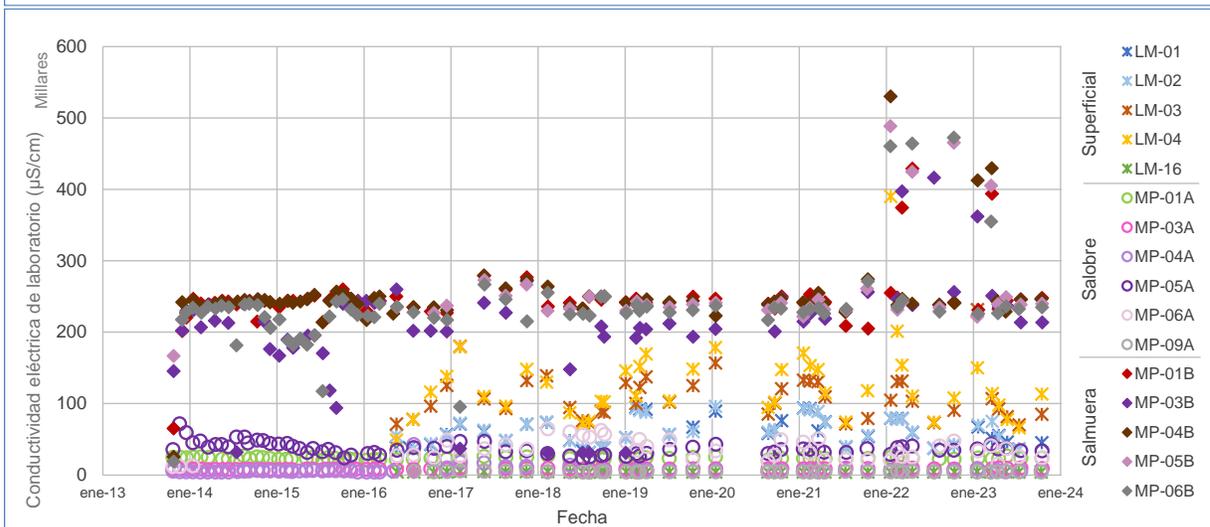
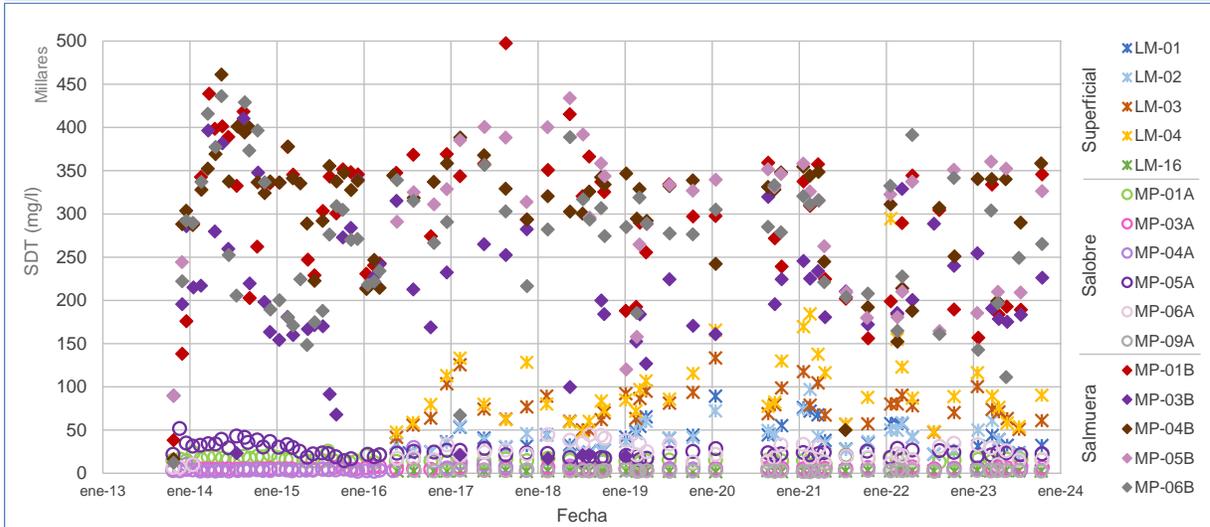
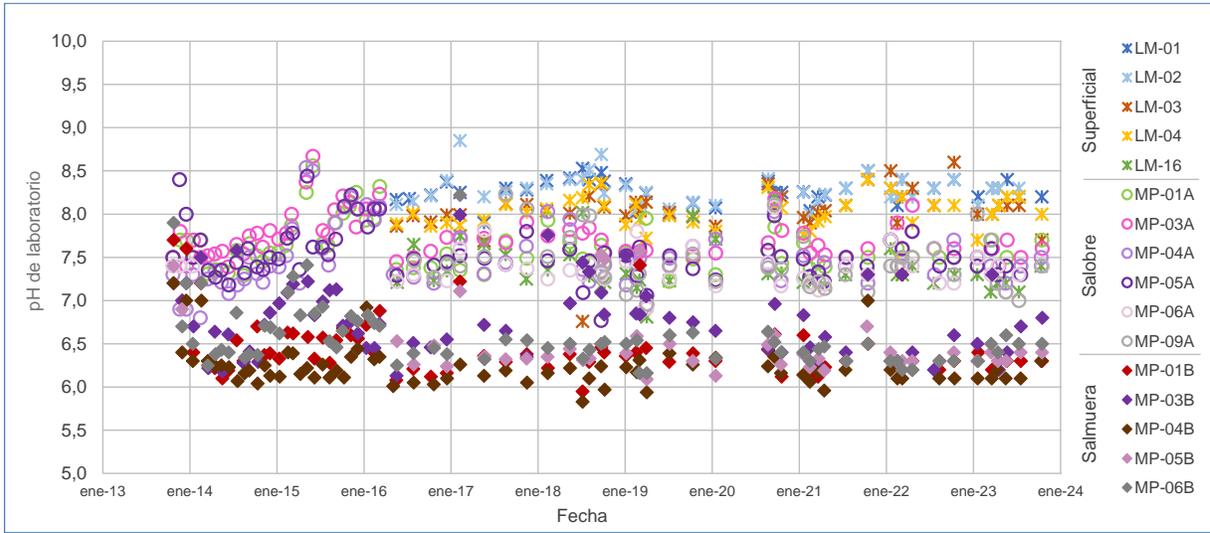


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-82, se presenta la variación temporal de los valores de los parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio. Al igual que para los parámetros *in situ*, en general, el comportamiento de los parámetros analizados durante el año 2023 se comporta dentro de los registros históricos.

Como se mencionó anteriormente, para el presente periodo de reporte, y para el año 2022, existen valores de conductividad eléctrica medidos en laboratorio en salmueras y en una muestra superficial (LM-04) sobre los rangos normales de variación, los que se presentan en el gráfico, pero se consideran valores anómalos, debido probablemente a errores en el análisis de las muestras o de digitación de resultados. Debido a que estos valores anómalos (u *outliers*) han ocurrido para los últimos dos años de reporte, los datos del año 2022 aún no se descartarán de las tablas de estadígrafos y gráficos. Sin embargo, cabe señalar que ya desde el monitoreo de abril de 2023, las mediciones de CE de laboratorio se han reestablecido dentro de los rangos de variación normales, siendo concordantes con las variaciones de la conductividad eléctrica medida en terreno.

Figura 6-82 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.1.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

6.1.8.1.3.1 Aniones mayores

Los aniones mayores corresponden a cloruros (Cl^-), bicarbonatos (HCO_3^-), nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}), y se presentan gráficamente en la Figura 6-83 a Figura 6-86. Cada figura presenta una tabla con los estadígrafos representativos de la serie histórica.

Entre estos aniones, las concentraciones de los cloruros son las mayores, por lo que responden de manera similar a lo descrito para la CE y los SDT. Las aguas superficiales, representadas por los puntos LM, registran valores de mediana entre 21.816 mg/l (LM-01) y 48.719 mg/l (LM-04), con concentraciones máximas que se sitúan en los meses de verano. Para el punto LM-16, la concentración de cloruros es menor a los anteriores, con mediana de 979 mg/l. Por otro lado, las aguas salobres presentan valores menores a las aguas superficiales lagunares, con rango de mediana entre 1.057 mg/l para MP-09A y de 12.364 mg/l en MP-05A. Los puntos que monitorean la salmuera presentan las mayores concentraciones de cloruros, con valores de mediana que van desde los 128.283 mg/l para MP-03B hasta los 186.416 mg/l para MP-01B, lo que resulta ser consistente con la presencia de la salmuera en profundidad y sin percibir los cambios estacionales que sí se detectan en superficie.

De la gráfica de los bicarbonatos se observa un rango de variación similar entre las 3 fuentes de aguas, que se circunscriben en general entre los 350 mg/l y 500 mg/l. Las aguas superficiales lagunares, sin embargo, presentan concentraciones mayores de bicarbonato, alcanzando hasta los 1.224 mg/l (en LM-04) debido a su interacción con la atmósfera, con máximos particularmente en verano. En el otro extremo, las concentraciones en la salmuera obtenida desde MP-04B son las menores, con un valor de mediana de 235 mg/l de bicarbonato. El rango completo de las series de datos de todo el sector se presenta entre un valor de P25 mínimo de 213 mg/l en MP-04B, hasta el P75 máximo de 772 mg/l en LM-04. En el año 2023 los valores se sitúan dentro de los rangos históricos, salvo bajas mediciones de marzo en LM-02 de 41 mg/l y de abril de 17 mg/l en MP-01A.

El nitrato, en el caso de la salmuera, presenta dispersión en sus valores más que en las otras fuentes. En el caso de las lagunas y aguas salobres, los valores son bajos y similares entre ellos. Para este parámetro, se tiene una serie de valores anómalos dentro del registro histórico de puntos de agua subterránea y limnímetros en el sector, los cuales se presentan en detalle en el Anexo H-7. En 2023 las concentraciones de nitrato se comportan dentro de la variabilidad natural histórica, con valores altos de nitrato en las muestras de salmuera de MP-01B y MP-03B, donde las concentraciones de nitrato alcanzan hasta los 104 mg/l, consistentes con los valores alcanzados durante el 2022. Se alcanza, además, un máximo de concentración en MP-06A de 84 mg/l en el mes de octubre de 2023, aunque se estima que es un error de

laboratorio (outlier) pues todos los otros resultados de nitrato en este mes están bajo del límite de detección).

En el caso de los sulfatos, al igual que en el caso de los cloruros, también se observa la diferencia de concentración para las aguas salobres y para la salmuera, con mediana que varían entre 427 mg/l (MP-09A) hasta 1.298 mg/l (MP-05A) para el caso de las aguas salobres, y entre 8.140 mg/l (MP-01B) hasta 17.534 mg/l (en MP-05B), para la salmuera. Se observa que producto de procesos de evaporación y precipitaciones durante el verano existe un aumento en la concentración de sulfato en las lagunas, LM-03 y LM-04, mayores que LM-01 y LM-02, lo que no se vislumbra tan marcadamente en las aguas salobres como en el caso de las lagunas. En general, las concentraciones de sulfato durante el 2023 se encuentran dentro de los rangos naturales y variaciones estacionales típicas, registrándose, sin embargo, un máximo de concentraciones en marzo en MP-04B (de 25.684 mg/l) y en julio en MP-05B (28.302 mg/l).

6.1.8.1.3.2 Cationes mayores

Los cationes mayores que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y sodio (Na^+), cuya evolución temporal y tabla con estadígrafos de la serie se presentan en la Figura 6-87 a Figura 6-90.

Una característica común a los cationes considerados es que los puntos que monitorean la salmuera presentan los mayores contenidos o concentraciones, mientras que los puntos someros, correspondiente a aguas salobres, presentan valores semejantes a las concentraciones de las aguas superficiales en lagunas y, en algunos casos, estos son superados por estas últimas (salvo para el calcio disuelto desde mediados del año 2020).

Las concentraciones de calcio muestran, en términos de mediana, variaciones para las aguas superficiales entre 157 mg/l (LM-16) a 873 mg/l (LM-04), para las aguas salobres entre 143 mg/l (MP-03A) a 220 mg/l (MP-06A) y, para la salmuera, entre 357 mg/l (MP-05B) a 812 mg/l (MP-03B). En 2023 los valores de calcio disuelto se mantienen dentro del rango histórico, salvo los outliers en MP-05B en abril (con 1.566 mg/l) y MP-05A en mayo (con 1.305 mg/l).

El potasio se presenta estable a lo largo del tiempo, con las mayores concentraciones alcanzadas en la salmuera, los valores máximos de medianas alcanzan cerca de los 17.620 mg/l en MP-04B.

Por otra parte, se observa que en el punto LM-16 las concentraciones de potasio disuelto muestran valores bajos llegando a un valor de mediana de 79 mg/l, posiblemente un dato anómalo. En el 2023 las concentraciones se comportan dentro de los rangos de variación

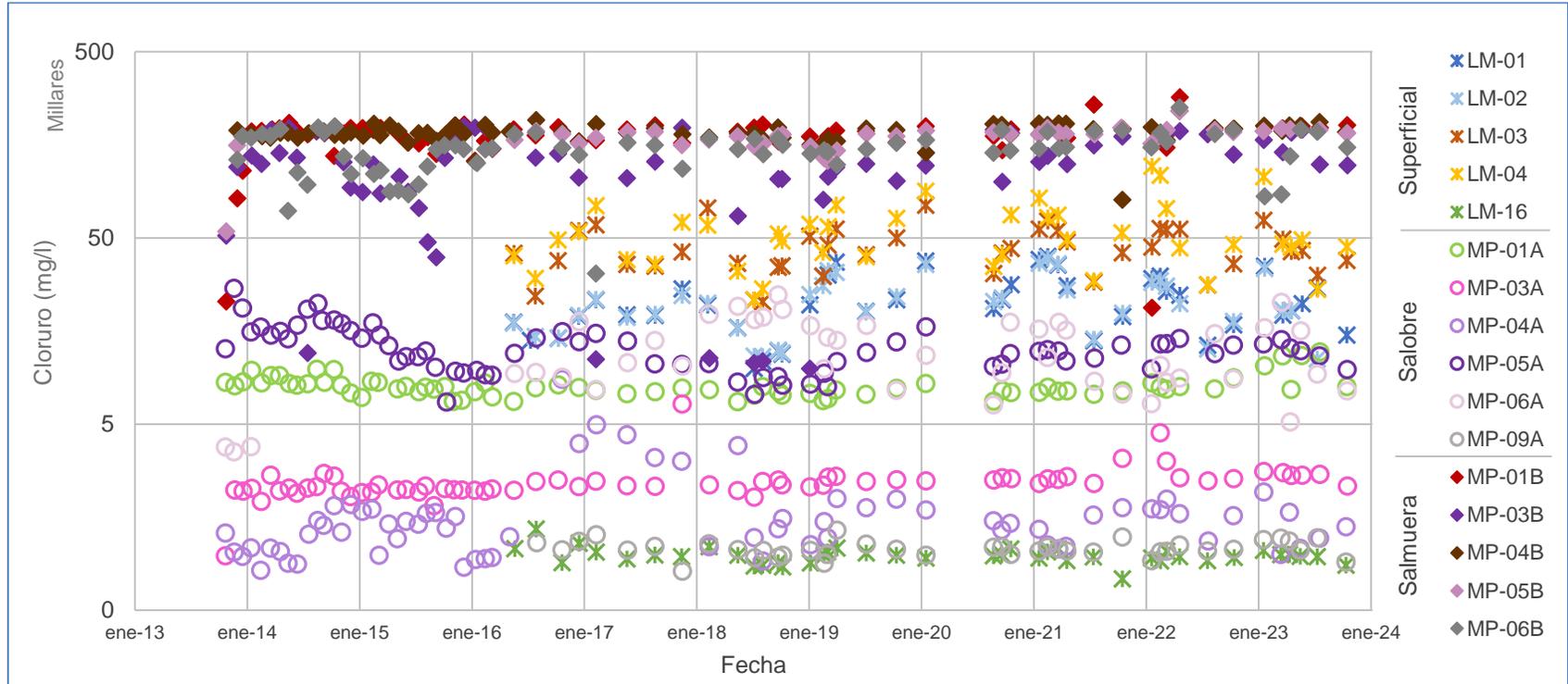
naturales, salvo en MP-03B y MP-04B en marzo y abril, respectivamente, donde se registran máximos históricos.

Las concentraciones de magnesio presentan los valores más bajos para los puntos someros, con mediana entre los 89 mg/l (MP-09A) y los 570 mg/l (MP-05A). Las lagunas presentan concentraciones mayores, con medianas entre 797 mg/l (LM-01) y 1.851 mg/l (LM-04). Para el punto LM-16, la mediana es menor, con 85 mg/l. Finalmente los puntos de salmuera alcanzan medianas de hasta 8.069 mg/l (MP-05B). Estas mediciones se enmarcan en los rangos históricos.

El sodio es el elemento que se presenta en mayor concentración respecto al resto de cationes mayoritarios. En los puntos someros (agua salobre), los rangos de mediana varían entre 617 mg/l (MP-09A) y 6.206 mg/l (MP-05A). Le siguen las lagunas, con variaciones de mediana entre 11.720 mg/l (LM-02) hasta 25.496 mg/l (LM-04), pero LM-16 sigue manteniendo concentraciones más bajas que las anteriores, con mediana de 562 mg/l. Las lagunas presentan un aumento de la concentración de sodio en enero debido a mayores procesos de evaporación y precipitaciones (que generan disolución de sales) durante el verano. Los puntos de salmuera tienen valores de mediana entre 66.429 mg/l (MP-03B) hasta llegar a 91.130 mg/l (MP-04B). Los valores reportados para el año 2023 se encuentran dentro de los rangos de variación históricos.

De manera general, entre las aguas superficiales, salobres y salmuera, las aguas de las lagunas presentan concentraciones intermedias, debido a que las lagunas se exponen a procesos de evaporación por lo que los elementos tienden a concentrarse. Además, corresponden a la zona de descarga del sistema, razón por la cual se concentran en dirección al flujo hasta descargar en las lagunas. En general se observa que para los cuatro cationes analizados los valores medidos en el 2023 se mantuvieron dentro de la variación natural en relación con los rangos registrados en años anteriores. Por otro lado, durante el 2023 se mantienen las mayores concentraciones de calcio disuelto en las muestras lagunares de LM-04, por sobre las de salmueras, registradas desde mediados del 2020.

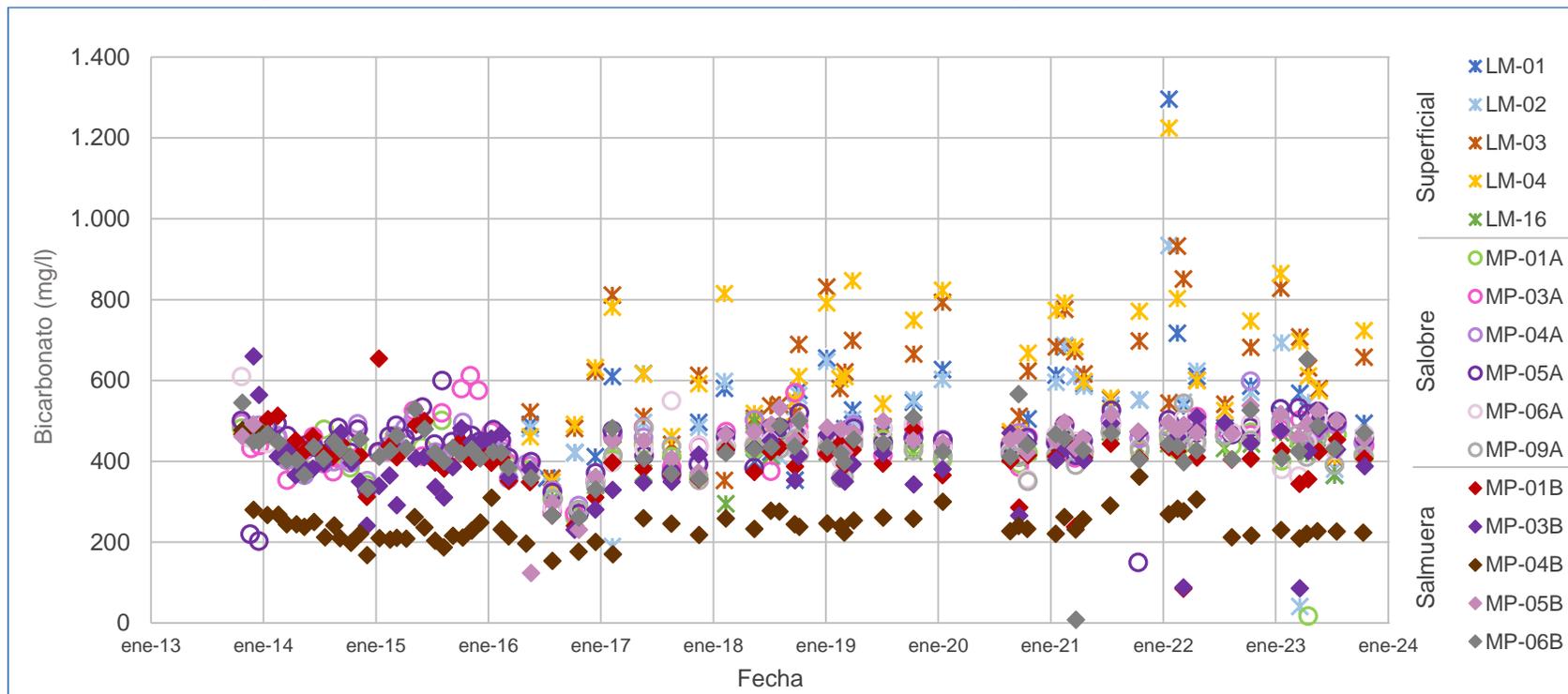
Figura 6-83 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	71	70	71	72	45	41	70	70	71	44	71
Min	9.969	11.190	22.693	23.250	738	6.582	982	818	6.570	3.550	810	21.088	9.917	80.225	54.152	32.176
P25	16.922	16.373	35.322	39.300	924	7.405	2.214	1.098	10.267	8.439	1.014	164.992	100.757	175.650	162.731	131.413
Mediana	21.816	22.107	42.113	48.719	979	7.810	2.355	1.429	12.364	10.690	1.057	186.416	128.283	183.728	180.881	151.690
P75	28.575	27.638	54.938	64.742	1.030	8.306	2.557	1.736	14.895	16.916	1.137	194.821	178.966	196.691	188.061	176.866
Max	39.738	38.738	74.927	121.310	1.366	12.211	6.418	8.708	26.799	24.736	1.345	284.329	197.908	240.691	240.104	250.378
RQ	11.653	11.265	19.616	25.442	106	901	343	638	4.628	8.477	123	29.829	78.209	21.041	25.330	45.453

Fuente: Elaboración propia

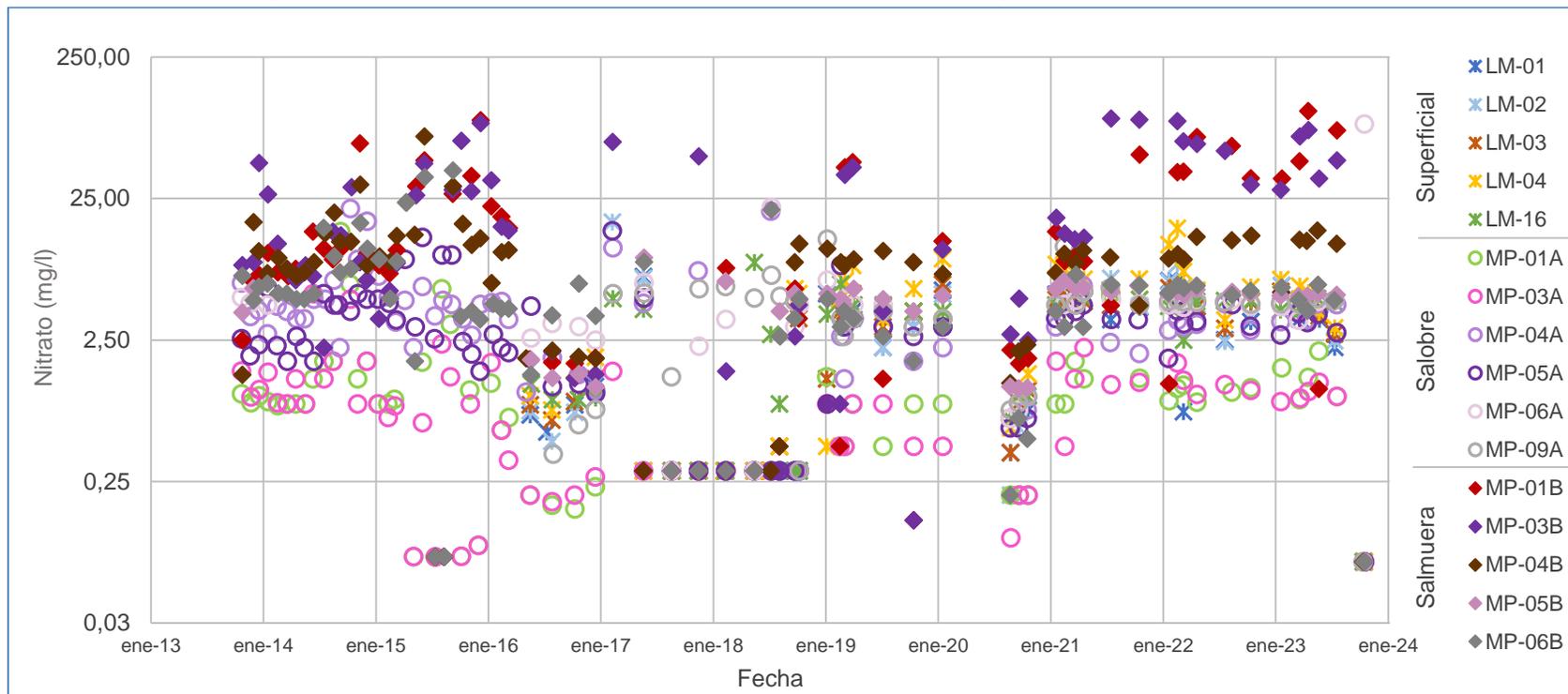
Figura 6-84 Variación Temporal: HCO₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	71	70	72	72	45	41	71	69	72	44	72
Min	42	39	42	42	42	71	70	72	72	45	41	71	69	72	44	72
P25	354	41	353	348	281	17	271	291	150	281	281	85	86	154	124	8
Mediana	435	427	517	512	412	411	419	421	429	423	410	387	351	213	450	406
P75	521	496	615	610	428	431	448	456	458	445	431	411	410	235	468	430
Max	596	586	691	771	454	456	479	476	483	467	456	443	458	261	492	454
RQ	1,296	934	933	1,224	500	508	612	599	600	610	543	654	660	478	538	652

Fuente: Elaboración propia

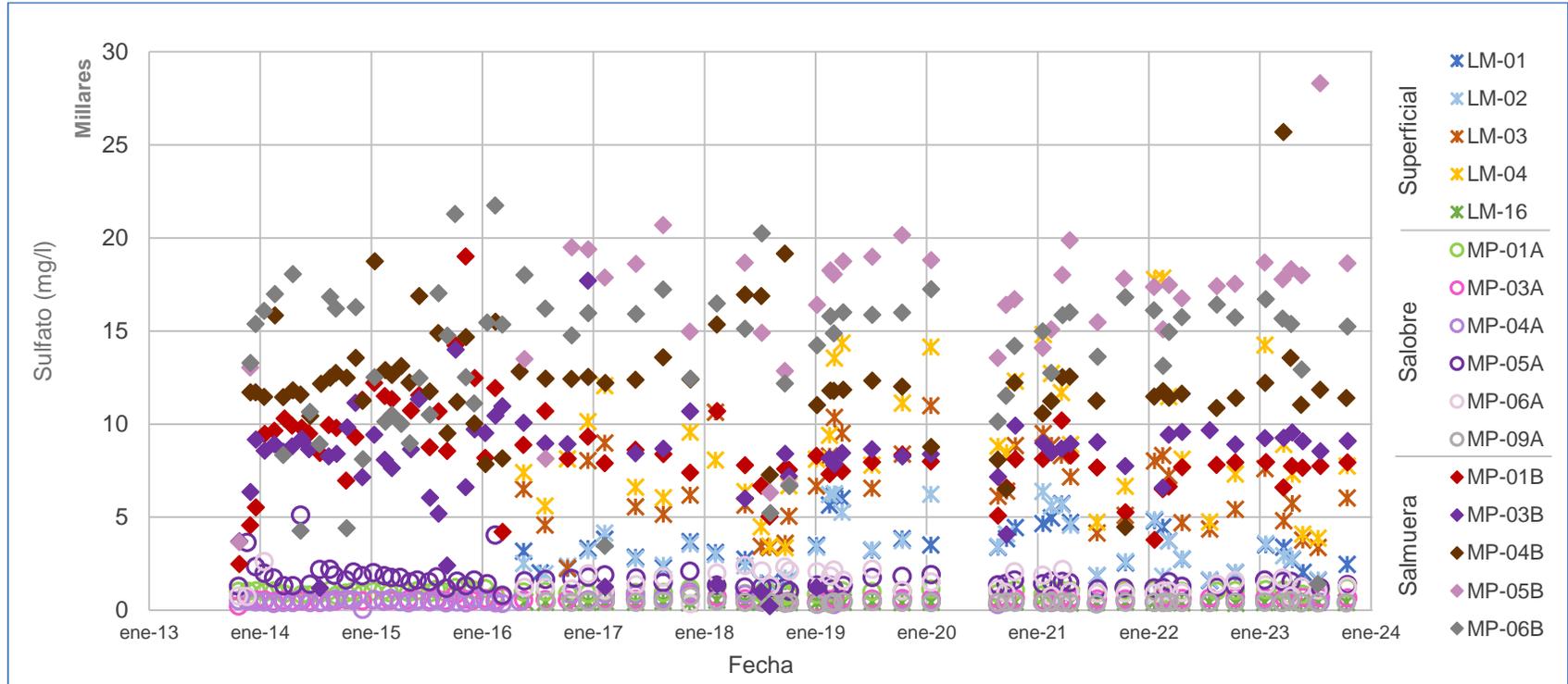
Figura 6-85 Variación Temporal: NO₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	41	39	40	41	42	70	69	72	72	43	41	68	70	71	42	71
Min	0,07	0,20	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,30	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
P25	0,48	0,48	0,73	0,70	0,97	0,30	0,30	2,06	1,77	3,11	2,88	1,72	2,41	2,32	1,72	3,10
Mediana	3,10	3,10	3,62	4,87	4,03	0,89	0,89	3,52	3,10	4,43	4,54	8,24	11,44	9,30	5,14	4,87
P75	4,89	4,96	4,73	6,71	4,63	1,33	1,28	4,59	4,27	4,78	5,03	29,66	35,10	12,39	5,55	6,14
Max	7,00	17,01	6,19	15,44	8,81	14,61	5,31	21,25	14,79	84,30	12,89	104,08	91,90	68,61	9,57	39,40
RQ	4,41	4,48	4,00	6,01	3,66	1,03	0,98	2,53	2,50	1,67	2,15	27,94	32,69	10,07	3,83	3,04

Fuente: Elaboración propia

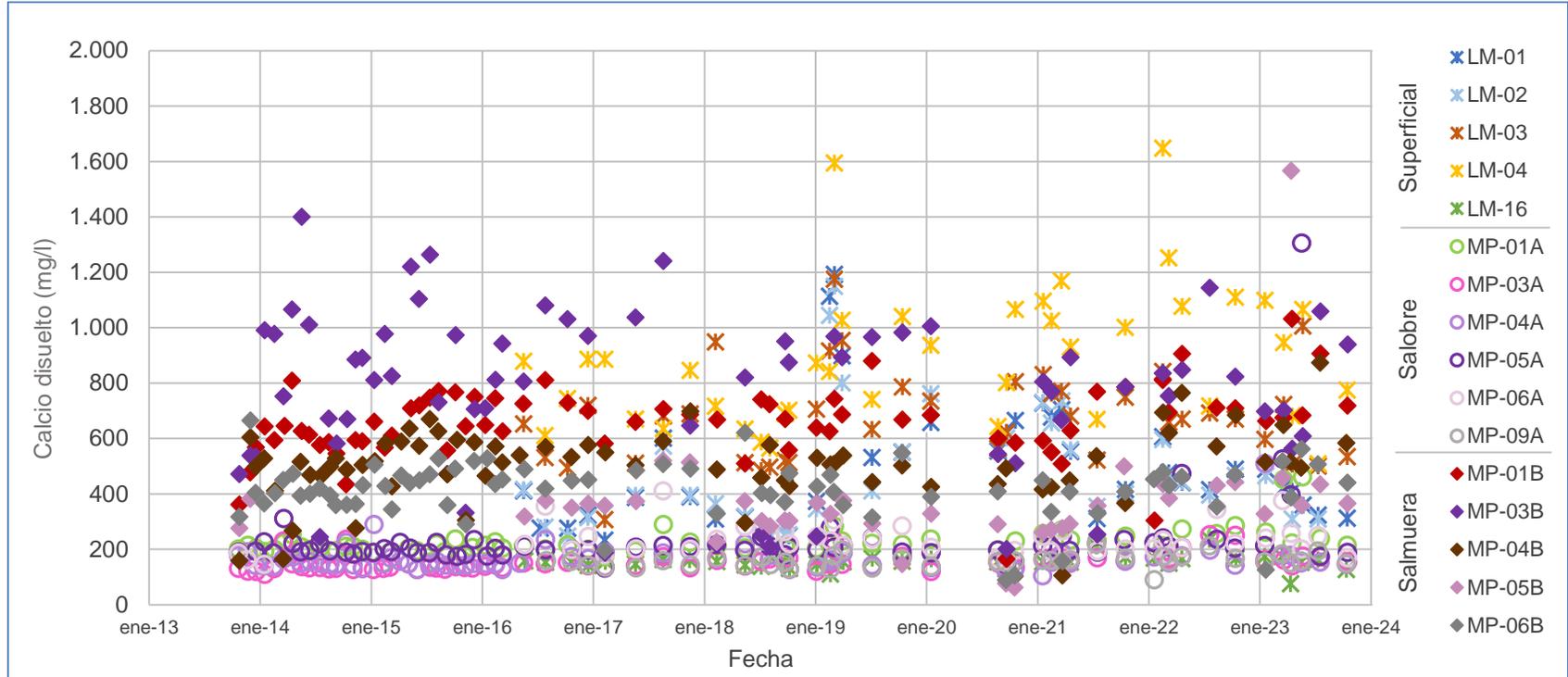
Figura 6-86 Variación Temporal: SO₄ en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	70	70	71	72	45	41	71	70	71	43	71
Min	1.429	1.285	2.274	3.353	367	771	231	45	803	355	336	2.480	220	4.476	3.663	1.412
P25	2.192	2.054	4.778	6.546	412	902	528	419	1.298	1.008	412	7.541	7.184	11.245	14.967	11.525
Mediana	3.270	2.989	6.297	8.122	426	1.000	573	450	1.542	1.326	427	8.140	8.651	11.842	17.534	15.114
P75	3.991	4.153	8.308	11.782	441	1.063	630	514	1.772	1.977	455	9.796	9.295	12.741	18.673	16.114
Max	6.153	6.388	10.990	17.843	601	1.298	850	991	5.120	2.621	753	19.005	17.697	25.684	28.302	21.740
RQ	1.799	2.099	3.530	5.236	29	161	102	95	474	969	43	2.255	2.111	1.496	3.706	4.589

Fuente: Elaboración propia

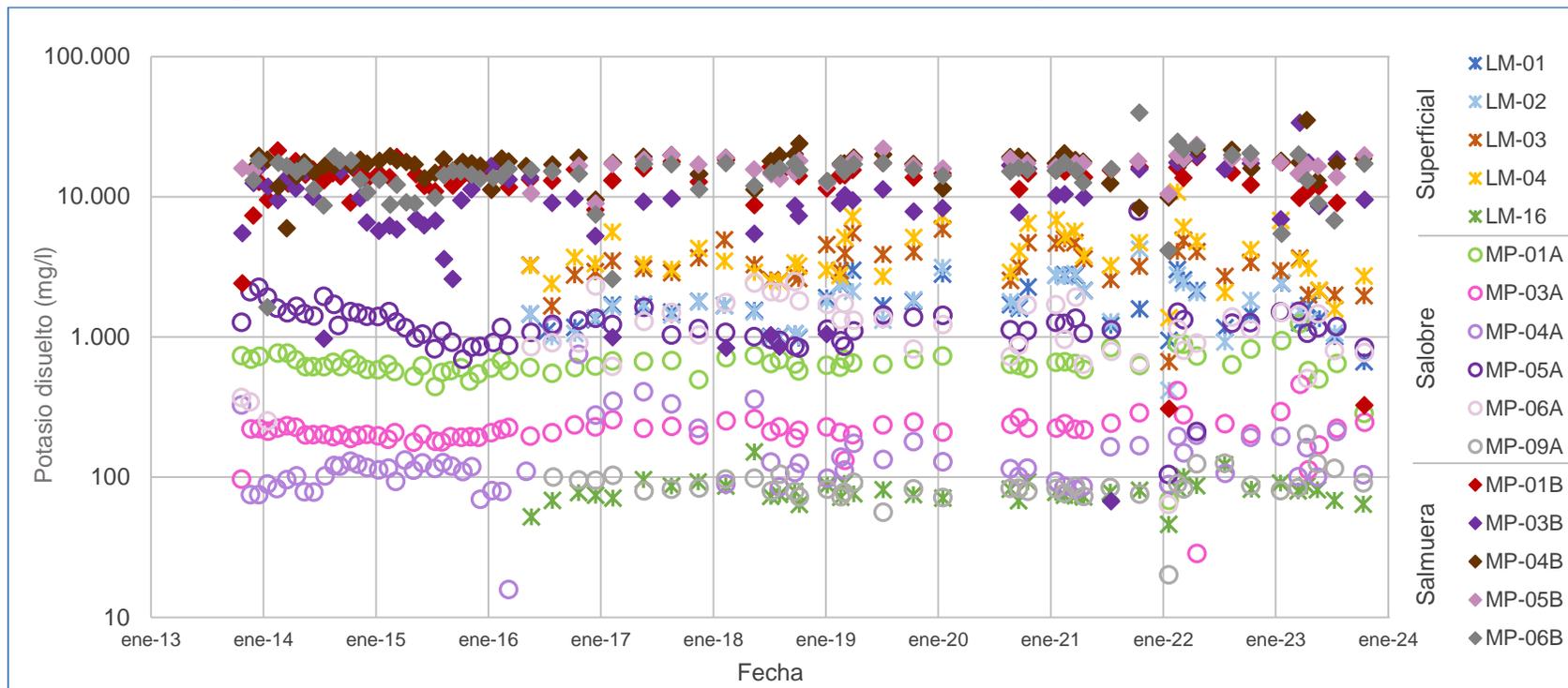
Figura 6-87 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	41	38	41	41	42	70	70	71	70	45	41	71	69	71	42	72
Min	233	177	307	508	75	150	110	104	132	146	90	165	188	102	63	89
P25	314	313	521	686	149	200	133	144	190	195	143	590	595	449	292	365
Mediana	416	413	670	873	157	213	143	154	202	220	157	663	812	514	357	427
P75	604	578	767	1.053	167	235	165	178	223	256	168	726	976	577	390	472
Max	1.192	1.149	1.175	1.647	236	462	252	510	1.305	411	219	1.032	1.400	874	1.566	665
RQ	290	265	246	367	18	35	32	34	33	61	25	136	381	128	98	107

Fuente: Elaboración propia

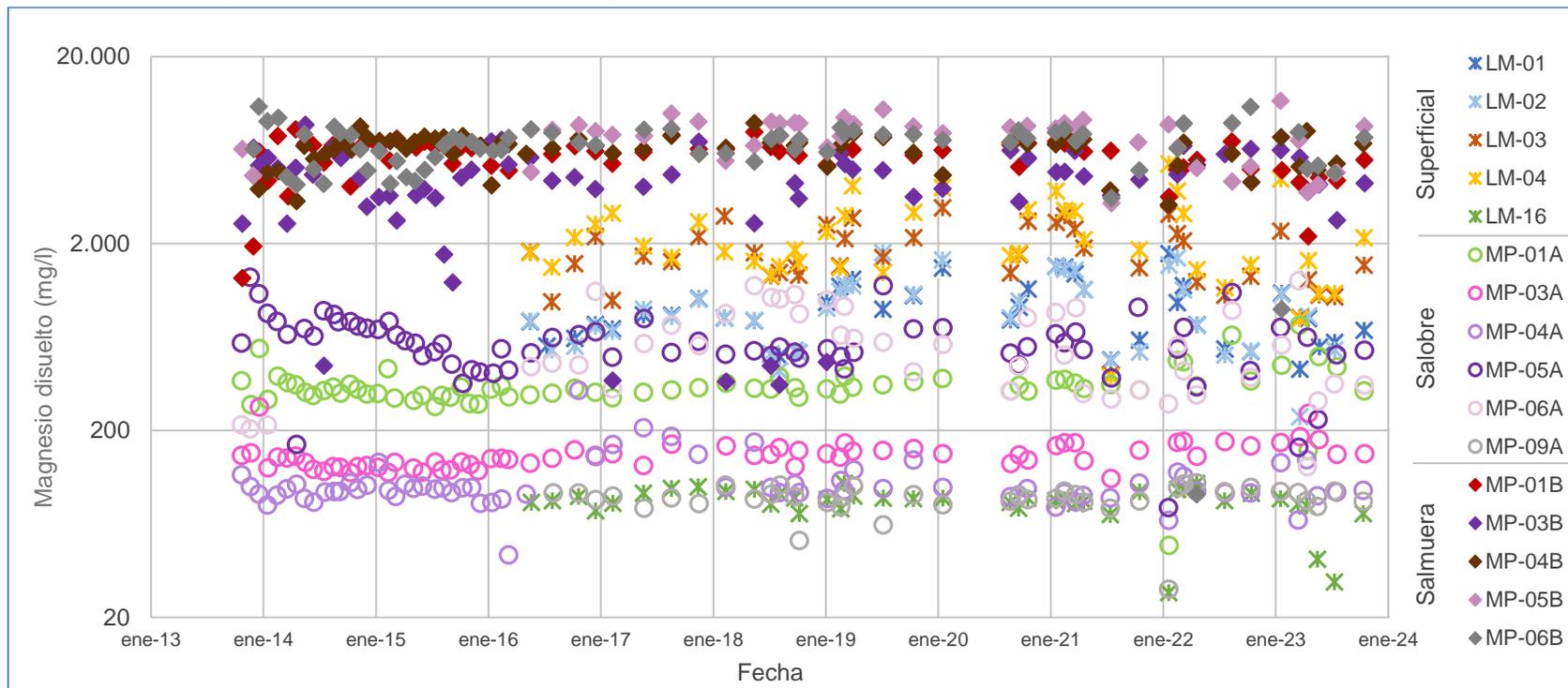
Figura 6-88 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	70	70	72	72	45	41	71	70	71	44	70
Min	665	417	664	1.375	46	68	29	16	104	64	20	307	67	5.968	8.956	1.630
P25	1.200	1.285	2.606	2.851	72	586	197	94	991	796	79	11.990	6.703	15.867	15.303	12.486
Mediana	1.661	1.677	3.222	3.428	79	637	215	116	1.198	1.140	83	14.080	9.769	17.620	16.798	15.185
P75	2.295	2.405	4.068	5.139	87	691	233	164	1.436	1.698	96	15.530	15.742	18.930	18.405	17.154
Max	3.025	4.228	5.876	10.855	151	1.245	460	1.180	7.908	2.489	203	21.459	33.721	35.240	23.407	39.821
RQ	1.095	1.120	1.462	2.288	15	105	36	70	445	902	17	3.540	9.039	3.063	3.102	4.668

Fuente: Elaboración propia

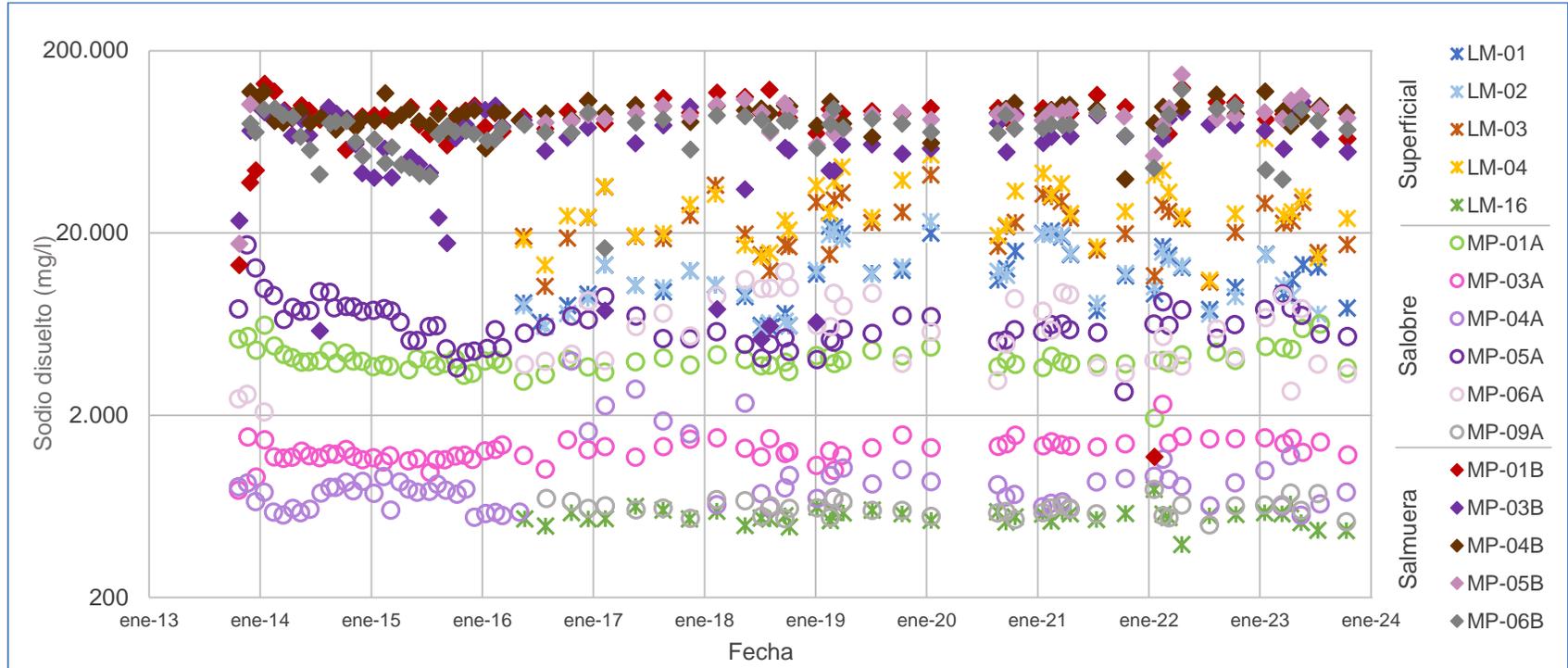
Figura 6-89 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	71	69	71	72	45	41	69	70	69	44	70
Min	424	237	396	387	27	48	111	43	77	128	28	1.305	351	3.224	3.287	91
P25	584	537	1.338	1.502	80	313	130	90	498	331	83	5.233	3.530	5.850	6.443	5.520
Mediana	797	810	1.696	1.851	85	335	145	97	570	569	89	6.220	4.548	6.691	8.069	7.022
P75	1.135	1.133	2.277	2.913	92	365	159	104	703	849	94	6.670	5.747	7.227	8.785	7.845
Max	1.766	1.783	3.108	5.330	104	731	267	329	1.318	1.266	105	8.167	8.628	8.828	11.603	21.258
RQ	551	596	939	1.411	12	52	29	14	205	518	11	1.437	2.217	1.377	2.342	2.325

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-90 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	42	39	42	42	42	71	70	71	72	45	40	71	70	71	44	71
Min	6.062	6.027	10.184	11.035	391	1.929	777	552	2.698	2.089	501	1.184	5.226	39.450	17.470	16.500
P25	8.780	8.232	17.190	19.733	530	3.771	1.177	646	5.227	3.832	565	79.810	50.855	82.400	83.150	65.200
Mediana	11.751	11.720	22.722	25.496	562	3.971	1.275	776	6.206	5.846	617	90.600	66.429	91.130	89.031	75.150
P75	15.236	15.113	29.185	36.210	585	4.297	1.402	891	7.561	8.878	646	97.000	84.020	98.584	94.450	83.250
Max	21.840	23.090	41.645	66.079	786	6.341	2.303	3.968	17.237	12.240	784	131.663	104.561	119.479	147.766	122.366
RQ	6.456	6.881	11.995	16.477	55	526	225	245	2.334	5.046	81	17.190	33.165	16.184	11.300	18.050

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.2 Sector Peine

La distribución de los puntos de monitoreo para el sector se detalla en la Figura 5-72 del Capítulo 5, del presente informe.

Es importante señalar que el punto LM-17 es un limnómetro que se instaló en el área de desborde de la Laguna Interna y que gran parte del año está seco por lo que solo puede muestrearse cuando hay lluvia y/o la laguna Interna genera desbordes. Sin embargo, cuando ocurre un evento de lluvia mayor el acceso se encuentra restringido por peligro en el camino.

El punto Vertiente Peine se incluye en este sector dada su ubicación geográfica a pesar de que en el Anexo 3 de la Adenda 5 se indicó como parte del sector Norte y Borde Este.

Los puntos PP-01, PP-02 y PP-03 están definidos como puntos de monitoreo de las variables de niveles freáticos, composición química y posición de la cuña salina y, debido a esto último, los pozos están ranurados completamente. Para el monitoreo de la composición química, la muestra se toma en la parte somera del pozo por lo que es representativa de las aguas salobres de este sector.

Se debe hacer una referencia especial a la situación del punto MPS-AB, el cual fue monitoreado con *bailer* durante el 2019 (por lo general se muestrea con bomba), debido a la imposibilidad de acceder a él con una bomba para toma de muestra profunda, por el estado del terreno posterior al evento de precipitación de dicho año. Este cambio significó que durante el 2019 la muestra no se obtuviera desde la profundidad deseada para este caso (corresponde a punto de muestreo de salmuera) y se tomara de agua más bien somera (salobre). Esto se evidencia en los resultados fisicoquímicos de este punto, durante el 2019, donde pasa a ser muy similar a la composición fisicoquímica de los puntos someros. Además, debido a este cambio de método de monitoreo en el punto MPS-AB, muchos de los registros de este punto en 2019 se consideran anómalos, de acuerdo con los criterios detallados en la introducción de este apartado. Todos los datos anómalos de este sector se presentan en la Tabla 3 del Anexo H-7.

El período de información que se analiza a continuación corresponde al periodo desde el año 2013 al 2023.

6.1.8.2.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

6.1.8.2.1.1 pH *in situ*

Los valores históricos de pH se presentan en diagramas de caja en la Figura 6-91, donde se incluye la tabla con estadígrafos correspondientes. De la gráfica y datos, se observa que las aguas superficiales presentan valores históricos de pH con medianas entre 7,3 (LM-17) y 8,4 (Anterempresa Tilomonte), correspondiendo a aguas neutras a básicas. Los puntos en la

salmuera muestran pH con medianas en torno a un valor de 6,7, y las aguas salobres corresponden a aguas circumneutrales, salvo en MPS-AA, donde las condiciones son ligeramente más básicas (7,9).

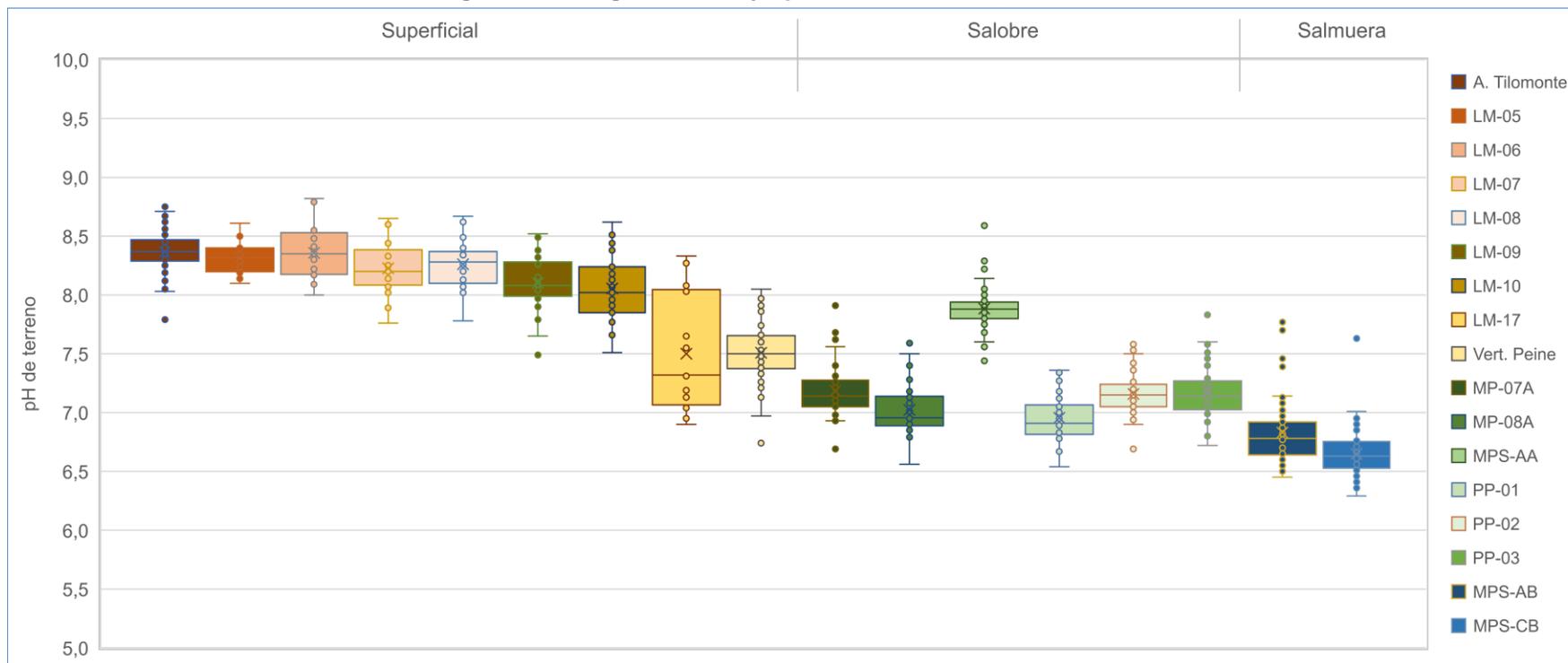
6.1.8.2.1.2 Conductividad Eléctrica *in situ*

La conductividad eléctrica (CE) del sector Peine, de acuerdo con la Figura 6-92, muestra que el punto de monitoreo Anterempresa Tilomonte presenta CE con una mediana de 6.124 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cercano al límite inferior de las aguas consideradas como salobres. Este punto se ubica al sur del sector Peine, más alejado del Núcleo y donde recibe agua de las quebradas provenientes de la precordillera. Vertiente Peine, con mediana de 4.156 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y P75 de 4.302 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se considera agua dulce, lo que se condice con su ubicación y el origen de sus aguas. Para el resto de los puntos superficiales, las conductividades registradas indican aguas salobres con valores de P25 desde 36.080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 152.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor máximo para los limnímetros, (LM-05 y LM-10, respectivamente). El LM-17, que como se ha informado anteriormente corresponde a un punto ubicado en avance de laguna Interna, presenta valores de CE mayores (228.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de mediana).

Para el caso de las salmueras, los valores de CE son bastante altos, con valores de P25 mayores a 220.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el 2019 se registraron valores bajo los 150.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en MPS-AB, debido a que este piezómetro fue monitoreado con *bailer*, no obteniéndose la toma de muestra de salmuera; sin embargo, se prefiere mantener en las gráficas y estadígrafos. Ya en el 2020 se retomó el muestreo con bomba, alcanzando valores dentro del registro histórico hasta el presente periodo.

Para las aguas someras los registros de CE son menores, aunque comparables a los de las aguas lagunares superficiales, con el valor más alto en el MPS-AA (mediana de 66.310 $\mu\text{S}/\text{cm}$), el cual se encuentra al lado de las lagunas, cercano a la Laguna Salada. Los puntos MP-07A y MP-08A, cercanos al borde del salar, presentan valores que tienden a ser más bajos (medianas de 13.930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8.021 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente). Los puntos PP-XX, presentan diferencias relativas en sus valores, esto posiblemente debido a su ubicación. Cabe destacar que la ubicación de los puntos PP-XX se encuentran sobre el borde del salar, alejados del Núcleo, por lo que es considerable que los valores de los parámetros medidos sean valores intermedios.

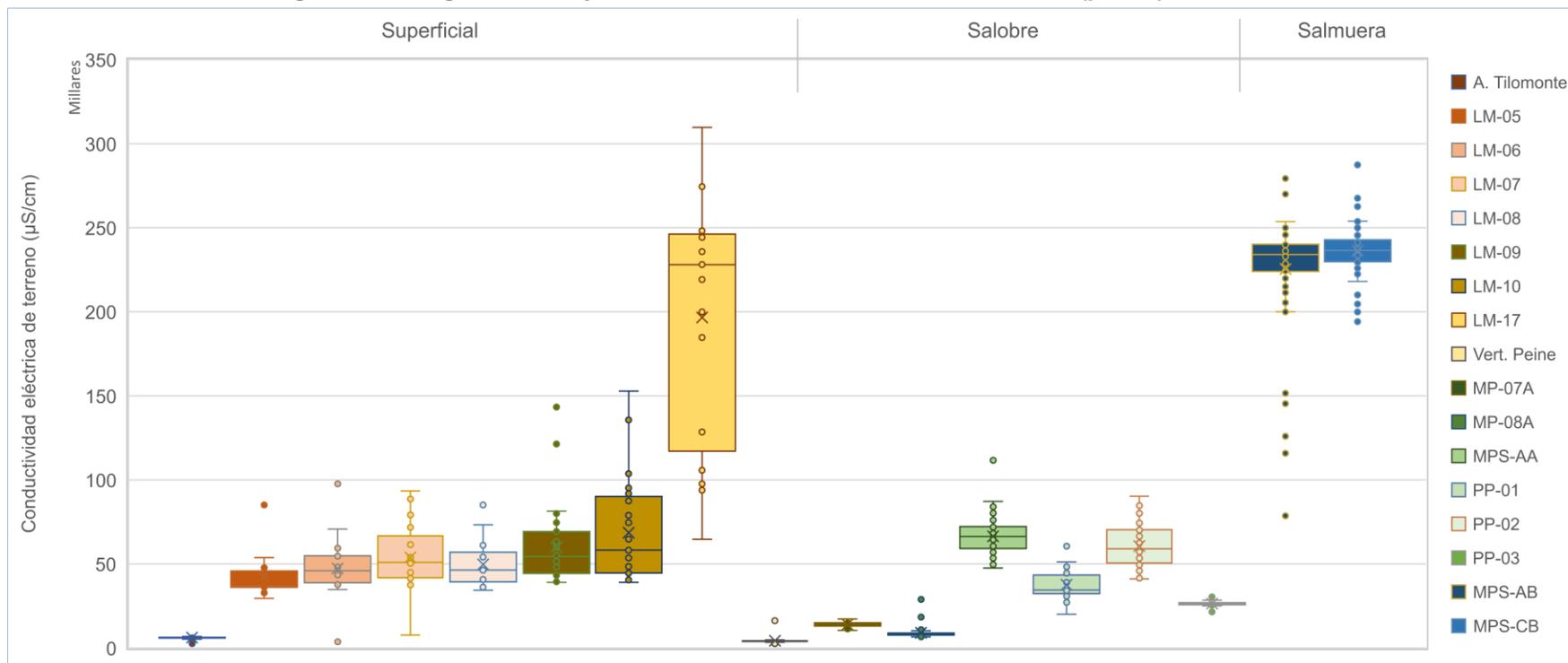
Figura 6-91 Diagrama de Caja, pH *in situ* histórico, Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	58	14	21	29	19	31	27	17	76	40	34	63	41	39	41	63	62
Min	7,79	8,10	8,00	7,76	7,78	7,49	7,51	6,90	6,74	6,69	6,56	7,44	6,54	6,69	6,72	6,45	6,29
P25	8,29	8,20	8,18	8,09	8,10	7,99	7,85	7,07	7,37	7,05	6,89	7,80	6,82	7,05	7,03	6,64	6,53
Mediana	8,37	8,32	8,35	8,20	8,28	8,08	8,02	7,32	7,50	7,14	6,96	7,88	6,91	7,15	7,14	6,78	6,63
P75	8,47	8,40	8,53	8,39	8,37	8,28	8,24	8,05	7,66	7,28	7,14	7,94	7,07	7,24	7,27	6,92	6,75
Max	8,75	8,61	8,82	8,65	8,67	8,52	8,62	8,33	8,05	7,91	7,59	8,59	7,36	7,58	7,83	7,81	7,63
RQ	0,18	0,20	0,35	0,30	0,27	0,29	0,39	0,98	0,29	0,23	0,25	0,14	0,25	0,19	0,24	0,28	0,22

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-92 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica *in situ* histórico (µS/cm), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	21	29	19	31	27	17	76	40	34	63	41	40	41	62	61
Min	2.550	29.490	3.623	7.634	34.310	39.130	39.050	64.710	2.645	10.490	6.521	47.493	20.100	41.120	21.440	78.620	194.200
P25	5.894	36.080	38.765	41.775	39.290	44.360	44.570	117.125	3.908	13.010	7.654	59.190	32.325	50.507	25.755	223.975	229.800
Mediana	6.124	36.980	45.910	50.920	46.400	54.450	58.160	228.100	4.156	13.930	8.021	66.310	34.470	58.970	26.440	234.150	236.600
P75	6.342	45.753	54.898	66.660	56.926	69.310	90.160	246.265	4.302	14.895	8.881	72.160	43.415	70.378	26.895	240.181	242.826
Max	7.591	85.070	97.690	93.400	85.120	143.300	152.800	309.800	16.240	17.280	28.880	111.600	60.800	90.240	30.437	279.300	290.400
RQ	448	9.673	16.133	24.885	17.636	24.950	45.590	129.140	394	1.885	1.227	12.970	11.090	19.871	1.140	16.206	13.026

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.2.1.3 Variación Temporal de los parámetros *in situ*

Los parámetros *in situ* analizados en Sector Peine se presentan en la Figura 6-93 y en la Figura 6-94 con gráficos de la variación temporal de los valores registrados en el período 2013 a 2023.

El pH muestra en el tiempo una tendencia sin mayores variaciones de los valores registrados en cada punto, tanto para los puntos donde se monitorea la salmuera, como para los de monitoreo de agua salobre y lagunas. Se puede observar que para las muestras de las lagunas predominan aguas neutras a básicas, entre 7 y 9; para las salobres la tendencia es neutra a básica y para las salmueras más neutras, entre 6 a 7. Los valores registrados para el 2023 se acotan dentro de los valores históricos. Solo en Anterepresa Tilomonte los valores de pH parecen disminuir en el año 2023, alcanzando un valor de 8,03 en octubre.

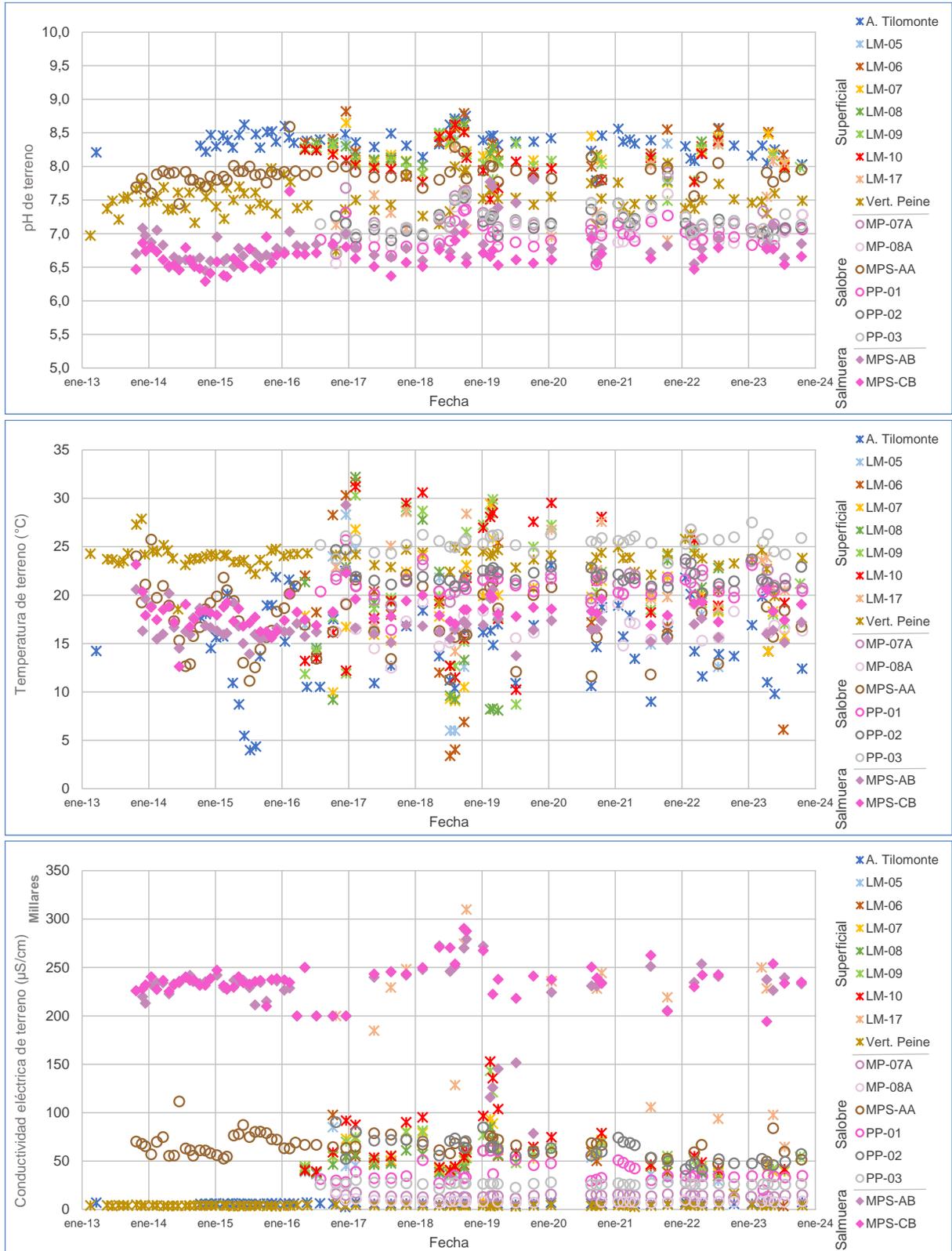
La temperatura, evidencia un comportamiento con rangos variables para el agua salobre, salmuera y aguas superficiales (lagunas, Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine), siendo éstas últimas las que presentan los valores más altos y bajos en temperatura, debido a su relación con la temperatura ambiente.

Para la conductividad eléctrica (CE), los valores más altos se presentan en los puntos de salmuera, con valores que superan los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en registros históricos y para el año 2023, excepto para la medición del mes de abril de 2023 en MPS-CB, donde se alcanza un valor de 194.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cabe recordar que para el punto MPS-AB, en el 2019, la obtención de las muestras fue mediante *bailer*, por lo que se registraron menores valores de CE. En el caso de los puntos someros, se observa una cierta variación estacional. Para Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine las conductividades son las más bajas y para las lagunas se registran conductividades altas, principalmente en LM-17, en campañas que registran valores mayores a los 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debido a su ubicación en el avance de la laguna Interna en el sector del núcleo del Salar.

El oxígeno disuelto presenta mucha dispersión para la estación Anterepresa Tilomonte, al igual que para las lagunas, con la mayor variabilidad de todos los puntos, y una tendencia a aumentar después de Julio 2014. Dicha tendencia cambia y a fines de 2016 tiende a descender y a inicios de 2019 vuelve a subir. Durante el presente periodo de reporte, las concentraciones de oxígeno disuelto se mantienen dentro de la variabilidad del registro histórico.

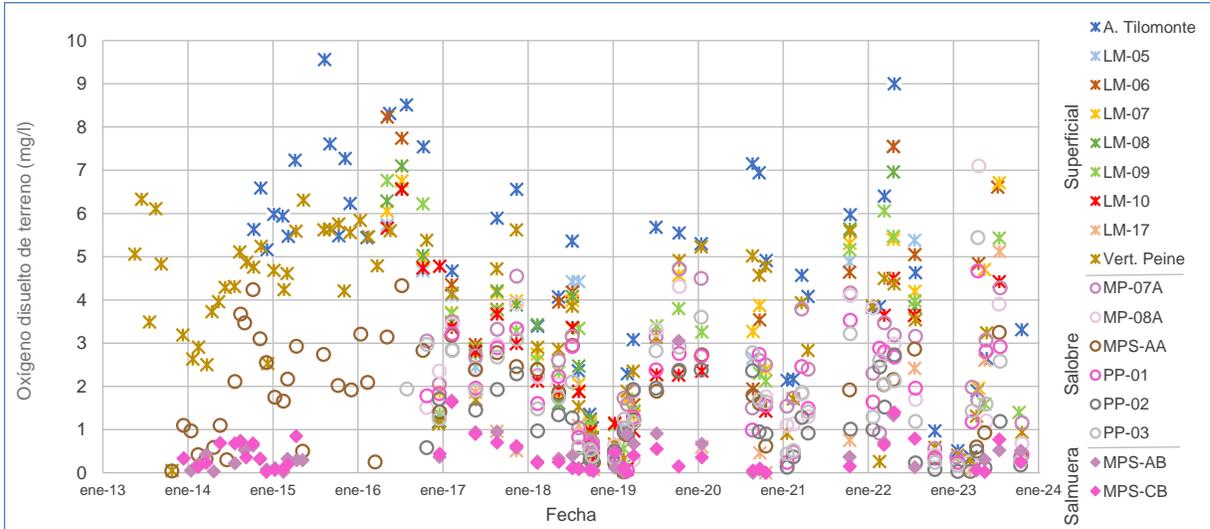
En general, los parámetros *in situ* medidos en el 2023, registran valores que se encuentran dentro del rango de variación natural.

Figura 6-93 Variación Temporal: pH, Temperatura, CE *in Situ*, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-94 Variación Temporal: OD in Situ, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.2.2 Parámetros Fisicoquímicos de laboratorio

6.1.8.2.2.1 Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

Para el caso de los sólidos disueltos totales (SDT), Figura 6-95, se obtienen resultados más acotados y valores menores para el caso de las lagunas y puntos someros, y valores mayores para el caso de LM-17 y puntos de salmuera.

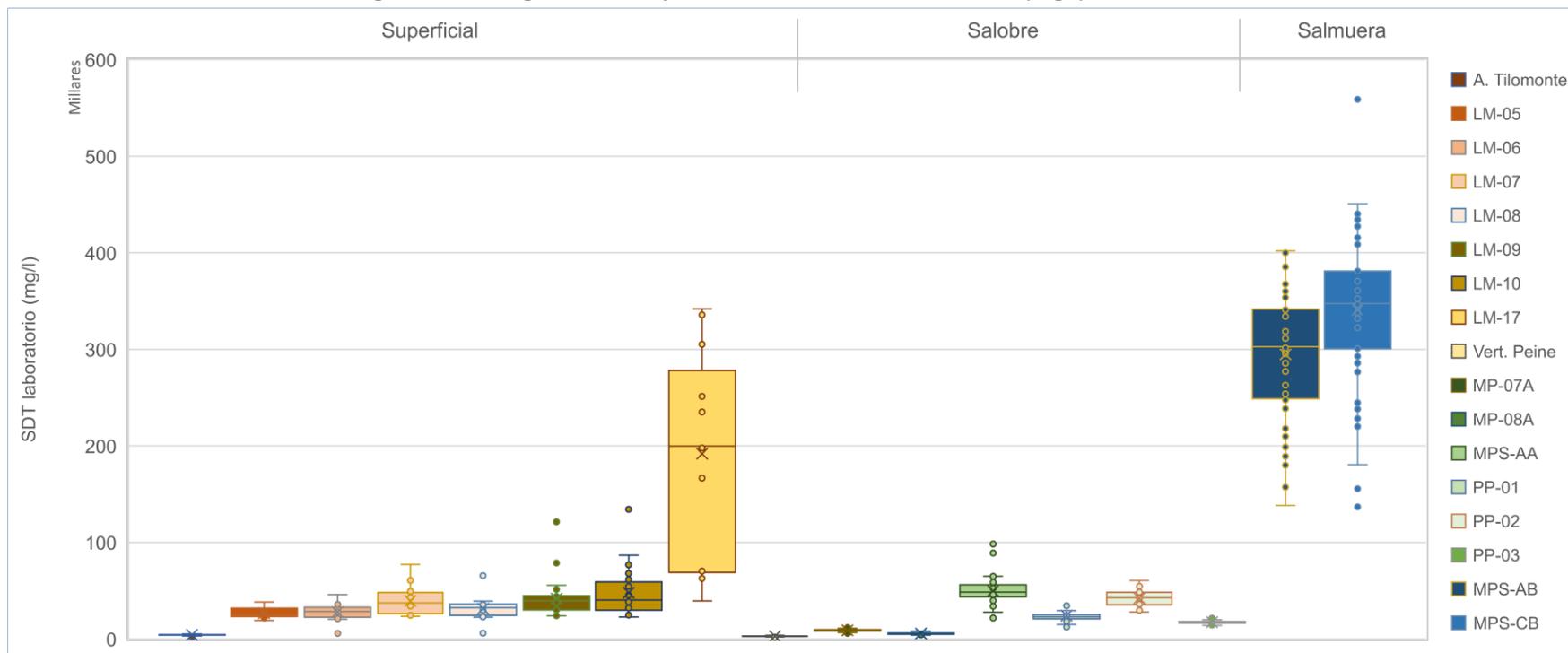
Las lagunas, representadas por los puntos LM-05 a LM-10, presentan valores de SDT, en general, por debajo de los 60.000 mg/l (P75), a excepción del punto LM-17, ubicado en avance de laguna Interna, que presenta SDT altos, con una mediana de 199.870 mg/l, muy cercano a los valores de las salmueras. La vertiente Peine presenta valores muy estables en todo su registro, con mediana 2.849 mg/l. Los puntos de salmuera presentan medianas altas, de 302.697 mg/l y 347.578 mg/l.

Para los puntos PP-0X, los valores de medianas están entre 17.100 mg/l a los 42.584 mg/l.

6.1.8.2.2.2 Densidad

En la Figura 6-96 se presentan los datos de densidad medida en laboratorio. Estos indican que tanto la estación Antepresa Tilomonte como las lagunas y los puntos someros, tienen menor densidad y rangos muy acotados, con valores de mediana entre 1,000 g/ml y 1,029 g/ml ya que corresponden a aguas dulces y salobres, pero menos densas que, lógicamente, las salmueras. Las salmueras presentan densidades más altas, con mediana de 1,190 g/ml y 1,210 g/ml. Estos valores son similares a los valores de densidad medidos en las muestras del punto LM-17, ubicado en avance de laguna Interna, con mediana de 1,147.

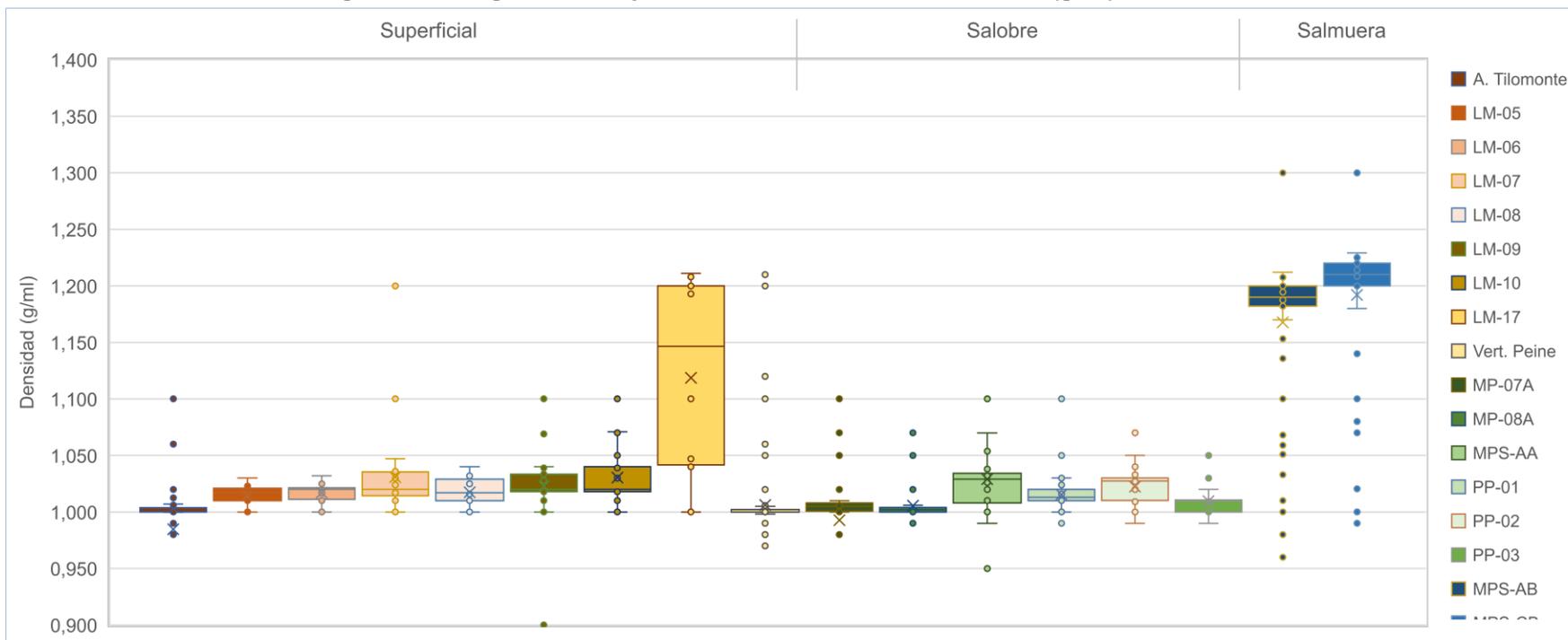
Figura 6-95 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	20	29	19	31	27	17	76	40	33	63	41	40	41	58	63
Min	2.180	19.140	5.802	23.350	6.020	23.960	22.820	39.360	1.700	5.833	3.967	21.801	12.220	27.960	14.100	138.278	136.900
P25	3.886	23.100	22.569	26.361	24.437	29.900	29.880	68.890	2.653	8.295	4.971	43.700	20.865	35.525	16.397	248.903	300.650
Mediana	4.160	24.750	28.367	37.400	32.367	39.700	40.303	199.870	2.849	8.875	5.518	48.567	22.980	42.584	17.100	302.697	347.578
P75	4.515	31.990	32.893	48.052	36.200	44.672	59.210	278.200	3.129	9.528	6.185	55.994	25.385	48.210	18.150	341.597	381.000
Max	5.590	38.220	45.933	77.133	65.600	121.367	134.167	342.000	4.046	13.100	9.860	98.280	39.633	60.500	24.080	401.992	559.000
RQ	629	8.890	10.324	21.691	11.763	14.772	29.330	209.310	476	1.233	1.214	12.294	4.520	12.685	1.753	92.694	80.350

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-96 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	20	29	19	31	27	16	74	40	33	62	41	40	41	63	60
Min	0,333	1,000	1,000	1,000	1,000	0,900	1,000	1,000	0,333	0,333	0,990	0,950	0,990	0,990	0,990	0,960	0,990
P25	1,000	1,010	1,011	1,015	1,010	1,018	1,018	1,042	1,000	1,001	1,000	1,008	1,010	1,010	1,000	1,182	1,200
Mediana	1,000	1,017	1,020	1,020	1,017	1,020	1,020	1,147	1,000	1,005	1,002	1,029	1,013	1,027	1,010	1,190	1,210
P75	1,004	1,021	1,022	1,036	1,029	1,034	1,040	1,200	1,002	1,008	1,004	1,034	1,020	1,030	1,011	1,200	1,220
Max	1,100	1,030	1,032	1,200	1,040	1,100	1,100	1,211	1,210	1,100	1,070	1,100	1,100	1,070	1,050	1,300	1,300
RQ	0,004	0,011	0,011	0,021	0,019	0,016	0,022	0,158	0,002	0,007	0,004	0,026	0,010	0,020	0,011	0,018	0,020

Fuente: Elaboración propia

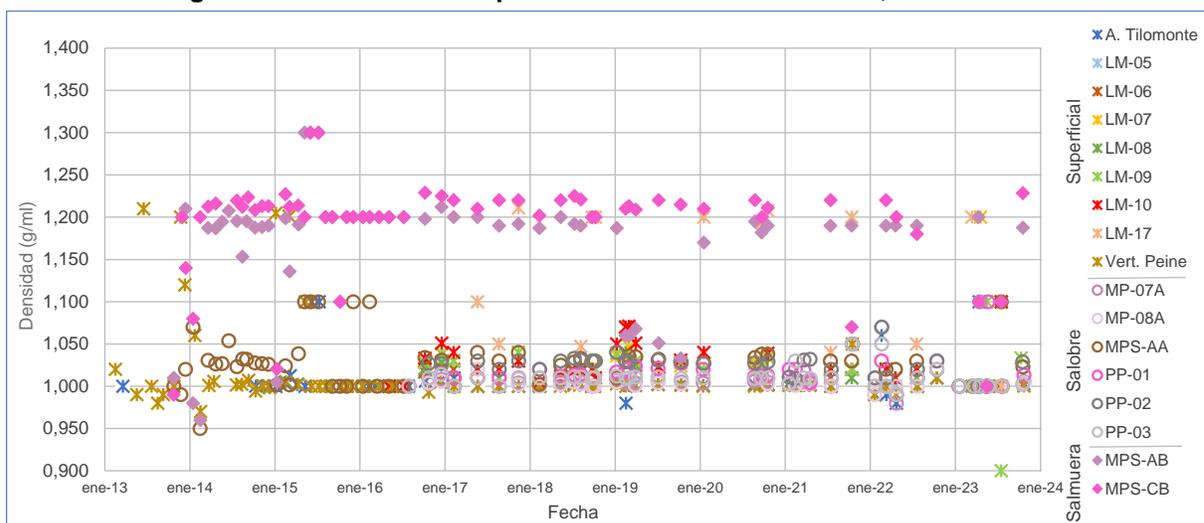
6.1.8.2.2.3 Variación Temporal de los parámetros de laboratorio

Las gráficas de datos temporales de laboratorio, de 2013 a 2023, para pH, CE, SDT y densidad se presentan en la Figura 6-97 y Figura 6-98.

El registro de densidad muestra un comportamiento estable para toda la serie disponible. No obstante, en el 2023 los valores de densidad para las salmueras son más bajos que los históricos. Estos se estiman como un error de laboratorio debido a que los valores de SDT sí se han mantenido dentro del rango de variación natural. De igual manera, para el año 2023 los valores de densidad de las muestras lagunares y de puntos someros indican una densidad de valor 1 (inclusive con valores reportados como <1 – no mostrados en la serie de tiempo), lo cual no concuerda con las variaciones exhibidas históricamente. Algunas de estas mediciones probablemente corresponden a errores debido a metodología de laboratorio, por lo que serían descartadas en los informes venideros (para el presente informe son incluidos en la estadística básica y los gráficos de cajas).

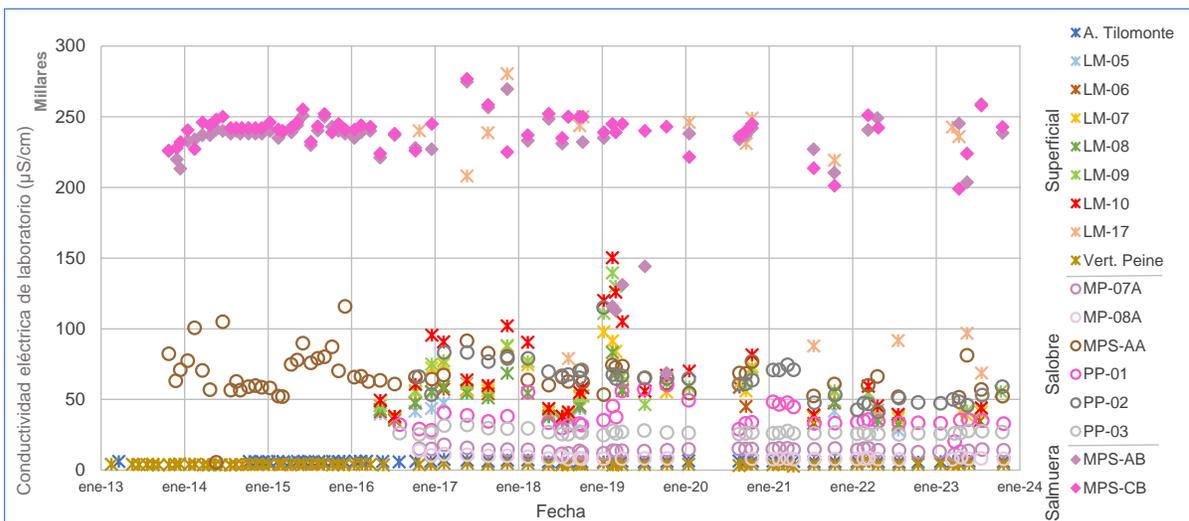
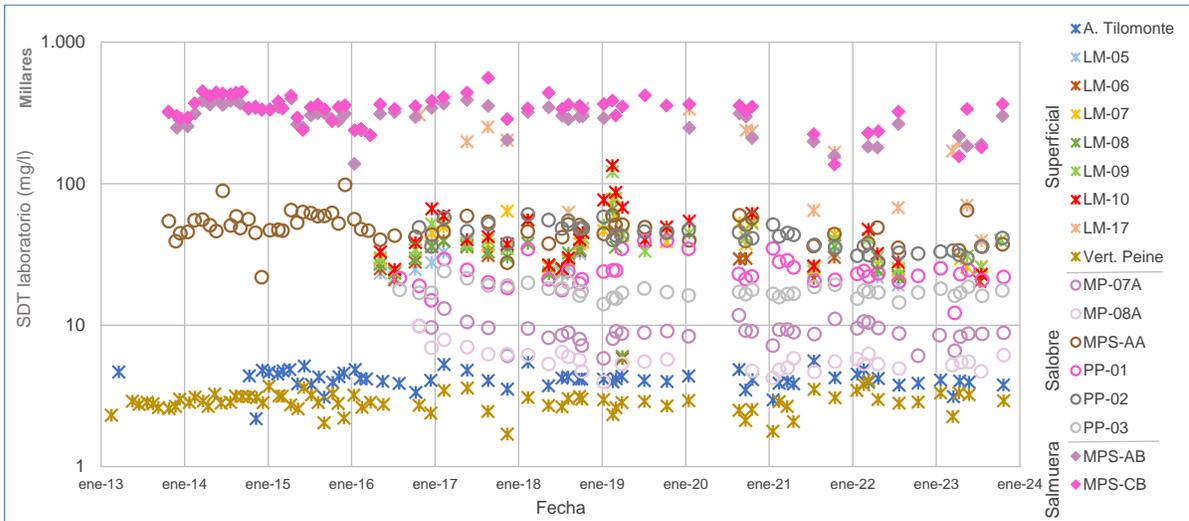
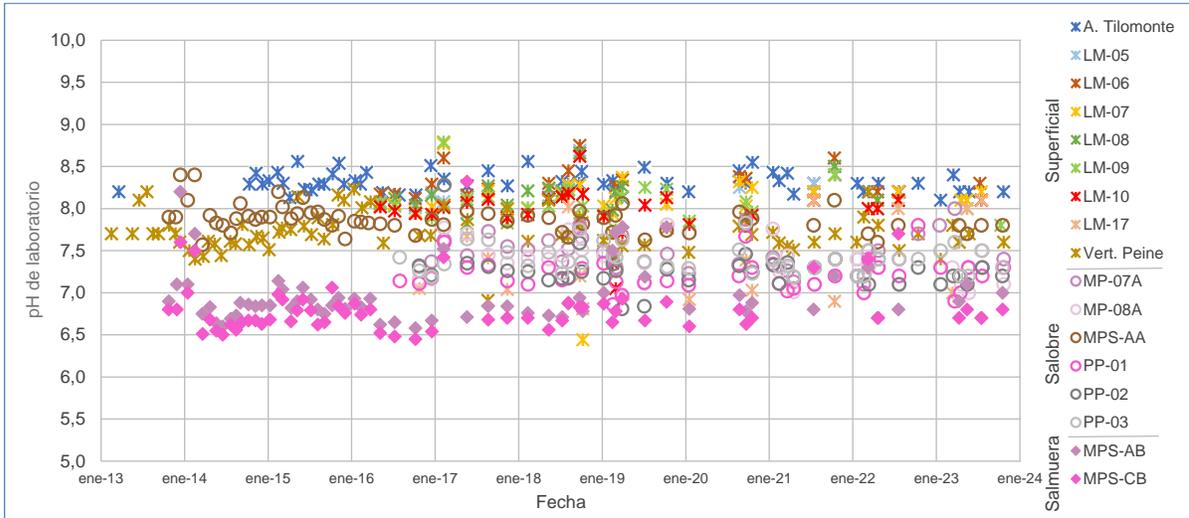
El pH en general presenta valores que oscilan entre el rango neutro a neutro alcalino, con valores de 6,5 y 8,6. Los valores se mantienen estables, con leves variaciones estacionales dentro de los rangos de variación natural. Los SDT, en general, muestran un comportamiento diferenciado entre salmueras y aguas más someras. Los valores se enmarcan en los valores delimitados por el registro histórico. La CE, según la serie de datos registrados no presenta una variabilidad estacional marcada. Las salmueras presentan una tendencia estable, con rangos entre los 230.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 250.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el caso de las aguas someras, estas presentan mayor dispersión de los datos y rango de valores, entre los 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aproximadamente.

Figura 6-97 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-98 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.2.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

Los elementos mayoritarios disueltos, divididos en aniones y cationes, se presentan desde la Figura 6-99 a la Figura 6-106.

6.1.8.2.3.1 Aniones mayores

Los aniones que se analizan corresponden a cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y nitratos (NO_3^-). En cuanto a la evolución temporal, se observa que en general los valores medidos en el 2023, en relación con los rangos registrados en años anteriores se mantienen dentro de la variación natural.

Los registros de cloruros (Figura 6-99), permiten evidenciar un comportamiento distinto entre las tipologías de muestras, con rangos diferenciados en magnitud. Las salmueras (MPS-AB y MPS-CB) presentan una mediana de concentraciones en torno a 182.000 mg/l; las aguas someras representadas por MPS-AA tienen una mediana de 24.006 mg/l, mientras que las aguas dulces de quebradas o vertientes tienen concentraciones bastante más bajas, como es el caso de estación Anterrepresa Tilomonte (mediana de 1.661 mg/l) y Vertiente Peine (mediana de 925 mg/l). En la vertiente Anterrepresa Tilomonte, los cloruros presentan poca variación en el tiempo, al igual que la Vertiente Peine, ambas con tendencia estable. Los registros de las lagunas presentan también un comportamiento estable en el tiempo, con medianas entre 13.589 mg/l (LM-05) y 20.686 mg/l (LM-10). El punto LM-17 (avance de laguna Interna), tiene concentraciones mayores que el resto de los puntos de las lagunas, con un valor de mediana de 132.058 mg/l. Las aguas someras (salobres) tienen un amplio rango de concentraciones, con medianas que van desde 2.252 mg/l (MP-08A) a 24.006 mg/l (MPS-AA). La tendencia temporal de los registros de 2023 es estable en el tiempo, donde la medición de julio de 2023 en el punto MPS-CA se puede considerar *outlier* (mínimo de 44.686 mg/l) al igual que en MPS-AA en el mes de mayo de 2023 (47.547 mg/l).

De la gráfica de los bicarbonatos se observa que las aguas superficiales y salobres (someras) se encuentran en un rango de variación muy similar, con medianas que van entre los 146 mg/l y 399 mg/l, aproximadamente, a diferencia de la salmuera, que están entre los 503 mg/l y 598 mg/l. La tendencia general de este parámetro es estable en el tiempo, aunque los puntos de salmuera presentan la mayor dispersión para el presente periodo de reporte.

Para el nitrato se observa una gran dispersión de valores en todos los tipos de aguas. Sin embargo, en general, las aguas superficiales lagunares presentan menor concentración de nitratos, con medianas entre 0,50 mg/l y 1,27 mg/l (a excepción de LM-17 con mediana de 3,26 mg/l). En Anterrepresa Tilomonte y Vertiente Peine, los valores de mediana alcanza 0,30 mg/l y 5,00 mg/l, respectivamente. Las concentraciones intermedias se observan en las aguas salobres, con medianas entre 1,33 mg/l y 3,97 mg/l, mientras que las mayores concentraciones

se presentan en la salmuera, con medianas de 7,06 mg/l y 8,97 mg/l en MPS-AB y MPS-CB, respectivamente. Las mediciones de 2023 se encuentran entre los rangos históricos, salvo las del mes de octubre, las que caen todas en el límite de detección (probablemente error de laboratorio).

Las concentraciones de sulfatos muestran que existen diferencias de concentración, dependiendo de la ubicación y tipología de las muestras. Las concentraciones menores se registran en el punto de monitoreo de Tilomonte (Anterrepresa Tilomonte con valor de mediana de 650 mg/l), mientras que el punto que presenta mayor concentración de sulfatos es MPS-CB. En general las tendencias son estables, sin variaciones significativas que acusen un cambio en la química de las aguas monitoreadas. Las concentraciones medias de sulfatos en el sector se presentan en las lagunas de Peine, con medianas que van aumentando desde 1.674 mg/l en LM-05 a 2.816 mg/l en LM-10. Esto permite suponer que, de acuerdo con el sentido del flujo de estas aguas superficiales, estas se van enriqueciendo en sulfatos. Este aumento de sulfatos podría estar relacionado con procesos de evaporación de aguas. Los puntos de monitoreo que representan la salmuera tienen concentraciones de valor de mediana de hasta 14.254 mg/l en MPS-CB.

6.1.8.2.3.2 Cationes mayores

Los cationes que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) representados en la Figura 6-103 a Figura 6-106. En cuanto a la evolución temporal, se observa que, para los cationes analizados, en general los valores medidos en el 2023, en relación con los rangos registrados en años anteriores, se mantienen dentro de la variación natural.

Para el calcio, en líneas generales, el punto somero MPS-AA presenta un alto contenido de calcio, con mediana de 1.345 mg/l. En el resto de los puntos someros, los valores son menores, con un rango de medianas entre 271 mg/l (PP-03) y 442 mg/l (PP-02). En las aguas superficiales destaca el punto de monitoreo LM-17, con una mediana de 1.240 mg/l. Dentro de los puntos de salmuera, estos presentan valores de mediana entre 406 mg/l en MPS-CB y 830 mg/l en MPS-AB. Durante el 2023 los valores se mantienen dentro de los rangos de variación naturales.

Para el potasio los mayores valores de concentración se dan en los puntos de salmuera, con medianas entre 14.185 mg/l y 20.629 mg/l. Las lagunas presentan medianas entre 1.031 mg/l (LM-05) y 1.626 mg/l (LM-10), con LM-17 con mediana de 3.455 mg/l. Las aguas salobres muestran un comportamiento disímil, ya que los puntos MP-07A y MP-08A tienen medianas bajas, entre 97 mg/l y 316 mg/l, mientras que el resto de los puntos tiene mediana mayor, similar a la de las lagunas, con medianas entre 723 mg/l (PP-03) y 2.054 mg/l (PP-02). Las

muestras de agua superficial de Antepresa Tilomonte y Vertiente Peine tienen medianas de 60 mg/l y 26 mg/l, respectivamente. Los valores se circunscriben dentro de lo que se considera como variación natural, salvo en MPS-CB para el mes de julio de 2023, donde se registra una concentración de 795 mg/l, valor más bajo que lo típico para la salmuera (probablemente corresponde a un error de laboratorio).

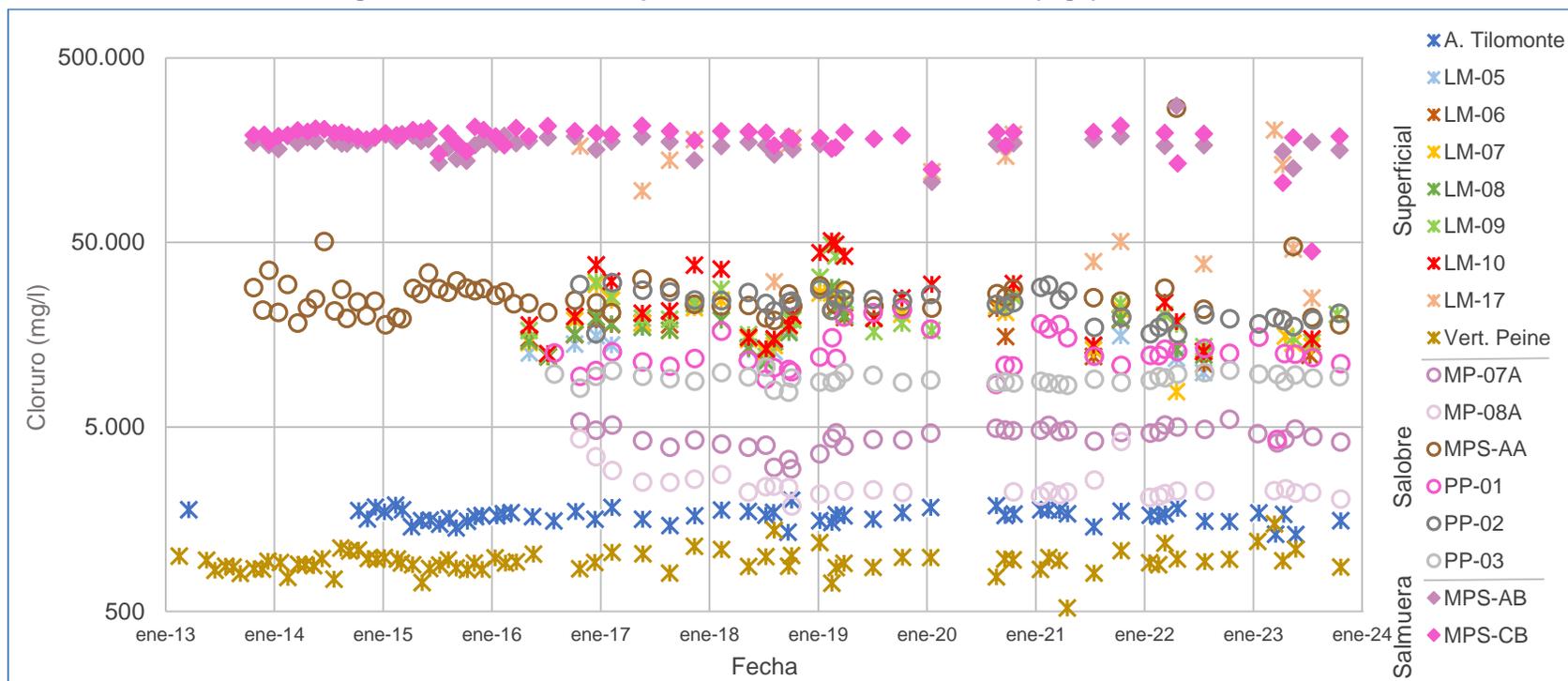
Las concentraciones de magnesio para las aguas superficiales muestran un valor de medianas entre 566 mg/l (LM-05) y 933 mg/l (LM-10). Sin embargo, Antepresa Tilomonte y Vertiente Peine tienen medianas más bajas que las lagunas (de 139 mg/l y 83 mg/l, respectivamente). LM-17 destaca por una mediana de 1.832 mg/l. Estos valores contrastan con los de las salmueras, con valor de medianas en torno a los 8.000 mg/l, aproximadamente. Las concentraciones para el año 2023, se acotan dentro de los rangos históricos, salvo para la medición mínima (de 1.561 mg/l) de abril en MPS-CB.

En el caso del sodio las concentraciones de la salmuera presentan un rango de mediana entre 83.950 mg/l y 88.480 mg/l. LM-17 tiene una mediana en el mismo rango, lo que se explica por su ubicación, en el avance de la Laguna Interna. Para el resto de las aguas superficiales, las medianas varían entre 6.610 mg/l (LM-05) y 10.801 mg/l (LM-10). En cambio, las aguas salobres tienen medianas que varían entre 1.080 mg/l (MP-08A) y 12.135 mg/l (PP-02), siendo las medianas de PP-02 y MPS-AA cercanas a las de las aguas lagunares (~12.000 mg/l). Antepresa Tilomonte y Vertiente Peine tienen medianas de 767 mg/l y 457 mg/l, respectivamente. Para el 2023 las concentraciones se mantienen dentro de los rangos de variación naturales, salvo que se reconocen máximos de concentración en MPS-AA en mayo de 31.531 mg/l, y mínimos en MPS-CB, de 26.661 mg/l.

Para todos los elementos mencionados se observa que LM-17, al estar en avance de laguna Interna, presenta concentraciones de calcio, sodio y potasio cercanas al rango de la salmuera.

El potasio, magnesio y sodio disueltos muestran que las salmueras son las que tienen mayores concentraciones de estos elementos. Se observan concentraciones diferenciadas entre las salmueras, las aguas someras (salobres) y aguas superficiales. En gran medida, salvo lo señalado, las concentraciones para el año 2023 se acotan dentro de los rangos históricos.

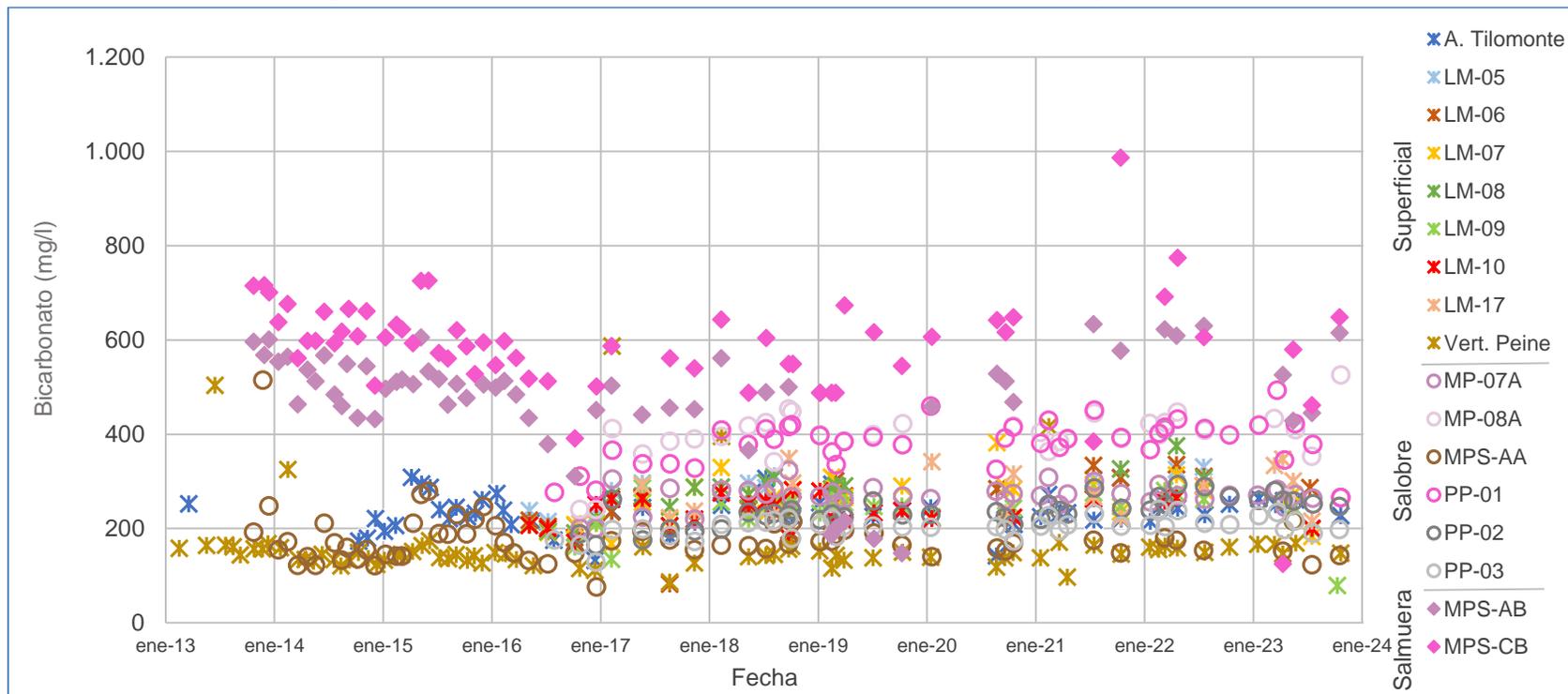
Figura 6-99 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	20	29	19	31	27	17	76	40	33	63	41	40	41	58	63
Min	1.307	9.855	10.964	7.767	11.230	12.037	12.494	25.042	523	2.966	1.869	17.888	4.277	15.988	7.716	106.435	44.686
P25	1.552	12.106	13.219	14.006	13.494	15.868	15.278	42.717	866	4.107	2.188	21.443	10.754	19.087	8.714	166.165	180.290
Mediana	1.661	13.589	15.647	18.884	16.698	19.163	20.686	132.058	925	4.611	2.252	24.006	12.169	23.496	9.144	172.603	191.189
P75	1.748	15.633	18.860	23.510	19.655	24.432	35.791	175.215	984	4.824	2.512	28.057	15.240	25.774	9.605	181.241	198.657
Max	2.006	22.074	22.602	29.604	28.512	48.410	51.022	202.917	1.492	5.512	4.305	266.811	21.639	30.209	10.551	275.049	214.898
RQ	196	3.527	5.641	9.504	6.161	8.564	20.513	132.498	118	717	324	6.614	4.486	6.687	891	15.076	18.367

Fuente: Elaboración propia

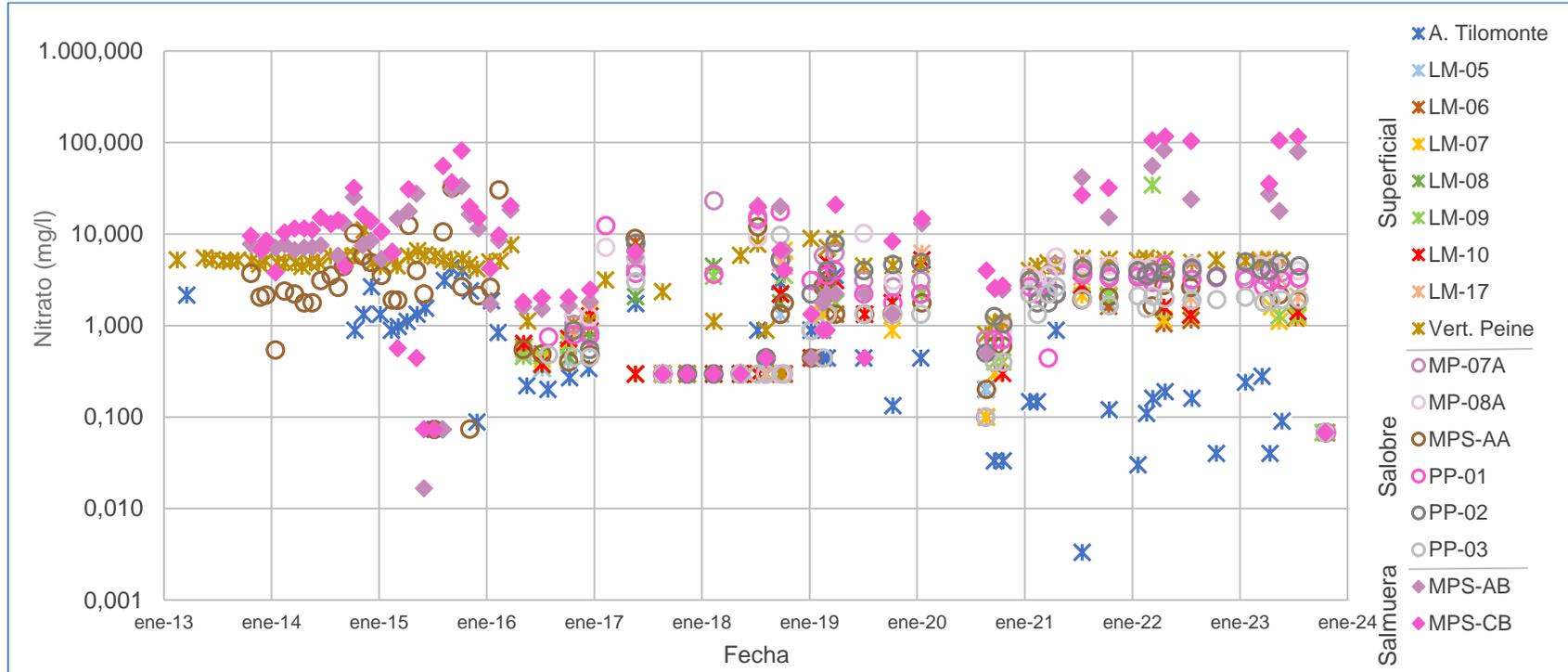
Figura 6-100 Variación Temporal: HCO₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	59	15	20	29	19	31	27	17	76	40	33	63	41	40	41	61	61
Min	132	181	82	168	191	79	171	211	87	201	241	76	266	166	129	148	125
P25	218	234	218	225	240	211	215	227	134	262	385	148	354	221	196	452	546
Mediana	237	287	253	272	284	245	238	290	146	271	399	168	390	235	205	503	598
P75	255	309	298	288	298	259	263	325	161	283	424	192	415	259	215	549	645
Max	309	331	336	382	375	286	290	349	587	410	526	515	493	293	241	633	987
RQ	37	75	80	63	58	48	48	98	27	21	39	44	61	38	19	97	99

Fuente: Elaboración propia

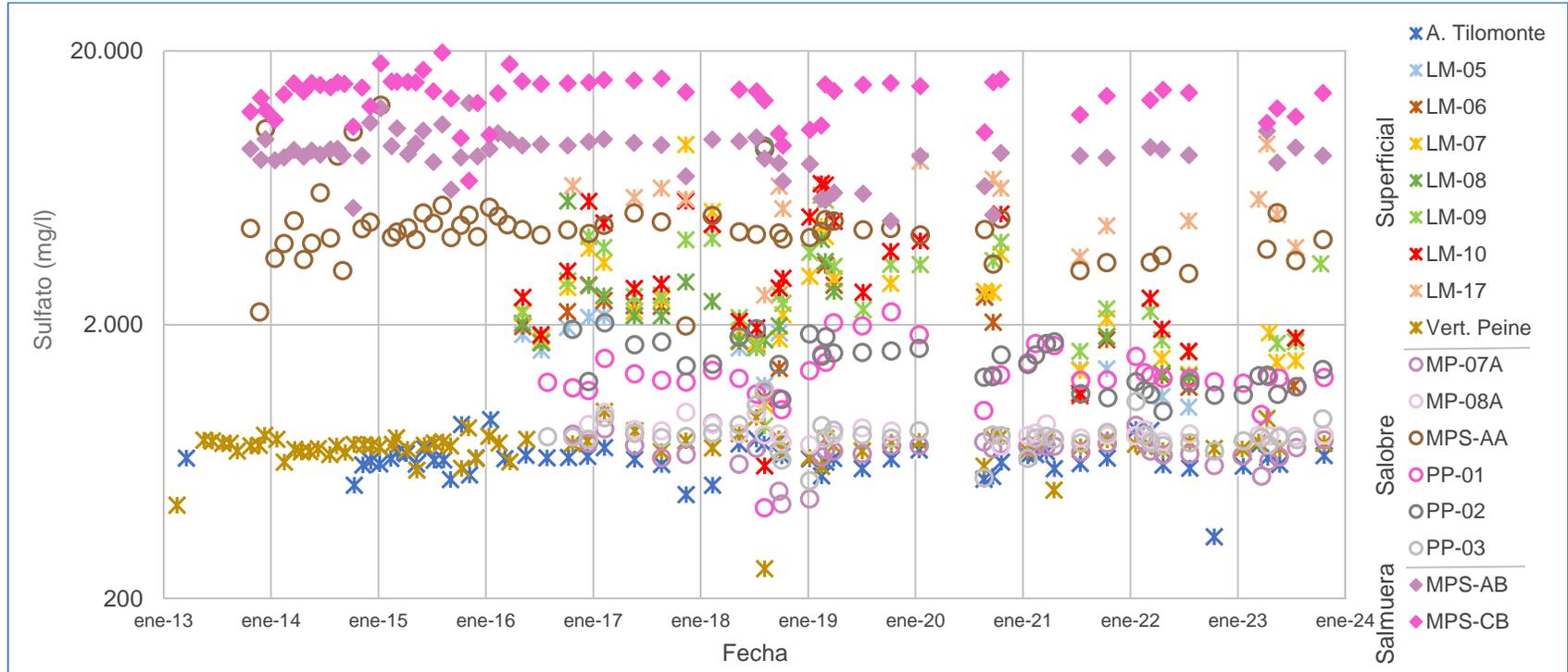
Figura 6-101 Variación Temporal: NO₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	58	13	18	27	18	30	26	17	75	39	31	61	40	36	37	62	62
Min	0,003	0,200	0,100	0,100	0,297	0,068	0,297	0,297	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,017	0,068
P25	0,148	0,297	0,299	0,297	0,297	0,374	0,297	0,890	4,426	0,850	0,886	0,575	0,713	0,923	0,421	1,707	1,960
Mediana	0,297	0,500	0,960	0,886	0,808	1,270	0,995	3,260	5,000	3,230	3,970	1,920	2,825	3,675	1,329	7,056	8,970
P75	1,328	1,564	1,658	1,600	1,849	2,213	2,348	5,061	5,312	3,790	4,590	3,099	3,405	4,250	1,965	16,710	19,786
Max	4,249	2,670	8,060	6,643	4,429	34,150	5,220	6,194	11,066	23,073	10,141	31,870	17,581	7,971	9,654	82,160	116,370
RQ	1,180	1,267	1,359	1,303	1,552	1,839	2,051	4,171	0,886	2,940	3,704	2,524	2,692	3,327	1,544	15,003	17,826

Fuente: Elaboración propia

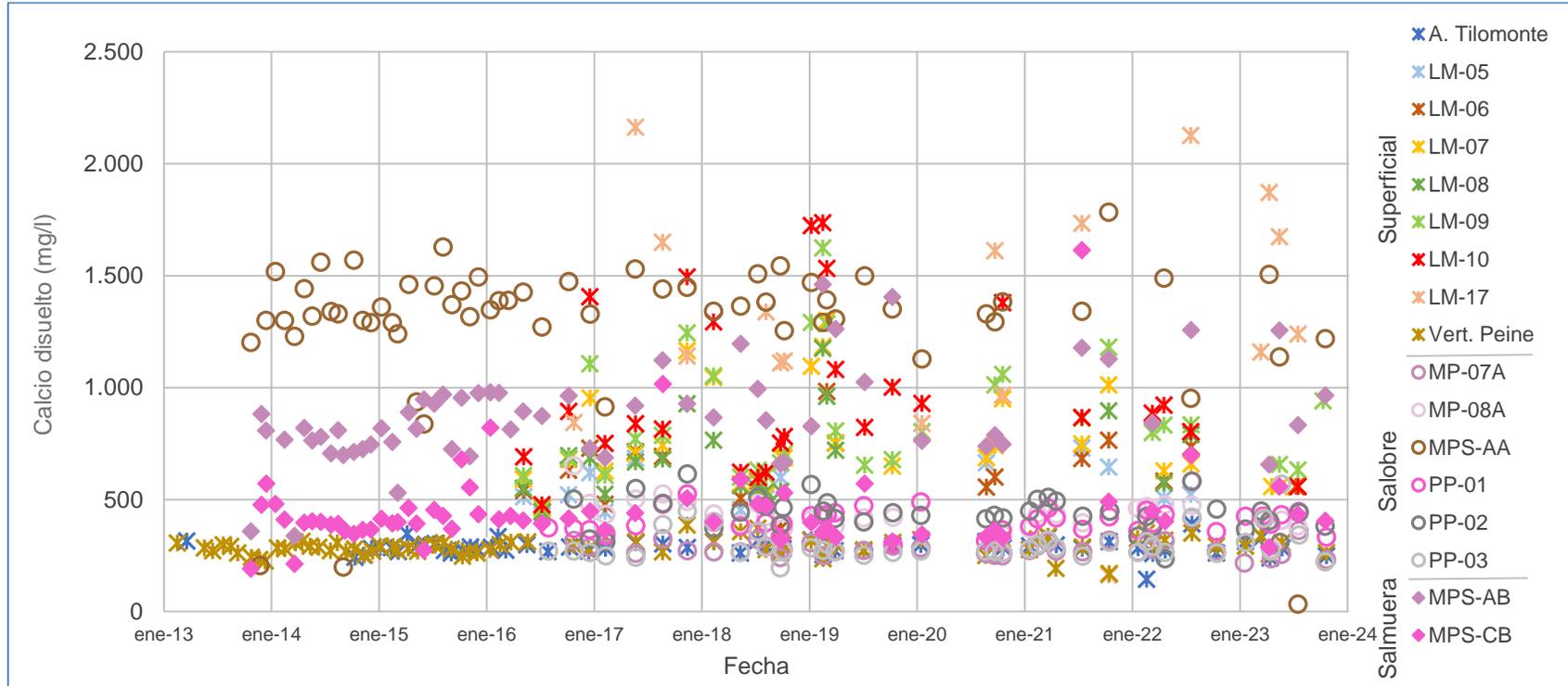
Figura 6-102 Variación Temporal: SO₄ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	59	15	20	29	19	31	27	17	76	40	33	63	41	40	41	63	63
Min	336	1.000	1.076	1.019	1.294	854	610	2.564	257	443	722	1.978	429	963	539	4.779	6.695
P25	615	1.371	1.321	1.735	1.752	1.810	1.945	4.687	693	659	784	4.089	1.227	1.197	741	7.952	12.315
Mediana	650	1.674	1.863	2.238	2.152	2.559	2.816	5.748	726	707	793	4.433	1.281	1.432	775	8.479	14.254
P75	683	2.126	2.422	3.184	2.775	3.671	4.762	6.419	753	735	834	4.832	1.482	1.698	805	9.210	15.306
Max	900	2.511	3.297	9.093	5.645	5.935	6.536	9.121	964	1.131	1.174	12.636	2.223	8.971	1.159	12.874	20.175
RQ	68	755	1.101	1.449	1.023	1.861	2.817	1.732	60	76	50	743	255	501	64	1.258	2.991

Fuente: Elaboración propia

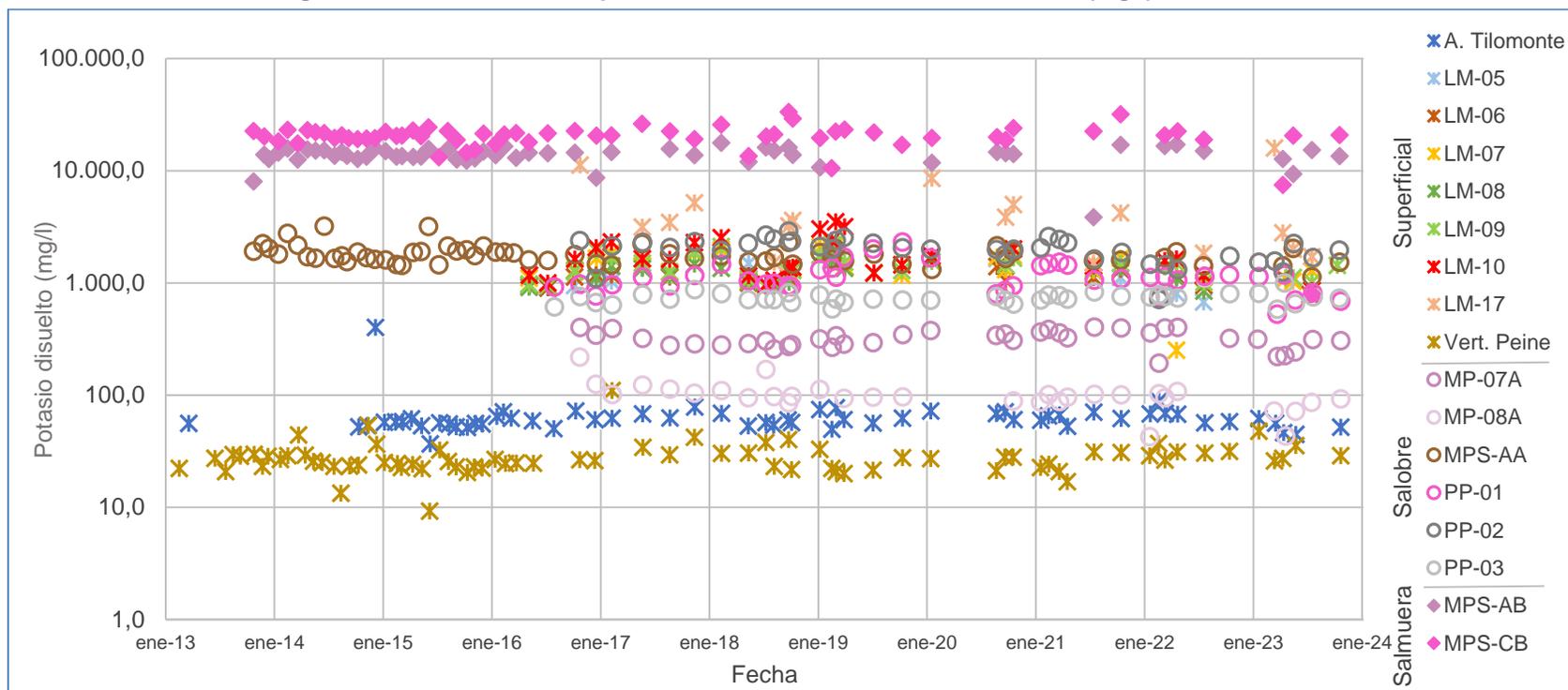
Figura 6-103 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	20	29	19	31	27	17	76	40	33	62	41	40	41	60	63
Min	144	428	371	460	443	467	477	164	170	217	283	33	303	236	195	338	192
P25	272	505	537	591	547	654	751	1.039	270	262	388	1.285	365	389	264	740	365
Mediana	287	522	593	688	681	800	867	1.240	292	276	428	1.345	397	442	271	830	406
P75	310	645	726	952	791	1.053	1.294	1.704	309	315	473	1.457	434	485	311	968	477
Max	391	731	983	1.300	1.176	1.624	1.736	2.164	387	418	652	1.784	581	615	568	1.461	1.614
RQ	38	140	189	361	244	399	543	665	39	53	85	172	69	96	47	228	112

Fuente: Elaboración propia

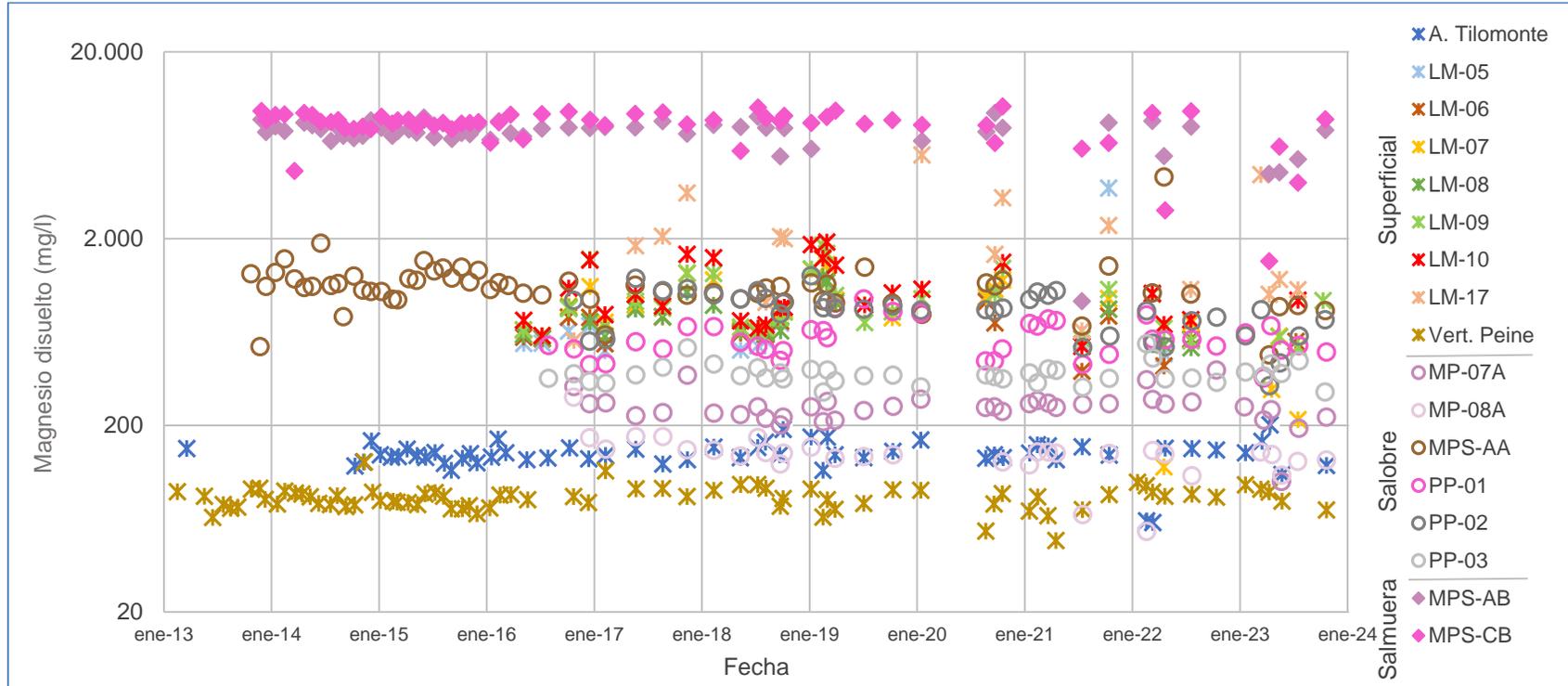
Figura 6-104 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	20	29	19	31	27	17	75	39	33	63	41	39	40	56	62
Min	37	674	789	251	845	935	854	1.499	9	192	42	1.133	527	711	581	3.857	795
P25	55	918	969	1.097	969	1.119	1.170	1.918	23	281	88	1.570	931	1.681	698	12.924	19.058
Mediana	60	1.031	1.118	1.306	1.150	1.382	1.625	3.455	26	316	97	1.740	1.090	2.054	723	14.185	20.629
P75	68	1.262	1.284	1.733	1.363	1.663	2.286	5.083	30	359	109	1.913	1.334	2.320	778	15.226	22.450
Max	400	1.648	1.861	2.164	1.865	2.269	3.494	15.893	110	404	1.112	3.210	2.312	2.895	1.000	17.730	33.420
RQ	13	344	315	636	394	544	1.116	3.165	7	78	21	343	403	639	80	2.302	3.392

Fuente: Elaboración propia

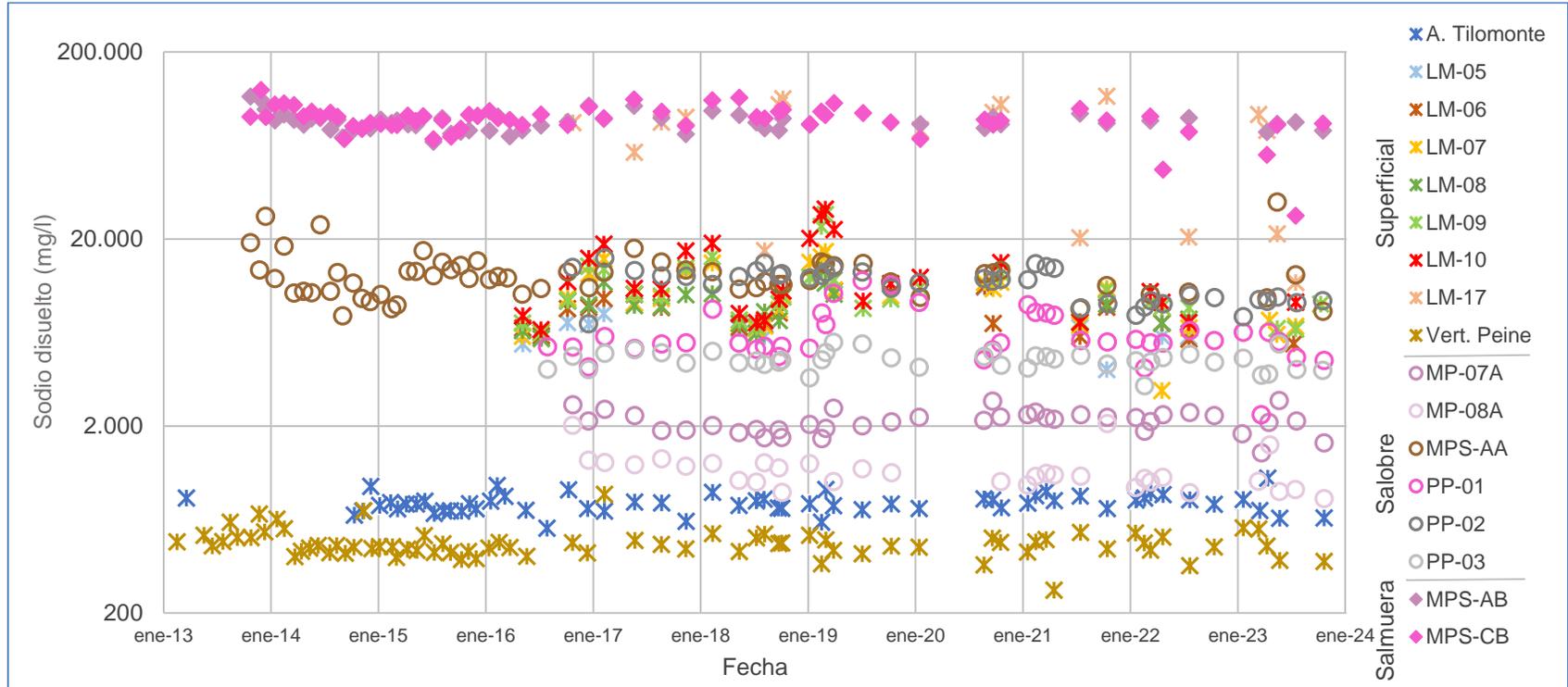
Figura 6-105 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	59	15	20	29	19	31	27	17	76	39	32	63	40	39	40	56	61
Min	60	482	390	120	520	523	530	568	48	100	54	477	358	326	301	923	1.512
P25	132	533	580	635	612	660	730	1.034	75	225	129	948	504	604	354	7.068	7.865
Mediana	139	566	665	831	717	844	933	1.832	83	251	142	1.108	559	836	370	7.704	8.410
P75	151	705	768	1.090	879	1.069	1.493	2.828	88	264	148	1.215	680	956	398	8.055	9.128
Max	201	3.727	1.192	1.452	1.256	1.843	1.919	5.599	127	395	283	4.282	951	1.264	548	9.423	10.220
RQ	19	172	188	455	267	409	763	1.794	13	39	19	267	176	352	44	987	1.263

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-106 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	A. Tilomonte	LM-05	LM-06	LM-07	LM-08	LM-09	LM-10	LM-17	Vert. Peine	MP-07A	MP-08A	MPS-AA	PP-01	PP-02	PP-03	MPS-AB	MPS-CB
N° Datos	60	15	20	29	19	31	27	17	76	40	33	62	41	40	41	57	63
Min	568	4.009	5.511	3.091	5.871	6.322	6.550	11.681	265	1.438	819	7.780	2.299	7.039	3.282	66.159	26.661
P25	715	6.018	6.696	6.832	7.117	7.440	7.985	20.897	426	1.905	1.004	10.453	5.199	9.340	4.176	77.535	81.432
Mediana	767	6.610	7.568	9.698	8.803	9.541	10.801	83.663	457	2.127	1.080	12.326	5.579	12.135	4.502	83.950	88.480
P75	813	7.966	9.371	12.386	10.146	12.490	17.270	99.525	506	2.290	1.261	13.873	7.401	13.316	4.809	88.730	95.750
Max	1.053	11.010	13.796	17.112	13.640	26.989	28.860	116.071	861	2.733	2.064	31.531	11.960	15.820	5.599	115.492	125.235
RQ	98	1.948	2.675	5.554	3.029	5.050	9.285	78.628	80	385	257	3.420	2.202	3.976	633	11.195	14.318

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.3 Sector Norte y Borde Este

La distribución de los puntos de monitoreo del sector Norte y Borde Este se presenta en la Figura 5-84, del Capítulo 5, del presente informe. Es importante mencionar que si bien el punto de Quebrada de Camar se gráfica y calcula la estadística, no se considera en el análisis dado que actualmente no se mide (2013-2018) por no contar con permiso de la comunidad para poder acceder al punto.

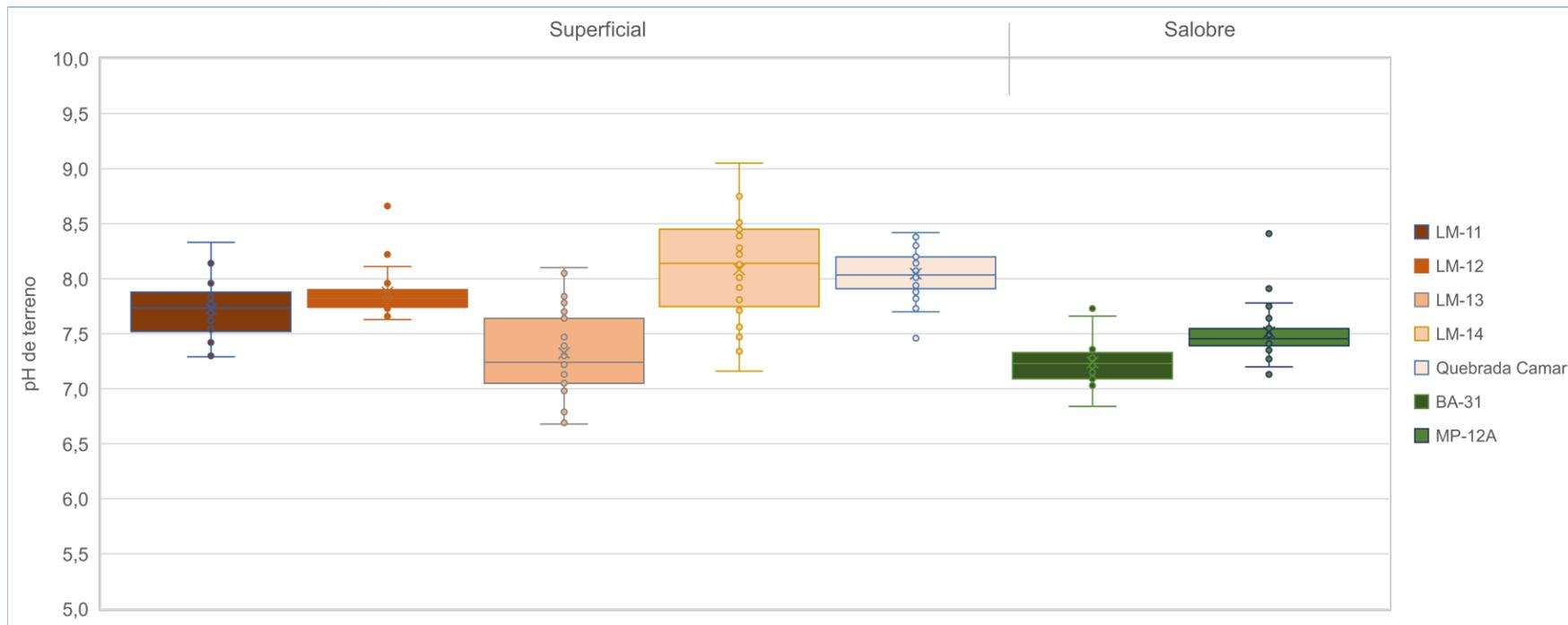
6.1.8.3.1 Parámetros Físicoquímicos *in situ*

6.1.8.3.1.1 pH *in situ*

En la Figura 6-107 se presenta la variación del pH medido *in situ*, tanto para aguas superficiales, puntos LM, como para las aguas subterráneas salobres, MP-12A y BA-31.

En este sector no se aprecian diferencias significativas de pH entre aguas superficiales y subterráneas, por cuanto todas se presentan, en términos de las medianas, en el rango entre 7,2 (LM-13 y BA-31) y 8,1 (LM-14), tendiendo a presentar aguas neutras a básicas.

Figura 6-107 Diagrama de Caja, pH in situ histórico, Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	46	23	40
Min	7,29	7,63	6,68	7,16	7,46	6,84	7,13
P25	7,52	7,74	7,05	7,75	7,91	7,09	7,39
Mediana	7,74	7,82	7,24	8,14	8,04	7,23	7,46
P75	7,88	7,90	7,64	8,45	8,20	7,33	7,55
Max	8,33	8,66	8,10	9,05	8,42	7,73	8,41
RQ	0,36	0,16	0,59	0,70	0,29	0,24	0,16

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

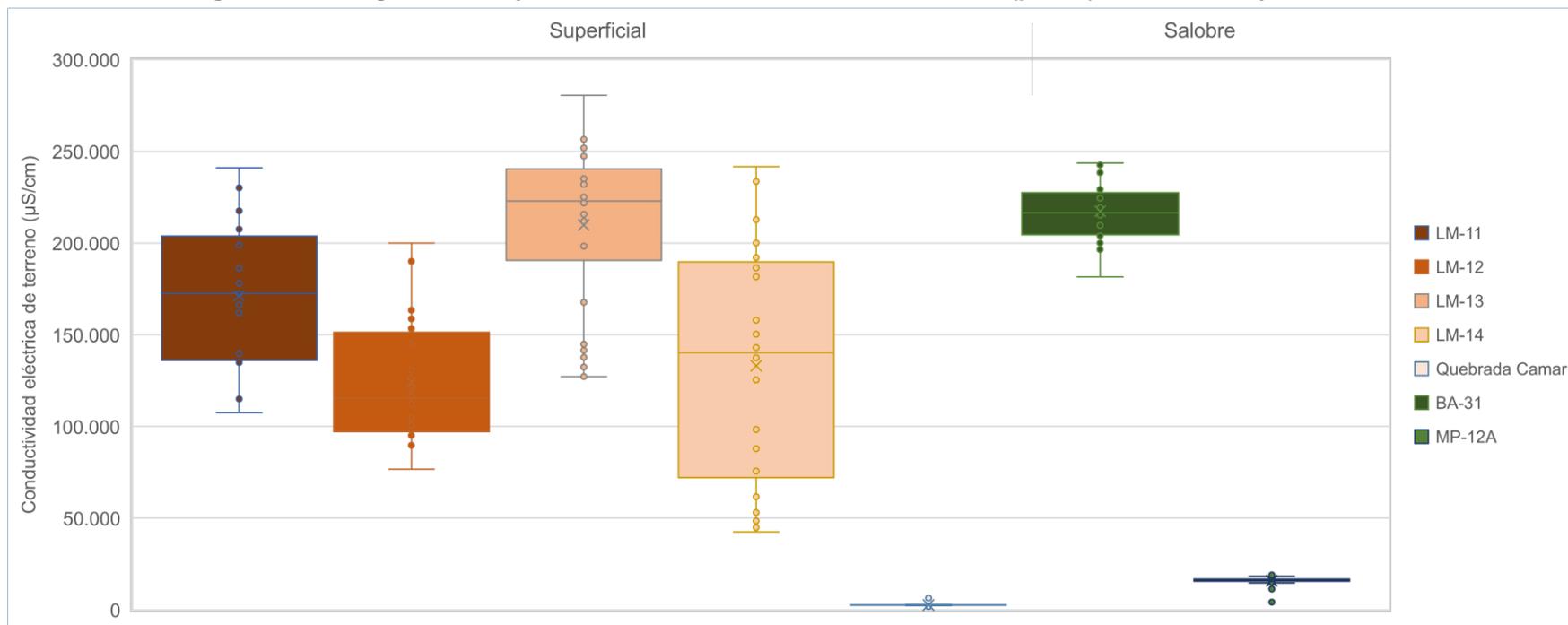
6.1.8.3.1.2 Conductividad Eléctrica *in situ*

A diferencia del pH, la Conductividad Eléctrica (CE) muestra una marcada diferencia entre las aguas de lagunas y de vertientes, e incluso con las aguas subterráneas (Figura 6-108).

Los valores más altos de CE se registran en las lagunas (puntos LM-XX) con medianas variables entre 115.550 $\mu\text{S/cm}$ (LM-12) hasta los 222.950 $\mu\text{S/cm}$ (LM-13). Estas aguas, al presentar CE más altas con relación a las otras muestras en este sector, indican mayores contenidos de sales (estos puntos se encuentran más cerca del Núcleo).

Para las muestras de agua subterránea somera (MP-12A) los valores son intermedios, aunque bajos, presentando una mediana de 16.140 $\mu\text{S/cm}$. En el barreno BA-31, sin embargo, se advierte un valor de mediana de 216.454 $\mu\text{S/cm}$, similar a las de las aguas lagunares (superficiales), este punto ha presentado históricamente conductividades características de salmuera (mayor a 200.000 $\mu\text{S/cm}$), sin embargo, originalmente se clasificó como un punto de agua salobre.

Figura 6-108 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica in situ histórico (µS/cm), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	21	24	30	30	46	23	39
Min	107.600	76.700	127.200	42.520	1.854	181.600	4.212
P25	136.000	97.158	190.650	72.113	2.517	204.500	15.670
Mediana	172.400	115.550	222.950	140.250	2.579	216.454	16.140
P75	203.750	151.325	240.425	189.789	2.691	227.500	16.790
Max	241.100	200.000	280.500	241.700	6.470	243.693	18.960
RQ	67.750	54.167	49.775	117.676	174	23.000	1.120

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

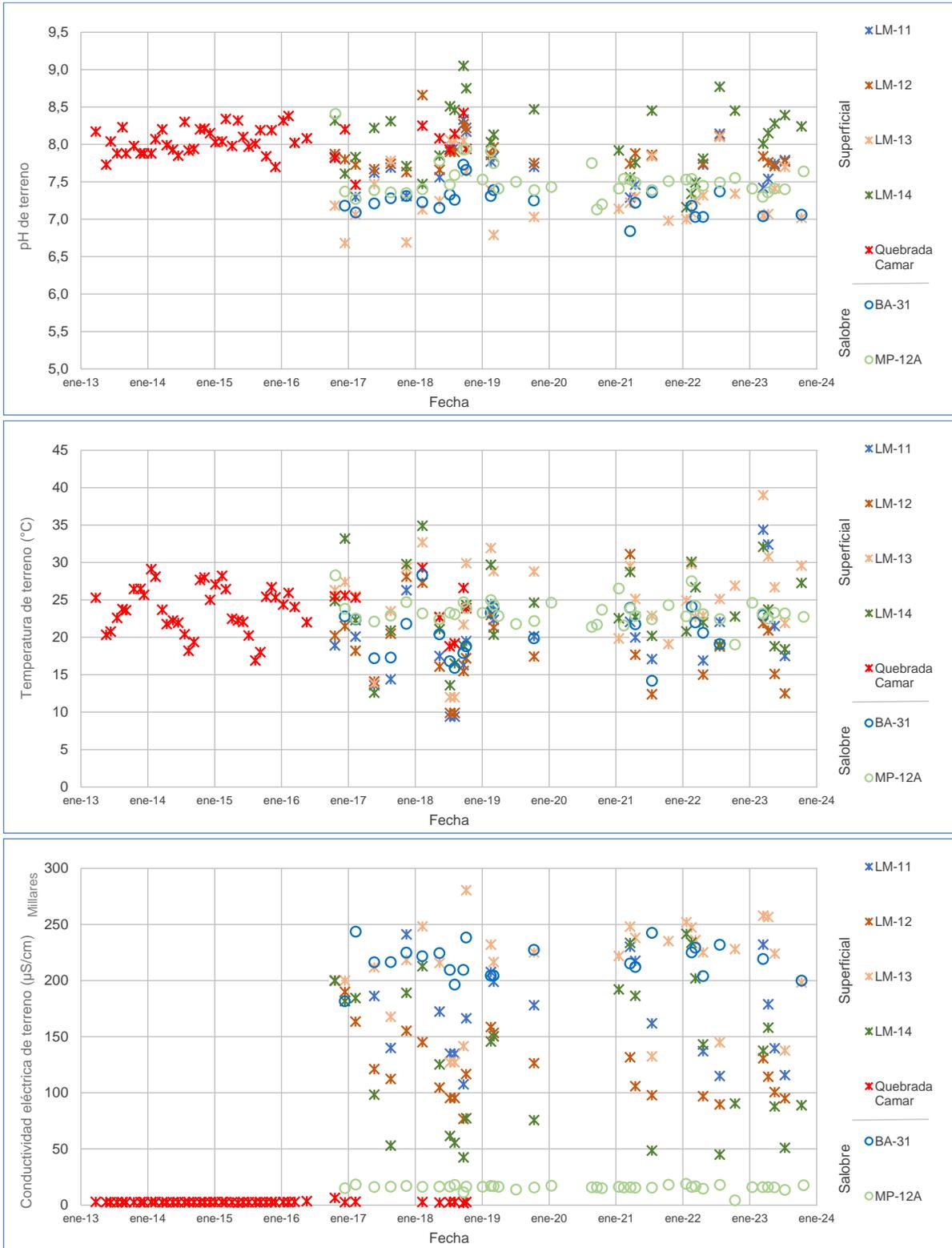
6.1.8.3.1.3 Variación Temporal de los parámetros

En la Figura 6-109 y Figura 6-110 se presenta la serie temporal para los parámetros *in situ* comprometidos, pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales, de los puntos del Sector Norte y Borde Este.

Las aguas superficiales, LM-11, LM-12, LM-13 y LM-14 presentan una tendencia de aguas neutras a básicas con conductividades intermedias a altas. Los puntos someros, en el caso de MP-12A, presenta en general muestras principalmente neutras y conductividades bajas y para el BA-31, el pH neutro y conductividades altas. El año 2023, los parámetros de pH, temperatura y CE se mantienen dentro de los rangos históricos.

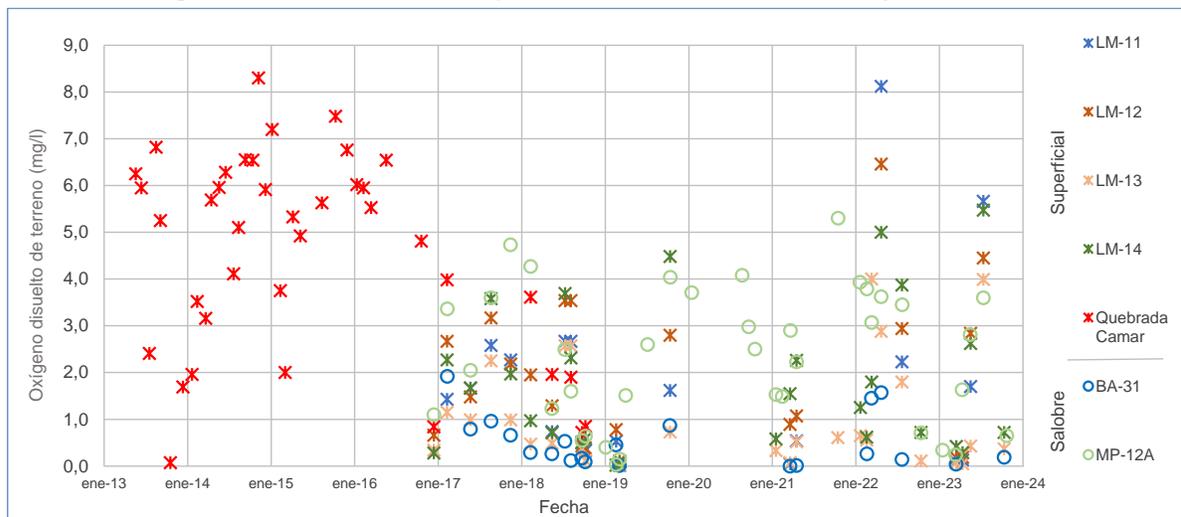
Para el caso del oxígeno disuelto se observan históricamente registros dispersos para todos los puntos, no mostrando ningún tipo de tendencia. En el 2023, las concentraciones se mantienen dentro de los valores mínimos y máximos históricos, salvo en LM-11, LM-12 y LM-14 para las mediciones de julio.

Figura 6-109 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE in situ, Sector Norte y Borde Este



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-110 Variación Temporal: OD in situ, Sector Norte y Borde Este



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

6.1.8.3.2 Parámetros Fisicoquímicos en laboratorio

6.1.8.3.2.1 Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

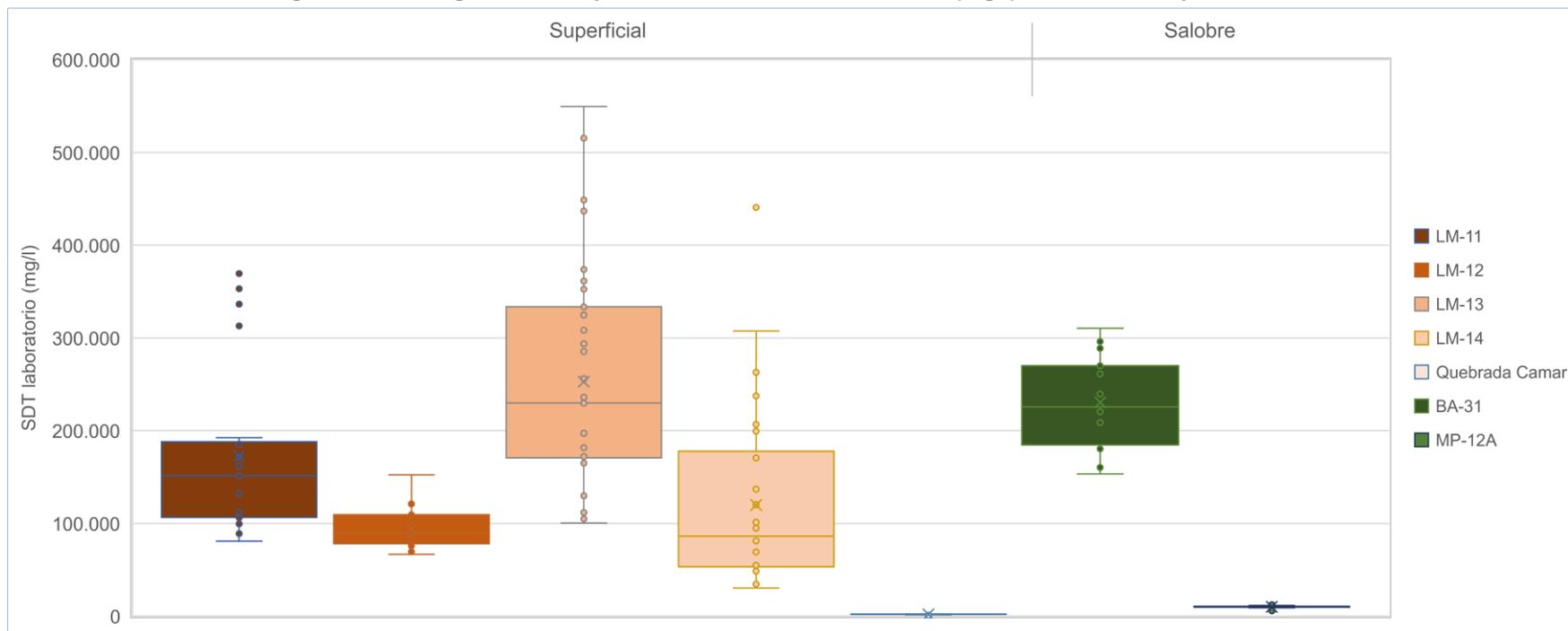
Los valores de SDT se observan en la gráfica presentada en la Figura 6-111. De los resultados obtenidos para este sector se observa que el comportamiento de los registros de SDT es muy similar a los de CE, dada la relación existente entre estos parámetros.

Los valores de SDT de las muestras lagunares varían entre medianas de 86.094 mg/l (LM-14) y 229.733 mg/l (LM-13). Para las aguas salobres, en BA-31 la mediana es de 225.617 mg/l, mientras que en MP-12A es de 10.451 mg/l.

6.1.8.3.2.2 Densidad

Las mediciones de densidad se presentan en la Figura 6-112. Los rangos varían entre los puntos de las lagunas y las aguas salobres. El punto MP-12A muestra una mediana de 1,005 g/ml. Por otro lado, las muestras de las lagunas tienen medianas que varían entre los 1,060 g/ml (LM-12) hasta los 1,189 g/ml (LM-13). En relación con el punto BA-31 muestra valores de densidad dentro del rango de valores que presentan las muestras de LM-13, alcanzando una mediana de 1,160 g/ml.

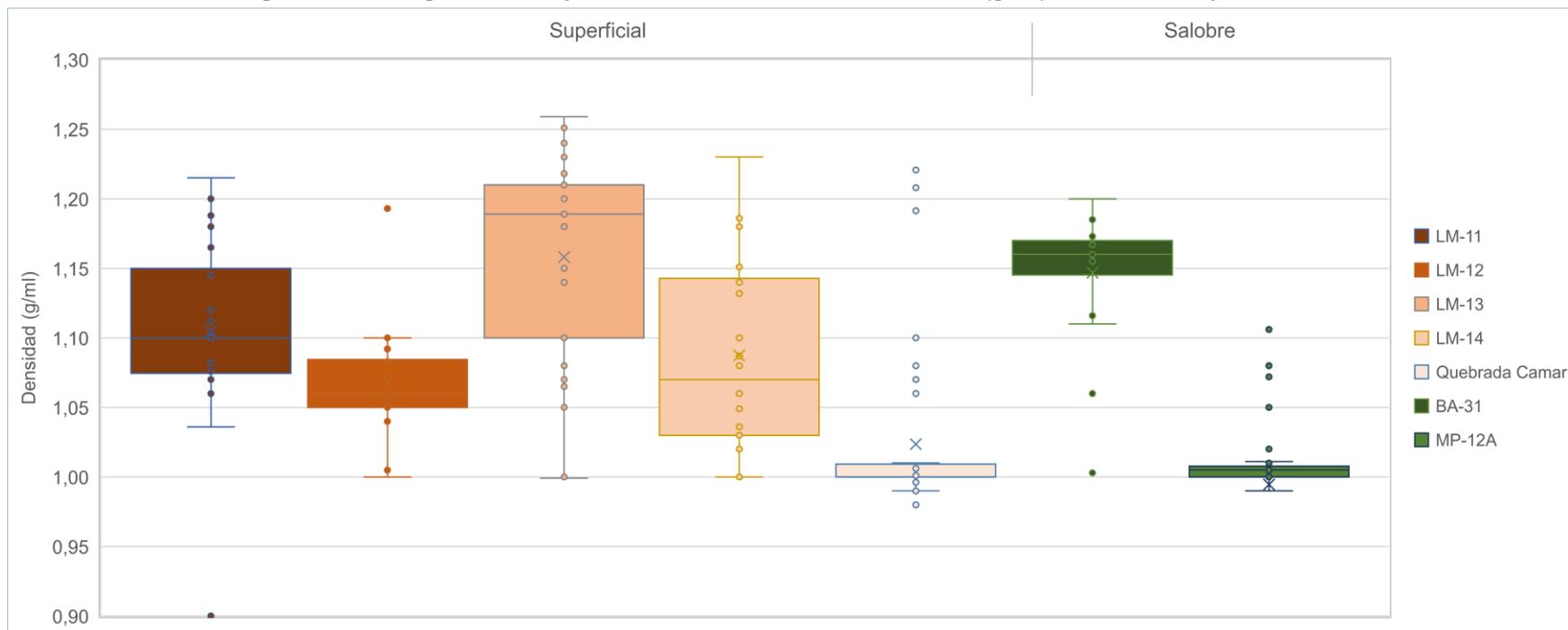
Figura 6-111 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	46	18	40
Min	80.790	66.710	100.260	30.300	928	153.360	5.733
P25	106.523	78.065	170.738	53.250	1.863	184.640	9.709
Mediana	151.520	89.620	229.733	86.094	1.988	225.617	10.050
P75	188.017	109.508	333.567	177.850	2.137	270.190	10.451
Max	369.320	152.300	549.500	440.660	4.548	310.400	13.600
RQ	81.494	31.443	162.829	124.600	274	85.550	742

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-112 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Norte y Borde Este



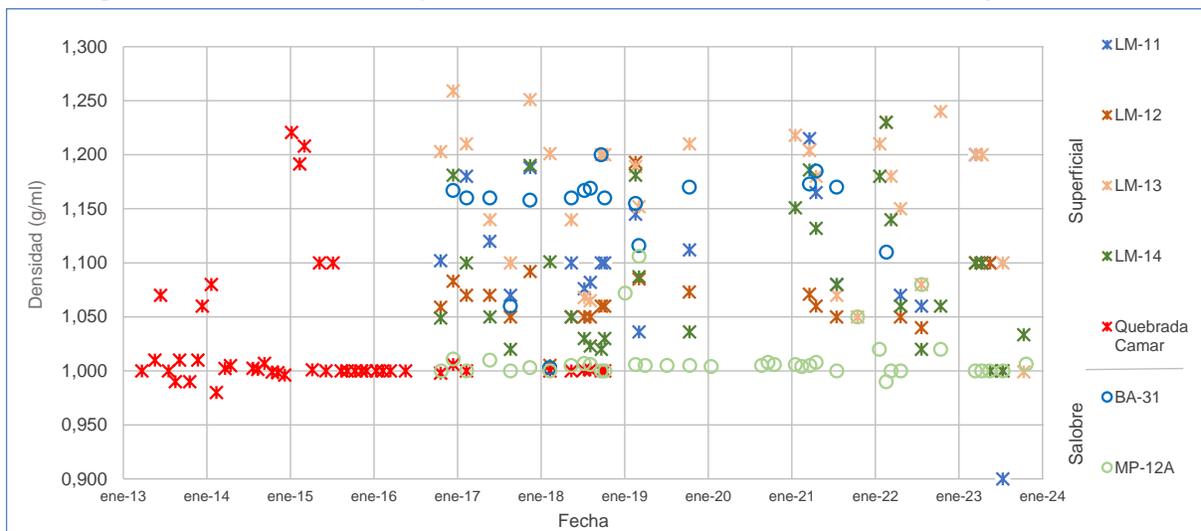
	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	44	18	40
Min	0,900	1,000	0,999	1,000	0,980	1,003	0,333
P25	1,075	1,050	1,100	1,030	1,000	1,145	1,000
Mediana	1,100	1,060	1,189	1,070	1,000	1,160	1,005
P75	1,150	1,085	1,210	1,143	1,009	1,170	1,008
Max	1,215	1,193	1,259	1,230	1,221	1,200	1,106
RQ	0,075	0,035	0,110	0,113	0,009	0,025	0,008

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

6.1.8.3.2.3 Variación Temporal de los parámetros

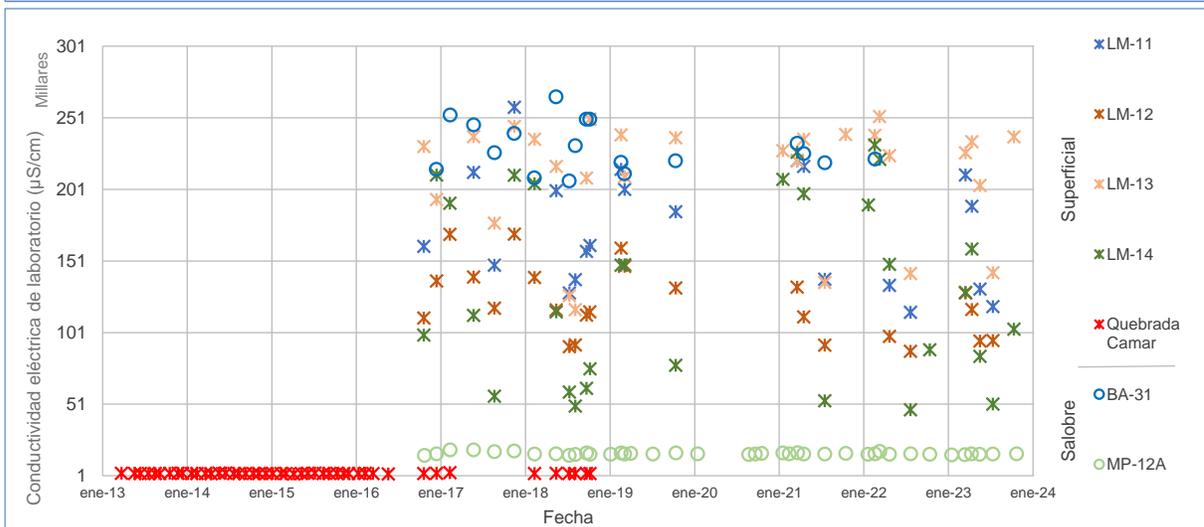
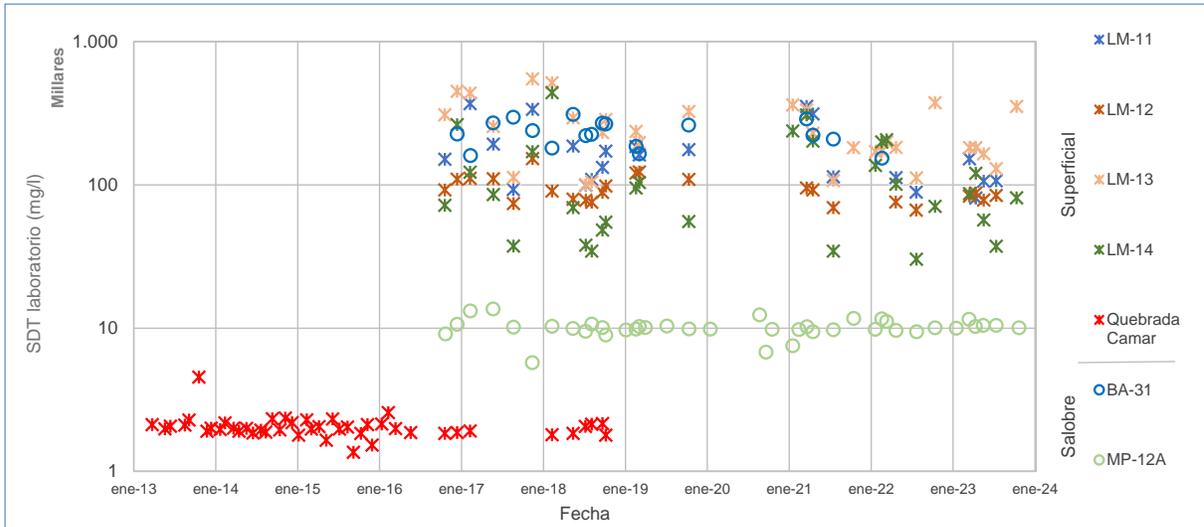
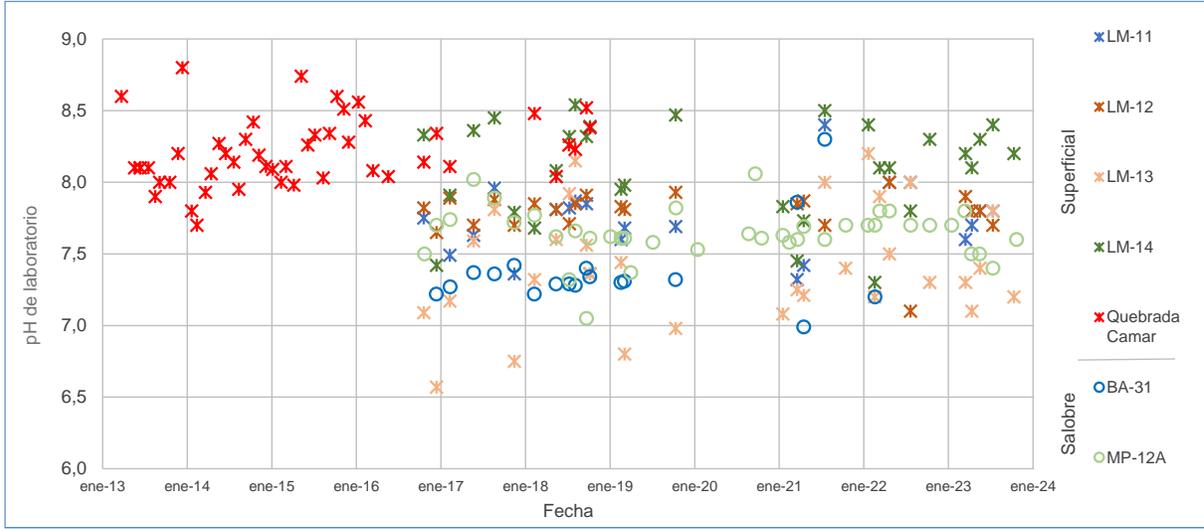
En la Figura 6-113 y Figura 6-114 se presenta la variación temporal de los valores de los parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio, donde se aprecia que las mediciones de 2023 se mantienen dentro de la variación natural observada en el registro histórico (solo la medición del mes de julio de 2023 para la densidad en LM-11 es atípica, aunque pudiese ser un error del laboratorio).

Figura 6-113 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-114 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Norte y Borde Este



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

6.1.8.3.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

6.1.8.3.3.1 Aniones mayores

Los elementos mayoritarios disueltos se presentan desde la Figura 6-115 a Figura 6-118. Los aniones que se analizan corresponden a cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y nitratos (NO_3^-), mostrados junto con sus estadígrafos.

Entre los aniones mayoritarios analizados, los cloruros son los predominantes, particularmente en las muestras de agua de las lagunas, lo que es totalmente concordante con la ubicación de estos puntos.

En relación con los estadígrafos se observan que las lagunas presentan valores de medianas de 49.044 mg/l en LM-14 hasta 167.783 mg/l en LM-13. Para el punto BA-31, los valores son relativamente altos, con una mediana de 131.659 mg/l, debido a su ubicación cerca del Núcleo. En MP-12A, los valores no varían mayormente, con una mediana de 5.314 mg/l. Los datos del año 2023 caen dentro del rango histórico de mediciones.

Las concentraciones de bicarbonatos en las aguas de las lagunas muestran variabilidad en los datos, con valor de P25 mínimo de 423 mg/l (LM-14), hasta valores máximos de P75 de 1.343 mg/l (en LM-13).

Para los nitratos disueltos, es posible indicar que entre los puntos de las lagunas LM-13 es aquel que presenta el valor de mediana más alto, con 5,40 mg/l. Para los otros puntos LM-XX, la mediana de concentraciones varía entre 2,21 mg/l (LM-12) a 4,19 mg/l (LM-11). Las muestras obtenidas de BA-31 presentan una mediana de 5,58 mg/l. MP-12A presenta una mediana de 3,54 mg/l. Los datos de 2023 se circunscriben dentro de los históricos, salvo las del mes de octubre, las que caen todas bajo el límite de detección (probablemente error de laboratorio).

Para las lagunas, las medianas varían desde 6.161 mg/l (LM-14) hasta 13.892 mg/l (LM-13). La mediana de concentraciones en MP-12A presenta un valor de 502 mg/l. En BA-31, la mediana es comparable a la alcanzada en las lagunas, con una mediana de 18.269 mg/l. En el 2023 los valores se comportan dentro de la variabilidad natural histórica.

6.1.8.3.3.2 Cationes mayores

Los cationes que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y sodio (Na^+) y, cuya variación en el tiempo se presenta desde la Figura 6-119 a la Figura 6-122.

Una característica común a los cuatro cationes considerados y que también se observa en los aniones es que las lagunas presentan las mayores concentraciones.

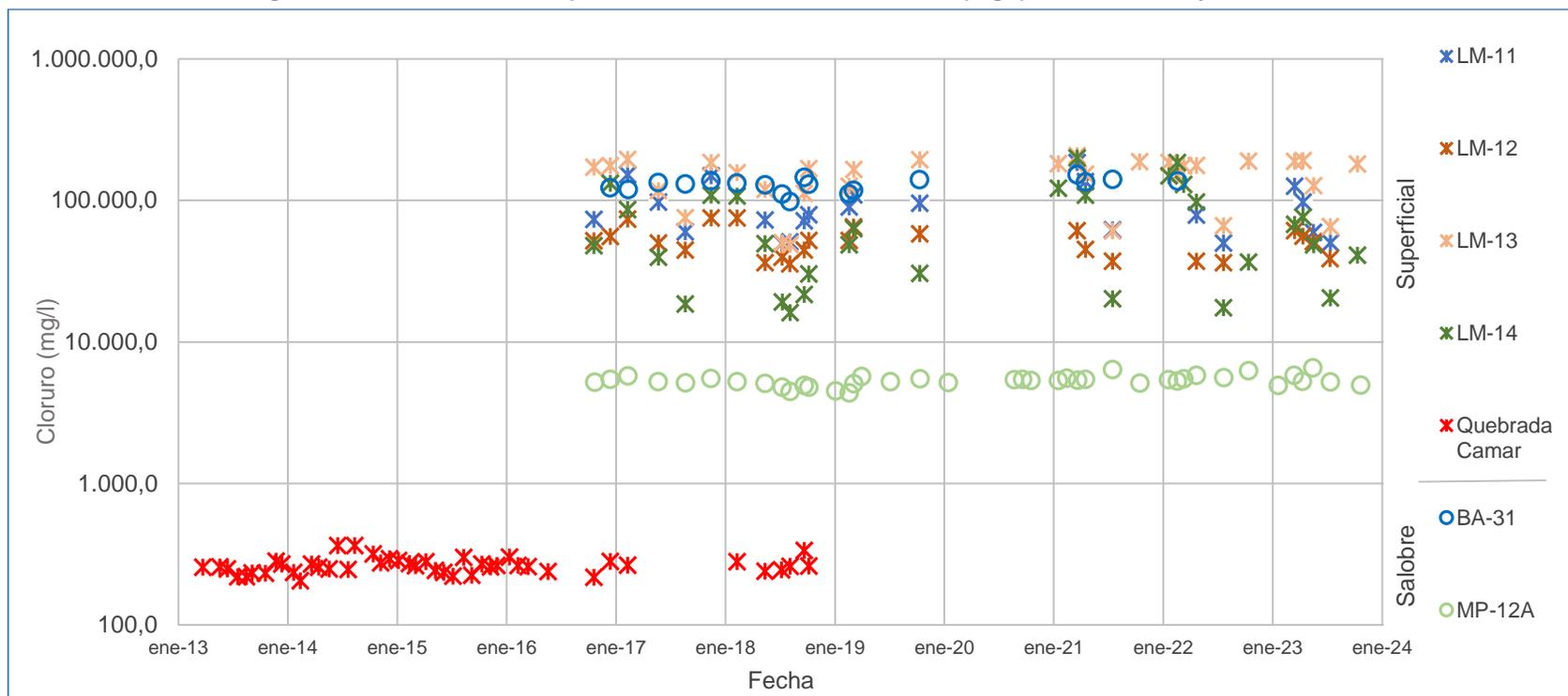
Para el calcio disuelto, tomando en cuenta el registro histórico, las aguas de las lagunas varían desde medianas de 474 mg/l (LM-14) hasta 924 mg/l (LM-11), mientras que las muestras de Q MP-12A la mediana es de 130 mg/l y 149 mg/l, respectivamente. En BA-31, la mediana es de 582 mg/l. La variación temporal del calcio es estable dentro de los rangos históricos, salvo un máximo de concentración en LM-13 en abril de 2023.

Las muestras de MP-12A para potasio se comportan dentro de la variabilidad natural histórica, donde la mediana es de 484 mg/l. Estos valores están por debajo de las concentraciones medidas en las muestras de las lagunas y BA-31, las cuales tienen medianas que varían entre 3.843 mg/l (LM-12) a 14.417 mg/l (LM-13).

Las concentraciones de magnesio muestran que MP-12A presentan medianas de 210 mg/l respectivamente. Las aguas lagunares, y las obtenidas desde el punto BA-31 son las que presentan las mayores concentraciones de magnesio disuelto, con valores de mediana que van desde los 2.043 mg/l en LM-14, hasta los 6.472 mg/l en BA-31. Para el presente periodo de reporte, las mediciones se encuentran dentro de los rangos de variación del registro, aunque con un mínimo histórico en MP-12A en mayo de 2023.

El sodio se comporta de manera similar al potasio. La mediana de sodio en MP-12A es de 2.773 mg/l. En las muestras superficiales (lagunas) y BA-31 las medianas varían entre 25.191 mg/l en LM-12 y 79.500 mg/l en LM-13. Las mediciones para el año 2023 están acotadas a la variación natural.

Figura 6-115 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este

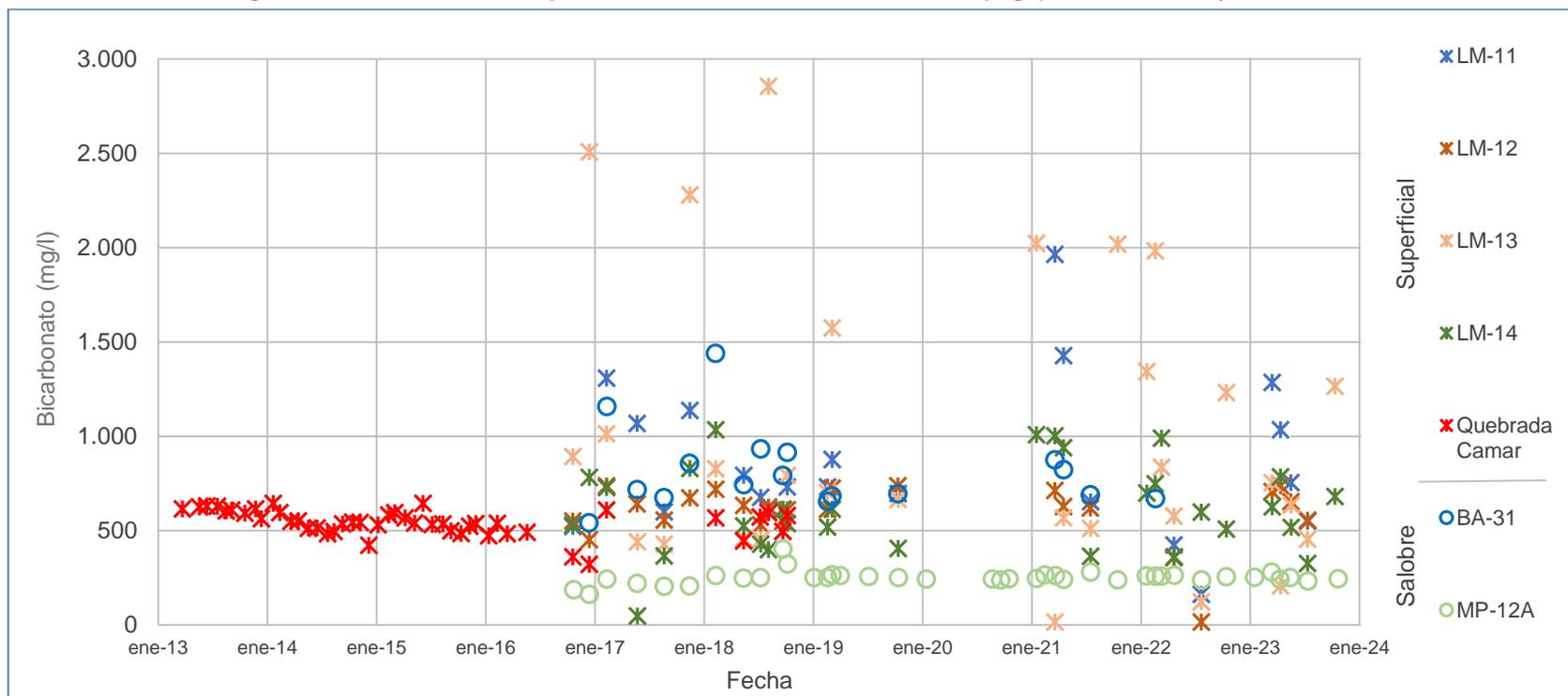


	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	45	18	40
Min	49.735	35.589	48.935	16.095	205	98.170	4.374
P25	59.796	39.069	117.658	28.088	239	119.475	5.115
Mediana	79.014	51.499	167.783	49.044	260	131.659	5.314
P75	113.661	60.316	185.386	108.939	280	138.555	5.518
Max	184.943	75.259	207.436	199.938	365	152.453	6.581
RQ	53.865	21.247	67.728	80.851	41	19.080	403

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-116 Variación Temporal: HCO₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este

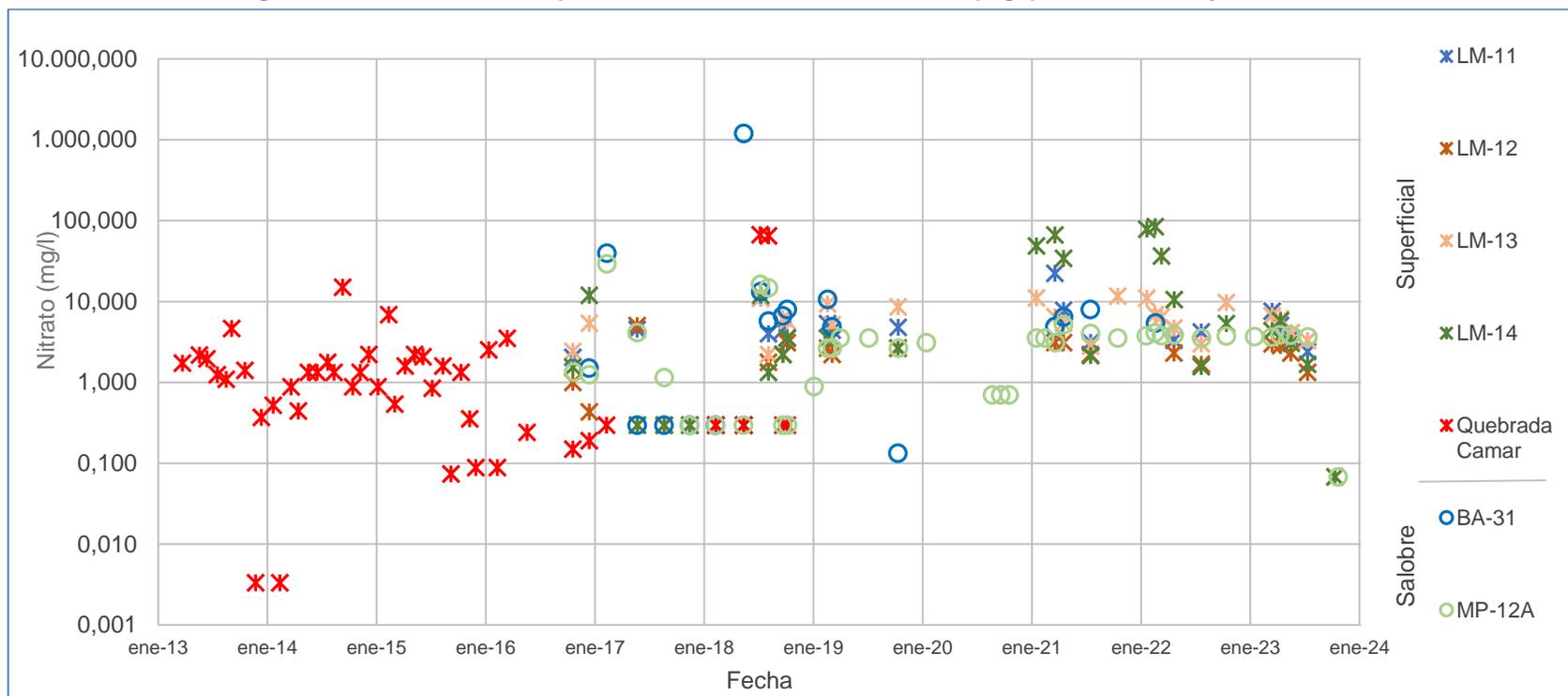


	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	46	17	39
Min	162	16	15	48	321	542	163
P25	608	553	458	423	498	680	242
Mediana	732	627	755	606	545	744	251
P75	1.085	712	1.343	783	596	895	262
Max	1.964	737	2.855	1.035	645	1.440	403
RQ	477	159	885	360	98	215	20

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-117 Variación Temporal: NO₃ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este

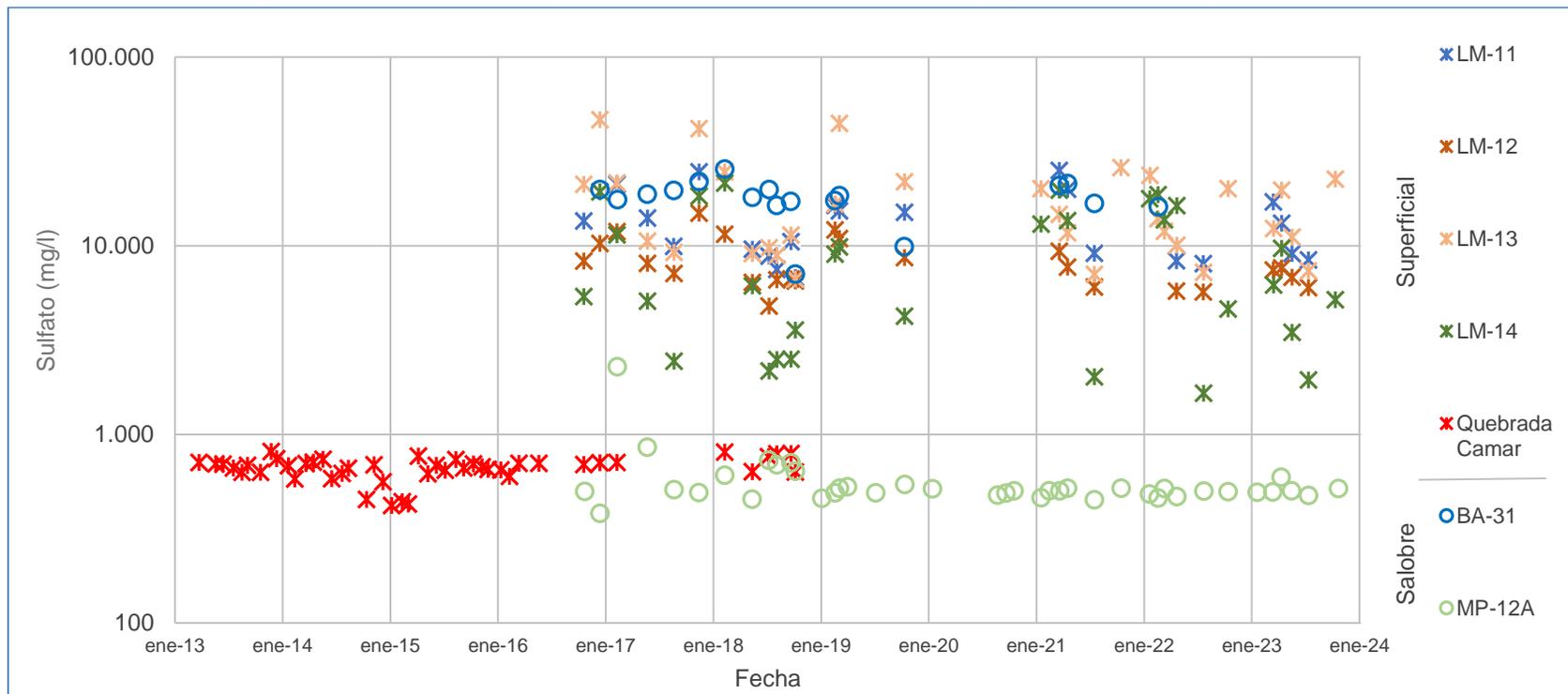


	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	21	23	29	29	46	18	40
Min	0,30	0,30	0,07	0,07	0,003	0,13	0,07
P25	2,77	1,00	2,63	1,43	0,30	0,30	0,95
Mediana	4,19	2,21	5,40	3,54	1,17	5,58	3,54
P75	5,19	3,00	7,74	11,95	1,99	8,64	3,84
Max	22,27	11,96	11,69	84,37	67,31	1.204,57	29,32
RQ	2,42	2,00	5,11	10,52	1,69	8,34	2,89

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-118 Variación Temporal: SO₄ en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este

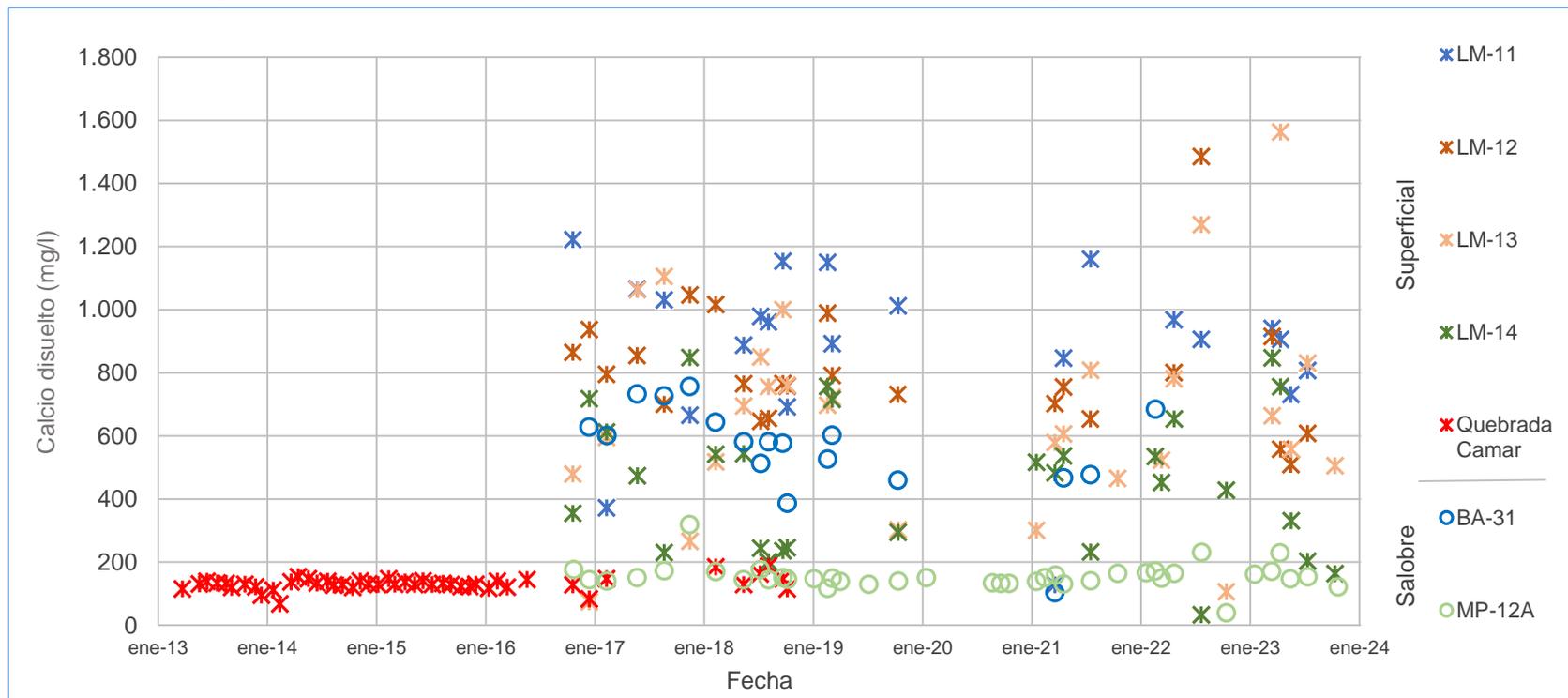


	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	45	18	40
Min	6.775	4.787	6.674	1.651	420	7.067	382
P25	8.702	6.410	9.743	3.231	630	16.659	485
Mediana	11.819	7.515	13.892	6.161	684	18.269	502
P75	16.562	10.046	21.856	14.355	710	20.120	525
Max	25.039	14.883	46.609	21.495	811	25.515	2.286
RQ	7.860	3.636	12.113	11.124	80	3.461	40

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

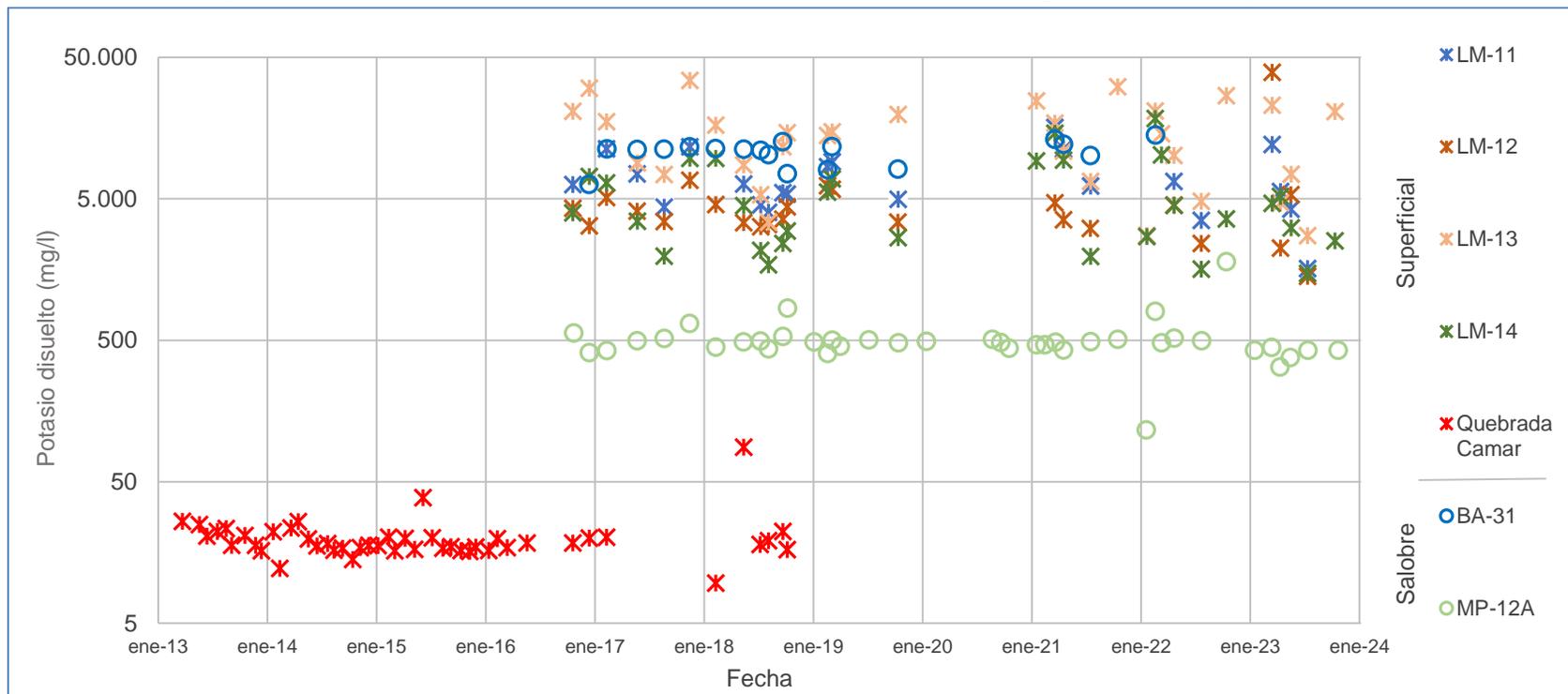
Figura 6-119 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	29	29	46	18	40
Min	128	509	75	33	68	104	40
P25	788	667	492	240	123	475	139
Mediana	924	766	664	474	130	582	149
P75	1.040	903	820	634	140	654	166
Max	1.222	1.486	1.563	848	188	757	319
RQ	252	236	328	394	17	179	27

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

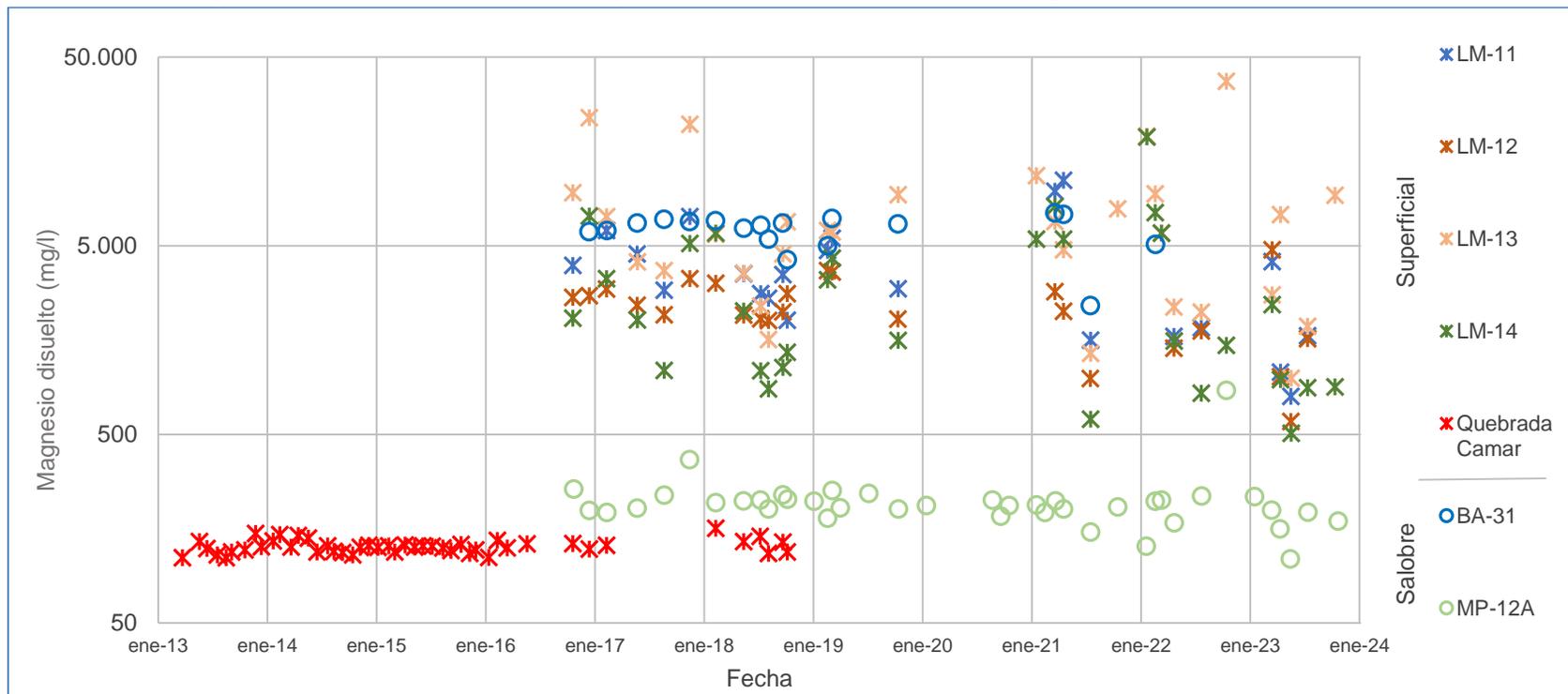
Figura 6-120 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	46	18	40
Min	1.605	1.418	2.750	1.487	10	6.335	117
P25	4.500	3.240	7.420	2.495	17	9.627	429
Mediana	6.229	3.843	14.417	4.224	18	11.235	484
P75	9.662	4.997	20.824	7.705	21	11.828	507
Max	15.970	39.167	34.360	18.518	88	14.142	1.802
RQ	5.162	1.757	13.404	5.210	4	2.201	78

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
 Fuente: Elaboración propia

Figura 6-121 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este

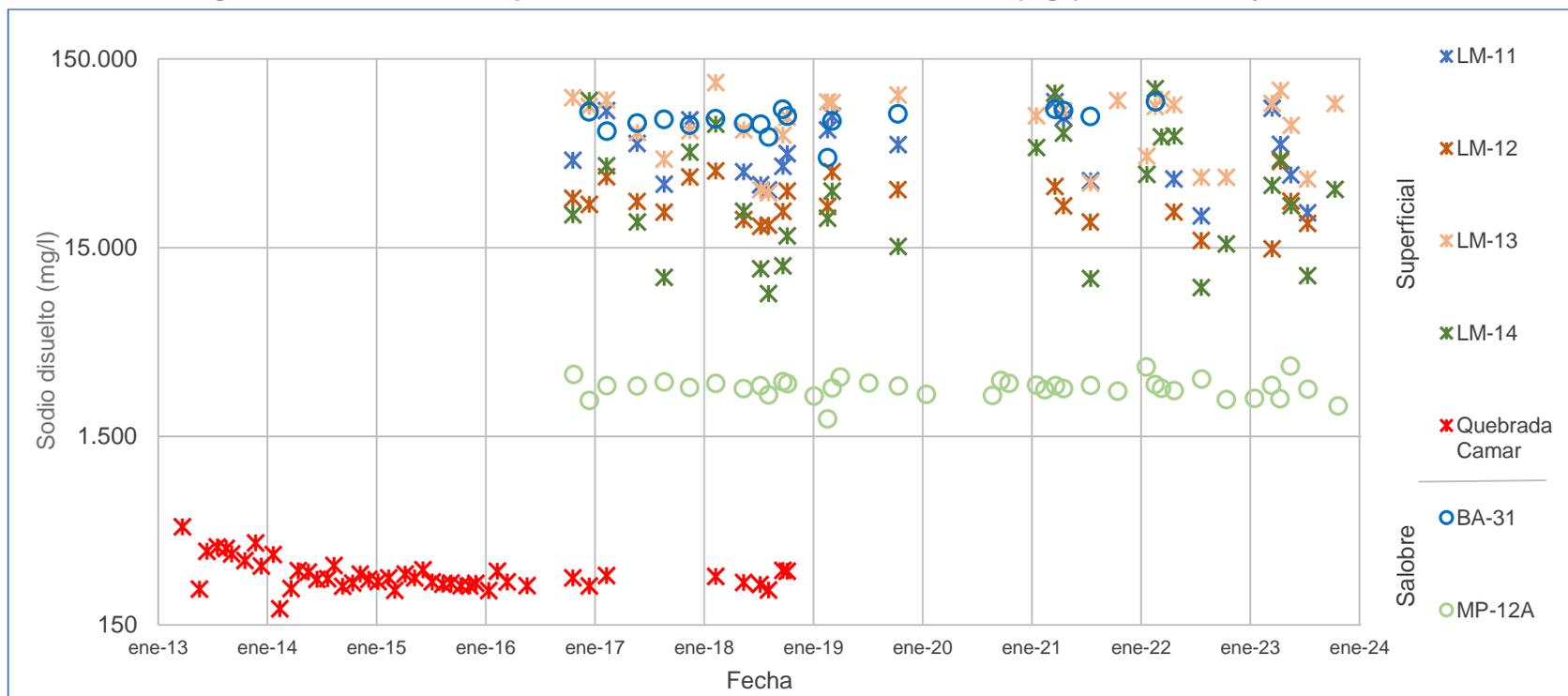


	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	46	18	40
Min	795	585	994	507	111	2.414	109
P25	1.795	1.827	2.741	1.059	119	5.340	193
Mediana	3.235	2.240	5.920	2.043	126	6.472	210
P75	4.908	2.921	9.320	5.418	132	6.811	226
Max	11.130	4.763	37.250	18.878	159	7.458	856
RQ	3.113	1.094	6.579	4.359	13	1.471	33

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-122 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	46	18	40
Min	22.105	14.780	29.241	8.553	183	44.980	1.855
P25	33.573	20.650	45.777	14.398	245	67.485	2.526
Mediana	45.365	25.191	79.500	27.415	265	72.035	2.773
P75	71.940	31.301	90.210	52.644	293	79.103	2.865
Max	88.950	42.905	112.500	104.248	498	89.050	3.533
RQ	38.367	10.651	44.433	38.246	48	11.618	339

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.4 Química de los Puntos de Extracción

En consideración a la resolución de solicitud de interpretación de la RCA N° 21/2016, resuelta mediante la R.E. N°1.472 de fecha 27 de diciembre 2017 del SEA Dirección Ejecutiva, es que no se presentan resultados asociados a química de los pozos de extracción de salmuera. Dicha Resolución se adjunta como Anexo M de este Informe.

A saber, la Resolución indica textual que: “[...] *el alcance del PSAH, expuesto en el considerando 7 de la RCA respecto del componente ambiental “Físico Calidad del Agua”, para el monitoreo “calidad química del agua superficial y subterránea” debe citar únicamente la Tabla 3-5, Tabla 3-6 y Tabla 3-7 del Anexo 3 de la Adenda N°5*”. Asimismo, indica que “*el objeto de protección asociado al PSAH, corresponde a las aguas del Salar de Atacama, y el acuífero de la Zona Marginal que alimenta estas aguas, por lo que los puntos de monitoreo asociados al componente “calidad de agua”, recae sobre las aguas que alimentan los sistemas lagunares y, por lo tanto, la calidad química de salmuera que se extrae de los pozos de producción no es una variable relevante para los fines ambientales que sustenta la RCA*”.

Sin perjuicio de lo anterior, se presentan los resultados de la química de los 3 puntos de extracción con derechos de aguas, punto superficial Vertiente Tilopozo y los pozos: Peine, y Tucúcaro, de los parámetros respectivos: calcio, litio, potasio, magnesio, sodio y sulfato, reportados en unidades de ppm (partes por millón).

La Figura 6-123 presenta la gráfica histórica de la variación de calcio, litio y magnesio y la Figura 6-124 presenta la variación de potasio, sodio y sulfato para las captaciones pozo Peine, Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro. Cabe indicar que el pozo Peine comienza su bombeo más tarde que los demás, con registros desde Julio 2013.

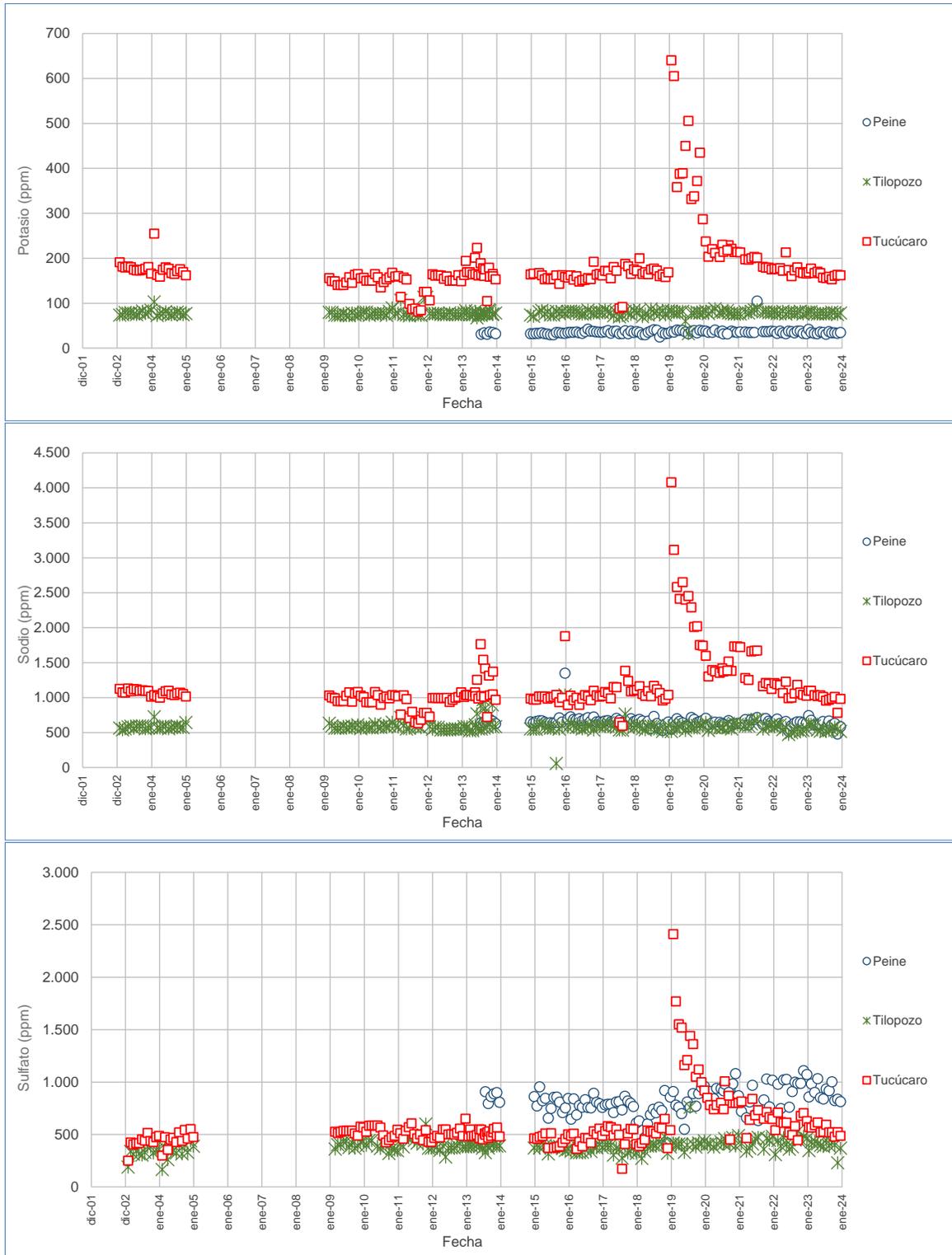
En la Figura 6-123 y en la Figura 6-124 se observa que el pozo Tucúcaro presentó en el año 2019 un alza en las concentraciones de todos los elementos, el cual ha estado disminuyendo a diferentes tasas hasta alcanzar en el 2023 concentraciones cercanas a las que ocurrían previo a este aumento. Estos aumentos en las concentraciones ocurren posteriores al evento de precipitaciones de 2019, lo cual pudo provocar disolución de sales que ingresaron al sistema de aguas subterráneas, dada la ubicación del pozo Tucúcaro, y por ende no teniendo el mismo efecto en los otros dos puntos. De manera similar, aunque más acotados, durante mayo de 2022 ocurren aumentos de litio (además de enero de 2022), magnesio y potasio, y en menor medida sodio, en el pozo Tucúcaro.

Figura 6-123 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-124 Variación temporal de Potasio, Sodio y Sulfato en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.5 Límite comprometido

El nivel o límite comprometido para esta variable en la RCA es “*Mantener parámetros dentro de variabilidad natural*”, por lo que se han comparado los resultados de calidad química del agua del año 2023 (sección 5.8) con los valores históricos.

Los resultados por sector muestran que, tanto en las aguas subterráneas someras como en las aguas más profundas, los elementos analizados en 2023 varían de acuerdo con los rangos y variabilidad natural histórica, no presentando mayores diferencias en comparación con años previos. Sin embargo, se advierten valores fuera de tendencia que tendrían relación con errores de muestreo (intercambio de botellas) o analíticos (por ejemplo, no se hacen correctamente los recálculos por dilución).

Junto a lo anterior, al analizar los diagramas de Piper se observa que la clasificación de aguas otorgada para cada sector se mantiene. En este sentido, las aguas son principalmente del tipo cloruradas sódicas, salvo en Vertiente Peine que se clasifica como clorurada sódico-cálcica en abril, mayo y octubre del año 2023, lo que probablemente se debería a errores analíticos.

Según lo previamente mencionado, es posible afirmar que se han mantenido los parámetros fisicoquímicos de las muestras y sus composiciones dentro de la variabilidad natural de calidad química del agua.

6.1.9 Caudales bombeados en salmuera y en agua dulce-salobre

En el presente subcapítulo se muestran los registros asociados a la extracción de salmuera y agua dulce-salobre históricos hasta diciembre del 2023. Durante este periodo fueron bombeados diferentes pozos en las áreas de extracción A1 y A2, cuya cantidad a lo largo del tiempo es variable, y su dinámica responde a razones operacionales que se ajustan al caudal de bombeo aprobado ambientalmente, además de tres puntos de extracción de agua dulce-salobre correspondientes a la vertiente Tilopozo, pozo Tucúcaro y pozo Peine. Además, se analiza en la presente sección (subsección 6.1.9.3), el límite comprometido para esta variable.

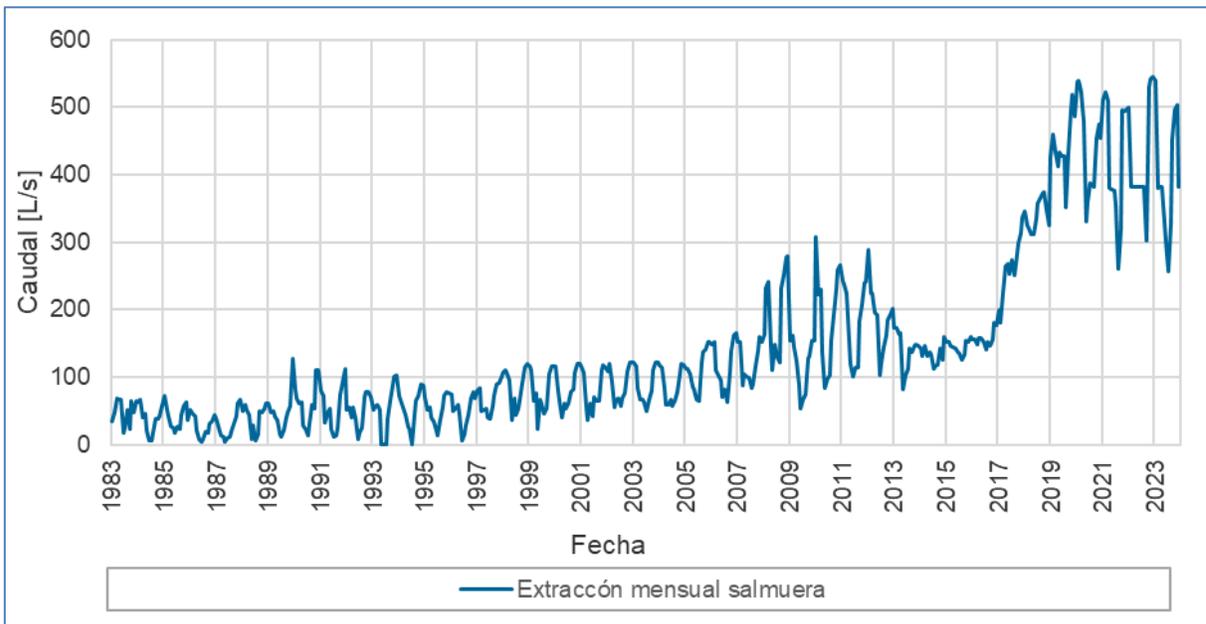
A continuación, se presentan los valores de los caudales bombeados histórico a través de gráficos. En el Anexo J se presenta el registro histórico de todos los volúmenes extraídos y caudales bombeados, a escala mensual, tanto de los pozos de salmuera como de los puntos de agua dulce-salobre.

6.1.9.1 Caudales bombeados en salmuera

La extracción histórica mensual de salmuera del titular del proyecto entre 1983 y 2023 se muestra en la Figura 6-125. En general, la menor extracción de salmuera se realiza en los

meses de invierno, mientras que la mayor extracción se desarrolla en los meses de verano, como consecuencia de la mayor evaporación en los sistemas de pozas de salmuera. Hasta octubre del 2016 ambas áreas de extracción bombeaban caudales similares, a partir del 2017 (posterior a la RCA 21/2016) los caudales mensuales de A1 muestran valores entre 107,58 l/s y 438,40 l/s durante el periodo 2017-2023, y A2 con caudales mensuales entre 10,05 y 114,14 de para el mismo periodos.

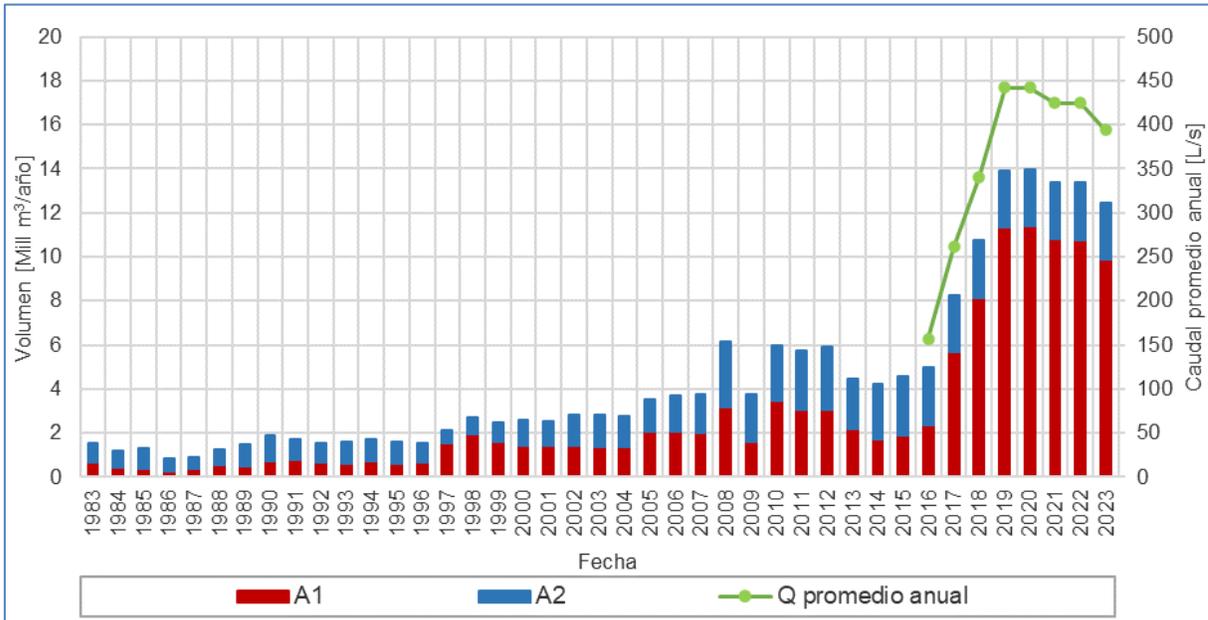
Figura 6-125 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, periodo 1983-2023 (extracción total de zonas A1 y A2)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del volumen anual de extracción de salmuera en ambas áreas (A1 y A2) en el período 1983-2023 se presenta en la Figura 6-126. En ella se observa que el volumen máximo de extracción total del año calendario se alcanzó el 2020, este fue de 13.975.851 m³, lo que equivale a un caudal medio anual de 441,96 l/s, sin embargo, el caudal medio anual máximo se alcanzó el año 2019, con un caudal de 441,98 l/s, a pesar de haber bombeado un mayor volumen el 2020, este año es bisiesto, por lo que al calcular el caudal da un poco menor al 2019, año en el cual solo se bombearon 37.723 m³ menos que el 2020. Posterior a estos años la tendencia es a disminuir el volumen anual bombeado, registrando en el 2023 un caudal de 394,20 l/s.

Figura 6-126 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2023



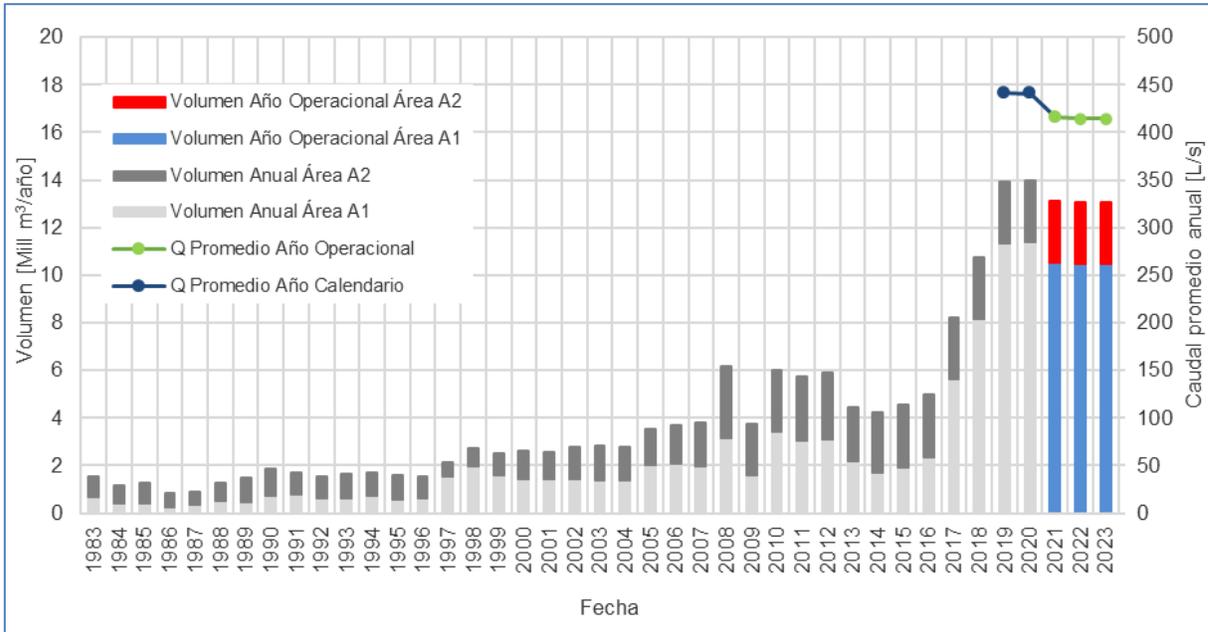
Fuente: Elaboración propia

Según se expuso en la sección 5.9.1 los cumplimientos de los compromisos ambientales se realizan en base a las extracciones por año operacional (octubre del año a septiembre del año siguiente), y los reajustes de los límites se basan en la fórmula presentada en la misma sección 5.9.1.

Para los últimos 3 años ha estado activada la Fase II del PAT sector Alerta Norte, modificándose los caudales máximos autorizados de 442 a 435,1 l/s, 414,4 l/s y 414,4 l/s para los años 2021, 2022 y 2023 respectivamente.

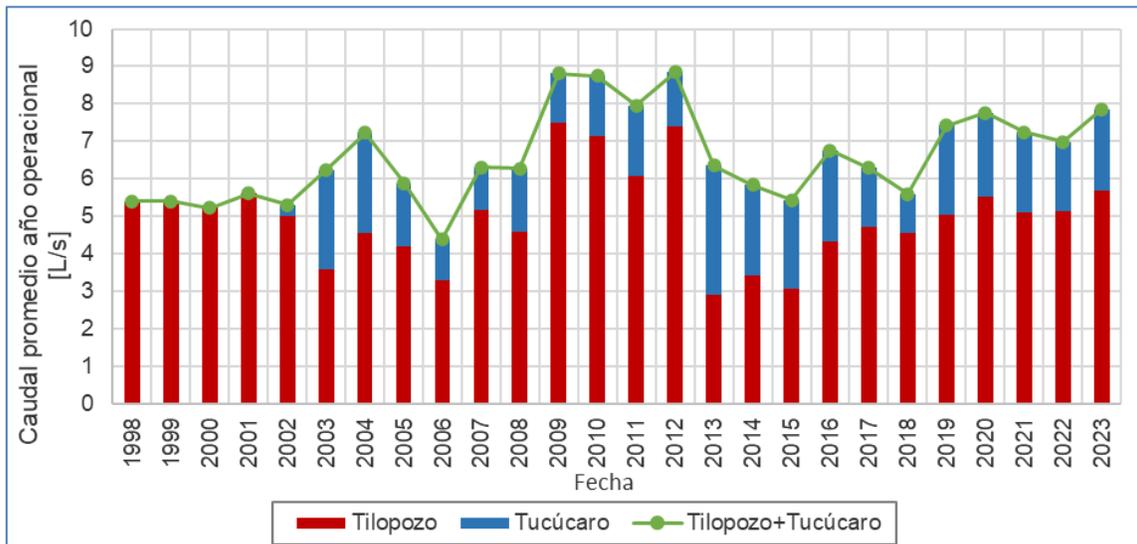
En la Figura 6-127 se muestra el registro histórico de las extracciones considerando el período 1983 a 2020 como año calendario (según lo reportado previamente en versiones anteriores de este informe) y el período 2021 a 2023 como año operacional. Se observa como el volumen anual operacional los últimos 3 años se ha mantenido constante, con caudales de 415,72 l/s, 414,08 l/s y 414,13 l/s para los años 2021, 2022 y 2023 respectivamente, lo que ha sido inferior a lo expresado como caudal autorizado en la RCA y el límite del año operacional para cada año derivado de la activación del PAT sector Alerta Norte.

Figura 6-127 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2020 y año operacional periodo 2021-2022



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-128 Caudales medio anual año operacional en Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro (1998-2023)



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Res Ex N°427/2021 de la Superintendencia del Medio Ambiente, en el Considerando 11, letra B.2: *“Atendiendo a la fecha de inicio reportada por el titular, para efectos de la definición y verificación del caudal medio anual autorizado, esta Superintendencia considera que, de acuerdo a las obligaciones establecidas en la RCA N° 21/2016, cada “año” debe entenderse comprendido entre octubre del año “t” y septiembre del año “t+1” (periodo de 12 meses corridos)”* y la Res Ex N°1510/2021 de la SMA, en su Resuelvo, Primero: *“...para el cálculo y verificación del promedio anual de salmuera, corresponde a un periodo de 12 meses comprendido entre el 01 de octubre del año “t” y el 30 de septiembre del año “t+1” (año operacional)”*. Debido a lo mencionado anteriormente desde el informe anual N°6 Albemarle considera lo indicado en las resoluciones citadas, es decir, que el cumplimiento de sus compromisos ambientales para la extracción de salmuera corresponde a lo **extraído en el año operacional** según la fecha de inicio del proyecto, el que inicia los meses de octubre.

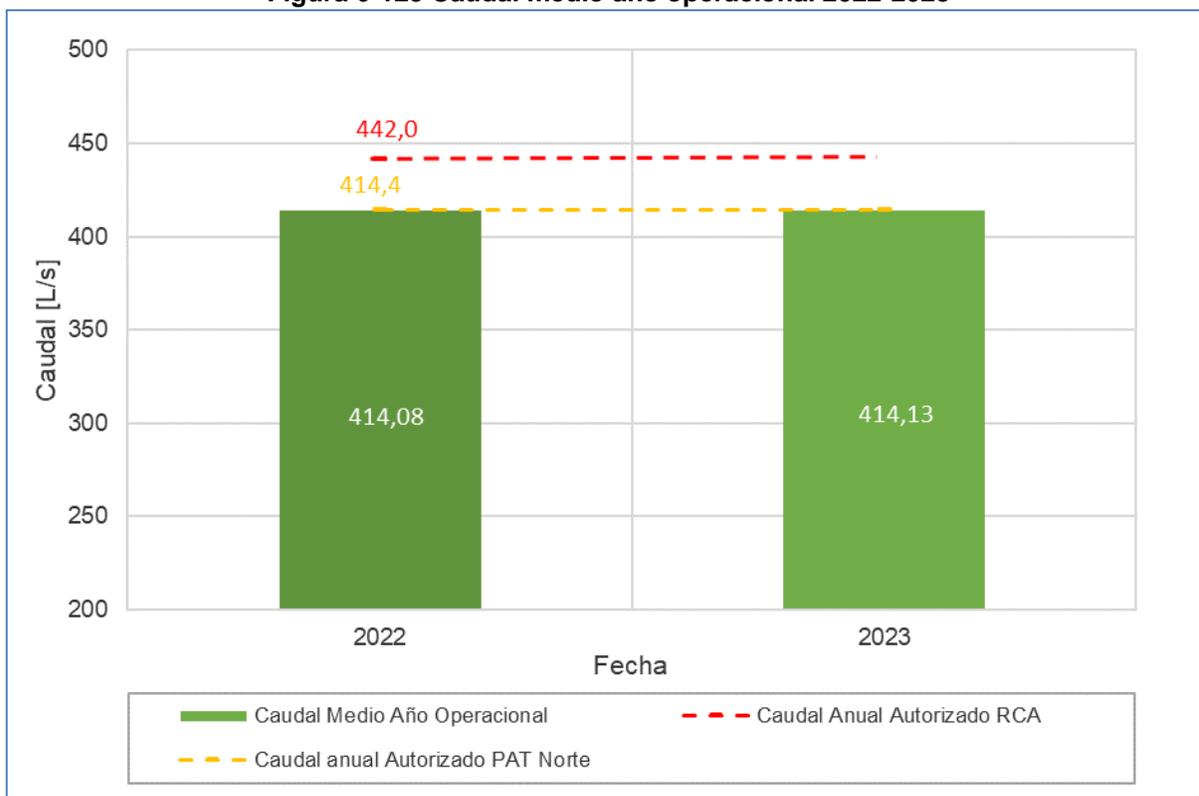
Por otra parte, debido a la activación de la Fase II del PAT sector Alerta Norte, Albemarle debió disminuir su caudal de extracción de tal modo que, el caudal del año operacional no supere un nuevo límite anual máximo, conforme a lo expresado en la Adenda 5, calculado en base a la siguiente fórmula (indicada en la Resolución Exenta 1510/2021):

$$\text{Nuevo límite Anual (L/s)} = \frac{N^{\circ} \text{ de meses con medida activa (442 - monto de reducción)} + N^{\circ} \text{ de meses sin medida activa} * 442}{12}$$

Para el año 2023 se mantuvo activa la Fase II del PAT sector Alerta Norte durante los 12 meses del año operacional 2023, lo que se traduce en una reducción de 27,6 l/s durante esos meses según lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5. Según la fórmula indicada, el límite de la extracción para el año operacional 2023 (octubre 2022 – septiembre 2023) correspondería a 414,4 l/s.

En la Figura 6-129 se muestra el caudal extraído para el año operacional 2023 (octubre 2022 – septiembre 2023) según las indicaciones de las Resoluciones Exentas N°427/2021 y N°1510/2021 de la SMA. Durante el año operacional 2023 se extrae un volumen total de 13.060.026 m³, equivalentes a un caudal de 414,13 l/s (volúmenes y caudales del cuarto trimestre de 2022 se encuentran disponibles en el Anexo J), lo que es inferior a lo expresado como caudal autorizado en la RCA y el límite del año operacional 2023 derivado de la activación del PAT sector Alerta Norte.

Figura 6-129 Caudal medio año operacional 2022-2023



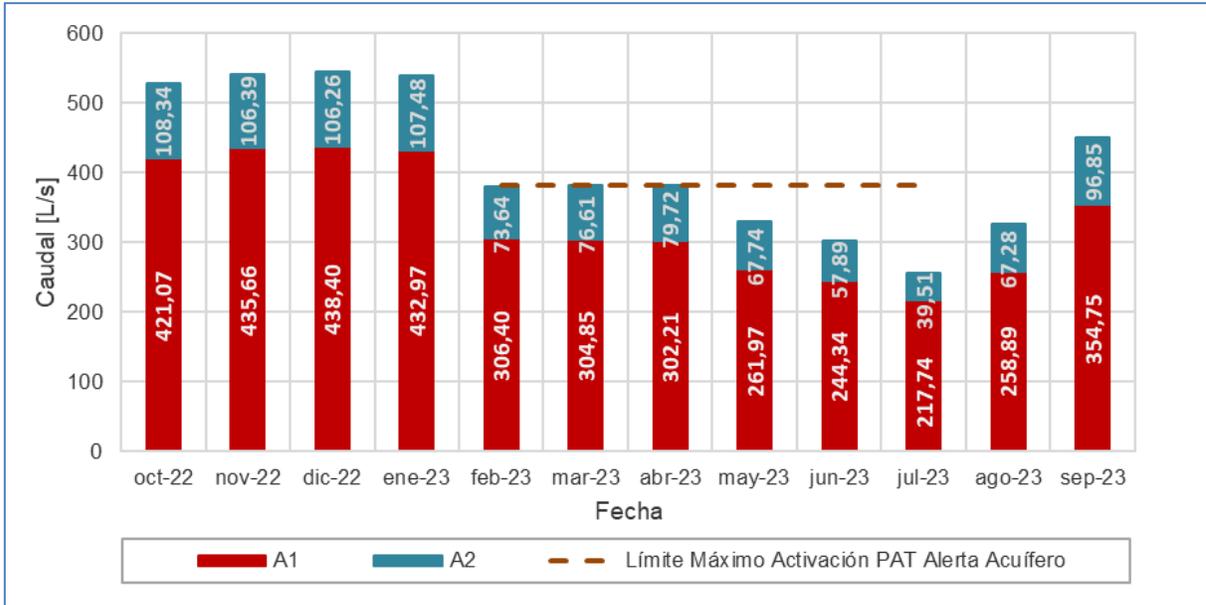
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la activación del PAT sector Alerta Acuífero indica la reducción de la extracción de salmuera en 60 l/s durante los meses de aplicación de las acciones preventivas según lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5. Durante el año calendario 2023 estas medidas se mantuvieron activas (ver Figura 5 242) durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio y diciembre lo que equivale a un máximo de 382 l/s de extracción de salmuera para los meses mencionados.

En la Figura 6-130 se muestran los caudales extraídos por zona a nivel mensual durante el año operacional 2023. Los caudales dentro del año operacional varían entre 544,65 l/s (diciembre 2022) y 257,25 l/s (julio 2023). Específicamente, se extrajo un total de 10.463.087 m³ de salmuera del área A1, con un caudal promedio de 331,78 l/s, mientras que en el área A2 se bombearon 2.596.939 m³ con un caudal medio de 82,35 l/s.

Con respecto a los meses de activación del PAT sector Alerta Acuífero se observa que el titular cumple con las acciones preventivas establecidas de reducir la extracción de salmuera, con extracciones máximas como promedio mensual de 382,00 l/s; siendo los caudales mensuales: 380,04 l/s; 381,46 l/s; 381,93 l/s, 329,72 l/s, 302,23 l/s y 257,25 l/s para los meses de febrero a julio respectivamente.

Figura 6-130 Caudales mensuales por zona año operacional 2023

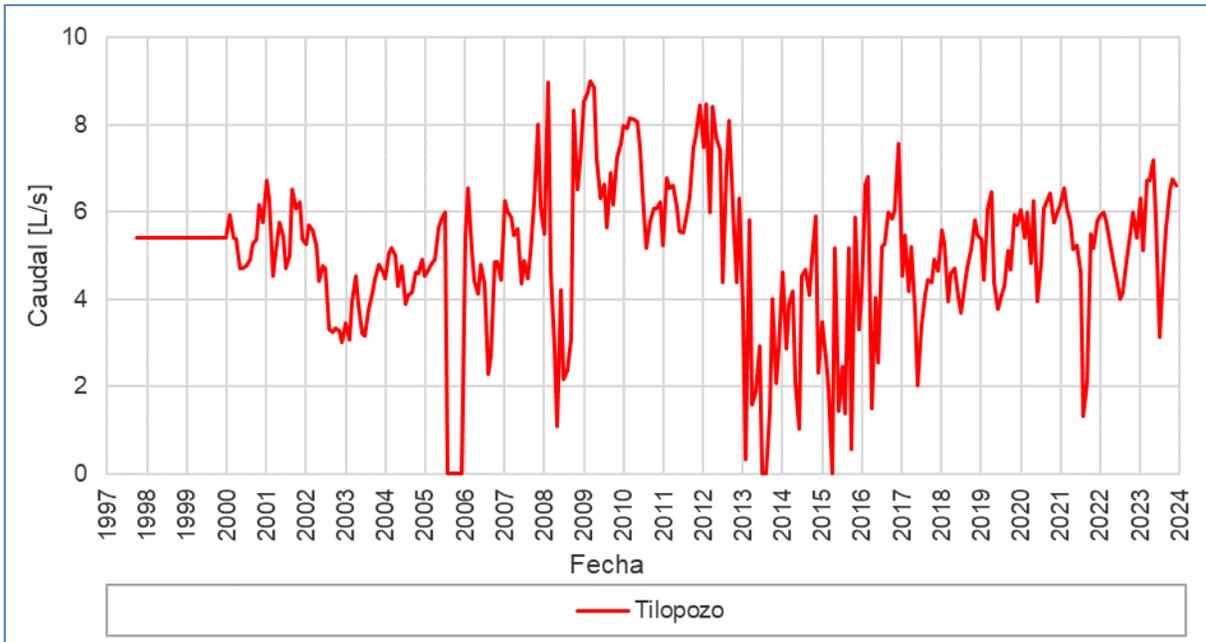


Fuente: Elaboración propia

6.1.9.2 Caudales bombeados en agua dulce-salobre

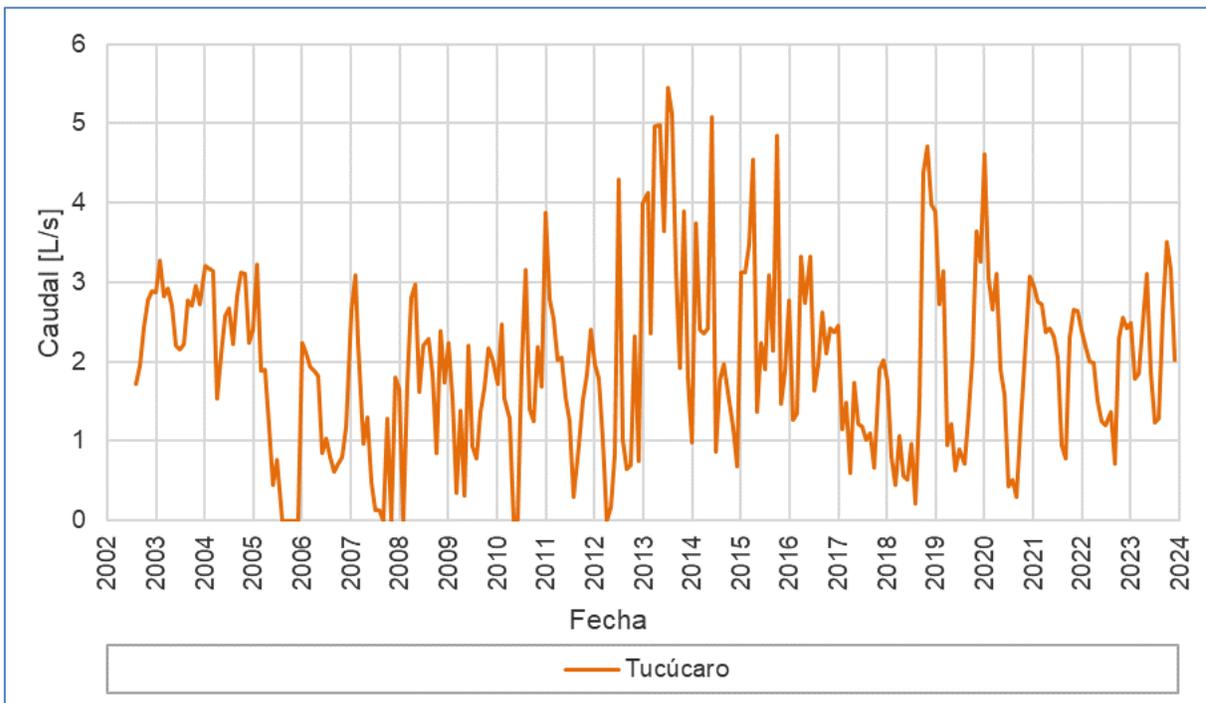
Los caudales históricos que han sido bombeados hasta diciembre 2023 en la Vertiente Tilopozo, y los pozos Tucúcaro y Peine, se presentan en los gráficos de las Figura 6-131, Figura 6-132 y Figura 6-133 respectivamente.

Figura 6-131 Caudales mensuales históricos bombeados en Vertiente Tilopozo



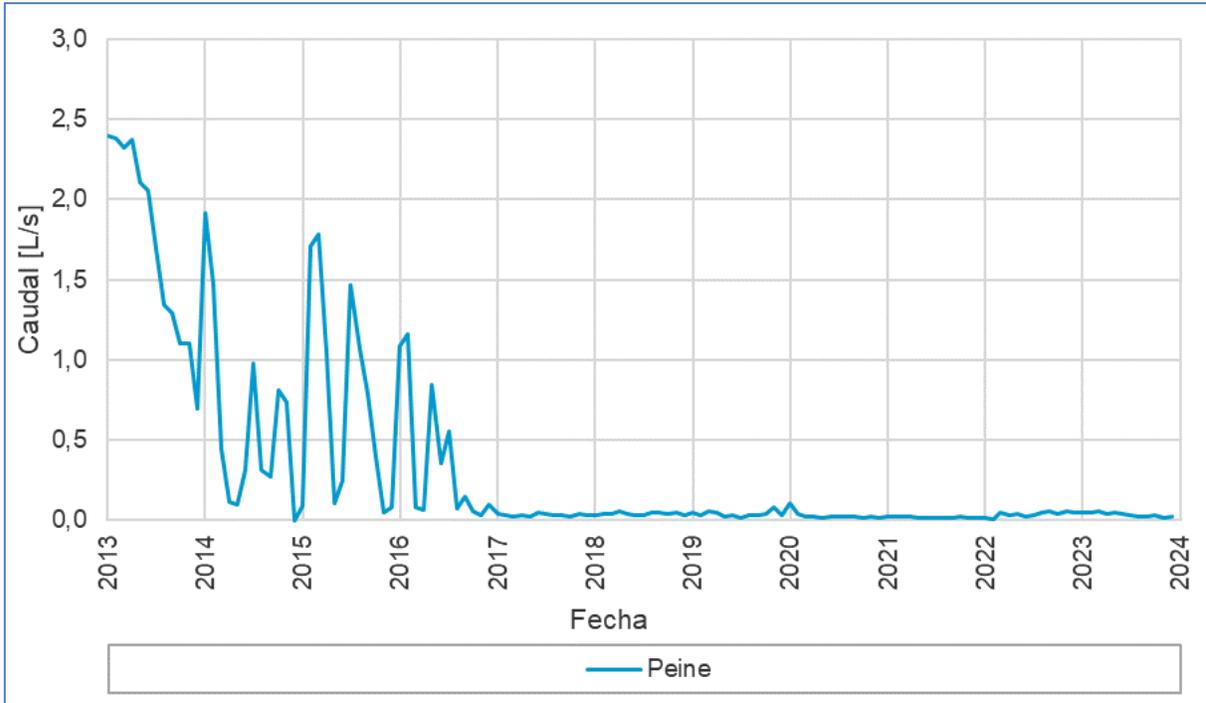
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-132 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-133 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Peine



Fuente: Elaboración propia

6.1.9.3 Límites Comprometidos

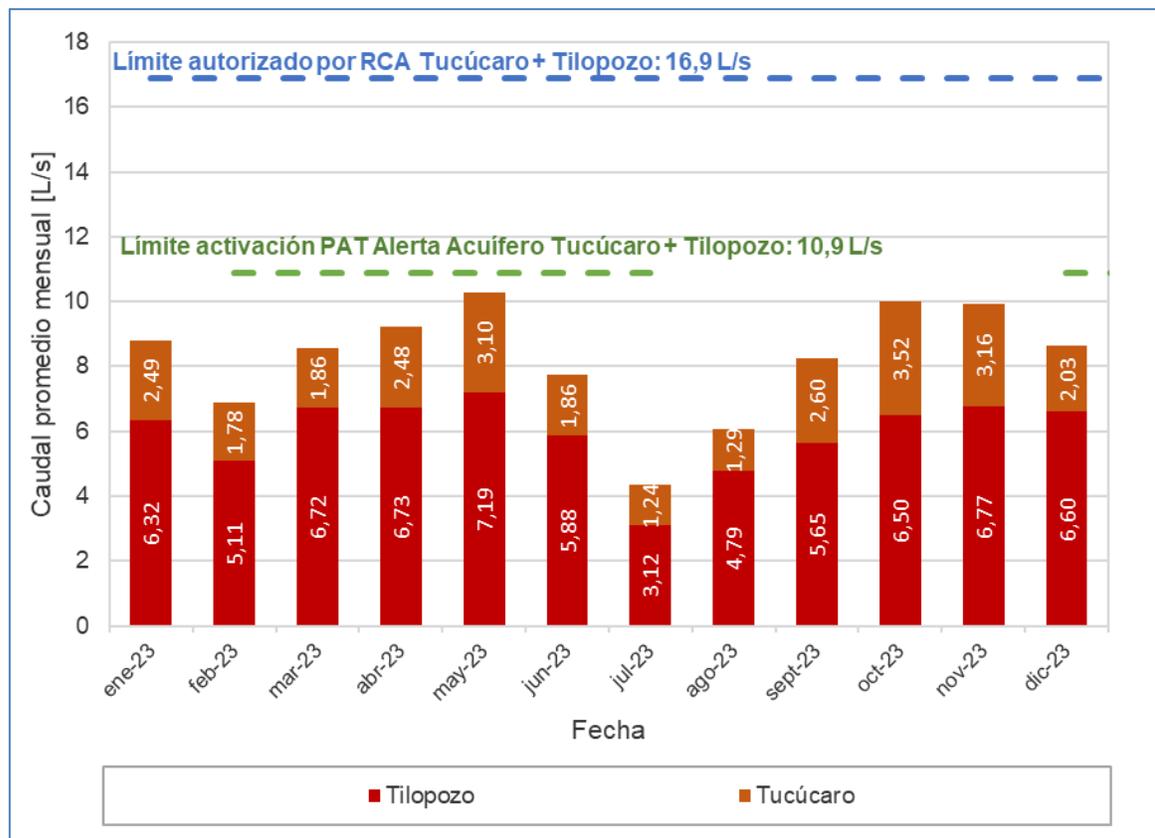
En la Figura 6-134 se presentan los caudales por año operacional en conjunto de los puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro hasta el 2023 a través de un gráfico de columnas apiladas, representando la línea verde la suma de ambos caudales. Se observa que en todo el periodo de registro los caudales se han mantenido consistentemente bajo los límites autorizados de manera individual y de manera conjunta. El caudal conjunto máximo (posterior a octubre 2016) se registró en el año operacional 2023, con un caudal promedio de 7,87 l/s, y un volumen total extraído de 179.851 m³, mientras que el mínimo caudal de extracción (posterior a octubre 2016) se registró en el año operacional 2018, con un promedio de 5,60 l/s y un volumen total extraído de 144.123 m³.

El detalle de las acciones preventivas requeridas según activación del PAT de Alerta Acuífero se detalla en la sección 5.9.2 y en los informes PSAH N°6 y N°7.

En la Figura 6-134 se representan los caudales individuales de los puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante el año 2023 a través de un gráfico de columnas apiladas, de manera que el alto de la barra representa el caudal conjunto entre ambas captaciones. En ella se observa que el caudal máximo bombeado en forma conjunta alcanza los 10,29 l/s en el mes de mayo, mientras que el mínimo caudal bombeado en forma conjunta es de 4,36 l/s, alcanzado en el mes de julio. El caudal promedio anual (año calendario) bombeado en forma conjunta es de 8,24 l/s (Puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro). La extracción se mantiene dentro de los límites autorizados ambientalmente por la RCA N°21/2016 para ambos durante todo el año de manera individual y conjunta, que corresponde a un máximo de 16,9 l/s.

No obstante, debido a las acciones preventivas requeridas según activación del PAT de Alerta Acuífero existe el requisito adicional que durante los meses de activación (febrero a julio y diciembre de 2023), se realizó la reducción de la extracción de agua industrial adicional aprobada en la RCA N°21/2016 (6 l/s), lo que se traduce en un caudal de extracción máximo de 10,9 l/s para el bombeo conjunto de los puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro. Durante estos meses, los caudales en conjunto para estos puntos son menores que 10,9 l/s, cumpliendo así con lo requerido por el PAT de Alerta Acuífero. Adicionalmente, también se cuenta con autorización por derecho de aprovechamiento de agua para extraer un máximo de 5 l/s del pozo Peine, para uso en el campamento emplazado en dicha comunidad; durante al año operacional 2023 el caudal extraído del pozo Peine fue de 0,04 l/s por lo que los caudales de extracción se mantuvieron dentro de lo autorizado ambientalmente.

Figura 6-134 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año calendario 2023



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera que para la extracción de salmuera, en la Figura 5-105 muestra la distribución de caudales de extracción para los puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro para el año operacional 2023 (octubre 2022 a septiembre de 2023), definido según las consideraciones de la SMA expresadas en las resoluciones exentas N°427/2021 y N°1510/2021. De similar manera al año calendario, el caudal anual medio del año operacional 2023 de extracción de estos puntos (7,87 l/s) se mantiene por debajo del límite impuesto por la RCA (16,9 l/s).

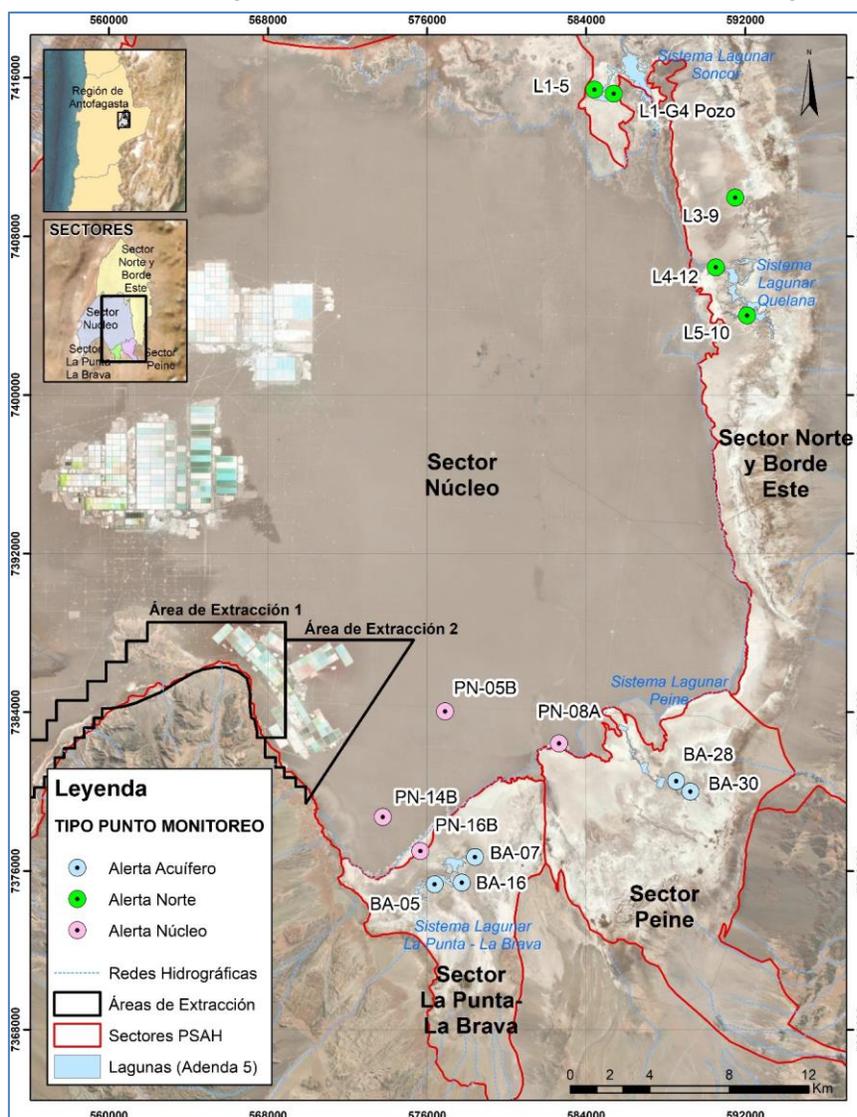
La información sobre volúmenes y caudales de los pozos mencionados para el último trimestre del 2022 se encuentra disponible en el Anexo J.

6.1.10 Red del Plan de Alerta Temprana

A continuación, se presentan los resultados asociados a la red de monitoreo del Plan de Alerta Temprana (PAT) del año 2023, que incluye puntos que son parte del PSAH de ALB y del Plan de Contingencias/Seguimiento de SQM, considerando los tres sectores de alerta comprometidos en el Anexo 3 de la Adenda 5 (Figura 6-135):

- Sector de Alerta Norte
- Sector de Alerta Núcleo
- Sector de Alerta Acuífero

Figura 6-135 Ubicación puntos de monitoreo del Plan de Alerta Temprana (PAT).



Fuente: Elaboración propia

La medición de las variables de estado, que corresponden a los niveles freáticos en los puntos de activación del PAT es de frecuencia mensual en operación normal del Proyecto. Esta frecuencia se mantiene mientras no exista la activación de algún sector de Alerta. Si el PAT se activa, la frecuencia de medición de las variables de monitoreo del PSAH como son: niveles freáticos aumentan de mensual a quincenal; y la calidad química y posición de la interfase salina, cambian su frecuencia de medición trimestral a mensual en los puntos de la red de monitoreo del PSAH. Lo anterior, se debe mantener por 3 meses.

El detalle de los puntos y condiciones de activación PAT, fase asociada, fechas de superación de umbrales en el 2023, notificaciones a la autoridad y medidas adoptadas se presentan en las siguientes secciones 6.1.10.1, 6.1.10.2 y 6.1.10.3 de este capítulo.

A continuación, se presenta un resumen de las situaciones ocurridas durante el seguimiento ambiental en los 3 sectores de alerta del PAT:

i. Sector de Alerta Norte

A continuación, se describen las activaciones PAT del año 2023, para cada punto PAT:

- Punto L1-G4 Pozo: registra todas las mediciones de niveles bajo el umbral de Fase I y Fase II en el año 2023. Este punto **activa la Fase I del sector Alerta Norte** el día 6 de enero de 2021 (carta ALB-GMA-2021-SMA-002) y desde el día 14 de julio de 2021 (carta ALB-GMA-2021-SMA-045 en Anexo M) presenta medidas bajo el umbral de Fase II.
- Punto L1-5: registra todas las mediciones de niveles bajo el umbral de Fase I y Fase II en el año 2023. Desde el día 4 de febrero de 2021 (carta ALB-GMA-2021-SMA-008) tiene medidas bajo la Fase I y el día 28 de junio de 2021 (carta ALB-GMA-2021-SMA-038) **activa la Fase II del sector Alerta Norte**.
- Punto L3-9: registra las mediciones de niveles sobre los umbrales de Fase I y Fase II en el año 2023 así como para toda su data.
- Punto L4-12: se mantiene sobre el umbral en todas las mediciones registradas desde febrero hasta diciembre de 2023, con excepción de la medición de enero que está bajo el umbral de Fase I (carta ALB-GMA-2023-SMA-004, en Anexo M-2).
- Punto L5-10: para el año 2023 los niveles se encuentran sobre el umbral de Fase I en los meses de febrero y marzo, en abril existe una medición bajo el umbral de Fase I (carta ALB-GMA-2023-SMA 020 y ALB-GMA-2023-SMA 022, ver ambas cartas en Anexo M-2), esta condición se mantiene con fluctuaciones menores hasta octubre y desde noviembre de 2023 se presenta bajo el umbral de Fase II (carta ALB-GMA-2023-SMA-057).

Con todo lo anterior, se tiene que el sector Alerta Norte se encuentra activado en Fase II durante todo el año 2023. Sin embargo, debido a cualquier superación de umbral durante el año 2023, no ha implicado tomar medidas adicionales a las ya existentes, ya que las medidas están siendo realizadas por la activación en Fase II con fecha 28 de junio de 2021 producida por el pozo L1-5.

ii. **Sector de Alerta Núcleo**

- El día 31 de julio 2023, el pozo PN-08A presentó la primera medida bajo el umbral de Fase I durante el año 2023, se activa el 29 de septiembre en Fase I (ALB-GMA-2023-SMA-051), y se mantuvo bajo dicho umbral durante todo el período posterior de 2023.

iii. **Sector de Alerta Acuífero**

- El 31 enero 2023 se activa el PAT en su Fase Única en el punto BA-07, (ALB-GMA-2023-SMA-007) desactivándose en julio 2023.
- Por otra parte, las mediciones de octubre (día 31) y noviembre (días 15 y 30) del año 2023 presentaron datos bajo el umbral, estas mediciones son quincenales dado que el PAT del Núcleo está activado, por ende, existen tres mediciones puntuales con niveles bajo el umbral en el punto BA-07, estas corresponden sólo a un mes y medio consecutivo. Dado lo anterior, Albemarle envía la carta ALB-GMA-2023-SMA-066 (ver Anexo M) a la autoridad, y se activan las medidas preventivas del PAT correspondientes desde el 1 de diciembre 2023. Cabe mencionar, que no se habían cumplido los tres meses con niveles bajo el umbral, y se esperaba que la tercera medición mensual se produjera en enero del 2024, lo que ocurre finalmente el día 31 de enero de 2024 y se informa mediante carta ALB-GMA-2024-SMA-008 (ver Anexo M).

Las cartas citadas en esta sección y documentos que respaldan la activación y/o notificación a la autoridad se encuentran disponibles en el Anexo M del presente informe anual.

6.1.10.1 Sector de Alerta Norte

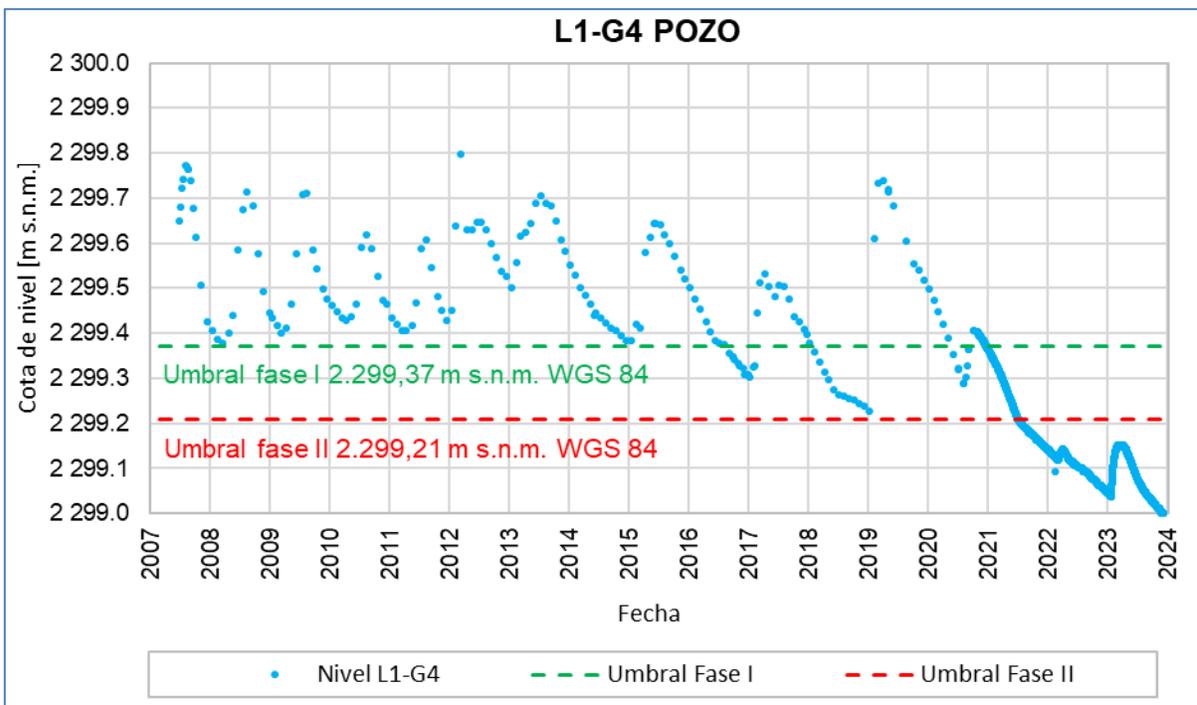
En la siguiente sección, se presenta en detalle el comportamiento de los niveles en los 5 puntos de activación del PAT pertenecientes a la red del Plan de Seguimiento del titular SQM Salar S.A. y que forman parte de la red del PAT sector de Alerta Norte de Albemarle (Tabla 5-29).

En las Figura 6-136, Figura 6-137, Figura 6-138, Figura 6-139 y Figura 6-140 se muestra la evolución de los niveles de monitoreo junto con los umbrales del PAT sector Alerta Norte de ALB, expresados en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) en Datum WGS84 (los umbrales presentados en el Anexo 3 de la Adenda 5 del proyecto se han transformado a Datum WGS-

84 siguiendo la misma metodología utilizada por SQM) (Tabla 5-29). Los puntos de activación PAT y sus respectivos umbrales se presentan en la Figura 5-29.

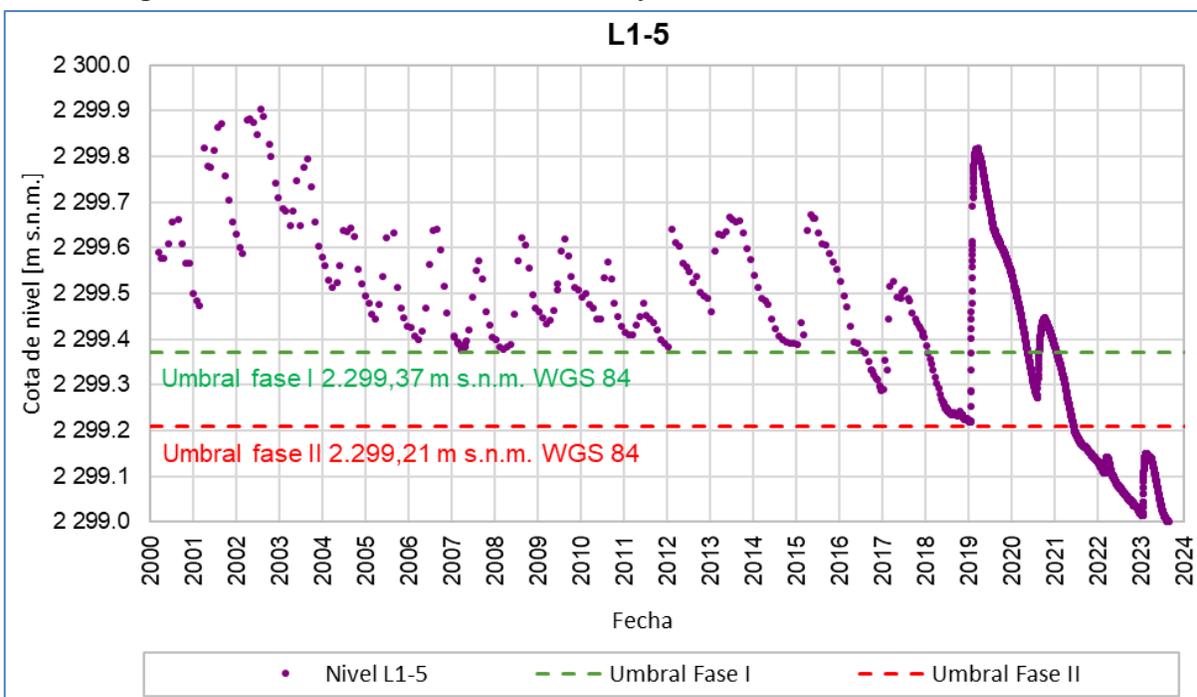
A partir de las Figura 6-136 y Figura 6-137 se observa un nivel máximo para el periodo de medición de 2023 es 2300,346 msnm registrado en los meses de marzo y abril de 2023, mientras que el nivel mínimo es de 2300,327 msnm registrado en los meses de junio y julio 2023. Respecto al comportamiento histórico de los pozos L1-G4 y L1-5, y como se representa en la Figura 6-136 y Figura 6-137, se destaca un cambio de tendencia en el año 2014, donde los datos pasan de un estado relativamente estable a mayores tasas de descenso que se mantienen hasta el día de la fecha. Los niveles registrados continúan descendiendo sin mostrar efectos de recuperación a largo plazo a partir los eventos de precipitación intensos como los del año 2019. Este comportamiento con tendencias descendentes y variaciones estacionales se mantiene para el año 2023. En febrero de 2023 los niveles comienzan a ascender hasta alcanzar máximos de 2299,149 msnm (registrado en L1-G4 en abril 2023) y 2299,147 msnm (registrad en L1-5 en marzo 2023), a partir de los cuales descienden hasta las mediciones registradas en diciembre de 2023. Es importante mencionar que las tasas de descenso de los niveles desaceleran en el mes de agosto de 2023, a partir de este mes los descensos que se registran son menores.

Figura 6-136 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-G4 Pozo



Fuente: Elaboración propia, en base a información obtenida el 29 de diciembre del 2023 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.

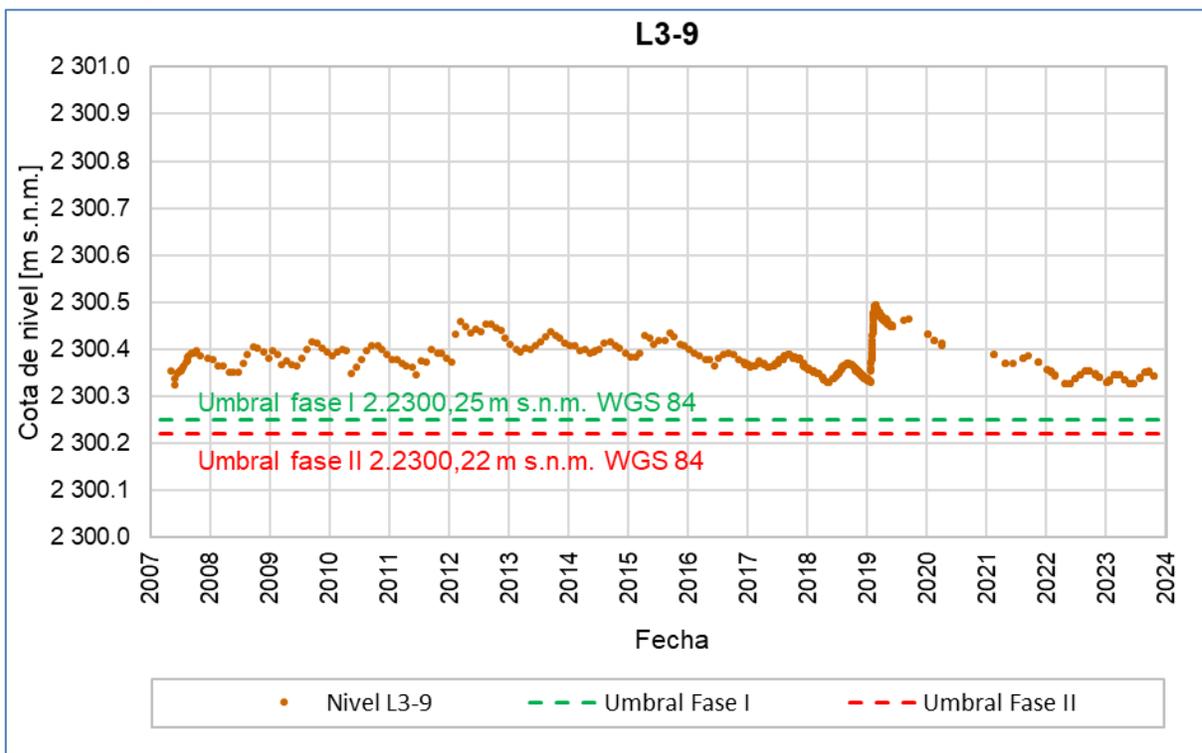
Figura 6-137 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-5



Fuente: Elaboración propia, en base a información obtenida el 29 de diciembre del 2023 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.

A diferencia de los dos puntos anteriores, en la Figura 6-138 se muestra un nivel máximo para el periodo de medición de 2023 es 2300,346 msnm registrado en los meses de marzo y abril de 2023, mientras que el nivel mínimo es de 2300,327 msnm registrado en los meses de junio y julio 2023. En esta misma Figura 6-138, se observa que los niveles medidos durante el año 2023 para el pozo L3-9 se mantienen por encima de ambos umbrales de activación, con valores dentro de su variación histórica y mostrando variabilidad estacional acotada. El nivel máximo para el periodo de medición de 2023 es 2300,346 msnm registrado en los meses de marzo y abril de 2023, mientras que el nivel mínimo es de 2300,327 msnm registrado en los meses de junio y julio 2023.

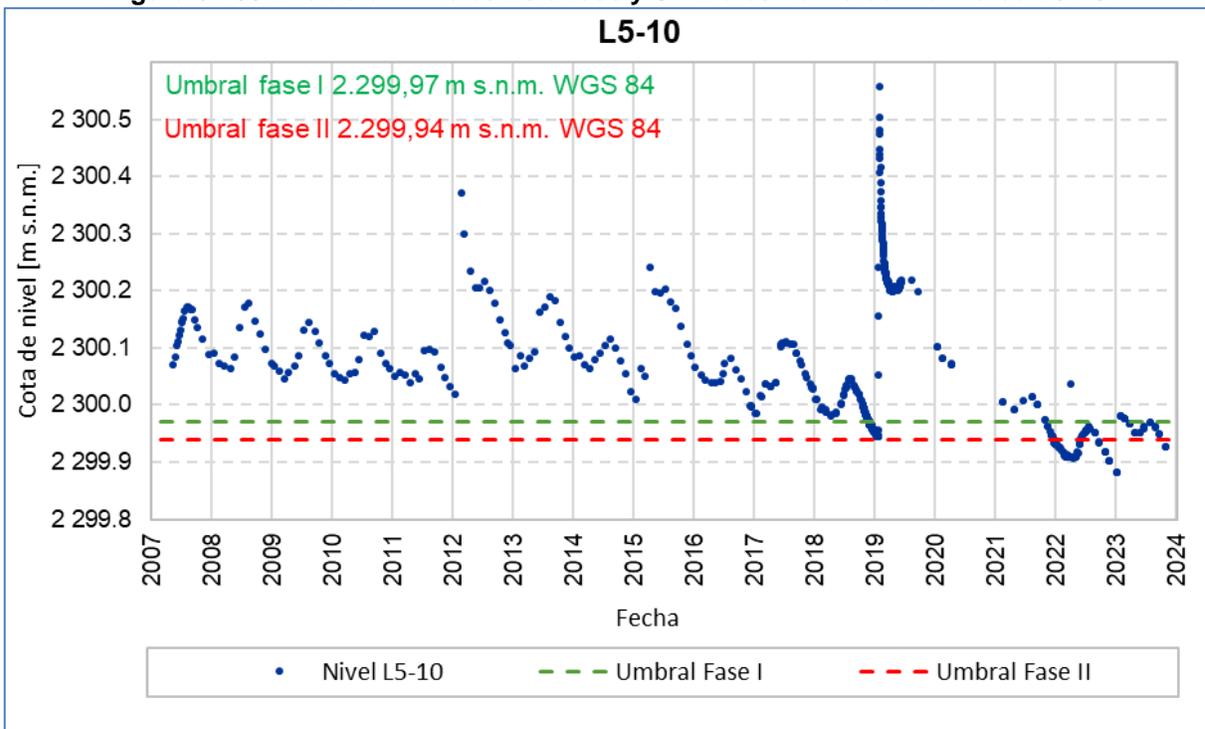
Figura 6-138 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L3-9



Fuente: Elaboración propia, en base a información obtenida el 29 de diciembre del 2023 desde la plataforma pública www.sgmsenlinea.com.

En la Figura 6-139, muestra que para el año 2023 los niveles de L5-10 se encuentran sobre el umbral de Fase I en los meses de febrero y marzo, con un nivel promedio de 2299,99 m s.n.m. El 04 de abril de 2023 registra una primera medición que sobrepasa el umbral de Fase I, esta condición se mantiene con fluctuaciones menores (entre los 2299,970 a los 2299,951 m s.n.m.) hasta el 07 de noviembre de 2023 donde se sobrepasa el umbral de Fase II con un nivel de 2299.93 m s.n.m.

Figura 6-139 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L5-10

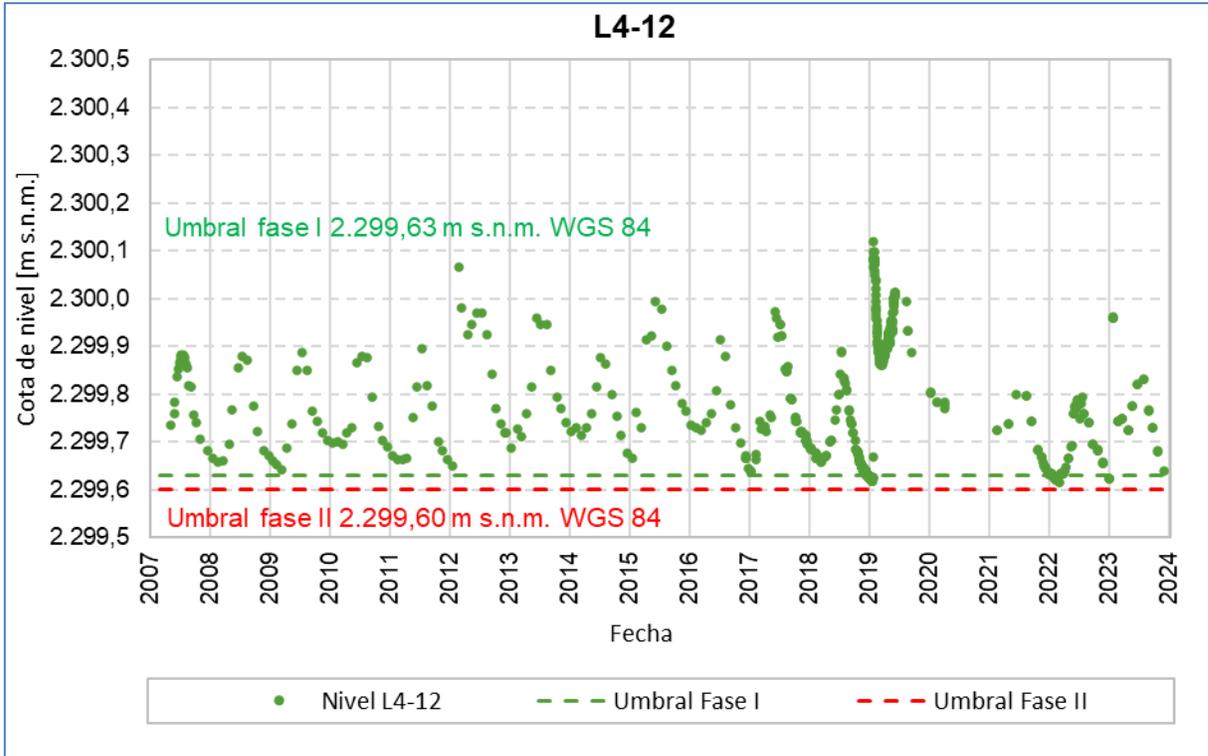


Fuente: Elaboración propia, en base a información obtenida el 29 de diciembre del 2023 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.

La Figura 6-140 muestra que los niveles del pozo L4-12 el cual registra en enero de 2023 un nivel de 2299,623 m s.n.m., superando el umbral de Fase I. Sin embargo, las siguientes mediciones entre febrero y diciembre de 2023 se mantienen sobre el umbral de Fase I con un nivel máximo de 2299,960 m s.n.m. para febrero de 2023 y una medición mínima de 2299,639 m s.n.m. en diciembre 2023. Este pozo registra variaciones estacionales con tasas ascendentes entre los meses de mayo y julio de 2023 y tasas descendentes en los periodos de febrero-mayo y julio-diciembre de 2023 con fluctuaciones menores (entre los 2299,724 a los 2299,830 m s.n.m.).

Las tasas de descenso de los pozos L1-G4, L1-5 y L5-10 son en general mayores que aquellas registradas en los puntos L3-9 y L4-12, los cuales se mantienen relativamente estables durante el año 2023. En general, los pozos L1-G4, L1-5 y L5-10 muestran una respuesta inmediata a las precipitaciones aumentando sus niveles en febrero y comenzando a descender nuevamente entre los meses de mayo y junio.

Figura 6-140 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L4-12



Fuente: Elaboración propia, en base a información obtenida el 29 de diciembre del 2023 desde la plataforma pública www.sqmsenlinea.com.

6.1.10.2 Sector de Alerta Núcleo

En esta sección se presenta el comportamiento de los niveles de los 4 puntos de activación PAT, pertenecientes a la red del PSAH, del sector Alerta Núcleo (Figura 6-135). En este sector, producto de la propia explotación de salmuera del Núcleo, están previstos descensos del nivel freático en la salmuera de acuerdo con lo modelado y aprobado en la evaluación ambiental del Proyecto. Debido a ello, los umbrales escalonados de este sector de Alerta Núcleo están en línea con los pronósticos realizados en el proceso de evaluación ambiental.

Respecto a los escalones de los umbrales, en el año 2021 la autoridad se pronunció con respecto al período de reportabilidad y verificación del caudal medio autorizado para extracción de salmuera, mediante las Resoluciones Exentas N°427/2021 y N°1510/2021 de la SMA. En éstas, se expresa que cada “año” del Proyecto debe ser considerado entre octubre del año “t” y septiembre del año “t+1”, considerando “t+1” como el año operacional. Particularmente, en el Resuelvo Segundo de la Resolución Exenta N°1510/2021 la autoridad indica que los umbrales anuales escalonados del PAT Alerta Núcleo deben considerarse según el mismo criterio que el indicado para el reporte de las extracciones. Es así como, a partir de esta definición, los umbrales del año 1 del Proyecto se consideran desde octubre de 2016 a septiembre de 2017, los umbrales del año 2 de Proyecto se consideran desde octubre de 2017 a septiembre de 2018, y así sucesivamente.

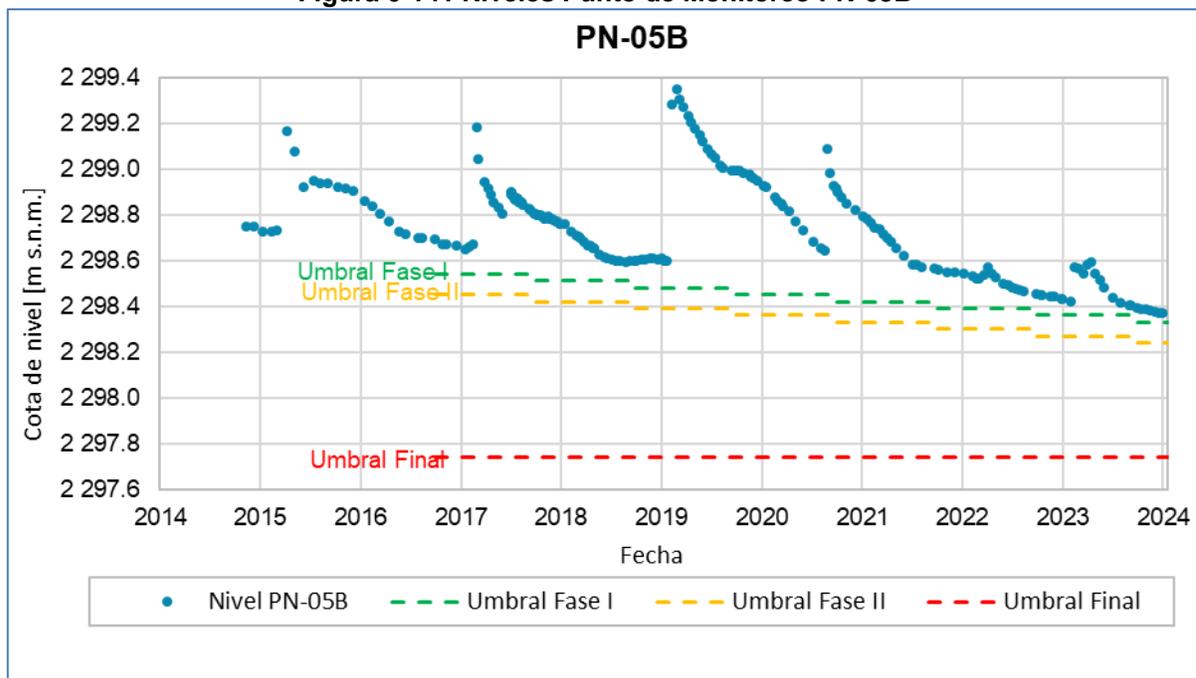
De esta manera, durante el año calendario 2023, tienen lugar parte de los años séptimo y octavo del Proyecto, correspondientes a los años operacionales 2023 y 2024 (según la definición mencionada anteriormente e indicada en la Resolución Exenta N°1510/2021). En la Tabla 5-30, se presentan los valores de los umbrales para los pozos asociados al PAT sector Alerta Núcleo, y que corresponden al séptimo y octavo año del Proyecto. La ubicación de los puntos se encuentra en la Figura 6-135.

De la Figura 6-141 a la Figura 6-144, se presentan los registros de niveles de cada pozo del PAT del sector Alerta Núcleo para el año 2023, junto con los umbrales que les corresponde para cada Fase de Activación.

Durante el año 2023 los puntos PN-05B, PN-14B y PN-16B presentan niveles por sobre el umbral de Fase I y tendencias descendientes de niveles con variaciones estacionales. Por otro lado, si bien pozo PN-08A muestra niveles descendientes estos superan el umbral de Fase I.

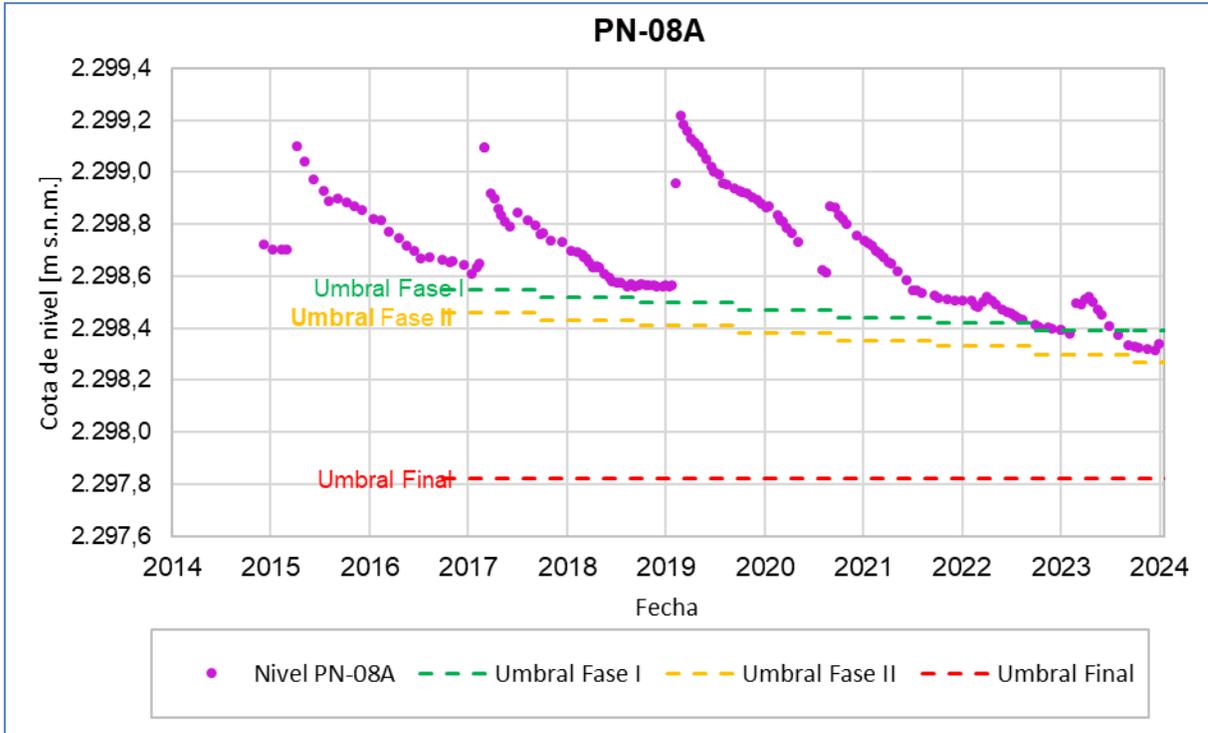
Como se muestra en la Figura 6-142 para el año 2023 los niveles de PN-08A, entre los meses febrero y junio, se encuentran sobre el umbral de Fase I, con un nivel promedio de 2298,481 m s.n.m. El 31 de abril de 2023 registra una primera medición que sobrepasa el umbral de Fase I (encontrándose bajo el umbral de Fase I y sobre el umbral de Fase II), esta condición se mantiene con fluctuaciones menores (entre los 2298,376 a los 2298,315 m s.n.m.) hasta el 29 de diciembre de 2023, si bien el registro se encuentra por debajo del umbral de Fase I, se muestra una tendencia al ascenso con un nivel de 2298,341 m s.n.m.

Figura 6-141 Niveles Punto de Monitoreo PN-05B



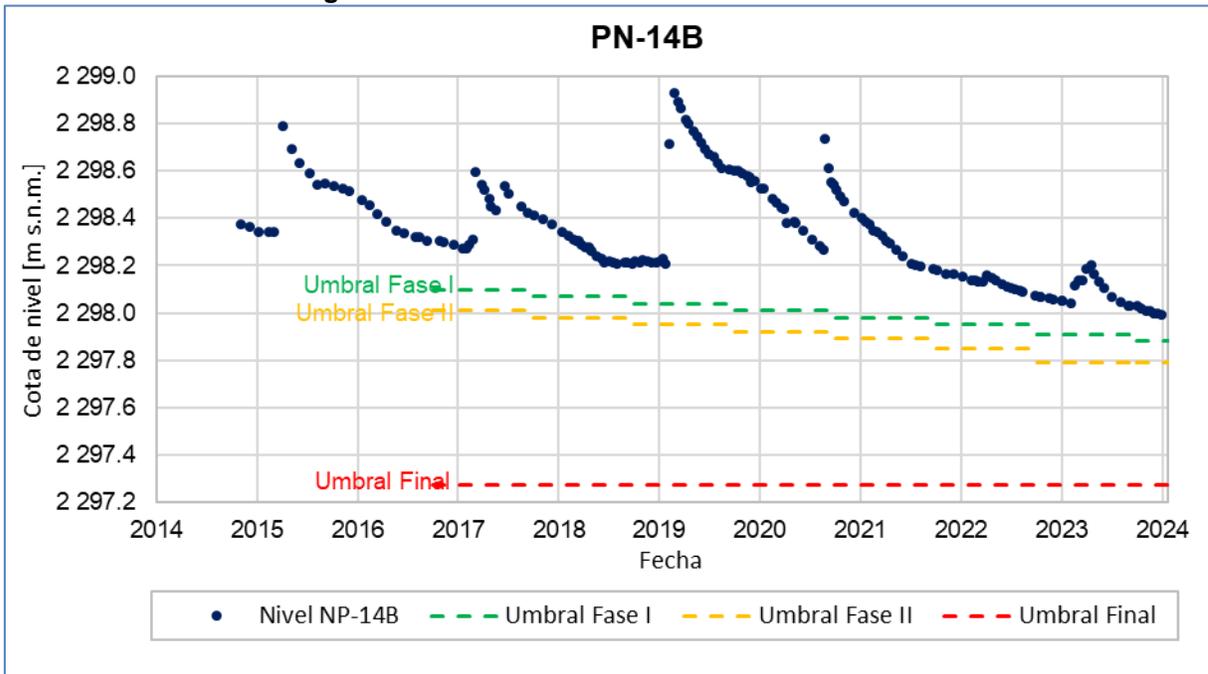
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-142 Niveles Punto de Monitoreo PN-08A



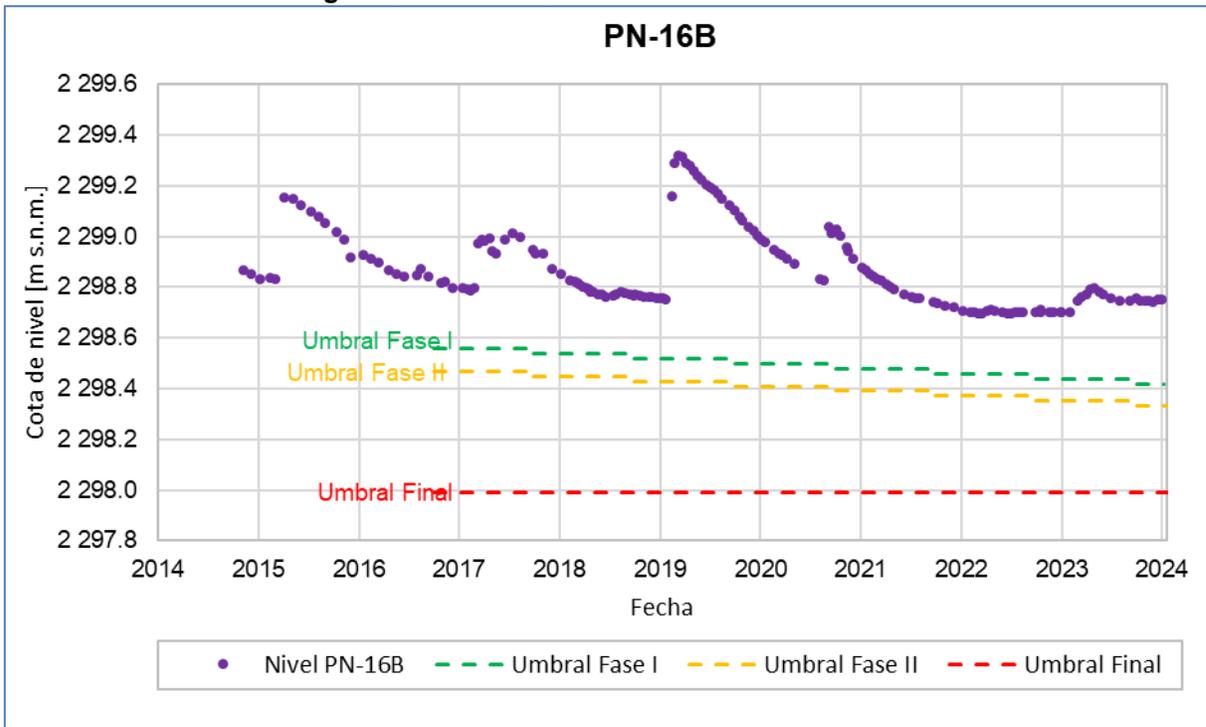
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-143 Niveles Punto de Monitoreo PN-14B



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-144 Niveles Punto de Monitoreo PN-16B



Fuente: Elaboración propia

6.1.10.3 Sector de Alerta Acuífero

En esta sección, se presenta el comportamiento de los niveles en los 5 puntos de activación del PAT Alerta Acuífero, 3 ubicados en el sector La Punta-La Brava BA-05, BA-07 y BA-16; y 2 ubicados en el sector de Peine (BA-28 y BA-30). Estos puntos pertenecen a la red del PSAH (Figura 6-135) y se definieron para determinar si se producen desviaciones al comportamiento natural del sistema. Los puntos de activación PAT y sus respectivos umbrales se presentan en la Tabla 5-31.

De la Figura 6-144 a la Figura 6-148 se presentan los niveles registrados en cada uno de los puntos de activación del sector Alerta Acuífero, en relación con el umbral establecido.

En estas figuras es posible apreciar que las fluctuaciones que muestran los niveles en los piezómetros someros siguen un comportamiento estacional, con mínimos en los meses de verano (diciembre a marzo) y máximos en meses de invierno (junio a septiembre).

Como se muestra en la Figura 6-144, el punto de activación BA-05 en el año 2023 presenta dos mediciones puntuales en donde el nivel supera el umbral en Fase Única, estas corresponden respectivamente a las fechas del 31 de enero 2023 y 29 de diciembre de 2023 con niveles de 2300,109 m s.n.m. y 2300,099 m s.n.m. Estas medidas no representan una activación ni medidas PAT asociadas dado que no tienen continuidad en sus meses posteriores, no obstante, el PAT se encontraba activado por el punto BA-07.

Durante el año 2023, en conformidad a lo expresado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-007, el día 31 de enero del año 2023 activó el PAT el pozo BA-07, dada una tercera medición de nivel 2299,917 m s.n.m que supera el umbral de Fase Única del sector. La condición de activación se mantiene hasta el 30 de julio de 2023 dado que durante la segunda medición del mes de abril y los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre los niveles registrados se mantienen por sobre el umbral de Fase Única con niveles promedio de 2299,993 m s.n.m. El día 31 de octubre de 2023 se registra, nuevamente, una primera medición que sobre pasa el umbral de Fase Única con un nivel de 2299,955 m s.n.m. esta condición se mantiene, con niveles descendientes hasta la última medición de este periodo de registro el día 29 de diciembre de 2023 con un nivel de 2299,913 m s.n.m.; consecuentemente se vuelven a tomar medidas preventivas asociadas a la activación del PAT (carta ALB-GMA-2023-SMA-066),

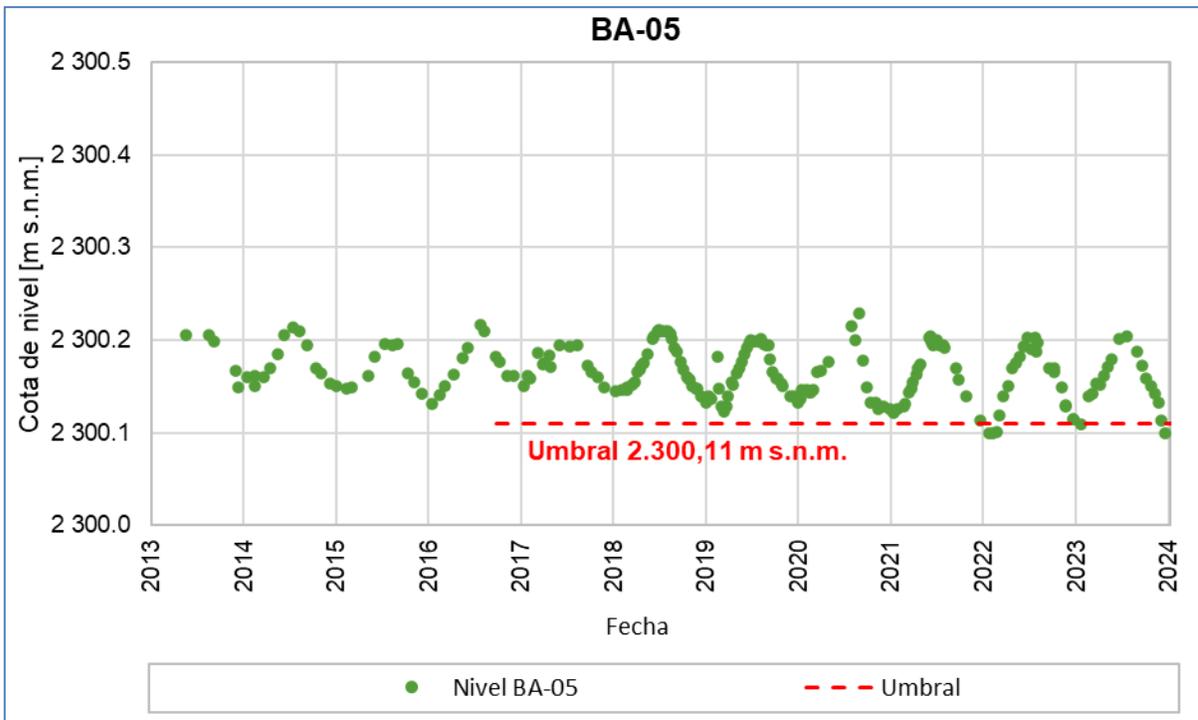
aunque no se cuenta con 3 medidas consecutivas mensuales³³. Lo descrito anteriormente se puede ver en la Figura 6-145.

En el caso del punto de monitoreo BA-16 (Figura 6-147) todos los niveles medidos se mantienen sobre el umbral (ver umbrales en Tabla 5-31) con un nivel mínimo de 2300,826 m s.n.m. registrado el 29 de diciembre de 2023 y un nivel máximo de 2300,896 m s.n.m. registrado en julio de 2023 y una variación estacional con tasas ascendentes entre enero y julio y descendientes entre agosto y diciembre.

Con relación a los pozos BA-28 (Figura 6-147) y BA-30 (Figura 6-148), ubicados en el sistema lagunar de Peine, se observan vacíos en las mediciones, que se deben a las restricciones o prohibiciones de acceso debido a la época de reproducción de flamencos (que comienza en octubre y finaliza en marzo, según respalda un correo del 13 de octubre del año 2022 que se presenta en el Anexo M). En lo que respecta a los niveles, estos presentan un comportamiento estacional, siempre por sobre los valores de umbrales definidos para cada uno de ellos. A diferencia de lo que se observa en el sistema La Punta-La Brava, estos puntos muestran una leve tendencia al ascenso considerando todo el período con registros 2015-2023.

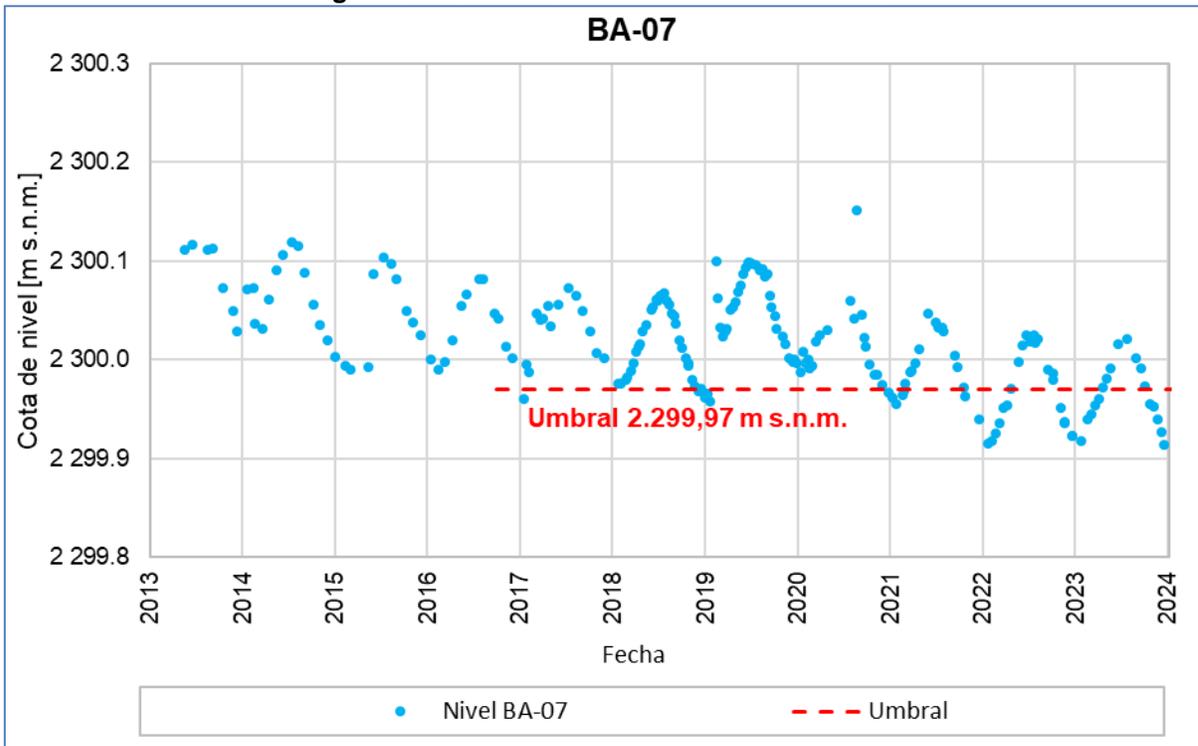
³³ Albemarle en el punto de control BA-07 midió 3 medidas consecutivas no mensuales bajo el umbral 31 de octubre, 15 y 30 de noviembre), dado que el PAT del Núcleo está activado, se están tomando mediciones quincenales en todos los puntos y, por ende, existen tres mediciones puntuales con niveles bajo el umbral en el punto BA-07, estas corresponden sólo a un mes y medio consecutivo. Dado lo anterior, no se han cumplido los tres meses con niveles bajo el umbral, esperamos que eso se produzca en enero del 2024.

Figura 6-145 Niveles Punto de Monitoreo BA-05



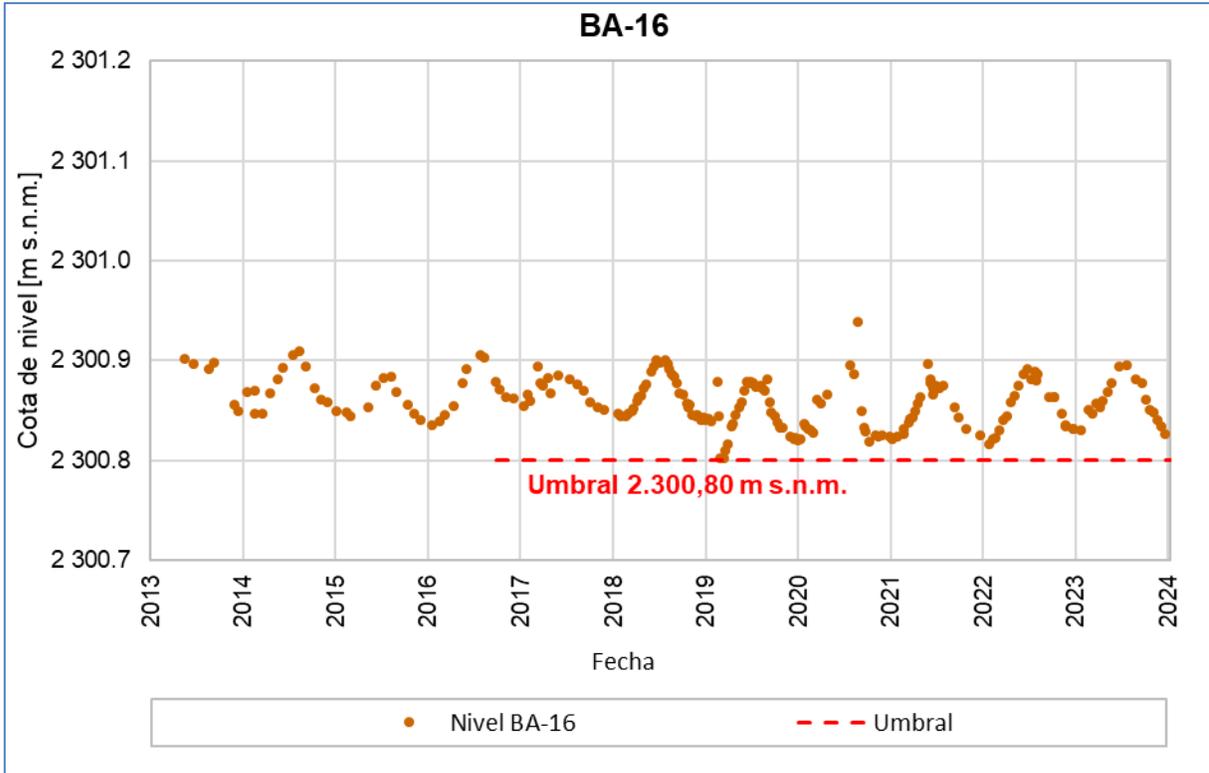
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-146 Niveles Punto de Monitoreo BA-07



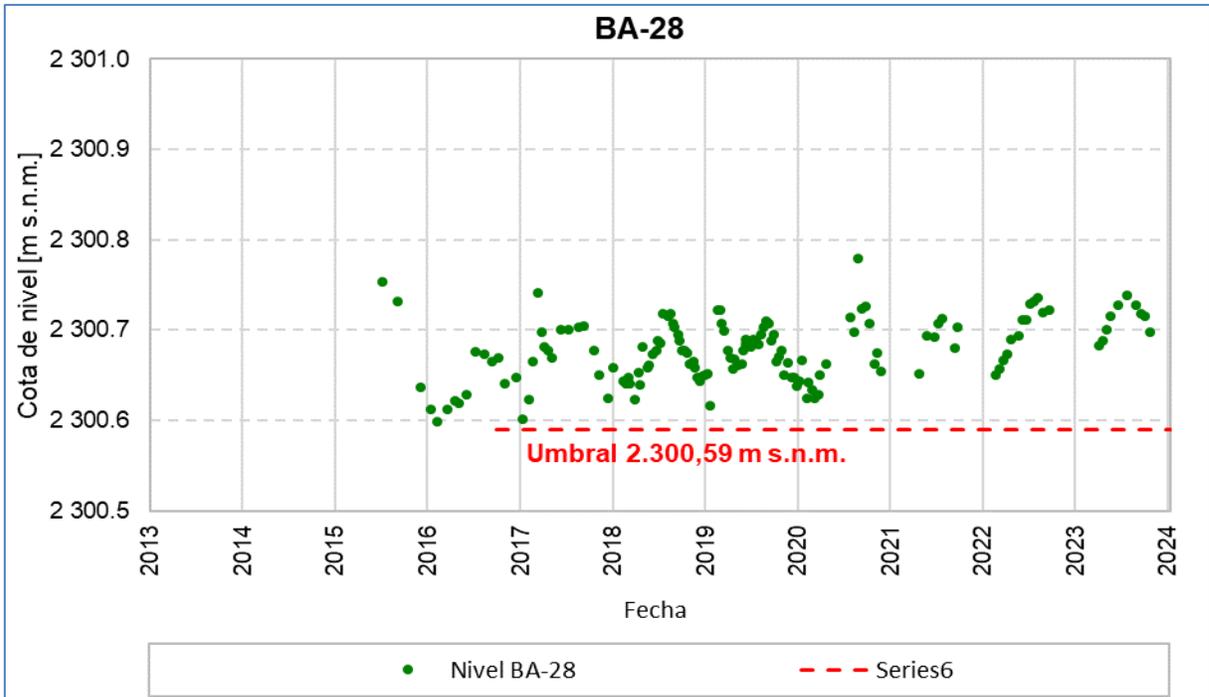
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-147 Niveles Punto de Monitoreo BA-16



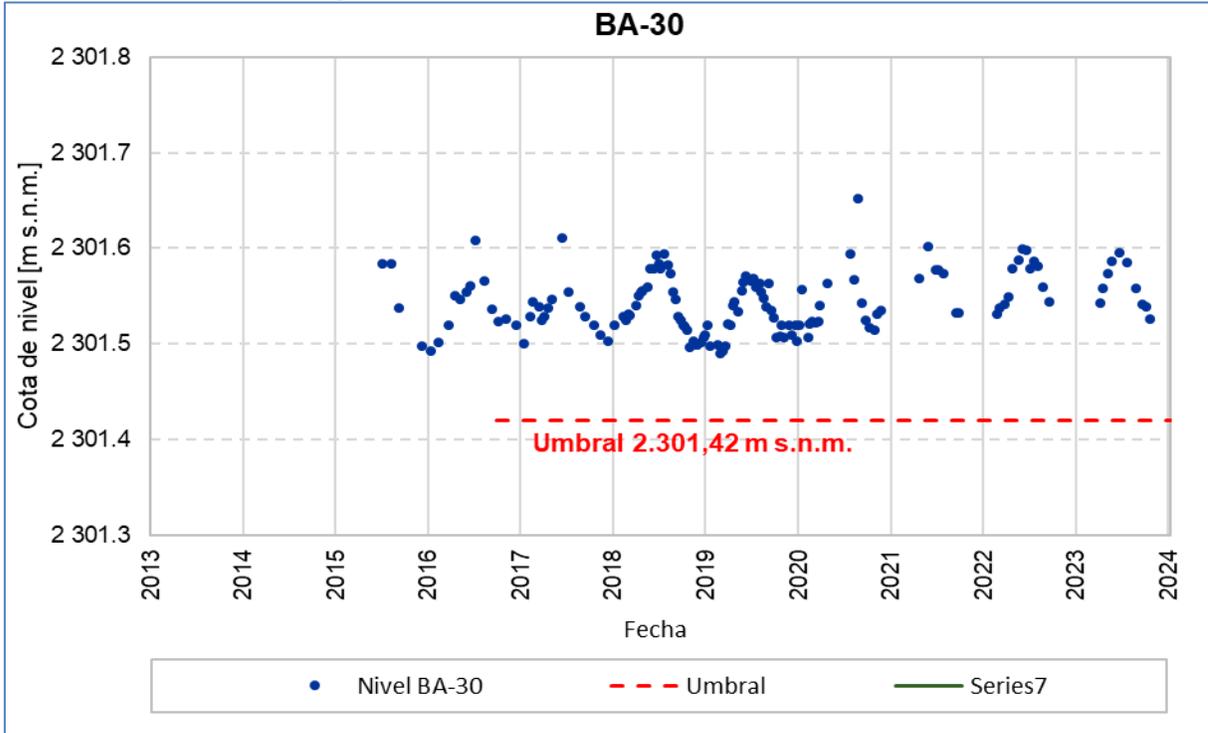
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-148 Niveles Punto de Monitoreo BA-28



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-149 Niveles Punto de Monitoreo BA-30



Fuente: Elaboración propia

6.2 Análisis Integrado de la Información por Sectores

En el presente capítulo se lleva a cabo un análisis integrado de las variables monitoreadas en el Salar de Atacama en el marco del PSAH, tomando en consideración la información histórica disponible con énfasis a los datos levantados durante el año 2023.

Debido a la gran cantidad de puntos de monitoreo e información disponible, en esta sección se han graficado las variables de los puntos más representativos de cada uno de los sectores, así como comportamientos que muestren alguna diferencia respecto a tendencias históricas.

6.2.1 Sector La Punta – La Brava

De acuerdo con el modelo conceptual y la información de línea de base, el origen de las aguas de alimentación de las lagunas del Sistema La Punta y La Brava corresponde a las aguas de recarga del extremo sur de la cuenca, a mayor altura, que fluyen a través de acuíferos de Monturaqui y Negrilla, y luego del Callejón de Tilopozo, alcanzando la Zona Marginal. En todo este tramo no existe evidencia de un cauce activo que pudiese producir escorrentía superficial. Una vez que las aguas subterráneas llegan a la Zona Marginal, se encuentran a poca profundidad y se produce evaporación directamente desde el terreno, junto con los fenómenos de disolución y precipitación de sales. En el área de las lagunas LP-LB, debido a la presencia de la salmuera en el núcleo y a la magnitud del flujo subterráneo procedente del sur, se genera una interfase salina, que se dispone perpendicular al flujo, por lo que el agua dulce-salobre se ve forzada a ascender, aflorando en superficie, dando origen a las lagunas. Además, este sistema recibe aportes menores de la zona del Cordón de Lila y, en menor medida, por las precipitaciones. Estas últimas tienen un efecto inmediato, de muy corto plazo, en el nivel freático del entorno lagunar y en el nivel de las lagunas.

En este sector se han definido 5 zonas de ubicación (Norte, Centro, Este, Sur y Borde Sur). A continuación, las zonas Norte, Centro, Este y Sur, para su caracterización se representan por los puntos BA-11, BA-12, BA-27, y BA-04, respectivamente, lo que se presenta en la Figura 6-150 (la zona Borde Sur, se desarrolla más adelante en esta misma sección).

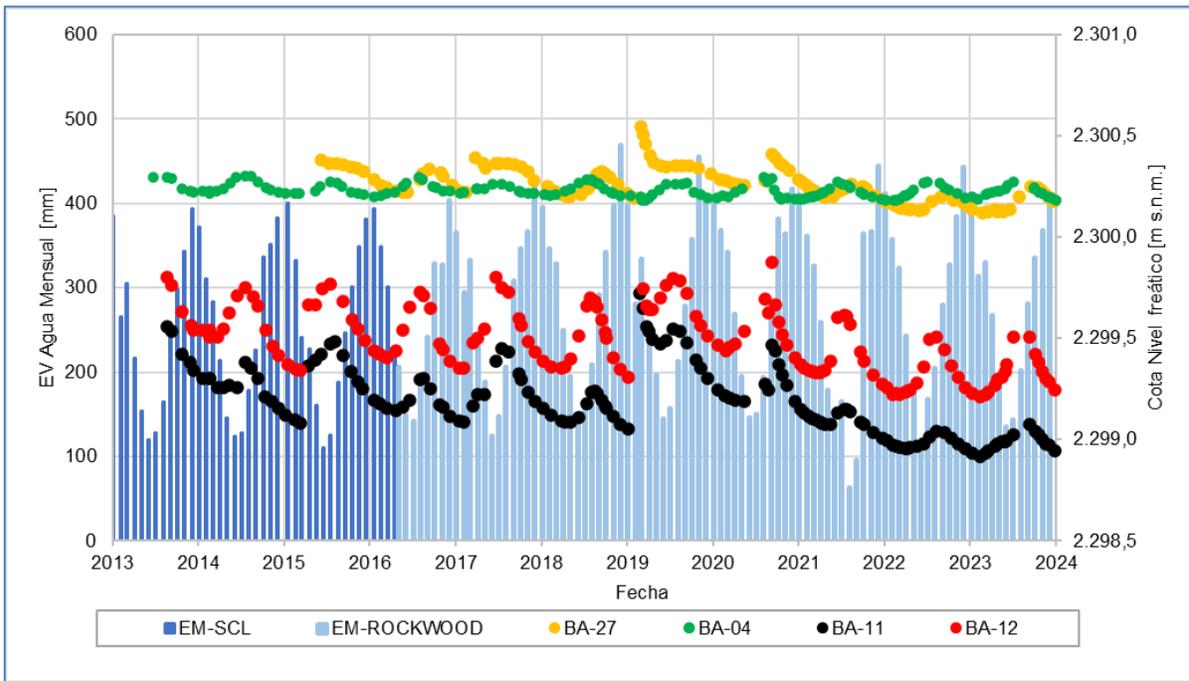
En la Figura 6-150 se observa que existe una tendencia general al descenso en los niveles freáticos históricos del sector La Punta - La Brava, siendo menor en el punto BA-04 (sur), que en los puntos BA-12 (zona centro de las lagunas), BA-11 (zona norte de las lagunas) y BA-27 (zona este de las lagunas), siendo el punto del norte (BA-11) el que presenta un mayor descenso.

Durante el año 2023 los puntos del norte se presentan estables y con descenso de hasta 1 cm en su nivel piezométrico (calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023) (ver sección 5.6.1).

En los puntos de la zona Centro se observan descensos entre 1 cm y 3 cm (calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023) (ver sección 5.6.1.2). Por otra parte, en la zona Este se observan ascensos del nivel de neto de 2 cm (calculados entre diciembre 2022 y diciembre 2023). Por último, la zona Sur presenta puntos con niveles estable y otros con descenso netos entre 1 cm y 3 cm de variación neta (calculado entre diciembre 2022 y diciembre 2023) (mayor detalle en sección 5.6.1).

Además, en la Figura 6-150, se observan oscilaciones estacionales del nivel durante el año, con ascensos durante la temporada de invierno y descensos durante los meses de verano debido principalmente a la evaporación (Figura 6-150). Este comportamiento está explicado por las variaciones estacionales en las tasas de evaporación, las cuales presentan un comportamiento inverso con respecto a la variación de los niveles. Durante el año 2023, al igual que en el año 2022, se observan desfases en los máximos alcanzados de nivel versus la evaporación mínima. Los puntos del centro presentan mayores amplitudes con rangos entre 22 cm y 31 y las menores amplitudes se miden en los puntos del sur entre 2 y 16 cm, es decir, los puntos más cercanos a las lagunas son más sensibles a la evaporación.

Figura 6-150 Evolución de nivel freático en relación con la evaporación en el Sistema La Punta-La Brava.

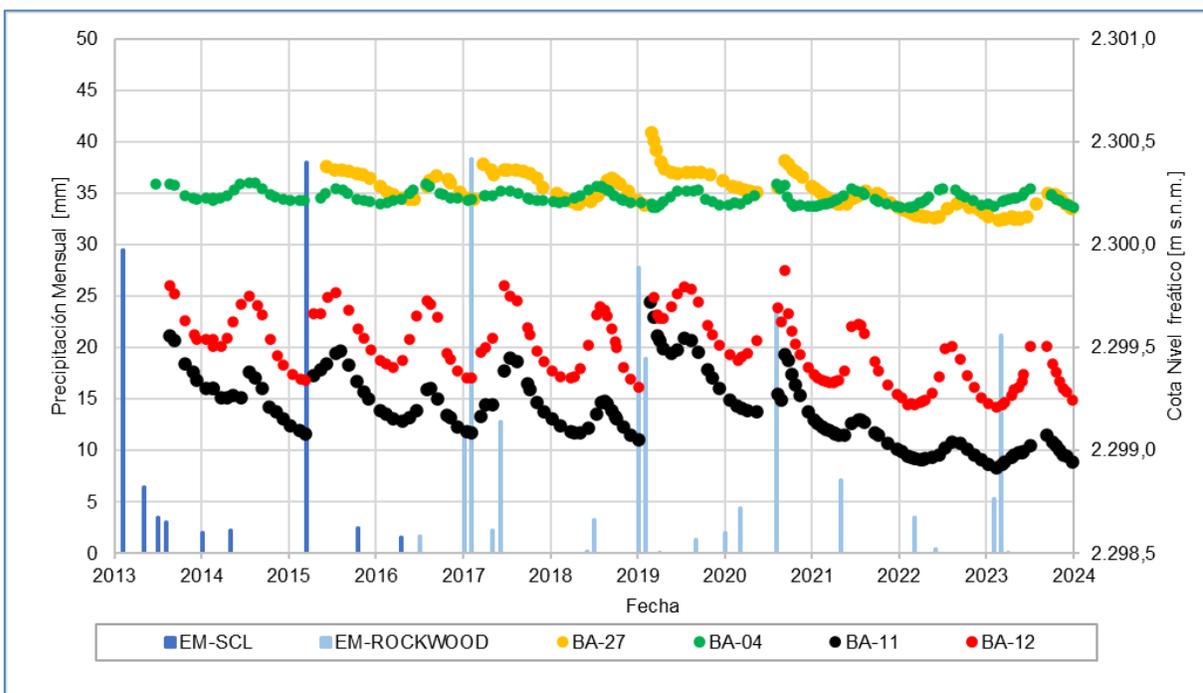


(*) La evaporación de agosto y septiembre 2021, no está considerado el mes completo.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-151, se muestra la relación del nivel con las precipitaciones. Los puntos del norte (BA-11) y centro (BA-12) presentan una mayor respuesta a esta entrada directa de agua que los puntos de la zona Sur. Esto es claro, por ejemplo, en mayo del año 2021 cuando se genera un aumento de nivel de aproximadamente de 25 cm en el pozo BA-12 (representante de los puntos del centro), en comparación con los aproximadamente 2 cm de aumento de nivel del pozo BA-04 (representante de los puntos del sur de las lagunas). El punto BA-27 (ver Figura 6-151) responde con “saltos” posteriores a los eventos de precipitación importantes, con un aumento máximo de 36 cm luego de las precipitaciones de enero y febrero 2019 (13,1 mm/día y 14 mm/día), que corresponde a una mayor respuesta que los puntos del norte, centro y sur de las lagunas.

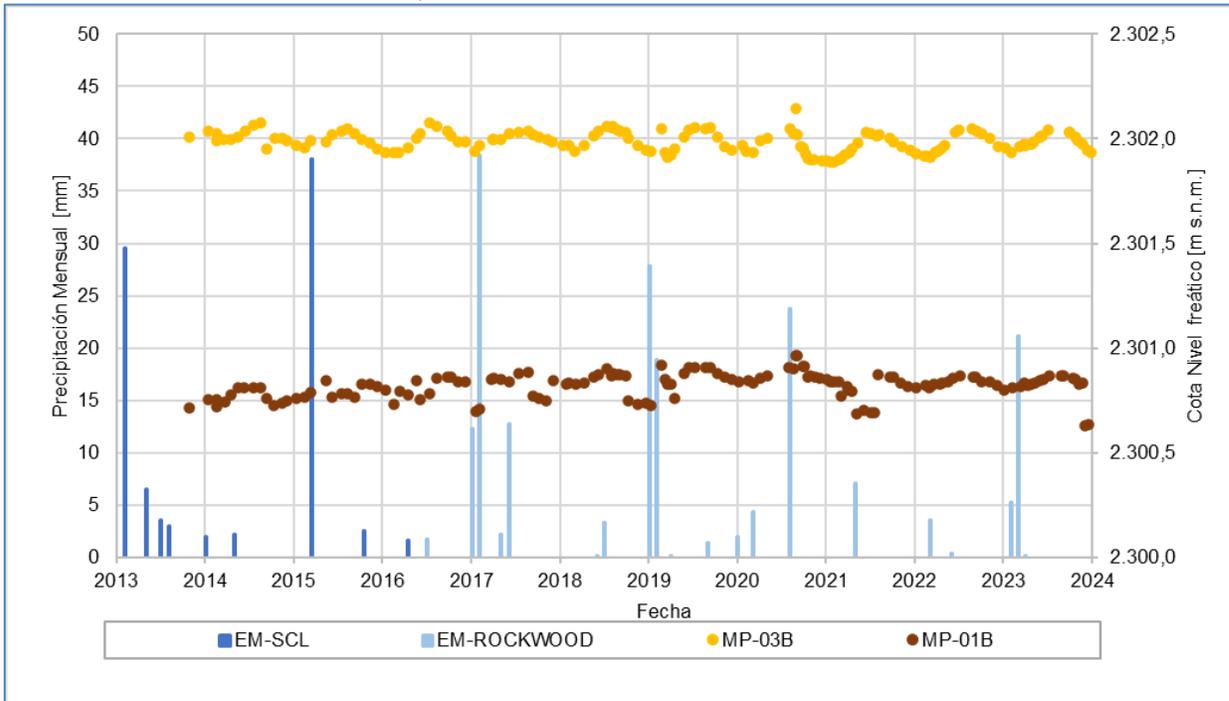
Figura 6-151 Evolución de nivel en relación con la precipitación en la zona de transición. Sistema La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración propia

En la zona Sur de lagunas, al costado sureste de las lagunas La Punta y La Brava, también existen piezómetros profundos habilitados bajo la Interfase Salina (MP-01B y MP-03B) los que miden niveles de salmuera (ver Figura 6-152). En este caso, se observa una menor respuesta de los niveles ante los eventos de precipitación en el salar, con respecto a los piezómetros someros (barrenos), mostrando variaciones centimétricas menores con una mayor estabilidad en todo el período de registro. Durante el 2023, los multipiezómetros MP-01A y MP-01B, muestran surgencias de 10 cm (julio) y 26 cm (agosto y septiembre) por sobre el nivel del suelo, respectivamente.

Figura 6-152 Evolución de nivel profundos en relación con la precipitación en la zona de transición, línea norte. Sistema La Punta-La Brava



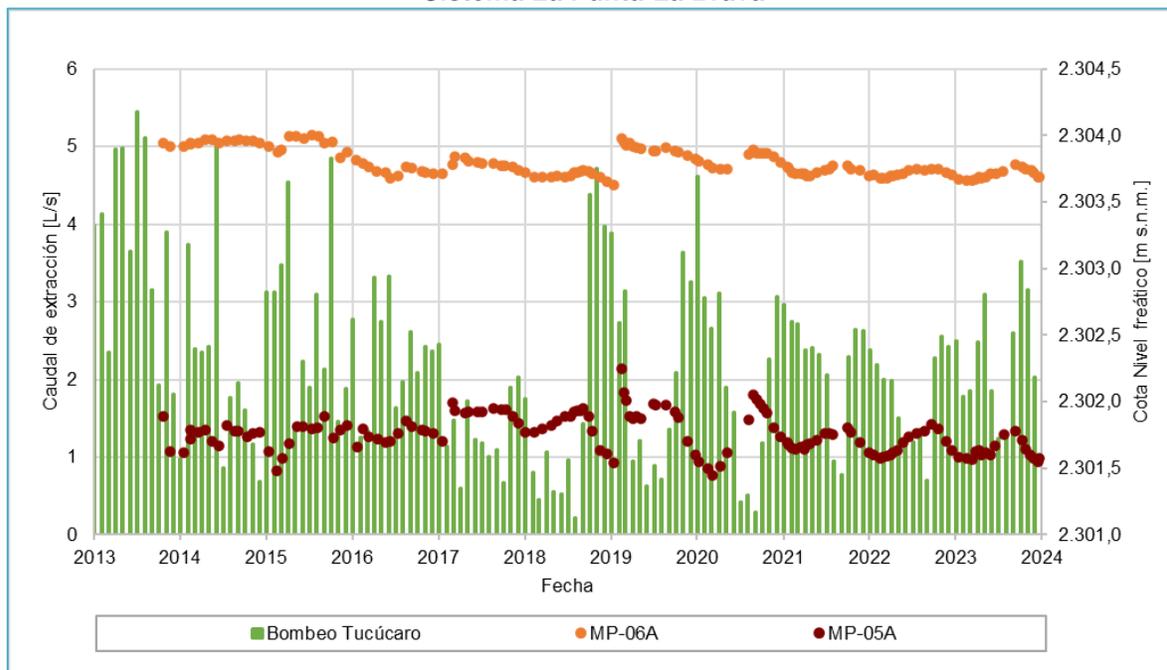
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-153 y Figura 6-154, se muestra la evolución de los niveles de los puntos MP-04A, MP-05A y MP-06A, ubicados en zona Borde Sur, estos puntos mantienen en general un nivel estable dentro del registro histórico, con aumentos relacionados principalmente a eventos de precipitación, a pesar de esto posterior a la precipitación de marzo 2023 el único punto que muestra una respuesta fue el MP-05A, mostrando un ascenso de 6 cm posterior al evento.

Respecto a los piezómetros MP-05A y MP-06A en el informe PSAH N°6 se indicó que “En ambos pozos se observa una influencia del bombeo desde Tucúcaro, evidenciado por las tendencias al descenso en estos piezómetros, coincidentes con el aumento de los caudales de extracción. Estos efectos se ven más marcados en el pozo MP-05A debido a su mayor cercanía con el punto de captación”. Sin embargo, una nueva revisión más exhaustiva de estos datos, presentados en la Figura 6-153, da cuenta de una condición estable del nivel freático en el pozo MP-05A entre 2014 y 2019, con una leve tendencia al alza, y una posterior dinámica estacional a partir de dicho año (máximos en invierno y mínimos en verano), con influencia además de eventos de precipitación de alta intensidad, como el registrado en 2019. Por otra parte, desde el año 2019 se ha verificado una reducción del bombeo en Tucúcaro, lo que no se ha manifestado en un incremento de la cota piezométrica en los pozos MP-05A y MP-06A.

Para los puntos MP-05A y MP-06A, durante el año 2023, sus niveles se mantienen estables, mostrando la oscilación estacional esperada (Figura 6-153).

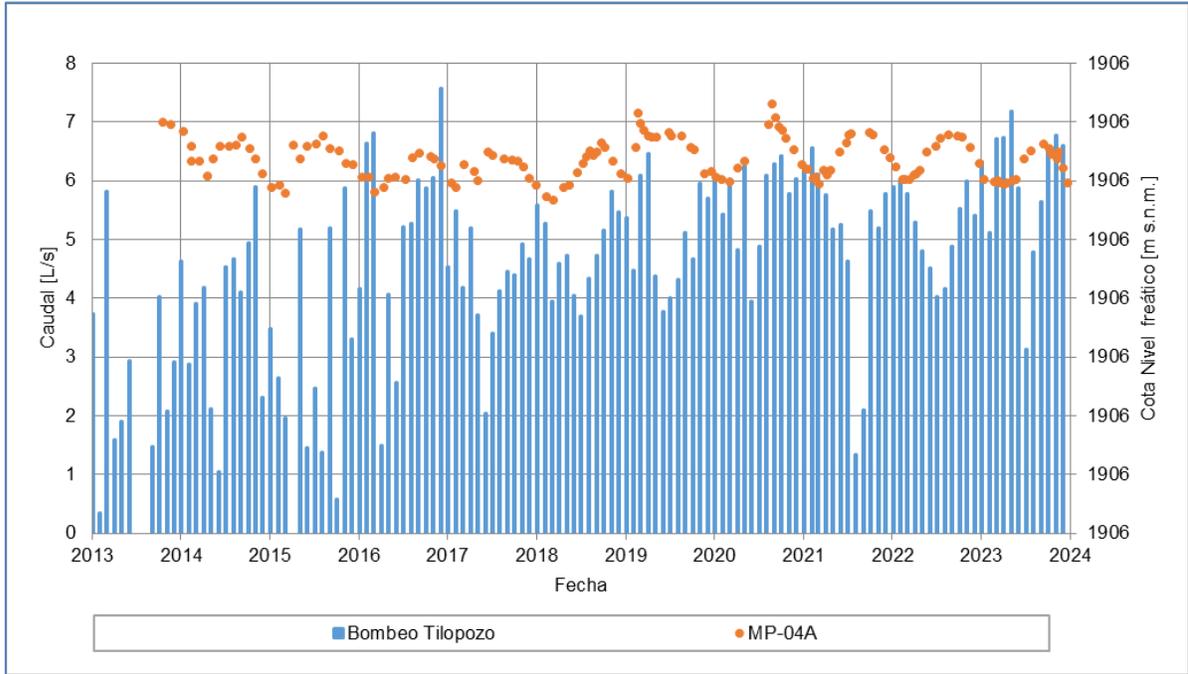
Figura 6-153 Evolución niveles piezómetros someros próximos a pozo Tucúcaro. Borde Oeste, Sistema La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

El pozo MP-04A (Figura 6-154), ubicado en la Zona Borde Sur cercano a la vertiente Tilopozo (a 2 m aprox.), muestra una variación estacional, que estaría relacionada con la zona de vegas y la evaporación, y muestra una tendencia constante en el período 2019-2023 en sus niveles. No se observa una influencia del bombeo de la vertiente Tilopozo en este punto.

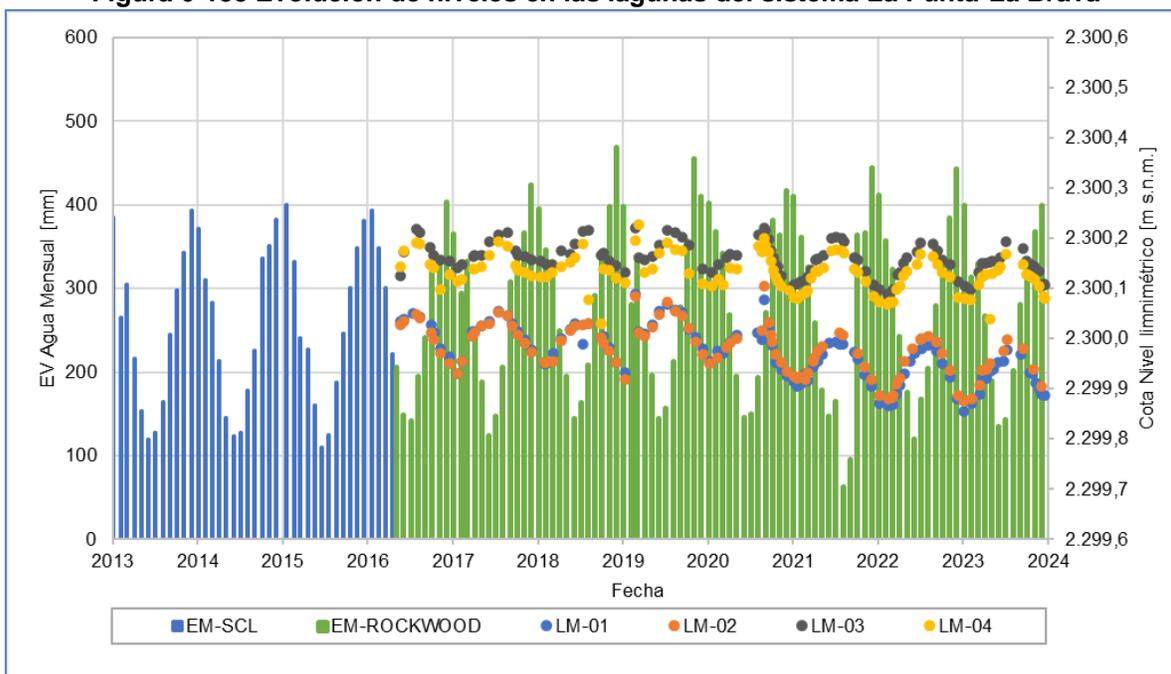
Figura 6-154 Evolución niveles piezómetro somero próximo a la vertiente Tilopozo. Borde Sur, Sistema La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

En relación con los niveles limnimétricos del sistema lagunar La Punta – La Brava (Figura 6-155) (LM-01 y LM-02 en sector La Punta y LM-03 y LM-4 en sector La Brava), estos muestran una tendencia al descenso desde el inicio del monitoreo, el que se hace más evidente desde mediados 2020 hasta final del mismo año. Se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de estaciones frías. Los descensos en LM-01 y LM-02, en la segunda mitad del 2020 y 2021 son más acentuados que los de LM-03 y LM-04. Tal como fue discutido en la sección 6.1.3, la tendencia a la disminución del nivel de agua en la cubeta de laguna la Punta donde se ubican los puntos LM-03 y LM-04, comenzó antes del año 2010, de acuerdo con registros históricos reportados por MEL para el limnómetro F instalado en dicha cubeta (MEL, 2020). Durante el año 2023 los niveles se mantienen en general con variaciones menores de nivel limnimétrico, con aumentos y descensos estacionales esperados.

Figura 6-155 Evolución de niveles en las lagunas del sistema La Punta-La Brava



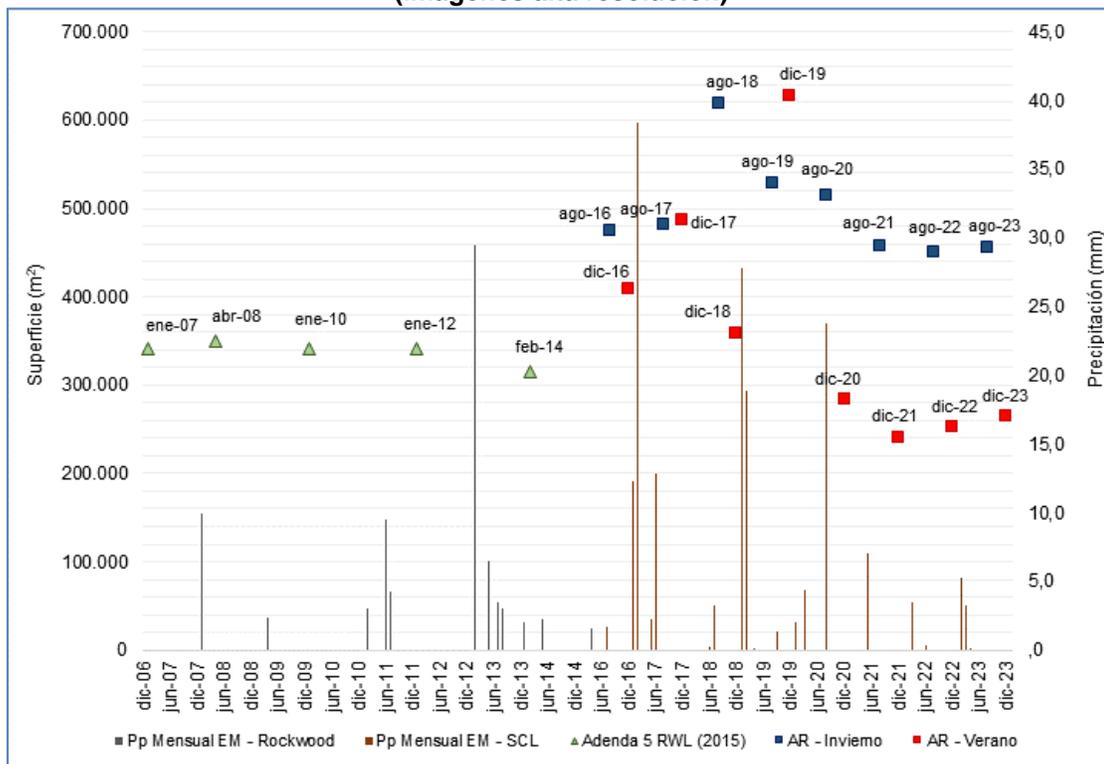
(*) La evaporación de agosto y septiembre 2021, no está considerado el mes completo.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas** se observa un comportamiento estacional donde en general, las mayores superficies se registran durante los meses de invierno y las menores en verano. Esto, a excepción del año 2017, donde los registros de invierno y verano son prácticamente iguales, y en el año 2019, donde la situación se invierte (detalles en sección 5.3).

Por otra parte, las mediciones periódicas en alta resolución realizadas en el marco del PSAH se han presentado generalmente sobre los 5 valores históricos disponibles de imágenes de Alta Resolución presentados en el Anexo N°2 del Plan de Manejo Biótico de la Adenda 5 - EIA del Proyecto que corresponden a 4 imágenes satelitales de marzo 2006, marzo 2007, abril 2011 y abril 2013. Esto, a excepción de las superficies obtenidas en los meses de diciembre de 2020, 2021, 2022 y 2023, que presentaron valores inferiores al mínimo de febrero de 2014 (31,6 ha). Considerando la variación intranual que tienen estas lagunas, cobra relevancia el mes en que se realizan las mediciones, en donde además éstas pudiesen variar puntualmente en caso de presencia de lluvias en los meses de verano y/o de invierno, en particular el registro mínimo de la Adenda 5 en imágenes de Alta Resolución se dio en el mes de febrero de 2014, pudiendo no reflejar el mínimo histórico real del sistema y en imágenes de Mediana Resolución se da en marzo de 1973.

Figura 6-156 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema La Punta - La Brava (imágenes alta resolución)



Fuente: Elaboración Propia

En el Anexo C, se presentan todos los resultados de imágenes de Mediana Resolución obtenidos para la serie “**Landsat 2016/2023**” (es decir no solo los semestrales, sino que frecuencia mensual y/o quincenales de acuerdo a la información disponible). Con estas imágenes es posible observar las variaciones intranuales del sistema La Punta-La Brava, con una marcada variación estacional, de aumentos en invierno y disminuciones en verano, que tendrían una relación más directa con la evapotranspiración y, por ende, con los niveles de aguas subsuperficiales, dejando la precipitación como un factor secundario para este sistema lagunar.

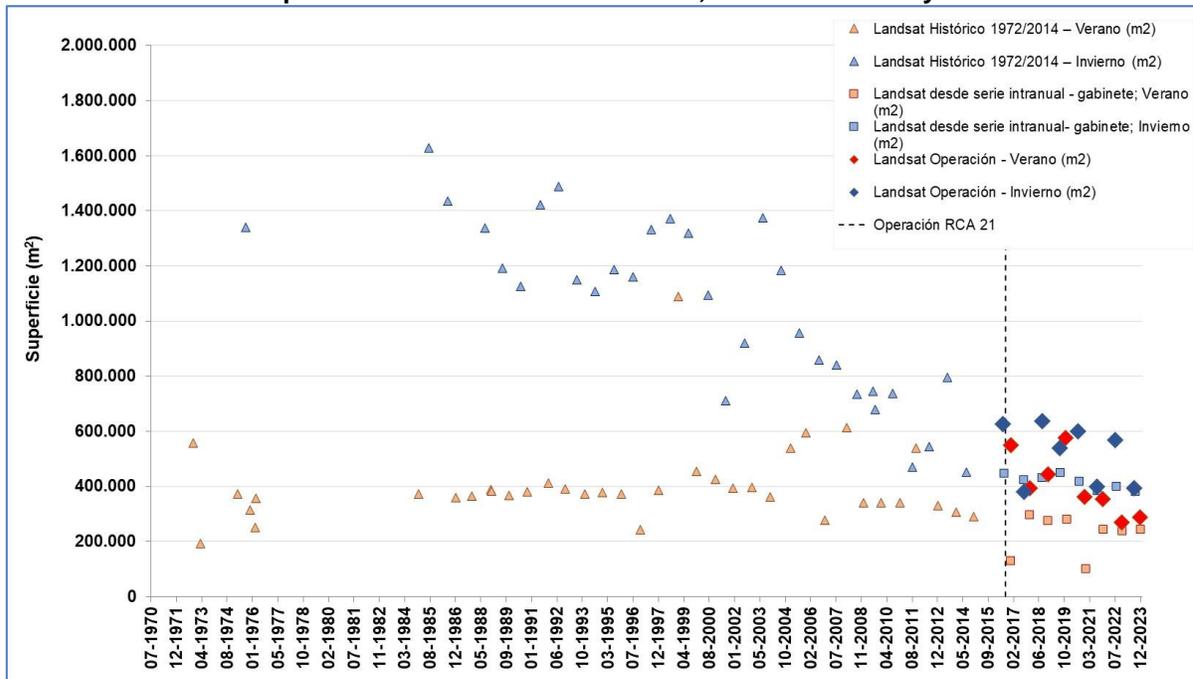
De la Figura 6-157 se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno (indicados en colores celestes y azules en la imagen), y las menores en los veranos, con los mínimos de la serie en general en los meses de marzo y diciembre. Se observa una tendencia histórica al descenso, que se presenta con mayor pendiente para las superficies asociadas a los meses de invierno (julio – agosto), y menor para las superficies registradas en los meses de verano (enero – febrero, diciembre). En general, se observa que la diferencia de la superficie lagunar entre invierno y verano se ha ido reduciendo desde el año 2005 aproximadamente. Desde el año 2016 las superficies de invierno “**Landsat 2016/2023**”, al compararlas con la serie histórica, presentan leve tendencia

al descenso y se mantienen en promedio en el rango de los 425.000 m², con una baja en la cobertura estimada en 2021, 2022 y 2023. La serie “*Landsat Operación*” entrega valores mayores, atribuibles al método de mayor detalle y con validación de terreno, pero siguiendo la misma tendencia.

Al observar las superficies de la serie “*Landsat Operación*” en Figura 6-157, se observa que se encontraría dentro de los registros máximos y mínimos de la serie históricas 1972 – 2014 (Adenda 5), siendo similares a los observadas entre los años 2008 y 2014.

En resumen, tanto las superficies lagunares AR como las de media resolución, muestran que siguen una línea de tendencia al descenso, observada desde antes del comienzo de la operación del proyecto, la que habría tenido su mayor quiebre a partir de los años 2005-2008.

Figura 6-157 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector La Punta y la Brava.

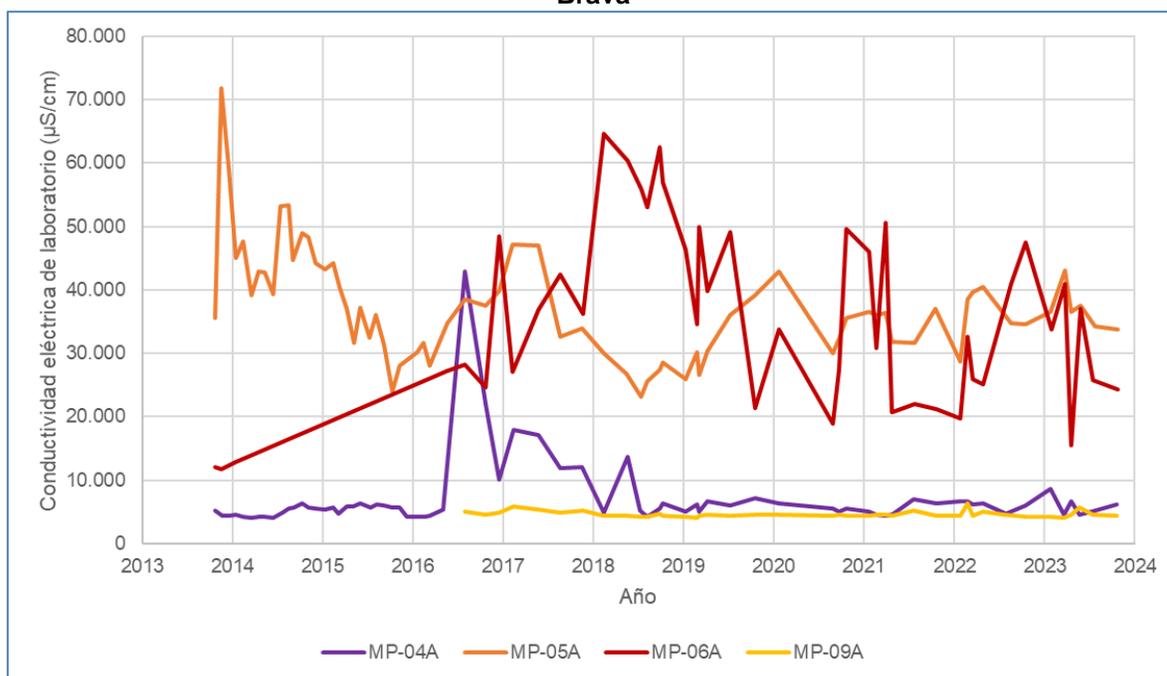


Fuente: Elaboración Propia

Respecto de la **calidad química**, desde un punto de vista espacial se puede señalar que en las aguas subterráneas someras se produce un incremento en la salinidad, desde la Zona Marginal aproximándose a las superficies lagunares, en la dirección del flujo subterráneo, lo que se puede deducir de los valores de conductividad eléctrica o concentración de sólidos disueltos totales.

De este modo, las conductividades históricas más bajas se detectan en los piezómetros MP-04A y MP-09A, ubicados al sur del sistema lagunar La Punta – La Brava, como se puede ver en Figura 6-158. La conductividad más alta del período de registro fue de 71.800 (µS/cm) medida en el punto de monitoreo MP-05A (noviembre de 2013)³⁴ y, en el año 2018 en el punto MP-06A con un valor máximo de 64.600 (µS/cm) en el mes de febrero. Ambos puntos están ubicados en las cercanías del Núcleo y con un menor aporte de los flujos de recargas desde las subcuencas aportantes.

Figura 6-158 Evolución de conductividad eléctrica en multipiezómetros del sistema La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración Propia

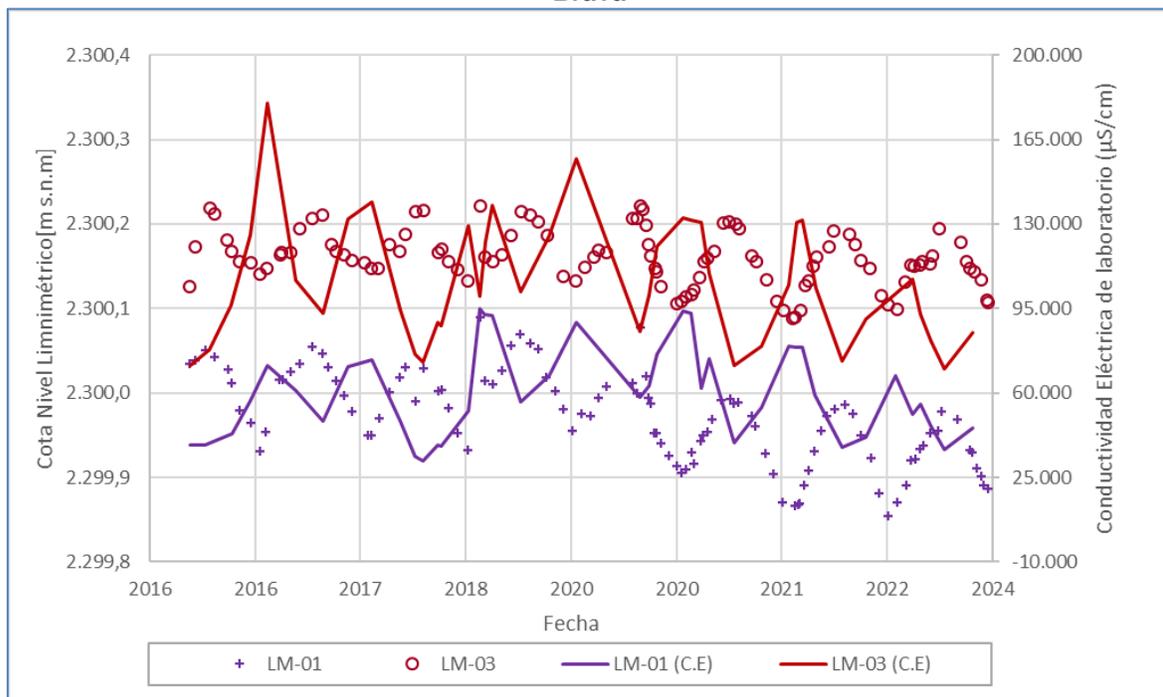
Los incrementos de conductividad eléctrica en dirección al Núcleo estarían relacionados con la disolución de sales durante el recorrido de las aguas desde la Zona Marginal (ver punto MP-

³⁴ Dato presuntamente outlier, dado que se muestreó con bailer un mes después de la perforación del pozo.

09A en Figura 6-158) hacia las lagunas (ver punto LM-01 y LM-02 en Figura 6-159) y a la evaporación, que genera un aumento de las concentraciones de sales en el fluido.

Este proceso se ilustra en la Figura 6-159, dónde se presenta la evolución temporal del nivel limnimétrico y la conductividad eléctrica en las lagunas (LM-01, en la Punta y LM-03, en La Brava). Se observa una relación inversa entre el nivel y la conductividad eléctrica, es decir, los mayores valores de conductividad eléctrica se registran en períodos de niveles bajos y viceversa. Además, en las lagunas, la conductividad eléctrica es mayor que en las aguas subterráneas someras y profundas, debido a los procesos de evaporación cuyo máximo se da en las superficies libres.

Figura 6-159 Evolución de nivel frente conductividad eléctrica en lagunas sistema La Punta-La Brava



CE: Conductividad Eléctrica
 Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **Interfase Salina**, esta se presenta estable durante el año 2023 sin mostrar cambios importantes en los puntos monitoreados dentro del año y con respecto al registro histórico. Especialmente, la Interfase Salina se encuentra a mayor profundidad a medida que los puntos de monitoreo se ubican más alejados del Núcleo.

6.2.2 Sector Peine

Este sector se analiza en 4 zonas (zona Laguna Interna, zona Media Lagunas, zona Inicio Laguna Salada, zona Borde Este y Sur de Peine) de comportamiento de niveles distinto,

ubicadas alrededor del sistema lagunar de Peine y parte del Núcleo, donde se encuentran las lagunas Salada, Saladita e Interna.

El funcionamiento del Sistema Peine consiste en que las aguas de las lagunas son alimentadas por agua subterránea procedente del sureste. En la zona donde el nivel freático del acuífero de agua salobre intercepta la superficie del terreno, se sitúan puntos de surgencia, que se disponen a lo largo de un canal situado a unos 2 km al sur de la Laguna Salada. Una vez en superficie, el agua comienza a sufrir proceso de evaporación con más intensidad, fluyendo a través de la Laguna Salada, luego por la Laguna Saladita y finalmente hacia la Laguna Interna, a través de una serie de canales de ancho variable y muy poco espesor de lámina de agua. Por último, el agua de la Laguna Interna acaba adentrándose en el Núcleo de salmuera de manera superficial, disolviendo la costra de cloruros y enriqueciéndose paulatinamente en sales disueltas, hasta que finalmente, ya convertida en salmuera, se incorpora al Núcleo.

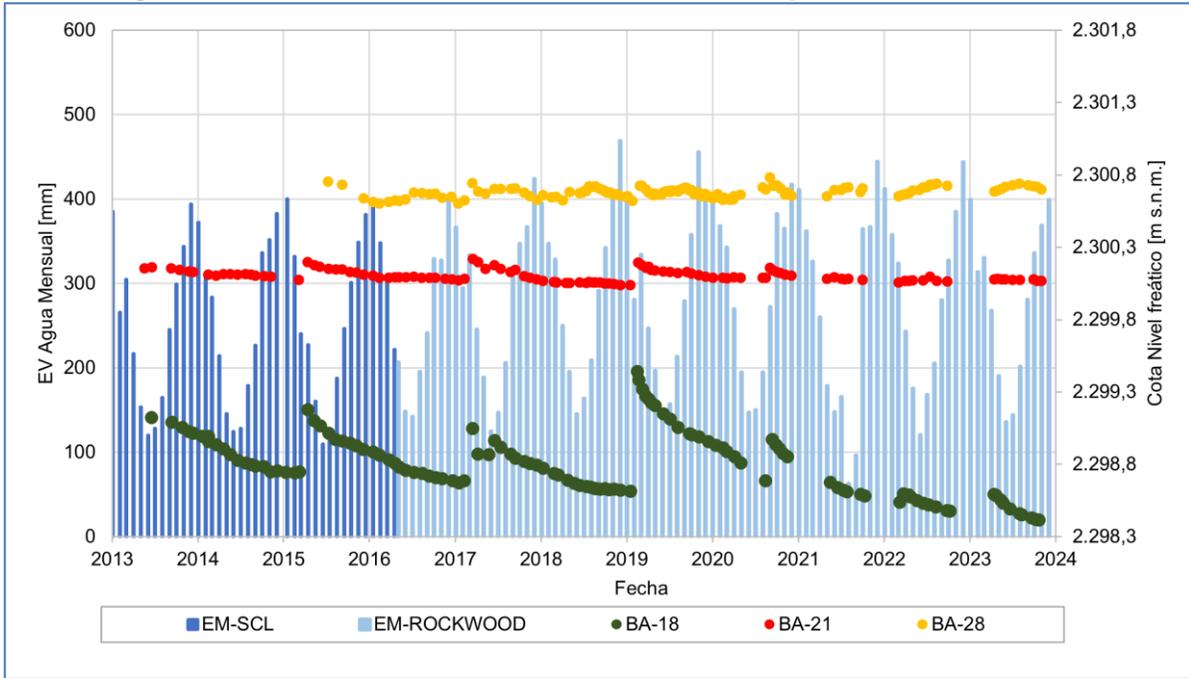
Durante el año 2023, se debe considerar que, en Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine, faltan datos de alrededor de 6 meses debido a restricciones de acceso por presencia o por época de reproducción de Flamencos impuestas por la Comunidad de Peine, (detalles en sección 5.6.2).

En la Figura 6-160 se observan que no hay relación entre la evaporación estacional y los niveles en los puntos BA-18 (característico de laguna Interna) y BA-21 (característico de zona media de lagunas). Por otra parte, los puntos de Inicio Laguna Salada (BA-28) muestran ascensos con niveles máximos en los meses más fríos y mínimos en los meses más cálidos.

En la Figura 6-161, es posible observar una clara respuesta ante los eventos de precipitación a medida que los puntos son más cercanos al Núcleo (BA-18, por ejemplo, entre enero y febrero de 2019, ascendió 83 cm post lluvia). En pozos ubicados hacia el sur, más alejados del Núcleo, también existe una respuesta del nivel frente a eventos de precipitación, pero de menor magnitud (BA-21 y BA-28). Por ejemplo, el piezómetro BA-21, ubicado entre las lagunas Salada y Saladita, presenta aumentos notorios en el nivel luego de las lluvias, para posteriormente descender paulatinamente. Así, se observan las respuestas a los eventos de precipitación en 2015, 2017, 2019 y en 2021, que muestra un leve aumento del nivel (0,01 m) luego de las precipitaciones del mes de mayo (7,1 mm).

En la Figura 6-162, se observa que los niveles de los puntos BA-18 y MPS-CA presentan en general una leve tendencia al descenso, la que se ve interrumpida periódicamente por eventos de precipitación, que generan ascensos de nivel del orden centimétrico. Esta tendencia al descenso estaría relacionada a la proximidad a la zona del núcleo. Estos antecedentes dan cuenta de la relevancia de la precipitación directa en la recarga del Núcleo.

Figura 6-160 Evolución de nivel en relación con la evaporación Sistema Peine



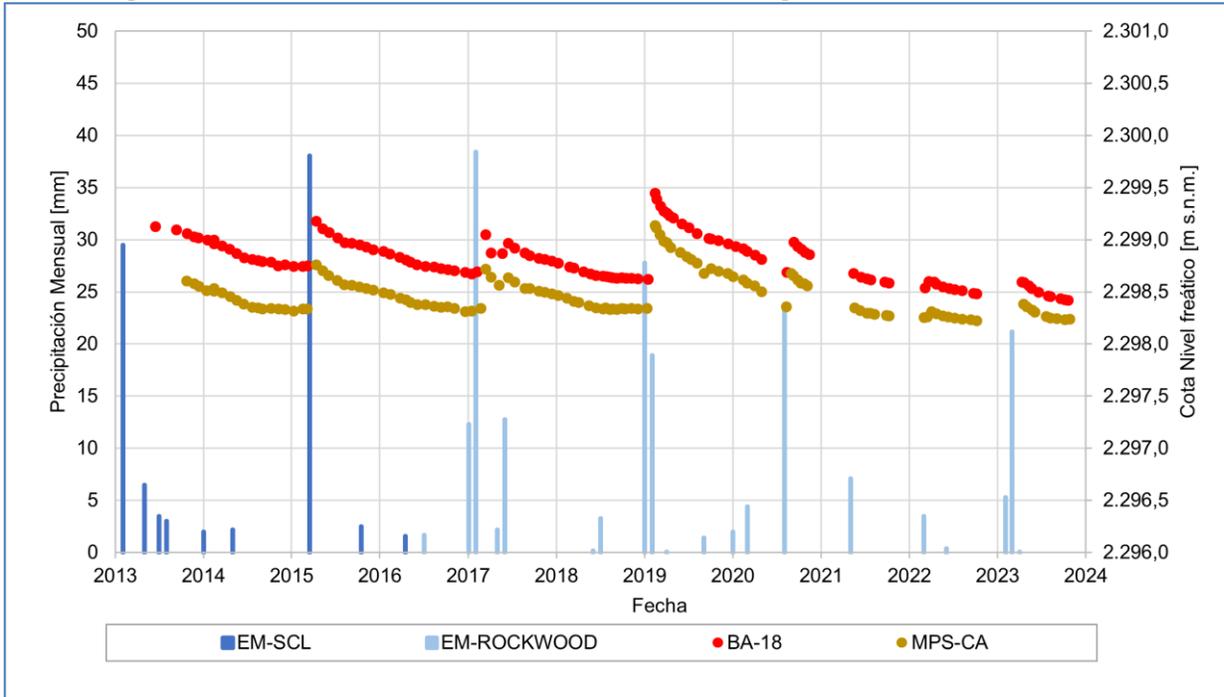
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-161 Evolución de nivel en relación con la precipitación sistema lagunar Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-162 Evolución de niveles en el sector de la laguna Interna. Sector Peine



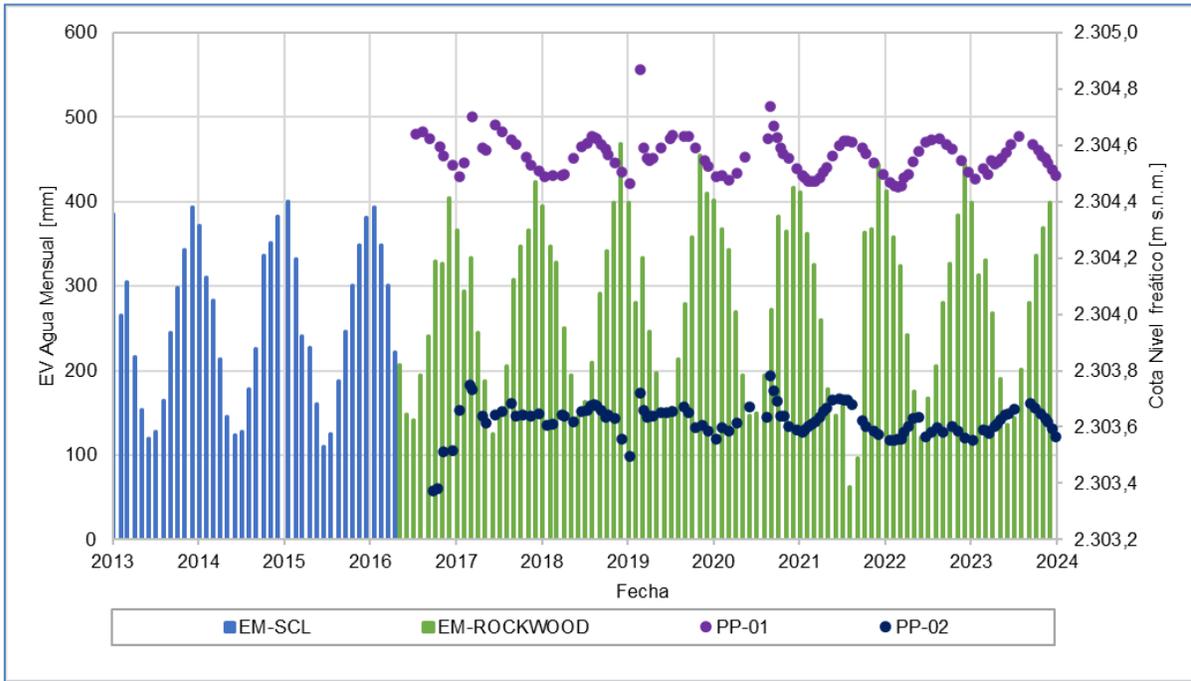
Fuente: Elaboración propia

En las zonas de recarga, localizadas en la zona Borde Este y Sur del sistema lagunar, entre la Zona Marginal y la zona de pie de monte de la cordillera Andina, los niveles medidos durante el año 2023 de los puntos comprometidos del borde este y sur del sistema lagunar Peine siguen la tendencia observada durante el registro histórico, con oscilación estacional dentro del rango esperado, con una amplitud de hasta 0,15 m (calculados en el PP-01 entre enero y julio de 2023, Figura 6-164), además se observan descensos netos entre 1 y 7 cm (excepto en punto PP-02, detalles en sección 5.6.2.4).

Históricamente, los pozos del sector han reaccionado a eventos de precipitación de alta intensidad generando un aumento en los niveles, como es el caso de las precipitaciones de agosto de 2020, dónde ocurrieron aumentos de niveles entre 0,02 m y 0,15 m en los pozos MP-07A y PP-02, inferiores a los registrados en los sectores más cercanos al Núcleo.

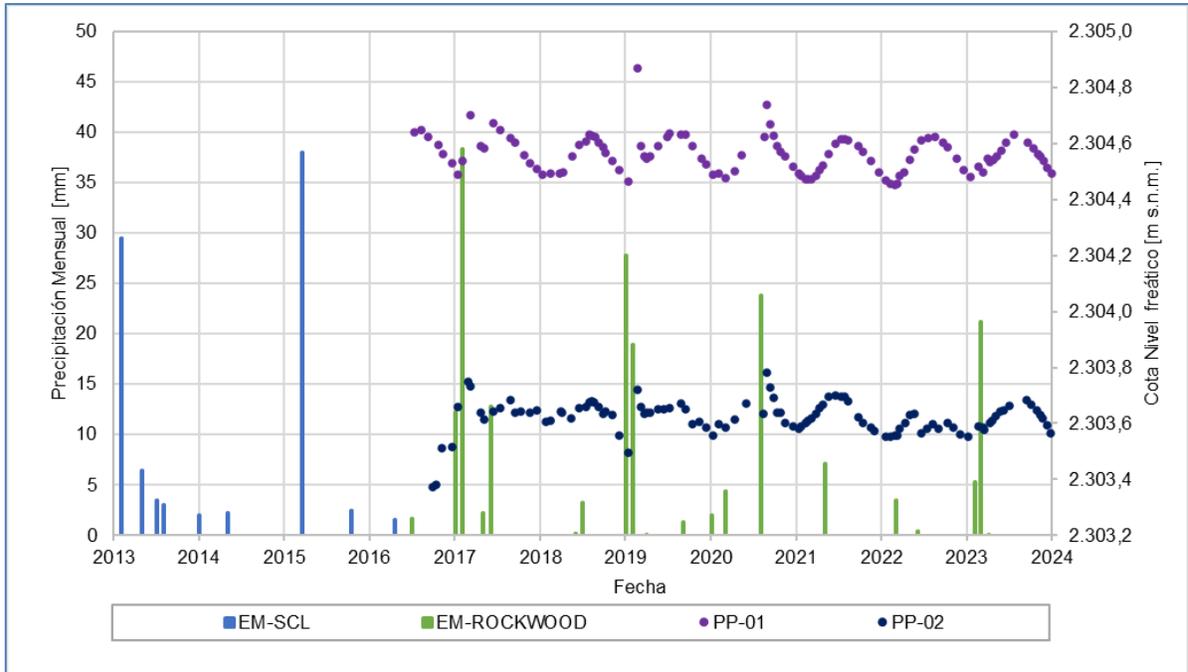
La evaporación posee un rol importante en el control del nivel freático de la zona. La Figura 6-163 muestra la relación inversa de la evaporación y el nivel freático en los pozos PP-01 y PP-02, con mayores descensos cuando la evaporación es mayor. En pozos ubicados más cerca del Núcleo la influencia de la evaporación es reducida, estando la dinámica de los niveles influenciada de mayor forma por los eventos de precipitación intensa descritos anteriormente.

Figura 6-163 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y evaporación en el borde Este. Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia

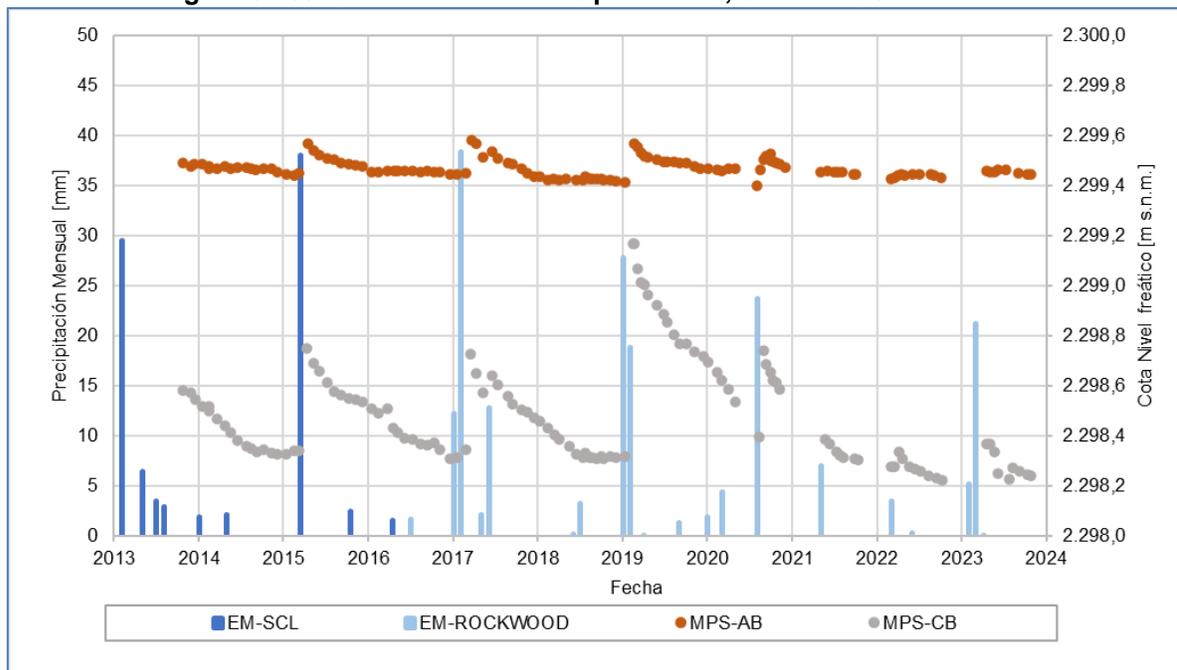
Figura 6-164 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y precipitaciones en el borde Este. Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia

Los pozos MPS-AB (Zona laguna media, a mayor distancia del Núcleo) y MPS-CB (Laguna Interna, a menor distancia del Núcleo), están habilitados en salmuera, el muestra punto MPS-AB un comportamiento estable de sus niveles en el tiempo (Figura 6-165) y MPS-CB un leve descenso con una respuesta a los eventos de precipitación diferente en cuanto a la magnitud del ascenso de nivel. El pozo MPS-AB presenta aumentos menores posterior a los eventos de precipitación, entre 0,04 m y 0,16 m, mientras que MPS-CB, más cercano al núcleo, muestra aumentos mayores posterior a la precipitación de hasta 0,85 m. Esta situación ejemplifica lo planteado anteriormente respecto a que los niveles freáticos y/o de salmuera en la Zona Marginal, muestran una mayor respuesta a los eventos de precipitación mientras más cerca se encuentren del Núcleo. Además, también, mientras más alejados del Núcleo la oscilación estacional de los niveles freáticos se hace más importante.

Figura 6-165 Evolución de niveles profundos, salmuera. Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

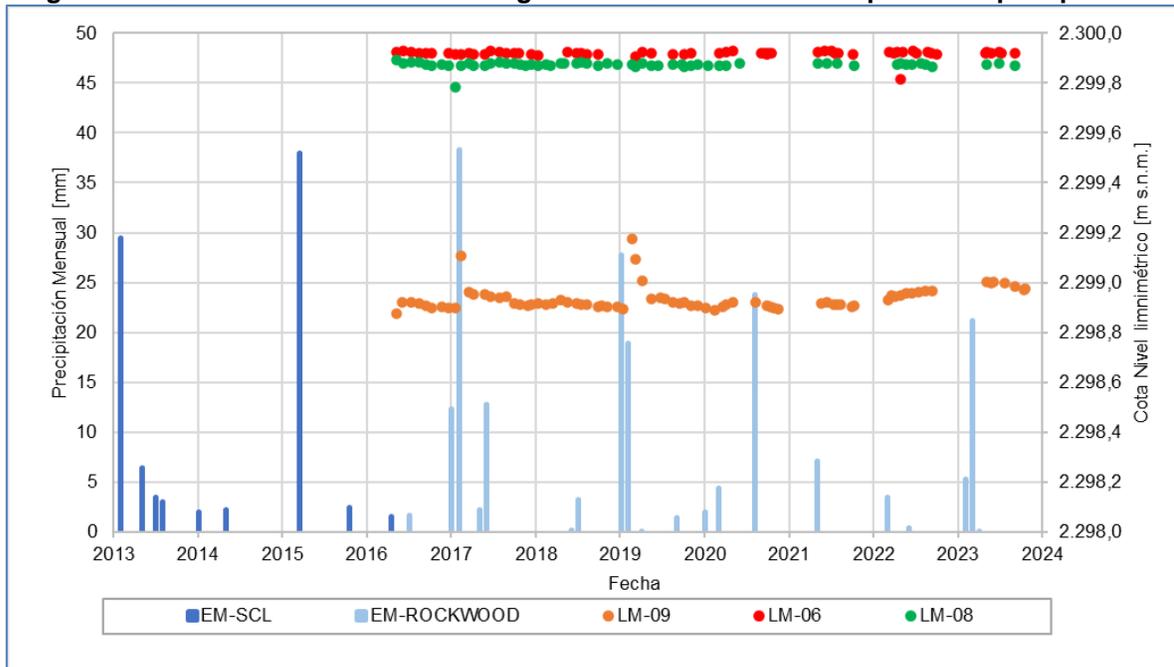
Respecto a los niveles registrados en los limnímetros en el sector de las lagunas, se observa un gradiente de la cota del nivel desde la laguna Salada hacia la laguna Interna (Figura 6-166), lo que confirmaría la dirección de flujo de agua desde el sureste hacia el Noroeste a través los canales que las comunican. Los valores registrados dan cuenta de niveles estables en el tiempo respecto a los datos históricos (Figura 6-166). En el caso de Laguna Salada y Saladita (LM-06 y LM-08), el comportamiento de los niveles es relativamente equivalente entre ellos.

Como se ha descrito anteriormente para los niveles freáticos, el nivel en las lagunas coincide en presentar un comportamiento más sensible a las precipitaciones dependiendo de su

cercanía al Núcleo. La respuesta más notoria se observa los años 2017 y 2019 en la Laguna Interna (LM-09), donde los niveles de la laguna suben como respuesta a las precipitaciones ocurridas en el período estival. No ocurre de igual forma en los puntos LM-06 y LM-08, en que no se observa respuesta a las precipitaciones.

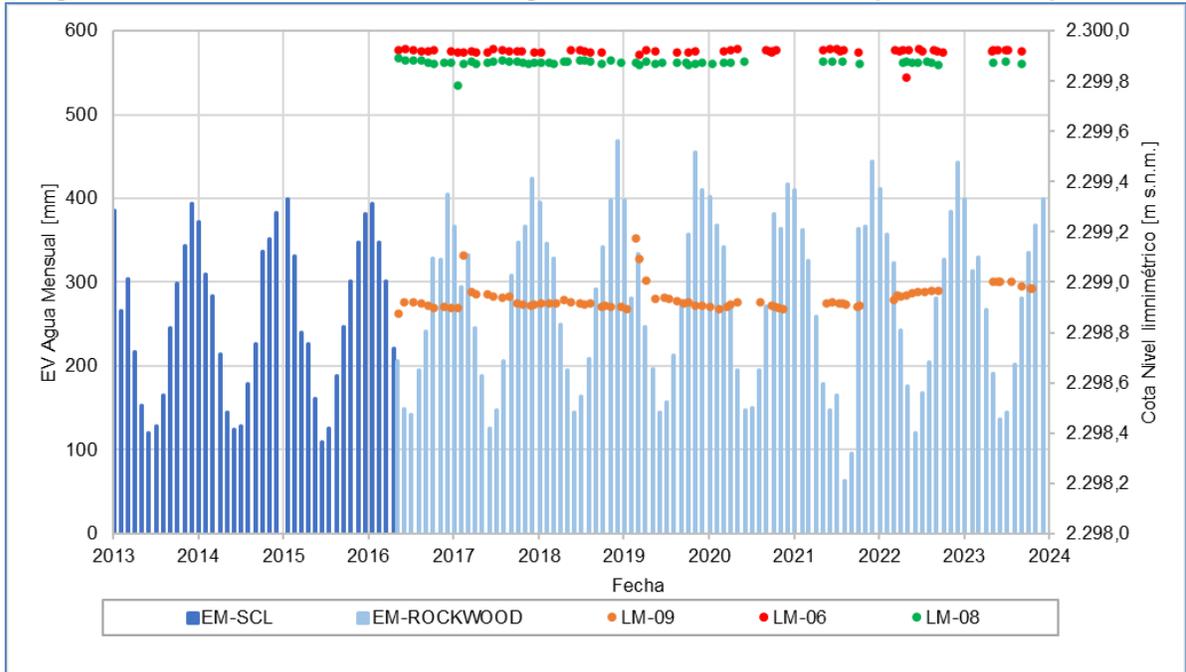
Respecto de la evaporación (Figura 6-176), se observa una menor amplitud de oscilación estacional, del orden de 2 cm o incluso imperceptible, en LM-06 y LM-08, en relación con los otros sistemas lagunares como La Punta La Brava y el Sector Norte y Borde Este, donde la amplitud estacional observada presenta valores de hasta 0,1 m. Dada la disponibilidad de datos no se puede observar amplitud el año 2023.

Figura 6-166 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la precipitación



Fuente: Elaboración propia

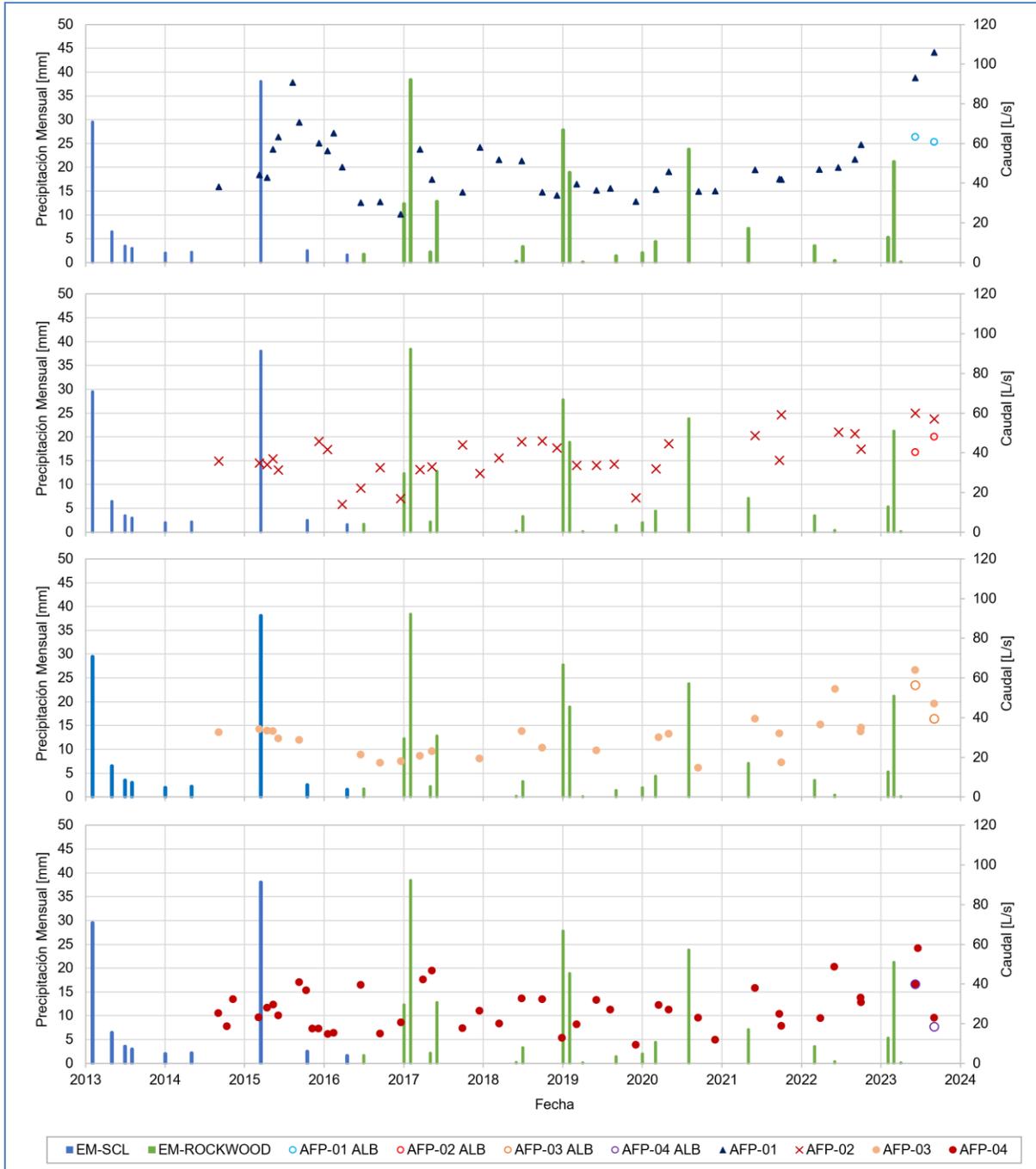
Figura 6-167 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la evaporación



(*) La evaporación de agosto y septiembre 2021, no está considerado el mes completo.
 Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-168 muestra los caudales aforados de los escurrimientos superficiales de este sistema, los que, en general, durante el año 2023 incrementan respecto de los valores históricos, registrándose los valores puntuales máximos de todo el período de registro (2014-2023) en los 4 puntos, estos medidos por ETFA, los que muestran diferencias con los medidos por ALB, mostrando ALB menores caudales de aforo. Por otro lado, en cuanto a los valores mínimos medidos durante 2023, estos son superiores (a excepción de AFP-04) a los caudales mínimos registrados en el período previo (2014-2022). Es importante mencionar que en el 2023 solo se pudieron registrar aforos en 2 trimestres.

Figura 6-168 Evolución histórica de Caudales Aforados Sistema Peine

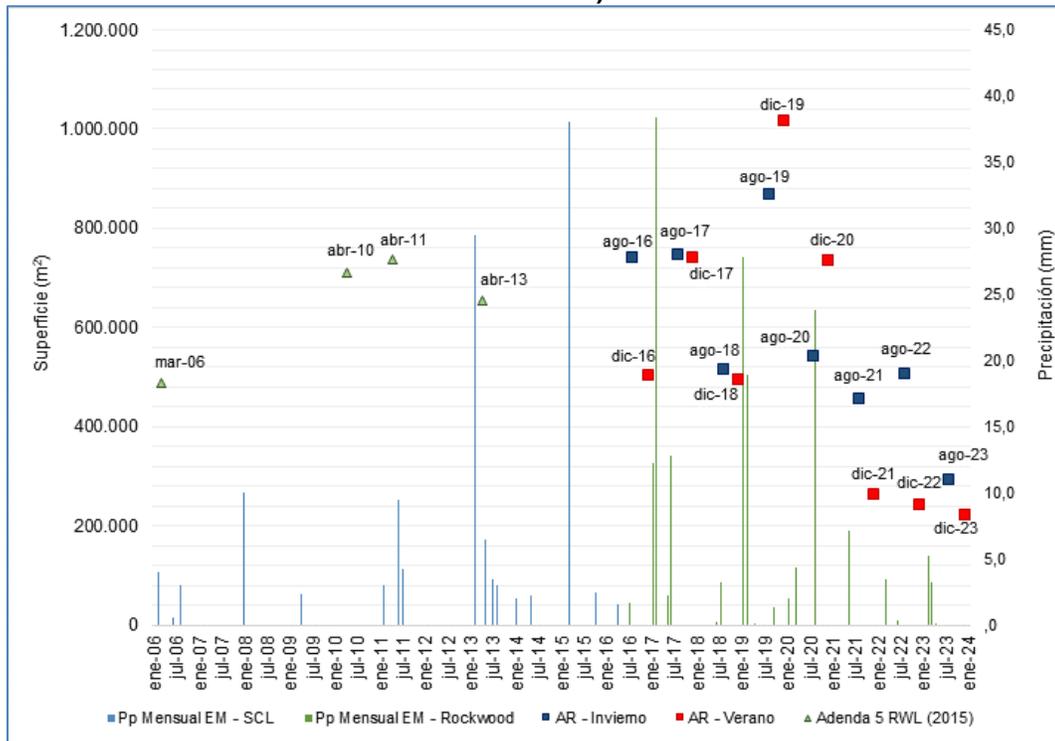


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas** (detalle en sección 6.1.3.2) la Figura 6-169, los registros determinados a partir de imágenes de alta resolución entre 2016 y 2023 muestran que durante dicho período no ha existido una dinámica estacional en las lagunas (que en períodos previos si se habría manifestado, como se discute más adelante), presentando en

2017-2018 magnitudes similares para la superficie lagunar entre verano e invierno y en 2019 y 2020 superficies de verano superiores a las de invierno, posiblemente relacionados con el efecto de la precipitación (febrero de 2019 y agosto de 2020). En general se observa una respuesta de la superficie lagunar a eventos particulares de precipitación (2019-2020), aunque no se aprecian de manera tan clara los efectos del evento de 2017 en la superficie de agosto medida el mismo año. Durante 2023, en tanto, se ve una disminución de la superficie en agosto y diciembre.

Figura 6-169 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Peine (imágenes alta resolución)



Fuente: Elaboración propia

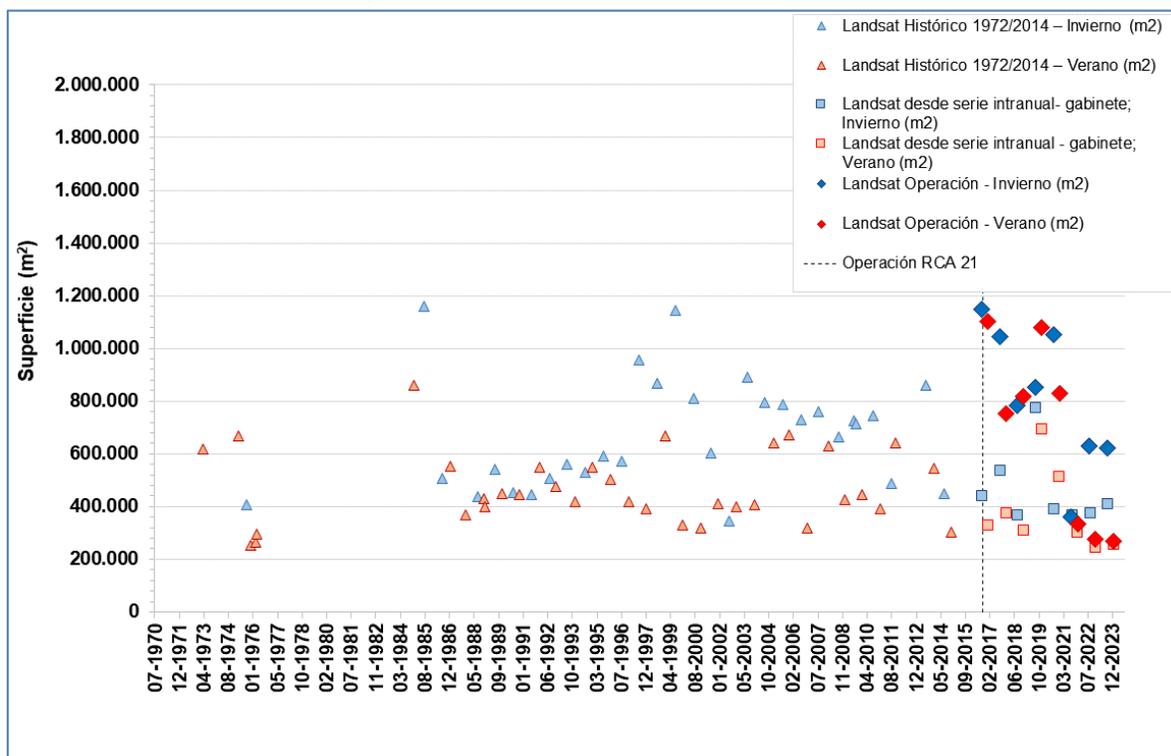
En resumen, las superficies lagunares AR y las de media resolución coinciden en dar cuenta de un posible cambio en la dinámica de la superficie lagunar, que variaría de una condición estacional, dominada por la evaporación, a una que responde a eventos puntuales de precipitación con incrementos abruptos luego de las mismas y una tendencia posterior al descenso. Este cambio se habría producido alrededor de 2013 – 2014, y coincide con una disminución de la superficie lagunar, principalmente en ausencia de lluvias. En particular, en las distintas series de imágenes (AR y Landsat) se observa una disminución en la superficie lagunar en los últimos años, destacando el valor mínimo registrado en diciembre de 2023. Desde el año 2019 a la fecha las superficies lagunares AR desciende tanto en invierno como en verano (Figura 6-168).

De acuerdo con los registros históricos presentados en la Figura 6-170 al menos entre los años 1997 y 2014 (serie **Landsat Histórico 1972/2014**) el sistema lagunar presentó una dinámica estacional, con incrementos de la superficie durante el invierno y una reducción de esta en verano, con valor mínimo para esta estación en el año 2014. Al respecto, cabe señalar que, si se consideran los valores medidos en la serie “**Landsat 2016/2023**”, la superficie de verano de la mayoría de los años del período 2016-2023 ha sido similar a la medida el año 2014. En el caso de los registros de invierno, también se observa que desde 2010 se ha producido una reducción de la superficie de invierno, alcanzando sus valores mínimos en los últimos años. La serie “**Landsat Operación**” entrega superficies de mayor magnitud, atribuibles al método de mayor detalle y con validación de terreno, por lo que los valores no son directamente comparables. Sin embargo, se observa que se encontraría dentro de los registros máximos y mínimos de la serie históricas 1972 – 2014 y muestran para los últimos años (2021 y 2023) una reducción de la superficie de verano e invierno, que coincide con años sin precipitaciones de gran magnitud.

De acuerdo con lo señalado, para efectos de la inclusión de la serie “**Landsat 2016/2023**”, se han extraído un registro de invierno y verano de una serie de mayor extensión, con frecuencia quincenal. El set completo de datos se presenta en el Anexo C (2016-2023). Los registros de esta última serie son consistentes con la dinámica estacional descrita para el sistema lagunar Peine hasta alrededor de 2014. Además, en ambas series es posible verificar que desde 2013-2015 la extensión superficial lagunar cambió su dinámica (estacional), por una similar a la del nivel de salmuera en el núcleo, en el que el sistema responde de manera relativamente abrupta a los eventos de precipitación, con una menor influencia de la evaporación, dependiendo la extensión lagunar principalmente de la intensidad de cada evento particular de precipitación. Así, se producen incrementos abruptos de la superficie lagunar luego de estos eventos de lluvia, y con posterioridad de estos, se produce una reducción de esta (a modo de ejemplo, ver Anexo Variaciones Anuales en Anexo C).

Dado que el sistema Peine se compone de 3 lagunas, y que estas no necesariamente presentan una misma dinámica, la superficie determinada no necesariamente da cuenta de la dinámica de cada una. Este sistema lagunar se alimenta de agua subterránea que aflora aguas arriba de la Laguna Salada, que escurre de forma canalizada hacia la misma, además de hacia la laguna Saladita y la Laguna Interna (y el sector de Avance Interna). Así, los incrementos y cambios verificados durante el período de invierno (o luego de eventos de precipitación de alta intensidad), se explican principalmente por la variación de la superficie de la zona terminal del sistema lagunar, es decir, laguna Interna y sus desbordes.

Figura 6-170 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Peine.



Fuente: ALB – CEDREM 2023 (ver Anexo C)

Respecto de la **calidad química**, espacialmente, en el sector Peine las aguas subterráneas muestran un incremento de la conductividad eléctrica hacia el Núcleo del Salar. De esta forma, las aguas menos mineralizadas se detectan en la estación Anterepresa Tilomonte y en los piezómetros MP-07A y MP-08A, habilitados en aguas subterráneas someras, de agua salobre y ubicados al sureste de las lagunas, con más influencia de las aguas de recarga provenientes del acuífero aluvial del Borde Este. Las aguas con mayores CE se registran en los piezómetros profundos MPS-CB y MPS-AB, los cuales presentan valores superiores a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por ser salmueras.

En general, la CE registrada en la mayoría de los puntos de lagunas es mayor a la registrada en las aguas subterráneas y además aumenta desde laguna Salada (que es la menos mineralizada) hacia laguna Saladita, debido a la evaporación y también se podría asociar a disolución de sales de los materiales evaporíticos de la zona marginal; y luego, el agua procedente de esta laguna se adentra hacia el Núcleo de salmuera de manera superficial/subsuperficial generando la laguna Interna, donde se reportan los máximos registros de CE. El agua salobre en esta zona, al encontrarse con la costra de cloruros va disolviéndola y va enriqueciéndose en sales disueltas y en parte también se va evaporando, hasta que finalmente, convertida en salmuera, se infiltra al Núcleo.

Respecto a la **posición de la Interfase Salina**, destaca que, en general, la profundidad de medición de la Interfase Salina en los piezómetros del sector de Peine monitoreados durante 2023 no ha sufrido cambios en relación con los registros históricos de cada punto, por lo que se interpreta que la posición de la Interfase Salina se ha mantenido constante.

6.2.3 Sector Norte y Borde Este

En este sector, las aguas subterráneas del acuífero dulce-salobre se monitorean en el piezómetro MP-12A, situado a unos 15 km al sur del sistema lagunar, en el acuífero aluvial del Borde Este. El registro histórico muestra niveles estables con una leve variabilidad estacional. Se han registrado tres aumentos de nivel asociados a eventos de precipitación en el punto (2017, 2019 y 2023).

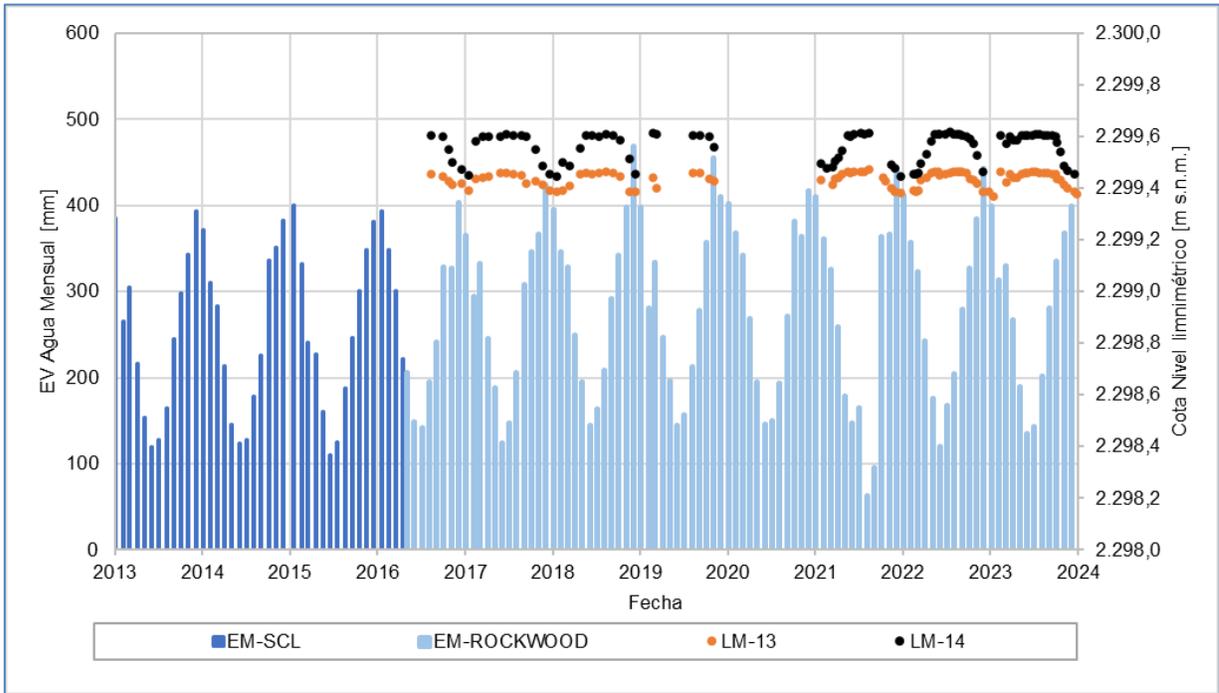
Los perfiles de conductividad eléctrica efectuados en el sector (piezómetro MP-12C), indica que la **Interfase Salina**, no ha presentado cambios en la ubicación en relación con los registros históricos durante el año 2023.

6.2.3.1 Sistema Aguas de Quelana

En la Figura 6-171, se observa que los registros de nivel limnimétrico en 2023 muestran un comportamiento estacional sincrónico al igual que en los años anteriores 2016-2019, aunque con mayor amplitud en el punto LM-14. Cabe señalar que no se pudo realizar el monitoreo de los limnímetros del sistema lagunar Aguas de Quelana durante el año 2020, debido a las restricciones de acceso a los sitios SNASPE asociado a la Pandemia del COVID-19.

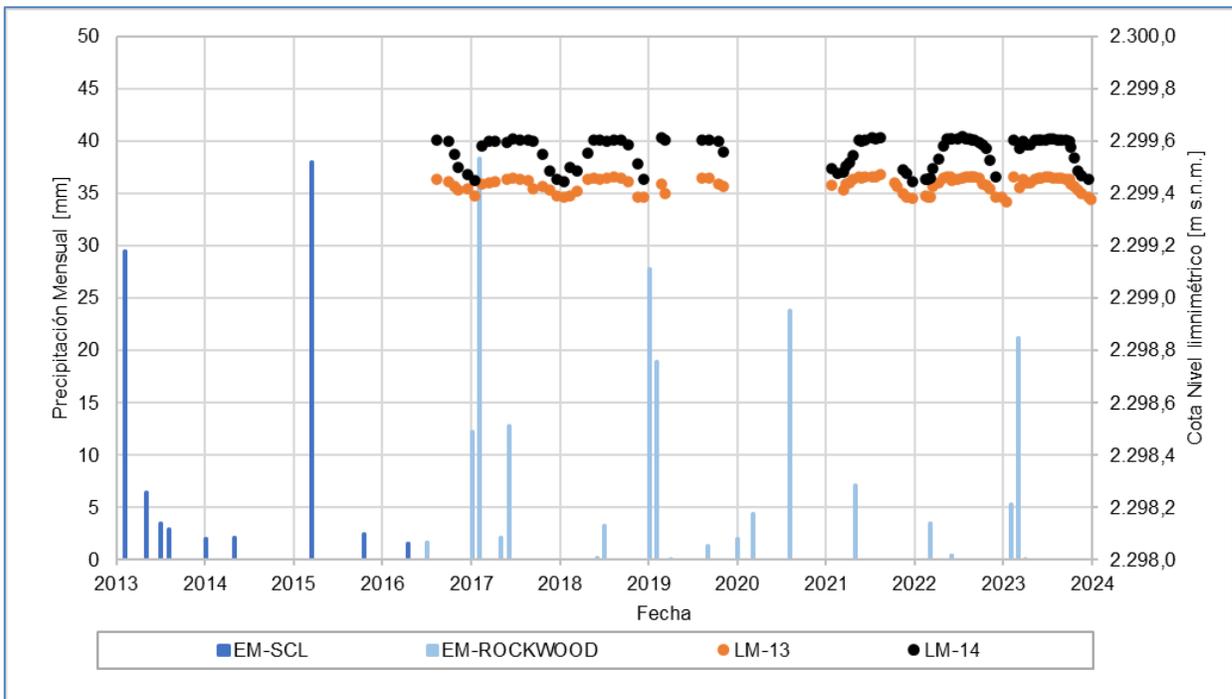
El comportamiento de oscilación estacional de los niveles muestra una correlación directa con la evaporación, tal como se puede observar en la Figura 6-171. Esta situación es consistente con lo observado en los otros sistemas lagunares analizados en la presente sección. En la Figura 6-172, se observa que los puntos no son sensibles a los eventos de precipitación.

Figura 6-171 Evolución de niveles de aguas superficiales versus evaporación. Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-172 Evolución de niveles de pozos de aguas someras, salobres, al Sur del Sistema Aguas de Quelana versus precipitación



Fuente: Elaboración propia

Se hace la observación de que en la Zona Marginal entorno el sistema lagunar de Aguas de Quelana no se cuenta con registro de niveles de salmuera, ya que Albemarle no tiene comprometidos de puntos de monitoreo de salmuera en esta área.

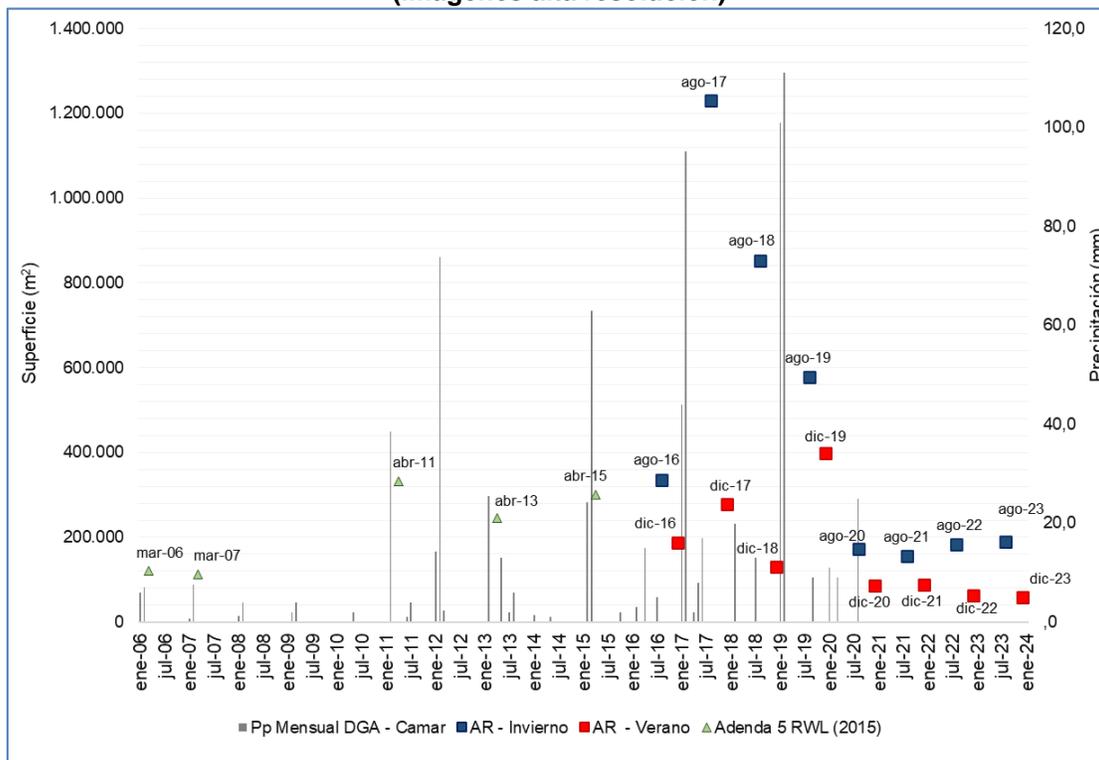
Se entiende por el modelo conceptual del sistema Aguas de Quelana que las aguas provienen del acuífero aluvial del borde este. Existen también zonas de recarga por el lado este alimentadas por aguas de diferentes quebradas, entre ellas la quebrada de Camar. Las aguas a medida que se avanzan hacia el núcleo comienzan los procesos de salida del sistema por evaporación. En ocasiones de años muy húmedos o tras eventos de precipitación importante ocurren desbordamientos superficiales desde las lagunas hacia el núcleo, provocando un aumento de la cobertura lagunar.

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas**, el sistema lagunar de Aguas de Quelana, está conformado por una serie de lagunas o zonas de acumulación de agua dispersas, de aparición intermitente, de poca profundidad y baja extensión (SQM, 2022). La fuente de agua de estos sistemas corresponde a flujos subterráneos provenientes de los acuíferos aluviales del este, alimentados por las quebradas de Camar, Cucala y El Toro, por lo que dependen de la dinámica de este. Durante eventos de precipitación, una parte del agua, que no se evapora, escurre superficialmente aguas abajo del sistema, a través de canales, hacia el límite con la costra de cloruros del Núcleo, donde finalmente se incorpora al mismo.

La Figura 6-173 presenta un gráfico con 5 registros históricos de imágenes de Alta Resolución de cobertura de cuerpos de agua según la Adenda 5 (serie 2006 a 2014), de: marzo 2006, marzo 2007, abril 2011, abril 2013 y abril de 2015, junto a las coberturas provenientes de las imágenes semestrales de Alta Resolución (AR) Pléiades 1-A del período 2016 – 2023. Se puede observar una cierta variabilidad estacional, con fluctuaciones entre invierno y verano de diferente magnitud, y un incremento de la superficie para eventos de alta intensidad de precipitación.

De acuerdo con las superficies determinadas en el PSAH, los resultados de diciembre 2020, 2021, 2022 y 2023 se encuentran bajo el mínimo de las imágenes AR disponibles de la Adenda 5, (marzo 2007 con una superficie de 113.000 m²). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución fueron cuatro a cinco, lo que no permite definir un mínimo histórico con representatividad estadística y han sido determinadas en meses distintos (marzo y abril) a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre). El hecho que fueron medidas en meses distintos (enero, febrero y abril en LP-LB; marzo y abril en Peine, Aguas de Quelana y Soncor) es un aspecto importante para considerar, dada la alta variabilidad intranual que presenta esta variable.

Figura 6-173 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Aguas de Quelana (imágenes alta resolución)



Fuente: Elaboración propia

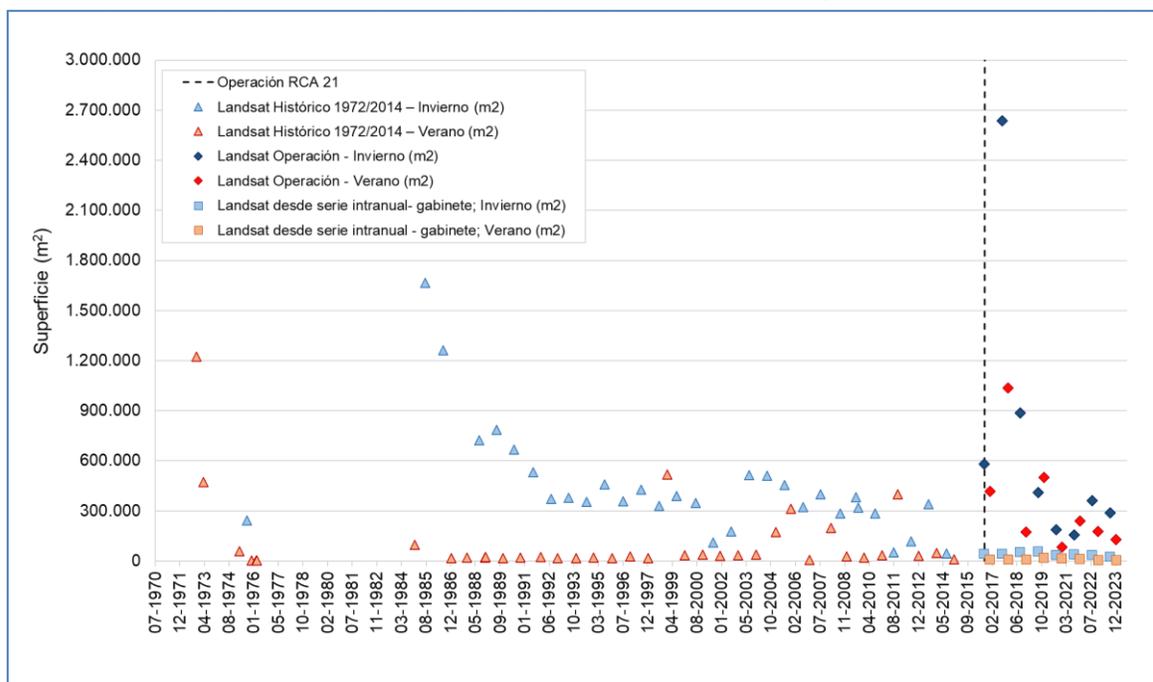
Con el objetivo de entender las tendencias históricas y variabilidad del sistema lagunar de Aguas de Quelana, en la Figura 6-174 se presentan los registros históricos de extensión superficial obtenidos a partir de imágenes Landsat (media resolución) para este sistema lagunar, las que fueron presentadas en la Línea Base del Proyecto (*Apéndice I, del Anexo 1 Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico de la Adenda 5*), serie que se denomina “**Landsat Histórico 1972/2014**”. Además, en la Figura 6-174 se incluye la serie de registros de superficie lagunar denominada serie “**Landsat 2016/2023**”, que corresponde a los valores semestrales (verano e invierno) de una serie de obtenidos también a partir de imágenes de media resolución. Por último, se incorporan a la gráfica las superficies lagunares obtenidas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2023, denominada serie “**Landsat Operación**”. Todo el detalle de estas series se encuentra en Anexo C de este Informe.

De la serie **Landsat Histórico 1972/2014** (Figura 6-174) es posible observar que las superficies de invierno presentaron una fuerte tendencia a la baja en los años previos a 1992 y que desde entonces hasta aproximadamente el año 2013, se presentaba con una variabilidad estacional estable que termina en el año 2014 aproximadamente. Los valores más bajos de las estaciones de invierno se han concentrado desde julio de 2014 a la fecha. Es

importante destacar que en este sistema lagunar se observa la mayor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, siendo en el periodo de verano donde se producen las mayores disminuciones del sistema, donde se observa que los cuerpos de agua pueden llegar a reducirse hasta en un 98%. Al igual que en la temporada de invierno, las menores superficies de los veranos de la serie completa se concentran desde 2014 a la fecha.

Para este sector, es relevante destacar lo que se observó de los datos históricos de línea base presentados en la Adenda 5, cuando se indicó que: *“el complejo de Aguas de Quelana es el único que se ha llegado a observar prácticamente seco, sin apenas lámina libre de agua detectable por satélite con la resolución que permite el sensor montado sobre los satélites LANDSAT”* [Ref.: línea de base Apéndice L: Monitoreo satelital Lagunas].

Figura 6-174 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Aguas de Quelana



Fuente: ALB – CEDREM 2023 (ver Anexo C)

De la serie **“Landsat Operación”**, en la Figura 6-174 se tiene que las estimaciones de superficies de lagunas se encontrarían dentro de los rangos máximos y mínimos históricos siguiendo la tendencia de los años previos, tanto en invierno como en verano. En el caso particular de los resultados semestrales de agosto 2017 y diciembre 2017, la existencia de extensas zonas inundadas y su interconexión, posiblemente asociadas a las intensas precipitaciones de enero y febrero y a un par de eventos de precipitación de menor intensidad verificados en junio de dicho año, produjo un aumento significativo de las áreas reportadas para ese periodo.

Del análisis presentado intranual e interanual, se puede indicar que se verifica el modelo conceptual, en cuanto a que, si bien el aporte de precipitaciones es importante, un factor importante que entrega la variabilidad estacional estaría dado por los aportes o afloramientos de agua subterránea que se producen en las cercanías de las lagunas o en ellas y la evaporación del sistema.

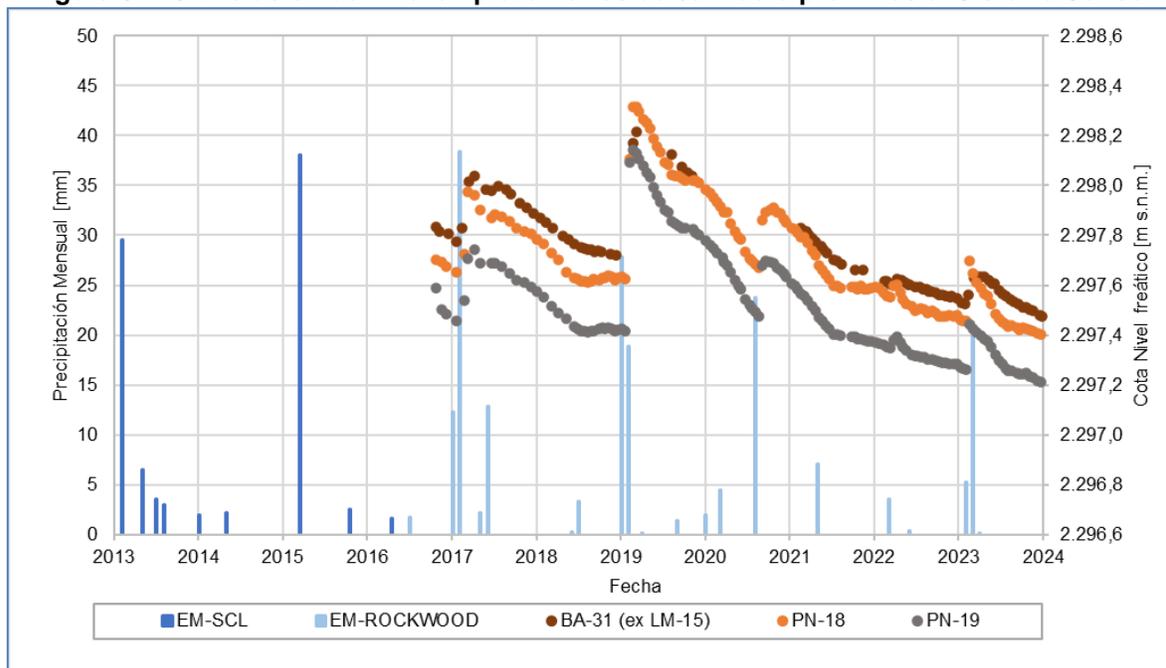
6.2.3.2 Sistema Lagunar Soncor

Este sector abarca el área de la Zona Marginal, alrededor del sistema lagunar Soncor y el área frente a las lagunas del Borde Este.

El nivel de agua subterránea de la Zona Marginal se monitorea mediante el piezómetro somero BA-31. Durante el año 2020 no se pudo realizar el monitoreo de este punto debido a las restricciones de acceso derivadas de la Pandemia de COVID-19. No obstante, se observa en el registro histórico una tendencia al descenso originada por la extracción de salmuera en el Núcleo del Salar, interrumpida por las alzas de nivel asociadas a eventos de precipitación los años 2017 y 2019, y en menor medida 2020 y 2023. El evento de precipitación de marzo genera un ascenso en los niveles, sin embargo, la tendencia se recupera y nuevamente descienden a niveles más bajos que a fines de 2023. La información levantada durante el año 2023 indica, una continuación del descenso observado durante el año 2019 (Figura 6-175).

En las cercanías del sistema lagunar Soncor, en el Núcleo de Salar, los piezómetros PN-18 y PN-19 muestran el mismo comportamiento descrito para el piezómetro somero BA-31, registrando un efecto más marcado de la extracción de salmuera respecto al barreno.

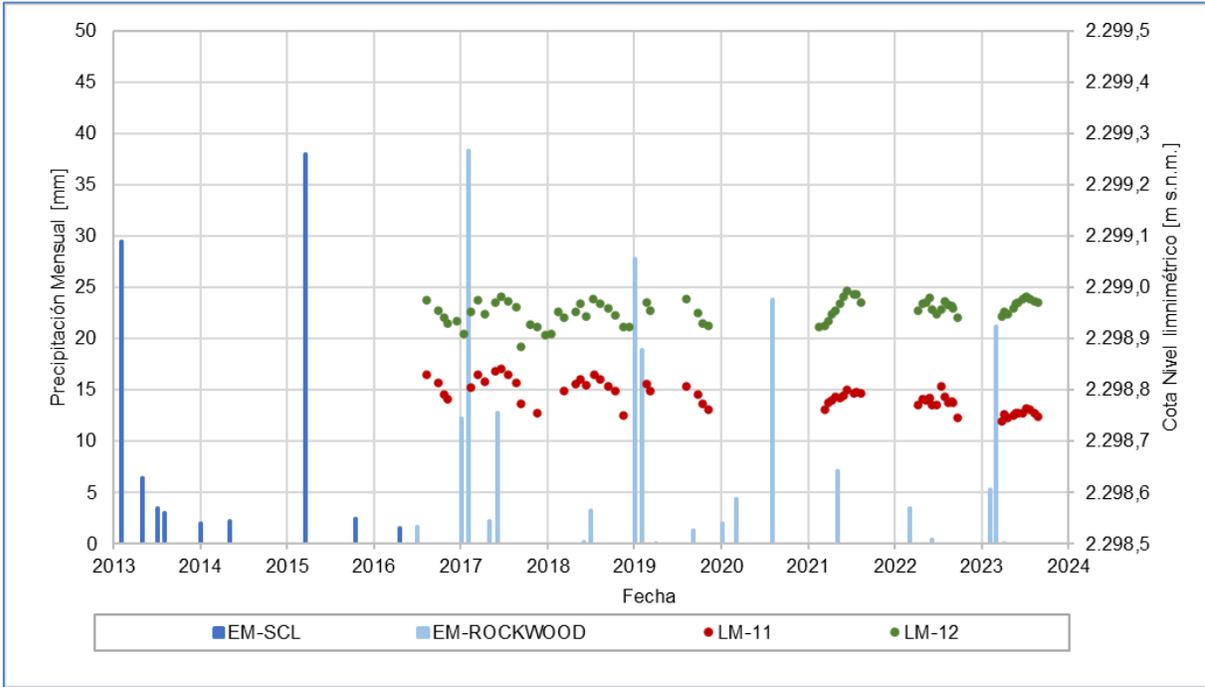
Figura 6-175 Evolución de nivel en piezómetros de salmuera próximos al Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia

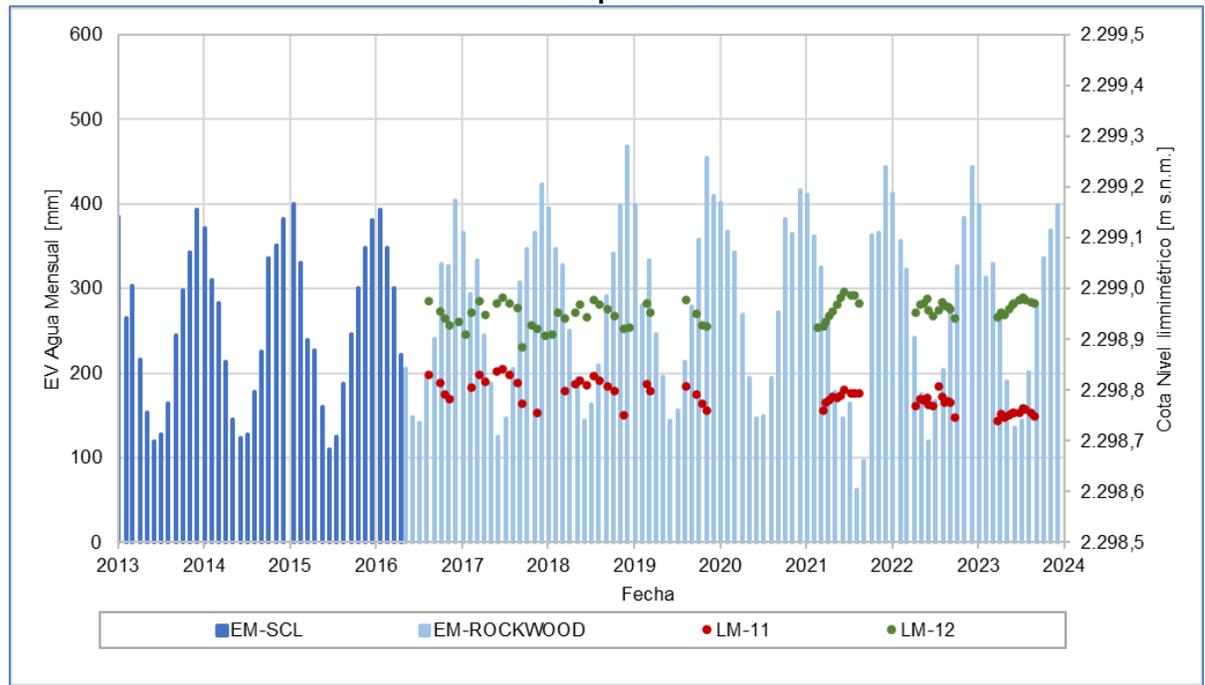
Tal y como se ha explicado en los otros sistemas lagunares, los niveles de las lagunas del Sistema Soncor, muestran un comportamiento estacional, con máximos en invierno y mínimos en verano, mostrando ascensos de nivel como respuesta a las precipitaciones (Figura 6-176) y una relación inversa con la evaporación (Figura 6-177).

Figura 6-176 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a las precipitaciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-177 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a la evaporación



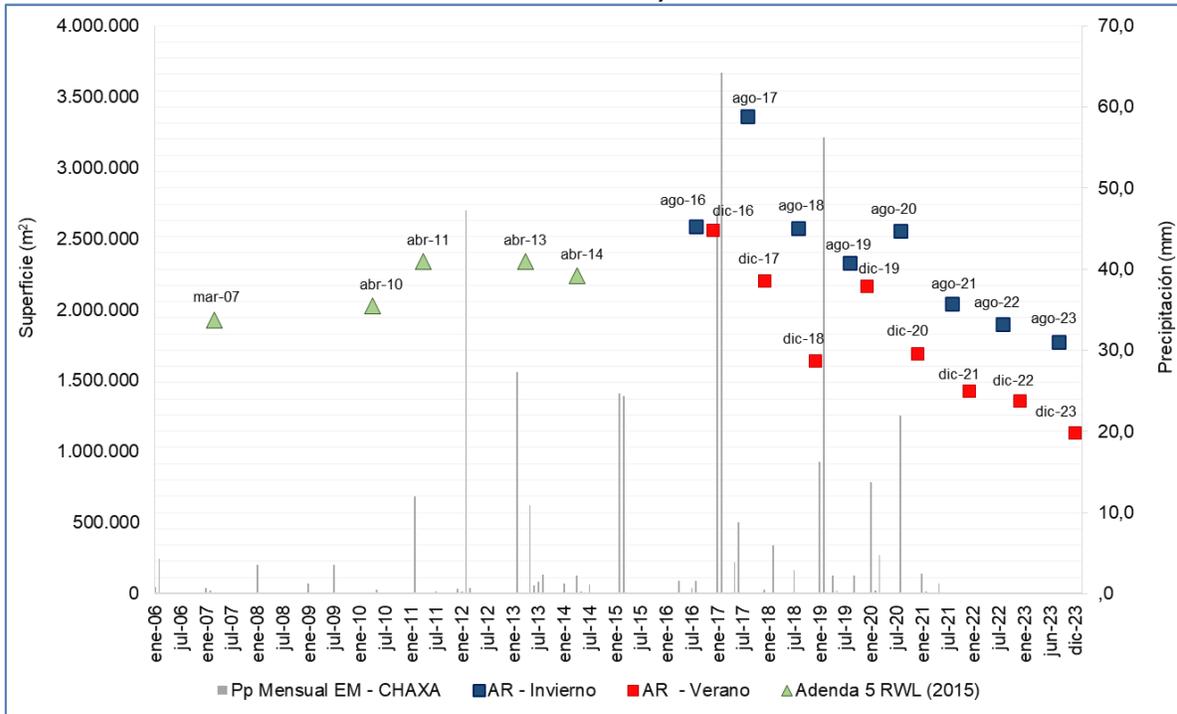
Fuente: Elaboración propia

Del modelo conceptual se tiene que el sistema Soncor se compone de las lagunas de Chaxa, Barros Negros y Puilar. Estas lagunas son alimentadas por agua subterránea que ingresa al sistema proveniente de los acuíferos situados al norte y este. En la zona donde la interfase salina intercepta con el terreno se producen desbordamientos del agua que fluye hacia el oeste de manera superficial y subsuperficial. La mayor parte de estos flujos se concentra en el canal de Burro Muerto, el que desemboca en la Laguna Chaxa, mientras otros desbordamientos alcanzan el canal que une la Laguna Chaxa con la Laguna Barros Negros y la propia Laguna de Barros Negros. Desde los afloramientos el agua fluye en dirección sur y comienza a sufrir evaporación, pasando primero por la Laguna Chaxa, después Barros Negros, y finalmente termina saliendo del sistema por la zona de desbordamiento “Cola de Pez” e infiltrándose en el Núcleo.

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas** en el sistema Soncor, la Figura 6-178 presenta de forma gráfica los registros 5 históricos de imágenes de alta resolución de cobertura de cuerpos de agua presentados en la Adenda 5 (serie 2006 a 2014), de: marzo 2007, abril 2010, abril 2011, abril 2013 y abril 2014, junto con las coberturas provenientes de las imágenes semestrales de Alta Resolución (AR) Pléiades 1-A del período 2016 – 2023, evaluadas en el contexto del PSAH.

Al considerar las superficies medidas de manera semestral en el PSAH desde imágenes de alta resolución (Figura 6-178) (AR invierno y AR verano), para el sector Soncor se puede observar variabilidad estacional, con meses de agosto con superficies mayores a las registradas en diciembre. La comparación entre las mediciones de verano del PSAH, con los registros históricos de la Adenda 5 muestran que desde el año 2018 a la fecha, solamente en diciembre de 2019 la superficie fue superior al valor mínimo de referencia (marzo 2007). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución han sido determinadas en meses distintos (marzo y abril) a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad estacional descrita previamente.

Figura 6-178 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Soncor (imágenes alta resolución)



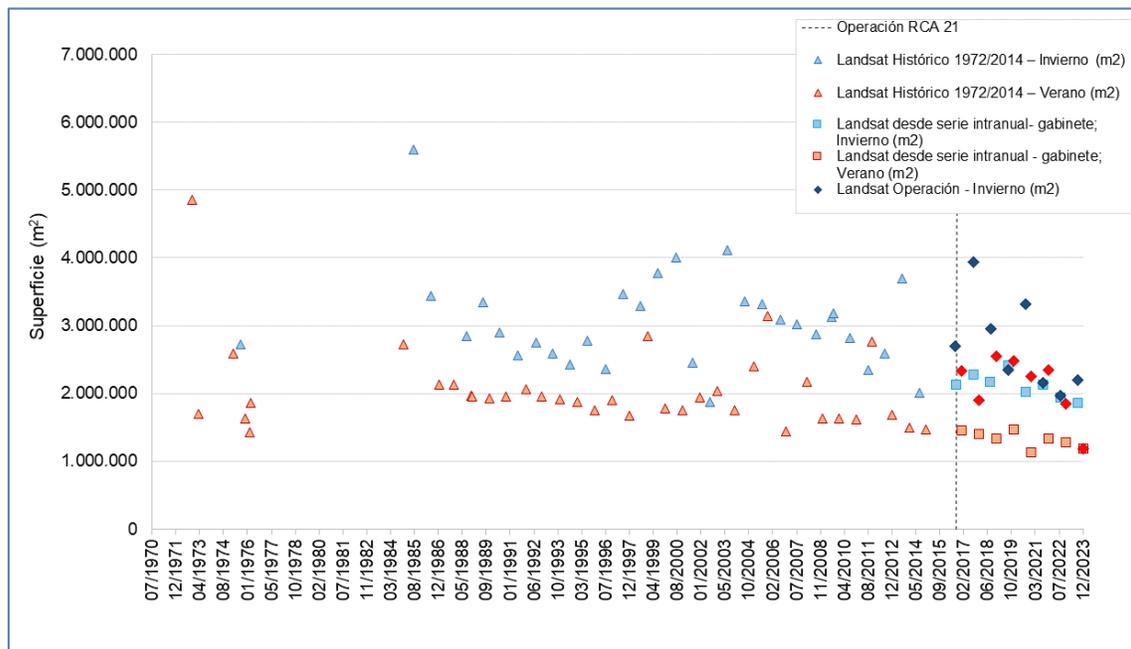
Fuente: Elaboración propia

Luego, en el sistema Soncor, al igual que para los demás sistemas lagunares, con el objetivo de entender las tendencias históricas y variabilidad del sistema lagunar, se presentan en la Figura 6-179 los registros históricos de extensión superficial obtenidos a partir de imágenes Landsat (media resolución) para este sistema lagunar, las que fueron presentadas en la Línea Base del Proyecto (*Apéndice I, del Anexo 1 Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico de la Adenda 5*), serie que se denomina “**Landsat Histórico 1972/2014**”. Además, en la Figura 6-179 se incluye la serie de registros de superficie lagunar denominada serie “**Landsat 2016/2023**”, que corresponde a los valores semestrales (verano e invierno) de una serie de obtenidos también a partir de imágenes de media resolución. Por último, se incorporan a la gráfica las superficies lagunares obtenidas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2023, denominada serie “**Landsat Operación**”. Todo el detalle de estas series se encuentra en Anexo C de este Informe.

De la serie **Landsat Histórico 1972/2014** (Figura 6-179), es posible observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo los años con menor superficie de invierno los años 2002 y 2014. Al considerar esta serie de manera conjunta con la serie **Landsat 2016/2023**, se observa que la superficie lagunar de invierno se ha reducido de manera paulatina desde el año 2005, hasta 2023. Al respecto, cabe

destacar que los valores mínimos de los últimos años (2020, 2022 y 2023), son similares a registros más bajos medidos en los años previos a la operación del proyecto (2002 y 2014). En relación con las mismas dos series, pero de la condición de verano, se puede observar en general una tendencia histórica al descenso, que comenzaría aproximadamente en el verano del año 1987 y que se mantiene en la misma línea de tendencia a diciembre 2023. Sin perjuicio de lo anterior, en los años previos a 2016 también es posible observar ciertos registros particulares mayores a esta condición media, en la época de verano. Al considerar tanto las series de invierno y verano de las series **Landsat Histórico 1972/2014** y **Landsat 2016/2023**, es posible evidenciar la existencia de estacionalidad en la extensión superficial del sistema lagunar, representando los registros de verano cerca de un 60% de los valores de invierno.

Figura 6-179 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Soncor



Fuente: ALB – CEDREM 2023 (ver Anexo C)

Al considerar la serie **Landsat Operación** (PSAH semestrales con modelo de clasificación supervisada en terreno), se puede observar que esta entrega superficies de mayor magnitud atribuibles al método de mayor detalle y con validación de terreno. Si bien por estas razones, dichos valores no son directamente comparables con los de las dos series descritas de forma previa, se destaca que encuentran dentro de los registros mínimos y máximos de la serie histórica 1972-2014. Adicionalmente, se observa para los últimos años una reducción de su superficie de invierno y verano, al igual que lo observado en los registros de la serie **Landsat 2016/2023**, y que es consistente con lo observado para el sistema Aguas de Quelana. Cabe

destacar que estos registros coinciden con años sin precipitaciones de gran magnitud (Ver Figura 6-178).

Finalmente, del análisis presentado intranual e interanual se tiene que, si bien el aporte de precipitaciones es importante y condiciona la extensión superficial de las lagunas que componen el Sistema Soncor, el factor principal que da cuenta de su variabilidad temporal corresponde a los aportes de aguas subterráneas y al efecto de la evaporación sobre estas (efecto indirecto) y sobre las lagunas (efecto directo). Adicionalmente, se deben tener presente los cambios morfológicos de la zona de desborde, como factor a considerar en el análisis de la variación de mediano y largo plazo de la superficie lagunar, dado que antiguamente la laguna Barros Negros descargaba por un sector denominado “Cola de Pez”, mientras que actualmente lo hace por “Desborde Sur”, variación asociada a cambios en la dinámica de sedimentación del sistema lagunar, como consecuencia del efecto de eventos de alta intensidad de precipitación y escorrentía (SQM, 2020). Dichos cambios se produjeron principalmente entre 2007 y 2012. Al modificarse la morfología de la zona de desborde, se producen cambios en la superficie total del Sistema Soncor, que no estarían asociados necesariamente a un aumento o disminución del recurso hídrico disponible.

En cuanto al monitoreo de la **posición de interfase salina**, se hace la observación de que en el Sector de Soncor Albemarle no tiene el compromiso de monitorearla. El punto más cercano en el que se monitorea esta variable es el MP-12C, en el borde Este del Salar.

En relación con la calidad química, se observa un aumento de la conductividad eléctrica en el escurrimiento entre la Laguna Chaxa (LM-12) y laguna Barros Negros (LM-11), con valores similares a los de las aguas subterráneas del sector en el punto BA-31. Esto se debe, por una parte, a la concentración por evaporación de las aguas a medida que circulan por el sistema lagunar en dirección al núcleo y, por otra parte, a la disolución de sales presentes en el Salar.

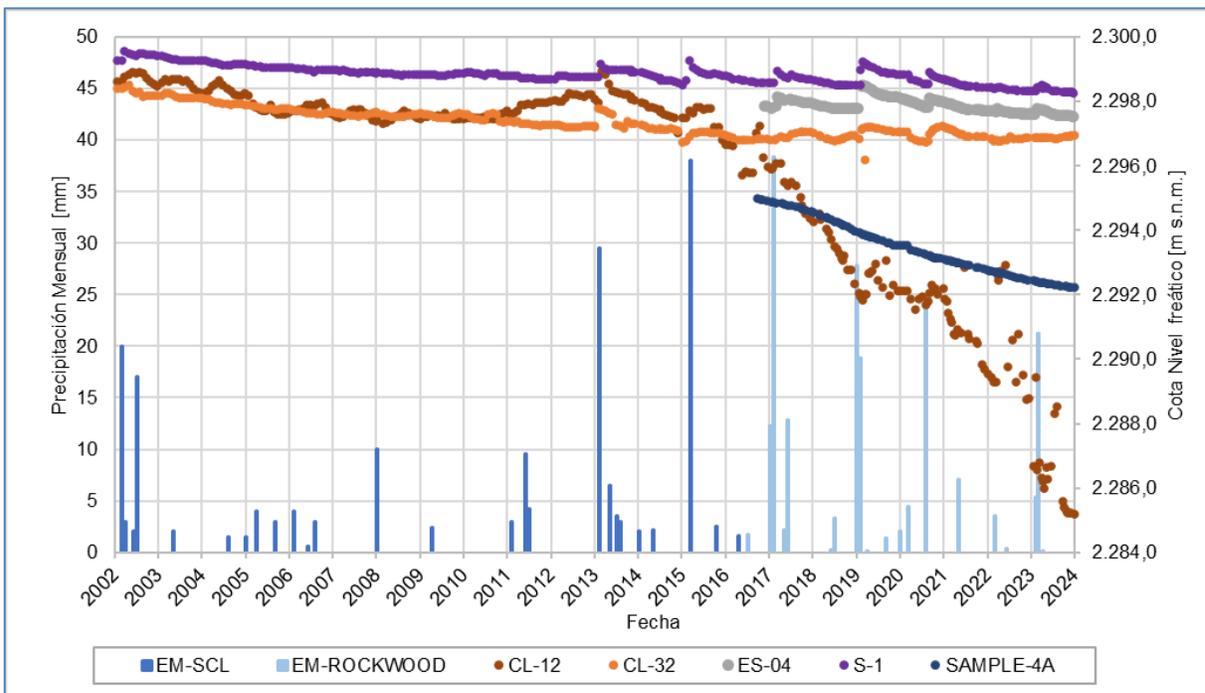
6.2.4 Sector Núcleo

El Sector Núcleo corresponde a la zona de descarga de la cuenca donde confluyen las aguas de recarga provenientes de las cuencas aportantes (norte, este, sureste y suroeste), junto con las aguas provenientes de los sistemas lagunares, que por escorrentía superficial e infiltración subsuperficial fluyen hasta la costra salina.

En la Figura 6-180 se muestra la evolución de las series temporales de niveles de algunos de los pozos de Núcleo con respecto a las precipitaciones medidas en las estaciones meteorológicas SCL y Rockwood, con el fin de analizar el comportamiento general de los niveles del núcleo. Para realizar esta descripción se utiliza, para el sector centro norte del Núcleo, el piezómetro ES-04, para la zona este el piezómetro S-1, para la zona oeste el

piezómetro Sample 4A, y para la zona de producción los piezómetros CL-12 y CL-32, ubicados en el área de extracción A1. Se puede observar que los niveles en estos piezómetros reaccionan a los eventos de precipitaciones importantes, generándose un aumento brusco en el nivel y luego retomando una tendencia al descenso. Una excepción a este comportamiento es el punto Sample-4A, ubicado en el margen oeste del Núcleo. Durante el año 2021, el evento de precipitaciones de mayo 2021 no genera un aumento brusco en los niveles, debido a que los niveles son más profundos, por otro lado, el evento de marzo 2023 si genera un incremento en los niveles, específicamente en CL-12 y CL-32.

Figura 6-180 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo



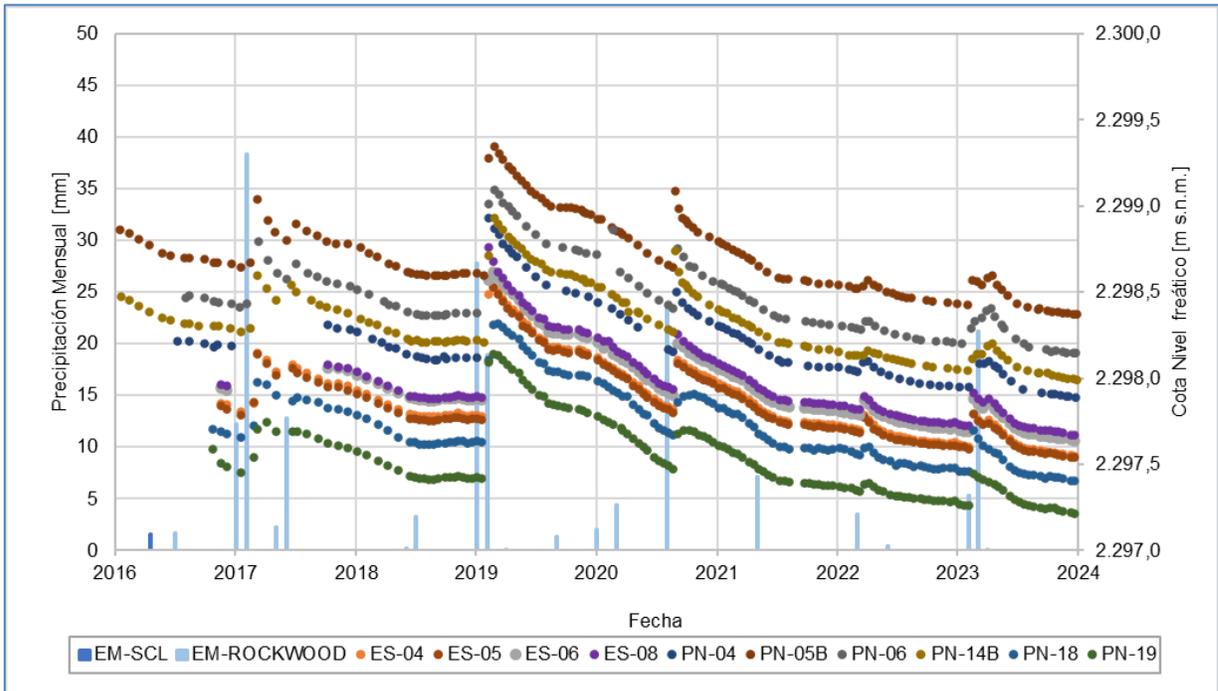
Fuente: Elaboración propia

En el año 2023 se observa (Figura 6-180) que continua la tendencia al descenso observada en el segundo semestre del año 2021 en los pozos S-1 (Núcleo Este) y ES-04 (Núcleo Centro-Norte). No así en el pozo CL-32 (zona de producción), en el que se observa un incremento en el nivel desde febrero 2022, con un ascenso neto de 4 cm entre diciembre 2022 y diciembre 2023.

En cambio, los piezómetros CL-12 (zona de producción) y Sample-4A (Núcleo Oeste) mantienen su tendencia de descenso hasta fines de 2023, mostrando el punto CL-12, un comportamiento diferente a todos los puntos graficados. En general, los descensos son más pronunciados en las zonas próximas a áreas de extracción de salmuera, ya sean de Albemarle o SQM (Pozo CL-12 o Sample-4A), y disminuyen conforme se alejan de la misma (ES-04).

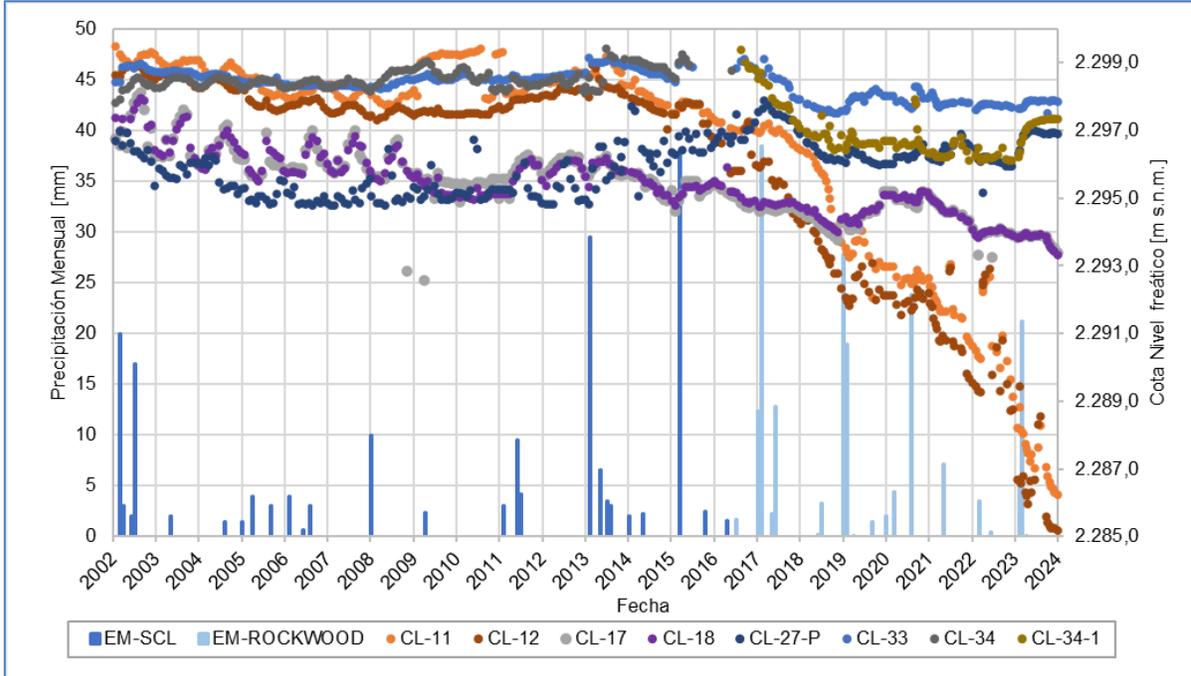
El rol de recarga directa de las precipitaciones se observa claramente en el sector norte y este del Núcleo (Figura 6-181), todos los pozos presentan un comportamiento similar y sincrónico, con aumentos de nivel asociados a eventos intensos de precipitaciones. Por otra parte, los pozos de la zona de producción son sensibles a los eventos de precipitaciones del Salar. No obstante, el factor principal que controla la evolución de los niveles en el núcleo es la influencia de extracción de salmuera (Figura 6-182).

Figura 6-181 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Norte y Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-182 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Zona de Producción



Fuente: Elaboración propia

Con las mediciones de evapotranspiración por el método del domo en el sector Núcleo se observan tasas de evapotranspiración menores a 0,369 mm/día en 2023 (sección 5.2). Esto es concordante con lo observado en los niveles donde no se observan variaciones estacionales relacionadas a la evaporación, debido a las menores tasas registradas que en otros sistemas, siendo los mecanismos principales en control de los niveles el descenso generado por la extracción de salmuera y los eventos de precipitaciones.

6.3 Compromisos y Reportabilidad con la Autoridad durante 2023

El Informe del Plan de Seguimiento Ambiental (PSAH) da cumplimiento a lo establecido en: el Considerando N° 7 de la RCA N°21/2016 en lo relacionado con la componente hídrica (agua); al Considerando N° 10.19 de la misma resolución, el que a su vez remite al Capítulo 3 del Anexo 3 de la Adenda 5; y a los compromisos vinculados a la componente hídrica de las otras dos RCA indicadas en la Tabla 2-1 de este informe.

En la evaluación ambiental del Proyecto quedó establecido, además de la entrega anual del Informe del PSAH, una serie de compromisos indicados en el Considerando N°10 de condiciones o exigencias específicas de la RCA N°21/2016. Relacionado con lo anterior, y con las variables del PSAH, en Anexo M de este Informe Anual, se adjunta toda la información de respaldo de las entregas a la SMA durante el año 2023 y a continuación se presenta un resumen de cada una de ellas.

6.3.1 Entrega periódica de información digital

La información comprometida, se entrega con frecuencia trimestral, semestral y anual. A continuación, se indican las cartas y reportes entregados durante el año 2023.

- Se hace entrega el día 14 de febrero del “Reporte Semestral Monitoreo Superficie Lagunar PSAH Diciembre 2022”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-009
- Se hace entrega el día 29 de marzo del “Cuarto Reporte Trimestral 2022”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-019
- Se hace entrega el día 31 de marzo del “Informe Anual N°7. Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-017
- Se hace entrega el día 4 de abril del “Complemento a Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-021
- Se hace entrega el día 28 de junio del “Primer Reporte Trimestral 2023”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-032
- Se hace entrega el día 28 de septiembre del “Segundo Reporte Trimestral 2023”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-049

- Se hace entrega el día 25 de octubre del “Reporte Semestral Monitoreo Superficie Lagunar PSAH Agosto 2023”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-053
- Se hace entrega el día 28 de diciembre del “Tercer Reporte Trimestral 2023”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-070

6.3.2 En relación con la conexión en línea y reporte electrónico para el monitoreo del componente hídrico, Resolución Exenta SMA N° 1.314/2020.

La Res. Ex. SMA N° 1.314 / 2020 se establece lo siguiente:

“Información histórica: todos los registros anteriores a la fecha a la que se dará inicio a la reportabilidad en línea exigida en esta Resolución deberán ser informados a esta Superintendencia como parte de la instalación del sistema de monitoreo. Para ello, cada título debería acompañar las respectivas bases de datos con la información histórica de caudales de extracción de salmuera, caudales de reinyección de salmuera, caudales de extracción de agua subterránea y niveles (agua subterránea y/o salmuera), según corresponda, siguiendo los formatos de la Res. Ex. SMA No 894 de fecha de junio de 2019 que “Dicta instrucciones para la elaboración y remisión de informes de seguimiento del componente ambiental agua”, considerando los formatos más recientes publicados en la web de la SMA”.

A la fecha de entrega de este informe, se transmiten en línea los caudales de extracción de salmuera y se reportan los niveles de los puntos del Plan de Alerta Temprana y de otros puntos de monitoreo de acuerdo con lo establecido en la presente resolución.

6.3.3 En relación con los Lisímetros, Considerando 10.5 y 10.6 de RCA N°21/2016.

- Se indica que el día 25 de enero de 2023, se recibieron observaciones por parte de la autoridad a través de la Res SMA N°158/2023, las cuales fueron atendidas por ALB (fueron entregadas a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-010 en el mes de febrero) y se está a la espera de aprobación para realizar el cambio metodológico de los lisímetros actualmente instalados.

6.3.4 En relación con Modelo Hidrogeológico, Considerando 10.7 de RCA N°21/2016

- Con fecha 31 de marzo de 2023, Albemarle hace entrega a la autoridad del “Tercera Actualización del Modelo de Flujo de Agua Subterránea en el Salar de Atacama”, a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-018.

6.3.5 En relación con la cota topográfica de referencia, Considerando 10.10 de la RCA N°21/2016

El considerando 10.10 establece que *“Sobre el nivel de las lagunas, la cota topográfica de referencia deberá ser revisada y validada por la SMA cada 2 años”*

- Con fecha 31 de julio Albemarle hace entrega a la autoridad en la carta ALB-GMA-2023-SMA-041, en la que notifica que se ha cumplido con lo establecido referente a las cotas topográficas de referencia.

6.3.6 En relación con las activaciones de los PAT

6.3.6.1 Medidas activadas asociadas al PAT

Respecto a las activaciones del PAT ocurridas durante el 2023 y al cumplimiento de las medidas exigidas en el numeral 4.5.3.1 del Anexo 3 de la Adenda 5, se indica en primer lugar que Albemarle dio cumplimiento a todas las medidas y actividades comprometidas.

Respecto a las medidas relacionadas con la activación del PAT Alerta Norte en Fases I y II, durante 2023 se ejecutó lo siguiente:

En Fase I (Fase activada desde 2021 a la fecha)

- Se siguen entregando en forma mensual los reportes de monitoreo tomados en el mes anterior, lo que se viene realizando desde el año 2021.
- Con fecha 23 de enero del año 2023, se informó a la autoridad que la medición en el pozo L4-12 tuvo una superación del umbral de Fase I, lo que queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-004 en Anexo M-2.
- Con fecha 3 y 5 de abril del año 2023, se informó a la autoridad que la medición en el pozo L5-10 tuvo una superación del umbral de Fase I, lo que queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-020 y ALB-GMA-2023-SMA-022 en Anexo M-2.
- Con fecha 3 de octubre del 2023 se informó a la autoridad que la medición en el pozo L5-10 tuvo una superación del umbral de Fase I, lo que queda registrado en la carta ALB-GMA-2022-SMA-052.
- Se entrega los reportes en forma mensual asociados a la activación de la Fase I del PAT sector de Alerta Norte, debido a la superación del umbral de Fase I registrada el 6 de enero 2021 mediante las cartas e informes: N°25 (carta ALB-GMA-2023-SMA-012), N°26 (carta ALB-GMA-2023-SMA-016), N°27 (carta ALB-GMA-2023-SMA-024),

N°28 (carta ALB-GMA-2023-SMA-030), N°29 (carta ALB-GMA-2023-SMA-030), N°30 (carta ALB-GMA-2023-SMA-039), N°31 (carta ALB-GMA-2023-SMA-046), N°32 (carta ALB-GMA-2023-SMA-050), N°33 (carta ALB-GMA-2023-SMA-054), N° 34 (carta ALB-GMA-2023-SMA-064), N°35 (carta ALB-GMA-2023-SMA-071), N°36 (carta ALB-GMA-2024-SMA-006) que corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre respectivamente.

En Fase II (Fase activada desde 2021 a la fecha)

- Se hace entrega el día 20 de enero del “Informe de monitoreo N° 6 por activación de la Fase II del PAT sector de Alerta Norte” debido a la superación del umbral de Fase I registrada el 6 de enero. Esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2022-SMA-006. También está el registro de la entrega de este reporte en sus versiones N°19 (carta ALB-GMA-2023-SMA-012), N°20 (carta ALB-GMA-2023-SMA-016), N°21 (carta ALB-GMA-2023-SMA-024), N°22 (carta ALB-GMA-2023-SMA-030), N°23 (carta ALB-GMA-2023-SMA-030), N°24 (carta ALB-GMA-2023-SMA-039), N°25 (carta ALB-GMA-2023-SMA-046), N°26 (carta ALB-GMA-2023-SMA-050), N°27 (carta ALB-GMA-2023-SMA-054), N°28 (carta ALB-GMA-2023-SMA-064), N°29 (carta ALB-GMA-2023-SMA-071) N°30 (carta ALB-GMA-2024-SMA-006) en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre respectivamente.
- En junio de 2023 según lo informado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-035 se hace entrega de los resultados del Segundo Informe de la Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de Salmuera; cumpliendo así con el compromiso establecido en el Anexo 3 de la Adenda 5 del Proyecto aprobado por la RCA 021/2016.
- Con fecha 02 y 15 de noviembre, se informó a la autoridad que la medición en el pozo L5-10 tuvo una superación del umbral de Fase II, lo que queda registrado en la carta ALB-GMA-2023-SMA-057 y ALB-GMA-2023-SMA-062. Dado que el sector se encuentra activado desde 2021, no se tomaron medidas adicionales a las que ya se están ejecutando.
- Para el año 2023 se mantuvo activa la Fase II del PAT sector Alerta Norte durante los 12 meses del año operacional 2023, lo que se traduce en una reducción de 27,6 l/s durante esos meses según lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5. Según la fórmula indicada, el límite de la extracción para el año operacional 2023 (octubre 2022 – septiembre 2023) correspondería a 414,4 l/s.

Respecto a las medidas consideradas en el PAT en activación del sector Alerta Núcleo Fase I, durante el año 2023 se ejecutó lo siguiente:

- Aviso a la autoridad mediante la carta ALB-GMA-2023-SMA-051, que el día 29 de septiembre de 2023 se registró la tercera medida mensual en el punto PN-08A bajo el umbral Fase I contenido en el Plan de Alerta Temprana, por lo que se activa este sector de Alerta.
- Dado la activación del PAT en activación del sector Alerta Núcleo Fase I, y según lo registrado en las cartas ALB-GMA-2023-SMA-065, ALB-GMA-2023-SMA-072 y ALB-GMA-2023-SMA-007; se aumenta la frecuencia de monitoreo por 3 meses desde octubre a diciembre 2023. Esta condición se mantiene en los primeros meses del año 2024 dado que el PAT continúa activo.
- Entre los meses de enero y febrero de 2024 se comienza la elaboración del informe de efecto sinérgico a modo de analizar el impacto acumulativo de todas las variables asociadas a las actividades de Albemarle, el cual será entregado en el mismo año.

Respecto a las medidas consideradas en el PAT en activación del sector Alerta Acuífero Fase Única, durante el año 2023 se ejecutó lo siguiente:

- Avisó a la autoridad mediante la carta ALB-GMA-2023-SMA-007, que el día 31 de enero de 2023 se registró una tercera medida mensual en el punto BA-07 presenta medidas bajo el umbral contenido en el Plan de Alerta Temprana, por lo que se activaba este sector de Alerta.
- Se aumenta la frecuencia de monitoreo por 3 meses desde febrero a abril 2023, pero se incluye el mes de mayo, dado que no se logró acuerdo en la coordinación del acceso al territorio con la Comunidad de Peine; y Albemarle en forma proactiva decidió monitorear un mes más para cubrir los 3 meses.
- Con fecha 28 de marzo, 27 de abril, 31 de mayo, 29 de junio, 27 de julio, y 31 de agosto respaldado por las cartas ALB-GMA-2023-SMA-015, ALB-GMA-2023-SMA-023 y ALB-GMA-2023-SMA-029, ALB-GMA-2023-SMA-033, ALB-GMA-2023-SMA-038 y ALB-GMA-2023-SMA-047 respectivamente, Albemarle entregó a la autoridad los informes de monitoreo mientras el PAT el sector Acuífero se encontraba activado.
- Con fecha 1 de diciembre, mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-066 se informó a la autoridad que, *“dado que el PAT del Núcleo está activado, se están tomando mediciones quincenales en todos los puntos y, por ende, existen tres mediciones*

puntuales con niveles bajo el umbral en el punto BA-07, estas corresponden sólo a un mes y medio consecutivo. Dado lo anterior, no se han cumplido los tres meses con niveles bajo el umbral, esperamos que eso se produzca en enero del 2024. No obstante, Albemarle, comenzará a tomar de manera preventiva las mediciones de aumento de frecuencia de monitoreo y las otras acciones estipuladas en el Anexo 3 de la Adenda 5”.

- Se aumenta la frecuencia de monitoreo por 3 meses desde diciembre 2023 a febrero 2024 a modo de cumplir con los tiempos de monitoreos correspondientes. Los monitoreos mensuales se mantienen en marzo de 2024 dado que se mantiene la activación del PAT.
- Para el año 2023 se mantuvo activa la Fase Única del PAT sector Alerta Acuífero durante diciembre y los primeros meses del año operacional 2024, lo que se traduce en una restricción del bombeo de salmuera a 382 l/s y el de agua a 10,9 l/s en forma mensual, mientras el PAT está activado según lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5.

6.3.6.2 *Entrega informe Investigación de causas*

- Con fecha 31 de julio de 2023, Albemarle hace entrega a la autoridad del “Informe de Investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del Plan de Alerta Temprana”, a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-040.

6.3.6.3 *Entrega informe Efectividad de la medida*

- Con fecha 29 de junio de 2023, Albemarle hace entrega a la autoridad del “Informe de Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de Salmuera”, a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-035.

6.3.6.4 *Entrega informe Verificación Efecto Sinérgico*

- De acuerdo con lo comprometido, para el año 2023 no aplica la entrega de dicho informe, dado que durante el año 2022 no hubo cambio de Fase de activación en el sector Alerta Norte.

7 CONCLUSIONES

El presente informe N° 8 del Plan de Seguimiento Ambiental de los Recursos Hídricos (PSAH) da cuenta del cumplimiento del compromiso de monitoreo periódico que ejecuta Albemarle sobre la componente hídrica de la cuenca del Salar de Atacama en cuanto a sus variables físicas y químicas más importantes, las cuales reflejan y permiten analizar el comportamiento del sistema hídrico. Asimismo, este informe da cumplimiento a los considerandos vinculados a la componente hídrica N°7, 10.18 y 10.19 de la RCA N°21/2016, que calificó favorablemente el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”.

En relación con el objetivo de presentar los resultados de muestreo, medición, análisis y/o control de los parámetros, de forma gráfica y numérica, histórica con énfasis en los datos del año 2023 (enero-diciembre). Y mencionar los límites considerados en la evaluación para cada parámetro, según corresponda. A realizar (Res. Ex. N°223/2015) “a) El análisis cualitativo, cuantitativo y la evolución de los parámetros en el tiempo, en relación con los límites considerados en la evaluación ambiental, los valores de la línea base y los resultados de los informes anteriores según corresponda” dicho análisis se realiza tanto del Núcleo como de la Zona Marginal”. A continuación, se concluye respecto a ello.

En relación a la meteorología, se tiene que los registros de precipitación de las diferentes estaciones consideradas (EM-Rockwood , EM-Camar , EM-El Tatio , EM-peine , EM-Rio Grande, EM-san pedro de atacama, EM-Socaire, EM-Talabre, EM-Toconao Experimental, EM-Chaxa, y EM-KCL) muestran que la cota de altitud de las estaciones es un factor importante la distribución de las precipitaciones, registrándose mayor frecuencia y volumen en las estaciones ubicadas a mayor altitud, por ejemplo, en la estación EM-El Tatio, con mayor altitud (4.329 m s.n.m.) se presentan precipitaciones con un promedio anual de 132,7 mm/año (periodo 2000-2023) , y en la estación EM-KCL, ubicada en la menor altitud junto a EM-Rockwood (2.300 m s.n.m.), la precipitación promedio anual es de 9 mm/año (periodo 2000-2023). En la estación Rockwood los registros del 2023 muestran mayores precipitaciones respecto al 2021 y 2022, sin embargo, los datos de las estaciones Chaxa y KCL continúan mostrando una tendencia al descenso. La estación meteorológica EM-Rockwood para el año 2023, en relación con las probabilidades de excedencia, se clasifica como un año normal a húmedo. Se generó respuesta en los niveles con un aumento notable asociados a la precipitación del año 2023, en Norte y Borde Este (BA-31), y en el núcleo del lado este y el centro (por ej. PN-19). En relación con las temperaturas las máximas se registran entre octubre y abril, coincidiendo principalmente con las estaciones de primavera y verano, y las temperaturas mínimas se registran entre los meses de mayo y septiembre, coincidiendo principalmente con las estaciones de otoño e invierno. Los registros de presión atmosférica muestran variaciones de

origen estacional, registrándose los valores máximos en las estaciones húmedas (entre los meses de mayo y agosto) y los valores mínimos en las estaciones secas (entre los meses de octubre y marzo). La evaporación muestra variaciones estacionales en donde los mayores registros de evaporación se presentan en las estaciones cálidas de primavera-verano, mientras que los menores registros se encuentran en las estaciones frías de otoño-invierno. Estos parámetros mencionados no tienen límites comprometidos. Los resultados de las tasas de EVT, muestran valores máximos en estaciones más cálidas y valores mínimos para las estaciones más frías.

Sector La Punta – La Brava

En el sector La Punta – La Brava, en relación con la superficie lagunar calculada mediante imágenes satelitales de alta resolución durante el año 2023, presentó mayores superficies que las medidas en el año 2022, esto posiblemente atribuido a las mayores precipitaciones ocurrida en 2023, no obstante, las superficies siguen siendo menores que los mínimos definidos por las 4 o 5 imágenes disponibles de antes del inicio del Proyecto (Adenda 5, que corresponden a 4 imágenes satelitales de marzo 2006, marzo 2007, abril 2011 y abril 2013). Además, se observa entre el año 2021 y 2023, una tendencia a mantenerse estables para las medidas de invierno (agosto) y aumentos en la superficie lagunar desde 2021 en verano (diciembre). Es importante destacar que las superficies obtenidas de las imágenes AR históricas disponibles y las imágenes AR del PSAH, han sido determinadas en meses distintos, específicamente en marzo y abril para las imágenes AR históricas, y en agosto y diciembre para las imágenes AR del PSAH. Por otra parte, se cuenta con superficies calculadas mediante imágenes satelitales Landsat, de mediana resolución, para el período 2016-2023, se observa la variabilidad estacional regulada por la evaporación, y los efectos puntuales de la precipitación, los que tienen un rol secundario con aumentos localizados, que se traduce tanto en una variabilidad intranual como interanual. En el caso de las superficies Landsat, se indica que los valores se encuentran levemente superiores de las superficies lagunares mínimas históricas definidas con las imágenes de mediana resolución presentadas en la Adenda 5.

En relación con las mediciones del nivel limnimétrico de las lagunas, en general se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de estaciones frías. Históricamente en el sector La Punta-La Brava específicamente la zona de vegas de Tilopozo (LM-16), muestra una tendencia a mantener los niveles relativamente estables durante todo el periodo de registro (2016 a 2023), así como también en 2023. Por otro lado, en las lagunas La Punta y la laguna La Brava los registros históricos muestran descensos, estos son menores en el año 2023 (1 a 2 cm). En la Punta-La Brava, durante el año 2023 los niveles se mantienen dentro del comportamiento con ascensos y descensos estacionales esperados.

Respecto los niveles en el sector La Punta-La Brava, en términos generales, se observa oscilación estacional, con mayores descensos y amplitudes en el norte y menores en el sur de las lagunas. Los niveles freáticos tanto de la zona norte como el este, centro y sur no mostraron aumentos abruptos relacionados a las precipitaciones mayores ocurridas en el año 2023. En relación con las precipitaciones históricas, el sector norte se ha mostrado sensible a los eventos de precipitación importantes. La zona sur de lagunas, responden a la recarga de flujos subsuperficiales y subterráneos, provenientes desde la parte sur de la cuenca y de infiltración por precipitación directa, muestran menores descensos históricos netos que los otros sectores y amplitudes históricas también menores. Para el periodo 2013-2023 se observan tendencias al descenso (centimétricas) que estarían relacionados con la influencia de los conos de descenso provenientes desde el sur, producto del bombeo histórico del campo de pozos del sector Monturaqui y Negrillar en la cabecera de la cuenca.

De los puntos de monitoreo del Borde Sur se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas recuperándose en los meses de estaciones frías. En Tilopozo se observan niveles históricos estables. Se destaca también la tendencia más al sur, con descensos mayores relacionados con la llegada de los efectos de la extracción de agua industrial desde el acuífero Monturaqui-Negrillar.

La composición química del agua y salmuera se mantiene dentro de la variabilidad histórica. Las aguas lagunares son básicas, las salobres son neutras a básicas y las salmueras son ácidas. Respecto a las conductividades eléctricas, las salmueras poseen las más elevadas, seguido de las aguas lagunares debido a los procesos de evaporación y finalmente las aguas salobres y de vertiente. Mientras la Interfase salina permanece estable durante el año 2023 y dentro de lo observado históricamente para los puntos de medición.

En relación a los bombeos de agua dulce-salobre, la extracción conjunta de los 2 puntos de extracción (Tilopozo y Tucúcaro) de agua dulce-salobre del sector durante el año operacional 2023 fue de 7,87 l/s, respetando el caudal máximo para extracción conjunta de 16,9 l/s, cumpliendo con la medida referente a la activación del sector de Alerta Acuífero de que la extracción conjunta no debe superar los 10,9 l/s durante los meses que estas medidas preventivas se encuentren activas.

Sector Peine

En relación con la superficie ocupada por las lagunas en el sistema Peine, esta muestra extensiones máximas en los meses de verano (diciembre) y mínimos en los meses de invierno (agosto), mostrándose con las imágenes Landsat (de mayor frecuencia) respuestas claras del sistema lagunar ante los eventos importantes de precipitación. En relación con la superficie

lagunar calculada mediante imágenes de alta resolución, las mediciones de invierno y verano se encuentran bajo los valores mínimos calculado con las 4 imágenes AR disponibles de este sistema lagunar previas al inicio del Proyecto. Es importante destacar que las superficies obtenidas de las imágenes AR históricas disponibles y las imágenes AR del PSAH, han sido determinadas en meses distintos, específicamente en marzo y abril para las imágenes AR históricas, y en agosto y diciembre según compromiso de seguimiento para las imágenes AR del PSAH. Por otra parte, se cuenta con superficies calculadas mediante imágenes satelitales Landsat, de mediana resolución, para el período 2016-2023. En el caso de las superficies Landsat, se indica que los valores se encuentran levemente superiores de las superficies lagunares mínimas históricas definidas con las imágenes de mediana resolución presentadas en la Adenda 5.

Los niveles freáticos, en general presentan variaciones estacionales relacionadas con la evaporación y aumentos bruscos asociados a eventos de precipitación para luego presentar descenso; esto es más acentuado en los puntos más cercanos al núcleo.

En el sector Peine los niveles históricos limnimétricos de la Laguna Salada y Laguna Saladita y Laguna Interna muestran tendencias de ascensos y descensos leves. El registro para el año 2023, dada la escasa disponibilidad de puntos no permite realizar un análisis más detallado de tendencia o amplitudes. En la zona media de lagunas se cuenta con mayor cantidad de datos (6 meses) en relación con la data histórica se mantienen los niveles dentro de los rangos de oscilación natural, excepto en el punto E-4 que presenta mínimos históricos. Según los datos disponibles del año 2023, los puntos ubicados en laguna Interna muestran respuesta importante a las precipitaciones en este periodo.

En la Punta- La Brava, en relación con la data histórica los niveles se mantienen dentro de los rangos de oscilación natural, exceptuando los puntos LM-01 y LM-02 (La Punta), que muestran niveles mínimos en 2023. En Peine, el registro de los niveles limnimétricos para el año 2023 presenta escasa data, por lo que no es posible observar la oscilación estacional, en relación con la data histórica se mantienen los niveles dentro de los rangos de oscilación natural, excepto en el punto LM-17 (ubicado en avance laguna interna, por lo que muestra fluctuaciones) y E-4 que presenta mínimos históricos en 2023. En el sector Norte y Borde Este, durante el año 2023, al igual que para el sector de Peine, no se cuenta con todas las mediciones limnimétricas, principalmente, por restricción de acceso por parte de CONAF (carta N° 23/2022), se observan en general dentro de la oscilación natural, excepto en los puntos LM-11 y LM-13 en los cuales se observan niveles mínimos (2023).

En general, los datos de caudales superficiales de las campañas de monitoreo del año 2023 muestran valores dentro del rango histórico, manteniéndose dentro de la variabilidad natural y

estacional de cada punto de medición, con valores menores durante los meses de verano. La Vertiente Peine muestra un mínimo histórico en septiembre del año 2023 con de 3 l/s, para el resto de los puntos de aforo (AFP-01 a AFP-04), se tiene que desde el año 2020 a la fecha los caudales aforados han ido con tendencia al aumento, presentándose en el 2023 con máximos históricas.

Para el Sector Peine, los niveles freáticos registrados durante el año 2023 y Zona media de lagunas se encuentran dentro de la variabilidad natural registrada en las campañas de monitoreo anteriores. Laguna Interna muestra descensos en relación con los históricos, se observan descenso en todo el sector, se destaca el comportamiento zonal de los niveles donde a medida que los puntos de monitoreo se alejan del borde del Núcleo del salar disminuyen los descensos y el grado de respuesta asociada a los eventos de precipitación.

La composición química del agua y salmuera se mantiene dentro de la variabilidad histórica. Las aguas lagunares son básicas, las salobres son neutras y las salmueras acidas. Respecto a las conductividades eléctricas, las salmueras poseen las más elevadas, mientras que las aguas salobres y superficiales (a excepción del LM-17 debido a su ubicación en el avance de Laguna Interna) presentan rangos similares de conductividades eléctricas, siendo ligeramente más elevados los valores en las lagunas. Mientras la Interfase salina permanece estable durante el año 2023 y dentro de lo observado históricamente para los puntos de medición.

En el pozo Peine se cuenta con autorización por derecho de aprovechamiento de agua para extraer un máximo de 5 l/s; durante al año operacional 2023 el caudal extraído del pozo Peine fue de 0,04 l/s por lo que los caudales de extracción se mantuvieron dentro de lo autorizado ambientalmente.

Sector Norte y Borde Este

El Sector Norte y Borde Este, está constituido por el sistema lagunar de Soncor y el sistema lagunar Aguas de Quelana.

Al considerar las superficies lagunares del PSAH desde imágenes de alta resolución (AR invierno y AR verano) para el sector Aguas de Quelana se puede observar una cierta variabilidad estacional, con fluctuaciones entre inviernos y veranos de diferente magnitud coincidente con el comportamiento histórico en imágenes Landsat. Al realizar una comparación con las superficies semestrales del PSAH con los registros históricos disponibles presentados en la Adenda 5 se tiene que los resultados de diciembre 2020, 2021, 2022 y 2023 se encuentran bajo el menor valor de las 5 imágenes AR de referencia. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las 4 superficies disponibles previas al inicio del Proyecto de alta resolución han sido determinadas en meses distintos (marzo y abril) a los

reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual de este sistema.

Es importante destacar que en este sistema lagunar se observa la mayor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, siendo en el periodo de verano donde se producen las mayores disminuciones del sistema, pudiendo reducirse hasta en un 98%. Del seguimiento comprometido, de la serie Landsat (PSAH 2016-2023), se tiene que las estimaciones de superficies de lagunas se encontrarían dentro de los rangos máximos y mínimos históricos. Se destacan las diferencias observadas al comparar los registros de invierno y verano históricos (1971 a 2023 Landsat), siendo una de las más evidentes la disminución en verano de los pequeños cuerpos de agua que muestran una reducción en su extensión y número. Además, se evidencia una contracción en las zonas de inundación que se originan a partir de la interconexión de estos pequeños cuerpos de agua al presentarse eventos de precipitación. La reducción en la extensión de estos humedales y áreas inundadas se ve acrecentada en los meses de verano desde diciembre de 2019.

En relación con las superficies lagunares del sistema Soncor, los registros de las imágenes satelitales de alta resolución se comportan según la estacionalidad esperada para todo el período. Las superficies del año 2023 son las menores de este registro, por debajo de los 5 registros históricos disponibles anteriores al inicio del Proyecto. La comparación entre las mediciones de verano del PSAH, con los registros presentados en la Adenda 5 muestran que desde el año 2018 a la fecha, solamente en diciembre de 2019 la superficie fue superior al valor mínimo de referencia (marzo 2007). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas disponibles en alta resolución han sido determinadas en meses distintos (marzo y abril) a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad estacional descrita previamente. Desde la serie Landsat histórica 1972-2014, es posible observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo los años con menor superficie de invierno los años 2002 y 2014. Adicionalmente, se observa para los últimos años una reducción de su superficie de invierno y verano, al igual que lo observado en los registros de la serie Landsat 2016/2022, y que es consistente con lo observado para el sistema Aguas de Quelana. El registro de imágenes Landsat, permite concluir que la estacionalidad está asociada a la evaporación, indicando que este es el principal factor de variabilidad de las superficies lagunares de Soncor. Por otro lado, se observa que las precipitaciones también pueden generar aumentos en las superficies, pero de forma local. La superficie de la Laguna Aguas de Quelana, muestran superficies mayores al mínimos histórico y Soncor superficies menores, siendo esta última la única superficie que presenta mínimos en relación a los medidos históricamente a partir de imágenes Landsat.

En relación con los niveles limnimétricos del Sistema Soncor y Aguas de Quelana, en el sistema Soncor se cuenta con puntos escasos dadas las restricciones para medir, muestran tendencias principalmente estables o descendentes (2 y 8 cm), además de comportamientos sincrónicos con variaciones estacionales, que en el año 2023 los niveles se muestran más estabilizados. Ambos sectores se observan dentro de la variabilidad histórica.

En cuanto al Sector Norte y Borde Este, presenta también oscilaciones estacionales. En el sector de Soncor se observa que posterior a las precipitaciones, los niveles retoman la tendencia pre-lluvia, similar a lo observado en los puntos de la zona Laguna Interna del sector Peine. Para el sistema Aguas de Quelana muestran tendencias al descenso histórico (2-3 cm) y responden mínimamente a los eventos de precipitaciones intensas. (2016-2023), La recarga en la zona Este se deduce que ocurre principalmente por flujos de aporte subsuperficial y subterráneo, y en menor escala por precipitaciones y aportes superficiales, reconociéndose períodos de aumento tanto en los meses de verano como en los meses de invierno.

La composición química del agua y salmuera se mantiene dentro de la variabilidad histórica. Todas las aguas de este sector son ligeramente básicas. Respecto a las conductividades eléctricas, las aguas lagunares muestran gran amplitud en su oscilación estacional, alcanzando valores altos en verano. Por otro lado, los puntos de agua subterránea difieren, teniendo el punto BA-31 conductividades eléctricas típicas de salmuera, y el MP-12A las conductividades más bajas del sector. Mientras, la Interfase salina permanece estable durante el año 2023 y dentro de lo observado históricamente para los puntos de medición.

Sector Núcleo

Los niveles en el núcleo presentan en general una tendencia al descenso, de acuerdo con los descensos modelados producto de las extracciones de salmuera ambientalmente aprobadas. En el Núcleo también se registran ascensos de nivel puntuales que responden a los eventos de precipitación y, en consecuencia, recarga del sistema. Por otra parte, los niveles no muestran una tendencia estacional marcada durante los últimos años, debido a que las tasas de evapotranspiración registradas en el Núcleo son, en general, menores a 0,3 mm/día, y porque la mayoría de los niveles se encuentran bajo de la profundidad de extinción de la evaporación (aprox. 2 metros).

En la zona de producción, los niveles presentan un comportamiento variable y con tendencia al descenso, influenciados por la explotación de los pozos productivos. Los descensos generados son menores a medida que se alejan de esta. En la zona centro norte todos los pozos del sector presentan un comportamiento similar y sincrónico, con rápidas respuestas a eventos de precipitación intensa como los ocurridos en febrero 2019 y agosto de 2020, por ejemplo, en el evento de precipitaciones de enero del año 2019, generaron aumentos de nivel de 0,67 m en PN-19 y 0,89 m en ES-11 (medidos entre enero y febrero 2019). En cuanto al sector del Núcleo hacia el Oeste, estos no muestran respuesta a los eventos de precipitación, debido a que presentan niveles más profundos que siguen una tendencia al descenso, como el registro histórico.

Finalmente, para el sector del Núcleo Este, el comportamiento de los niveles de todos los pozos es sincrónico, con tendencia general al descenso, la que se interrumpe con las recuperaciones de niveles que provocan los eventos de precipitación intensas como las observadas en marzo 2013, abril 2015, febrero 2017, marzo 2019, agosto 2020 y marzo 2023. Entre los años 2002 y 2013 no se generaron recuperaciones de nivel por este fenómeno, debido a la ausencia de precipitaciones significativas. En el año 2023, generaron aumentos en los niveles en el sector este y centro del núcleo.

El volumen de extracción de salmuera total de las áreas A1 y A2 para el año operacional 2023 fue de 13.060.026 m³, lo que equivale a un caudal medio anual de 414,13 l/s, que cumple con el caudal medio anual establecido en la evaluación ambiental de 442 l/s y el límite para el año operacional 2023 de 414,4 l/s derivado de la activación de la Fase II de Alerta Norte. Por otra parte, debido a las medidas preventivas adoptadas por Albemarle en el marco de la activación del sector de Alerta Acuífero, Albemarle, entre febrero y julio, cumplió con extraer un caudal medio de bombeo mensual menor al límite autorizado durante la activación del PAT de 382 l/s.

Por otra parte, en relación con el objetivo (Res. Ex. N°223/2015) “Si fuese el caso presentar las medidas o acciones adoptadas ante resultados que presentan desviaciones al comportamiento esperado de la variable ambiental en el tiempo.”

En relación con esto, destaca efectivamente que el presente PSAH, incluye el reporte de los puntos de activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) y sus umbrales establecidos con referencia en el Considerando N° 10.18 de la RCA N°21/2016, el cual “permite detectar anticipadamente en el tiempo y el espacio desviaciones del nulo efecto pronosticado sobre los objetos de protección” (sistemas lagunares).

En cuanto a las activaciones se tiene que para el año 2023, en el sector de Alerta Norte, se mantuvo activado en Fase II durante todo el año 2023, debido a la activación de esta fase por el punto L1-5 en junio del 2021. Por otra parte, en el sector de Alerta Núcleo, en el mes de septiembre de 2023, en el punto PN-08A, se activó la Fase I lo que se mantiene a lo largo de todo 2023. Y finalmente, en el sector de Alerta Acuífero, en enero 2023 se activó el PAT en su Fase Única debido a la superación del umbral del pozo BA-07 durante tres medidas consecutivas, y se vuelven a activar las medidas preventivas del PAT correspondientes desde el 1 de diciembre 2023.

En relación con las medidas preventivas comprometidas y adoptadas por Albemarle durante el año 2023, y de acuerdo a las activaciones del PAT, se tiene que por la activación del sector de Alerta Norte, se hace entrega mensual a la autoridad los datos de monitoreo en formato digital, desde 2021 hasta la fecha a la autoridad, y en agosto 2023 se realiza la entrega del Segundo “Informe de Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de salmuera” por la activación de la Fase II del PAT Alerta Norte.

También se realiza reducción de la extracción de salmuera, en cuanto, las extracciones durante el año operacional no superaron el nuevo límite anual máximo de 414,4 l/s.

Debido a la activación del sector de Alerta Núcleo, se aumentó de la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas. Además, se entrega mensualmente a la autoridad los datos de monitoreo en formato digital.

Por último, debido a la activación del sector de Alerta Acuífero se aumentó la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas, y se realizó la reducción precautoria de la extracción de salmuera y agua industrial, cumpliendo con un caudal medio mensual de extracción de

salmuera menor o igual a 382 l/s y para agua industrial se bombeó menos de 10,9³⁵ l/s. Se hizo la revisión extraordinaria de los resultados y del seguimiento del Plan de Manejo Biótico, la cual fue entregada en el informe de investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del PAT. Además, se entregó de forma mensual a la autoridad de los datos de monitoreo en formato digital. Y, por último, se entregó el informe “Investigación voluntaria de las causas del desvío de los pronósticos y activación del PAT el que fue entregado a la SMA, con fecha julio 2023.

³⁵ Bombeos mensuales con esta restricción es entre febrero y julio 2023, bombeando 6,9 l/s (febrero), 8,6 l/s (marzo) 9,2 l/s (abril) 10,3 l/s (mayo), 7,7 l/s (junio) y 4,4 l/s (julio).

8 REFERENCIAS

ALBEMARLE-VAI, 2020. “Informe Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH) N°5, periodo Enero-Diciembre 2020. Entregado a SMA marzo 2021.

ALBEMARLE-VAI, 2022. “Complemento Herramienta de Verificación del Efecto Sinérgico Salar de Atacama; Activación PAT RCA N°21/2016; Sector de Alerta Norte, Fase II, en Fecha 28.06.2021”. Entregado a SMA enero 2022.

ALBEMARLE-VAI, 2023. “Tercera Actualización del Modelo de Flujo de Agua Subterránea en el Salar de Atacama RCA 21/2016”. Entregado a SMA marzo 2023.

ALBEMARLE-VAI, 2023. “Informe Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH) N°7, periodo Enero-Diciembre 2022. Entregado a SMA marzo 2023.

TEJADA, DIANA & SANDOVAL, GUSTAVO & PEREDO-PARADA, MATÍAS, 2015. Clasificación de años secos, normales y húmedos mediante el método standardized precipitation index adaptado a caudal medio mensual: aplicación en mulchén. sea 2012. guía para el uso de modelos de aguas subterráneas SEIA. Editor: Servicio de Evaluación Ambiental, SEA ISBN: 978-956-9076-12-1 2012. (2015).

SQM, 2014. Informe N°15 del PSAH del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, 2014.

SQM, 2016. Informe N°17 del PSAH del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, 2016.

SQM, 2022. Estudio de Impacto Ambiental "Plan de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama" SQM Salar S.A. Provincia de El Loa, Región de Antofagasta, 2022.

STANNARD, D. I., 1988. “Use of a hemispherical chamber for measurement of evapotranspiration”, 1988.

MEL 2020. Plan de Alerta Temprana para Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo. Minera Escondida Informe N°19: Revisión hasta fines de 2019. Marzo, 2020.

RWL-SGA, 2015. “Plan de seguimiento ambiental y plan de alerta temprana de los recursos hídricos”. Anexo 3 de la Adenda 5 del EIA “Modificación y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama”, 2015.

RWL-SGA, 2021. “Segunda Actualización del Modelo Hidrogeológico Numérico”. Entregado a la SMA en el mes de marzo del 2021.