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° 9

Período Enero – Diciembre 2024



Región de Antofagasta

Marzo 2024

Nombre	Profesión/Cargo	Empresa	Elaborador	Revisor	Aprobación técnica
Paulette San Martin	Ingeniero Ambiental /Líder Monitoreo y Seguimiento Ambiental	Albemarle		X	X
Ignacio Toro	Ingeniero Hidráulico /Gerente de Medio Ambiente	Albemarle		X	
Eliana Diaz	Hidrogeóloga/Hidrogeóloga	Albemarle		X	X
Laura Vitoria	Hidrogeóloga Senior (PhD) / Revisor estratégico	Gestionare		X	X
Ana María Gangas	Ingeniero Civil Hidráulica / Revisor estratégico	Hidromas		X	X
Natalia Vega	Hidrogeóloga Senior / Elaborador	VAI	X		X
Juan Carlos Zamudio	Geoquímico Senior	VAI	X		
Natalia Rojas	Ingeniero Civil Hidráulico / Elaborador	VAI	X		
Javiera Saldías	Geóloga / Elaborador	VAI	X		
Eliseo Arias	Geólogo Junior / Elaborador	VAI	X		

INDICE GENERAL

1 RESUMEN ... 19

2 INTRODUCCIÓN ... 29

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 ... 47

4.2.1 Red de Monitoreo Variables Meteorológicas ... 49

4.2.2 Red de Monitoreo de Evapotranspiración ... 52

4.2.3 Red de Monitoreo Superficie Lagunar ... 56

4.2.4 Red de Monitoreo de Nivel, Posición Interfase Salina, Aforos y Composición Química del agua superficial y subterránea ... 59

4.2.5 Red de Monitoreo Pozos de Bombeo de Salmuera y de Agua Duce-Salobre ... 76

4.2.6 Puntos de Activación del Plan de Alerta Temprana ... 80

4.3 Metodología y Materiales/Equipos de Muestreo, Medición y/o Análisis ... 84

4.3.1 Variables Meteorológicas ... 84

4.3.2 Evapotranspiración ... 85

4.3.3 Superficie Lagunar ... 92

4.3.4 Aforos de Caudales Superficiales ... 96

4.3.5 Nivel Limnimétrico de las Lagunas ... 100

4.3.6 Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua Dulce-Salobre ... 101

4.3.7 Posición de la Interfase Salina ... 103

4.3.8 Composición Química de las Aguas ... 105

4.3.9 Caudales y Volúmenes Bombeados de Salmuera y de Agua Dulce-Salobre ... 114

4.4 Fechas e Incidentes campañas 2024 ... 114

4.4.1 Fechas Campañas 2024 ... 114

4.4.2 Incidentes Campañas 2024 ... 117

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS POR VARIABLE ... 125

5.1 Variables meteorológicas ... 125

5.1.1 Precipitación ... 131

5.1.2 Temperatura ... 133

5.1.3 Presión atmosférica ... 134

5.1.4 Evaporación ... 135

5.2 Evapotranspiración ... 136

5.2.1 Sector La Punta-La Brava ... 138

5.2.2 Sector Peine ... 140

5.2.3 Sector Norte y Borde Este ... 142

5.2.4 Sector Núcleo 146
5.3 Superficie Cubierta por Lagunas 148
5.3.1 La Punta - La Brava 149
5.3.2 Peine 151
5.3.3 Aguas de Quelana 153
5.3.4 Soncor 155
5.4 Nivel limnimétrico de las lagunas 157
5.4.1 Sector La Punta-La Brava 157
5.4.2 Sector Peine 161
5.4.3 Sector Norte y Borde Este 167
5.5 Caudales Superficiales 171
5.6 Nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre 176
5.6.1 Sector La Punta – La Brava 177
5.6.2 Sector Peine 189
5.6.3 Sector Norte (Zona Salmuera) y Borde Este (Zona Dulce) 195
5.6.4 Sector Núcleo (Zona Salmuera) 197
5.7 Posición de la Interfase Salina 205
5.7.1 Sector La Punta – La Brava 206
5.7.2 Sector Peine 219
5.7.3 Sector Norte y Borde Este 232
5.8 Composición Química de las aguas 235
5.8.1 Conductividad Eléctrica en el Salar de Atacama 236
5.8.2 Cumplimiento del error de Balance Iónico 237
5.8.3 Sector La Punta – La Brava 238
5.8.4 Sector Peine 254
5.8.5 Sector Norte y Borde Este 270
5.8.6 Química de los Pozos de Extracción 285
5.9 Caudales bombeados en salmuera y en agua dulce-salobre 290
5.9.1 Caudales bombeados en salmuera 290
5.9.2 Caudales bombeados en agua dulce-salobre 302
5.10 Limites Comprometidos por Variable y Limites PAT 307
5.10.1 Actualización de cálculo de umbrales para PAT Sector Alerta Acuífero. 309
6 DISCUSIONES 311
6.1 Análisis de la variabilidad temporal y/o espacial de las Variables Ambientales y Limites Considerados por Variable 311
6.1.1 Variables meteorológicas 311
6.1.2 Evapotranspiración 343
6.1.3 Superficie Cubierta por Lagunas 354

6.1.4 Nivel limnimétrico histórico de las lagunas ... 376
6.1.5 Caudales Superficiales ... 386
6.1.6 Nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre ... 391
6.1.7 Posición de la Interfase Salina ... 424
6.1.8 Composición química del agua superficial y subterránea ... 448
6.1.9 Caudales bombeados en salmuera y en agua dulce-salobre ... 519
6.1.10 Red del Plan de Alerta Temprana ... 533
6.2 Análisis Integrado de la Información por Sectores ... 548
6.2.1 Sector La Punta – La Brava ... 548
6.2.2 Sector Peine ... 559
6.2.3 Sector Norte y Borde Este ... 571
6.2.4 Sector Núcleo ... 582
6.3 Compromisos y Reportabilidad con la Autoridad durante 2024 ... 585
6.3.1 Entrega periódica de información digital ... 585
6.3.2 En relación con la conexión en línea y reporte electrónico para el monitoreo del componente hídrico, la Res. Ex. SMA Nº 1.314 / 2020 se establece lo siguiente: ... 586
6.3.3 En relación con los Lisímetros, Considerando 10.5 y 10.6 de RCA Nº21/2016. ... 586
6.3.4 En relación con Modelo Hidrogeológico, Considerando 10.7 de RCA Nº21/2016 ... 587
6.3.5 En relación con la cota topográfica de referencia, considerando 10.10 de la RCA Nº21/2016. ... 587
6.3.6 En relación con las activaciones de los PAT ... 587
7 CONCLUSIONES ... 594
8 REFERENCIAS ... 604

INDICE FIGURAS

Figura 4-1 Plano de Ubicación General del Salar de Atacama 42
Figura 4-2 Conceptualización de la Interfase salina y zonas hidroquímicas para el Salar de Atacama 43
Figura 4-3 Zoom de Conceptualización de zona intermedia, sector La Punta La Brava..... 44
Figura 4-4 Definición de Zonas y subcuencas del Salar y Sectores Asociados con el PSAH 46
Figura 4-5 Ubicaciones de las Estaciones Meteorológicas 51
Figura 4-6 Red Monitoreo Evapotranspiración 54
Figura 4-7 Esquema funcionamiento lisímetro..... 55
Figura 4-8 Red Superficie Cubierta por Lagunas..... 58
Figura 4-9 Puntos de Monitoreo Sector La Punta-La Brava 61
Figura 4-10 Puntos de Monitoreo Sector Peine 65
Figura 4-11 Puntos de Monitoreo Sector Norte y Borde Este..... 69
Figura 4-12 Puntos de Monitoreo Sector Núcleo 72
Figura 4-13 Ubicación Puntos de Bombeo Salmuera..... 79
Figura 4-14 Ubicación Puntos PAT 81
Figura 4-15 Esquema de la cámara semiesférica dispuesta en terreno, con ventiladores y psicrómetro instalados 85
Figura 4-16 Preparación del terreno e instalación del domo 88
Figura 4-17 Densidad de vapor de agua al interior de la cámara semiesférica 90
Figura 4-18 Ejemplo de cálculo de evaporación diaria 91
Figura 4-19 Árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de aguas con imágenes satelitales..... 94
Figura 4-20 Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (ráster) a polígonos (shape) 96
Figura 4-21 Esquema de medición de caudal de aforo 98
Figura 4-22 Aforo con molinete..... 98
Figura 4-23 Esquema de sección de aforo con 2 polígonos..... 99
Figura 4-24 Medición de nivel en reglilla..... 101
Figura 4-25 Medición de Nivel de Agua/Salmuera en Piezómetros 102
Figura 4-26 Sonda SEBA Hydrometrie con sensor MPS-D3..... 104
Figura 4-27 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo PN-08A 121
Figura 4-28 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo MP-12A 122
Figura 4-29 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo E1..... 123
Figura 4-30 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo LM-17..... 124
Figura 5-1 Precipitación diaria EM-Rockwood, 2024 132
Figura 5-2 Precipitación mensual EM-Rockwood, 2024 132
Figura 5-3 Precipitación año calendario y año hidrológico EM-Rockwood, 2024..... 133
Figura 5-4 Temperaturas extremas diarias [°C], 2024..... 134
Figura 5-5 Presión atmosférica diaria, 2024 135
Figura 5-6 Evaporación diaria, 2024 136
Figura 5-7 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, año 2024, Sector La Punta-La Brava..... 139
Figura 5-8 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, año 2024, Sector Peine..... 141
Figura 5-9 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4 y EVT-5, año 2024, Sector Norte 144
Figura 5-10 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, año 2024, Borde Este..... 145
Figura 5-11 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-9, EVT-10 y EVT-13, Sector Núcleo 147
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 2024 - diciembre 2024. 150

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 2024..... 152
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 2024..... 154
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 2024. 156
Figura 5-16 Registro anual de nivel limnimétrico (2024), sector La Punta - La Brava 160
Figura 5-17 Evolución anual (2024) de nivel limnimétrico en sector Peine 166
Figura 5-18 Evolución histórica de nivel limnimétrico, sector Norte y Borde Este..... 170
Figura 5-19 Variación temporal de caudales superficiales Aforados..... 175
Figura 5-20 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava, para el año 2024 180
Figura 5-21 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava, puntos serie BA..... 182
Figura 5-22 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava, serie MP..... 183
Figura 5-23 Hidrogramas de los puntos de observación de la serie MP del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava..... 186
Figura 5-24 Hidrogramas de los puntos de observación Tilopozo y TUC-06 del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava 187
Figura 5-25 Hidrogramas de los puntos de observación del Subzona Vegas de Tilopozo, sector La Punta-La Brava..... 188
Figura 5-26 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine..... 193
Figura 5-27 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Este y sur de Peine 194
Figura 5-28 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Norte y Borde Este 196
Figura 5-29 Hidrogramas de los pozos de observación de los subzonas Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste..... 202
Figura 5-30 Hidrogramas de los pozos de observación del subzona Núcleo Este 203
Figura 5-31 Hidrogramas de los pozos de observación de la Subzona de Producción 204
Figura 5-32 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector La Punta – La Brava 206
Figura 5-33 Perfiles de C.E. en el punto MP-01C año 2024..... 207
Figura 5-34 Perfil trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-01C..... 208
Figura 5-35 Perfiles de C.E. en el punto MP-03C año 2024..... 209
Figura 5-36 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-03C..... 210
Figura 5-37 Perfiles de C.E. en el punto MP-04C año 2024..... 211
Figura 5-38 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-04C..... 212
Figura 5-39 Perfiles de C.E. en el punto MP-05C año 2024..... 213
Figura 5-40 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-05C..... 214
Figura 5-41 Perfiles de C.E. en el punto MP-06C año 2024..... 215
Figura 5-42 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-06C..... 216
Figura 5-43 Perfiles de C.E. en el punto MP-09C año 2024..... 217
Figura 5-44 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-09C..... 218
Figura 5-45 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Peine..... 219
Figura 5-46 Perfiles de C.E. en el punto MP-07C-1 año 2024 220
Figura 5-47 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-07C-1..... 221
Figura 5-48 Perfiles de C.E. en el punto MPS-AC año 2024..... 222
Figura 5-49 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MPS-AC..... 223
Figura 5-50 Perfiles de C.E. en el punto MPS-CC año 2024..... 224
Figura 5-51 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MPS-CC..... 225
Figura 5-52 Perfiles de C.E. en el punto PP-01 año 2024..... 226
Figura 5-53 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto PP-01 227

Figura 5-54 Perfiles de C.E. en el punto PP-02 año 2024 228
Figura 5-55 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto PP-02 229
Figura 5-56 Perfiles de C.E. en el punto PP-03 año 2024 230
Figura 5-57 Perfiles trimestral 202 de C.E. en el punto PP-03 231
Figura 5-58 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Norte y Borde Este 232
Figura 5-59 Perfiles de C.E. en el punto MP-12C año 2024 233
Figura 5-60 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-12C 234
Figura 5-61 Localización puntos de monitoreo Sector La Punta – La Brava 238
Figura 5-62 Variación pH *in situ* Sector La Punta-La Brava 2024 240
Figura 5-63 Variación durante el año 2024 de CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava 241
Figura 5-64 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava 2024 242
Figura 5-65 Variación Temporal de SDT en laboratorio, Sector La Punta-La Brava 2024 243
Figura 5-66 Variación Temporal Densidad en Laboratorio, Sector La Punta-La Brava 244
Figura 5-67 Diagrama de Piper, campaña enero 2024, Sector La Punta-La Brava 247
Figura 5-68 Diagrama de Piper, campaña febrero 2024, Sector La Punta-La Brava 248
Figura 5-69 Diagrama de Piper, campaña abril 2024, Sector La Punta-La Brava 249
Figura 5-70 Diagrama de Piper, campaña julio 2024, Sector La Punta-La Brava 250
Figura 5-71 Diagrama de Piper, campaña agosto 2024, Sector La Punta-La Brava 251
Figura 5-72 Diagrama de Piper, campaña septiembre 2024, Sector La Punta-La Brava 252
Figura 5-73 Diagrama de Piper, campaña octubre 2024, Sector La Punta-La Brava 253
Figura 5-74 Localización puntos de monitoreo Sector Peine 254
Figura 5-75 Variación Temporal pH *in Situ*, Sector Peine 2024 256
Figura 5-76 Variación Temporal CE *in Situ*, Sector Peine 2024 257
Figura 5-77 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector Peine 2024 .. 258
Figura 5-78 Variación Temporal SDT en laboratorio, Sector Peine 2024 259
Figura 5-79 Variación Temporal: Densidad en Laboratorio, Sector Peine 2024 260
Figura 5-80 Diagrama de Piper, Campaña enero 2024 Sector Peine 263
Figura 5-81 Diagrama de Piper, Campaña febrero 2024, Sector Peine 264
Figura 5-82 Diagrama de Piper, Campaña abril 2024, Sector Peine 265
Figura 5-83 Diagrama de Piper, Campaña julio 2024, Sector Peine 266
Figura 5-84 Diagrama de Piper, Campaña agosto 2024, Sector Peine 267
Figura 5-85 Diagrama de Piper, Campaña septiembre 2024, Sector Peine 268
Figura 5-86 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2024, Sector Peine 269
Figura 5-87 Localización puntos de monitoreo Sector Norte y Borde Este 270
Figura 5-88 Variación Temporal pH in situ, Sector Norte y Borde Este 2024 271
Figura 5-89 Variación Temporal CE in situ, Sector Norte y Borde Este 2024 272
Figura 5-90 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector Norte y Borde Este 2024 273
Figura 5-91 Variación Temporal: SDT en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2024 274
Figura 5-92 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2024 275
Figura 5-93 Diagrama de Piper, Campaña enero 2024, Sector Norte y Borde Este 278
Figura 5-94 Diagrama de Piper, Campaña febrero 2024, Sector Norte y Borde Este 279
Figura 5-95 Diagrama de Piper, Campaña abril 2024, Sector Norte y Borde Este 280
Figura 5-96 Diagrama de Piper, Campaña julio 2024, Sector Norte y Borde Este 281
Figura 5-97 Diagrama de Piper, Campaña agosto 2024, Sector Norte y Borde Este 282
Figura 5-98 Diagrama de Piper, Campaña septiembre 2024, Sector Norte y Borde Este 283
Figura 5-99 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2024, Sector Norte y Borde Este 284
Figura 5-100 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro 288
Figura 5-101 Variación temporal de Potasio, Sodio y Sulfato en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro 289
Figura 5-102 Mapa de ubicación de los pozos de extracción de salmuera de Albemarle 291
Figura 5-103 Caudal medio mensual de extracción de salmuera por zona, año calendario 2024 299

Figura 5-104 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, año operacional 2023-2024 (extracción total de zonas A1 y A2) 301
Figura 5-105 Caudales mensuales 2024 bombeados en Vertiente Tilopozo 303
Figura 5-106 Caudales mensuales 2024 bombeados en pozo Tucúcaro 303
Figura 5-107 Caudales mensuales 2024 bombeados en pozo Peine 304
Figura 5-108 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año calendario 2024 ... 305
Figura 5-109 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año operacional 2023-2024 306
Figura 6-1 Precipitación diaria con data histórica, periodo 2009-2024. 315
Figura 6-2 Precipitación mensual con data histórica, periodo 2002-2024. 316
Figura 6-3 Precipitación mensual en Punto de monitoreo PLS-10 316
Figura 6-4 Precipitación mensual en Punto de monitoreo PLS-08 317
Figura 6-5 Precipitación año hidrológico EM-Rockwood, periodo 2002-2024. 318
Figura 6-6 Precipitación por año operacional EM-Rockwood, año operacional 2003-2024. 318
Figura 6-7 Precipitaciones anuales por estación periodo 1970-2024. 330
Figura 6-8 Precipitaciones anuales por estación periodo 1970-2024. 331
Figura 6-9 Temperaturas extremas diarias [°C], periodo 2009-2024 333
Figura 6-10 Distribución T° mínimas por año EM- SCL y EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2024 334
Figura 6-11 Distribución T° máximas por año EM-SCL y EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2024 335
Figura 6-12 Temperaturas extremas diarias Albemarle y medias de terceros [°C], periodo 2009-2024 336
Figura 6-13 Presión atmosférica diaria, periodo 2016-2024 338
Figura 6-14 Evaporación diaria, periodo 2009-2024 340
Figura 6-15 Distribución Evaporación Lámina Libre EM-ROCKWOOD/SCL [mm], periodo 2009-2024 341
Figura 6-16 Evaporación diaria Albemarle y terceros, periodo 2009-2024 342
Figura 6-17 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, Sector La Punta-La Brava 345
Figura 6-18 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, Sector Peine 347
Figura 6-19 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4 y EVT-5, Sector Norte 350
Figura 6-20 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, Borde Este 351
Figura 6-21 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-9, EVT-10 y EVT-13, Sector Núcleo 353
Figura 6-22 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar La Punta - La Brava (2016 a 2024). 356
Figura 6-23 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A. 357
Figura 6-24 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. 358
Figura 6-25 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A. 358
Figura 6-26 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. 359
Figura 6-27 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar Peine (2016 a 2024). 360
Figura 6-28 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A. 361
Figura 6-29 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. 362

Figura 6-30 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A. 362
Figura 6-31 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. 363
Figura 6-32 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar Aguas de Quelana (2016 a 2024). 364
Figura 6-33 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Aguas de Quelana, a partir de Pléiades 1-A. 365
Figura 6-34 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Aguas de Quelana, de imágenes Landsat 8. 366
Figura 6-35 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), Aguas de Quelana, imágenes Pléiades 1-A. 367
Figura 6-36 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Aguas de Quelana, Landsat 8 368
Figura 6-37 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar Soncor (2016 a 2024). 369
Figura 6-38 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A. 371
Figura 6-39 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8. 372
Figura 6-40 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A. 373
Figura 6-41 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8. 374
Figura 6-42 Evolución histórica de nivel limnimétrico (2016-2022), sector La Punta - La Brava Zona de Tilopozo 378
Figura 6-43 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine 381
Figura 6-44 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine 382
Figura 6-45 Evolución histórica de nivel limnimétrico, sector Norte y Borde Este 384
Figura 6-46 Gráfico de caja muestra la mediana de caudales superficiales aforados (2014-2024) ... 387
Figura 6-47 Variación temporal de caudales superficiales Aforados 390
Figura 6-48 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava 394
Figura 6-49 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava serie BA 396
Figura 6-50 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava seria MP 397
Figura 6-51 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava 398
Figura 6-52 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Tucúcaro La Punta-La Brava serie MP 401
Figura 6-53 Hidrogramas de los puntos de observación, TUC-P06 y Tucúcaro, del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava 402
Figura 6-54 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Las Vegas de Tilopozo, sector La Punta-La Brava 403
Figura 6-55 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine 408
Figura 6-56 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Este y sur de Peine 409
Figura 6-57 Mapa de ubicación puntos de monitoreo, BA-31, MP-12A y MP-12C, sector Norte y Borde Este 411
Figura 6-58 Mapa de ubicación puntos de monitoreo, PLS-01 a PLS-04, sector Norte y Borde Este 412
Figura 6-59 Hidrogramas de los pozos de observación de los sectores Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste 417

Figura 6-60 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Núcleo Este 418
Figura 6-61 Hidrogramas de los pozos de observación de la Zona de Producción 419
Figura 6-62 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-05B... 422
Figura 6-63 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-08A... 422
Figura 6-64Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-14B.... 423
Figura 6-65 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-16B... 423
Figura 6-66 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-01C..... 426
Figura 6-67 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-03C..... 428
Figura 6-68 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-04C..... 430
Figura 6-69 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-05C..... 432
Figura 6-70 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-06C..... 434
Figura 6-71 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-09C..... 435
Figura 6-72 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-07C-1..... 437
Figura 6-73 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-AC 439
Figura 6-74 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-CC..... 441
Figura 6-75 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-01 442
Figura 6-76 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-02 443
Figura 6-77 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-03 445
Figura 6-78 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-12C..... 447
Figura 6-79 Diagrama de Caja, pH *in situ* histórico, Sector La Punta-La Brava..... 451
Figura 6-80 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica *in situ* histórico (µS/cm), Sector La Punta-La Brava 452
Figura 6-81 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava 454
Figura 6-82 Variación Temporal: OD *in situ*, Sector La Punta-La Brava 455
Figura 6-83 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava 457
Figura 6-84 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector La Punta-La Brava 458
Figura 6-85 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector La Punta-La Brava..... 459
Figura 6-86 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector La Punta-La Brava..... 460
Figura 6-87 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava..... 464
Figura 6-88 Variación Temporal: HCO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava.... 465
Figura 6-89 Variación Temporal: NO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava 466
Figura 6-90 Variación Temporal: SO_4 en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava..... 467
Figura 6-91 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava 468
Figura 6-92 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava 469
Figura 6-93 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava 470
Figura 6-94 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava 471
Figura 6-95 Diagrama de Caja, pH *in situ* histórico, Sector Peine..... 474
Figura 6-96 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica *in situ* histórico (µS/cm), Sector Peine..... 475
Figura 6-97 Variación Temporal: pH, Temperatura, CE *in Situ*, Sector Peine 477
Figura 6-98 Variación Temporal: OD in Situ, Sector Peine 478
Figura 6-99 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine 480
Figura 6-100 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Peine 481
Figura 6-101 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Peine 482
Figura 6-102 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Peine..... 483
Figura 6-103 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine..... 487
Figura 6-104 Variación Temporal: HCO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine..... 488
Figura 6-105 Variación Temporal: NO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine 489
Figura 6-106 Variación Temporal: SO_4 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine 490
Figura 6-107 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine..... 491

Figura 6-108 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine 492
Figura 6-109 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine..... 493
Figura 6-110 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine 494
Figura 6-111 Diagrama de Caja, pH in situ histórico, Sector Norte y Borde Este 496
Figura 6-112 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica in situ histórico (µS/cm), Sector Norte y Borde Este 498
Figura 6-113 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE in situ, Sector Norte y Borde Este 500
Figura 6-114 Variación Temporal: OD in situ, Sector Norte y Borde Este..... 501
Figura 6-115 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este..... 502
Figura 6-116 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Norte y Borde Este 503
Figura 6-117 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 504
Figura 6-118 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 505
Figura 6-119 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este 508
Figura 6-120 Variación Temporal: HCO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este . 509
Figura 6-121 Variación Temporal: NO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este.... 510
Figura 6-122 Variación Temporal: SO_4 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este 511
Figura 6-123 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este 512
Figura 6-124 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este 513
Figura 6-125 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este 514
Figura 6-126 Variación Temporal: Na disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este 515
Figura 6-127 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro..... 517
Figura 6-128 Variación temporal de Potasio, Sodio y Sulfato en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro..... 518
Figura 6-129 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, periodo 1983-2024 (extracción total de zonas A1 y A2) 521
Figura 6-130 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2024 522
Figura 6-131 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2020 y año operacional periodo 2021-2024 523
Figura 6-132 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, año operacional 2023-2024 (extracción total de zonas A1 y A2) 528
Figura 6-133 Caudales mensuales históricos bombeados en Vertiente Tilopozo..... 529
Figura 6-134 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Tucúcaro 529
Figura 6-135 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Peine..... 530
Figura 6-136Caudales medio anual año operacional en Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro (1998-2024) 531
Figura 6-137 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año operacional 2023-2024 532
Figura 6-138 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año calendario 2024 ... 533
Figura 6-139 Ubicación puntos de monitoreo del Plan de Alerta Temprana (PAT)..... 534
Figura 6-140 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-G4 Pozo..... 536
Figura 6-141 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-5..... 536
.Figura 6-142 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L3-9..... 537
Figura 6-143 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L5-10..... 537
Figura 6-144 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L4-12..... 538
Figura 6-145 Niveles Punto de Monitoreo PN-05B 541
Figura 6-146 Niveles Punto de Monitoreo PN-08A 541

Figura 6-147 Niveles Punto de Monitoreo PN-14B 542
Figura 6-148 Niveles Punto de Monitoreo PN-16B 542
Figura 6-149 Niveles Puntos de Monitoreo BA-05 545
Figura 6-150 Niveles Punto de Monitoreo BA-07 545
Figura 6-151 Niveles Punto de Monitoreo BA-16 546
Figura 6-152 Niveles Punto de Monitoreo BA-28 546
Figura 6-153 Niveles Punto de Monitoreo BA-30 547
Figura 6-154 Evolución de nivel freático en relación con la evaporación en el Sistema La Punta-La Brava. 550
Figura 6-155 Evolución de nivel en relación con la precipitación en la zona de transición. Sistema La Punta-La Brava 551
Figura 6-156 Evolución de nivel profundos en relación con la precipitación. Sistema La Punta-La Brava 552
Figura 6-157 Evolución niveles piezómetros someros próximos a pozo Tucúcaro. Borde Oeste, Sistema La Punta-La Brava 553
Figura 6-158 Evolución niveles piezómetro somero próximo a la vertiente Tilopozo. Borde Sur, ... 554
Figura 6-159 Evolución de niveles en las lagunas del sistema La Punta-La Brava 555
Figura 6-160 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema La Punta - La Brava (imágenes alta resolución) 556
Figura 6-161 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector La Punta y la Brava. 557
Figura 6-162 Evolución de conductividad eléctrica en multipiezómetros del sistema La Punta-La Brava 558
Figura 6-163 Evolución de nivel frente conductividad eléctrica en lagunas sistema La Punta-La Brava 559
Figura 6-164 Evolución de nivel en relación con la evaporación Sistema Peine 561
Figura 6-165 Evolución de nivel en relación con la precipitación sistema lagunar Peine 561
Figura 6-166 Evolución de niveles en el sector de la laguna Interna. Sector Peine 562
Figura 6-167 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y evaporación en el borde Este. Sistema Peine 563
Figura 6-168 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y precipitaciones en el borde Este. Sistema Peine 563
Figura 6-169 Evolución de niveles profundos, salmuera. Sector Peine 564
Figura 6-170 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la precipitación 565
Figura 6-171 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la evaporación 566
Figura 6-172 Evolución histórica de Caudales Aforados Sistema Peine 567
Figura 6-173 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Peine (imágenes alta resolución) 568
Figura 6-174 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Peine. 570
Figura 6-175 Evolución de niveles de aguas superficiales versus evaporación. Sistema Aguas de Quelana 572
Figura 6-176 Evolución de niveles de pozos de aguas someras, salobres, al Sur del Sistema Aguas de Quelana versus precipitación 572
Figura 6-177 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Aguas de Quelana (imágenes alta resolución) 574
Figura 6-178 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Aguas de Quelana 575
Figura 6-179 Evolución de nivel en piezómetros de salmuera próximos al Sistema Soncor 576
Figura 6-180 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a las precipitaciones 577
Figura 6-181 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a la evaporación 577

Figura 6-182 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Soncor (imágenes alta resolución) 580
Figura 6-183 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Soncor 581
Figura 6-184 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo 583
Figura 6-185 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Norte y Este 584
Figura 6-186 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Zona de Producción 584

INDICE TABLAS

Tabla 2-1 Proyectos y RCA consideradas en el Informe PSAH 30
Tabla 2-2 Componentes y Variables Ambientales reportados 31
Tabla 2-3 Identificación de Considerandos en las RCAs asociadas al PSAH 33
Tabla 2-4 Variables Ambientales comprometidas en el PSAH del Anexo 3 de Adenda 5 36
Tabla 2-5 Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis 2024 38
Tabla 4-1 Zonas hidroquímicas, características principales y relación con unidades geológicas 44
Tabla 4-2 Resumen Variables Ambientales y Parámetros 47
Tabla 4-3 Detalle de las Estaciones Meteorológicas 50
Tabla 4-4 Red de Monitoreo de Evapotranspiración 53
Tabla 4-5 Red de piezómetros instalada en lisímetros 56
Tabla 4-6 Vértices de los polígonos usados para evaluar superficie lagunar 57
Tabla 4-7 Red de Monitoreo Sector La Punta-La Brava 62
Tabla 4-8 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Peine 66
Tabla 4-9 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Norte y Borde Este 70
Tabla 4-10 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo 73
Tabla 4-11 Pozos de bombeo monitoreados año 2024, 78 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre. 76
Tabla 4-12 Indicadores de estado del PAT 80
Tabla 4-13 Descripción del PAT para cada sector 82
Tabla 4-14 Equipos de Estación Meteorológica 84
Tabla 4-15 Domos utilizados para la medición de la EVT en 2024 86
Tabla 4-16 Características domos utilizados para la medición de la EVT en 2024 86
Tabla 4-17 Equipos y materiales complementarios al uso de domos 87
Tabla 4-18 Factor de corrección por forma 91
Tabla 4-19 Materiales y Equipos para la medición de parámetros in situ ANAM 105
Tabla 4-20 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98194 106
Tabla 4-21 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98192 106
Tabla 4-22 Materiales y Equipos para la Toma de Muestras por ANAM 107
Tabla 4-23 Materiales y equipos reactivos para almacenamiento y traslado de muestras Laboratorio ANAM 107
Tabla 4-24 Características de preservación de muestras, laboratorio ANAM 108
Tabla 4-25 Criterio estabilización de parámetros in situ para el muestreo de aguas 109
Tabla 4-26 Métodos de análisis en laboratorio 110
Tabla 4-27 Materiales y Equipos para la medición de Volúmenes Bombeados 114
Tabla 4-28 Fechas de Muestreo y Medición durante el año 2024 115
Tabla 4-29 Aumentos de Frecuencia de Fechas de Muestreo y Medición adicionales asociadas a Activación Fase Única, PAT Sector Alerta Acuífero y Núcleo 2024 115
Tabla 4-30 Listado de variables por mes sin monitoreo 115
Tabla 5-1 Precipitación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2024 126
Tabla 5-2 Temperatura mínima diaria [°C] en EM-Rockwood, año 2024 127
Tabla 5-3 Temperatura máxima diaria en EM-Rockwood, año 2024 128
Tabla 5-4 Presión atmosférica diaria [mbar] en EM-Rockwood, año 2024 129
Tabla 5-5 Evaporación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2024 130
Tabla 5-6 Resumen información puntos de medición de evapotranspiración 137
Tabla 5-7 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector La Punta - La Brava 138
Tabla 5-8 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector Peine 140
Tabla 5-9 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector Norte y Borde Este 142
Tabla 5-10 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector Núcleo 146
Tabla 5-11 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A en el monitoreo 2024 (invierno y verano) 148

Tabla 5-12 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 en el monitoreo 2024 (invierno y verano) 148
Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2024 157
Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024 162
Tabla 5-15 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Norte y Borde Este, año 2024 168
Tabla 5-16 Resumen información puntos de medición de caudal de escorrentía superficial 171
Tabla 5-17 Resultados campañas de aforo año 2024 173
Tabla 5-18 Periodo de registro red de monitoreo del sector LP-LB 177
Tabla 5-19 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024 189
Tabla 5-20 Periodo de registro red de monitoreo del sector Norte y Borde Este 195
Tabla 5-21 Periodo de registro puntos de monitoreo sector Núcleo 197
Tabla 5-22 Clasificación de los tipos de agua 236
Tabla 5-23 Zonas hidroquímicas, características principales y relación con unidades geológicas 236
Tabla 5-24 Resultados Calidad Química de pozo Peine año 2024 285
Tabla 5-25 Resultados Calidad Química de vertiente Tilopozo año 2024 286
Tabla 5-26 Resultados Calidad Química de pozo Tucúcaro año 2024 286
Tabla 5-27 Mínimos y máximos de los puntos Peine, Vertiente Tilopozo y Tucúcaro 287
Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024 292
Tabla 5-29 Caudales promedio y volúmenes bombeados de agua dulce-salobre, año calendario 2024 302
Tabla 5-30 Límites comprometidos por Variables Ambientales y Parámetros 307
Tabla 5-31 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Norte 308
Tabla 5-32 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Núcleo 308
Tabla 5-33 Umbrales de activación de los puntos PAT, BA-28 y BA-30 y actualización de umbrales de activación de los puntos PAT BA-05, BA-07 y BA-16, Sector Alerta Acuífero año 2024 309
Tabla 6-1 Resumen registros por estación meteorológica. 312
Tabla 6-2 Cota, precipitación promedio y máxima anual de estaciones meteorológicas. 319
Tabla 6-3 Precipitación media mensual [mm] en estaciones meteorológicas en torno al Salar de Atacama. 321
Tabla 6-4 Precipitaciones anuales (mm). 324
Tabla 6-5 Precipitación Anual histórica para diferentes probabilidades de excedencia. 329
Tabla 6-6 Precipitación Anual Año 2024 (mm). 329
Tabla 6-7 Criterios de clasificación de años húmedos, normales y secos 329
Tabla 6-8 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y datos de monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos de AR disponibles en Adenda 5 RWL, 2015. 354
Tabla 6-9 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos del período 1973-1976 presentados en la Adenda 5 RWL, 2015. 354
Tabla 6-10 Comparación de superficies mínimas AR disponibles en Ad5s y superficie mínima año 2024 de los sistemas lagunares a partir de imágenes satelitales de alta resolución 375
Tabla 6-11 Comparación de superficie mínima histórica y superficie mínima año 2024 de los sistemas lagunares a partir de imágenes satelitales de mediana resolución (Landsat 8) 376
Tabla 6-12 Estadígrafos por punto de monitoreo de caudales superficiales aforados (2014-2024) (1) 386
Tabla 6-13 Puntos de realización de perfiles trimestrales de conductividad eléctrica 424
Tabla 6-14 Regla de extracción aprobada, RCA N°21/2016 520
Tabla 6-15 Cálculo del Nuevo Límite Anual para la activación simultánea PAT sector Alerta Norte y PAT sector Alerta Núcleo 527

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A: Meteorología

- Anexo A-1: Variables Meteorológicas (1970-2024).xlsx
- Anexo A-2: Pluviómetros PLLS (2018-2024).xlsx

Anexo B: Evapotranspiración

- Anexo B-1: Planilla Evapotranspiración (2013-Dic2024)
- Anexo B-2: Lisímetros (Pdf)

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

- 012-2016_INF_ANUAL_No9_AREA_LAGUNAR_PSAH_20250318_VF.pdf
- ANEXO_VARIACIONES_ANUALES_AR_PSAH_2016-2024_20250318_VF.pdf
- Anexo digital:
  - Excel: ALB_PM_VALID_AR_L8_AGO24_DIC24_14022024.xlsx
  - Metadata
  - Planilla Superficie Cubierta por Lagunas (1972-2024).xlsx

Anexo D: Nivel Limnimétrico de las Lagunas (2016-2024).xlsx

Anexo E: 2024_SMA_CaudalAguaSuperficial_AFORO.xlsx

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

- Anexo F-1: Datos Niveles freáticos 2024 (Word)
- Anexo F-2: 2024_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 2024 (Word)
- Anexo G-2: Posición de la Interfase Salina (2013-2024).xlsx

Anexo H: Composición Química de las aguas

- Anexo H-1: Datos composición química 2024.xlsx
- Anexo H-2: Informe de parámetros físico-químicos histórico (Word)
- Anexo H-3: Composición Química en agua superficial y subterránea (2013-2024).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 Formato SMA

Anexo I-1: 2024_SMA_CalidadAguaSupYSub-LPLB.xlsx
Anexo I-2: 2024_SMA_CalidadAguaSupYSub-NyBE.xlsx
Anexo I-3: 2024_SMA_CalidadAguaSupYSub-Peine.xlsx
Anexo I-4: 2024_SMA_Planilla Calidad Agua 3 Pozos Bombeo.xlsx

Anexo J: 2024_SMA_Bombeos.xlsx

Anexo K: Libreta y Actas de Terreno

Anexo L: Registro de Permiso de Terceros

Anexo M: Respaldo Resoluciones, Ordinarios y Cartas

Anexo N: Planilla Responsables y Participantes_PSAH_Nº 9

Anexo Ñ: Estratigrafía y perfiles de habilitación.

2024_SMA_Listado_puntos_subte PSAH_Res894 a Dic_2024.xlsx
2024_SMA_Reportabilidad 894 pozos Produccion_ALB_Salar a Dic-24.xlsx
2024_SMA_Esquema Habilitación y Estratigrafía_Puntos Sistema LPLB.pdf
2024_SMA_Esquema Habilitación y Estratigrafía_Puntos Sistema NyBE.pdf
2024_SMA_Esquema Habilitación y Estratigrafía_Puntos Sistema Peine.pdf
2024_SMA_Esquema Habilitación y Estratigrafía_ Sistema Núcleo Actual.pdf
2024_SMA_Esquema Habilitación y Estratigrafía_ Sistema Núcleo.pdf

1 RESUMEN

El presente documento corresponde al **Informe Anual Nº 9 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 Nº 21 de fecha 20 de enero del 2016 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Antofagasta, en adelante **RCA N.º 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 Nº7 de la RCA Nº21/2016 en lo relacionado con la componente hídrica (agua). El PSAH es un compromiso ambiental aplicable para las Fases de Operación y Cierre del Proyecto, y considerando que la fase de operación inició en fecha 28 de septiembre de 2016, el presente Informe Nº9 del PSAH, entrega información de monitoreo del año calendario 2024. Además, se presentan análisis para el año operacional que corresponde desde octubre 2023 a septiembre 2024 en el parámetro de caudales bombeados. El presente informe del PSAH es el correspondiente al año N°9 de reportabilidad, entrega toda la información histórica a la fecha, tanto del seguimiento del proyecto (2016-2024), como la 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: 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 Nº223 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 2024 de las variables ambientales del PSAH se puede resumir lo siguiente:

La **precipitación** en la estación meteorológica EM-Rockwood registró un total anual (2024) de 0,5 mm, lo que representa una disminución en las precipitaciones diarias en frecuencia y mm caídos comparados con el año anterior. Este año 2024, es el año con menor precipitación desde el 2013, con una probabilidad de excedencia del 83,3% y por lo tanto corresponde a

una condición de año normal, cercana a seco. En los meses que registraron precipitación, estas mediciones no superaron los 0,1 mm/mes.

Considerando los datos de otras estaciones, se puede mencionar EM-Chaxa, la que registró para el año 2024 un total de 5,4 mm, con una probabilidad de excedencia del 59,3%, la que corresponde a una condición de año normal. En relación con los datos históricos disponibles utilizados en el análisis, se cuenta con 11 estaciones y 2 pluviómetros, se observa una alta variabilidad en la cuenca. Considerando los registros de los últimos 20 años, las mayores precipitaciones se registran en las estaciones con mayor altitud y viceversa. Entre los años más lluviosos (mayor a 40 mm al año) del período del seguimiento, en la estación EM-Rockwood, destacan los años 2017 y 2019, con precipitaciones de 65,7 mm/año (2017) y 48,2 mm/año en 2019.

La **presión atmosférica,** presenta un comportamiento estacional con tendencias estables donde los valores máximos se registran entre los meses de abril y septiembre (estaciones frías) y los mínimos entre octubre y marzo (estaciones cálidas). En base a los registros de EM-Rockwood, durante el año 2024, se registró el valor máximo en el mes de julio (779,5 mbar) y el valor mínimo en julio (770,2 mbar) y es similar a lo que se observa en las estaciones EM-Chaxa y EM KCL. Cabe mencionar, que estos mínimos en el mes de julio muestran un comportamiento diferente a años previos, sin embargo, las tres estaciones, EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood, muestran un comportamiento sincrónico y similar, siendo levemente mayores los valores en EM-Chaxa.

Respecto al **registro de evaporación en lámina libre**, considerando la estación EM-Rockwood se caracteriza por una marcada variación estacional, donde las mayores tasas de evaporación se registran en las estaciones cálidas de primavera-verano (octubre a marzo) y las menores en las estaciones frías otoño-invierno (abril a septiembre). Específicamente en 2024, el mes de febrero presentó el mayor registro diario (19,9 mm/día) y junio registró el menor valor (3,1 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 registrar la mínima diaria -4 el mes de julio y la máxima diaria de 36°C en enero. Se observa además de 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 2024 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. Este año 2024, muestra 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 para los últimos 7 años, con variaciones estacionales evidenciadas dentro del registro histórico.

En cuanto a la variable **Superficie Cubierta por Lagunas**, correspondientes a los sistemas lagunares La Punta-La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana, al analizar las imágenes de media resolución (Landsat) de las Superficies Cubiertas por Lagunas, se evidencia una variación estacional (máximas en invierno y mínimas en verano) y en general un descenso histórico de las superficies máximas de invierno (1985-2012). Al considerar las imágenes tanto de alta resolución (Pleiades) como de mediana resolución (Landsat) se observa entre los años 2016 hasta agosto 2020 una variabilidad, en donde posterior a este período, las precipitaciones de enero y febrero 2019 marcan un hito importante, provocando aumentos en las superficies lagunares de invierno de los sistemas, pero también un rápido descenso posterior en las mismas. En el caso de los veranos (valores mínimos de superficies lagunares), se observa en general para los 4 sistemas una tendencia histórica más estable pero también de descenso. En el año 2023 para algunos sistemas se observan valores mínimos de los registros de superficies de verano, sin embargo, para 2024 y en general para los últimos cuatro años se observa una estabilidad o mantención comparando el periodo de seguimiento, excepto Aguas de Quelana que presenta un valor mínimo en diciembre 2024.

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. Para las lagunas La Punta y La Brava (LM-01, LM-02, LM-03 y LM-04) los registros (2016-2024) muestran descensos generales, mayores en los limnímetros de Laguna La Punta (LM-01 y LM-02). A partir del año 2022 la tasa de descenso, en invierno como en verano, se hace más pequeña, y presenta una estabilidad en los mínimos de verano. Para el subsector de las vegas de Tilopozo (LM-16) muestra una tendencia a mantener los niveles relativamente estables durante todo el periodo de registro (2016-2024). Además, se observa 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. Durante el año 2024 en relación con la data registrada los niveles se mantienen dentro de los rangos de oscilación natural, con niveles mínimos en los puntos LM-01, LM-02 y LM-03

En el sector Peine, respecto a los niveles limnimétricos, se debe considerar que no se cuenta con la data completa, debido a las restricciones de acceso por presencia y/o época de reproducción de flamencos, por lo que en todos los puntos de este sector (LM-05, LM-06, LM-

07, LM-08, LM-09, LM-10, LM-17, E1, E2, E3 y E4) hay datos faltantes en algunos meses a partir aproximadamente del segundo semestre del año 2020, con excepción de los puntos de la Laguna Salada, en los puntos LM-05 y LM-06, que es a partir del año 2017 y 2018, respectivamente; estos últimos, 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 más estables (LM-08).

En laguna Interna, representado por los limnímetros LM-09 y LM-10, se presentan niveles variables en el tiempo, pero con tendencia general al alza o a la estabilidad, la cual también se refleja en el borde este de la misma (puntos estaca), salvo el punto E4, en el que Interna, E4, se observa una tendencia de descenso más marcado en los últimos 4 años.

Por otra parte, en el desborde de la Laguna Interna, se ubica el punto LM-17, este registra en general un comportamiento variable con tendencia al descenso a lo largo de todo su registro. A partir del año 2018 presenta escasa data, principalmente por encontrarse seco, esta condición se mantiene durante el periodo 2024. Los niveles limnimétricos en los Sistemas Soncor y Aguas de Quelana muestran para el punto (LM-11) del Sistema Soncor, tendencia al descenso; y para el punto LM-12, ubicado más al norte de este sistema, se observa estable en el tiempo. En el Borde Este, en el sistema Aguas de Quelana, los limnímetros LM-13 y LM-14, presentan una marcada variación estacional, con tendencia estable a través del tiempo. Cabe mencionar, que, durante el año 2024, 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 dada la época de reproducción de flamencos.

Los **Caudales Superficiales** se miden trimestralmente en 4 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 los canales que unen el sistema lagunar. Además, se cuenta con 2 puntos de aforo ubicados en quebradas de la zona cordillerana, hacia el sur Tilomonte y hacia el este en Vertiente Peine. A modo general, se observa que la Anterepresa Tilomonte y la Vertiente Peine mantienen sus caudales aforados entre rangos estables durante todo el período, pero de magnitudes distintas, en torno a medianas de 40 l/s y 8 l/s respectivamente.

Para las estaciones de aforo AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04, dispuestas en el sentido de la dirección de flujo de las lagunas, de sur a norte, se observa una disminución de caudal en dicha dirección, es decir, que el mayor caudal se mide en AFP-01 (mediana 47,45 l/s), y el menor caudal se registra en AFP-04 (mediana de 25,27 l/s).

En relación con los **Niveles piezométricos en Salmuera y/o en Agua dulce-salobre**, se cuenta con una red de monitoreo formada por 125 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 de los niveles en el **sector La Punta-La Brava,** en términos generales, presentan una oscilación estacional, con mayores descensos a mayor proximidad al núcleo. El año 2024 no se registraron precipitaciones significativas y en consecuencia, los niveles freáticos de los puntos no mostraron aumentos abruptos de nivel.

Los puntos barrenos ubicados en el sector La Punta-La Brava, muestran oscilaciones estacionales, con mínimos en verano y máximos en invierno (con excepción de los puntos de más al norte y este del sistema lagunar, que muestran mínimos en abril), estos puntos responden a la evaporación y son sensibles a las precipitaciones, mostrando más sensibilidad los puntos ubicados al norte de las lagunas (más cercanos al núcleo) y menos sensibles los puntos del sur de las lagunas. En cuanto al registro histórico, se observa en general una tendencia al descenso, no obstante, desde el año 2022 la mayoría de los puntos se encuentran en un periodo de estabilización.

En el subsector de Tucúcaro, en el período analizado (2013-2024) la pozo Tucúcaro, presenta con variaciones en el tiempo y tendencia de mediano plazo estable. Los demás pozos en esta zona, tales como TUC-P06, MP-05A, MP-05C, MP-06A y MP-06C, presentan tendencias leves al descenso con variaciones estacionales. Los pozos profundos de esta zona (habilitados en salmuera) MP-05B y MP-06B, muestran tendencias al descenso y al alza respectivamente.

En la zona cercana a las Vegas de Tilopozo, para el período 2013-2024, se observan tendencias al descenso (centimétricas) que estarían relacionadas con la influencia de los descensos provenientes desde el sur, producto del bombeo histórico del campo de pozos del sector Monturaqui y Negrillar en la parte media y cabecera de la cuenca. De los puntos de monitoreo tales como TIL-P03, MP-04A y MP-04C, que corresponden a puntos de agua salobre describen una variación estacional y una tendencia al descenso los últimos años. Se destaca también la tendencia más al sur, representada por los puntos MP-09A y MP-09C, con descensos mayores (centimétricos) relacionados con la llegada de los efectos de la extracción de agua industrial desde el acuífero Monturaqui-Negrillar.

Para el **sector Peine**, es importante mencionar que faltan datos por restricción de acceso principalmente por presencia y/o periodo de reproducción de flamencos lo que agrega un sesgo en el análisis de la evolución a través del tiempo. Los puntos que cuentan con toda la data son los del sector borde este y sur de Peine, y para ellos se observan los registros dentro

del rango de oscilación natural. 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 piezométricos 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 siguientes (2020-2024). Los puntos ubicados en la Lagunas Salada y Saladita también presentan sus niveles mínimos en los meses más cálidos, y los máximos se alcanzan como respuesta a las precipitaciones, con incrementos del nivel de hasta 16 cm (MPS-AA) en respuesta al evento de precipitación intensa del año 2019.

Los puntos de la zona de Inicio de la Laguna Salada, BA-28 y BA-30 (Puntos PAT), presentan oscilaciones estacionales y una respuesta menor a los pozos cercanos a Saladita e Interna a los eventos de precipitación intensa, con alzas de niveles de hasta 11 cm en BA-28, en respuesta al evento de precipitación del año 2019. Además, estos puntos presentan una tendencia estable y al ascenso de sus niveles en el tiempo.

Los puntos de la zona Borde Sur de Peine (PP-01, PP-02 y PP-03) y al este (MP-08A) corresponde a piezómetros profundos y someros respectivamente, 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 puntos de este sector muestran comportamientos al alza y al descenso los últimos cuatro años, como PP-01 y PP-03, respectivamente. Los pozos MP-07A y MP-08A muestran un comportamiento inverso, mientras el punto MP-08A aumenta su nivel, MP-07A disminuye.

En cuanto al **sector Norte y Borde Este** también presenta oscilaciones estacionales. Los puntos MP-12A y MP-12C (ubicados en la zona sureste del salar), presentaron una tendencia leve de aumento de sus niveles hasta la mitad del 2020 y luego una tendencia al descenso hasta el año 2023. El piezómetro somero BA-31, ubicado en el norte hacia el sistema Soncor, presentó incrementos del nivel de hasta 0,44 m, en respuesta al evento de precipitación del año 2019 (enero y febrero), y menor respuesta a las precipitaciones de 2023. Los puntos de este sector cuentan con escaza data para el año 2024, por encontrase seco el punto BA-31, y por acceso restringido por parte de la comunidad de Socaire a los puntos MP-12A y MP-12C.

Finalmente, para los puntos ubicados en el **sector del Núcleo**, todos los pozos presentan descensos, en mayor o menor medida dependiendo de la ubicación; los puntos ubicados cerca de la zona de extracción de salmuera son los que presentan las mayores tasas de descensos

en el tiempo, además los pozos del sector Núcleo Centro Norte y Este, 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 otra parte, en el Núcleo Oeste se observan los mayores descensos, cuyos niveles son más profundos y se observan directamente influenciados por el bombeo de salmuera.

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. Para todos los puntos de monitoreo de todos los sectores, los perfiles de conductividad eléctrica se han mantenido en 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. La excepción es el punto MP-01C que ha presentado una leve profundización del nivel de salmuera, sin embargo, se muestra prácticamente estable desde 2022. Los registros del año 2024 no han mostrado variaciones significativas en la posición de la interfase salina respecto a los registros anteriores.

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 188 muestras analizadas el 2024, el 59,0% de las muestras (111) presenta un error inferior al 5%, 44 muestras (23,4%) presentan un error entre 5% y 7% (ambos porcentajes inclusive), 33 muestras (17,6%) presentan un error de balance entre 7% y 10% y ninguna muestra presentan un error de balance mayor que 10%, todo lo anterior en valor absoluto.

Respecto a la composición química, se puede señalar que para las 3 zonas (salmuera, agua salobre y agua dulce) el pH es más básico en las aguas superficiales y más ácido en las salmueras, quedando las aguas dulce-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 salobres, las cuales a su vez tienen conductividades eléctricas mayores que las aguas dulce. Además, es posible identificar en los datos históricos una oscilación estacional en la conductividad eléctrica (CE) del 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 2024 levemente menores en las lagunas LP-LB (LM), pero sin presentar tendencias al cambio durante el año 2024.

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 clorurada sódica. Esta composición exceptúa a las vertientes o escurrimientos superficiales como la Vertiente Peine, que ha mostrado una composición clorurada sódico-cálcica en el año 2024, consistente con lo encontrado en periodos anteriores. 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 2024, se bombearon 78 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 en conjunto para el año operacional 2023-2024 (considerando de octubre 2023 a septiembre 2024 según lo indicado en las Res Ex N°427/2021 y Res Ex N°1510/2021) fue de 13.004.415 m^3, lo que equivale a un caudal medio anual de 411,24 l/s, que cumple con el caudal medio anual establecido en la evaluación ambiental de 442 l/s; y también se cumple con el límite para el año operacional 2023-2024, de 417,6 l/s, derivado de la activación de la Fase II de Alerta Norte y Fase II de Alerta Núcleo. El detalle de los caudales medios anuales bombeados por área, según caudales año calendario y año operacional se encuentra disponible en el Capítulo 5.9.1 de este informe.

Por otra parte, debido a las medidas preventivas adoptadas por Albemarle en el marco de la activación del PAT sector de Alerta Acuífero, en diciembre 2023 y desde enero a agosto 2024 (año operacional), cumplió con extraer un caudal medio de bombeo mensual bajo el límite autorizado para dichos meses de 382 l/s, para los meses entre diciembre 2023 y enero a agosto 2024 respectivamente.

En cuanto a la extracción de agua dulce-salobre sobre la base de estas autorizaciones ambientales, se cuenta con un caudal máximo autorizado para la extracción conjunta de Tilopozo y Tucúcaro de 16,9 l/s. Durante el año 2024 el caudal promedio anual extraído fue

del orden de 7,68 l/s desde la vertiente Tilopozo y desde el pozo Tucúcaro en conjunto, cumpliendo durante todo el año 2024 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; durante al año 2024 el caudal extraído fue de tan sólo 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 2024 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.

En relación con el **Plan de Alerta Temprana, PAT**, durante el año 2024 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 2024, debido a la activación de esta fase por el punto L1-5 en junio del 2021, mientras que el punto L1-G4, también mantiene medidas bajo el umbral de Fase II desde julio 2021 hasta la fecha.

El **sector de Alerta Núcleo** se activa en Fase I desde septiembre 2023 en el punto PN-08A, para luego en el mes de julio de 2024, activarse en Fase II, en el mismo punto, lo que se mantiene a lo largo de todo el año 2024. Adicional a lo anterior, en el mes de julio de 2024, el punto PN-05B sobrepasó el umbral de Fase I de este sector, pero no correspondió tomar medidas adicionales a las ya ejecutadas al momento de la activación de esa Fase I en 2023 por encontrarse activo desde esa fecha en esa fase.

Finalmente, en el **sector de Alerta Acuífero**, se toman las medidas preventivas de activación del PAT en su Fase Única debido a la superación del umbral del pozo BA-07, el 1 de diciembre del 2023. El pozo BA-07 en el mes agosto 2024 se desactiva y vuelve a tener sus niveles por sobre el umbral. No obstante, vuelve a activarse de manera preventiva en diciembre 2024.

En relación con las medidas preventivas comprometidas y adoptadas por Albemarle durante el año 2024, y de acuerdo a las activaciones del PAT, se tiene que por la activación del **sector de Alerta Norte** en Fase I y Fase II, se hacen entregas mensuales a la autoridad de los datos de monitoreo en formato digital, desde enero 2021 (en relación a Fase I) y junio 2021 (en relación con Fase II respectivamente, hasta la fecha. Y en junio y julio 2024 se realiza la

entrega del *"Tercer Informe de Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de salmuera"* y su complemento 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 429,24 l/s.

Debido a la activación del **sector Alerta Núcleo** en Fase II, se aumentó de la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas por el periodo establecido en la adenda 5, además, se entrega mensualmente a la autoridad los datos de monitoreo en formato digital (por Fase I y Fase II) y se hace entrega del "*Informe de resultados de la herramienta de verificación del efecto sinérgico"* en marzo por la activación de la Fase I del año 2023 y a la fecha de entrega de este informe, en enero de 2025 se entregan los resultados de efecto sinérgico por la activación de la Fase II. Por otra parte, se reduce la extracción de salmuera durante el año operacional 2023-2024, donde las extracciones no deben superaron el nuevo límite anual máximo de 430,36 l/s.

Finalmente, y dado que se encuentran activas de forma simultánea la Fase II del PAT sector Alerta Norte y Fase II en sector Alerta Núcleo, el límite de la extracción para el año operacional 2024 (octubre 2023 – septiembre 2024) correspondería a 417,6 l/s. De acuerdo con lo anterior, en el año 2024 **Albemarle dio cumplimiento al caudal máximo de extracción de salmuera con una extracción de 411,24 l/s.**

Por último, debido a la activación del sector de Alerta Acuífero se aumentó la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas, se reportó en forma mensual a la autoridad, se realizó la reducción precautoria de la extracción de salmuera y agua industrial, cumpliendo con un caudal medio mensual de extracción de 382 l/s los meses en que el PAT estuvo activado y se entrega en mayo 2024 el "Informe Técnico N°4 Activación del Plan de Alerta Temprana – Sector Alerta Acuífero. Informe de Investigación de las causas".

Dando cumplimiento al seguimiento ambiental hídrico, se puede señalar para el año 2024, 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 2024 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 Pro

2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe Anual Nº 9 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (en adelante PSAH), el cual forma parte de las obligaciones ambientales del titular Albemarle[1] (en adelante ALB), derivadas de la Resolución de Calificación Ambiental Nº 21 de fecha 20 de enero del 2016 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Antofagasta, en adelante RCA Nº21/2016, 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 2016[2]. Así, el presente Informe Nº 9 de PSAH entrega la información de monitoreo del año calendario 2024**.** 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. Nº 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. Nº 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. Nº 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.

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

El PSAH da cumplimiento a lo establecido en el Considerando Nº 7 de la RCA Nº21/2016 en lo relacionado con la componente hídrica (agua dulce–salobre y salmuera); Considerando Nº10.19 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 2 RCAs 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 Nº 92/2000 modificada por R.E. Nº 165/2003
Modificación al Proyecto Construcción de Pozas de Evaporación Solar	RCA Nº 64/2005 modificada por RCA Nº 3132/2006
Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama	RCA Nº 21/2016 modificada por R.E. Nº 1472/2017

Fuente: Elaboración propia

Específicamente, el Considerando Nº 7 de la RCA Nº 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 PMB N°8 fue entregado a la SMA con fecha 17 septiembre de 2024 (a través de carta ALB-GMA-2024-SMA-055 comprobante SMA N°1055895), las que dan cuenta de las variables bióticas.

El Considerando Nº 7 de la RCA Nº 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). 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[3] y/o semestral.

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.

[3] Esta frecuencia, se modifica a mensual cuando el Plan de Alerta Temprana se encuentra activado (Anexo 3, Adenda 5)

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 Nº 21/2016 (Considerando 7), en cuanto a la definición de componentes y variables ambientales, contemplando 4 componentes (RCA Nº 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. Nº 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 Nº 10.18 de la RCA Nº 21/2016, el que a su vez remite al Capítulo 4 del Anexo 3 de la Adenda 5. El objetivo del PAT es detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieren llegar a afectar los sistemas objeto de protección y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. El PAT, se describe en detalle en la sección 4.2.6 y Tabla 4-12 de este informe y en resumen se puede señalar que se compone de 3 sectores y tiene diferentes medidas necesarias y preventivas para evitar efectos no previstos.

Por otra parte, durante 2022 entró en vigencia la R.E. Nº 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 2024 sólo 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 autorizados[4] por la SMA, los que fueron realizados con la Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (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. Nº 223/2015.

Dicho lo anterior, en la Tabla 2-3 se presentan los considerandos y/o resuelvos 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 la Adenda 5 del proceso de evaluación ambiental (vinculado al numeral 10.19 de la RCA Nº 21/2016).

Además, 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 Nº 894/2019 y sus actualizaciones, la cual entró en vigencia el 27 de septiembre del año 2019.

[4] 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. Nº 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. Nº 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 Nº 92/2000	Considerando 9. Primer Bullet	*Realizar el monitoreo de la calidad química del acuífero[5] 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. Nº 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 Nº 3132/2006 que modifica a la RCA Nº 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.*
RCANº21/2016	Considerando 7. FISICO Hidrogeología	**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 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*

[5] En consideración a la resolución de solicitud de interpretación de la RCA Nº 21/2016, resuelta mediante la R.E. Nº 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
		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. FISICO Hidrología	**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* 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

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

Resoluciones	Considerando / Resuelvo	Transcripción
		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 m^2. 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* a *SMA y DGA Región de Antofagasta*. *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 físico-químicos in situ:*** *pH, C.E., Tº, 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. 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.*

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

Resoluciones	Considerando / Resuelvo	Transcripción
R.E. Nº 1472/2017 que modifica RCA Nº21/2016	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 Nº 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 Nº 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.*
	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 in situ 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.*

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

Documento	Numeral	Transcripción
	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 (limnímetro), 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 [ºC] 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 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.*
	Numeral 3.2.9.	*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 m^3, 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.*

Fuente: Elaboración Propia

Dando cumplimiento a lo establecido en la R.E. Nº 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 2024.

Tabla 2-5 Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis 2024

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	ANAM[4]	No aplica	No aplica
FÍSICO Hidrogeología	Evapotranspiración	Albemarle	No aplica	No aplica
	Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Albemarle/ANAM[3]	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	ANAM[1]	ANAM[1]	ANAM[1] CEA[2]

(1) Código ETFA N°011-01. Realizaron la medición, muestreo y análisis en el periodo 2024. La medición de Sólidos Disueltos Totales desarrollada en terreno no cuenta con autorización ETFA, debido a que este parámetro se mide a través del electrodo de conductividad expresando otras unidades como los sólidos totales disueltos (TDS) lo que se detalla en la carta enviada de ANAM a Albemarle (G07 2024 Albemarle- SDT).
(2) Código ETFA 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 2024.
(3) Los puntos pertenecientes al Plan de Alerta Temprana se ejecutan con ETFA
(4) La medición de caudales superficiales se realiza con ETFA, no obstante, Albemarle mide en compañía de la ETFA y se reportan ambas mediciones

Fuente: Elaboración propia

3 OBJETIVOS

El Plan de Seguimiento Ambiental de los Recursos Hídricos es concebido como la 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 protección[6], 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

[6] 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 2024 (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 Nº 9, permite ir evaluando el comportamiento de las variables ambientales a través del tiempo, respecto de lo proyectado 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.

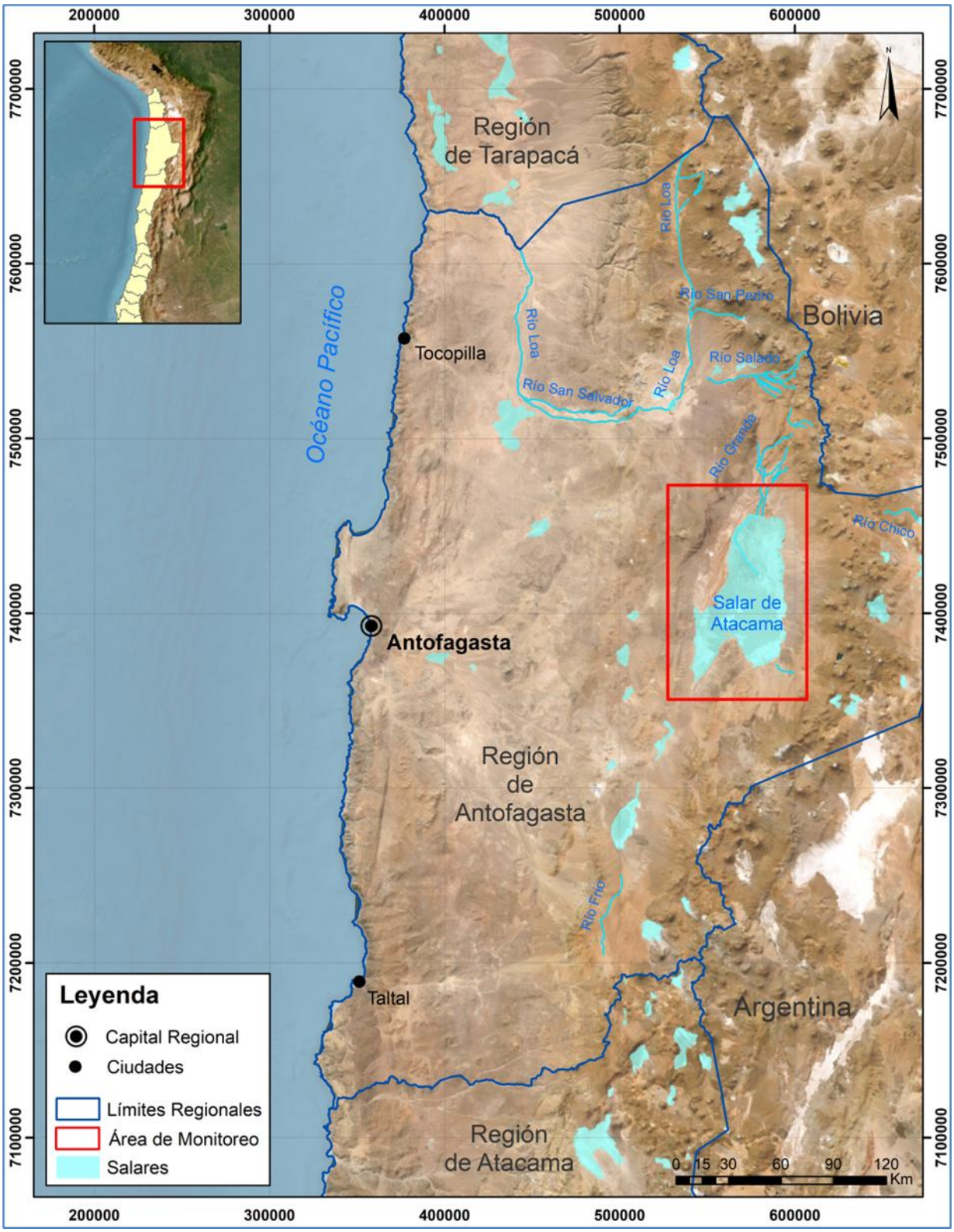
La cuenca del Salar de Atacama corresponde a una cuenca endorreica, en cuyo depocentro se encuentra el Salar de Atacama compuesto mayoritariamente por depósitos evaporíticos (cloruros, sulfatos y carbonatos) con intercalaciones menores de materiales detríticos (arcillas, limos, cenizas de origen volcánico, y arenas). El Salar se sitúa en una depresión topografía 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.

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, en el Salar, 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 (≈1 g/cm^3) procedentes de los acuíferos de estos bordes, de la salmuera más densa (≈1,22 g/cm^3) presente en el Núcleo.

Según el modelo conceptual planteado en Adenda 5, 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



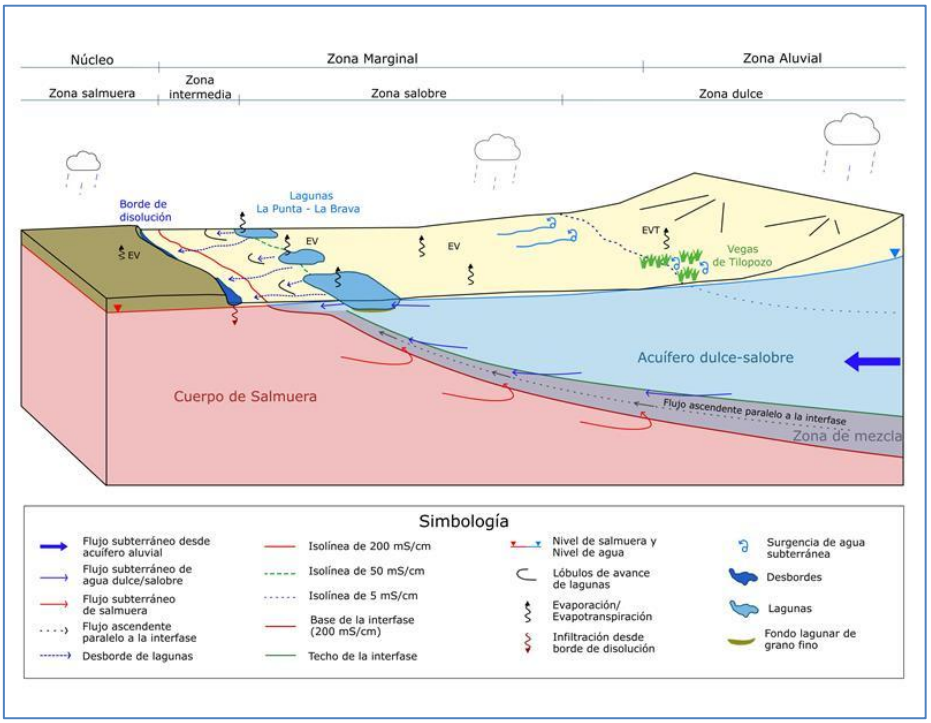
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, también se indicó que 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.

Durante el año 2024, en el marco del cumplimiento del numeral 3.5.3 del Anexo N° 3 de la Adenda N° 5, se ha estado confeccionando la 4° Actualización del modelo conceptual y numérico del Salar de Atacama, que se entrega en la misma fecha del presente informe; se ha denotado que el modelo conceptual actual, considera la interfase salina como una zona de mezcla, con cierto espesor, que en el Salar en planta, se puede dibujar como una franja donde la conductividad del agua transita desde un agua salobre, que en general es de alrededor de 50 mS/cm hasta la salmuera de 200 mS/cm.

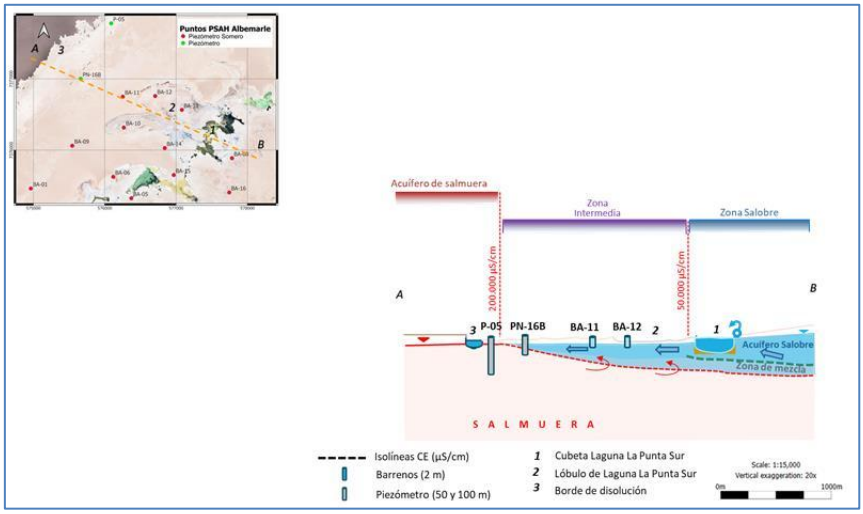
En el modelo conceptual del año 2015, la zona marginal intermedia estaba formada por salmuera y de manera esporádica frente a precipitaciones o periodos de baja evaporación podían existir rebalses subsuperficiales hasta los open pools. Actualmente se sabe que en la zona intermedia de la Punta La Brava existen agua salobre en la parte superior de la columna de manera permanente y bajo ella se encuentra la salmuera (Ver Figura 4-2 y Figura 4-3).

Figura 4-2 Conceptualización de la Interfase salina y zonas hidroquímicas para el Salar de Atacama



Fuente: 4° Actualización del Modelo Hidrogeológico Albemarle, 2025

Figura 4-3 Zoom de Conceptualización de zona intermedia, sector La Punta La Brava



Fuente: Elaboración propia, 2025

Adicional a lo anterior, se ha realizado la caracterización de las aguas presentes en el salar, en función de las correlaciones entre las mediciones de conductividad, densidad y solidos disueltos; así como los índices de saturación de halita y yeso, el comportamiento de los niveles y las unidades hidrogeológicas. Lo anterior, permitió identificar cuatro zonas hidroquímicas en el Salar de Atacama (Tabla 4-1).

Tabla 4-1 Zonas hidroquímicas, características principales y relación con unidades geológicas

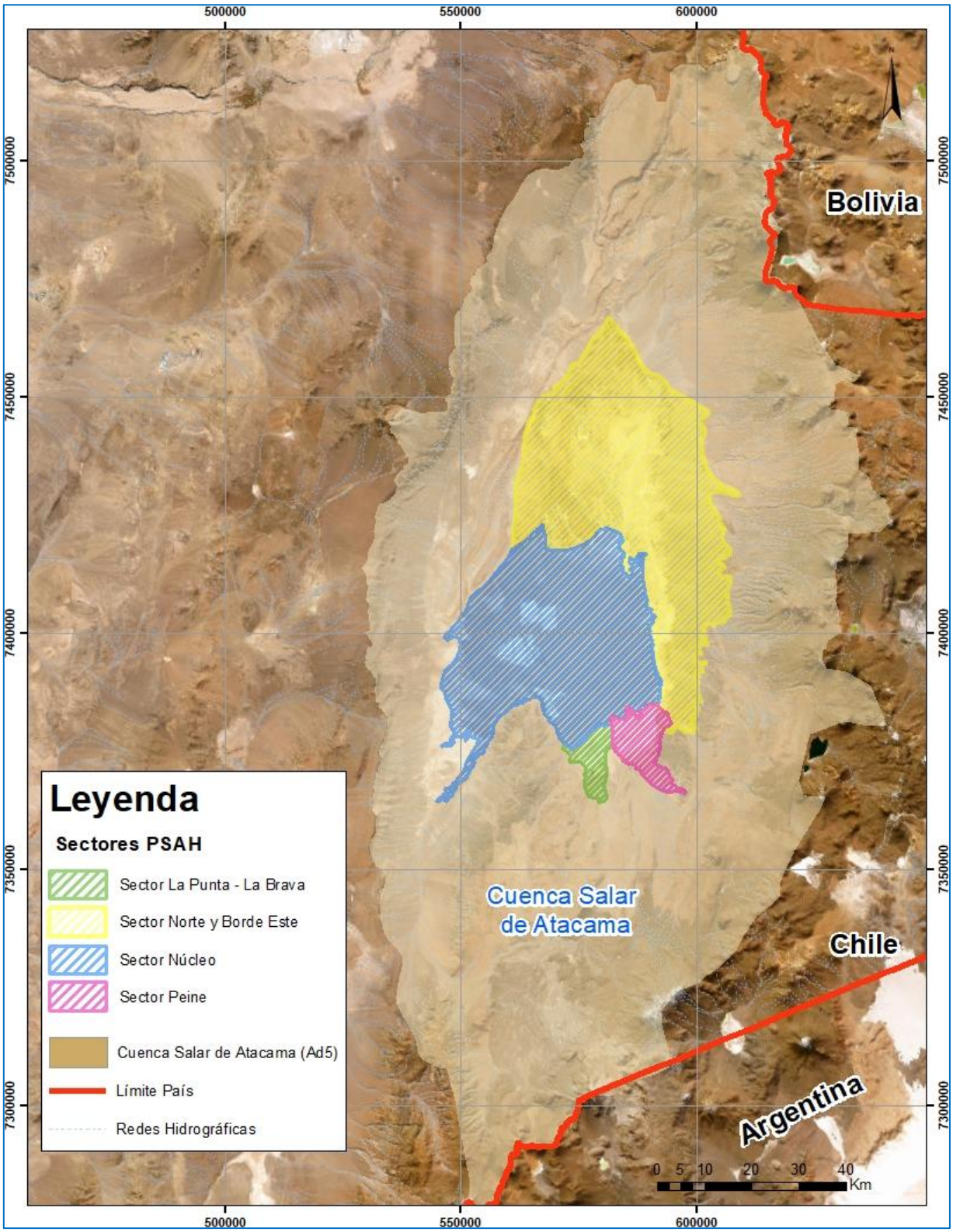
Zona Hidroquímica	CE (µS/cm)	IS Yeso	IS Halita	Unidad geológica	Comportamiento niveles
Zona Dulce	<5.000	<0	<0	Depósitos aluviales	Tendencia al descenso, menos acusada al aproximarse a zona Salobre
Zona Salobre	Entre 5.000 y 50.000	<0	<0	Carbonatos y limos	Estacionalidad más acusada al aproximarse a zona intermedia
Zona Intermedia	Entre 50.000 y 200.000	≈0	<0	Sulfatos y cloruros	Estacionalidad, leve tendencia al descenso más acusada y con menor estacionalidad al aproximarse a Salmuera.
Zona Salmuera	>200.000	≈0	≈0	Halita superior	Descenso e influencia de precipitaciones

Fuente: 4° Actualización del Modelo Hidrogeológico Albemarle, 2025

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 4-4. 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 4-4 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 175[7] puntos de monitoreo u observación que se detallan en la Tabla 4-2, indicando los parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución, así como la frecuencia de monitoreo comprometida.

Tabla 4-2 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 [ºC]		
		Evaporación en lámina libre en [mm]		
		Presión atmosférica en [mbar]		
FISICO Hidrología	Superficie Cubierta por Lagunas	Superficie en [m^2] de sistemas lagunares	4(1)	Semestral
	Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Profundidad del agua subterránea bajo el punto de referencia [m b.p.r.](2) Cota del agua subterránea [m s.n.m](3)	20 (4)	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 del agua subterránea bajo el punto de referencia [m b.p.r.] Profundidad del agua subterránea bajo el nivel de terreno [m b.n.t.] Cota del agua subterránea [m s.n.m.]	125 (5)	Mensual
	Posición de la Interfase Salina	Conductividad Eléctrica [µS/cm] v/s Profundidad [m]	13 (6)	Trimestral
	Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Caudal de salmuera en [l/s]	78 Pozos (7)	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 *in situ*: pH, C.E., Tº, TDS y Oxígeno Disuelto.	40 (8)	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^+.		

[7] Son 175 puntos corresponden a los monitoreados actualmente, sin considerar caudales bombeados, piezómetros y pluviómetros instalados en estaciones hidrometeorológicas de los lisímetros.

Tabla 4-2 Resumen Variables Ambientales y Parámetros

Componente Ambiental	Variable Ambiental	Parámetros	N° de puntos medidos	Frecuencia de Medición
		Elementos minoritarios y trazas disueltos: B, Li, Sr.		
		Elementos minoritarios y trazas totales: Al, As, B, Fe, Li, Si, Sr.		

(1) El numero 4 corresponde a los 4 sistemas lagunares: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana
(2) Corresponde a la distancia tomada desde la punta de la reglilla hasta la superficie del agua.
(3) Corresponde a la cota del agua superficial.
(4) El limnímetro LM-15 fue reemplazo por un piezómetro (el BA-31) el año 2018 porque en la ubicación original del limnímetro 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 tal.
(5) Son 125 porque BA-31 se considera dentro de la red de piezómetros y MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016.
(6) Son 13 puntos, si bien originalmente eran 14, dado porque el pozo MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016.
(7) Corresponde a la cantidad total de pozos que se han bombeado durante 2024.
(8) Se presenta también, la 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 2 primeros años de aprobado 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 hasta el año 2025 (Ver Anexo M-4). A la fecha de entrega de este informe, en febrero de 2025, se recibió por parte de la SMA, el ORD N°437, donde se remite el pronunciamiento técnico sobre modificación de seguimiento ambiental, ver detalle en sección 4.4.2. 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 para efectos de la entrega de resultados, esta información continua, se integra a un valor por día[8].

[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).

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 4 sectores de la cuenca, mostrados en la Figura 4-4, determinados según sus comportamiento y características hidrológicas e hidrogeológicas:

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

En 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 Albemarle 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 Nº21/2016 e incorporar mejoras tecnológicas en la estación meteorológica.

En la Tabla 4-3 y en la Figura 4-5 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 4-3 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-KCl (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 rellenados 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).

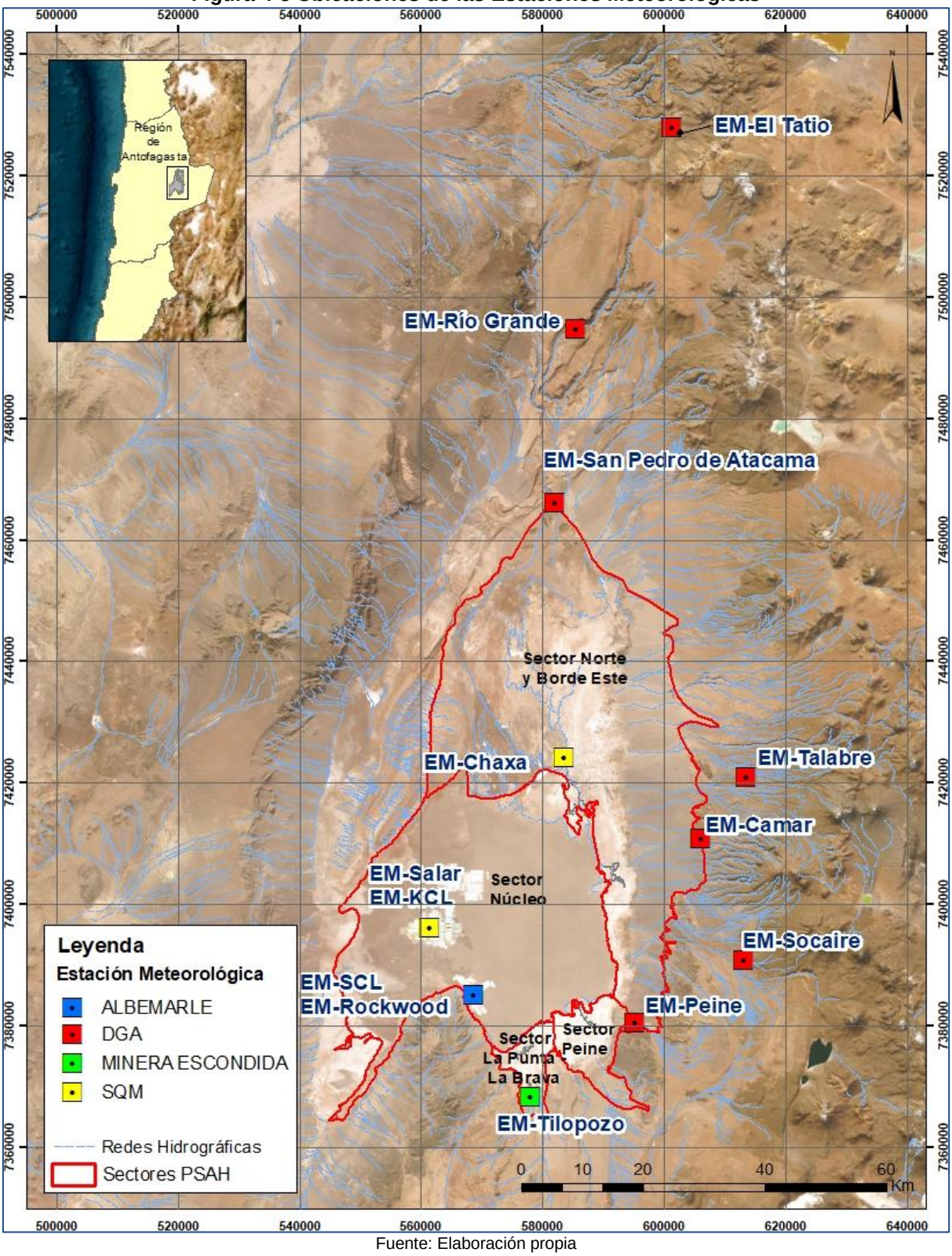
(6) Estaciones meteorológica sin datos desde 2017, según lo enviado por ley de transparencia, recibidos el 24-02-23, la carta N°AM006T0009653 se encuentra en el Anexo M, La cual se encuentra suspendida, según lo publicado en el sitio de DGA https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes. Consulta realizada 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 4-5 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. A la fecha de entrega de este informe, en febrero de 2025, se recibió por parte de la SMA, el ORD N°437, donde se remite el pronunciamiento técnico sobre modificación de seguimiento ambiental, e indica: *"la propuesta no alteraría el objeto fijado en la evaluación ambiental, ni tampoco constituiría una desviación del seguimiento ambiental establecido en la RCA del proyecto".* Además, recomienda determinar la porosidad efectiva que interviene en el cálculo de la evaporación a partir de los lisímetros de carga variable con la mayor certidumbre posible.

Finalmente, la SMA indica que: *"este oficio no constituye un pronunciamiento que autorice la modificación de las obligaciones de seguimiento ambiental establecidas en la RCA N°21/2016, sino que, únicamente, constituye un pronunciamiento técnico en cuanto a si la modificación propuesta permite o no cumplir con el objetivo fijado en la evaluación ambiental"*

De acuerdo con lo anterior, Albemarle se encuentra trabajando en el desarrollo de abordar lo indicado por la autoridad (Ver Anexo B-2).

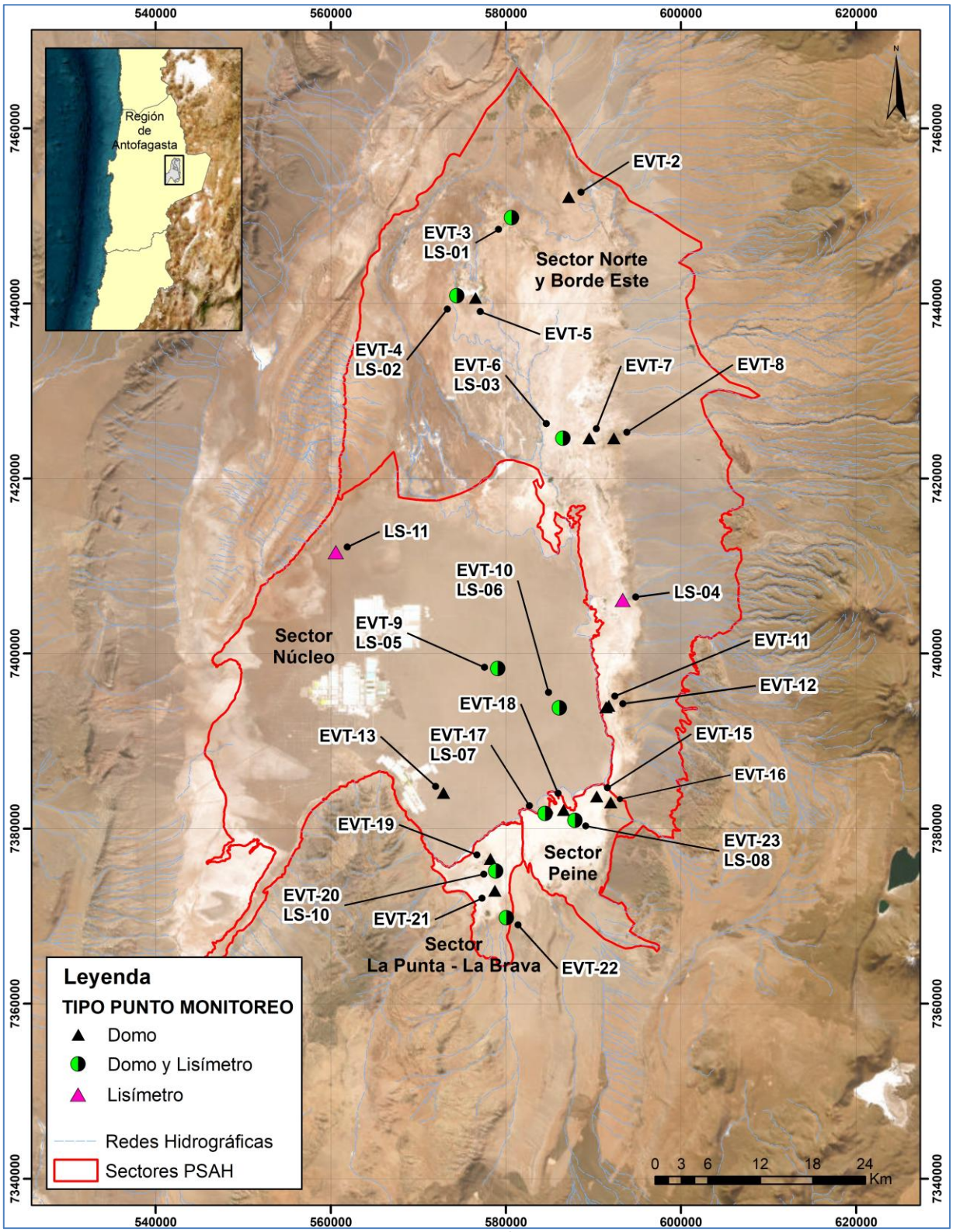
Por lo anterior y con el propósito de dar cumplimiento a lo establecido en la RCA N°21/2016 y dar continuidad a las mediciones de evapotranspiración, se han continuado con las campañas trimestrales de medición con domos, que entregan información puntual de la evapotranspiración. En la Tabla 4-4 se presenta 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 4-6 se muestra la ubicación de los de domos y lisímetros.

Tabla 4-4 Red de Monitoreo de Evapotranspiración

Punto de Monitoreo 2021	Red de Monitoreo Lisímetros	Sector	Coordenadas UTM (Datum WGS 84/Huso 19S) Adenda 5		Cota referencia	Coordenadas UTM (Datum WGS 84/Huso 19S) Topografía 2019 (1)		Elevación de Terreno 2019 (1)
			Este (m)	Norte (m)	[m s.n.m.]	Este (m)	Norte (m)	[m s.n.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	581.143	7.449.668	2.338,49
EVT-4	LS-02	Norte y Borde Este	574.421	7.440.912	2.319,00	574.421	7.440.916	2.316,74
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	586.517	7.424.794	2.301,51
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	579.083	7.398.294	2.299,54
EVT-10	LS-06	Núcleo	586.123	7.393.805	2.300,00	586.150	7.393.501	2.299,61
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	584.527	7.381.720	2.299,58
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	578.865	7.375.172	2.301,67
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	580.073	7.369.814	2.306,36
EVT-23	LS-08	Peine	587.897	7.380.946	2.304,00	588.052	7.381.640	2.300,21
LS-04 (2)		Norte y Borde Este	593.358	7.406.165	2.300,19	593.361	7.406.152	2.300,68
LS-11 (2)		Núcleo	560.582	7.411.613	2.300,15	560.582	7.411.615	2.299,67

(1) En el año 2020, se entregó a la autoridad (Cod 99311) el cumplimiento del Considerando 10.3 de la RCA N°21/2016, asociado a la nivelación de precisión, estas coordenadas responden a ese levantamiento topográfico.
(2) Los puntos LS-04 y LS-11 corresponden a lisímetros sin domo asociado, habiendo aun 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 4-6 Red Monitoreo Evapotranspiración



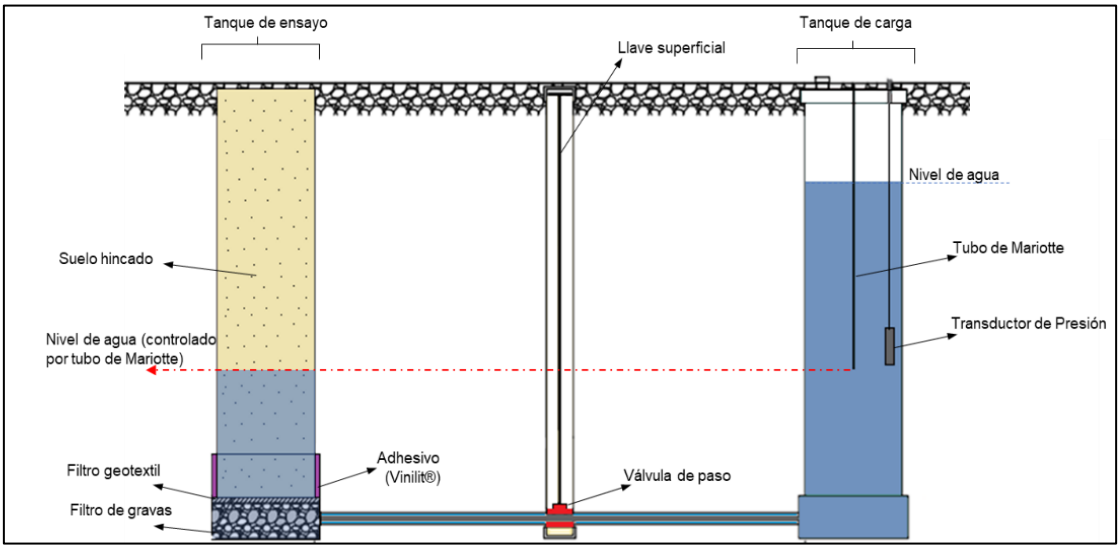
Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que cada lisímetro se compone de un tanque de ensayo conectado a un tanque de carga mediante una tubería flexible, la cual trasfiere el agua/salmuera desde un tanque al otro (debe ser la misma agua/salmuera del sector). La finalidad de la instalación de un tubo de Mariotte en el tanque de carga es mantener constante el nivel de agua/salmuera dentro del tanque de ensayo, para lo cual el tanque de carga debe generar vacío en su interior para lograr este efecto. El esquema de funcionamiento del lisímetro se presenta en la Figura 4-7.

Para complementar los datos, la estación fue equipada con un pluviómetro que tiene como función principal cubrir la necesidad de cuantificar, de manera continua los aportes de agua a la cuenca, a través de los diferentes eventos de precipitación.

Finalmente, de manera complementaria, también se instaló un piezómetro para monitorear las fluctuaciones del nivel de agua/salmuera. Además, de su función de monitoreo, el piezómetro servirá como fuente de abastecimiento de agua/ salmuera para recargar el lisímetro.

Figura 4-7 Esquema funcionamiento lisímetro



Fuente: Albemarle – Suez, 2019

En la siguiente Tabla 4-5 se presentan la coordenada topográfica de los piezómetros, junto con su cota de referencia presentadas a la autoridad en el año 2020. Se incluye esta topográfica y cota, debido a que estos puntos no estaban construidos previos a 2019.

Tabla 4-5 Red de piezómetros instalada en lisímetros

Punto de monitoreo	Sector	Coordenadas UTM (*Datum* WGS 84/Huso 19S)		Cota referencia [m s.n.m.]
		Este (m)	Norte (m)	
PLS-01	Norte y Borde Este	581143,690	7449666,315	2338,881
PLS-02	Norte y Borde Este	574419,842	7440914,204	2317,142
PLS-03	Norte y Borde Este	586518,262	7424794,715	2301,872
PLS-04	Norte y Borde Este	593361.804	7406149.738	2301,092
PLS-05	Núcleo	579082.265	7398295.776	2300,091
PLS-06	Núcleo	586147,808	7393502,036	2300,117
PLS-07	Peine	584526,657	7381717,948	2300,078
PLS-08	Peine	588050.298	7381639,703	2300,845
PLS-09	La Punta-La Brava	580073.241	7369816.486	2306,923
PLS-10	La Punta-La Brava	578863.586	7375172,330	2302,105
PLS-11	Núcleo	560582,096	7411613,038	2300,158

Nota: Cota Referencia y coordenadas UTM, corresponden a las presentadas el año 2020 mediante carta ALB-GMA-2020-SMA-012, Código Cod: 99371

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 Red de Monitoreo Superficie Lagunar

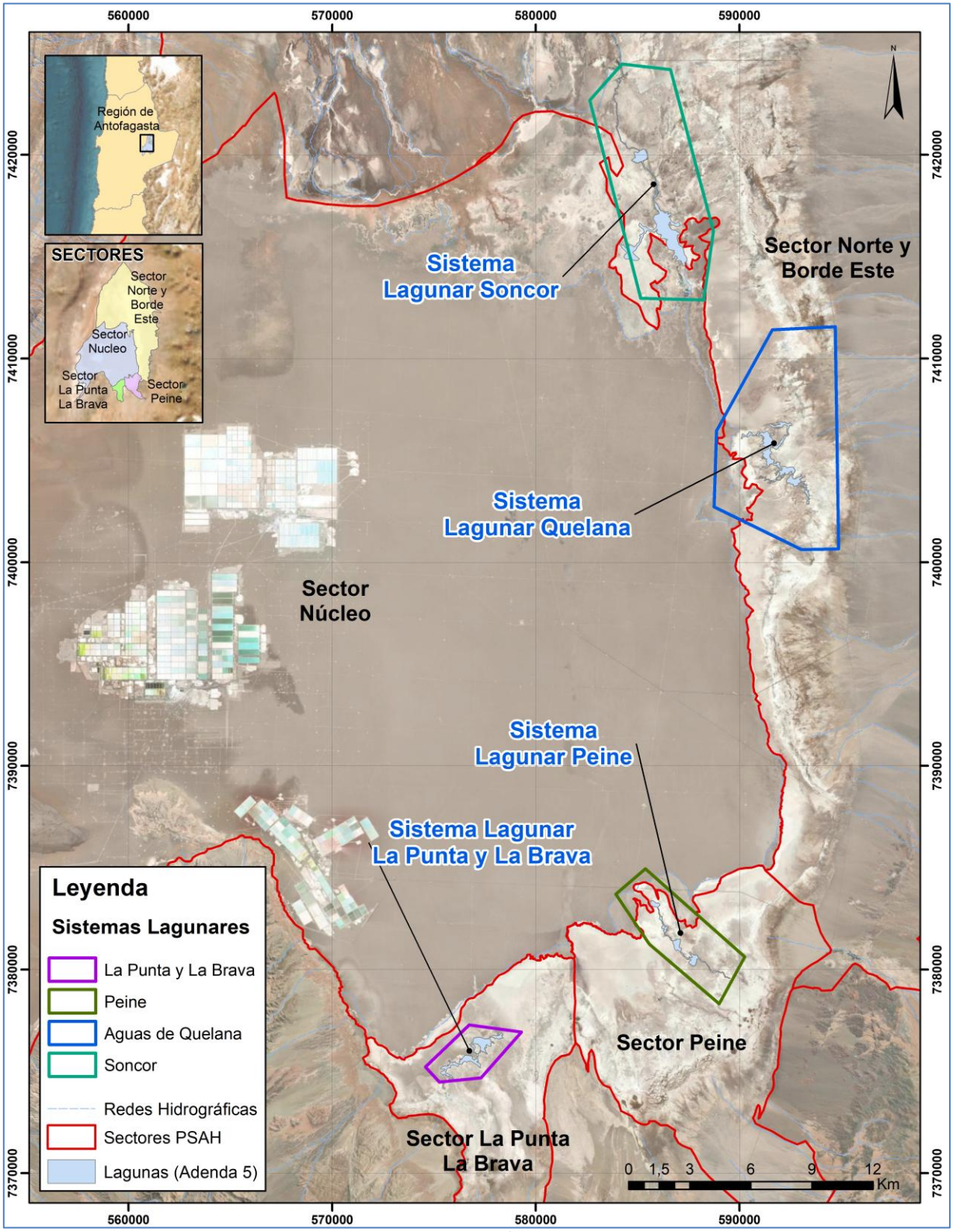
En relación al monitoreo del área inundada por la superficie lagunar se mide a través de imágenes satelitales de mediana resolución, de alta resolución y levantamiento en terreno considerando 4 polígonos de evaluación, uno para cada sistema lagunar objeto de protección del Proyecto. Los vértices de los polígonos se indican en la Tabla 4-6, y su ubicación espacial en la Figura 4-8.

Tabla 4-6 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 4-8 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, Peine, Norte y Borde Este y 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-XX[9]. 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. Dentro de estos piezómetros someros también se encuentran el TIL-P03 y TUC-P06.
- Multipiezómetros: se define de esta forma al conjunto constituido por 2 o 3 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 3 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

[9] 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.

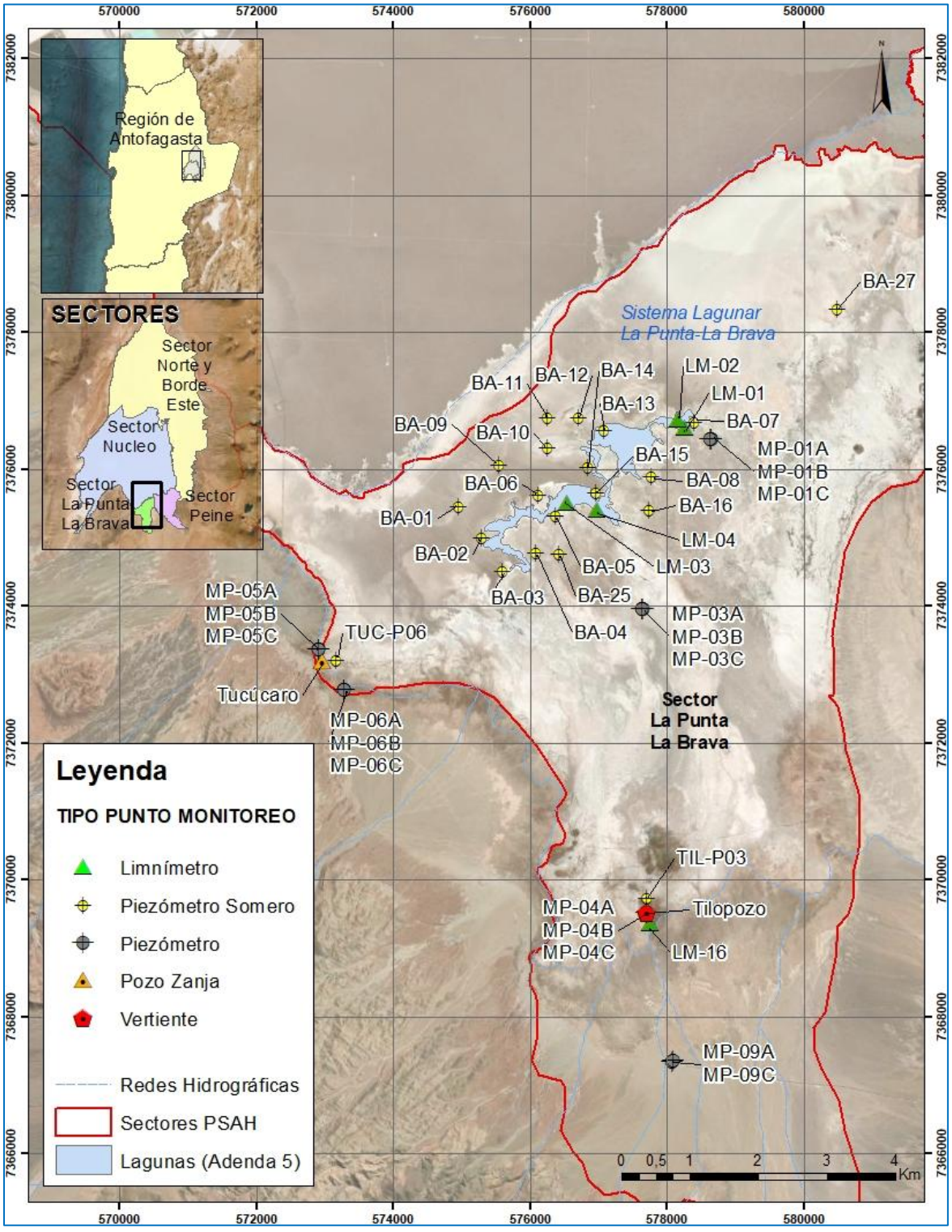
4.2.4.1 Monitoreo Sector La Punta – La Brava

El sector La Punta – La Brava, 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 red de monitoreo en este sector consta de un total de 44 puntos de monitoreo de los cuales se muestran espacialmente en la Figura 4-9, haciendo la distinción en cuanto al tipo de cada punto. La Tabla 4-7 presenta los puntos de monitoreo considerados en este sector, indicando las variables 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 4-9 Puntos de Monitoreo Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-7 Red de Monitoreo Sector La Punta-La Brava

Nº	Punto de Medición	Coordenadas UTM (1) (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar(m s.n.m.) (1)	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	Limnímetro		x			x
20	LM-02	578.162	7.376.719	2.300,80	Limnímetro		x			x
21	LM-03	576.553	7.375.507	2.300,58	Limnímetro		x			x
22	LM-04	576.992	7.375.404	2.300,93	Limnímetro		x			x
23	LM-16	577.756	7.369.364	2.307,84	Limnímetro		x			x
24	MP-01A	578.647	7.376.429	2.301,23	Piezómetro			x		x

Tabla 4-7 Red de Monitoreo Sector La Punta-La Brava

Nº	Punto de Medición	Coordenadas UTM (1) (WGS 84/Huso 19S)		Cota Collar(m s.n.m.) (1)	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**

(1) Coordenadas y cotas preliminares. Levantamiento topográfico para nivelación y homologación de coordenadas y cotas (condición específica 10.3 de la RCA Nº21/2016) ya fue realizado, siendo entregado a la SMA el 24 de agosto de 2020.

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2 Monitoreo Sector Peine

El sector Peine, 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. La red de monitoreo en este sector consta de un total de 39 puntos de monitoreo de los cuales se muestran espacialmente en la Figura 4-10, haciendo la distinción en cuanto al tipo de cada punto.

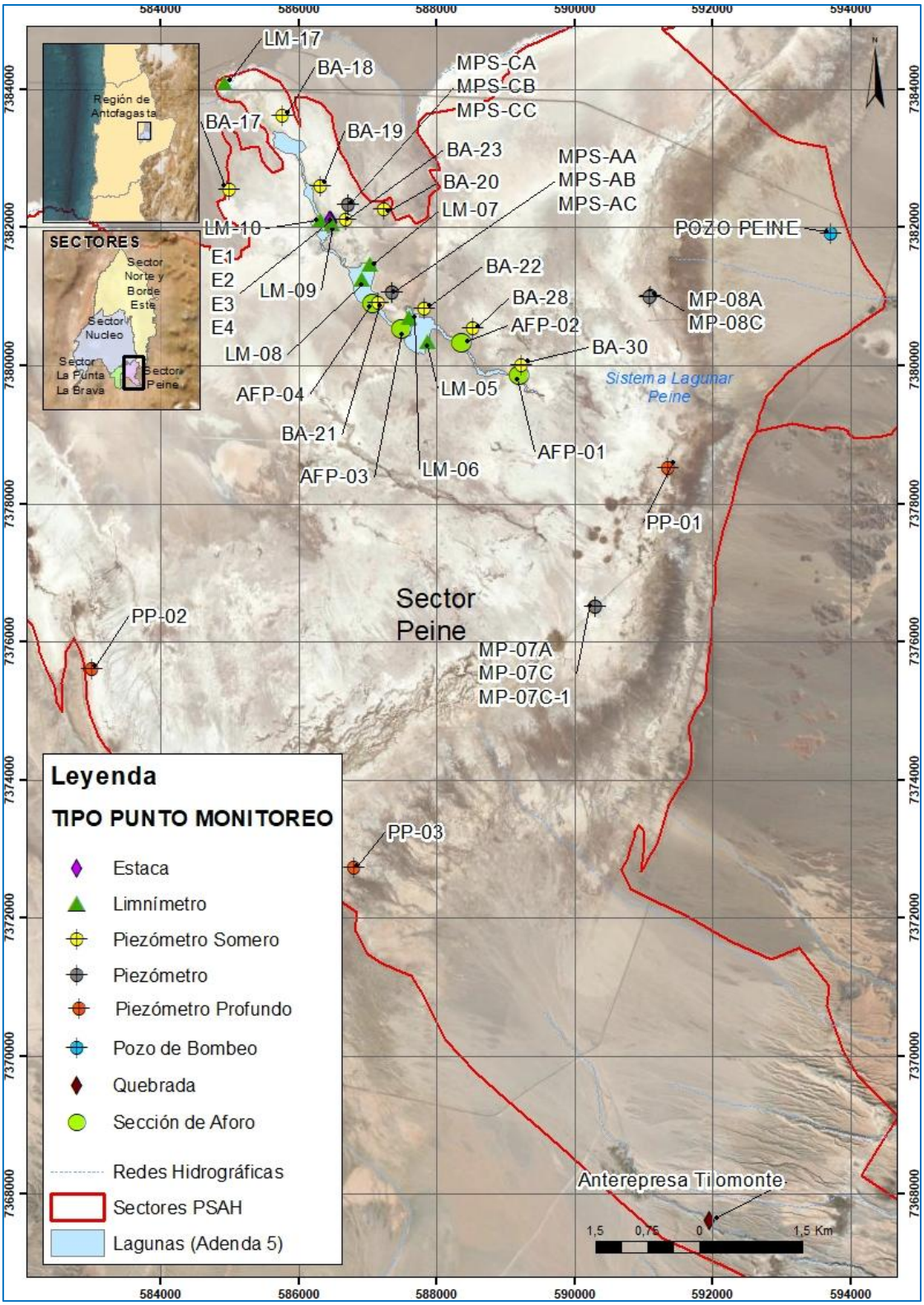
En la Tabla 4-8, se presentan todos los puntos de monitoreo considerados en este sector indicando sus coordenadas y las variables que se miden en cada uno de ellos indicando (mediante una “x”).

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 intercepto 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 Nº 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.

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 4-10 mediante la simbología que se indica en la leyenda.

Figura 4-10 Puntos de Monitoreo Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

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

Nº	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	Limnímetro		x			x
16	LM-06	587.618	7.380.701	2.300,78	Limnímetro		x			x
17	LM-07	587.038	7.381.462	2.300,45	Limnímetro		x			x
18	LM-08	586.928	7.381.249	2.300,54	Limnímetro		x			x
19	LM-09	586.497	7.382.059	2.299,73	Limnímetro		x			x
20	LM-10	586.329	7.382.108	2.299,69	Limnímetro		x			x
21	LM-17	584.939	7.384.094	2.299,61	Limnímetro		x			x
22	MP-07A	590.305	7.376.507	2.306,63	Piezómetro			x		x

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

Nº	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
23	MP-07C(2)	590.300	7.376.499	2.306,63	Piezómetro			x	x	
	MP-07C-1	590.302	7.376.494	2.306,68	Piezómetro					
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	P. Profundo			x	x	x
34	PP-02	583.007	7.375.594	2.303,98	P. Profundo			x	x	x
35	PP-03	586.803	7.372.719	2.309,09	P. 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 Nº21/2016) 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

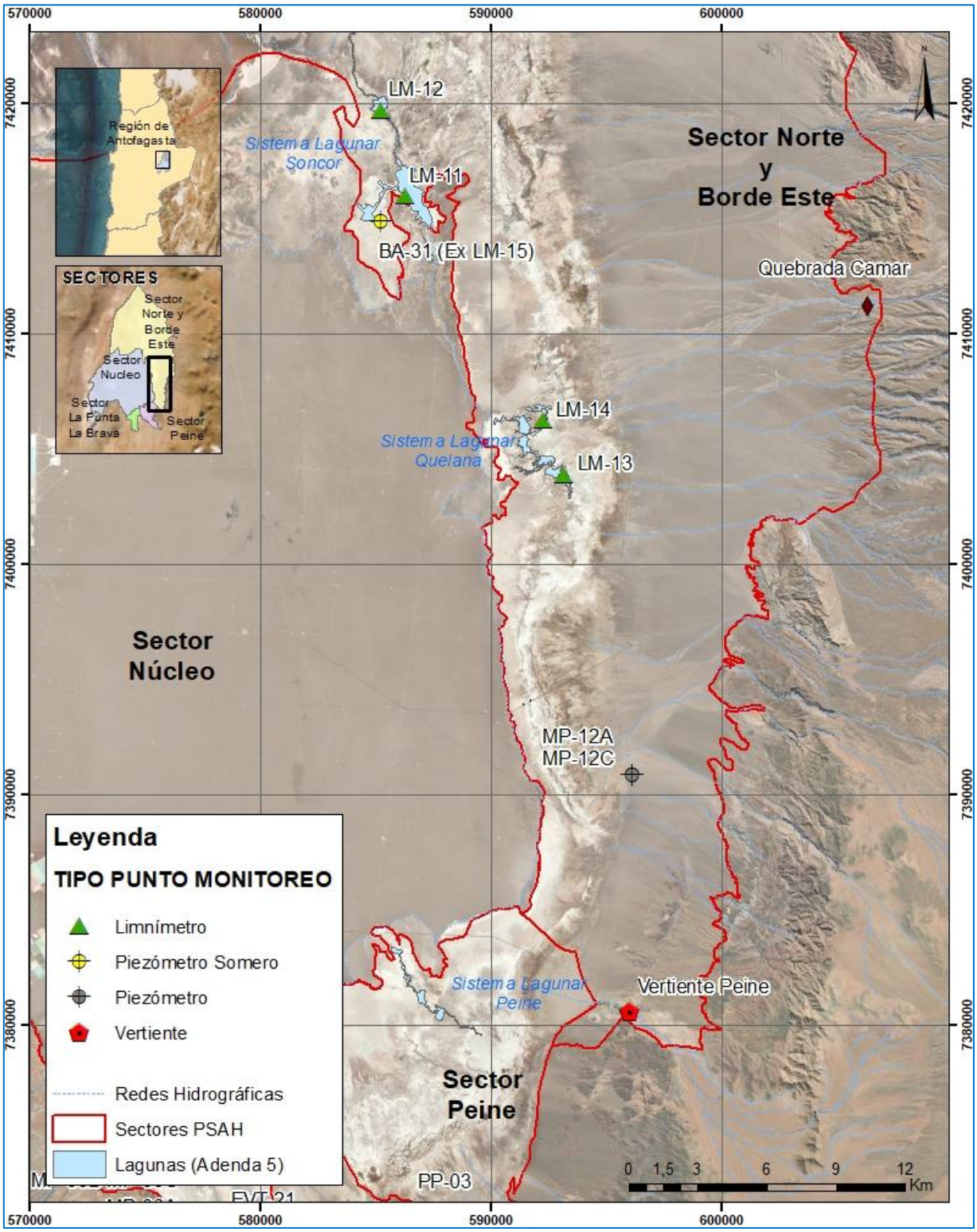
El sector Norte y Borde Este, abarca el área de la Zona Marginal, parte del Núcleo y Borde Este de la cuenca alrededor de los sistemas lagunares Soncor y Aguas de Quelana, que son áreas protegidas por formar parte de la Reserva Nacional Los Flamencos y están incluidas en la convención Ramsar (La Convención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

La red de monitoreo de este sector considera un total de 9 puntos de monitoreo de los cuales se muestran espacialmente en la Figura 4-11, haciendo la distinción en cuanto al tipo de punto en cada uno de ellos.

En la Tabla 4-9, 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.

Se hace importante señalar que con anterioridad existió en la nomenclatura el limnímetro LM-15, que fue reemplazado por un piezómetro (el BA-31) el año 2018 porque en la ubicación original del limnímetro no había agua superficial. En los mismos puntos también se toman muestras de agua para su caracterización físico-química.

Figura 4-11 Puntos de Monitoreo Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-9 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Norte y Borde Este

Nº	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	Limnímetro		x			x
2	LM-12	585.236	7.419.626	2.299,73	Limnímetro		x			x
3	LM-13	593.159	7.403.846	2.300,38	Limnímetro		x			x
4	LM-14	592.251	7.406.216	2.300,50	Limnímetro		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 Nº21/2016) 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 limnímetro 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.

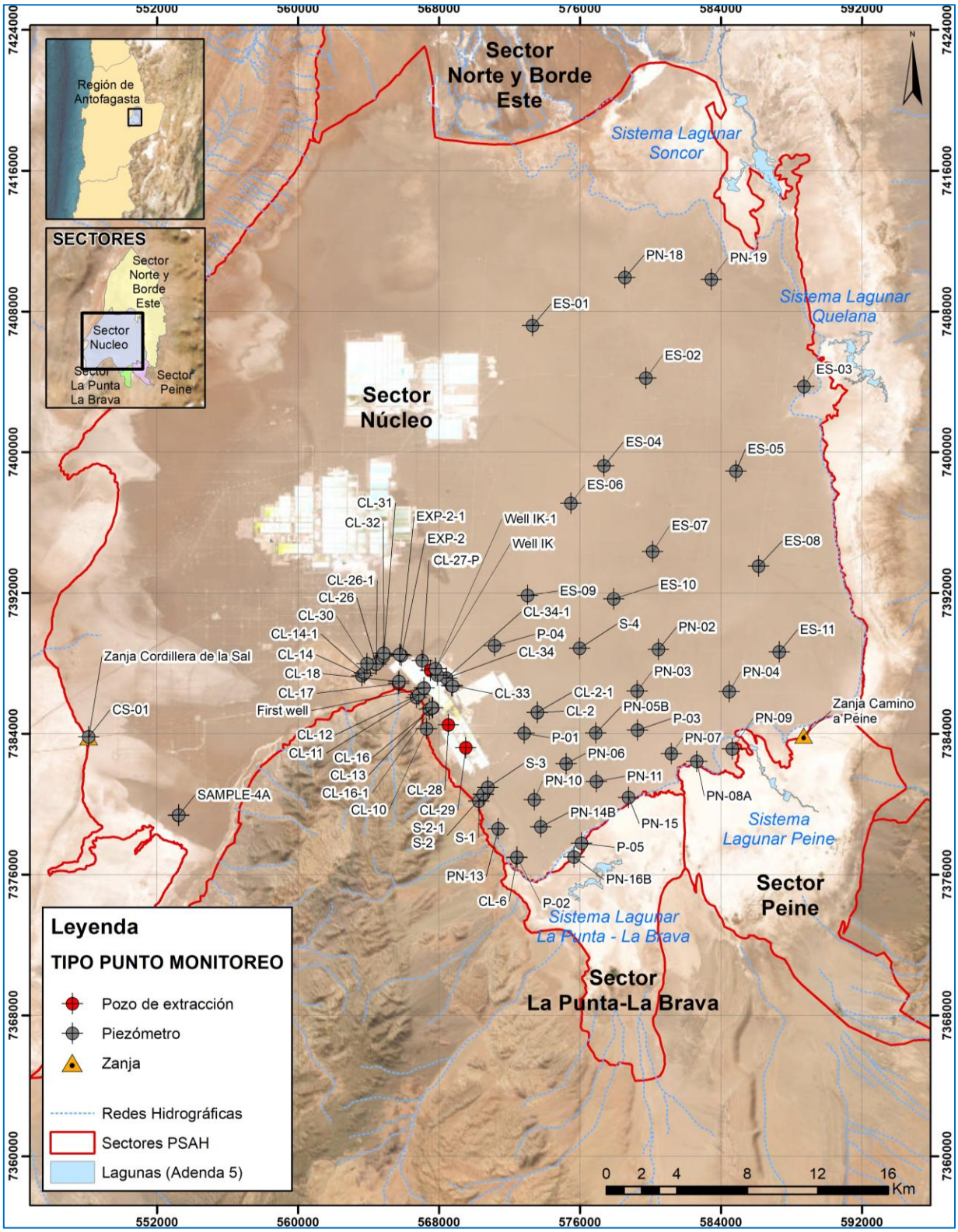
La red de monitoreo de este sector considera un total de 62 puntos para la medición mensual solamente de niveles piezométricos. En la Figura 4-12 se muestra la ubicación de cada uno de ellos.

La Tabla 4-10 muestra los puntos de monitoreo considerados en este sector indicando sus coordenadas y las variables que se miden en cada uno de ellos indicando (mediante una “x”). 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 Nº21/2016.

En el monitoreo del núcleo no se incluye el monitoreo de la composición química de la salmuera en los pozos de extracción, esta no inclusión está dada por la resolución de solicitud de interpretación de la RCA Nº21/2016, resuelta mediante la R.E. Nº 1.472 de fecha 27 de diciembre 2017 del SEA Dirección Ejecutiva, dicha Resolución se adjunta dentro del Anexo M de este Informe. Por lo anterior es que no se presentan resultados asociados a química de los pozos de extracción de salmuera.

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 4-12 Puntos de Monitoreo Sector Núcleo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-10 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo

Nº	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 4-10 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo

Nº	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 4-10 Red de Monitoreo ubicados en el Sector Núcleo

Nº	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 Nº21/2016 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 4-11 se presentan los pozos de extracción tanto de salmuera como de agua dulce-salobre que ALB ha operado durante el año 2024, asimismo se entregan sus coordenadas. En la Figura 4-13 se presenta su ubicación.

Tabla 4-11 Pozos de bombeo monitoreados año 2024, 78 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.

Nº	Punto	Coordenadas UTM (WGS 84/Huso 19S)		Extracción	Área de Extracción
		Este (m)	Norte (m)		
1	CL-9	564.577	7.386.801	Salmuera	A1
2	CL-19	563.132	7.386.157	Salmuera	A1
3	CL-22	566.850	7.386.202	Salmuera	A1
4	CL-59	555.731	7.380.459	Salmuera	A1
5	CL-60	557.531	7.382.960	Salmuera	A1
6	CL-65	558.828	7.383.840	Salmuera	A1
7	CL-78	556.046	7.380.948	Salmuera	A1
8	CL-79	556.639	7.381.750	Salmuera	A1
9	CL-80	557.315	7.382.635	Salmuera	A1
10	CL-82	568.327	7.388.254	Salmuera	A1
11	CL-90	567.472	7.383.701	Salmuera	A1
12	CL-91	567.715	7.382.838	Salmuera	A1
13	CL-92	567.680	7.385.933	Salmuera	A1
14	CL-94	567.510	7.383.140	Salmuera	A1
15	CL-97	558.413	7.383.460	Salmuera	A1
16	CL-100	563.437	7.386.040	Salmuera	A1
17	CL-101	557.123	7.382.092	Salmuera	A1
18	CL-104	556.633	7.380.959	Salmuera	A1
19	CL-106	568.797	7.388.505	Salmuera	A1
20	CL-107	561.110	7.386.256	Salmuera	A1
21	CL-112	559.160	7.385.094	Salmuera	A1
22	CL-113	560.156	7.384.585	Salmuera	A1
23	CL-114	568.672	7.388.530	Salmuera	A1
24	CL-116	568.622	7.388.530	Salmuera	A1
25	CL-117	568.747	7.388.530	Salmuera	A1
26	CL-119	568.474	7.388.527	Salmuera	A1
27	CL-120	568.791	7.388.180	Salmuera	A1
28	CL-121	568.485	7.388.497	Salmuera	A1
29	CL-122	568.786	7.387.900	Salmuera	A1
30	CL-123	568.273	7.387.997	Salmuera	A1

Tabla 4-11 Pozos de bombeo monitoreados año 2024, 78 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.

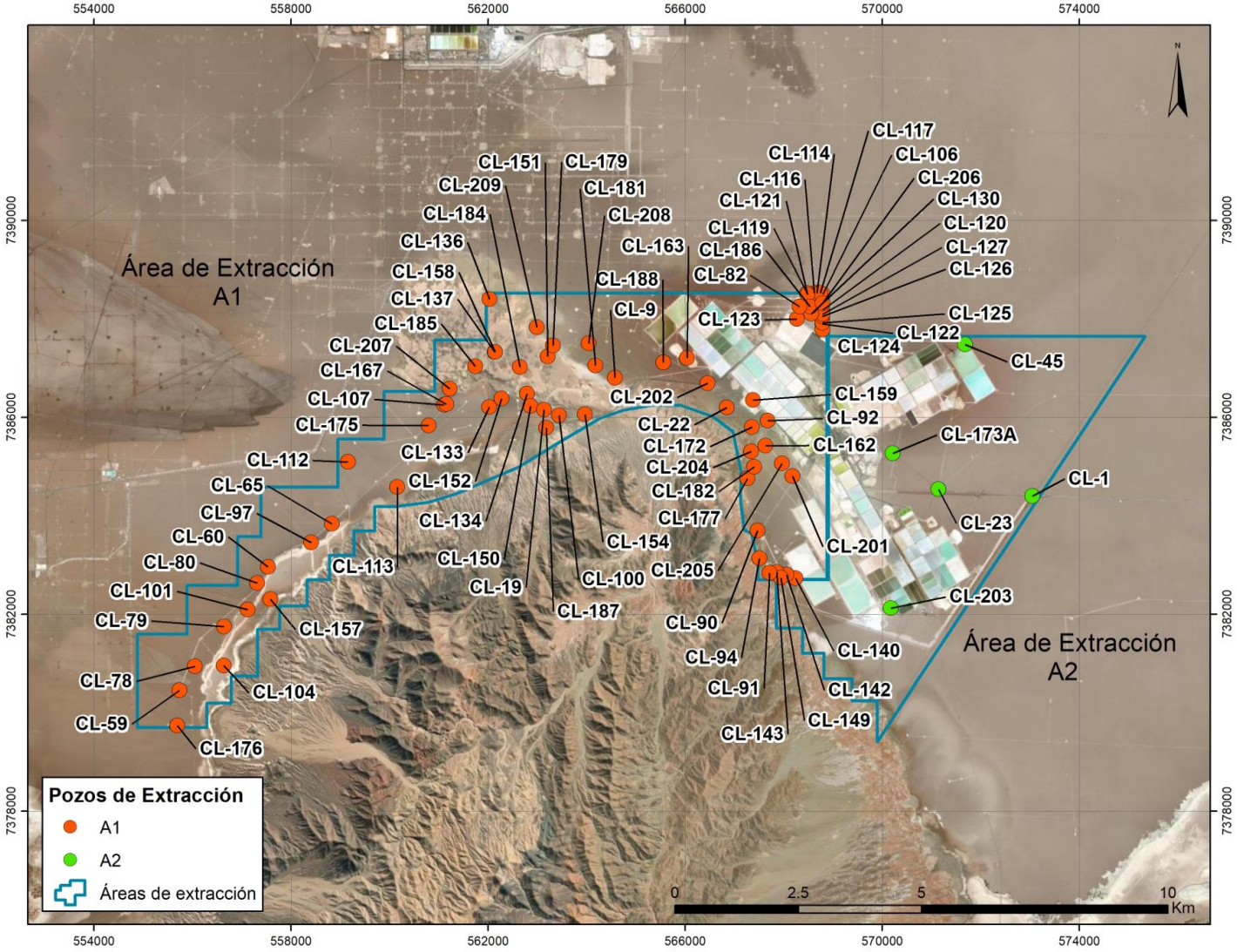
Nº	Punto	Coordenadas UTM (WGS 84/Huso 19S)		Extracción	Área de Extracción
		Este (m)	Norte (m)		
31	CL-124	568.790	7.387.786	Salmuera	A1
32	CL-125	568.786	7.387.923	Salmuera	A1
33	CL-126	568.785	7.388.056	Salmuera	A1
34	CL-127	568.789	7.388.097	Salmuera	A1
35	CL-130	568.559	7.388.109	Salmuera	A1
36	CL-133	562.022	7.386.212	Salmuera	A1
37	CL-134	562.789	7.386.481	Salmuera	A1
38	CL-136	562.033	7.388.407	Salmuera	A1
39	CL-137	562.139	7.387.328	Salmuera	A1
40	CL-140	568.243	7.382.732	Salmuera	A1
41	CL-142	568.057	7.382.804	Salmuera	A1
42	CL-143	567.860	7.382.858	Salmuera	A1
43	CL-149	567.944	7.382.746	Salmuera	A1
44	CL-150	562.864	7.386.230	Salmuera	A1
45	CL-151	563.211	7.387.236	Salmuera	A1
46	CL-152	562.275	7.386.382	Salmuera	A1
47	CL-154	563.962	7.386.065	Salmuera	A1
48	CL-157	557.579	7.382.307	Salmuera	A1
49	CL-158	562.142	7.387.327	Salmuera	A1
50	CL-159	567.383	7.386.355	Salmuera	A1
51	CL-162	567.630	7.385.423	Salmuera	A1
52	CL-163	566.038	7.387.211	Salmuera	A1
53	CL-167	561.150	7.386.273	Salmuera	A1
54	CL-172	567.360	7.385.803	Salmuera	A1
55	CL-175	560.796	7.385.835	Salmuera	A1
56	CL-176	555.691	7.379.740	Salmuera	A1
57	CL-177	567.263	7.384.763	Salmuera	A1
58	CL-179	563.321	7.387.456	Salmuera	A1
59	CL-181	564.179	7.387.052	Salmuera	A1
60	CL-182	567.399	7.385.001	Salmuera	A1
61	CL-184	562.647	7.387.027	Salmuera	A1
62	CL-185	561.739	7.387.041	Salmuera	A1
63	CL-186	568.534	7.388.252	Salmuera	A1
64	CL-187	563.178	7.385.790	Salmuera	A1
65	CL-188	565.555	7.387.118	Salmuera	A1
66	CL-201	568.182	7.384.810	Salmuera	A1

Tabla 4-11 Pozos de bombeo monitoreados año 2024, 78 puntos de extracción de salmuera y 3 puntos de extracción de agua dulce-salobre.

Nº	Punto	Coordenadas UTM (WGS 84/Huso 19S)		Extracción	Área de Extracción
		Este (m)	Norte (m)		
67	CL-202	566.454	7.386.694	Salmuera	A1
68	CL-204	567.345	7.385.314	Salmuera	A1
69	CL-205	567.964	7.385.070	Salmuera	A1
70	CL-206	568.792	7.388.323	Salmuera	A1
71	CL-207	561.224	7.386.586	Salmuera	A1
72	CL-208	564.039	7.387.505	Salmuera	A1
73	CL-209	562.989	7.387.830	Salmuera	A1
74	CL-1	573.049	7.384.403	Salmuera	A2
75	CL-23	571.141	7.384.543	Salmuera	A2
76	CL-45	571.689	7.387.482	Salmuera	A2
77	CL-173A	570.213	7.385.273	Salmuera	A2
78	CL-203	570.177	7.382.124	Salmuera	A2
79	Vertiente Tilopozo	577.715	7.369.511	Agua dulce-salobre	La Punta-La Brava
80	Tucúcaro	572.970	7.373.199	Agua dulce-salobre	La Punta-La Brava
81	Peine	593.721	7.381.894	Agua dulce-salobre	Peine

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-13 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. Las Tabla 5-31, Tabla 5-32 y Tabla 5-33, muestran los “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.

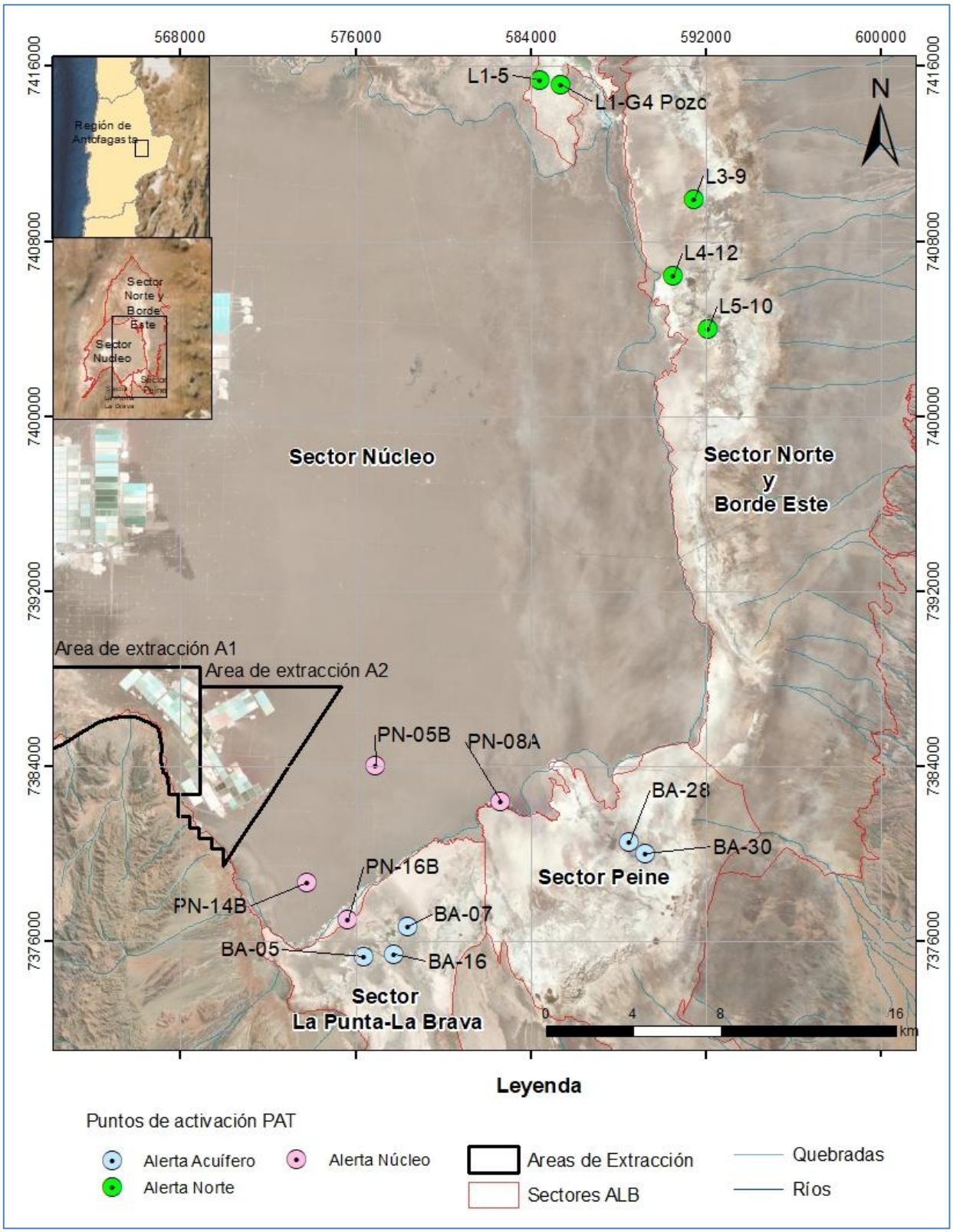
Cada sector tiene sus puntos de activación, umbrales (más detalles en el capítulo 5, sección 5.10 del presente informe), y medidas de acción diferentes, que dicen relación con el comportamiento esperado de cada sector durante la fase de operación del Proyecto:

Tabla 4-12 Indicadores de estado del PAT

Sector de Alerta	Descripción	Indicador	Nº Puntos de Activación	Efectos previstos por el proyecto en la evaluación ambiental
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 4-14 Ubicación Puntos PAT



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-13 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 3 medidas consecutivas, en cualquier punto de activación.	Cuando el nivel registrado esté por sobre umbral de Fase I durante 3 meses consecutivos, en todos los puntos de activación.
Fase II	Cuando el nivel registrado esté por debajo de su umbral de Fase II durante 3 medidas consecutivas, en cualquier punto de activación.	Cuando el nivel registrado esté por encima de su umbral de Fase II durante 3 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 3 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 3 meses consecutivos.	Cuando el nivel se registre por encima de su umbral de Fase II en todos los puntos de activación, durante 3 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 3 medidas consecutivos en al menos un punto de activación	Cuando el nivel registrado esté por encima su umbral durante 3 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 4-13.

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 Nº21/2016 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.

Con respecto a lo anterior, y luego de diversas comunicaciones con la autoridad, se recibió la Res. Ex. N°762 de la SMA de fecha 20 de mayo de 2024, con el pronunciamiento sobre la actualización de umbrales para el sistema La Punta- La Brava, los que se presentan en la Tabla 5-33 y comenzaron a regir a partir de la fecha de notificación de 20 de mayo 2024.

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

En esta sección se describen las metodologías, los materiales y/o equipos 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

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos, utilizados para el monitoreo de la variable meteorológica.

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 de 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 4-14.

Tabla 4-14 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 Nº 603/2016 y Nº 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 [ºC] 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 diario[10], mediante una planilla Excel.

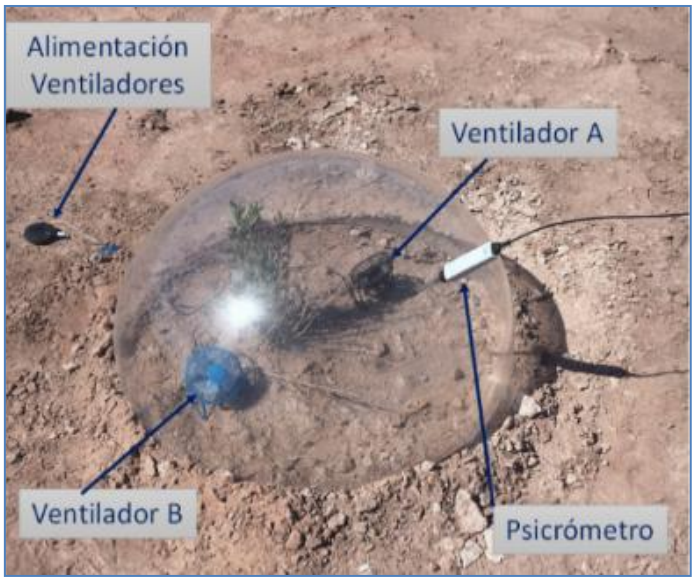
4.3.2 Evapotranspiración

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos, utilizados para el monitoreo de la variable de evapotranspiración.

4.3.2.1 Materiales y/o Equipos

La medición trimestral de evapotranspiración fue realizada en el 2024 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 2 ventiladores, y un sensor de humedad relativa y temperatura (psicrómetro) según la configuración que se muestra en la Figura 4-15.

Figura 4-15 Esquema de la cámara semiesférica dispuesta en terreno, con ventiladores y psicrómetro instalados



Fuente: PSAH (marzo de 2020).

[10] 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 2024, se usaron 8 domos, el SA-15, SA-20, SA-21, SA-22, SA-23, SA-24, SA-25, SA-26, SA-28, SA-29 y SA-30, en la Tabla 4-15 se detallan domos utilizados en relación con mes de campaña.

Tabla 4-15 Domos utilizados para la medición de la EVT en 2024

	Campaña Marzo	Campaña Junio	Campaña Septiembre	Campaña Diciembre
SA-15	X			
SA-20	X			
SA-21	X	X	X	X
SA-22	X	X	X	
SA-23		X		
SA-24		X	X	X
SA-25	X	X	X	X
SA-26	X	X	X	X
SA-28				X
SA-29				X
SA-30				X

Fuente: Elaboración propia

Las características de los domos utilizados en las mediciones trimestrales se presentan en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16 Características domos utilizados para la medición de la EVT en 2024

Domo	Diámetro (cm)	Altura (cm)
SA-15	1,000	0,526
SA-20	1,002	0,510
SA-21	1,001	0,485
SA-22	1,003	0,506
SA-23	1,001	0,504
SA-24	1,002	0,505
SA-25	1,001	0,506
SA-26	1,004	0,510
SA-28	1,000	0,500
SA-29	1,003	0,500
SA-30	1,000	0,506

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes equipos y materiales complementan el uso de domos para realizar las mediciones (Tabla 4-17):

Tabla 4-17 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)	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 sitio de medición, teniendo en cuenta que sea representativo del área que se pretende caracterizar (suelo desnudo, suelo con vegetación o lámina libre de agua) y que la superficie del terreno esté 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 4-16).

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 4-16.

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 4-16 Preparación del terreno e instalación del domo



Fuente: PSAH (marzo de 2020)

Todos los puntos de monitoreo se miden durante 2 días (jornadas dobles), 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 2 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 4-17) que es calculada mediante la siguiente ecuación:

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

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 4-17 (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:

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

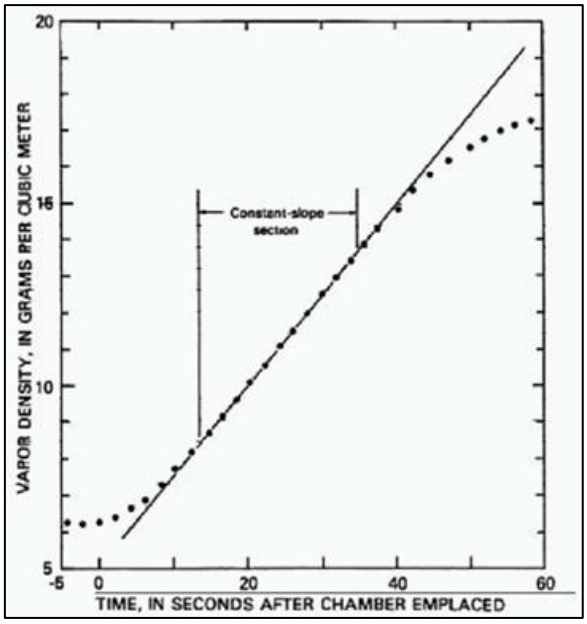
$$Volúmen\ interior_{Domo} = V_{Domo} = \frac{4}{3}\pi \cdot h_{Domo} \left(\frac{Diámetro_{Domo}}{2}\right)^2 \cdot 0{,}5$$

Dónde:

h_{Domo} : Altura del Domo $[\mathrm{m}]$

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

Figura 4-17 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 2024, los factores de corrección por forma utilizados se muestran en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18 Factor de corrección por forma

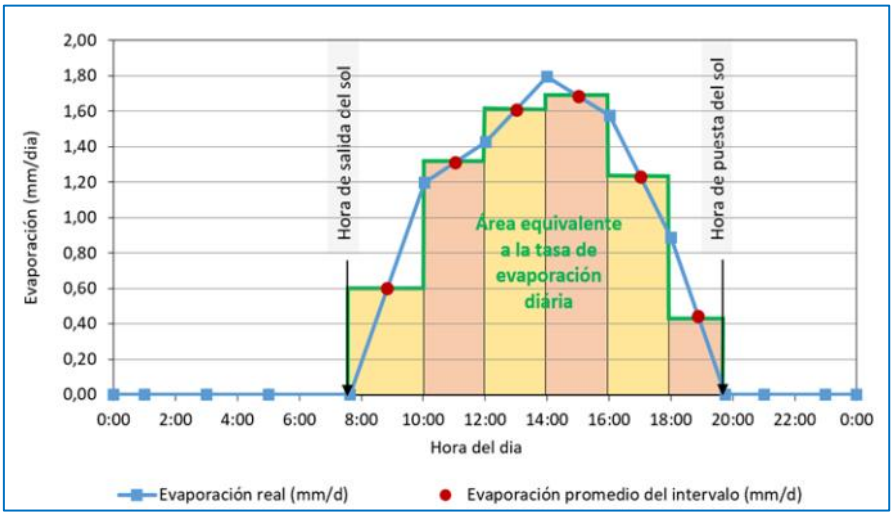
Domo	Área basal (m^2)	Volumen interior (m^3)	Factor Corrección
SA-15	0.785	0.283	1.094
SA-20	0.789	0.271	1.042
SA-21	0.787	0.251	0.967
SA-22	0.790	0.268	1.030
SA-23	0.787	0.265	1.025
SA-24	0.789	0.267	1.027
SA-25	0.787	0.267	1.031
SA-26	0.792	0.271	1.041
SA-28	0,785	0,262	
SA-29	0,79	0,263	
SA-30	0,785	0,265	

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 2 medidas. De esta manera, se obtiene un valor de evaporación para cada intervalo de tiempo, tal y como se muestra en la Figura 4-18, 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 4-18 Ejemplo de cálculo de evaporación diaria



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Superficie Lagunar

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos, utilizados para el monitoreo de la variable de 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 suma 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 pixeles.

4.3.3.2 Metodología de Medición

Las imágenes de alta resolución (AR) se focalizan en aquellas áreas de mayor interés y se adquieren, de acuerdo a los compromisos de la RCA Nº21/2016, en agosto y diciembre 2024[11]. 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, de forma complementaria se utiliza (en los casos que es posible), un dron con vuelo programado en los sistemas lagunares de difícil acceso.

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

[11] De acuerdo a lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5, *“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 la misma”.*

diciembre 2016 hasta agosto y diciembre 2024) 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 5 y se indican en el siguiente Acápite (“Metodología de cálculo”).

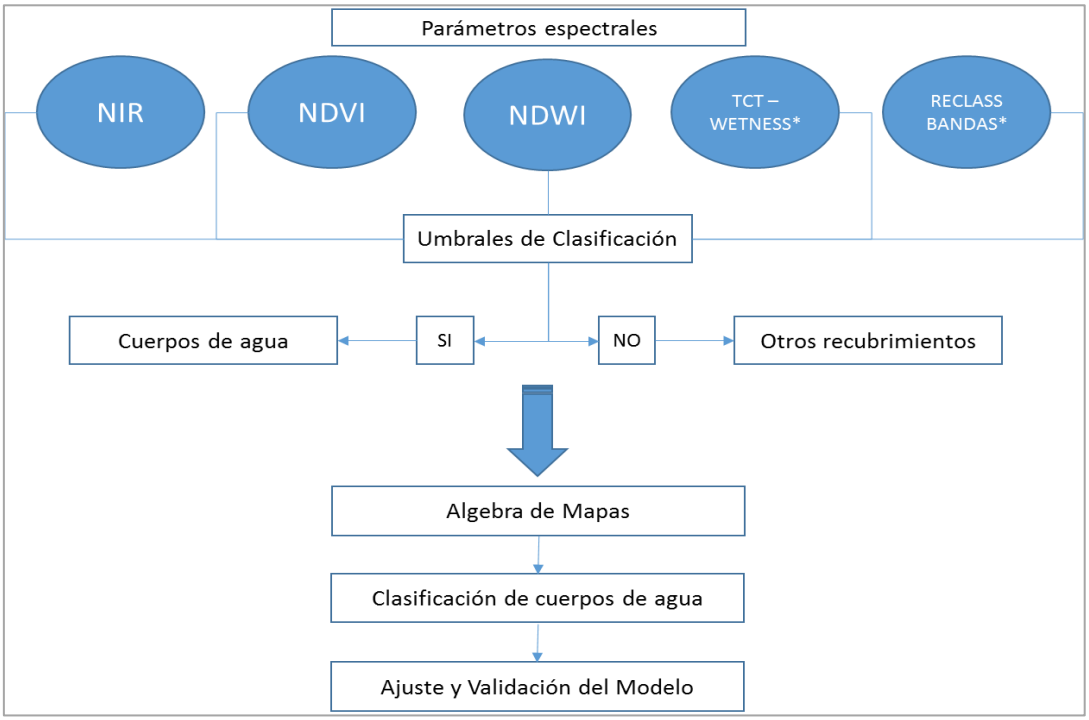
v. Finalmente, se realiza una depuración cartográfica, con lo cual se obtienen las coberturas de lagunas por sector. Este proceso consiste en primer lugar en transformar los datos de formato *raster* a entidades de polígonos en formato *shape*, seguido de un proceso de suavizado de contornos. Finalmente 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 4-19 se presenta esquemáticamente el árbol de decisiones, los parámetros que se calculan, etc.

Figura 4-19 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).

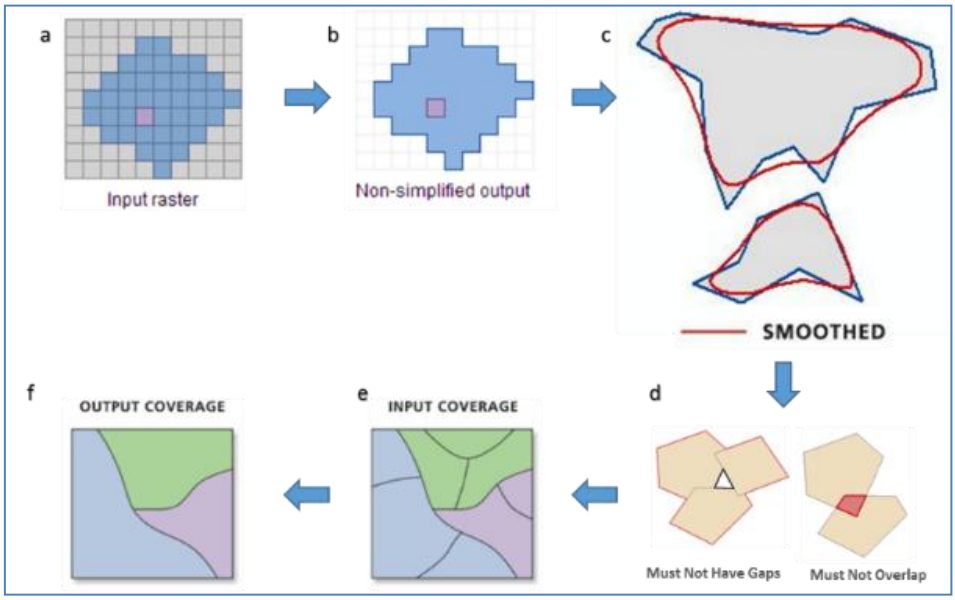
Dentro del cálculo de los parámetros espectrales del modelo de clasificación se utilizan los 5 indicados: NIR (reclasificación de la banda infrarroja), el índice NDVI; el índice NDWI; la

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 2 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 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 4-20

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) con el cual se tiene el área de la superficie lagunar para la fecha de la imagen. El detalle de cada una de las metodologías señaladas se presenta en el Anexo C del presente Informe.

Figura 4-20 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

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos utilizados para el monitoreo de la variable de 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.

Cabe mencionar, que esto es realizado por una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental, ANAM, durante el año 2024.

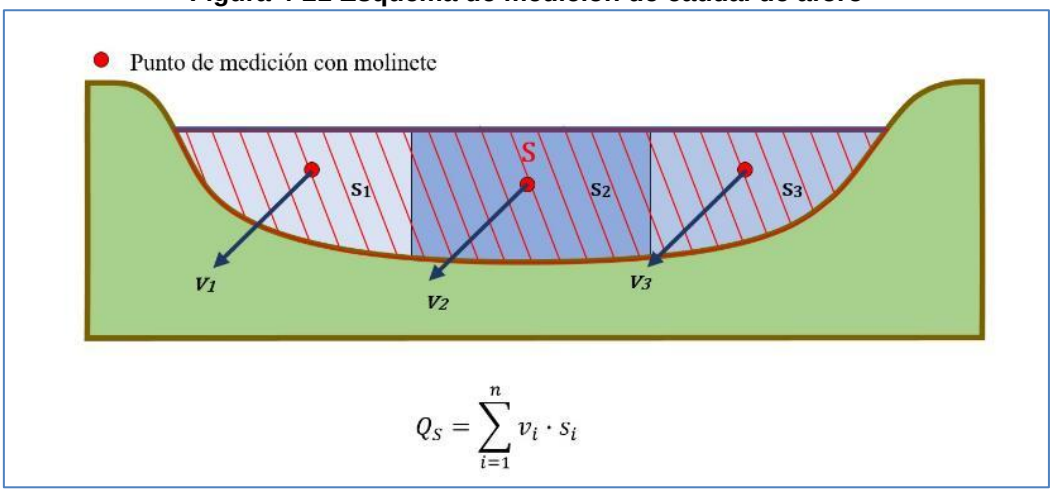
4.3.4.2 Metodología de Medición

Para realizar la medida del aforo del caudal superficial, se divide el cauce en 2, 3 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 2 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 4-21 y Figura 4-22). El logger del molinete informa las mediciones de velocidad cada 4 segundos, las que se anotan 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 3 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 4-21 Esquema de medición de caudal de aforo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-22 Aforo con molinete



Fuente: Elaboración propia.

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:

$$q_i = velocidad_i\ (m/s)\ \times área\ sección_i\ (m^2)$$

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:

$$área\ sección_i\ (m^2) = Longitud\ horizontal_i\ (m)\ \times\ \ Altura\ profundidad\ de\ escurrimiento_i\ (m)$$

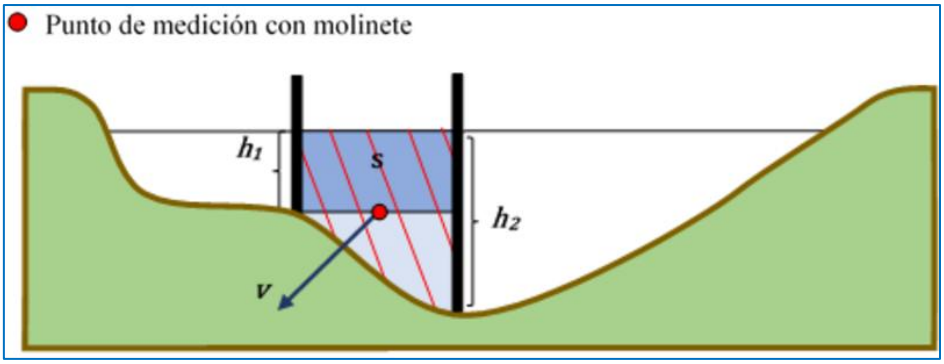
En el caso de secciones triangulares, el área se calculará de la siguiente manera:

$$área\ sección_i\ (m^2) = \frac{1}{2} x\ Longitud\ horizontal_i\ (m)\ \times\ \ Altura\ profundidad\ máxima\ de\ escurrimiento_i\ (m)$$

En el caso de secciones compuestas por más de un polígono (normalmente un rectángulo y un triángulo rectángulo, Figura 4-23), el área de la sección *i* se calcula como la suma del área de ambos polígonos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

Figura 4-23 Esquema de sección de aforo con 2 polígonos



Fuente: Elaboración propia.

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

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos utilizados para el monitoreo de la variable de 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.

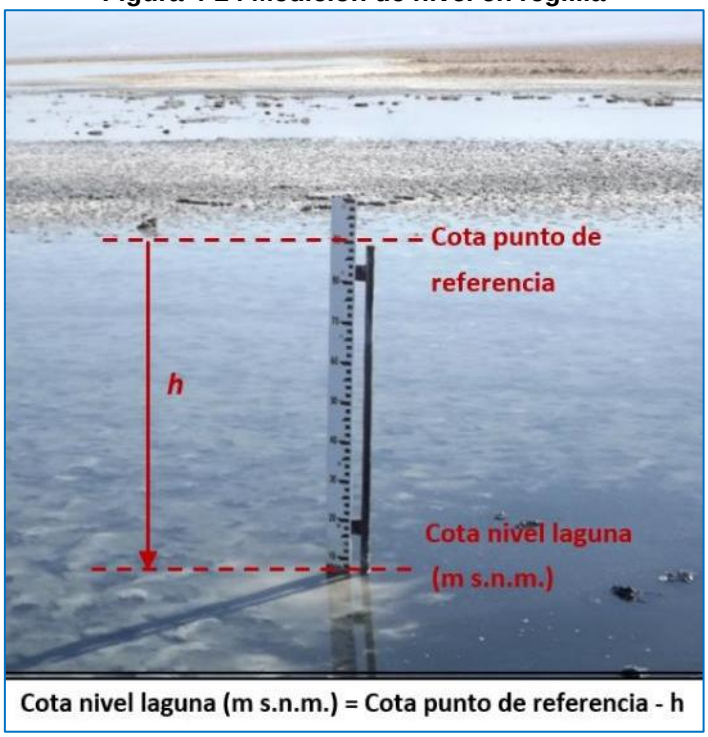
4.3.5.2 Metodología de Medición

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 4-24). 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 3 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 4-24 Medición de nivel en reglilla



Fuente: Elaboración propia.

4.3.6 Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua Dulce-Salobre

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos utilizados para el monitoreo de la variable de niveles freáticos en salmuera y en agua dulce-salobre. Cabe mencionar, que los niveles freáticos de los puntos PAT, han sido realizados por una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental ANAM, durante el año 2024.

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).

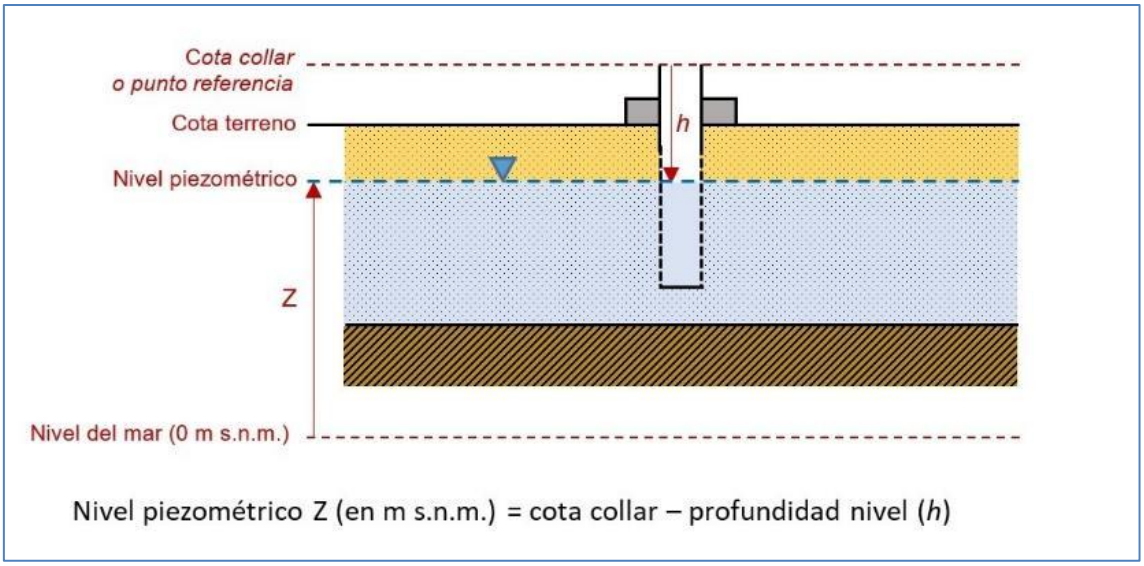
4.3.6.2 Metodología de Medición

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 4-25). 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 4-25 Medición de Nivel de Agua/Salmuera en Piezómetros



Fuente: Elaboración propia.

La profundidad del nivel del agua (h) se mide al menos 3 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.

Para la interpretación de la información de cotas de nivel freático que genera el PSAH, para el presente documento se ha calculado el descenso neto del nivel freático desde el inicio de los registros de cada punto. Así, este descenso 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 (2024). De no tener el dato de diciembre del primer año se ocupan los datos validos de noviembre

(inicial y de 2024) y si no de octubre de estos mismos años, así sucesivamente. 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 metros, cabe mencionar que esto corresponde a un cálculo puntual y no necesariamente corresponde a una tendencia.

Y por otra parte la amplitud promedio (diferencia entre los niveles máximos y mínimos anuales), se calcula solo para puntos con fluctuación estacional, con los valores de los años válidos (un año valido 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 metros.

4.3.7 Posición de la Interfase Salina

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos utilizados para el monitoreo de la variable de 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 4-26, 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 4-26) 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 4-26 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 ºC, 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 µS/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 3 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 2024, la ETFA encargada del muestreo de aguas superficiales y subterráneas, desde enero a diciembre 2024 fue 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. Desde enero a diciembre 2024 (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 2024 fue realizado por ANALISIS AMBIENTALES.

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

En la Tabla 4-19 indican los materiales equipos necesarios utilizados para las mediciones *in situ*, utilizados por ANAM.

Tabla 4-19 Materiales y Equipos para la medición de parámetros in situ ANAM

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

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4-20 y Tabla 4-21 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 4-20 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98194

Parámetro	Rango medición	Resolución	Precisión
pH	0,00 a 14,00 pH	0,01 ; a 0,1 mV	± 0,02 ; ± 0,5mV
Conductividad eléctrica (CE)	0 uS/cm a 200 mS/cm	1 uS/cm a 1 mS/cm	± 1% de la lectura; ± 1 µS/cm lo que sea mayor
Temperatura	-5,00 a 55,00 ºC	0,01ºC	± 0,15 ºC
Solidos Disueltos Totales (SDT)	0 a 400.000 ppm (mg/L) según factor TDS	1 ppm (mg/L) a 0,1 ppt (g/l)	± 1% de la lectura; ± 1 ppm (mg/L) lo que sea mayor
Oxígeno Disuelto (O.D.)	0,00 a 50,0 (mg/L) (O.D. real Lmax 14,6 mg/L)*	0,1%; 0,01 ppm (mg/L)	0,00 a 30 mg/L; ± 1,5% de la lectura o ±0.10 ppm (mg/L), lo que sea mayor

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

Fuente: Manual de instrucciones del equipo ANAM.

Tabla 4-21 Especificaciones técnicas equipo multiparámetro HI 98192

Parámetro	Rango medición	Resolución	Precisión
Conductividad eléctrica (CE)	0,000 µs/cm a 1000 ms/cm con compensación de temperatura	0,01 uS/cm a 0,1 mS/cm	±1% de lectura (±0,01 µs/cm o 1 dígito, el que sea mayor)
Solidos Disueltos Totales (SDT)	0,00 ppm (mg/l) a 400 ppt (g/l) (mg/L)	0,01 mg/L (ppm) a 0,1 ppt (g/l)	±1% de lectura (±0,05 mg/L (ppm) o 1 digito, la que sea mayor)

Fuente: Manual de instrucciones del equipo ANAM.

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 4-22 se indican los materiales y equipos necesarios para la toma de muestras.

Tabla 4-22 Materiales y Equipos para la Toma de Muestras por ANAM

Material/Equipo	Objetivo
Envases de Laboratorio	Analitos comprometidos para muestras de aguas superficiales y subterráneas
Muestreador abierto	Para muestras de agua superficial
Pozómetro marca Solinst Modelo 101	Para muestras de agua subterránea (toma de nivel)
Bomba “Waterra”	Para muestras de agua subterránea
Bailer simple	Para muestras de agua subterránea

Nota: Para la estabilización de parámetros se utilizan los equipos multiparámetros.
Fuente: Elaboración propia

c) Materiales y equipos para análisis de laboratorio

Se indican los materiales necesarios para el almacenamiento y traslado de muestras, según laboratorio ANAM en la Tabla 4-23.

Tabla 4-23 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 (CaCO3) Sólidos Disueltos totales Nitrato (NO3)
Envase de HDPE(1) - 250 ml	Cloruro 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)

Tabla 4-23 Materiales y equipos reactivos para almacenamiento y traslado de muestras Laboratorio ANAM

Equipo Materiales y Reactivos	Parámetros
	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 su llegada al laboratorio. Una vez en él, sen ingresan a un CARDEX para mantener su temperatura 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 ANAM en la Tabla 4-24.

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 Fisicoquímicos 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 Waterra. Para asegurar la representatividad de la muestra se utilizó el método de estabilización de parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, 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 ANAM 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 *Waterra* 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 ANAM.

4.3.8.3 Metodologías de medición y análisis

A continuación, se especifican 2 metodologías, la primera para la medición de parámetros *in situ* y la segunda de análisis de aguas en Laboratorio.

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 98194). 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 ANAM, 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 3 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, luego de la toma de muestra, éstos son filtrados.

Tabla 4-26 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 (20ºC)	Método interno	g/cm3	MQI000076 Rev01	---
pH (25ºC)	Método Electrométrico	Unidad pH	SM 4500-H B 22º Ed	---
Bicarbonato (CaCO3)	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

Tabla 4-26 Métodos de análisis en laboratorio

Parámetro/analito	Método analítico(Standard Method)	ANAM		
		Unidades	Cód. Método	Límite de detección
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
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)	Nitrato como N en Agua Método ISE	mg/L	SM 4500 NO3D	0,14
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 (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:

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

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 µS/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 Nº21/2016, 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 µS/cm, indicando los errores de balance admisibles cada vez menores para los rangos de conductividad de 50 a 199 µS/cm con un error admisible de 15%, de 200 a 499 µS/cm con un error admisible de 5%, de 500 a 1.999 µS/cm con un error admisible de 4%, y >2.000 µS/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 µS/cm; con el 75% de las muestras con conductividades por encima los 20.000 µS/cm y una gran proporción con valores mayores a los 100.000 µS/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, siendo difícil cumplir sistemáticamente y para todas las muestras con errores menores al 5% en error absoluto (carta ANAM R14/2025 enero 2025 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

A continuación, se describen las metodologías y los materiales y/o equipos utilizados para el monitoreo de la variable de posición de 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 4-27. Estos equipos miden el flujo que pasa a través de la tubería en unidades de m^3/h.

Tabla 4-27 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 6 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 2024

4.4.1 Fechas Campañas 2024

Las fechas de muestreo y/o medición que se reportan en este Informe Anual PSAH son las que se indican en la Tabla 4-28 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 4-28 Fechas de Muestreo y Medición durante el año 2024

Variable Ambiental	Frecuencia Medición	Mes de Campaña realizada											
		Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Variables Meteorológicas	Continuo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Evapotranspiración	Trimestral			X			X			X			X
Superficie Cubierta por lagunas	Semestral								X				X
Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aforos de Caudales superficiales	Trimestral			X		X	X	X	X	X	X	X	X
Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Mensual (1)	**X**	**X**	X	X	X	X	X	**X**	**X**	**X**	X	**X**
Posición de la Interfase Salina	Trimestral (1)	**X**	**X**			X			**X**	**X**	**X**	X	**X**
Composición química del agua en agua superficial y subterránea	Trimestral (1)	**X**	**X**		X			X	**X**	**X**	**X**		**X**
Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

(1) Los meses de enero, febrero, agosto, septiembre, octubre y diciembre existe aumento de frecuencia de monitoreo, como indica la Tabla 4-29 debido a activación del PAT, según se explica en la sección 6.1.10
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 4-29.

Tabla 4-29 Aumentos de Frecuencia de Fechas de Muestreo y Medición adicionales asociadas a Activación Fase Única, PAT Sector Alerta Acuífero y Núcleo 2024

Variable Ambiental	**Frecuencia Medición**	**Mes de Campaña año 2024**					
		Ene.[1]	**Feb.[1]**	**Ago.[2]**	**Sep.[2]**	**Oct.[2]**	**Dic.[1]**
Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Quincenal	X	X	X	X	X	X
Posición de la Interfase Salina	Mensual	X	X	X	X	X	X
Composición química del agua en agua superficial y subterránea	Mensual	X	X	X	X	X	X

(1) Los meses de enero, febrero y diciembre 2024 fue quincenal por activación del PAT sector de Alerta Acuífero.
(2) Y por activación del PAT sector de Alerta Núcleo, se midió quincenal en agosto, septiembre y octubre 2024.

Los parámetros y periodos sin monitoreo se entregan en la Tabla 4-30.

Tabla 4-30 Listado de variables por mes sin monitoreo

Mes	**Estado***
ene-24	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 de agua y niveles en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, dado cierre de caminos debido a movilizaciones de comunidades y 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 (MPS-AC y MPS-CC) Lo anterior por época de reproducción de flamencos ([1])([2])

Tabla 4-30 Listado de variables por mes sin monitoreo

Mes	Estado*
feb-24	No se ejecuta monitoreo composición química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad, y no se ejecuta monitoreo niveles y calidad de agua en forma completa en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF. 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 (MPS-AC y MPS-CC). Lo anterior por la época de reproducción de flamencos (1)(2).
mar-24	No se ejecuta en forma completa el monitoreo de 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; Lo anterior por época de reproducción de flamencos. No se realiza monitoreo de Evapotranspiración con domo en los puntos EVT-18 y EVT-23, y los aforos 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)(2).
abr-24	No se ejecuta monitoreo calidad y niveles en algunos puntos de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine al sector de lagunas de Peine. Además, no se ejecuta monitoreo de niveles y calidad en los puntos MP-12A y MP-12C, debido a la restricción de la Comunidad de Socaire (2)(3).
may-24	No se ejecuta monitoreo de niveles en limnímetros LM-02 y LM-05 por restricción de Comunidad Atacameña de Peine por presencia de flamencos y en sector de Socaire no se realiza medición de nivel e interfase salina de los puntos MP-12A y MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de Socaire (3)(4)
jun-24	No se ejecuta monitoreo de niveles en limnímetros LM-05 y AFP-02 por restricción de Comunidad Atacameña de Peine por presencia de flamencos y en sector de Socaire no se realiza medición de nivel de los puntos MP-12A y MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de Socaire (3)(5).
jul-24	No se ejecuta monitoreo composición química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad. En los sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine. Lo anterior por presencia de flamencos. No se realiza medición de nivel de los puntos MP-12A y MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de Socaire. No se miden niveles limnimétricos en los puntos LM-05, LM-06 y LM-08 por no contar con autorización de la comunidad por presencia de flamencos (3)(6).
ago-24	No se ejecuta monitoreo composición química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad. En los sectores de las lagunas Salada, Saladita e Interna, por restricción de Comunidad Atacameña de Peine no se realizan niveles y calidad de agua. Lo anterior por presencia de flamencos. No se realiza medición de nivel e interfase salina de los puntos MP-12A y MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de Socaire. No se realiza medición de niveles ni parámetros fisicoquímico en los puntos LM-05 y LM-06 por presencia de flamencos (3)(7)
sept-24	No se ejecuta monitoreo composición química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad. No se ejecuta monitoreo de los limnímetros LM-05, LM-06 y LM-10 por restricción de Comunidad Atacameña de Peine; lo anterior por presencia de flamencos y en la segunda medición calidad de agua, niveles y niveles de limnímetros por suspensión de la comunidad. No se ejecutó EVT- 17 por restricción de acceso de la Comunidad de Peine. No se realiza medición de nivel (MP-12A y MP-12C) e interfase salina de los puntos PP-01, PP-02, PP-03, MP-03C, MP-07C-1 por restricción de la comunidad de Peine y MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de Socaire (3)(8).
oct-24	No se ejecuta monitoreo composición química Quebrada Camar, por falta de respuesta de la Comunidad. No se ejecuta monitoreo niveles y calidad de agua en forma completa en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, por restricción de acceso de CONAF. No se ejecuta monitoreo de algunos limnímetros por restricción de Comunidad Atacameña de Peine; lo anterior por la época de reproducción de flamencos y en la segunda medición, calidad de agua, interfase salina, niveles, niveles de limnímetros por suspensión de la comunidad,. No se realiza medición de nivel en el sector Norte y Borde Este (MP-12A y MP-12C) e interfase salina de los puntos MP-12C, por restricción de acceso de la comunidad de Socaire (3)(9)(10).
nov-24	No se ejecuta en forma completa el monitoreo 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. También considera la no ejecución del

Tabla 4-30 Listado de variables por mes sin monitoreo

Mes	Estado*
	monitoreo de la interfase salina en el sector (MPS-AC, MPS-CC). Lo anterior por la época de reproducción de flamencos. No se realiza medición de nivel de los puntos MP-12A y MP-12C, en el sector Norte y Borde Este, tampoco la medición de interfase salina en MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de socaire (3)(9)(11).
dic-24	No se ejecuta en forma completa el monitoreo 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 (incluidos los aforos AFP-01, AFP-02, AFP-03 y AFP-04 y los puntos de evapotranspiración EVT-18 y EVT-23). También considera la no ejecución del monitoreo de la interfase salina en el sector (MPS-AC y MPS-CC). Lo anterior por la época de reproducción de flamencos. No se realiza medición de nivel de los puntos MP-12A y MP-12C por restricción de acceso de la comunidad de socaire (3)(9)(11).

*Las cartas las actas se entregan en el Anexo M.
(1) Correo CONAF 06-10-2023 y correo 10-01-2024
(2) Carta Oficial N°18/2023 con fecha de 2 de noviembre 2023: Comunidad Atacameña de Peine cierra Lagunas Salada, Saladita, Interna
(3) Correo de Relaciones Comunitarias, prohibición de acceso por comunidad de Socaire.
(4) Acta de Terreno día 18 y 20 de mayo
(5) Acta de Terreno día 3 de junio
(6) Acta de Terreno día 8 y 16 de julio
(7) Acta de Terreno día 22 de agosto
(8) Acta de Terreno día 11 de septiembre
(9) Carta Oficial CONAF N°55/2024 16 septiembre restricción de actividades por época de reproducción
(10) Acta de Terreno del día 8, 10,11,16,18 de octubre
(11) Carta Oficial N°94/2024 cierra Noviembre Lagunas Salada, Saladita, Interna

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Incidentes Campañas 2024

A continuación, se mencionan incidentes ocurridos el año 2024 importante a tener en consideración:

- **Punto PN-08A:** mediante la carta ALB-GMA-2023-SMA-044, se informa que el pozo PN-08A había sido chocado y se presentan propuestas de Albemarle. El 30 de octubre 2023, se entrega el primer análisis mediante la carta ALB-GMA-2023-SMA-055), indicando que "…*se concluye 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*". Luego, el 16 de diciembre 2024 se presentó un segundo análisis, extendiendo la data (hasta febrero 2024), el cual fue informado mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-074 y se pudo concluir que "…*PN-08A quedó con un sesgo de - 22,0 mm en la medición del nivel freático después del choque. Para corregir este sesgo, se debe aplicar una corrección de +22,0 mm a todas las mediciones de nivel (m s.n.m.) del PN-08A y de -22,0 mm a todas las mediciones de profundidad de salmuera del PN-08A, posteriores al 24 de agosto 2023*". Por último, el 22 de enero se envía carta ALB-GMA-2025-SMA-008, donde se entrega el último informe de análisis estadístico realizado (tercer análisis, incluye datos hasta diciembre

2024), que concluye: "*se puede mantener la aplicación de una corrección de +22,0 mm al valor de la cota nivel o de -22,0 mm a los valores de profundidad para todas las mediciones de PN-08A posteriores al 24 de agosto 2023*". En la Figura 4-27, se muestran los niveles medidos originales, junto con la data histórica y las actualizaciones aplicadas a estos datos, en la gráfica se observa la buena relación que existe entre los datos actualizados ajustando la cota y el periodo histórico, al observar los datos no ajustados (reales medidos) resulta evidente el efecto del choque.

- **Punto PN-16B**: Mediante carta ALB-GMA-2024-SMA-025 (ver en Anexo M), se da aviso a la SMA sobre un comportamiento anómalo en el punto PN-16B, debido a que el equipo de terreno se percató que el tubo de PVC (habilitación del pozo) y el brocal (tubo de hierro protector del pozo) habían tenido un distanciamiento los últimos meses. Se incluyen medidas que se proponen implementar.

- **Punto MP-12A:** En carta ALB-GMA-2024-SMA-018 se informan medidas implementadas en el punto de monitoreo MP-12A (por choque de un vehículo menor contra el pozo el 24 de noviembre 2023, informado en la carta ALB-GMA-2023-SMA 063 (ver Anexo M), las que incluyen informe de levantamiento topográfico georreferenciado e informe de reparación de brocal y dado de cemento del punto. Además, con fecha 14 de enero de 2025, a través de la carta ALB-GMA-2025-SMA-003, se envía informe de análisis estadístico para actualización de niveles. Finalmente, en carta ALB-GMA-2025-SMA-007, se vuelve a enviar informe, rectificando las recomendaciones señalando que "*se recomienda aplicar una corrección de +0.018 metros a los datos de nivel (msnm) o una corrección de -0.018 metros a los datos de profundidad del pozo MP-12A obtenidos entre 13 de diciembre 2023 y 19 de febrero 2024 para ajustar los niveles y obtener una serie de tiempo homogénea"*. Cabe mencionar, que el día 9 de marzo, se efectuó la reparación del dado de cemento y brocal del pozo, luego del choque. Es posible que dicha intervención sea la causa del valor escapado que se observa en la serie de diferencias para 9 de marzo (Ver Figura 4-28, donde también se muestran los niveles medidos originales y actualizaciones aplicadas a estos datos en el punto MP-12A, para el periodo comprometido, desde el 13 de diciembre de 2023 hasta el 19 de febrero 2024.

- **Punto CL-26-1:** En carta ALB-GMA-2024-SMA-026 se informa que los técnicos de terreno de Albemarle, al momento de llegar al punto de monitoreo CL-26-1, se percatan que el pozo había sufrido una colisión por terceros. Además, se informa las medidas que se proponen implementar como medidas de acción. A través de la carta ALB-GMA-

2025-SMA-009, de fecha 22 de enero de 2025, se carga en plataforma el informe de análisis estadístico que concluyó que "*Con base en estos resultados, no se recomienda aplicar ninguna corrección a las observaciones de CL-26-1 tras el choque del 8 de abril de 2024"*

- **Punto MP-07A y MP-08A**: En la carta ALB-GMA-2024-SMA-017, se informa que debido a la acción de agentes naturales (como erosión y surgencias) han existido pozos que sufrieron daños estructurales, tal es el caso de los pozos MP-07A y MP-08A. Ambos pozos fueron comprometidos en el Plan de Seguimiento Ambiental correspondiente a la RCA N°21/2016. Con el fin de evitar daños mayores a la infraestructura general del pozo (casing y habilitación) y salvaguardar la seguridad de las personas que acuden al monitoreo, es que se procedió a realizar trabajos para mejorar la condición. Los trabajos consistieron en la reparación del sello sanitario de ambos pozos dañados rellenando con material la base de este y montando una base de cemento de mayor envergadura que evitara un nuevo socavón bajo el pozo. El reemplazo por un relleno sanitario responde a la necesidad de salvaguardar la infraestructura para no perder el registro histórico y no considera cambio en la cota de referencia utilizada para medir niveles.

- **Punto S-3:** El punto S-3 fue chocado por externos en el mes de junio de 2024, esto fue informado en el reporte del PAT del mes de junio (planilla Excel de niveles), mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-050, ALB-GMA-2024-SMA-048 y ALB-GMA-2024-SMA-049. Se ejecutó su reparación, y un análisis estadístico, el que fue reportado at través de carta ALB-GMA-2025-SMA-024 y concluyó: indicó que *"no se recomienda aplicar ninguna corrección a las observaciones de S-3 tras el choque del junio de 2024. Solo se debe marcar o eliminar la medición anómala con echa 26 de junio".*

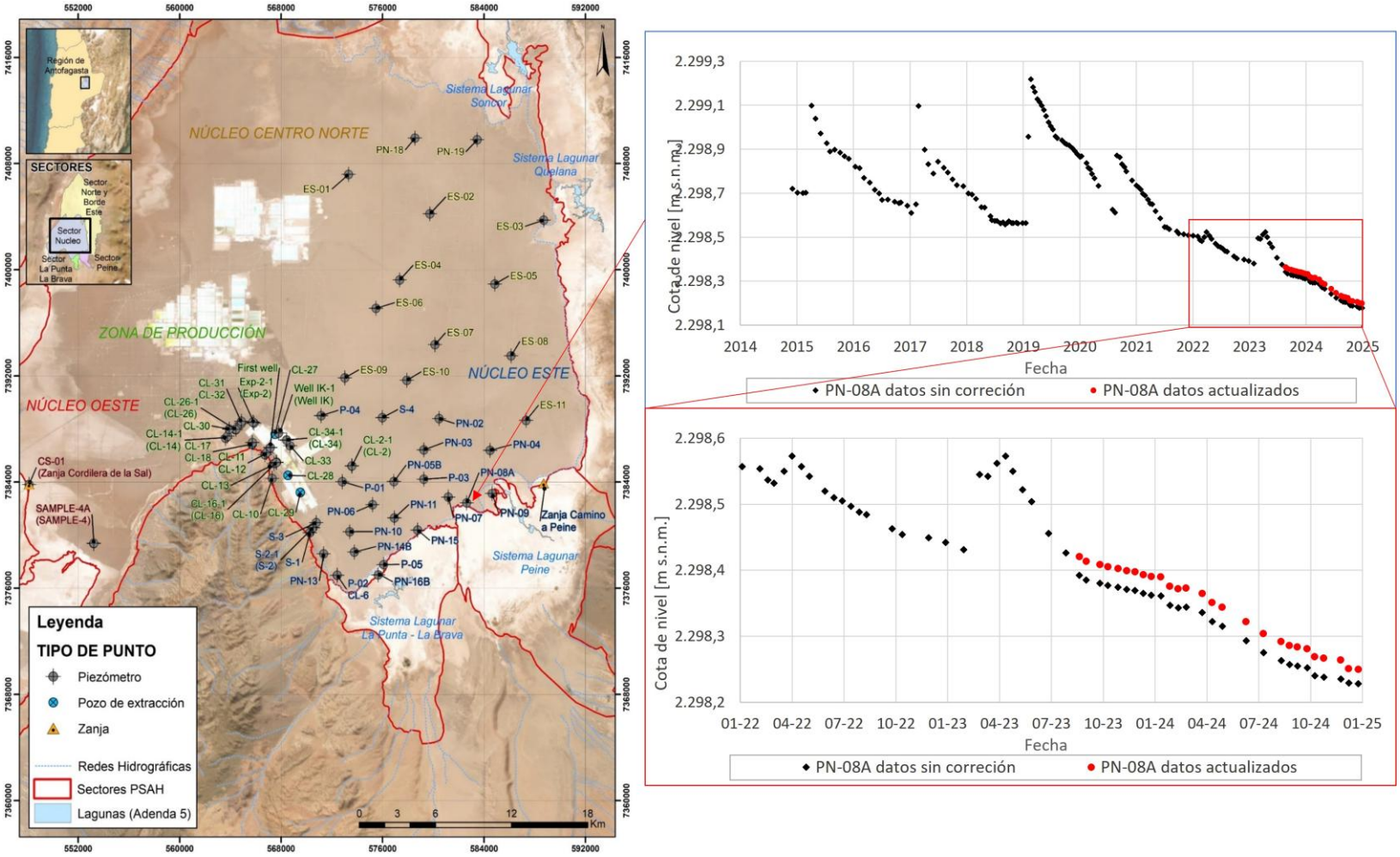
- **Punto E1:** En octubre de 2023, mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-061 se informó que el punto de monitoreo "E1" se encontró quebrada y flotando en el agua. Se propusieron medidas correctivas, entre ellas, un análisis de niveles reportado mediante carta ALB-GMA-2024-SMA-079, que indicó como recomendación lo siguiente: "*A las mediciones con la estaca rota (mayo 2024, junio 2024, julio 2024) se debe aplicar una corrección de -0,23 metros y a las mediciones con la estaca reubicada (agosto 2024 en adelante) se debe aplicar una corrección de +0.44 metros"* carta. En la Figura 4-29, se muestran los niveles medidos originales y los datos actualizados para el punto de monitoreo E1, se observa la buena correlación que existe con la tendencia al efectuar el ajuste de la cota nivel de acuerdo a la recomendación de análisis estadístico.

- **Punto MP-04:** En junio de 2023, se informó mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-067, que puntos de plataforma del MP-04 fueron colisionados (MP-04B y MP-04C), se proponen medidas, las que fueron implementadas. Se envía carta ALB-GMA-2025-SMA-004, donde se informa que no hubo inconvenientes en poder seguir monitoreando la posición de la interfase salina y no existieron cambios en el comportamiento de los niveles.

- **Punto PP-02:** Mediante carta ALB-GMA-2025-SMA-015, se informan las acciones comprometidas referente al incidente ocurrido en el pozo PP-02, este fue chocado. Se ejecutó un análisis estadístico de niveles, que indicó "…no es posible proponer una corrección a los datos, ya que el efecto del choque no resulta evidente" y además, se presentó el set fotográfico de la evolución del estado de la plataforma.

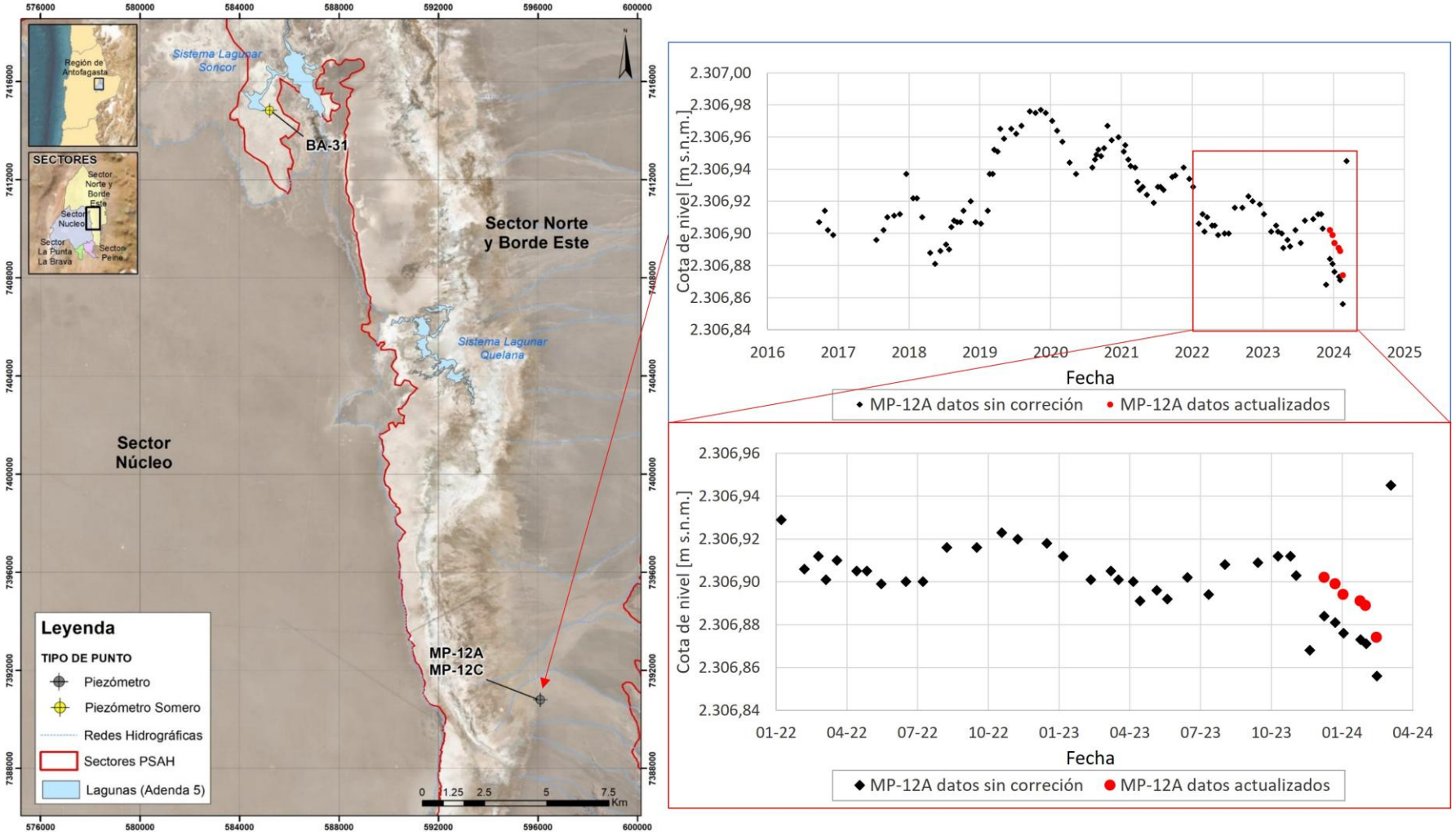
- **Punto LM-17:** En carta ALB-GMA-2025-SMA-022, se informan las medidas comprometidas en cuanto al incidente ocurrido en el punto LM-17 (informado en carta ALB-GMA-2022-SMA-031). Se ejecuta un análisis estadístico del punto, que indica: "*se recomienda restar 0.13 metros a todas las mediciones realizadas a partir de julio de 2022 en la cota nivel (msnm) y/o sumar 0.13 metros en la medida de profundidad (metros)**, asegurando así la coherencia con los registros históricos de monitoreo*. En la Figura 4-30, se muestran los niveles medidos originales y las actualizaciones aplicadas a estos datos en el punto LM-17, para el periodo comprometido, desde julio de 2022 en adelante. Cabe mencionar que para el año 2024, no se cuenta con registros de datos para este punto (punto seco).

Figura 4-27 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo PN-08A



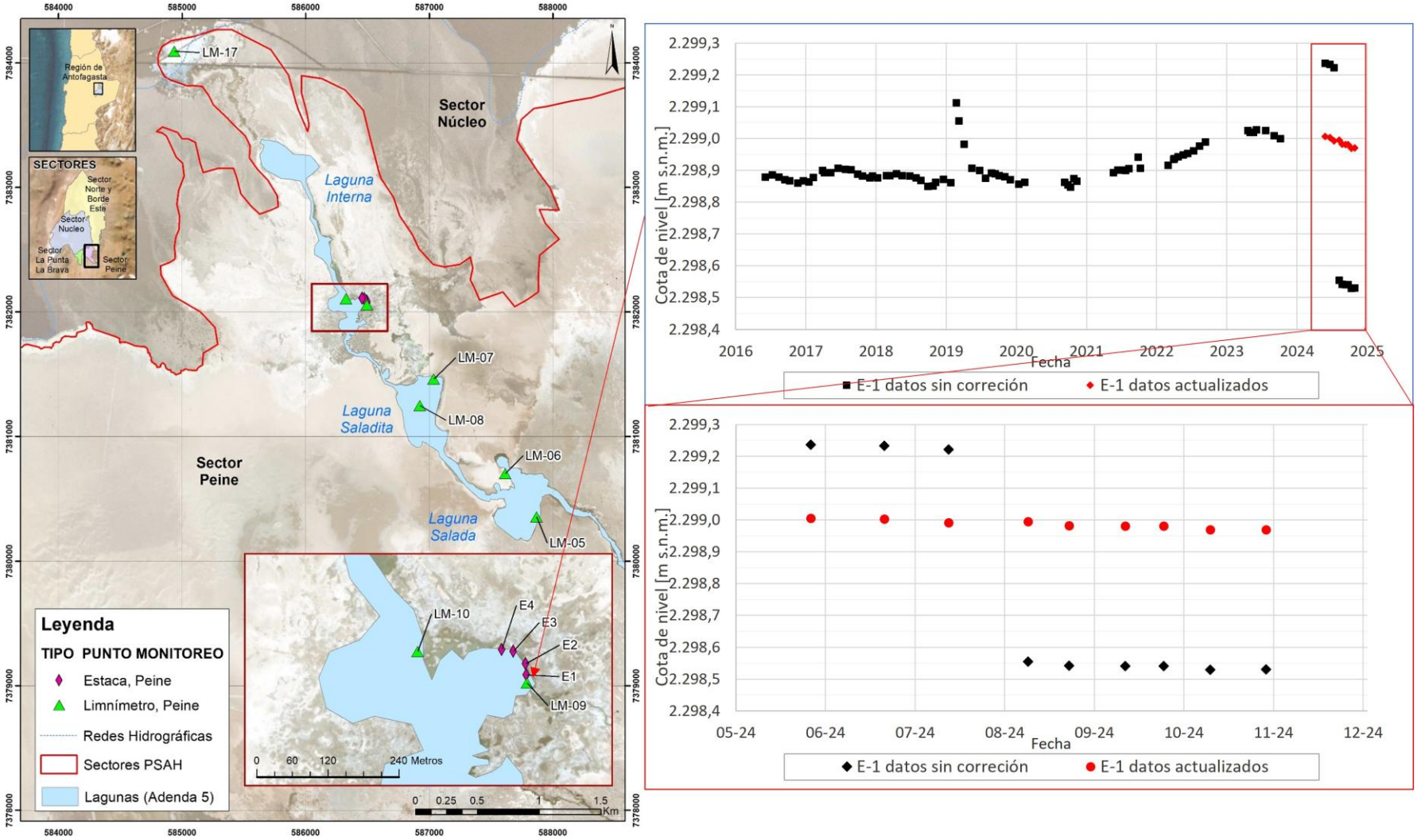
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-28 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo MP-12A



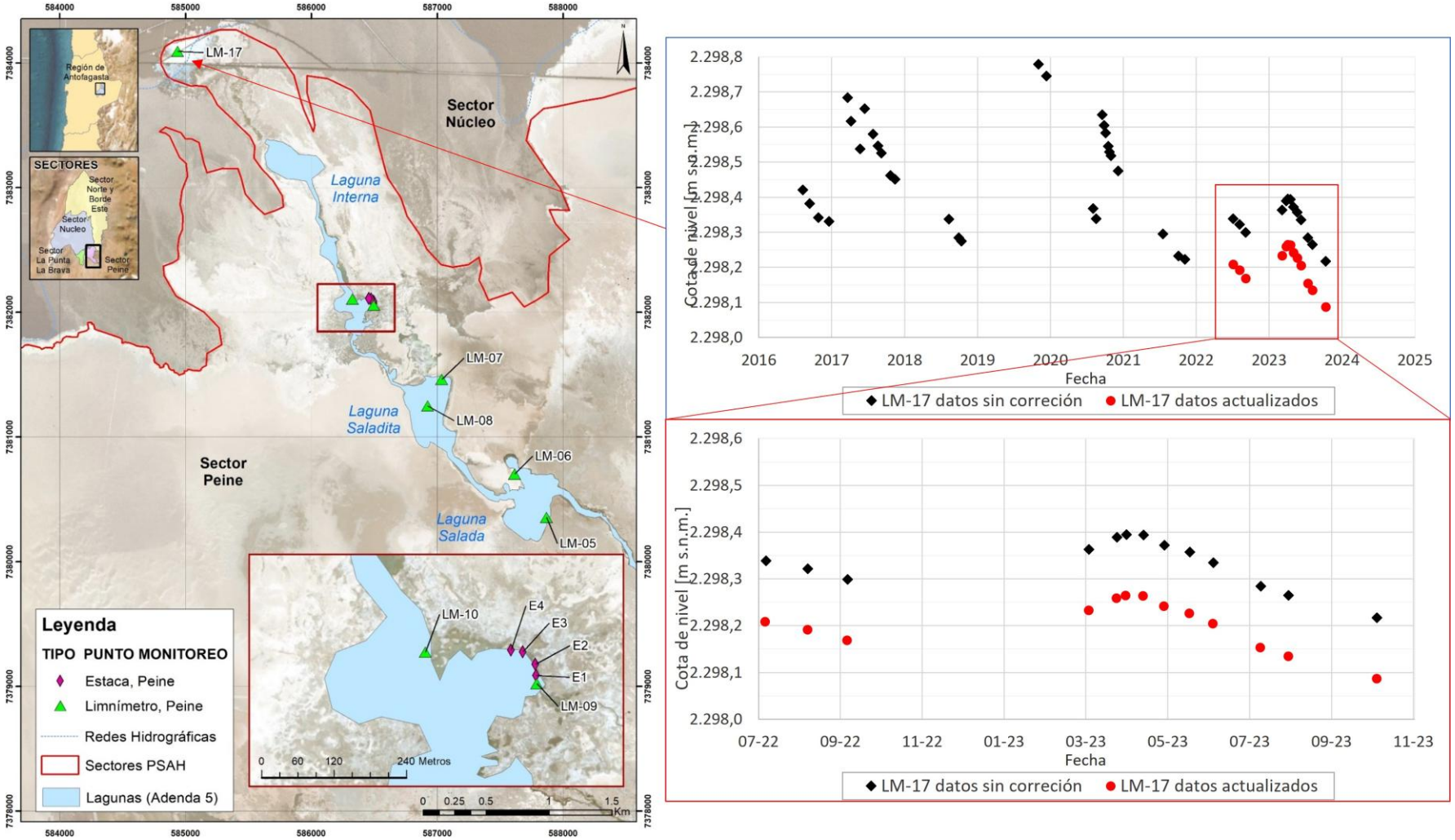
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-29 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo E1



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-30 Niveles originales y actualizados Punto de monitoreo LM-17



Fuente: Elaboración propia

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 2024, la cual reporta datos de precipitación, temperatura atmosférica (mínima y máxima), presión atmosférica 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 2024, se analiza la precipitación, la presión atmosférica, la temperatura y la evaporación de lámina libre, de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, dado que cuentan con datos para el año 2024 (en análisis histórico se incluirá datos de mayor número de estaciones meteorológicas para analizar evolución).

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 2024

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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	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	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	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	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	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	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	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	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	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	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	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	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	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	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	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	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	-	0,0	-	*	-	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0
Total Mensual	**0**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0,1**	**0**	**0**	**0,1**	**0**	**0**	**0**	**0**
Total Anual	**0,5**											

Nota: (-)Fecha inexistente en el mes.
(*) Sin dato reportado

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-2 Temperatura mínima diaria [°C] en EM-Rockwood, año 2024

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

Nota: (-)Fecha inexistente en el mes.

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-3 Temperatura máxima diaria en EM-Rockwood, año 2024

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

Nota: (-) Fecha inexistente en el mes.

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-4 Presión atmosférica diaria [mbar] en EM-Rockwood, año 2024

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	774,1	773,5	774,4	775,0	773,6	776,4	777,0	775,5	776,9	774,9	773,0	773,2
2	773,1	773,9	774,9	774,0	772,3	776,4	776,6	775,8	775,5	774,3	773,2	772,6
3	773,3	772,2	774,9	773,9	773,4	776,0	775,0	774,8	775,5	774,2	773,9	773,9
4	774,3	771,5	773,7	774,5	775,1	775,8	774,8	776,3	775,3	774,7	774,2	774,5
5	774,3	772,6	772,9	775,3	775,0	776,4	775,5	776,0	774,4	774,3	773,1	773,3
6	772,9	774,6	773,4	774,4	774,1	776,6	775,5	775,1	773,4	774,1	773,3	772,1
7	771,7	774,0	774,5	772,9	774,3	775,6	775,7	774,7	773,7	774,2	773,3	772,7
8	771,5	773,7	774,4	774,1	775,1	777,1	773,8	774,8	775,2	773,3	772,7	772,6
9	773,1	774,9	773,6	774,5	775,4	776,6	772,9	777,5	775,4	773,3	772,5	772,0
10	773,3	774,3	774,1	773,3	775,4	776,5	770,2	777,3	773,2	774,5	773,8	771,7
11	774,0	773,5	774,4	774,7	774,7	776,7	772,8	777,5	773,5	775,2	774,3	772,5
12	773,8	772,4	774,1	774,2	774,2	776,1	775,7	775,5	773,9	775,1	772,8	772,6
13	773,9	772,5	773,5	772,3	774,2	776,4	778,1	775,9	775,0	776,3	772,6	772,1
14	772,9	773,7	773,0	770,7	774,1	777,3	777,2	776,8	774,6	776,1	772,4	772,8
15	771,9	774,0	772,1	773,5	774,2	776,8	777,2	776,5	775,5	775,1	771,4	772,4
16	771,7	774,0	772,1	776,7	773,8	775,4	777,9	775,8	774,0	774,7	772,5	772,7
17	771,9	772,6	771,8	775,4	774,7	774,5	776,5	775,6	774,5	774,1	773,2	772,8
18	772,2	772,3	772,7	774,4	776,9	774,0	775,7	775,5	774,6	773,9	773,6	773,6
19	772,4	774,0	774,8	774,4	776,9	775,4	775,4	776,2	774,3	773,1	773,4	773,0
20	772,9	774,9	775,0	774,9	774,9	776,1	774,7	774,8	773,8	772,7	774,2	773,3
21	773,4	774,5	774,4	775,9	773,9	777,1	773,9	774,1	773,5	773,0	774,5	774,0
22	773,3	774,2	774,8	775,4	774,6	776,5	774,8	774,9	774,3	774,3	773,8	774,0
23	773,1	774,7	773,6	775,8	776,3	775,4	777,4	776,9	774,7	775,3	772,7	774,7
24	773,0	774,4	772,4	775,5	776,4	775,3	779,5	776,8	774,2	774,3	773,1	774,0
25	773,3	774,6	773,2	774,5	775,9	776,5	778,3	777,5	774,1	773,0	773,7	772,6
26	774,2	774,2	774,2	774,4	775,8	778,2	777,6	776,4	774,7	773,4	772,9	773,5
27	773,4	772,7	775,4	774,5	777,0	776,2	776,6	775,4	775,2	774,2	772,0	774,5
28	773,8	772,7	775,0	773,1	777,9	776,4	775,8	774,9	774,4	772,9	772,1	774,6
29	774,5	773,7	776,0	775,0	777,9	777,0	776,1	774,6	774,9	774,0	772,3	773,1
30	774,0	-	775,7	775,4	777,0	777,3	775,4	774,4	775,1	773,4	773,0	772,6
31	774,1	-	775,6	-	776,6	-	775,3	775,7	-	773,0	-	772,7
Presión Atm. Promedio Mensual [mbar]	**773,2**	**773,6**	**774,0**	**774,4**	**775,2**	**776,3**	**775,8**	**775,8**	**774,6**	**774,2**	**773,1**	**773,1**

Nota: (-) Fecha inexistente en el mes.

Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Tabla 5-5 Evaporación diaria [mm] en EM-Rockwood, año 2024

Día del mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	13,5	17,6	13,0	(2)	12,9	5,2	(2)	8,5	6,7	12,3	14,2	14,9
2	16,0	16,1	(2)	12,1	10,4	4,6	4,6	9,3	5,6	13,4	13,5	(2)
3	15,1	16,2	16,0	10,7	10,4	13,7	4,1	7,4	10,4	13,9	13,5	17,4
4	(1)	(1)	15,2	9,9	6,8	(2)	4,7	6,6	10,1	12,4	(2)	14,8
5	(1)	(1)	15,0	12,1	8,7	0,0	5,5	(2)	(2)	13,3	16,7	14,1
6	14,7	19,9	13,3	10,9	7,9	0,2	5,9	8,8	11,5	14,9	16,8	13,8
7	15,1	12,0	13,3	11,0	(2)	0,2	5,1	8,3	10,4	(2)	15,0	14,6
8	14,5	15,4	14,4	(2)	0,4	0,3	(2)	6,6	9,0	10,8	14,1	13,8
9	18,1	13,8	14,2	(2)	0,3	0,4	7,8	5,5	10,1	13,1	14,7	13,5
10	17,4	14,5	12,7	0,7	0,6	(2)	8,7	6,4	14,3	10,5	14,5	(2)
11	(1)	(1)	(2)	0,7	7,6	3,1	5,0	4,4	11,9	10,6	(2)	17,0
12	(1)	(1)	14,7	7,2	9,2	6,6	6,5	(2)	(2)	11,6	14,3	17,2
13	14,8	14,7	15,1	11,4	(2)	8,1	4,6	6,8	10,5	11,6	14,3	14,8
14	15,7	14,2	15,3	12,4	9,3	7,8	4,1	6,8	11,0	(2)	13,0	14,1
15	19,6	12,6	15,1	8,2	8,6	6,5	6,3	8,1	7,8	16,3	14,6	14,4
16	17,6	13,2	13,3	(2)	9,5	6,2	3,7	7,9	10,4	15,1	12,9	(2)
17	17,4	16,3	12,8	9,1	8,0	(2)	4,1	8,2	11,1	13,9	12,9	18,4
18	(1)	(1)	11,4	10,8	8,7	5,7	4,8	8,1	10,8	13,6	(2)	15,5
19	15,8	11,5	(2)	11,2	5,0	5,6	5,0	(2)	(2)	14,4	15,8	14,6
20	15,9	16,3	14,2	10,6	(2)	6,4	6,4	6,7	9,8	13,0	15,1	14,0
21	14,5	14,3	12,3	9,3	(2)	5,0	9,0	14,8	11,3	(2)	14,2	14,8
22	15,3	12,8	12,0	(2)	0,2	6,2	(2)	11,0	10,3	15,9	13,9	14,4
23	18,1	12,5	12,4	(2)	0,5	6,1	9,5	7,8	14,6	14,7	15,0	14,8
24	16,4	13,6	14,3	0,4	0,5	(2)	5,6	7,3	13,8	13,1	15,1	(2)
25	(1)	(1)	(2)	5,9	7,8	(2)	4,8	6,9	13,5	12,6	(2)	16,9
26	16,2	14,7	12,7	10,4	(2)	0,0	5,9	(2)	(2)	13,3	16,8	15,2
27	15,3	13,8	9,8	10,6	5,4	0,2	5,8	10,0	11,1	14,3	15,5	14,1
28	14,4	14,2	10,6	11,6	6,4	0,1	5,6	10,3	11,6	(2)	16,0	13,7
29	11,9	14,5	9,1	(2)	5,1	0,4	(2)	9,5	11,5	15,9	16,8	15,2
30	16,0	-	10,2	3,6	5,1	0,3	6,8	10,6	12,1	14,5	15,7	(2)
31	17,1	-	10,1	-	5,5	-	8,9	8,4	-	14,0	-	14,1
Evaporación Total Mensual [mm]	**396,3**	**334,5**	**352,3**	**200,9**	**161,0**	**98,9**	**158,7**	**220,8**	**281,1**	**362,8**	**385,1**	**390,1**

Nota:(-) Fecha inexistente en el mes.
(1) Sin registro de evaporación diaria por limpieza de bateas.
(2) Sin registro de evaporación diaria por limpieza y relleno de salmuera.
Fuente: Datos estación meteorológica EM-Rockwood.

Cabe recordar que la estación EM-Rockwood reemplazó la estación EM-SCL ubicada en Planta Salar a partir de mayo 2016[12], por lo que, para efecto de la evolución del comportamiento, la información de las dos estaciones es analizada de manera continua usando ambas A continuación, se realiza la descripción de los resultados del registro de variables meteorológicas de EM-Rockwood, propiedad de Albemarle, junto con las variables de dos estaciones cercanas, EM Chaxa y EM-KCL, ambas propiedades de SQM.

5.1.1 Precipitación

En la Figura 5-1 se presenta el registro de las precipitaciones diarias para el 2024, para las estaciones: EM-Chaxa,

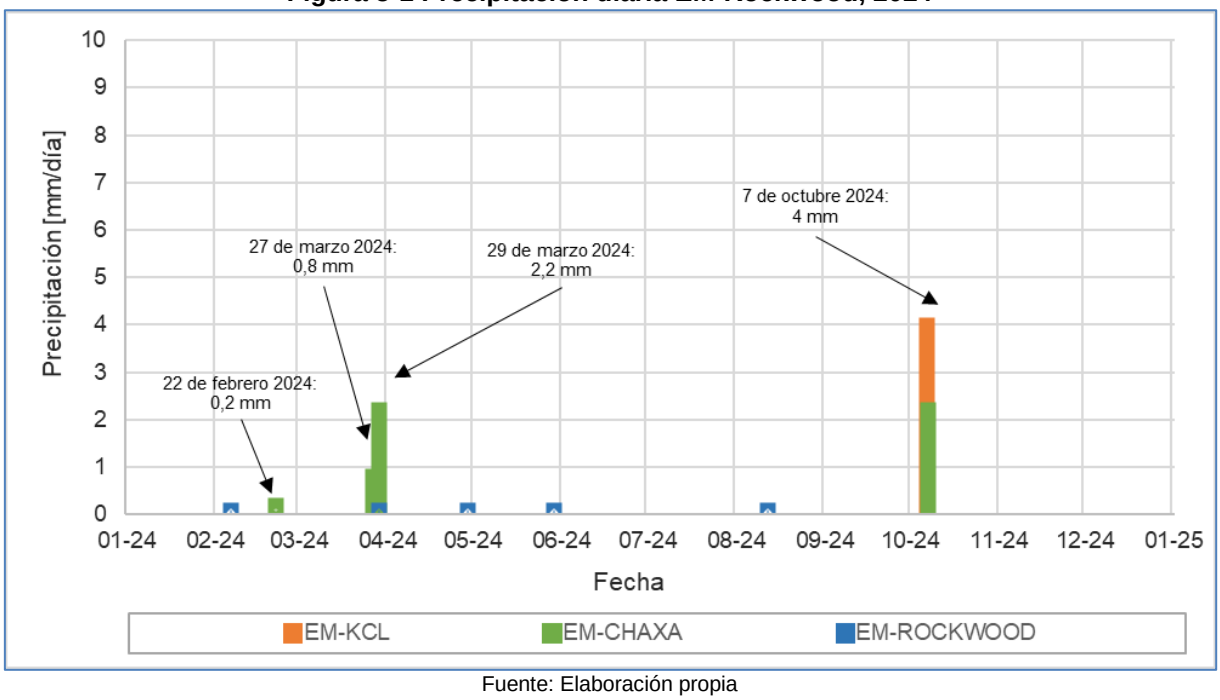
EM-KCL y EM-Rockwood, y se observa que las precipitaciones de la estación EM-Rockwood son menores que las de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL durante el año 2024 y ocurrieron en diferentes días.

En el contexto de bajas precipitaciones diarias, el mayor registro fue en EM-KCL el día 7 de octubre 2024 con 4,0 mm/día. Le sigue EM-Chaxa con precipitaciones el día 22 de febrero de 0,2 mm/día, los días 27 y 29 en marzo 2024, de 0,8 mm/día y 2,2 mm/día respectivamente y el día 7 de octubre de 2024, de 2,2 mm/día. Por último, se tiene que en EM-Rockwood (Figura 5-1), los registros diarios son de 0,1 mm/día los días 6 de febrero, 29 de marzo, 29 de abril, 29 de mayo y 12 de agosto de 2024.

En la Figura 5-2 se grafica el registro de precipitaciones mensuales del año 2024, en EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood. En dicha Figura (Figura 5-2) se observa que las precipitaciones mensuales mayores se registraron en EM-KCL en octubre con 4,0 mm/mes. Le sigue EM-Chaxa con un máximo mensual de 3 mm/mes en marzo. En el caso de EM-Rockwood (Figura 5-2), se observan los registros de precipitaciones mensuales más bajo de 0,1 mm/mes en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y agosto de 2024.

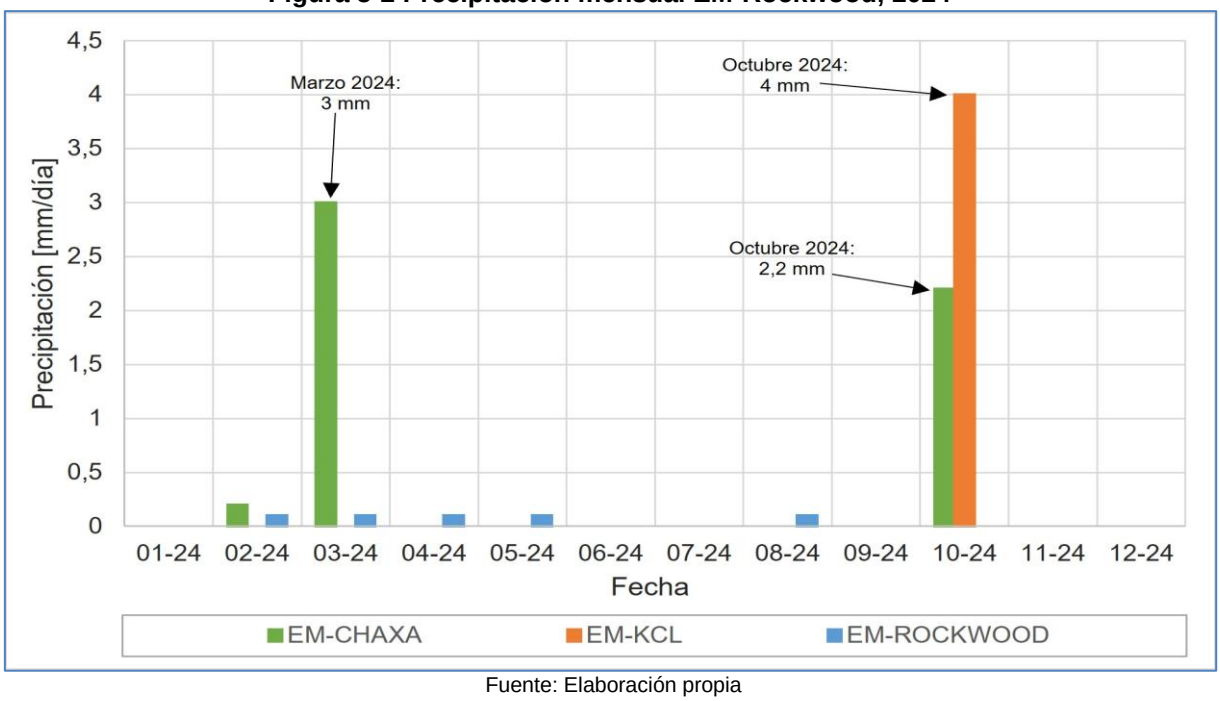
[12] El registro histórico de las variables meteorológicas de las estaciones de Albemarle considera la integración de los datos obtenidos por la EM-SCL desde enero 2009 hasta abril 2016 junto a los datos obtenidos por la EM-Rockwood desde mayo 2016 hasta diciembre 2024. Esta nueva estación se ubica a una distancia de 750 m al noreste de la estación que reemplaza.

Figura 5-1 Precipitación diaria EM-Rockwood, 2024



Fuente: Elaboración propia

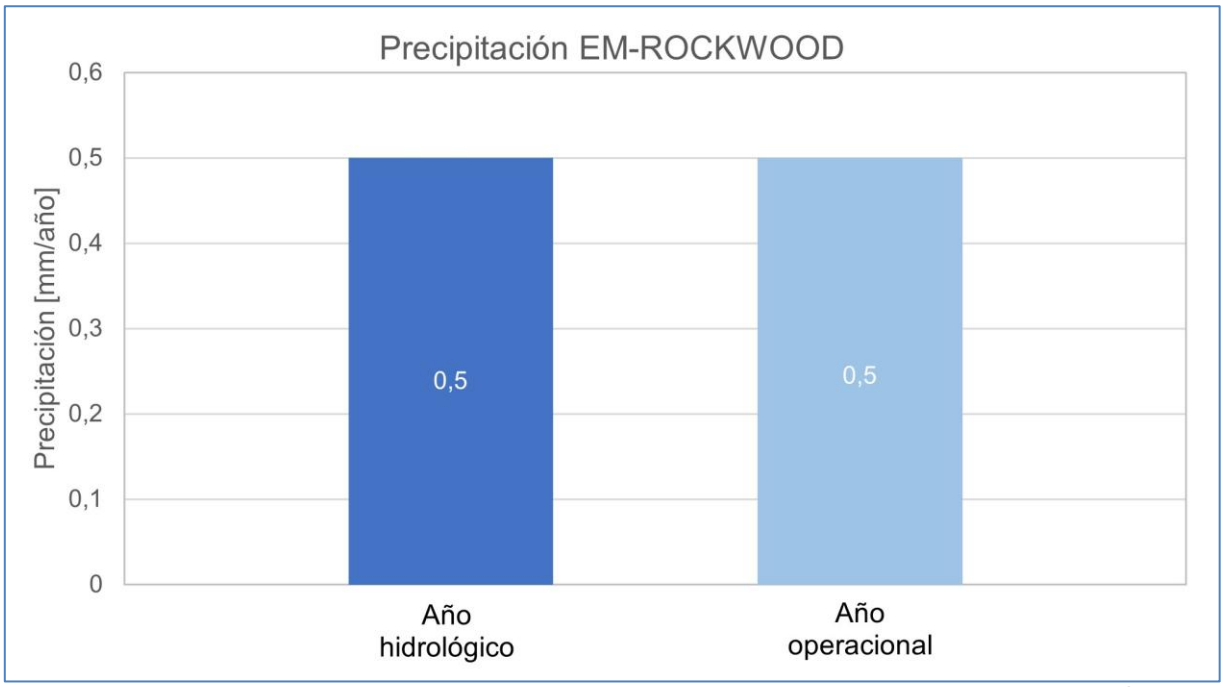
Figura 5-2 Precipitación mensual EM-Rockwood, 2024



Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-3 presenta la precipitación total anualizada para el año hidrológico del salar de Atacama (ene-dic 2024) y año operacional (oct 2023-sept 2024). Para este periodo ambas coinciden.

Figura 5-3 Precipitación año calendario y año hidrológico EM-Rockwood, 2024



Nota: El año operacional 2024 comprende desde octubre 2023 hasta septiembre 2024, mientras que el año hidrológico comprende desde enero hasta diciembre 2024.
Fuente: Elaboración propia

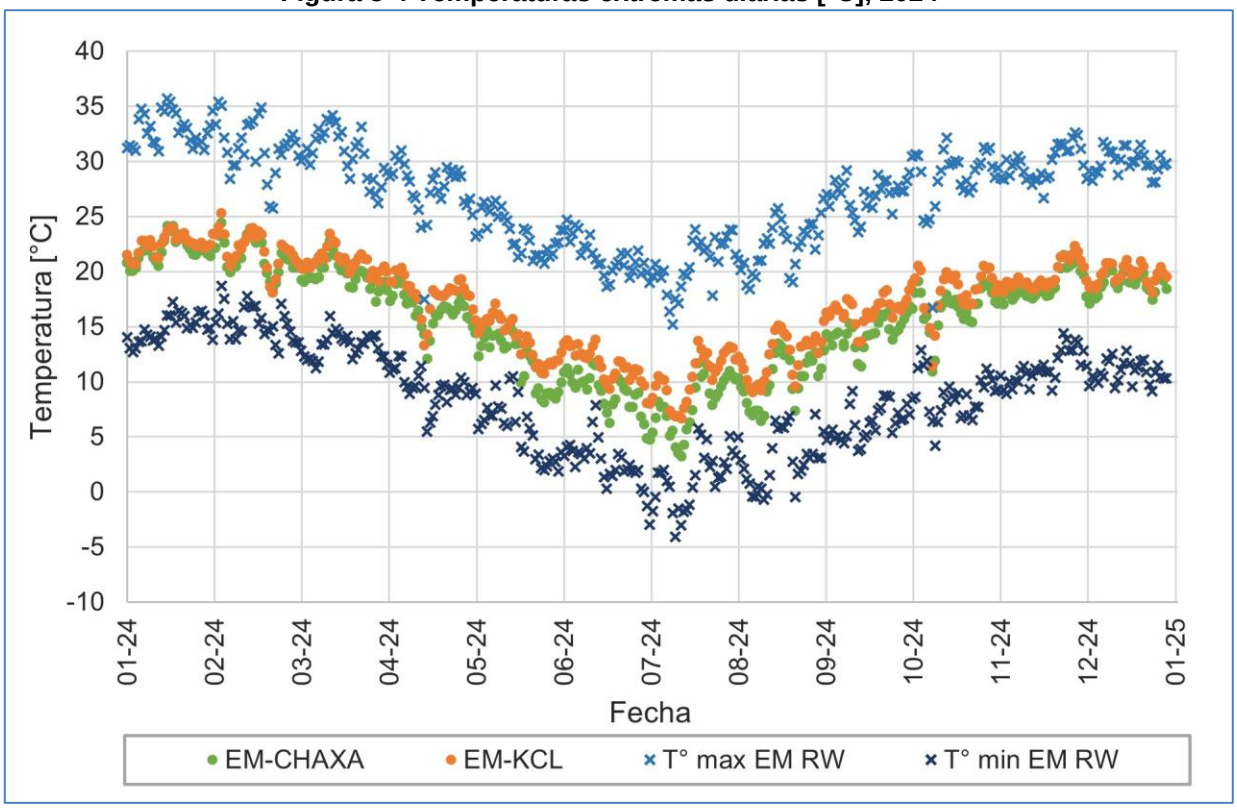
En la sección 6.1.1.1 del capítulo 6 analiza la evolución histórica para esta variable, de datos obtenidos de la EM-Rockwood, junto con las estaciones de terceros.

5.1.2 Temperatura

En la gráfica de la Figura 5-4 se observa el registro de las temperaturas extremas diarias, obtenidas desde la estación EM-Rockwood en el año 2024. En dicha figura, se observan variaciones de frecuencia estacional en que las temperaturas mínimas se registran en los meses de las estaciones más frías (invernales); y las temperaturas máximas se registran entre los meses de las estaciones más cálidas (estivales).

En el año 2024 la temperatura mínima diaria registrada alcanzó los -4,1°C (12 de julio en EM-Rockwood) mientras que la temperatura máxima diaria corresponde a 35,7°C (16 de enero en EM-Rockwood). La oscilación térmica diaria promedio durante 2024 es de18,6 °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 media diaria 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], 2024



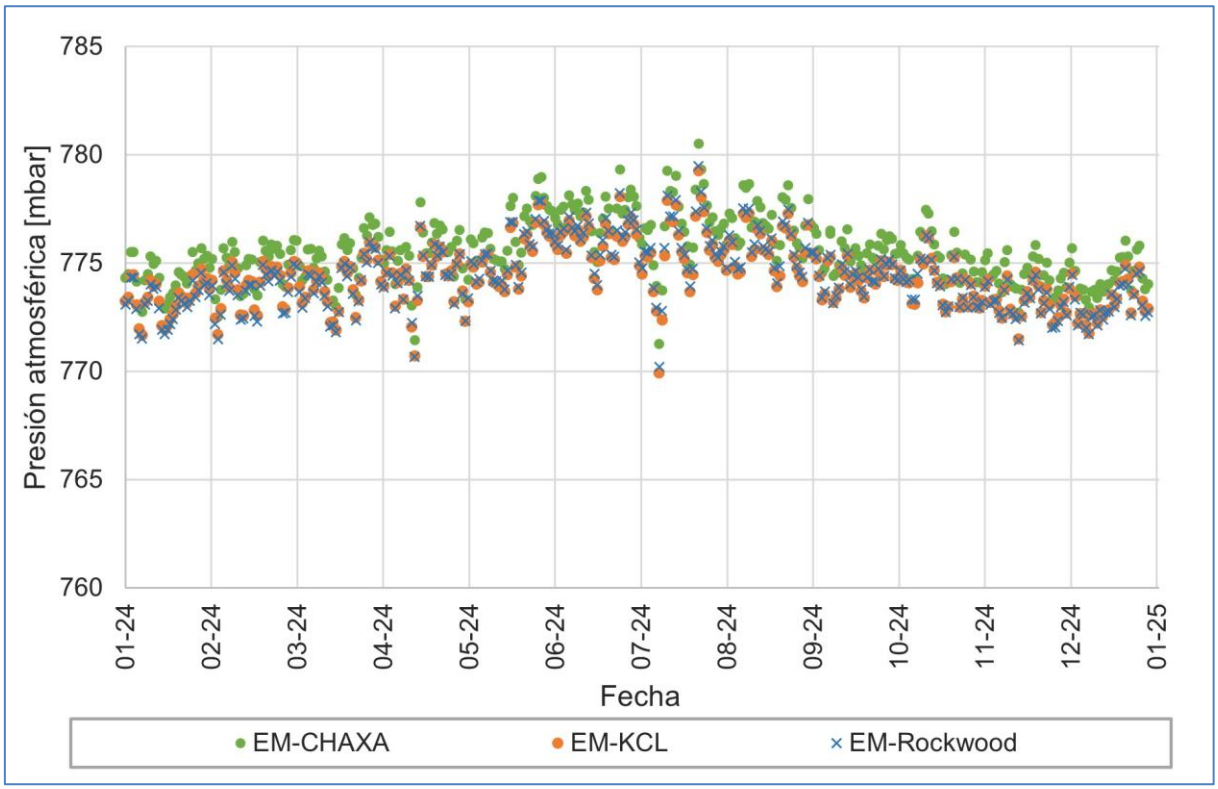
Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Presión atmosférica

En la Figura 5-5 se presenta el registro de presión atmosférica diaria, para 2024. Los registros de presión atmosférica muestran variaciones de origen estacional, registrándose una tendencia al aumento desde los meses estivales a invernales y luego una baja desde estos a los estivales. No obstante, se observa que el valor mínimo se alcanzó el día 10 de julio (770,2 mbar en EM-Rockwood), y es similar a lo que se observa en las estaciones EM-Chaxa y EM KCL, estos mínimos en el mes de julio muestran un comportamiento diferente a lo esperado, dado que en estos meses se espera observar máximos. Por otro lado, el mayor registro de presión atmosférica alcanzó 779,5 mbar el día 24 de julio en EM-Rockwood. Es decir, se observan los mínimos y máximos en el mismo mes de julio 2024.

Al comparar con los datos de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, las presiones atmosféricas muestran un comportamiento sincrónico y similar 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, 2024



Fuente: Elaboración propia

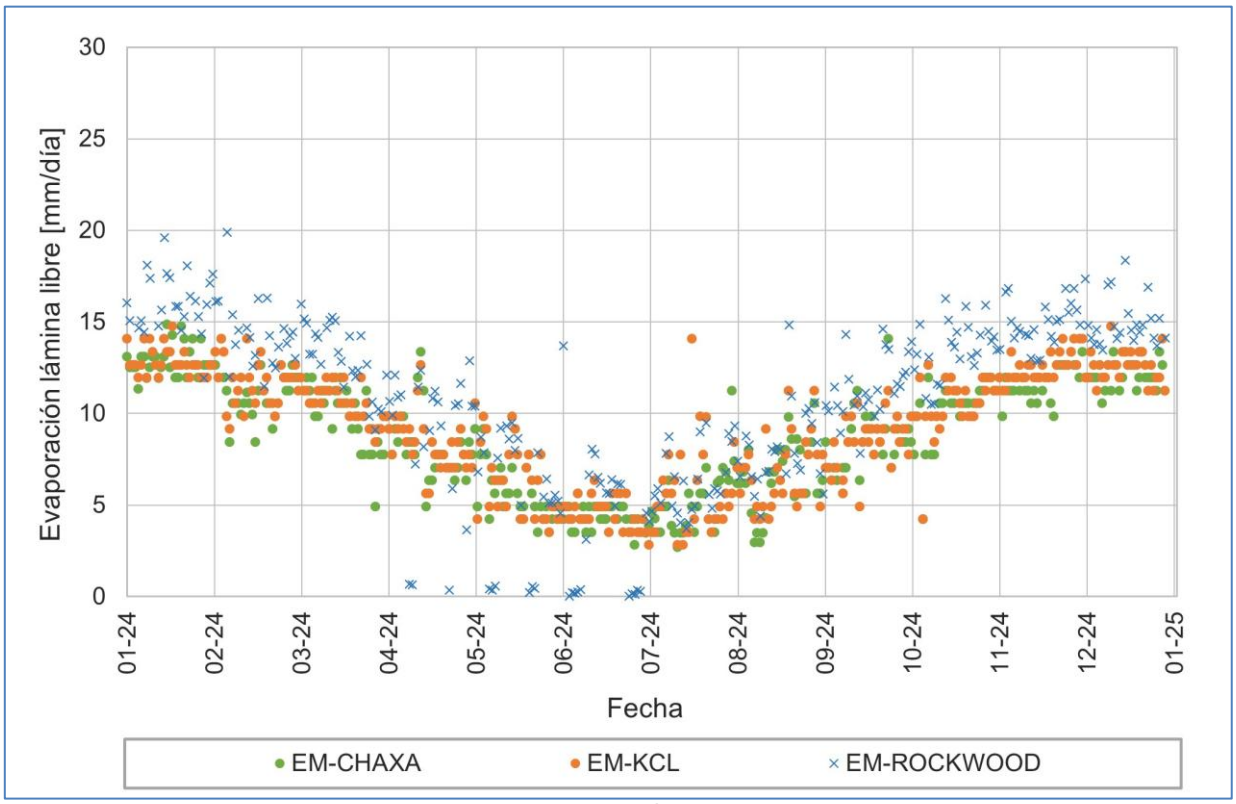
5.1.4 Evaporación

En la Figura 5-6 se presenta el registro de evaporación de agua libre diaria en 2024. 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 (octubre a marzo), mientras que los menores registros se encuentran en las estaciones frías de otoño-invierno (abril a septiembre). En la misma figura (Figura 5-6) se observa, además, los datos de las estaciones EM-Chaxa y EM-KCL, donde la evaporación presenta un comportamiento sincrónico y similar en las tres estaciones (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Rockwood), siendo levemente mayor los datos de EM-Rockwood.

Las menores evaporaciones se registran en la temporada fría con un promedio de 7,3 mm/día (promedio calculado para los meses entre abril y septiembre 2024), con valores mínimos los meses de abril y junio, con una evaporación diaria del orden de 3,6 mm/día y 3,1mm/día, respectivamente (Figura 5-6); los datos cercanos a 0 se consideran anómalos. Las mayores evaporaciones se registran en los meses cálidos con una evaporación promedio de 14,4 mm/día (promedio calculado considerando los meses enero a marzo y octubre a diciembre 2024), registrándose el valor máximo el día 6 de febrero, con una evaporación diaria de 19,3 mm/día.

La relación de este comportamiento con otras variables será analizada posteriormente en el capítulo 6 de discusión.

Figura 5-6 Evaporación diaria, 2024



Fuente: Elaboración propia

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 2024, 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.

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 el periodo de registro a la fecha.

Los resultados registrados durante las campañas de monitoreo del año 2024 se muestran entre la Tabla 5-7 y Tabla 5-10 para cada sector.

Al igual que los años anteriores, las campañas se realizan con frecuencia trimestral, este año en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. El dato trimestral se calcula mediante la misma metodología de la Adenda 5, es decir, a partir del promedio de dos datos diarios obtenidos en el mes del trimestre (la metodología de la evapotranspiración se detalla en la sección 4.3.2)

Tabla 5-6 Resumen información puntos de medición de evapotranspiración

Sector	Punto de Monitoreo	Equivalencia futura Red de Monitoreo Lisímetros	Periodo de registro (1)	
Norte y Borde Este	EVT-01	-	25-05-2013	29-12-2024
	EVT-02	-	25-05-2013	29-12-2024
	EVT-03	LS-01	25-05-2013	29-12-2024
	EVT-04	LS-02	25-05-2013	27-12-2024
	EVT-05	-	25-05-2013	27-12-2024
	EVT-06	LS-03	21-05-2013	13-12-2024
	EVT-07	-	21-05-2013	13-12-2024
	EVT-08	-	21-05-2013	13-12-2024
	EVT-11	-	21-05-2013	07-12-2024
	EVT-12	-	21-05-2013	07-12-2024
Núcleo	EVT-09	LS-05	29-05-2013	07-12-2024
	EVT-10	LS-06	21-05-2013	07-12-2024
	EVT-13	-	29-05-2013	07-12-2024
Peine	EVT-15	-	17-05-2013	04-12-2024
	EVT-16	-	17-05-2013	04-12-2024
	EVT-17	LS-07	17-05-2013	24-12-2024
	EVT-18	-	29-05-2013	11-09-2024 (1)
	EVT-23	LS-08	07-08-2013	11-09-2024 (1)
La Punta-La Brava	EVT-19	-	17-05-2013	18-12-2024
	EVT-20	LS-10	17-05-2013	18-12-2024
	EVT-21	-	17-05-2013	27-12-2024
	EVT-22	LS-09	06-08-2013	27-12-2024

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) En diciembre sin acceso al sector por época de reproducción de Flamencos, según Carta Oficial N°94/2024.
Fuente: Elaboración propia

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 2024, se presentan en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector La Punta - La Brava

Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	mar-24	jun-24	sept-24	dic-24
EVT-19	2,948 (1)	2,787	2,197	3,178
EVT-20	1,123	0,453	0,600	1,012
EVT-21	0,625	0,369	0,325	0,359
EVT-22	0,520	0,081	0,082	0,755

(1) Dato corresponde a un día de medición
Fuente: Elaboración propia

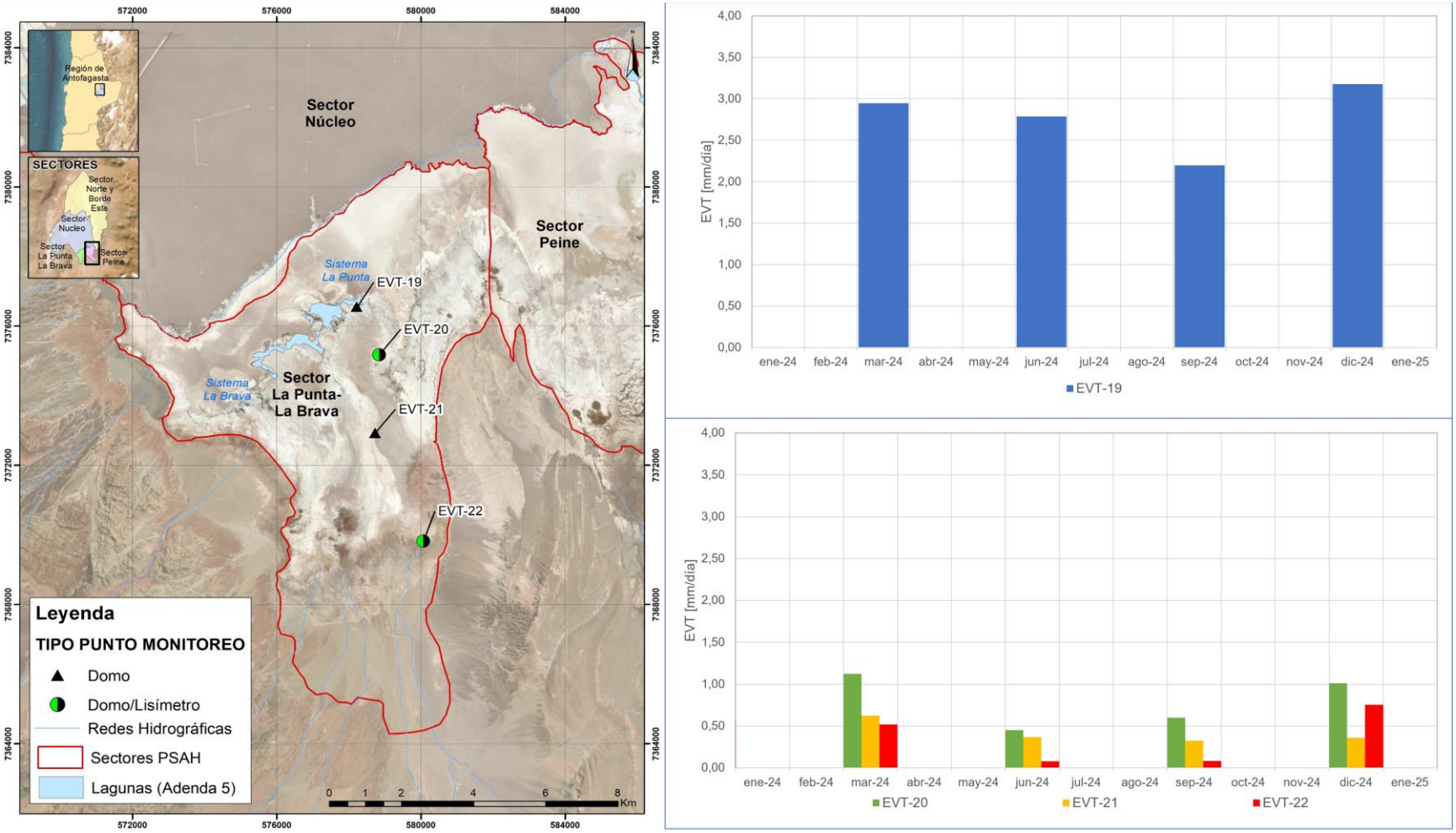
En la Figura 5-7, se muestra el comportamiento de la evapotranspiración dado por los puntos de medición de EVT comprometidos en el PSAH en el sector La Punta-La Brava en el año 2024.

El punto EVT-19, ubicado en el espejo de agua de la laguna La Punta, se grafica 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 mensual determinadas entre 2,197 y 3,178 mm/día para el año 2024.

Durante el año 2024 el menor valor registrado en los puntos EVT-20, EVT-21 y EVT-22, corresponde a 0,081 mm/día promedio mensual en el punto EVT-22 (junio 2024), mientras que el máximo de evaporación registrado a 1,123 mm/día promedio mensual en el punto EVT-20 (marzo 2024). 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, año 2024, 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, 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 2024, se presentan en la Tabla 5-8.

Tabla 5-8 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector Peine

Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	mar-24	jun-24	sept-24	dic-24
EVT-15	0,107	0,048	0,041	0,041
EVT-16	0,772	0,110	0,154	0,426
EVT-17	0,078	0,056	(1)	0,072
EVT-18	(2)	1,445	1,601	(3)
EVT-23	(2)	0,286	0,508	(3)

(1) Sin Permiso de la Comunidad para ingresar.
Sin acceso al punto por época de reproducción de flamencos dado por:
(2) Carta Oficial N°18/2023 (restricción desde el 03 de noviembre 2023 hasta la primera quincena de abril 2024) y,
(3) No se puede acceder por restricción de la comunidad en diciembre y se cuenta con Carta Oficial N°94/2024 (desde el mes de noviembre 2024 hasta la segunda quincena de marzo 2025).

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 2024.

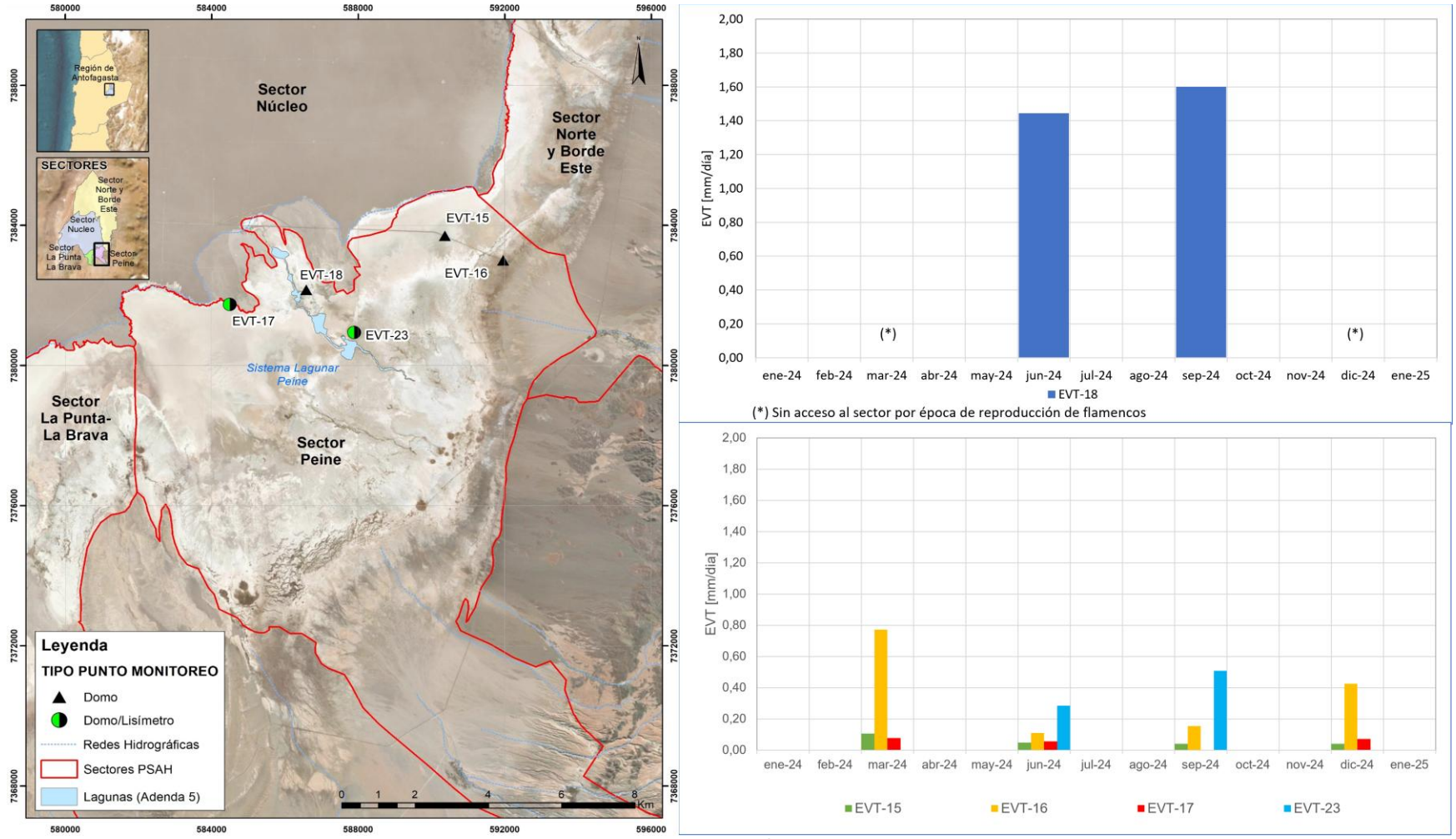
La estación EVT-18 se encuentra en el espejo de agua de la Laguna Interna, debido a esto se gráfica de manera independiente (Figura 5-8) por la diferencia de escala entre las tasas de esta estación con el resto de los puntos.

El rango de variación observado para estas estaciones (EVT-15, EVT-16, EVT-17 y EVT-23) varía entre 0,041 mm/día (EVT-15, septiembre y diciembre de 2024) y 0,772 mm/día (EVT-16, marzo de 2024).

Las estaciones EVT-18 y EVT-23, ubicadas ambas en el sector de lagunas de Peine (Laguna Sala e Interna, respectivamente) poseen mediciones sólo en el segundo y tercer trimestre del año; debido a la prohibición de acceso al punto de monitoreo en el primer y cuarto trimestre dada la época de reproducción de flamencos según Carta Oficial N°18/2023 (restricción desde el 03 de Noviembre 2023 hasta la primera quincena de abril 2024) y Carta Oficial N°94/2024 (desde el mes de noviembre 2024 hasta la segunda quincena de marzo 2025).

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

Figura 5-8 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-15, EVT-16, EVT-17, EVT-18 y EVT-23, año 2024, 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 2024, se presentan en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector Norte y Borde Este

Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	mar-24	jun-24	sept-24	dic-24
EVT-1	0,605	0,098	0,084	0,651
EVT-2	0,345	0,178	0,195	0,470
EVT-3	0,713	0,107	0,082	0,732(1)
EVT-4	2,680	0,138	0,470	0,292
EVT-5	3,324	1,470	2,577	3,533
EVT-6	0,309	0,230	0,265	0,390
EVT-7	0,890	0,250	0,228	0,710
EVT-8	0,182	0,131	0,086	0,183
EVT-11	0,127	0,037	0,040	0,040
EVT-12	0,402	0,320	0,410	0,524

(1) Dato corresponde a un día de medición
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-9 y Figura 5-10, se muestra 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 2024.

La estación EVT-5 se ubica en la superficie lagunar de la laguna Tebenquiche 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 2024 el punto EVT-5 presenta valores que oscilan entre 1,470 mm/día en junio y 3,533 mm/día en diciembre.

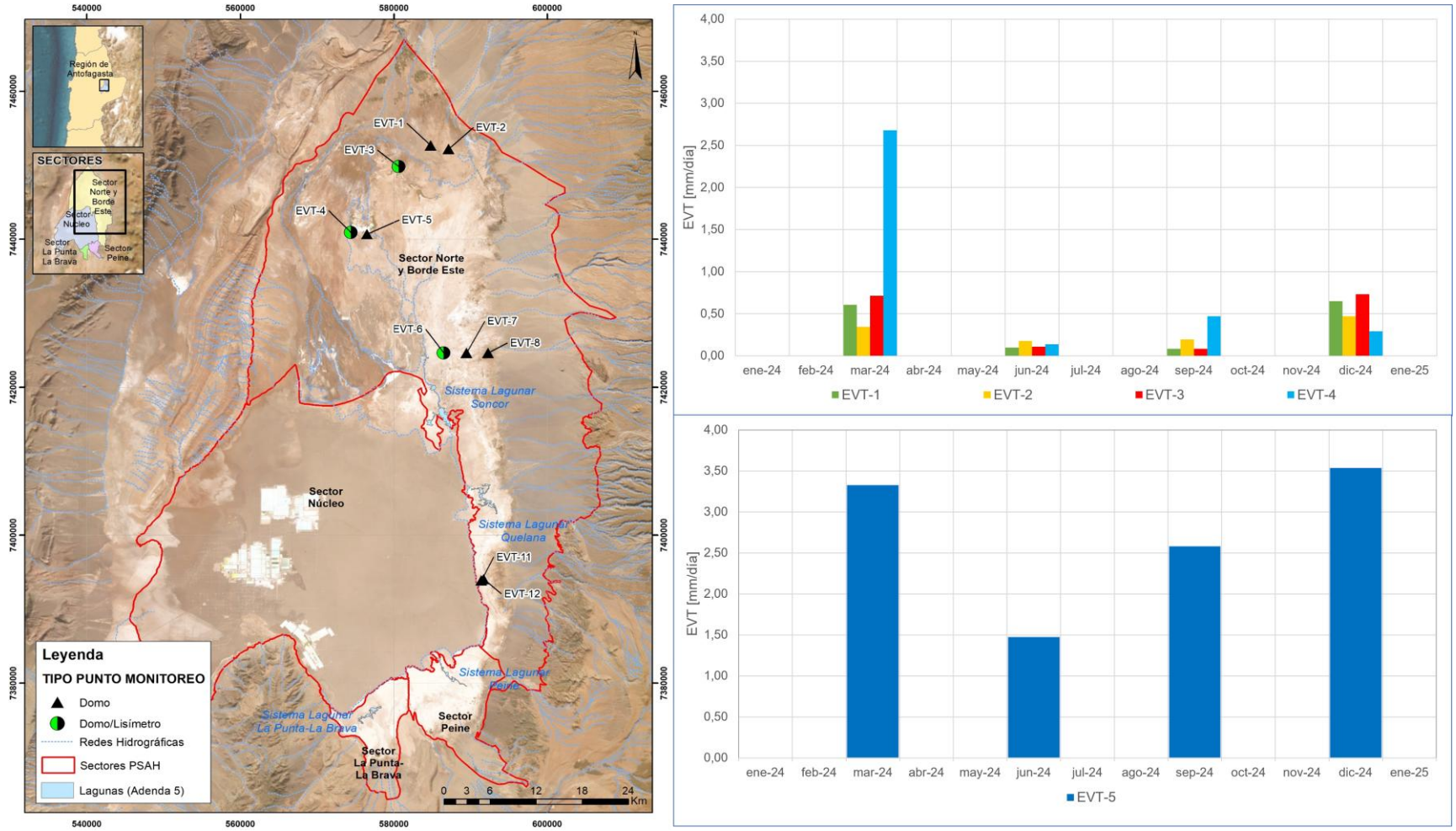
Los puntos ubicados más al norte en el sector: EVT-1, EVT-2, EVT-3 y EVT-4, como muestra Figura 5-23, con valores entre 0,082 mm/día (EVT-3, septiembre 2024) y 2,680 mm/día (EVT-4, marzo 2024), según se observa en la Tabla 5-6.

Ubicados más al sur de los puntos anteriores (Figura 5-10), se tienen los puntos EVT-6, EVT-7 y EVT-8 el año 2024, muestra valores que oscilan entre un mínimo de 0,086 mm/día en el punto EVT-8 (septiembre 2024), y un máximo de 0,890 mm/día en el punto EVT-7 (marzo 2024).

Los puntos EVT-11 y EVT-12 ubicados en la parte sur del Borde Este del salar (Figura 5-10), presentan valores que varían entre 0,037 mm/día (EVT-11, junio 2024) y 0,524 mm/día (EVT-12, diciembre 2024).

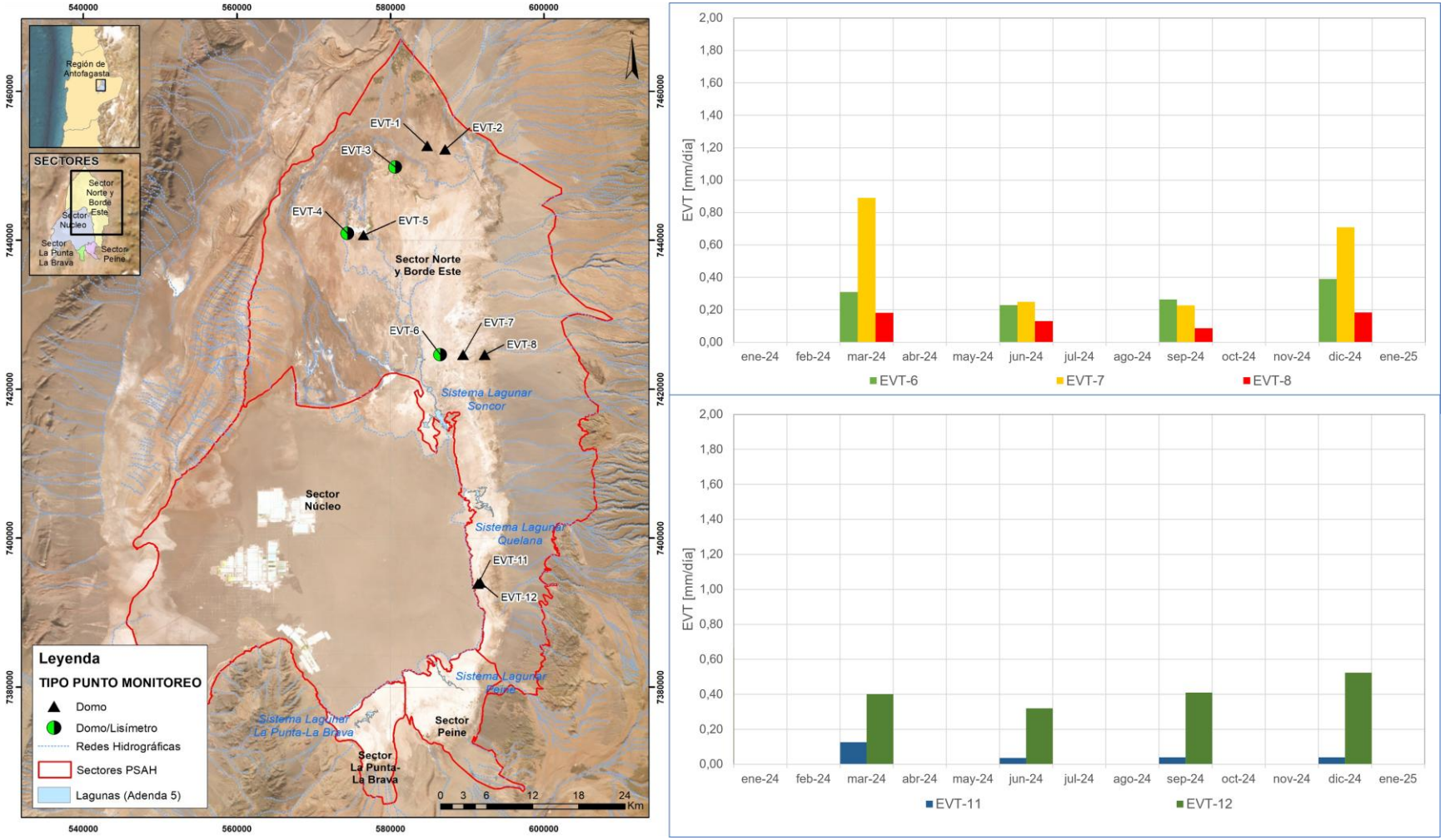
En general, se observa una variación estacional de las tasas de evaporación menores en los meses de invierno.

Figura 5-9 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-1, EVT-2, EVT-3, EVT-4 y EVT-5, año 2024, Sector Norte



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-6, EVT-7, EVT-8, EVT-11 y EVT-12, año 2024, 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 2024 se presentan en la Tabla 5-10.

Tabla 5-10 Resultados campaña de evapotranspiración 2024, Sector Núcleo

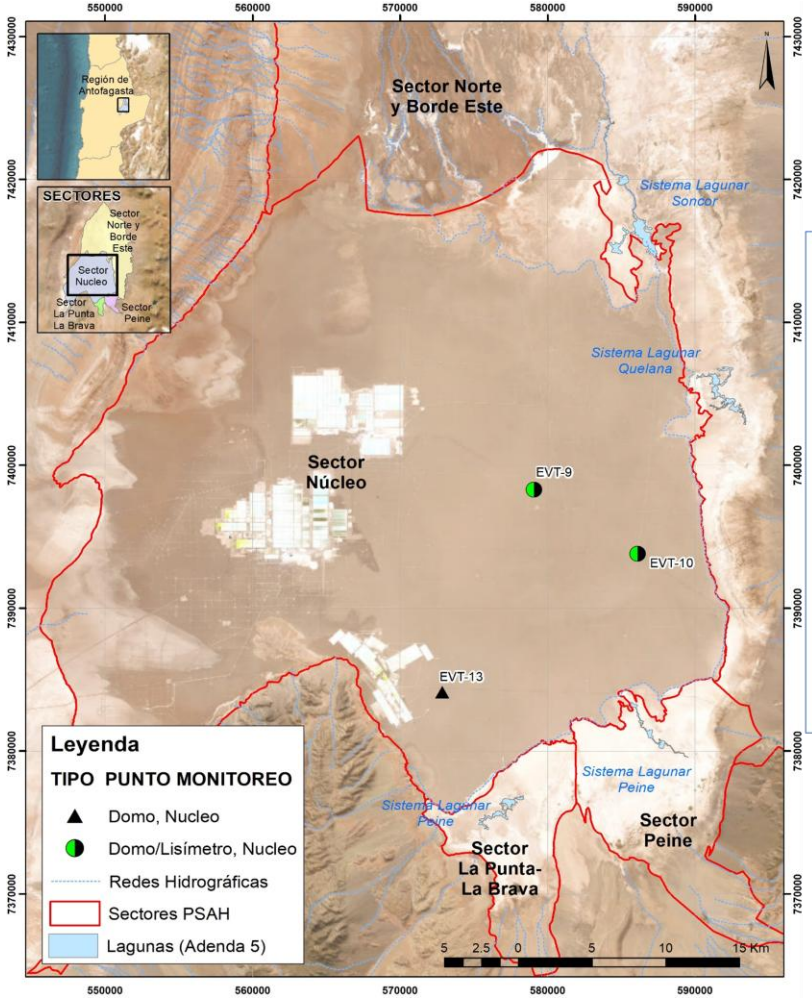
Punto de Monitoreo	Tasa Promedio EVT (mm/día)			
	1° Trim.	2° Trim.	3° Trim.	4° Trim.
	mar-24	jun-24	sept-24	dic-24
EVT-9	0,075	0,043	0,018 (1)	0,048
EVT-10	0,078 (1)	0,031	0,023	0,035
EVT-13	0,079 (1)	0,032 (1)	0,015 (1)	0,033

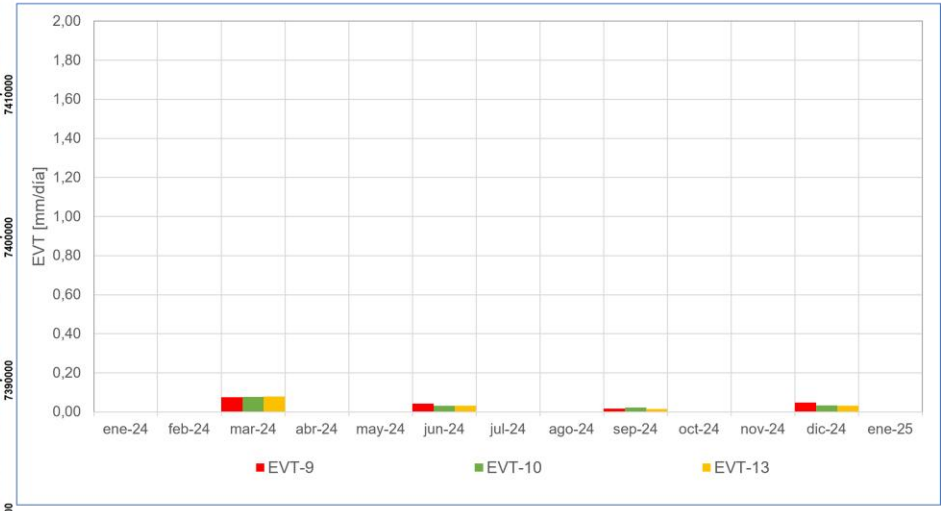
(1) Dato corresponde a un día de medición
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-11 se muestra el comportamiento del año 2024 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 menores valores de tasas promedios de evapotranspiración en marzo, y mayores tasas en septiembre. El valor mínimo se obtuvo en la estación EVT-10, con una tasa promedio mensual de 0,023 mm/día, medido durante el mes de septiembre, y el máximo en el mes de marzo con una tasa de 0,079 mm/día promedio mensual, en el punto EVT-13 ubicado en la costra salina. De los datos de evapotranspiración observados en todos los sectores PSAH se tiene que el sector del núcleo es la zona que muestra menor rango evapotranspiración.

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 2024 este monitoreo se realizó en los meses de agosto y diciembre, correspondientes a su frecuencia semestral de medición, para las temporadas de invierno y verano, respectivamente (Ver Anexo C).

La determinación de las superficies lagunares se realiza a través del análisis de imágenes satelitales de alta resolución (imágenes multiespectrales con un tamaño de pixel de máximo 4 metros) 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 de la fecha más próxima a las imágenes de alta resolución.

La Tabla 5-11 y Tabla 5-12 presentan las superficies en invierno y verano del año 2024 determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada, desde 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 2024 (invierno y verano)

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2024			
		Invierno 2024		Verano 2024	
		ha	m²	ha	m²
Superficies Pléiades 1-A de alta resolución	LP LB	40,7	407.332,2	24,4	243.682,9
	PE	31,4	313.749,3	27,5	275.083,5
	AQ	70,9	708.985,1	3,0	30.007,6
	SO	155,5	1.555.486,6	125,8	1.257.816,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-12 Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 en el monitoreo 2024 (invierno y verano)

	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2024			
		Invierno 2024		Verano 2024	
		ha	m²	ha	m²
Superficies Landsat 8 de mediana resolución	LP LB	40,0	400.103,0	34,0	340.036,7
	PE	42,4	424.333,4	22,8	227.885,9
	AQ	59,8	598.204,1	6,2	62.437,8
	SO	154,0	1.540.142,5	141,2	1.411.927,4

Fuente: Elaboración propia

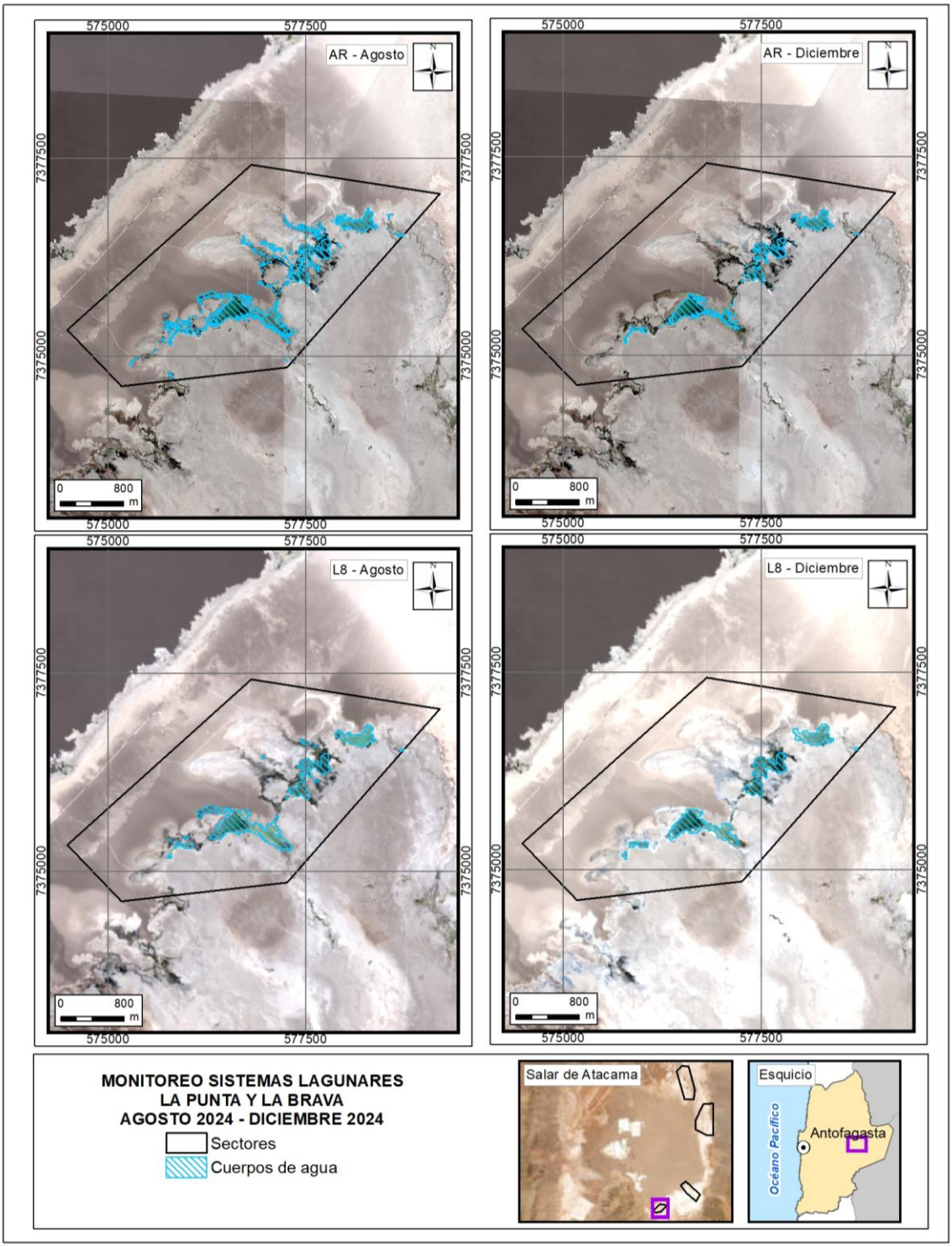
Las variaciones de resultados entre los sensores Pléiades y Landsat, se deben principalmente a las diferencias en la resolución espacial, es decir, al tamaño de píxel de la imagen satelital. El modelo de mediana resolución presenta bordes menos definidos y un mayor espesor de los resultados, en comparación con el modelo de alta resolución, el que proporciona un mayor nivel de detalle y mejor definición de los contornos del recubrimiento de los cuerpos de agua. 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.

5.3.1 La Punta - La Brava

En el sistema lagunar La Punta - La Brava, la cobertura de los cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A abarca una superficie de 40,7 ha en invierno (agosto 2024) y de 24,4 ha en verano (diciembre 2024) (Tabla 5-11 y Figura 5-12). Por otro lado, a partir de las imágenes de mediana resolución Landsat 8 (Tabla 5-12) la superficie de cobertura es de 40,0 ha en invierno (agosto 2024), y de 34,0 ha en verano (diciembre 2024). Por lo tanto, en invierno, la cobertura obtenida por Pléiades 1-A es un 1,8 % mayor (+0,7 ha) en relación con Landsat 8, mientras que, en verano, la cobertura obtenida por Landsat 8 es un 39,5 % mayor (+9,6 ha) en relación con Pléiades 1-A.

En la (Figura 5-12) se presenta la cobertura de las superficies lagunares a través de sus imágenes satelitales. Las distribuciones de las superficies presentan pequeñas diferencias, donde los bordes más gruesos de los cuerpos lagunares de la imagen Landsat 8 se compensan con el mayor detalle en las zonas húmedas en los alrededores del sistema lagunar para la imagen de Pléiades 1-A.

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 2024 - diciembre 2024.



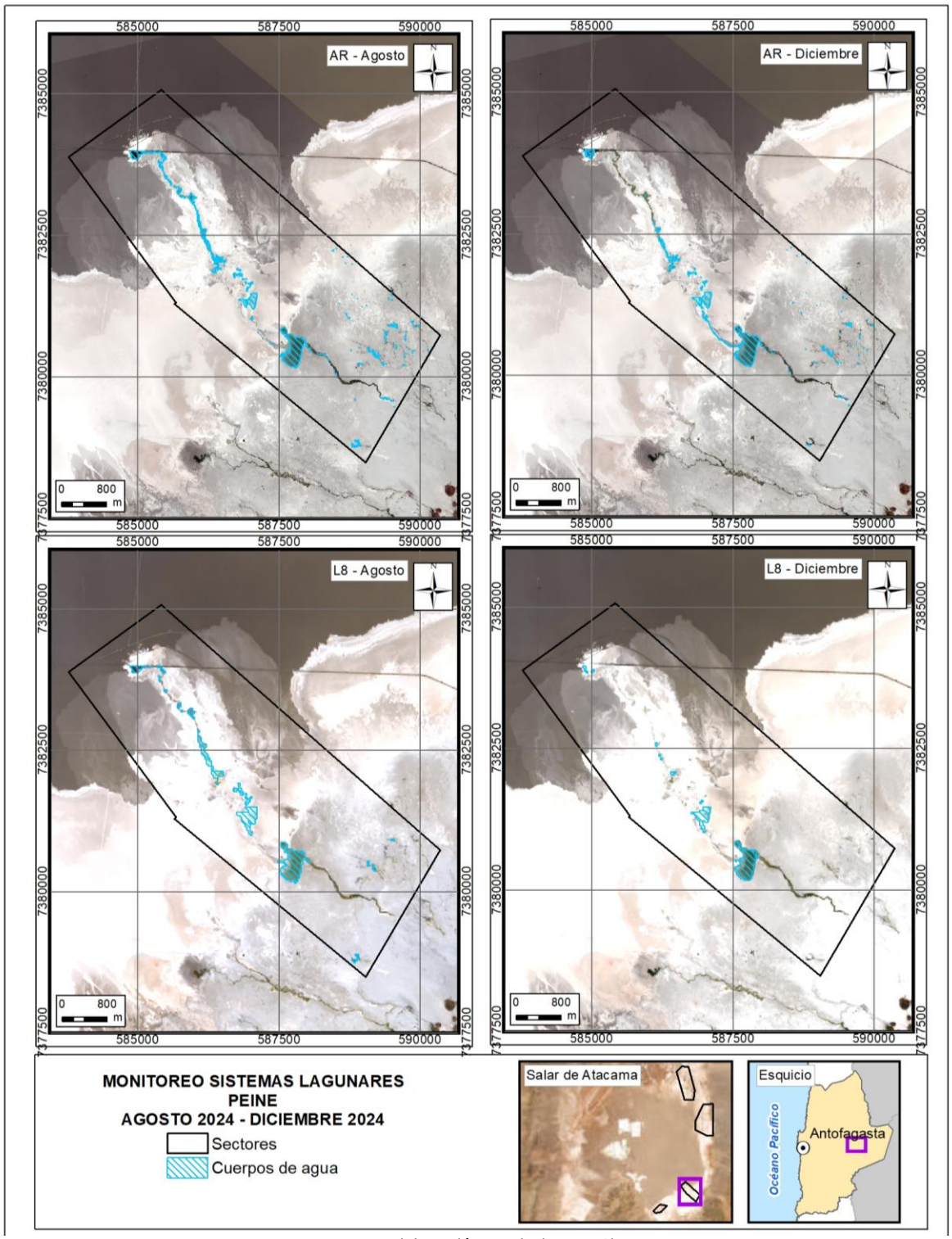
Fuente: Elaboración propia. (Anexo C).

5.3.2 Peine

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de los cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A abarca una superficie de 31,4 ha en invierno (agosto) 2024 y de 27,5 ha en verano (diciembre) 2024 (Tabla 5-11 y Figura 5-13). Por otro lado, a partir de las imágenes de mediana resolución Landsat 8 (Tabla 5-12) la superficie de cobertura de los cuerpos de agua es de 42,4 ha en invierno (agosto 2024), y de 22,8 ha en verano (diciembre 2024). Por lo tanto, en invierno (agosto 2024), la cobertura obtenida por Landsat 8 para el sistema Peine es un 35,2% mayor (+11,0 ha) en relación con Pléiades 1-A, mientras que, en verano (diciembre 2024), la cobertura obtenida por Pléiades 1-A es un 20,7 % mayor (+4,7 ha) en relación con Landsat 8.

En el caso de Peine, en invierno (agosto) 2024, la imagen Landsat 8 (Figura 5-13) presenta bordes más gruesos tanto en la laguna Salada, Saladita e Interna (en relación con la imagen de alta resolución). En cambio, en verano (diciembre) 2024, se observa que Landsat 8 abarca una menor superficie en la laguna Interna y en los canales entre la laguna Salada y Saladita, zonas que si son captadas en Pléiades 1-A dada su mayor 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 2024.



Fuente: Elaboración propia (Anexo C).

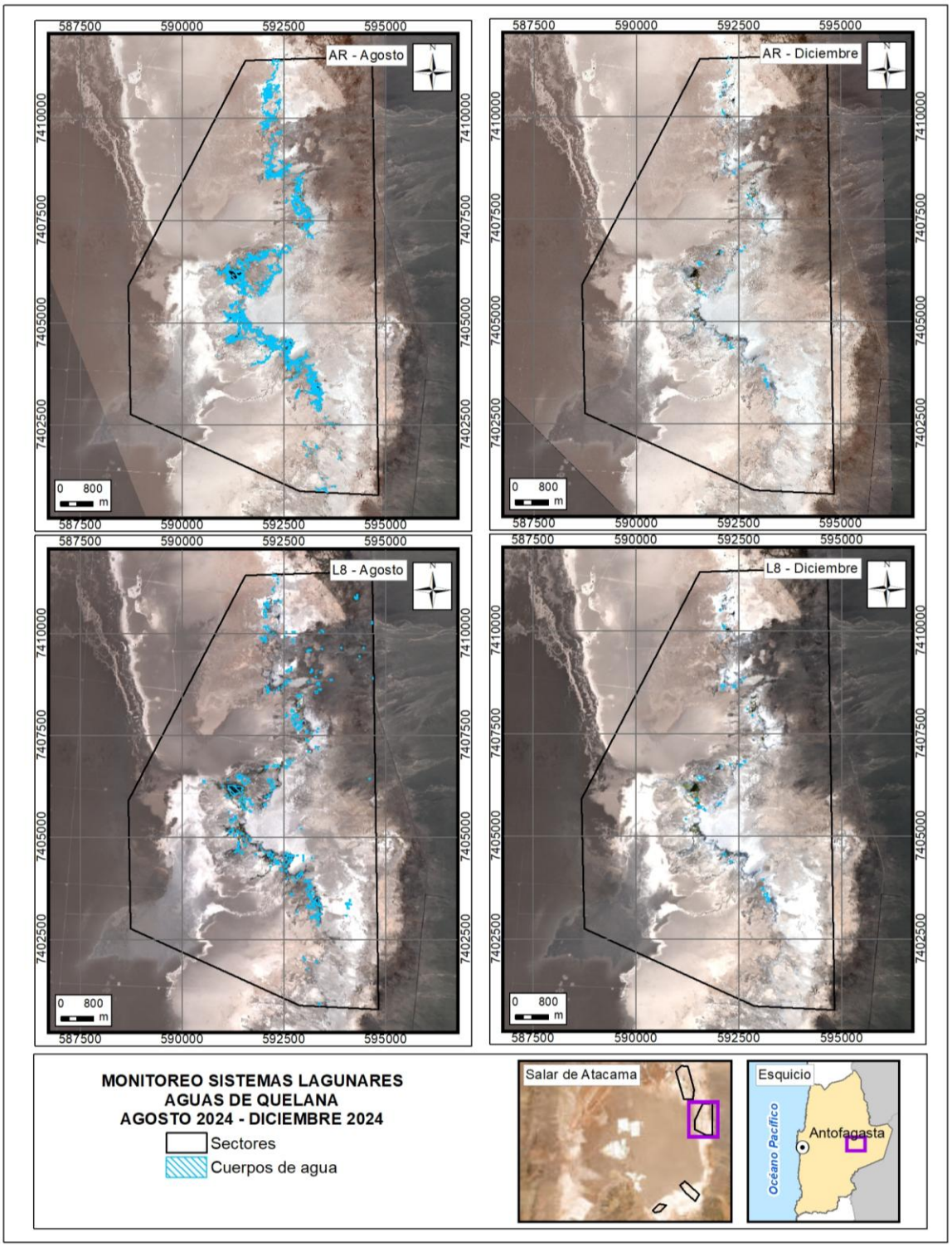
5.3.3 Aguas de Quelana

En el sistema lagunar Aguas de Quelana, la cobertura de los cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A abarca una superficie de 70,9 ha en invierno (agosto) 2024 y de 3,0 ha en verano (diciembre) 2024 (Tabla 5-11 y Figura 5-14). Por otro lado, a partir de las imágenes de mediana resolución Landsat 8 (Tabla 5-12) la superficie de cobertura de los cuerpos es de 59,8 ha en invierno (agosto) de 2024, y de 6,2 ha en verano (diciembre) 2024. Por lo tanto, en invierno, la cobertura obtenida por Pléiades 1-A es un 18,5% mayor (+11,1 ha) en relación con Landsat 8, mientras que la cobertura obtenida por Landsat 8 en verano es un 108,1 % mayor (+3,2 ha) en relación con Pléiades 1-A en el mismo mes.

En el caso de Aguas de Quelana, la imagen Pléiades 1-A de invierno 2024 (Figura 5-14) presenta un gran detalle de las áreas húmedas, que son resultado de la interconexión de las lagunas y sus desbordes, situación que no se ve reflejada en la imagen Landsat 8 dada su menor resolución. Por otro lado, la superficie de verano 2024 es reducida en ambas figuras, siendo mayor la de Landsat 8 lo que en este caso se justifica por el mayor tamaño de píxel.

Aguas de Quelana es el sistema lagunar que presenta mayor diferencia entre las superficies obtenidas por las imágenes de media y alta resolución, lo que se explica, además del tema de resolución de las imágenes, por la distribución espacial de los cuerpos de agua, los que presentan bordes poco definidos debido a la presencia de vegetación rivereña y a la existencia de zonas de inundación que son variables en el tiempo.

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 2024.



Fuente: Elaboración propia. (Anexo C) .

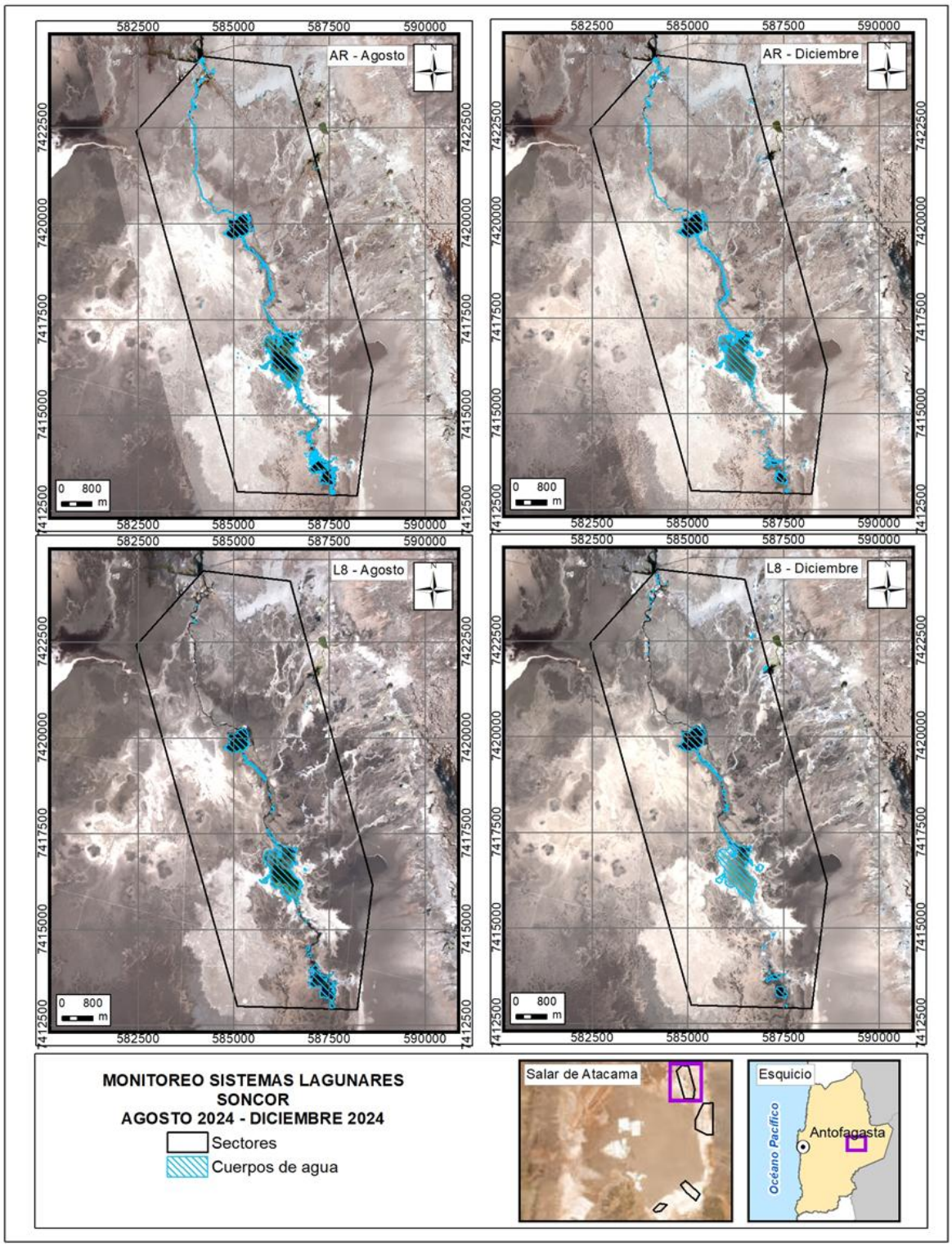
5.3.4 Soncor

En el sistema lagunar Soncor, la cobertura de los cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pléiades 1-A abarca una superficie de 155,5 ha en invierno (agosto 2024) y de 125,8 ha en diciembre 2024 (Tabla 5-11 y Figura 5-15). Por otro lado, a partir de las imágenes de mediana resolución Landsat 8 (Tabla 5-12) la superficie de cobertura de los cuerpos de agua es de 154,0 ha en invierno (agosto de 2024), y de 141,2 ha en verano (diciembre 2024). Por lo tanto, en invierno, la cobertura obtenida por Pléiades 1-A es un 1,0% mayor (+1,5 ha) en relación con Landsat 8, mientras que, en verano, la cobertura obtenida por Landsat 8 es un 12,3 % mayor (+15,4 ha) en relación con Pléiades 1-A.

En cuanto a las diferencias entre imágenes, éstas son menores en relación con los otros sistemas lagunares, debido a la fisonomía del sector, que consiste en un 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.

En la imagen de invierno de Pléiades 1-A (ver Figura 5-15), se observa una mayor cobertura en el Canal Burro Muerto y los cauces que unen las lagunas Chaxa y Barros Negros, mientras que en la imagen Landsat 8 se observa un menor detalle en la cobertura de los cauces, pero un mayor grosor en las lagunas principales, dando como resultado áreas prácticamente iguales para ambos métodos. Por otro lado, en las imágenes de verano (ver Figura 5-15), se observa para Landsat 8 un mayor grosor en los bordes de los cuerpos principales del sistema.

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 2024.



Fuente: Elaboración propia. (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 limnimétricos se realizan con frecuencia mensual.

Para los meses de enero, febrero, agosto, septiembre, octubre y diciembre de 2024, se aumentó la frecuencia de monitoreo de los niveles freáticos en agua dulce – salobre y salmuera de mensuales a quincenales, y también se aumentó la frecuencia de manera voluntaria la medición del nivel limnimétrico. Para los meses de enero y febrero, este aumento en la frecuencia de datos estuvo dado por la activación del PAT sector Alerta Acuífero. El aumento en la frecuencia de mediciones, para los meses de agosto, septiembre y octubre, fue debido a la activación del PAT sector Alerta Núcleo (activado en de julio 2024). Por último, el aumento de frecuencia en el mes de diciembre fue debido nuevamente a la toma de acciones preventivas por el PAT Acuífero.

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 2024, se presentan en la Tabla 5-13.

El registro de mediciones de niveles en los puntos LM-01, LM-04 y LM-16 se encuentra completo para los 12 meses del año, en cambio los puntos LM-02 y LM-03, debido a presencia de flamencos en el punto, estos presentan ausencia de datos para 4 meses (mayo, septiembre, octubre y noviembre) y 1 mes (octubre), respectivamente.

Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2024

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.p.r.]	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	06-01-2024	2300,330	0,467	2299,863	06-08-2024	2300,330	0,370	2299,960
	30-01-2024	2300,330	0,495	2299,835	26-08-2024	2300,330	0,375	2299,955

Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2024

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.p.r.]	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.]
	10-02-2024	2300,330	0,480	2299,850	12-09-2024	2300,330	0,386	2299,944
	26-02-2024	2300,330	0,464	2299,866	23-09-2024	2300,330	0,398	2299,932
	19-03-2024	2300,330	0,463	2299,867	08-10-2024	2300,330	0,400	2299,930
	21-04-2024	2300,330	0,423	2299,907	21-10-2024	2300,330	0,410	2299,920
	20-05-2024	2300,330	0,406	2299,924	08-11-2024	2300,330	0,434	2299,896
	10-06-2024	2300,330	0,385	2299,945	10-12-2024	2300,330	0,465	2299,865
	12-07-2024	2300,330	0,381	2299,949	20-12-2024	2300,330	0,475	2299,855
	06-01-2024	2300,795	0,921	2299,874	06-08-2024	2300,795	0,819	2299,976
	30-01-2024	2300,795	0,942	2299,853	26-08-2024	2300,795	0,820	2299,975
	10-02-2024	2300,795	0,930	2299,865	12-09-2024	2300,795	0,833	2299,962
	26-02-2024	2300,795	0,914	2299,881	23-09-2024	2300,795	(1)	
LM-02	19-03-2024	2300,795	0,907	2299,888	08-10-2024	2300,795	(1)	
	21-04-2024	2300,795	0,871	2299,924	21-10-2024	2300,795	0,859	2299,936
	20-05-2024	2300,795	(1)		08-11-2024	2300,795	(1)	
	10-06-2024	2300,795	0,837	2299,958	10-12-2024	2300,795	0,912	2299,883
	12-07-2024	2300,795	0,824	2299,971	20-12-2024	2300,795	0,919	2299,876
	02-01-2024	2300,576	0,486	2300,090	02-08-2024	2300,576	0,385	2300,191
	30-01-2024	2300,576	0,506	2300,070	26-08-2024	2300,576	0,395	2300,181
	02-02-2024	2300,576	0,506	2300,070	12-09-2024	2300,576	0,410	2300,166
	26-02-2024	2300,576	0,478	2300,098	23-09-2024	2300,576	0,422	2300,154
LM-03	02-03-2024	2300,576	0,479	2300,097	07-10-2024	2300,576	(1)	
	22-04-2024	2300,576	0,431	2300,145	23-10-2024	2300,576	0,433	2300,143
	28-05-2024	2300,576	0,424	2300,152	06-11-2024	2300,576	0,438	2300,138
	01-06-2024	2300,576	0,428	2300,148	02-12-2024	2300,576	0,459	2300,117
	22-07-2024	2300,576	0,387	2300,189	23-12-2024	2300,576	0,468	2300,108
	02-01-2024	2300,934	0,866	2300,068	02-08-2024	2300,934	0,766	2300,168
	30-01-2024	2300,934	0,875	2300,059	26-08-2024	2300,934	0,777	2300,157
	02-02-2024	2300,934	0,874	2300,060	12-09-2024	2300,934	0,790	2300,144
LM-04	26-02-2024	2300,934	0,854	2300,080	23-09-2024	2300,934	0,805	2300,129
	02-03-2024	2300,934	0,860	2300,074	07-10-2024	2300,934	0,812	2300,122
	22-04-2024	2300,934	0,814	2300,120	23-10-2024	2300,934	0,815	2300,119
	28-05-2024	2300,934	0,808	2300,126	06-11-2024	2300,934	0,821	2300,113

Tabla 5-13 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector La Punta-La Brava, año 2024

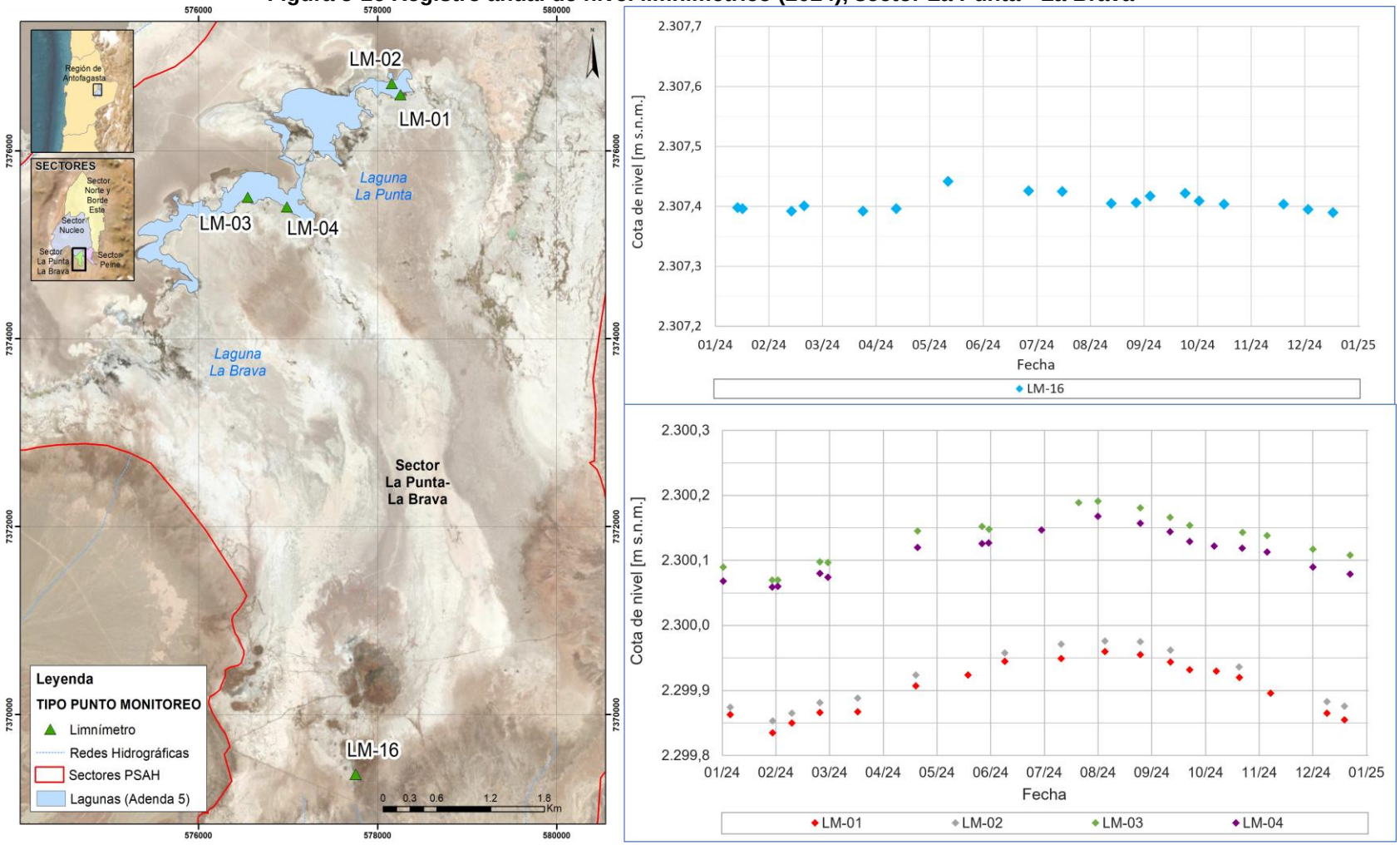
Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.p.r.]	Cota de nivel [m s.n.m.]	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.n.s.]	Cota de nivel [m s.n.m.]
	01-06-2024	2300,934	0,807	2300,127	02-12-2024	2300,934	0,844	2300,090
	01-07-2024	2300,934	0,787	2300,147	23-12-2024	2300,934	0,855	2300,079
LM-16	14-01-2024	2307,836	0,438	2307,398	14-08-2024	2307,836	0,431	2307,405
	17-01-2024	2307,836	0,440	2307,396	28-08-2024	2307,836	0,430	2307,406
	14-02-2024	2307,836	0,444	2307,392	05-09-2024	2307,836	0,419	2307,417
	21-02-2024	2307,836	0,435	2307,401	25-09-2024	2307,836	0,414	2307,422
	26-03-2024	2307,836	0,444	2307,392	03-10-2024	2307,836	0,427	2307,409
	14-04-2024	2307,836	0,440	2307,396	17-10-2024	2307,836	0,432	2307,404
	13-05-2024	2307,836	0,394	2307,442	20-11-2024	2307,836	0,432	2307,404
	28-06-2024	2307,836	0,410	2307,426	04-12-2024	2307,836	0,441	2307,395
	17-07-2024	2307,836	0,411	2307,425	18-12-2024	2307,836	0,446	2307,390

(1) Sin acceso, no se mide por presencia de flamencos en el punto.

En particular en el primer gráfico de la Figura 5-16, se observa el comportamiento del punto de monitoreo LM-16, entorno a los 2.307,40 m s.n.m., el que presenta una cota de nivel más alta en relación a los otros puntos (LM-01 a LM-04), debido a que se ubica en la zona de vegas de Tilopozo (aguas arriba de las lagunas La Punta-La Brava). Durante el año 2024, muestra variaciones estacionales entre la cota de 2307,390 m s.n.m. y 2.307,442 m s.n.m., con una amplitud de oscilación estacional de 5 cm.

En la misma Figura 5-16, se observan las mediciones de los puntos LM-01, LM-02, LM-03 y LM-04. Durante el año 2024 los niveles se mantienen en general con variación estacional de nivel limnimétrico con aumentos y descensos esperados en función de la estacionalidad. Particularmente los puntos LM-01 y LM-02 muestran una amplitud anual de niveles que alcanza los 13 y 12 cm respectivamente. Por otra parte, los puntos LM-03 y LM-04, que presentan mayores cotas limnimétricas, y se muestran con una amplitud anual de niveles similar, de 12 cm y 11 cm, respectivamente, calculado para el año 2024.

Figura 5-16 Registro anual de nivel limnimétrico (2024), 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 4-4). 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 2024 presenta ausencia importante de datos, y en el caso del punto LM-17 no presenta datos para el año 2024, principalmente cuando se ha tenido acceso al punto se ha encontrado seco y en septiembre se restringe accesos por comunidad de Peine.

Para el punto LM-05 se cuenta con solo un dato, no se mide principalmente por encontrarse sin acceso por presencia de flamencos en el punto y/o por cierre de lagunas en época de reproducción de flamencos (ver Tabla 4-4). Por otra parte, los puntos con mayor cantidad de datos cuentan con datos para 5 o 6 meses de registros, entre mayo y octubre (LM-07, LM-09, E1, E2 y E3), esto se produce, al igual que los otros puntos, pero en menor medida, principalmente debido a las restricciones de acceso a las lagunas por parte de la Comunidad de Peine.

En detalle se restringe el acceso por época de reproducción de flamencos por parte de la Comunidad Atacameña de Peine, mediante cartas oficiales para dos períodos en el sector de Peine, en ambos periodos para las lagunas Salada, Saladita e Interna. El primer período de restricciones desde noviembre del año 2023 hasta la primera quincena abril de 2024, se presenta justificado a través de la Carta Oficial N°18/2023, y el segundo periodo, se extiende desde noviembre del año 2024, hasta la segunda quincena marzo de 2025 (Carta Oficial N°94/2024).

Sin embargo, se considera importante poder contar con acceso a todas las zonas, tanto para llevar a cabo todos los puntos establecidos por RCA, como para realizar un seguimiento adecuado de la evolución de los componentes a lo largo del tiempo.

El registro de los niveles limnimétricos para el año 2024, se grafica en la Figura 5-17, dada la escasa disponibilidad de puntos no permite realizar un análisis más detallado en relación a variaciones anuales, tendencias o amplitudes.

En la Figura 5-17 se puede observar que el punto LM-05, como ya se mencionó, presenta solo un dato en agosto, entorno a la cota 2.299,97 m s.n.m., y LM-06 se encuentra próximo a la cota de 2.299,90 m s.n.m, ambos puntos ubicados en laguna Salada.

En la misma figura (Figura 5-17) se puede observar que el punto LM-08, ubicado en laguna Saladita, muestra mediciones próximas a la cota de 2.299,90 m s.n.m. Por otra parte, el punto LM-07, ubicado también en laguna Saladita, muestra el registro de medición más completo, presenta cotas menores cercanas a 2.299,70 m s.n.m.

Además, en la Figura 5-17 se grafican los limnímetros LM-09 y LM-10, y las estacas: E1[13], E2, E3 y E4, ubicadas en el sector de Laguna Interna. Este grupo de 6 puntos se encuentran entre niveles de 2.298,70 y 2.299,00 m s.n.m., para todo el periodo de registro de 2024.

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024

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	01-01-2024	2300,583	(2)		09-08-2024	2300,583	0,612	2299,971
	16-01-2024	2300,583	(2)		22-08-2024	2300,583	(1)	
	01-02-2024	2300,583	(2)		11-09-2024	2300,583	(1)	
	16-02-2024	2300,583	(2)		16-09-2024	2300,583	(4)	
	01-03-2024	2300,583	(2)		11-10-2024	2300,583	(1)	
	16-04-2024	2300,583	(1)		16-10-2024	2300,583	(1)	
	18-05-2024	2300,583	(1)		13-11-2024	2300,583	(2)	
	03-06-2024	2300,583	(1)		15-12-2024	2300,583	(2)	
	08-07-2024	2300,583	(1)		22-12-2024	2300,583	(2)	
LM-06	01-01-2024	2300,776	(2)		09-08-2024	2300,776	0,854	2299,922
	16-01-2024	2300,776	(2)		22-08-2024	2300,776	(1)	
	01-02-2024	2300,776	(2)		11-09-2024	2300,776	(1)	
	16-02-2024	2300,776	(2)		16-09-2024	2300,776	(4)	
	01-03-2024	2300,776	(2)		11-10-2024	2300,776	(1)	
	16-04-2024	2300,776	(1)		16-10-2024	2300,776	(1)	
	18-05-2024	2300,776	0,878	2299,90	13-11-2024	2300,776	(2)	
	03-06-2024	2300,776	0,875	2299,90	15-12-2024	2300,776	(2)	
	08-07-2024	2300,776	(3)		22-12-2024	2300,776	(2)	
LM-07	09-01-2024	2300,447	(2)		09-08-2024	2300,447	0,759	2299,688
	16-01-2024	2300,447	(2)		22-08-2024	2300,447	0,762	2299,685

[13] El punto de monitoreo E1 presentó un incidente el 28 de octubre 2023, el cual fue reportado a la autoridad en la carta ALB-GMA-2024-SMA-079, por lo que dicho punto fue reemplazado. Se reportan dos datos: el original y el actualizado (para mayor detalle ver sección 4.4.2). En esta sección se usa el dato actualizado por mayor coherencia con la data histórica.

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024

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.]
	09-02-2024	2300,447	(2)		11-09-2024	2300,447	0,757	2299,69
	16-02-2024	2300,447	(2)		16-09-2024	2300,447	(4)	
	11-03-2024	2300,447	(2)		10-10-2024	2300,447	0,763	2299,684
	16-04-2024	2300,447	(1)		16-10-2024	2300,447	0,762	2299,685
	18-05-2024	2300,447	0,754	2299,69	14-11-2024	2300,447	(2)	
	21-06-2024	2300,447	0,754	2299,69	14-12-2024	2300,447	(2)	
	13-07-2024	2300,447	0,759	2299,688	25-12-2024	2300,447	(2)	
LM-08	09-01-2024	2300,542	(2)		09-08-2024	2300,542	0,669	2299,873
	16-01-2024	2300,542	(2)		22-08-2024	2300,542	0,674	2299,868
	09-02-2024	2300,542	(2)		11-09-2024	2300,542	0,67	2299,872
	16-02-2024	2300,542	(2)		16-09-2024	2300,542	(4)	
	11-03-2024	2300,542	(2)		10-10-2024	2300,542	(1)	
	16-04-2024	2300,542	(1)		16-10-2024	2300,542	(1)	
	27-05-2024	2300,542	0,667	2299,88	14-11-2024	2300,542	(2)	
	21-06-2024	2300,542	0,669	2299,87	14-12-2024	2300,542	(2)	
	13-07-2024	2300,542	(1)		25-12-2024	2300,542	(2)	
LM-09	09-01-2024	2299,726	(2)		09-08-2024	2299,726	0,753	2298,973
	16-01-2024	2299,726	(2)		22-08-2024	2299,726	0,742	2298,984
	09-02-2024	2299,726	(2)		11-09-2024	2299,726	0,751	2298,975
	16-02-2024	2299,726	(2)		16-09-2024	2299,726	(4)	
	11-03-2024	2299,726	(2)		10-10-2024	2299,726	0,767	2298,959
	16-04-2024	2299,726	(1)		16-10-2024	2299,726	0,761	2298,965
	27-05-2024	2299,726	0,729	2299,00	14-11-2024	2299,726	(2)	
	21-06-2024	2299,726	0,731	2299,00	14-12-2024	2299,726	(2)	
	13-07-2024	2299,726	0,748	2298,978	25-12-2024	2299,726	(2)	
LM-10	09-01-2024	2299,691	(2)		09-08-2024	2299,691	0,818	2298,873
	16-01-2024	2299,691	(2)		22-08-2024	2299,691	(3)	
	09-02-2024	2299,691	(2)		11-09-2024	2299,691	(1)	
	16-02-2024	2299,691	(2)		16-09-2024	2299,691	(4)	
	11-03-2024	2299,691	(2)		10-10-2024	2299,691	(1)	
	16-04-2024	2299,691	(1)		16-10-2024	2299,691	(1)	
	27-05-2024	2299,691	0,781	2298,91	14-11-2024	2299,691	(2)	
	21-06-2024	2299,691	0,789	2298,90	14-12-2024	2299,691	(2)	
	13-07-2024	2299,691	0,807	2298,884	25-12-2024	2299,691	(2)	

Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024

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-17	05-01-2024	2299,606	(3)		07-08-2024	2299,606	(3)	
	23-01-2024	2299,606	(3)		20-08-2024	2299,606	(3)	
	04-02-2024	2299,606	(3)		10-09-2024	2299,606	(3)	
	20-02-2024	2299,606	(3)		17-09-2024	2299,606	(4)	
	04-03-2024	2299,606	(3)		15-10-2024	2299,606	(3)	
	17-04-2024	2299,606	(3)		17-10-2024	2299,606	(3)	
	27-05-2024	2299,606	(3)		26-11-2024	2299,606	(3)	
	15-06-2024	2299,606	(3)		11-12-2024	2299,606	(3)	
	17-07-2024	2299,606	(3)		27-12-2024	2299,606	(3)	
E-1	12-01-2024	2299,472	(2)		23-08-2024	2299,472	0,93	2298,542[5]
	26-01-2024	2299,472	(2)		23-08-2024	2299,472	0,49	2298,982[6]
	11-02-2024	2299,472	(2)		11-09-2024	2299,472	0,931	2298,541[5]
	24-02-2024	2299,472	(2)		11-09-2024	2299,472	0,491	2298,981[6]
	22-03-2024	2299,472	(2)		24-09-2024	2299,472	0,931	2298,541[5]
	12-04-2024	2299,472	(1)		24-09-2024	2299,472	0,491	2298,981[6]
	27-05-2024	2299,472	0,236	2299,236[5]	10-10-2024	2299,472	0,943	2298,529[5]
	27-05-2024	2299,472	0,466	2299,006[7]	10-10-2024	2299,472	0,503	2298,969[6]
	21-06-2024	2299,472	0,239	2299,233[5]	29-10-2024	2299,472	0,942	2298,53[5]
	21-06-2024	2299,472	0,469	2299,003[7]	29-10-2024	2299,472	0,502	2298,97[6]
	13-07-2024	2299,472	0,250	2299,222[5]	14-11-2024	2299,472	(2)	
	13-07-2024	2299,472	0,480	2298,992[7]	14-12-2024	2299,472	(2)	
	09-08-2024	2299,472	0,917	2298,555[5]	25-12-2024	2299,472	(2)	
	09-08-2024	2299,472	0,477	2298,995[6]				
E-2	12-01-2024	2299,453	(2)		09-08-2024	2299,453	0,57	2298,883
	26-01-2024	2299,453	(2)		23-08-2024	2299,453	0,576	2298,877
	11-02-2024	2299,453	(2)		11-09-2024	2299,453	0,582	2298,871
	24-02-2024	2299,453	(2)		24-09-2024	2299,453	0,593	2298,86
	22-03-2024	2299,453	(2)		10-10-2024	2299,453	0,607	2298,846
	12-04-2024	2299,453	(1)		29-10-2024	2299,453	0,609	2298,844
	27-05-2024	2299,453	0,55	2298,90	14-11-2024	2299,453	(2)	
	21-06-2024	2299,453	0,553	2298,90	14-12-2024	2299,453	(2)	
	13-07-2024	2299,453	0,564	2298,889	25-12-2024	2299,453	(2)	
E-3	12-01-2024	2299,369	(2)		09-08-2024	2299,369	0,521	2298,848

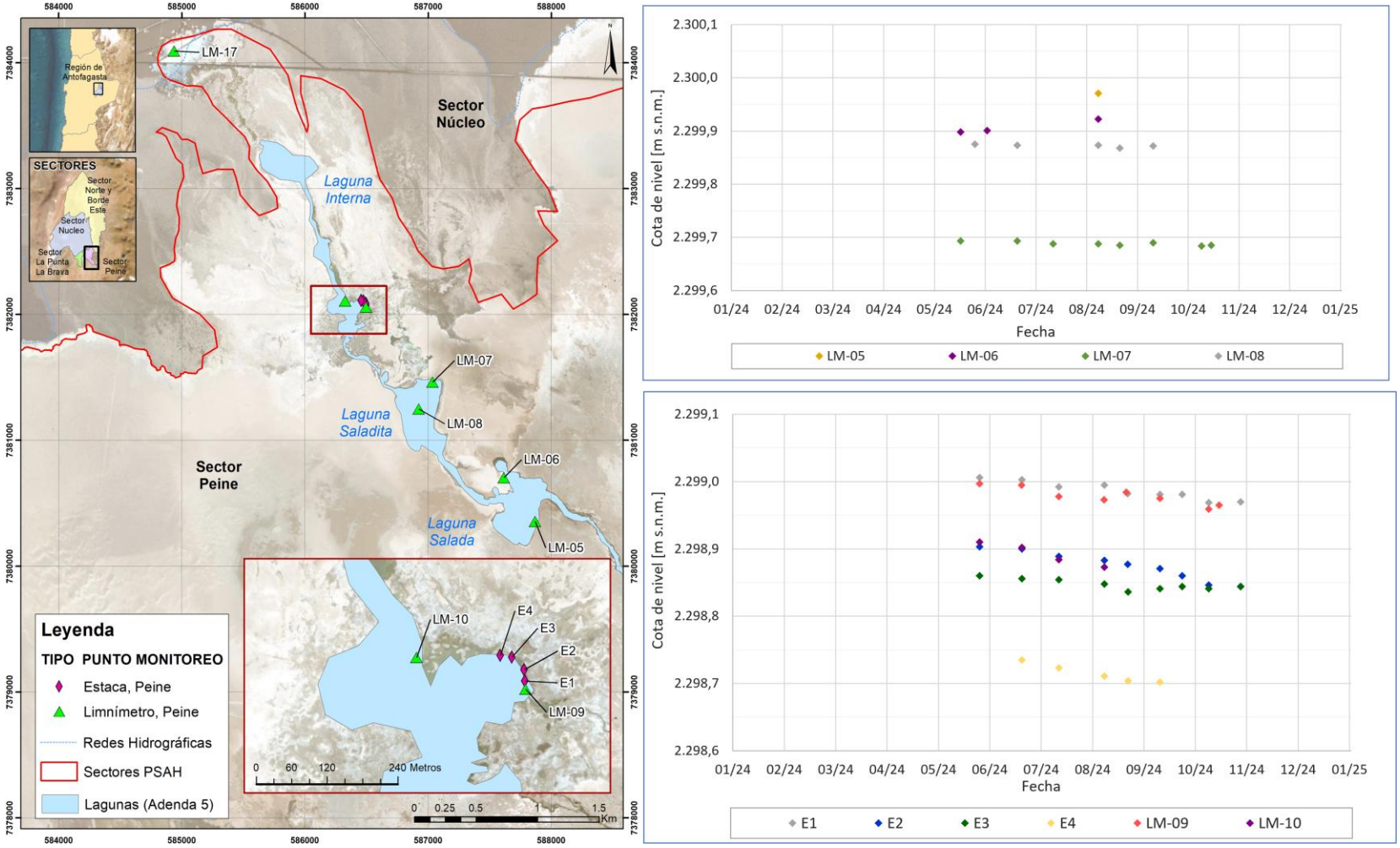
Tabla 5-14 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024

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.]
	26-01-2024	2299,369	(2)		23-08-2024	2299,369	0,533	2298,836
	11-02-2024	2299,369	(2)		11-09-2024	2299,369	0,528	2298,841
	24-02-2024	2299,369	(2)		24-09-2024	2299,369	0,525	2298,844
	22-03-2024	2299,369	(2)		10-10-2024	2299,369	0,528	2298,841
	12-04-2024	2299,369	(1)		29-10-2024	2299,369	0,525	2298,844
	27-05-2024	2299,369	0,509	2298,86	14-11-2024	2299,369	(2)	
	21-06-2024	2299,369	0,513	2298,86	14-12-2024	2299,369	(2)	
	13-07-2024	2299,369	0,515	2298,854	25-12-2024	2299,369	(2)	
	12-01-2024	2299,503	(2)		09-08-2024	2299,503	0,792	2298,711
	26-01-2024	2299,503	(2)		23-08-2024	2299,503	0,799	2298,704
	11-02-2024	2299,503	(2)		11-09-2024	2299,503	0,801	2298,702
	24-02-2024	2299,503	(2)		24-09-2024	2299,503	(3)	
E-4	22-03-2024	2299,503	(2)		10-10-2024	2299,503	(3)	
	12-04-2024	2299,503	(1)		29-10-2024	2299,503	(3)	
	27-05-2024	2299,503	(3)		14-11-2024	2299,503	(2)	
	21-06-2024	2299,503	0,768	2298,74	14-12-2024	2299,503	(2)	
	13-07-2024	2299,503	0,78	2298,723	25-12-2024	2299,503	(2)	

(1) Sin acceso, no se mide por presencia de flamencos en el punto.
(2) Restricción de acceso por cierre de lagunas, en época de reproducción de flamencos.
(3) Punto seco.
(4) Sin acceso, por comunidad de Peine.
(5) Dato original del punto E1.
(6) En el punto E1, se actualiza la cota nivel en -0,23 m (reportado a SMA ALB-GMA-2024-SMA-079).
(7) En el punto E1, se actualiza la cota nivel en +0,44 m (reportado a SMA ALB-GMA-2024-SMA-079).

.

Figura 5-17 Evolución anual (2024) de nivel limnimétrico en sector Peine



Nota: No se grafica LM-17, dado que no cuentas con datos en el periodo 2024, principalmente por encontrarse seco.
Los datos de E1 son datos actualizados, ver detalle en sección 4.4.2.
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, y en el caso de Soncor con la coadministración de la comunidad de Toconao. Su ubicación se presenta en el mapa de la Figura 5-18 y los resultados de las mediciones de nivel efectuadas durante 2024 se presentan en la Tabla 5-15.

Durante el año 2024, al igual que para los demás sectores, no se cuenta con todas las mediciones limnimétricas en los puntos del sistema Soncor y sistema Aguas de Quelana debido a restricciones de acceso. En particular, para el sistema Soncor (lagunas de Barros Negros y Chaxa) donde se ubican los puntos LM-11 y LM-12, no se cuenta con todas las medidas para dos periodos, de acuerdo a las restricciones instruidas por parte de CONAF. El primer periodo de restricción por época de reproducción de flamencos es entre el último trimestre de 2023 y primer trimestre de 2024 (20241006_Correo CONAF, Anexo M, y el segundo periodo por el mismo motivo entre el 16 de septiembre del 2024[14] y febrero 2025, (CARTA OFICIAL Nº 55/2024, Anexo M.

Por otra parte, en el sistema Aguas de Quelana (LM-13 y LM-14), la ausencia de datos es debido a puntos secos y a no tener acceso, por cierre de caminos debido por movilización de Comunidades (comprobante N°1040582, Anexo M).

[14] Se adelanta la época de reproducción 16 de septiembre del 2024.

Tabla 5-15 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Norte y Borde Este, año 2024

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.p.r.]	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	11-01-2024	2299,865	(1)		11-07-2024	2299,865	1,149	2298,716
	25-01-2024	2299,865	(1)		25-07-2024	2299,865	1,160	2298,705
	10-02-2024	2299,865	(1)		08-08-2024	2299,865	1,158	2298,707
	22-02-2024	2299,865	(1)		29-08-2024	2299,865	(3)	
	14-03-2024	2299,865	(1)		13-09-2024	2299,865	(2)	
	28-03-2024	2299,865	(1)		26-09-2024	2299,865	(2)	
	12-04-2024	2299,865	(3)		11-10-2024	2299,865	(2)	
	25-04-2024	2299,865	(3)		24-10-2024	2299,865	(2)	
	02-05-2024	2299,865	1,165	2298,700	14-11-2024	2299,865	(2)	
	16-05-2024	2299,865	1,157	2298,708	28-11-2024	2299,865	(2)	
	13-06-2024	2299,865	1,151	2298,714	12-12-2024	2299,865	(2)	
	27-06-2024	2299,865	1,147	2298,718	26-12-2024	2299,865	(2)	
LM-12	11-01-2024	2299,732	(1)		11-07-2024	2299,732	0,780	2298,952
	25-01-2024	2299,732	(1)		25-07-2024	2299,732	0,776	2298,956
	10-02-2024	2299,732	(1)		08-08-2024	2299,732	0,781	2298,951
	22-02-2024	2299,732	(1)		29-08-2024	2299,732	(1)	
	14-03-2024	2299,732	(1)		13-09-2024	2299,732	(2)	
	28-03-2024	2299,732	(1)		26-09-2024	2299,732	(2)	
	12-04-2024	2299,732	0,801		11-10-2024	2299,732	(2)	
	25-04-2024	2299,732	0,793		24-10-2024	2299,732	(2)	
	02-05-2024	2299,732	0,789		14-11-2024	2299,732	(2)	
	16-05-2024	2299,732	0,776		28-11-2024	2299,732	(2)	
	13-06-2024	2299,732	0,772		12-12-2024	2299,732	(2)	
	27-06-2024	2299,732	0,769		26-12-2024	2299,732	(2)	
LM-13	11-01-2024	2300,376	(4)		11-07-2024	2300,376	0,919	2299,457
	25-01-2024	2300,376	(3)		25-07-2024	2300,376	0,917	2299,459
	10-02-2024	2300,376	(3)		08-08-2024	2300,376	0,919	2299,457
	22-02-2024	2300,376	(3)		29-08-2024	2300,376	0,916	2299,460
	14-03-2024	2300,376	(3)		13-09-2024	2300,376	0,918	2299,458
	28-03-2024	2300,376	(3)		26-09-2024	2300,376	0,924	2299,452
	12-04-2024	2300,376	0,997	2299,379	11-10-2024	2300,376	0,924	2299,452
	25-04-2024	2300,376	0,955	2299,421	24-10-2024	2300,376	0,945	2299,431
	02-05-2024	2300,376	0,946	2299,430	14-11-2024	2300,376	0,978	2299,398
	16-05-2024	2300,376	0,925	2299,451	28-11-2024	2300,376	0,988	2299,388

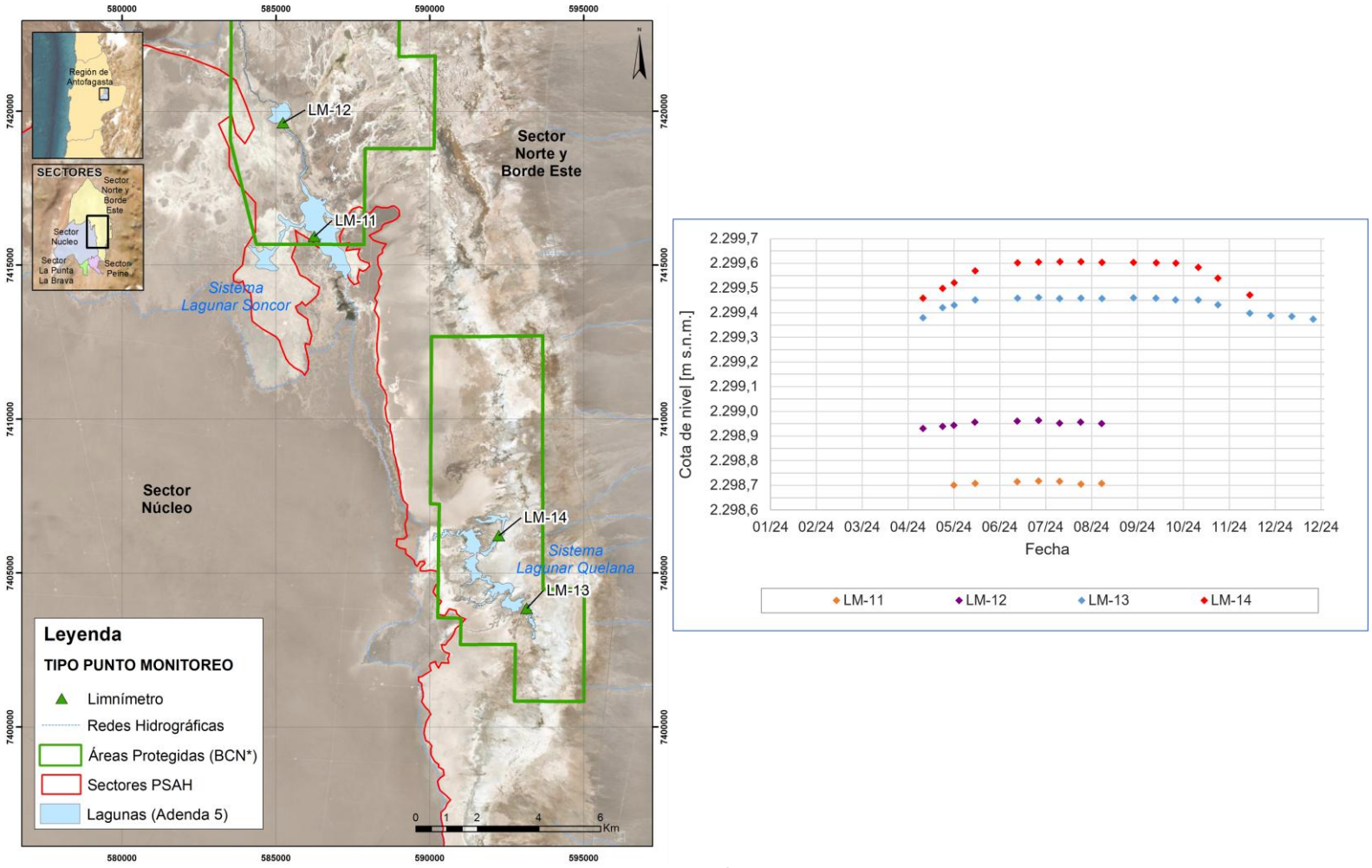
Tabla 5-15 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Norte y Borde Este, año 2024

Punto de monitoreo	Fecha de medición	Cota referencia [m s.n.m.]	Prof. Medida [m b.p.r.]	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.]
	13-06-2024	2300,376	0,918	2299,458	12-12-2024	2300,376	0,991	2299,385
	27-06-2024	2300,376	0,915	2299,461	26-12-2024	2300,376	1,003	2299,373
LM-14	11-01-2024	2300,496	(4)		11-07-2024	2300,496	0,890	2299,606
	25-01-2024	2300,496	(3)		25-07-2024	2300,496	0,890	2299,606
	10-02-2024	2300,496	(3)		08-08-2024	2300,496	0,893	2299,603
	22-02-2024	2300,496	(3)		29-08-2024	2300,496	0,893	2299,603
	14-03-2024	2300,496	(3)		13-09-2024	2300,496	0,894	2299,602
	28-03-2024	2300,496	(3)		26-09-2024	2300,496	0,896	2299,600
	12-04-2024	2300,496	1,037	2299,459	10-11-2024	2300,496	0,912	2299,584
	25-04-2024	2300,496	0,998	2299,498	10-24-2024	2300,496	0,957	2299,539
	02-05-2024	2300,496	0,975	2299,521	14-11-2024	2300,496	1,024	2299,472
	16-05-2024	2300,496	0,926	2299,570	11-28-2024	2300,496	(3)	
	13-06-2024	2300,496	0,894	2299,602	12-12-2024	2300,496	(3)	
	27-06-2024	2300,496	0,891	2299,605	12-26-2024	2300,496	(3)	

(1) Restricción de acceso por CONAF.
(2) Sin acceso, cierre temporal de laguna por CONAF, dada la época de reproducción de flamencos.
(3) Punto seco.
(4) Sin Acceso por cierre de caminos debido por movilización de Comunidades. Informado a la SMA, comprobante N°1040582.

Los niveles limnimétricos en los puntos LM-11 y LM-12 presentan datos de menos o igual a 5 meses, lo que no permite hacer análisis para el año 2024. Además, en la Figura 5-18, 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 mayo a agosto y un nivel en torno a los 2.298,70 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 5-18) ubicados en el sistema lagunar Aguas de Quelana, presentan un comportamiento sincrónico entre ellos (considerando que no cuentan con data completa para el año 2024).

Figura 5-18 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 2024, 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 5-19.

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, 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	Periodo de registro	
		Primer	Último
AFP-01	Sistema Lagunar Peine	Septiembre 2014	Septiembre2024 (1)
AFP-02	Sistema Lagunar Peine	Septiembre 2014	Septiembre 2024 (1)
AFP-03	Sistema Lagunar Peine	Septiembre 2014	Septiembre 2024 (1)
AFP-04	Sistema Lagunar Peine	Septiembre 2014	Septiembre 2024 (1)
Anterepresa Tilomonte	Quebrada Tilomonte	Septiembre 2014	Diciembre 2024
Vertiente Peine (AFP-00)	Vertiente	Septiembre 2014	Diciembre 2024

Nota: (1) Último dato medido en septiembre 2024. Comunidad Atacameña de Peine, declara cierre en las lagunas Salada, Saladita e Interna desde el mes de noviembre de 2024 hasta la segunda quincena de marzo 2025 (Carta Oficial N°94/2024, Anexo M).

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de los caudales aforados durante las campañas del año 2024 en los puntos comprometidos se presentan en la Tabla 5-17.

Durante el primer y cuarto trimestre del año 2024 no se realizó la medición de caudal en ninguno de los puntos AFP-XX, dado que se restringe el acceso, para dos períodos en el sector de Peine, para las lagunas Salada, Saladita e Interna, dada la época de reproducción de flamencos, por parte de la Comunidad Atacameña de Peine. El primer período de restricciones desde noviembre del año 2023 hasta la primera quincena abril de 2024 (Carta Oficial N°18/2023), y el segundo periodo, se extiende desde noviembre del año 2024, hasta la segunda quincena de marzo de 2025 (Carta Oficial N°94/2024). Cabe mencionar, que Albemarle acude acompañando a la ETFA a medir los caudales superficiales y en la mayoría de las ocasiones también ejecuta su medición; y se reportan ambas medidas a la autoridad.

Si bien el compromiso es trimestral, cuando existe la accesibilidad, Albemarle mide de manera mensual, dato que también es reportado.

Tabla 5-17 Resultados campañas de aforo año 2024

NOMBRE	Caudal (l/s)																	
	Trimestre 1		Trimestre 2				Trimestre 3						Trimestre 4					
	marzo		mayo		junio		julio		agosto		septiembre		octubre		noviembre		diciembre	
AFP-01	(3)		66,7 (1)	76 (2)	58,9 (1)	61,2 (2)	64,7 (1)	75,3 (2)	55,2 (1)	51,4 (2)	58,4 (1)	59,1 (2)	(7)		(7)		(7)	
AFP-02	(3)		49,1 (1)	57,7 (2)	(5)		56,4 (1)	69,7 (2)	44 (1)	45,9 (2)	42,4 (1)	46,2 (2)	(7)		(7)		(7)	
AFP-03	(3)		21,2 (1)	24 (2)	26,1 (1)	27,5 (2)	25,5 (1)	20,7 (2)	24,6 (1)	22,3 (2)	25,7 (1)	25,6 (2)	(7)		(7)		(7)	
AFP-04	(3)		22,1 (1)	19 (2)	28,7 (1)	37,3 (2)	34,9 (1)	24 (2)	27,3 (1)	32,1 (2)	20,9 (1)	16,8 (2)	(7)		(7)		(7)	
Anterepresa Tilomonte	39,1 (1)	34,7 (2)	(4)	36 (2)	36,8 (1)	38,2 (2)	(6)		41,2 (1)	41,4 (2)	39,7 (1)	39 (2)	38 (1)	41,4 (2)	(4)	36,4 (2)	35,1 (1)	34,8 (2)
Vertiente Peine	5,1 (1)	6,4 (2)	(4)	5,1 (2)	4,2 (1)	5,6 (2)	(6)		7,5 (1)	7,9 (2)	9,6 (1)	10,1 (2)	6,1 (1)	7 (2)	(4)	5,7 (2)	7,1 (1)	9,1 (2)

(1) Dato medido por Albemarle.
(2) Dato medido por ANAM.
(3) No realizado por restricción de acceso establecido por La Comunidad de Peine. Carta Oficial N°18/2023.
(4) Albemarle no mide.
(5) No realizado por restricción de acceso establecido por La Comunidad de Peine por presencia de flamencos. Actas terreno "20240603_PEINE_INTERIOR_SSI" y "20240603_SSI_CAUDAL CON ETFA".
(6) No realizado en julio.
(7) Acceso restringido por La Comunidad de Peine. Carta Oficial N°94/2024

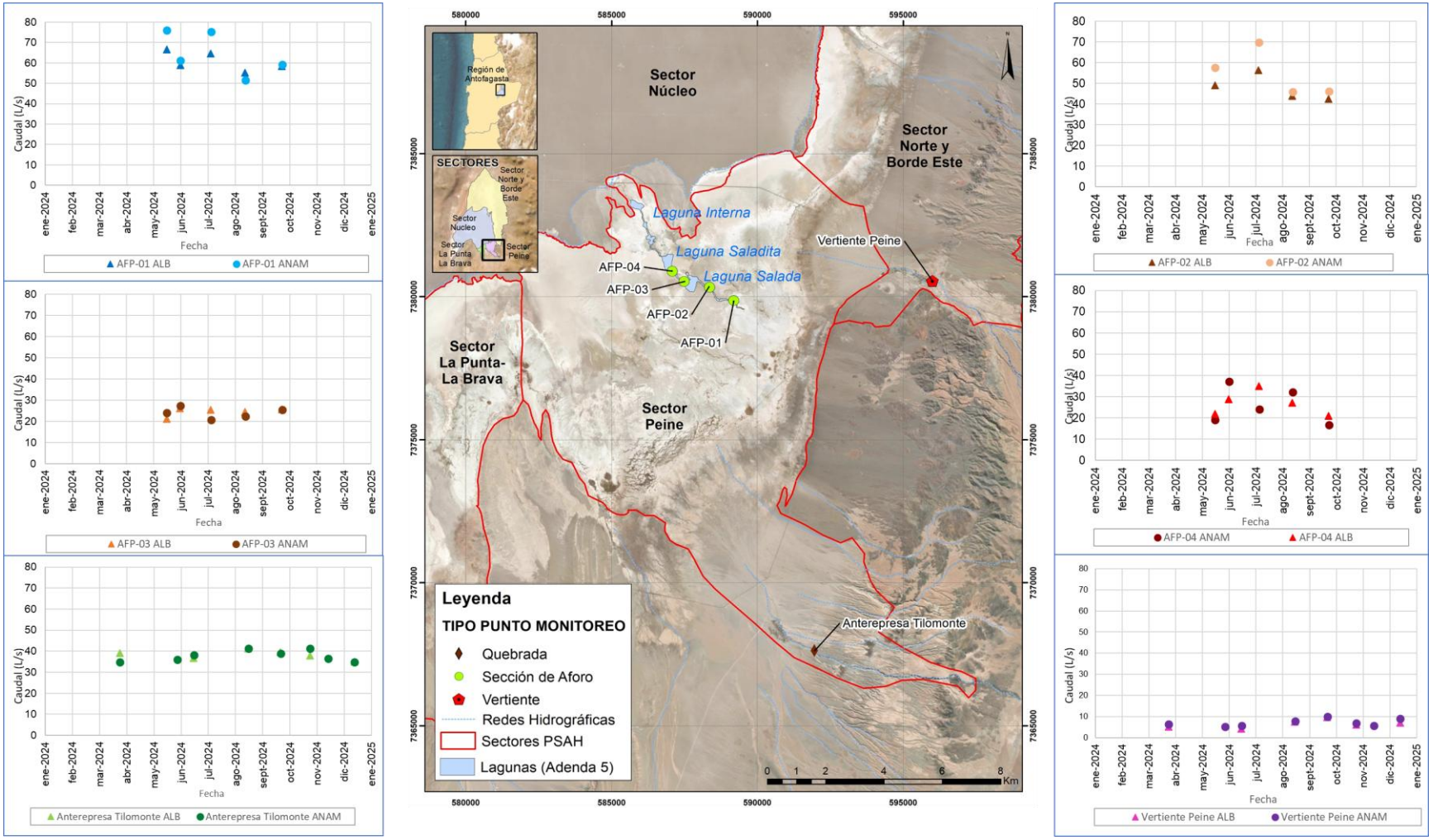
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-19 se muestra el registro del año 2024 de los caudales aforados en cada punto de monitoreo y la ubicación de estos.

Durante el año 2024 el caudal máximo fue registrado en el punto AFP-01 con un valor de 76 l/s en mayo (medido por ANAM), y el menor caudal se registró en Vertiente Peine, con un valor de 4,2 l/s en junio (medido por ALB) (Tabla 5-17).

En los puntos Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine, se observa una oscilación en el periodo 2024, para el resto de los puntos es imposible determinar una tendencia debido a la escasa cantidad de datos medidos en el año.

Figura 5-19 Variación temporal de caudales superficiales Aforados



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 2024, 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). Como ya ha sido mencionado para las otras variables, y en particular para niveles, durante el año 2024 la frecuencia de monitoreo del nivel freático en salmuera y agua dulce/salobre, también se vio aumentada a quincenal.

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 2024 se encuentran en el Anexo F-1.

Para la descripción y análisis de resultados, es importante tener a la vista que durante el año 2024 no se registraron precipitaciones relevantes (mayores a 10 mm). A continuación, se detalla:

- En marzo 2024, la estación meteorológica EM – Chaxa[15] registró una precipitación máxima del año de 3,0 mm.
- En octubre 2024, la estación meteorológica EM – Rockwood[6] registró una precipitación de 4,0 mm.

[15] Esta estación pertenece a las estaciones relevantes en coherencia con lo presentado en el Tercera Actualización (ALBEMARLE-VAI 2023). Las 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. También se consideran los datos de los pluviómetros instalados en el entorno de los sistemas lagunares Peine y La Punta La Brava.

- En la estación meteorológica EM – KLC[6], no se registraron precipitaciones relevantes con un registro de 0,1 mm en febrero, marzo, abril, mayo y agosto 2024.
- En el pluviómetro PLLS-10, ubicado en La Punta La Brava se registraron precipitaciones en los meses de febrero (6,4 mm) y octubre (2 mm).
- En el pluviómetro PLLS-08, no hubo registros de precipitación durante 2024.

Dado que no hubo precipitaciones mayores no se observan aumentos relacionados a estas.

En las secciones a continuación se analizan máximos y mínimos de la cota de nivel del agua/salmuera para el año 2024 por sector.

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. Su ubicación se muestra en la Figura 5-20, y 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 2024.

Los puntos de monitoreo y los resultados de las mediciones del año se presentan en 6 subsectores asociando en que zona (descripción de las zonas en sección 4.1) se ubican:

1) Norte de las lagunas: Zona Intermedia
2) Centro de las lagunas: entre Zona Intermedia y Zona Salobre
3) Este de las lagunas: Zona Intermedia
4) Sur de las lagunas: Zona Salobre
5) Tucúcaro: Zona Salobre
6) Vegas de Tilopozo: Zona Dulce

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

Subsector	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales **
Norte de las lagunas	BA-01	07-09-2013	16-12-2024	18	18
	BA-09	20-10-2013	16-12-2024	18	18
	BA-11	19-08-2013	16-12-2024	18	18
Centro de las lagunas	BA-02	19-08-2013	16-12-2024	18	18
	BA-03	18-08-2013	16-12-2024	18	18
	BA-06	17-05-2013	23-12-2024	18	18

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

Subsector	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales **
	BA-10	07-09-2013	16-12-2024	18	18
	BA-12	19-08-2013	16-12-2024	18	18
	BA-13	19-08-2013	16-12-2024	18	18
	BA-14	21-06-2013	20-12-2024	18	18
Este de las lagunas	BA-27	07-06-2015	27-12-2024	18	18
Sur de las lagunas	BA-04	22-06-2013	23-12-2024	18	18
	BA-05	17-05-2013	30-12-2024	18	18
	BA-07	17-05-2013	30-12-2024	18	18
	BA-08	17-05-2013	20-12-2024	18	18
	BA-15	21-06-2013	20-12-2024	18	18
	BA-16	17-05-2013	30-12-2024	18	18
	BA-25	18-08-2013	23-12-2024	18	18
	MP-01A	22-10-2013	20-12-2024	18	18
	MP-01B	25-10-2013	20-12-2024	18	18
	MP-01C	22-10-2013	20-12-2024	18	18
	MP-03A	22-10-2013	23-12-2024	17(1)	18
	MP-03B	25-10-2013	23-12-2024	17(1)	18
	MP-03C	22-10-2013	23-12-2024	17(1)	18
Tucúcaro	MP-05A	22-10-2013	24-12-2024	17(1)	18
	MP-05B	25-10-2013	24-12-2024	17(1)	18
	MP-05C	22-10-2013	24-12-2024	17(1)	18
	MP-06A	22-10-2013	24-12-2024	17(1)	18
	MP-06B	25-10-2013	24-12-2024	17(1)	18
	MP-06C	22-10-2013	24-12-2024	17(1)	18
	TUC-P06	10-06-2015	31-12-2024	18	18
	Tucúcaro	28-01-2001	31-12-2024	18	18
Vegas de Tilopozo	MP-04A	22-10-2013	18-12-2024	18	18
	MP-04B(2)	14-01-2014	18-12-2024	18	18
	MP-04C(2)	22-10-2013	18-12-2024	18	18
	MP-09A	12-07-2016	18-12-2024	18	18
	MP-09C	12-07-2016	18-12-2024	18	18
	Tilopozo	28-01-2001	31-12-2024	18	18
	TIL-P03	14-07-2015	31-12-2024	18	18

(1) Sin autorizacion de Comunidad de Peine.
(2) Punto presenta un incidente que se detalla en la sección 4.4.2.
*Realizadas: Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezometrico.
**Totales: Total de mediciones, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no pudo registrarse el nivel piezometrico.

Fuente: Elaboración propia

5.6.1.1 Norte de las lagunas (Zona Intermedia)

Al 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 5-20 se muestra el gráfico de los niveles freáticos monitoreados en el 2024, en relación con las oscilaciones estacionales se aprecia que el punto BA-11 presenta el máximo nivel en invierno (agosto) 2024, y los puntos BA-01 y BA-09 presentan valores máximos tardíos en el mes de septiembre 2024.

Durante el año 2024, las cotas del nivel freático variaron entre los 2.298,883 (BA-11 en diciembre) y los 2.299,142 m s.n.m. (BA-01 en agosto), mostrando amplitudes estacionales de entre 8 cm (BA-01 y BA-11) y 10 cm (BA-09).

5.6.1.2 Centro de las lagunas (entre Zona Intermedia y Zona Salobre)

En el centro de las lagunas es monitoreada por 7 piezómetros someros (BA-02, BA-03, BA-06, BA-10, BA-12, BA-13 y BA-14). Estos puntos cuentan con datos desde el año 2013 a 2024. Estos piezómetros son someros y muestran profundidades de perforación máximas de 2 m.

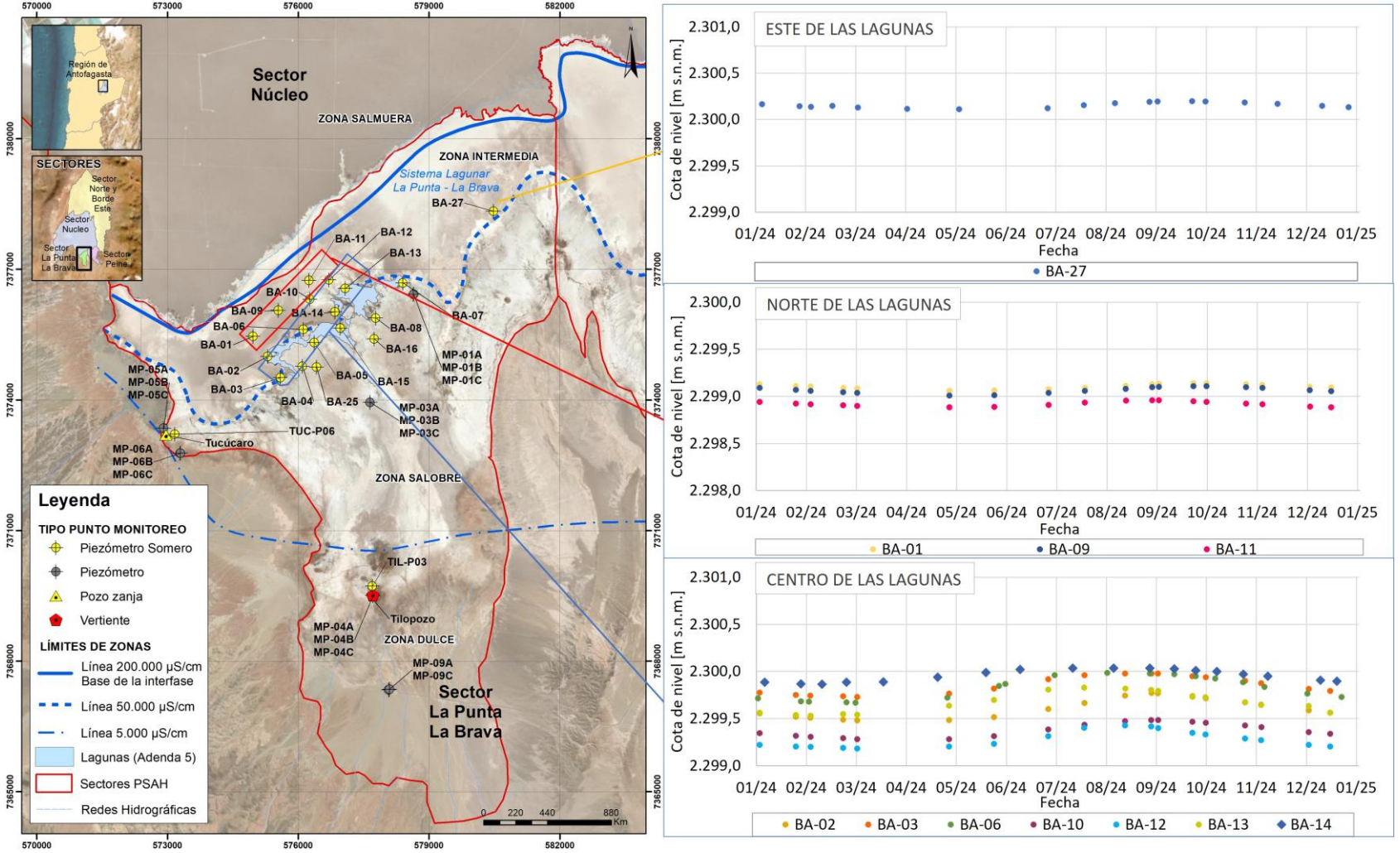
Durante el año 2024, la cota del nivel freático en esta zona varió entre 2.299,185 y 2.300,037 m s.n.m. medidos en BA-12 (marzo) y en BA-14 (agosto), respectivamente. Con una amplitud estacional de entre 17 cm (BA-14) a 32 cm (BA-06).

5.6.1.3 Este de las lagunas (Zona Intermedia)

Al 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 2024, la cota del nivel freático varió entre 2.300,120 (mayo) y 2.300,197 (septiembre) m s.n.m., lo que equivale a una amplitud estacional, de 9 cm. Similar a lo que ocurre en el sector norte este punto alcanza el máximo tardío en septiembre.

Figura 5-20 Hidrogramas de los puntos de observación del Norte, Centro y Este de las lagunas del sector La Punta-La Brava, para el año 2024



Fuente: Elaboración propia

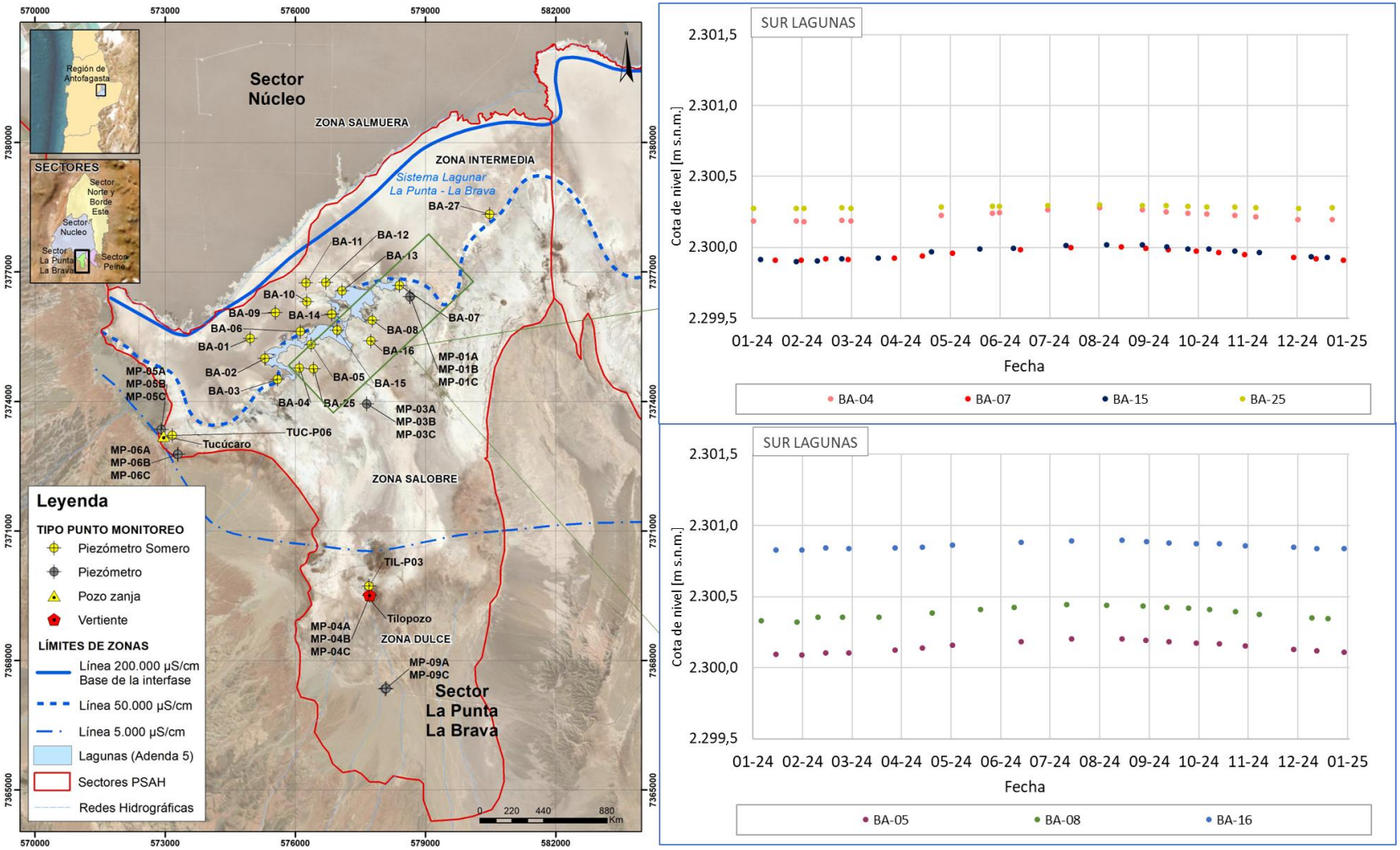
5.6.1.4 Sur de las lagunas (Zona Salobre)

Al Sur de las lagunas, se monitorean 13 puntos, de los cuales 7 son piezómetros someros (BA-04, BA-05, BA-07, BA-08, 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.

Se cuenta con MP-01B y MP-03B (ver Figura 5-22) a diferencia de los puntos habilitados en agua salobre, estos están habilitados en salmuera. El punto MP-01B varía en el periodo (2024) midiéndose sobre y bajo los puntos MP-01A y MP-01C (ver Figura 5-21), los que se mantiene en un comportamiento sincrónico entre ellos. El punto MP-03B muestra un comportamiento similar a MP-03A y MP-03C, pero con cotas de nivel inferiores.

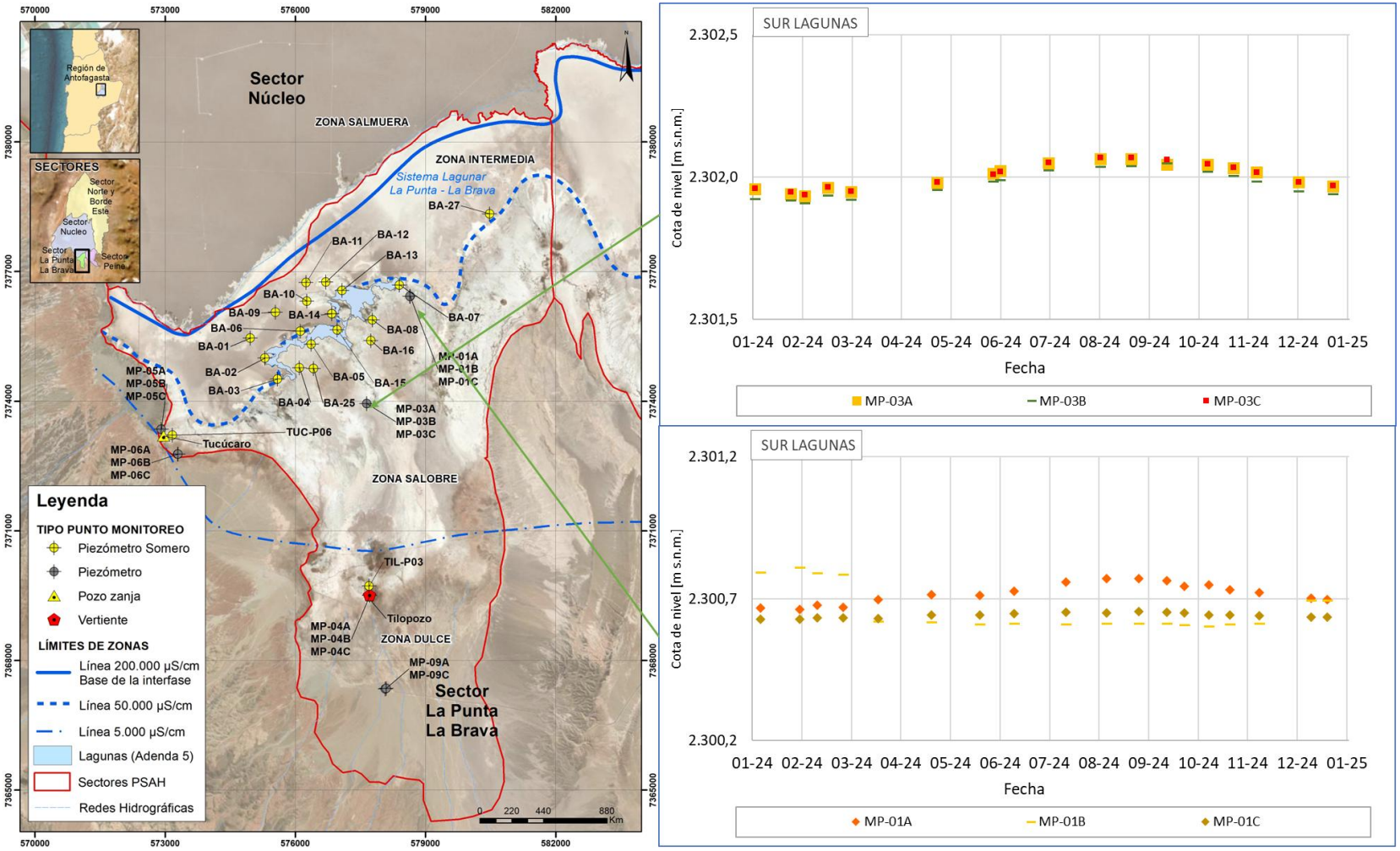
Durante el 2024 el nivel freático del Sector Sur de las lagunas presentó valores entre 2.299,901 m s.n.m. y 2.302,071 m s.n.m., medidos en BA-15 en enero y MP-03C en agosto, respectivamente, con amplitudes estacionales de entre 3 (BA-25 y MP-01C) a 21 cm (MP-01B).

Figura 5-21 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava, puntos serie BA



Fuente: Elaboración propia

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



Nota: Presenta rango de escala vertical diferente en relación a los otros gráficos de la sección
Fuente: Elaboración propia

5.6.1.5 Tucúcaro (Zona Salobre)

En el sector de Tucúcaro, se monitorean los niveles freáticos de 8 puntos (6 son multipiezómetros, 1 piezómetro somero y 1 pozo zanja).

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. En esta zona se cuenta con 2 puntos habilitados en salmuera, MP-5B y MP-06B. El piezómetro somero es TUC-P06 con profundidades entorno a los 2 m. Por último, el pozo zanja Tucúcaro corresponde a un punto de extracción de agua industrial.

En la Figura 5-23 y Figura 5-24, se muestra el gráfico de los datos anuales del nivel freático, de los puntos monitoreados MP-05A, MP-05C, MP-06A, MP-06C, TUC-P06 y pozo Tucúcaro, durante el año 2024 la cota del nivel freático se registró entre los 2.301,270 (TUC-P06 medido en marzo) y 2.303,767 m s.n.m, (MP-06C medido en febrero), en dichos puntos.

Los puntos MP-05B y MP-06B (Figura 5-23), se encuentran habilitados en salmuera, según lo que se puede esperar se comporta distinto a los puntos de su serie. El punto MP-05B (ver Figura 5-23), muestra un registro cota de nivel piezométrico entre los 2.299,153 (diciembre) y los 2.299,272 m s.n.m. (enero), cota de nivel inferior a los puntos MP-05A y MP-05C. Por otra parte, el punto MP-06B (ver Figura 5-23), muestra que la cota del nivel piezométrico se registró entre los 2.303,916 (enero) y los 2.303,996 m s.n.m. (octubre), con cotas superiores a los puntos MP-06A y MP-06C.

5.6.1.6 Vegas de Tilopozo (Zona Dulce)

En las Vegas de Tilopozo, más al Sur de las lagunas, se monitorean los niveles freáticos de 7 puntos (5 son multipiezómetros y 2 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). EL piezómetro somero TIL-P03 tiene profundidad entorno a los 2 m, y se hace importante mencionar que la vertiente Tilopozo, corresponde a un punto de extracción de agua industrial.

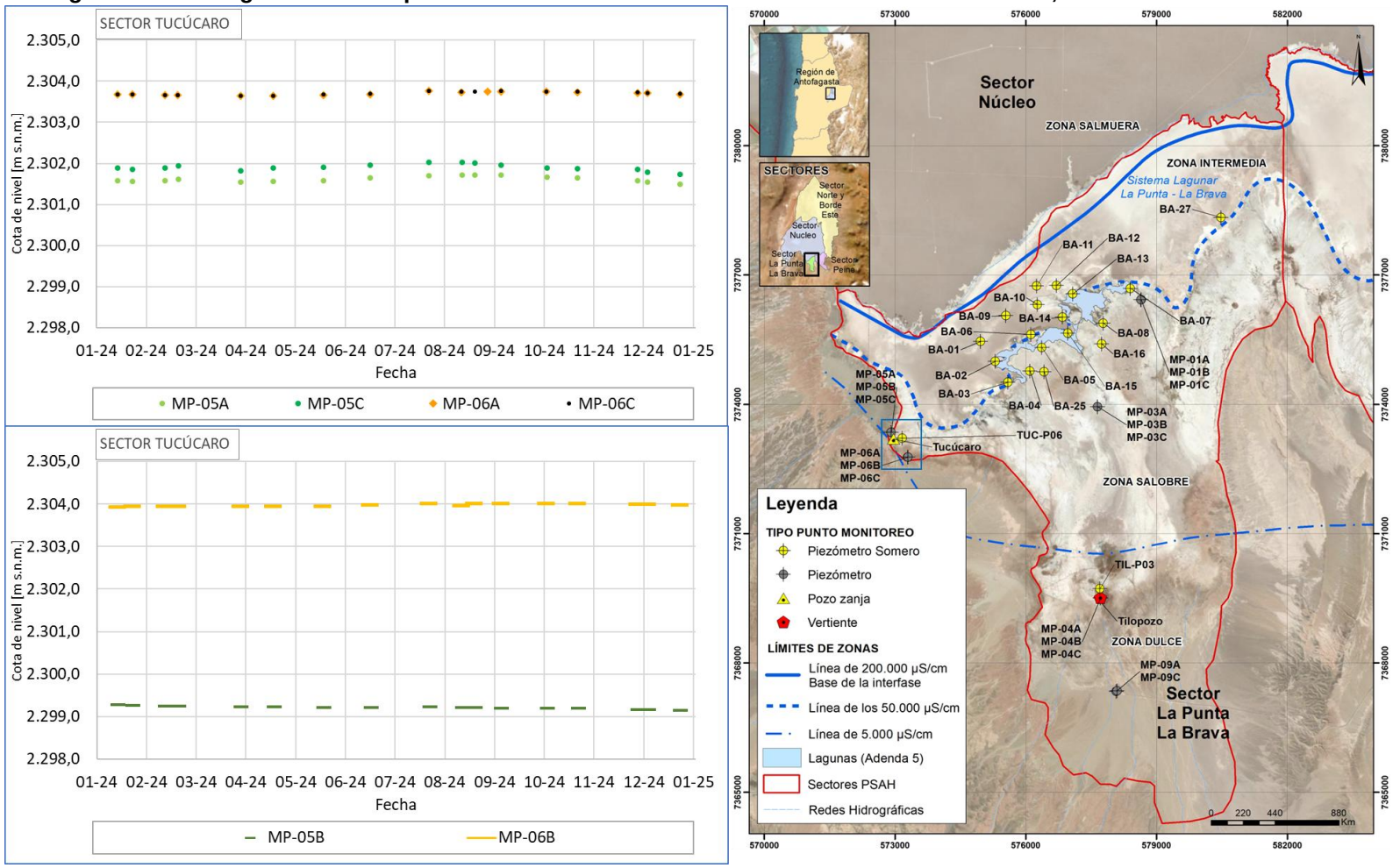
En el hidrograma de la Figura 5-25, se grafica el piezómetro MP-04B, este punto se encuentra habilitado en la salmuera, al contrario que el resto de los puntos habilitados en agua dulce-salobre y según lo esperado muestran un comportamiento distinto, asociado a que están

captando la salmuera que está en profundidad, esta diferencia dificulta analizar estos puntos juntos.

Durante el año 2024 para los puntos: MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C, TIL-P03 y Tilopozo, la cota del nivel freático se registró entre los 2.305,316 (TIL-P03 en febrero) y 2.309,100 m s.n.m. (MP-09C en enero). Los niveles en el punto Tilopozo son niveles dinámicos, dado que es un punto de extracción.

Por otra parte, en la salmuera, el punto MP-04B, presenta un incidente que se detalla en la sección 4.4.2 (al igual que el punto MP-04C), registró la cota del nivel piezométrico entre los 2.305,739 m s.n.m (enero) y 2.306,454 m s.n.m. (agosto).

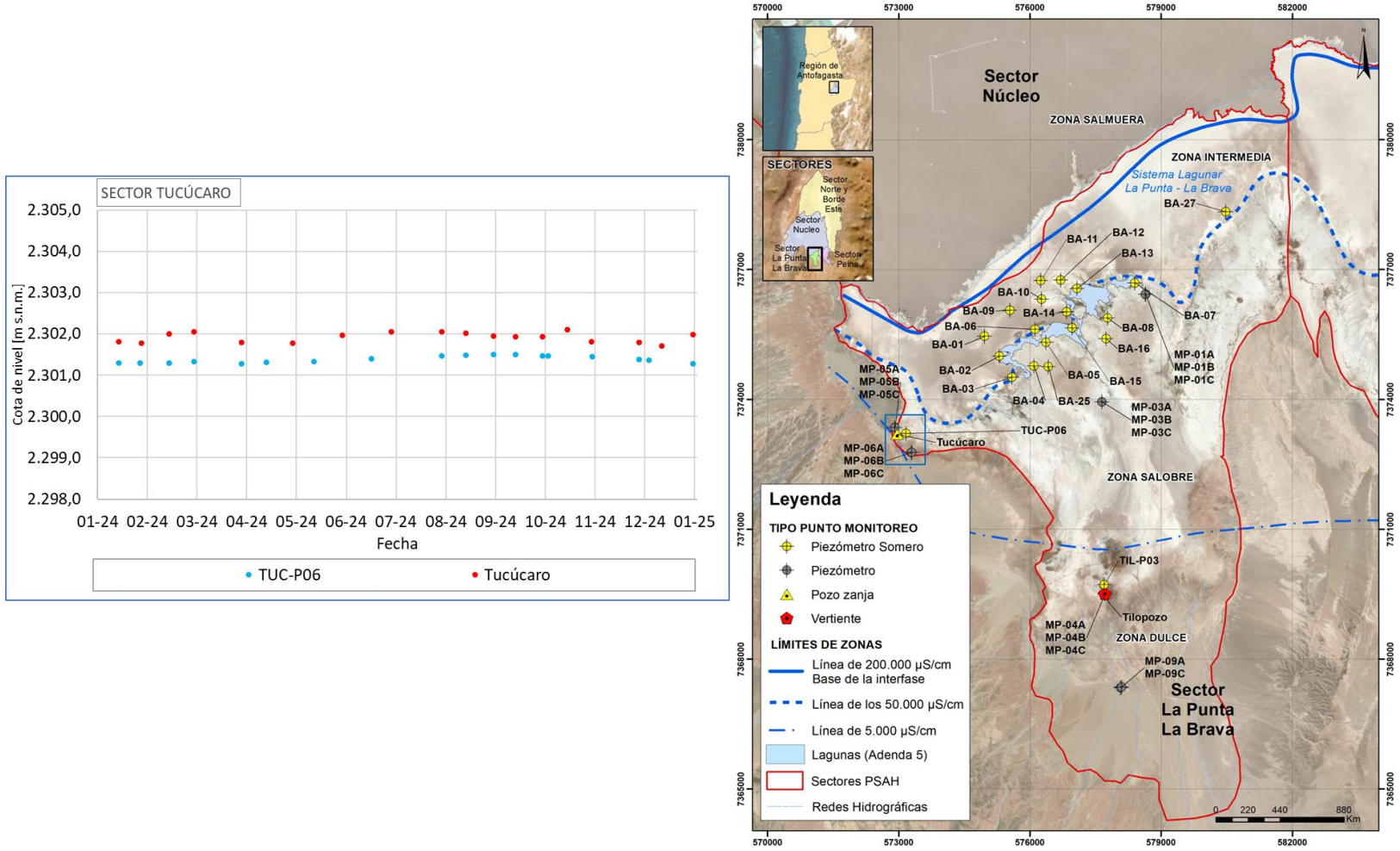
Figura 5-23 Hidrogramas de los puntos de observación de la serie MP del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava



Nota: el punto MP-05B y MP-06B están habilitados en salmuera

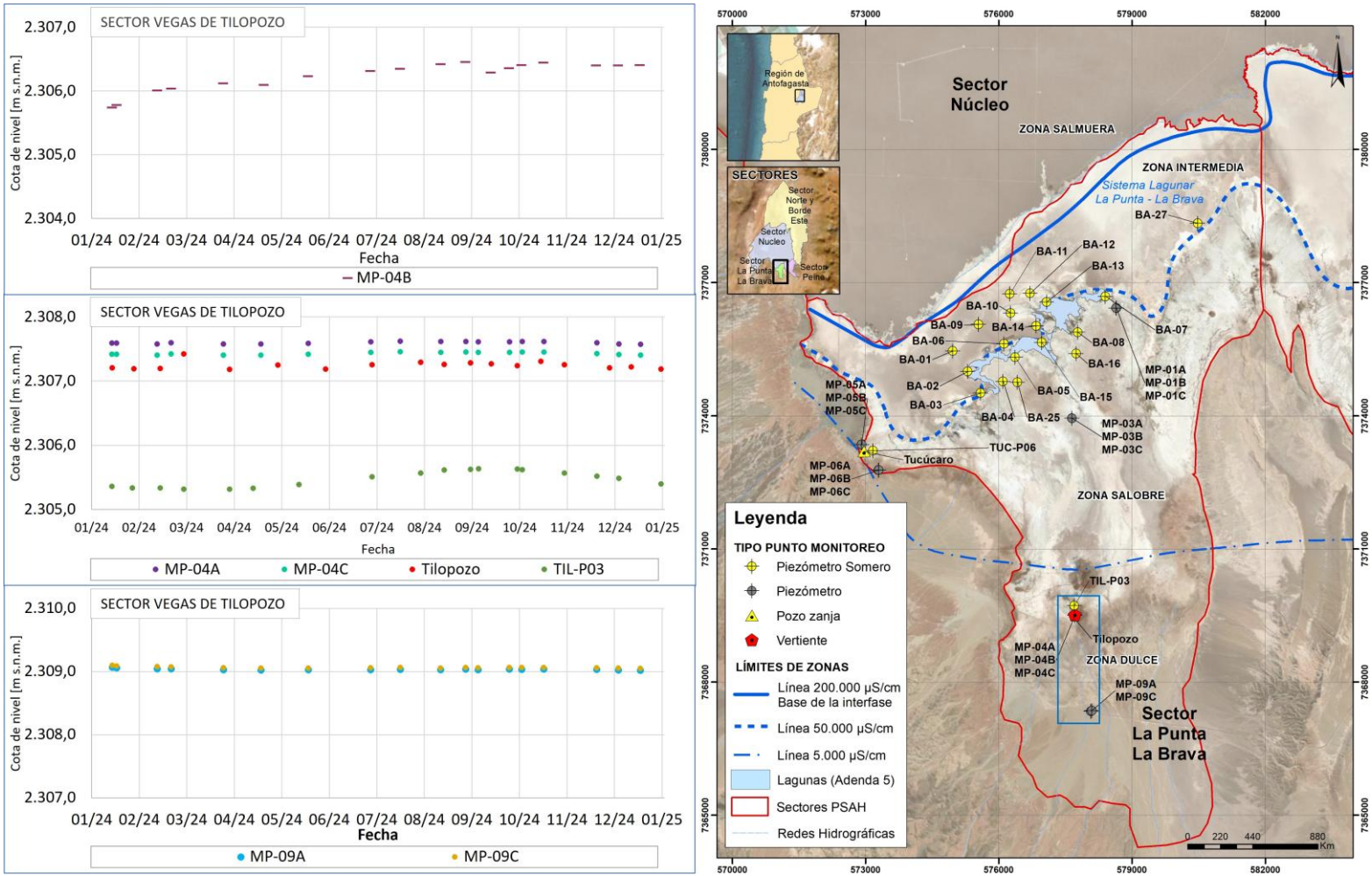
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-24 Hidrogramas de los puntos de observación Tilopozo y TUC-06 del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-25 Hidrogramas de los puntos de observación del Subzona Vegas de Tilopozo, sector La Punta-La Brava



Nota: Los puntos MP-04B y MP-04C, presentan incidentes.

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 5-27. En 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 2024.

Los puntos de monitoreo y los resultados de las mediciones del año se presentan en 4 subsectores, a continuación, asociando en que zona (descripción de las zonas en sección 4.1) se ubican:

1) Laguna Interna y su desborde: Zona Salmuera e Intermedia
2) Lagunas Salada y Saladita: Zona Intermedia
3) Inicio Laguna Salada: Zona Intermedia
4) Borde Este y Sur: Zona Salobre

El análisis en el Sector de Peine, tal como ha sido mencionado previamente, se encuentra una brecha de información por la falta de datos de niveles en el año 2024, debido principalmente a las restricciones de acceso al área por la Comunidad de Peine, dada la presencia de flamencos o encontrarse en etapa de reproducción.

Tabla 5-19 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024

Subsectores	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales**
Laguna Interna y su desborde	BA-17	17-06-2013	27-12-2024	0(1)	18
	BA-18	17-06-2013	22-12-2024	9(2 y 3)	18
	BA-19	17-06-2013	22-12-2024	9(2 y 3)	18
	BA-20	17-06-2013	22-12-2024	9(2 y 3)	18
	BA-23	21-05-2013	25-12-2024	9(2 y 3)	18
	MPS-CA	24-10-2013	25-12-2024	9(2 y 3)	18
	MPS-CB	24-10-2013	25-12-2024	9(2 y 3)	18
	MPS-CC	24-10-2013	25-12-2024	9(2 y 3)	18
Lagunas Salada y Saladita	BA-21	21-05-2013	30-12-2024	7(2 y 3)	18
	BA-22	10-09-2013	30-12-2024	6(2 y 3)	18
	MPS-AA	24-10-2013	22-12-2024	8(2, 3 y 4)	18
	MPS-AB	24-10-2013	22-12-2024	8(2, 3 y 4)	18
	MPS-AC	24-10-2013	22-12-2024	8(2, 3 y 4)	18

Tabla 5-19 Mediciones de nivel limnimétrico, en sector Peine, año 2024

Subsectores	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
		Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales**
Inicio laguna Salada	BA-28	09-07-2015	30-12-2024	6(2 y 3)	18
	BA-30	09-07-2015	30-12-2024	6(2 y 3)	18
Borde este y sur de Peine	MP-07A(5)	25-09-2016	19-12-2024	17(2)	18
	MP-07C-1	01-09-2016	19-12-2024	17(2)	18
	MP-08A(5)	01-08-2016	19-12-2024	17(2)	18
	PP-01	11-07-2016	19-12-2024	17(2)	18
	PP-02	25-09-2016	19-12-2024	17(2)	18
	PP-03	01-08-2016	19-12-2024	17(2)	18

1) Punto Seco
2) Sin acceso por Comunidad de Peine
3) No se mide por cierre de lagunas, época de reproducción de flamencos.
4) Sin acceso, por presencia de flamencos.
5) Se informa que debido a la acción de agentes naturales estos puntos sufrieron daños estructurales, por lo que se realiza reparación de la infrestructura externa del pozo, se detalla en la sección 4.4.2.

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

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

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 5-26 y Figura 5-27.

5.6.2.1 Laguna Interna y su desborde (Zona Salmuera e Intermedia)

En Laguna Interna y su desborde 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 MPS-CC. El punto MPS-CB se comporta similar a MPS-CA y MPS-CC, los 3 puntos se grafican en la Figura 5-26. Todos los puntos se encuentran en zona salmuera, excepto el punto BA-23 el cual se ubica en la zona de intermedia.

En esta subzona se registró durante el año 2024, la cota del nivel freático entre los 2.298,003 y 2.299,343 m s.n.m. medidos en MPS-CC (octubre) y en BA-23 (mayo), respectivamente.

5.6.2.2 Lagunas Salada y Saladita (Zona Intermedia)

Este subsector es monitoreado en 5 puntos (BA-21 y BA-22, y MPS-AA a MPS-AC). Los puntos MPS-AA, MPS-AB y MPS-AC se comportan similares, por lo que se analizan juntos.

Durante el año 2024 para todos los puntos, la cota del nivel freático se registró entre los 2.299,430 (MPS-AB en septiembre) y 2.300,298 m s.n.m. (BA-22 en agosto).

5.6.2.3 Inicio Laguna Salada (Zona Salobre)

Este subsector 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 5-26 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

Durante el año 2024, la cota del nivel freático se registró entre los 2.300,703 y 2.301,603 m s.n.m. medidos en BA-28 (junio) y en BA-30 (julio), respectivamente.

5.6.2.4 Borde Este y Sur de Peine (Zona Salobre)

La red de monitoreo del sector corresponde a piezómetros alejados 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[16], MP-07C-1, MP-08A[8]) y 3 a la serie PP-XX (PP-01 a PP-03). La representación gráfica del registro anual de niveles se presenta en Figura 5-27 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

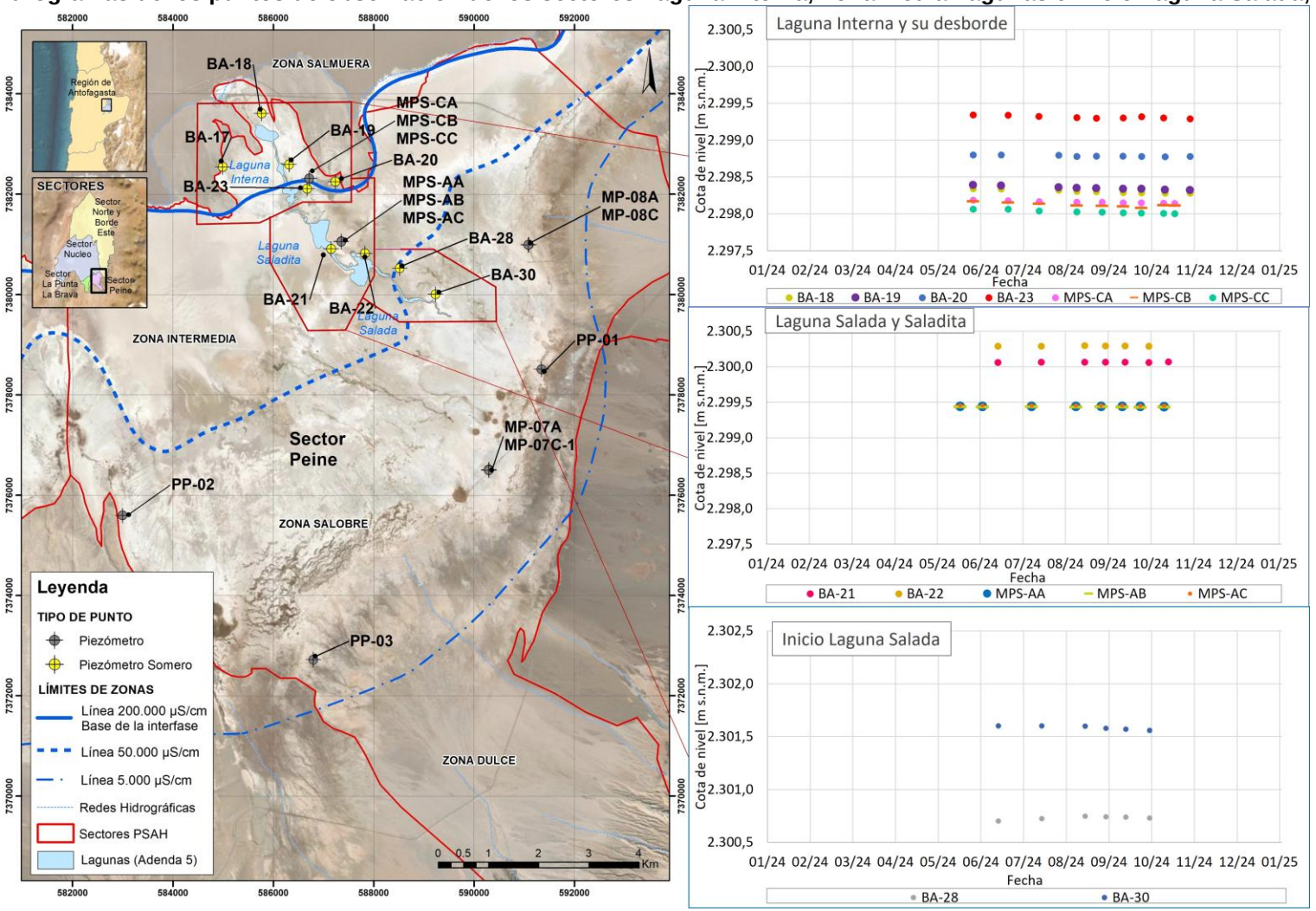
Durante el año 2024, la cota del nivel freático se registró entre los 2.302,541 y 2.308,613 m s.n.m. medidos en MP-08A (febrero) y en PP-03 (agosto), respectivamente.

Los puntos PP-02 y PP-03, ubicados en borde aluvial al sur-oeste del sector, se presentan estables en sus niveles durante todo el año.

Este sector presenta amplitud estacional, la que se calcula para el año 2024, es entre 7 y 21 cm en los puntos PP-03 y MP-07A, respectivamente.

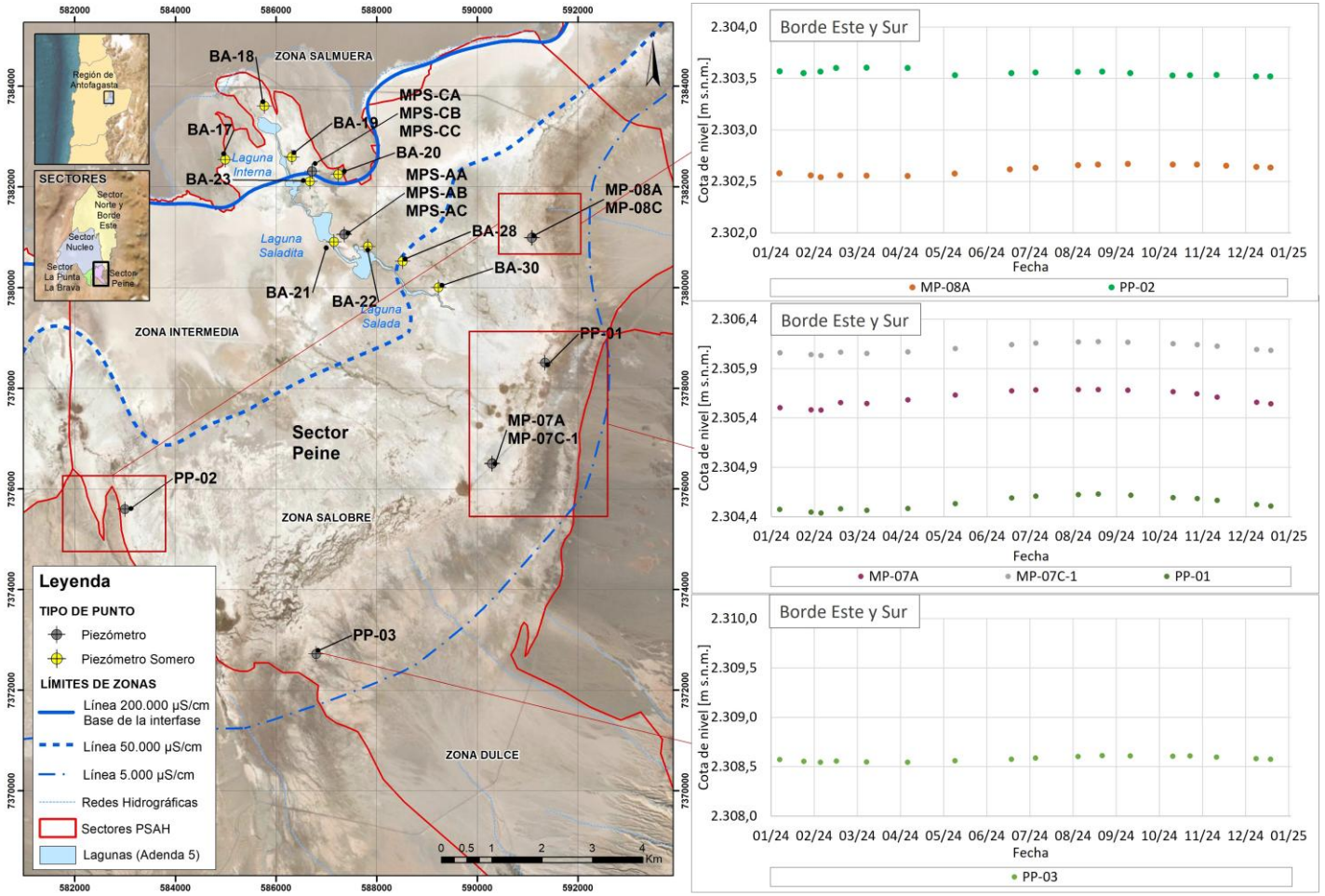
[16] Se informa que debido a la acción de agentes naturales estos puntos sufrieron daños estructurales, por lo que se realiza reparación de la infraestructura externa del pozo, no aplica corrección de cota de nivel de agua se detalla en la sección 4.4.2

Figura 5-26 Hidrogramas de los puntos de observación de los sectores Laguna Interna, Zona Media Lagunas e Inicio Laguna Salada, sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-27 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde Este y sur de Peine



Nota: 1) El punto MP-08C no tiene datos, dado que MP-08C se encuentra sellado desde el año 2016, .2) En los puntos MP-07A y MP-08A, presentan un incidente se detalla en la sección 4.4.2
Fuente: Elaboración propia

5.6.3 Sector Norte (Zona Salmuera) y Borde Este (Zona Dulce)

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 2024.

Estos puntos corresponden a 2 multipiezómetros: MP-12A y MP-12C ubicados en el sur de dicho sector en la Zona Dulce, y 1 un piezómetro somero (BA-31), ubicado en el sistema lagunar Soncor, en la Zona Salmuera, según muestra la Figura 5-28.

El punto MP-12A cuenta con un incidente (choque con fecha 23 de noviembre año 2023), para lo cual Albemarle solicitó un análisis estadístico, que concluyó en corregir la cota nivel para ajustarse al comportamiento histórico, dado esto, se reportan valores de cota nivel original y cota nivel actualizada. Lo anterior, tiene como implicancia tener doble registro de los niveles, para el año 2024 en los meses enero y febrero[17], esto se detalla en sección 4.4.2 de incidentes; el original y el actualizado. En la presente sección se usa el dato actualizado para efectos de concordancia del gráfico.

Durante el año 2024, la cota del nivel freático se registró entre los 2.297,450 y 2.307,054 m s.n.m., medidos en BA-31 (marzo) y en MP-12C (enero) respectivamente.

Cuentan con datos solo en 3 meses para el 2024, razón por la cual no se hace análisis de resultados para este período.

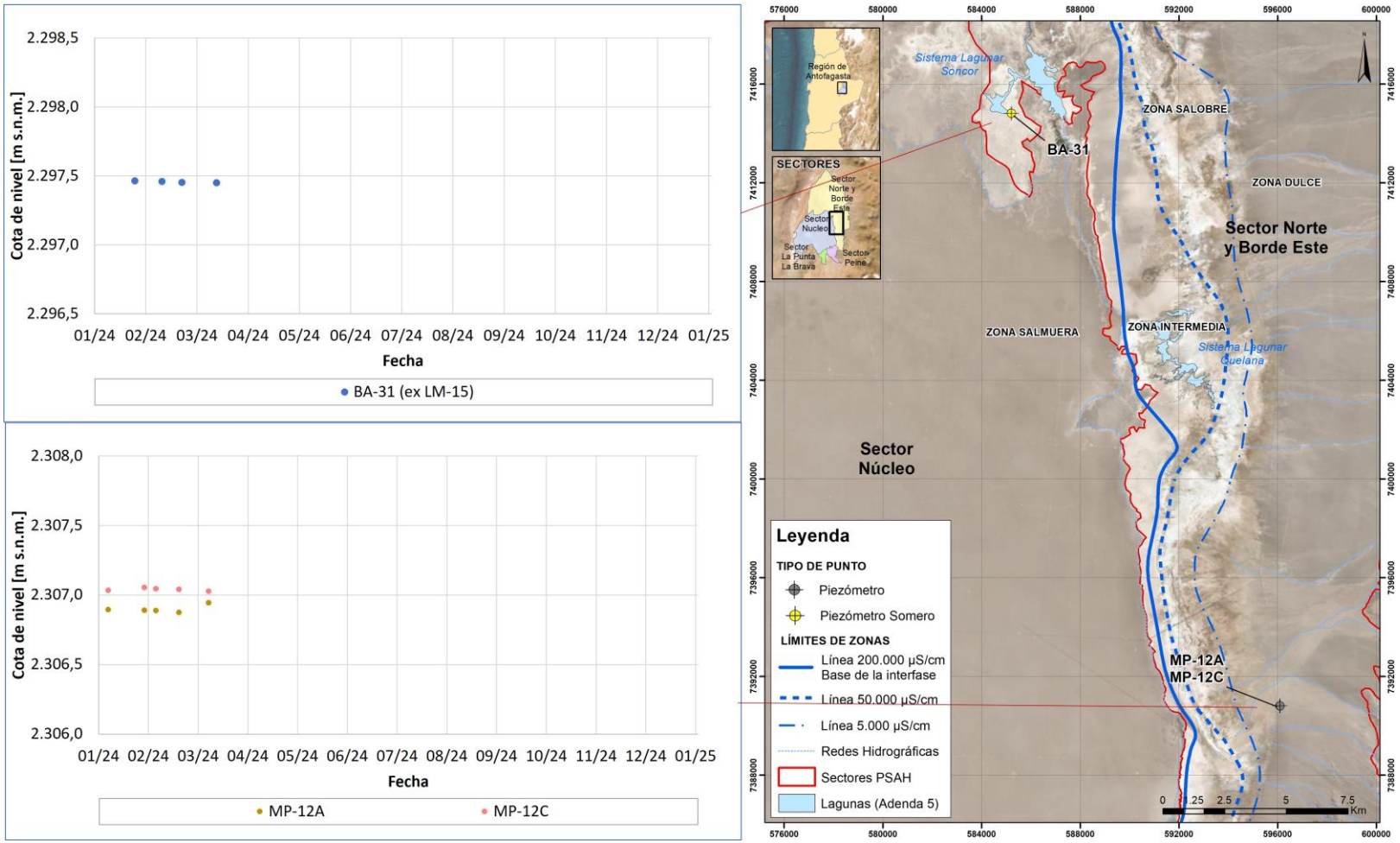
Tabla 5-20 Periodo de registro red de monitoreo del sector Norte y Borde Este

Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
	Fecha inicio	Fecha inicio	Realizadas*	Totales**
BA-31 (ex LM-15)	21-10-2016	26-12-2024	4(1 y 2)	24
MP-12A(4)	25-09-2016	19-12-2024	5(3 y 4)	18
MP-12C	25-09-2016	19-12-2024	5(3)	18

(1) Sin Acceso por cierre de caminos debido por movilización de Comunidades. Informado a la SMA, comprobante N°1040582.
(2) Punto seco.
(3) Acceso restringido por parte de la comunidad de Socaire.
(4) Este punto presenta un incidente, ver detalle en sección 4.4.2.
*Realizadas: Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezometrico.

**Totales: Total de mediciones, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no puedo registrarse el nivel piezometrico. Fuente: Elaboración propia

Figura 5-28 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Norte y Borde Este



Nota: El punto MP-12A presenta un incidente que se detalla en la sección 4.4.2 de incidentes, en el gráfico se usan los datos actualizados.

Fuente: Elaboración propia

5.6.4 Sector Núcleo (Zona Salmuera)

En el Sector Núcleo la red de monitoreo se compone de 61 puntos, ubicados todos en la Zona Salmuera. Estos se detallan en la Tabla 5-21 donde se indica el periodo registros que iniciaron entre los años 1985 y 2016. En Anexo F-1 se entregan todos los registros para el año 2024.

De estos 57 son piezómetros, 3 pozos fueron de bombeo[18] hace algunos años atrás, hoy se utilizan de monitoreo (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 subzonas, todas ubicadas en la zona Salmuera (descripción de las zonas en sección 4.1) :

- Núcleo Centro Norte
- Núcleo Oeste
- Núcleo Este
- Producción

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

Zona	Subzona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
			Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales**
Salmuera	Núcleo Centro Norte	ES-01	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-02	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-03	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-04	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-05	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-06	17-11-2016	19-12-2024	23	24
		ES-07	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-08	17-11-2016	19-12-2024	24	24
		ES-09	02-08-2016	19-12-2024	18	18
		ES-10	02-08-2016	19-12-2024	18	18
		ES-11	08-07-2016	19-12-2024	24	24
		PN-18	25-10-2016	19-12-2024	24	24
		PN-19	25-10-2016	19-12-2024	23	24
	Núcleo Oeste	CS-01	28-01-2001	21-12-2024	18	18

[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	Subzona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
			Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales**
	Núcleo Este	SAMPLE-4A	28-01-2001	25-12-2024	18	18
		CL-6	28-01-2001	22-12-2024	18	18
		P-01	20-07-2013	20-12-2024	18	18
		P-02	19-07-2013	22-12-2024	18	18
		P-03	21-07-2013	22-12-2024	18	18
		P-04	06-09-2013	22-12-2024	18	18
		P-05	17-10-2013	16-12-2024	18	18
		PN-02	08-07-2016	22-12-2024	18	18
		PN-03	08-07-2016	22-12-2024	18	18
		PN-04	08-07-2016	22-12-2024	18	18
		PN-05B	12-11-2014	30-12-2024	18	18
		PN-06	02-08-2016	22-12-2024	18	18
		PN-07	02-08-2016	27-12-2024	18	18
		PN-08A (3)	07-12-2014	30-12-2024	19	19
		PN-09	08-07-2016	27-12-2024	18	18
		PN-10	02-08-2016	22-12-2024	18	18
		PN-11	02-08-2016	22-12-2024	18	18
		PN-13	02-08-2016	22-12-2024	18	18
		PN-14B	07-11-2014	30-12-2024	18	18
		PN-15	02-08-2016	22-12-2024	18	18
		PN-16B(2)	07-11-2014	30-12-2024	18	18
		S-1	24-08-1989	20-12-2024	18	18
		S-2-1	27-09-1990	20-12-2024	18	18
		S-3(4)	24-08-1989	20-12-2024	18	18
		S-4	24-08-1989	22-12-2024	18	18
		Zanja Camino a Peine	28-01-2001	27-12-2024	18	18
	Zona de Producción	CL-10	02-05-1985	21-12-2024	0(1)	18
		CL-11	02-05-1985	21-12-2024	18	18
		CL-12	02-05-1985	21-12-2024	17(1)	18
		CL-13	02-05-1985	21-12-2024	0(1)	18
		CL-14-1	24-08-1989	30-12-2024	18	18
		CL-16-1	02-05-1985	21-12-2024	18	18
		CL-17	02-05-1985	21-12-2024	18	18

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

Zona	Subzona	Punto de monitoreo	Periodo de Registro		Número de mediciones 2024	
			Fecha inicio	Fecha final	Realizadas*	Totales**
		CL-18	02-05-1985	21-12-2024	18	18
		CL-2-1	04-07-1985	20-12-2024	18	18
		CL-26-1(3)	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-27	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-28	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-29	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-30	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-31	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-32	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-33	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		CL-34-1	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		EXP-2-1	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		First well	28-01-2001	21-12-2024	18	18
		Well IK-1	02-05-1985	21-12-2024	18	18

1) Punto Seco.
2) Punto presenta datos anómalos para mayor detalle ver sección 4.4.2.
3) Punto presenta incidente para mayor detalle ver sección 4.4.2.
4) En el punto de monitoreo S-3, ocurre incidente en junio del año 2024 (ver sección 4.4.2 para mayor detalle).

Notas:
*Realizadas : Mediciones en las que fue posible registrar el dato de nivel piezometrico.
**Totales : Total de mediciones, considerando las veces que no fue posible ingresar a los puntos y por ende no puedo registrarse el nivel piezometrico

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los registros para el año 2024 del nivel del sector Núcleo se presenta a continuación.

5.6.4.1 Núcleo Centro Norte (Zona Salmuera)

En 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 5-29 , y cuentan con datos desde el año 2016 a 2024, ver Tabla 5-21.

Durante el año 2024, la cota del nivel freático se registró entre los 2.297,090 y 2.297,920 m s.n.m., en PN-19 (diciembre) y ES-09 (enero), respectivamente.

5.6.4.2 Núcleo Oeste (Zona Salmuera)

En Núcleo Oeste, se monitorean desde el año 2001, 2 piezómetros que son: CS-01 y SAMPLE-4A, los que reemplazaron a los puntos originales 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 5-29 .

Durante el año 2024 la cota del nivel freático se registró entre los 2.292,037 y 2.292,605 m s.n.m. medidos en SAMPLE-4A (diciembre) y en CS-01 (enero), respectivamente.

5.6.4.3 Núcleo Este (Zona Salmuera)

En Núcleo 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[19], PN-09, PN-10, PN-11, PN-13, PN-14B, PN-15, PN-16B[20], S-1, S-2-1 (ex S-2), S-3[21], S-4 y Zanja Camino a Peine, ubicados según se presenta en el mapa de la Figura 5-30.

El punto PN-08A cuenta con un incidente (choque con fecha 24 de agosto año 2023), para lo cual Albemarle solicitó un análisis estadístico, que concluyó en corregir la cota nivel para ajustarse al comportamiento histórico, dado esto, se reportan valores de cota nivel original y cota nivel actualizada. Lo anterior, tiene como implicancia tener doble registro de los niveles, para el año 2024, esto se detalla en sección 4.4.2 de incidentes. En la presente sección se usa el dato actualizado para efectos del gráfico, no obstante, para efectos del PAT se utiliza el valor original.

El punto S-3 también presentó un incidente, y el punto PN-16B presenta un hallazgo reportado a la autoridad, para más detalle, ver sección 4.4.2.

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 2024, la cota del nivel freático se registró entre los 2.297,098 y 2.298,967 m s.n.m. medidos en PN-03 (diciembre) y en Zanja Camino a Peine (enero), respectivamente.

[19] Punto presenta un incidente, mayor detalle en sección 4.4.2.
[20] Este punto registra datos anómalos para mayor detalle ver sección 4.4.2.
[21] Punto presenta incidente, mayor detalle en sección 4.4.2.

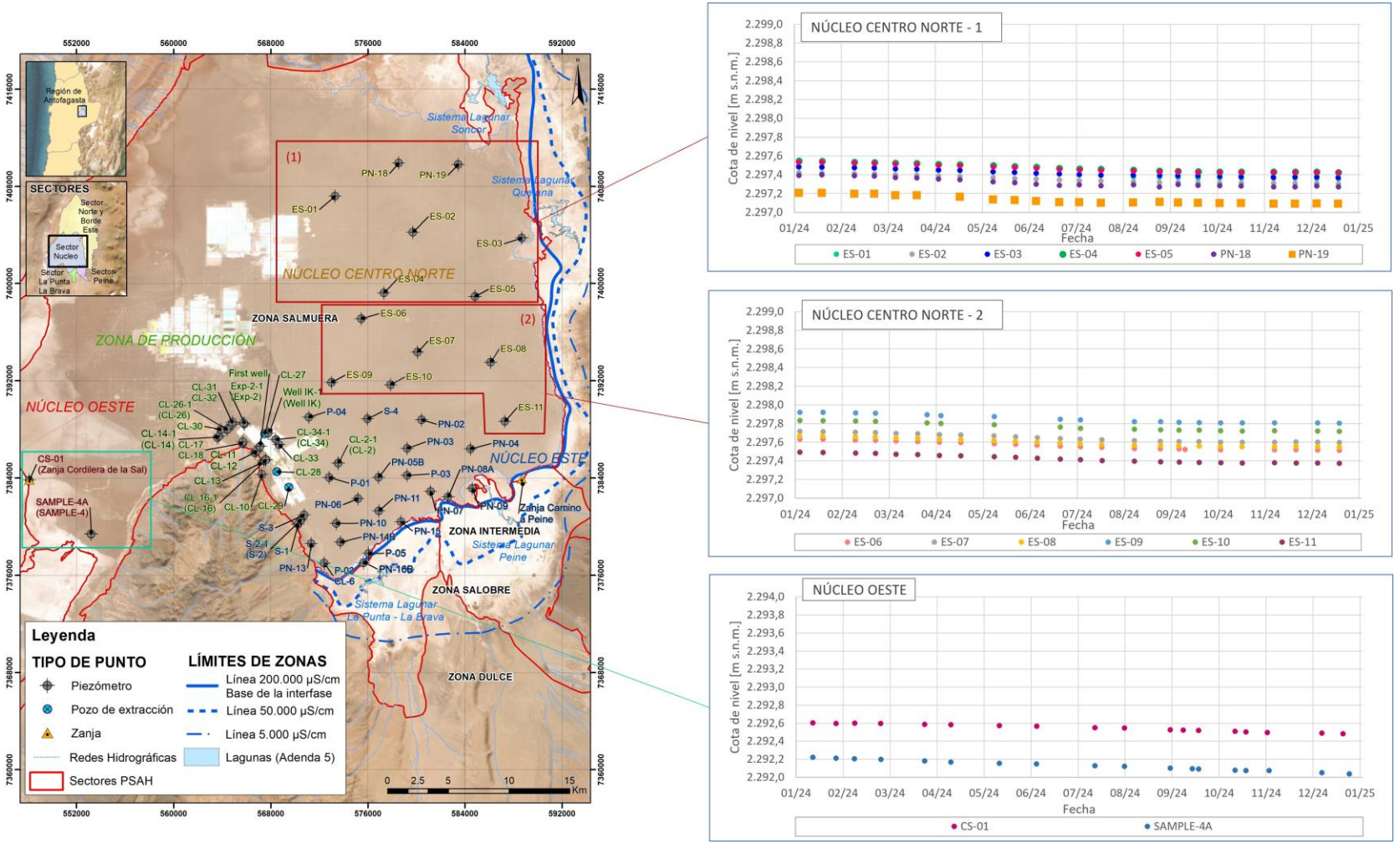
5.6.4.4 Producción (Zona Salmuera)

En la zona Salmuera-Producción, se monitorean 21 puntos (CL-10, CL-11, CL-12, CL-13, CL-14-1, CL-16-1, CL-17, CL-18, CL-2-1, CL-26-1[22], CL-27-P, CL-28, CL-29, CL-30, CL-31, CL-32, CL-33, CL-34-1, EXP-2-1, First well y Well IK-1) cuentan con data 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 5-31. Los puntos CL-13 y CL-10 se encuentran secos para todo el año 2024.

Durante el año 2024, la cota del nivel freático se registró entre los 2282,817 y 2298,192 m s.n.m. medidos en CL-12 (noviembre) y en CL-2-1 (enero), respectivamente.

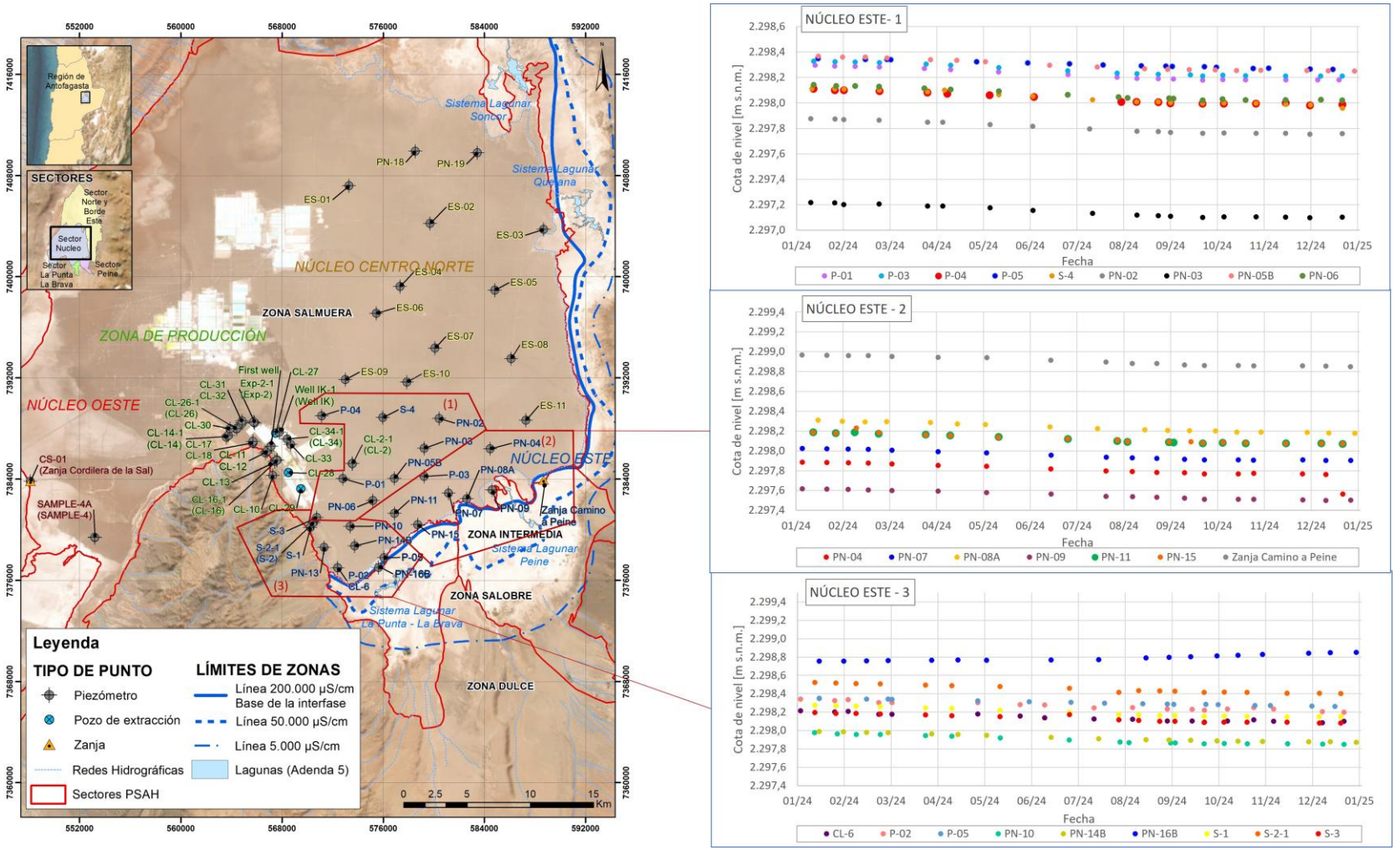
[22] El punto CL-26-1 también presenta un hallazgo, informado a la autoridad, para mayor detalle ver la sección 4.4.2.

Figura 5-29 Hidrogramas de los pozos de observación de los subzonas Núcleo Centro Norte y Núcleo Oeste



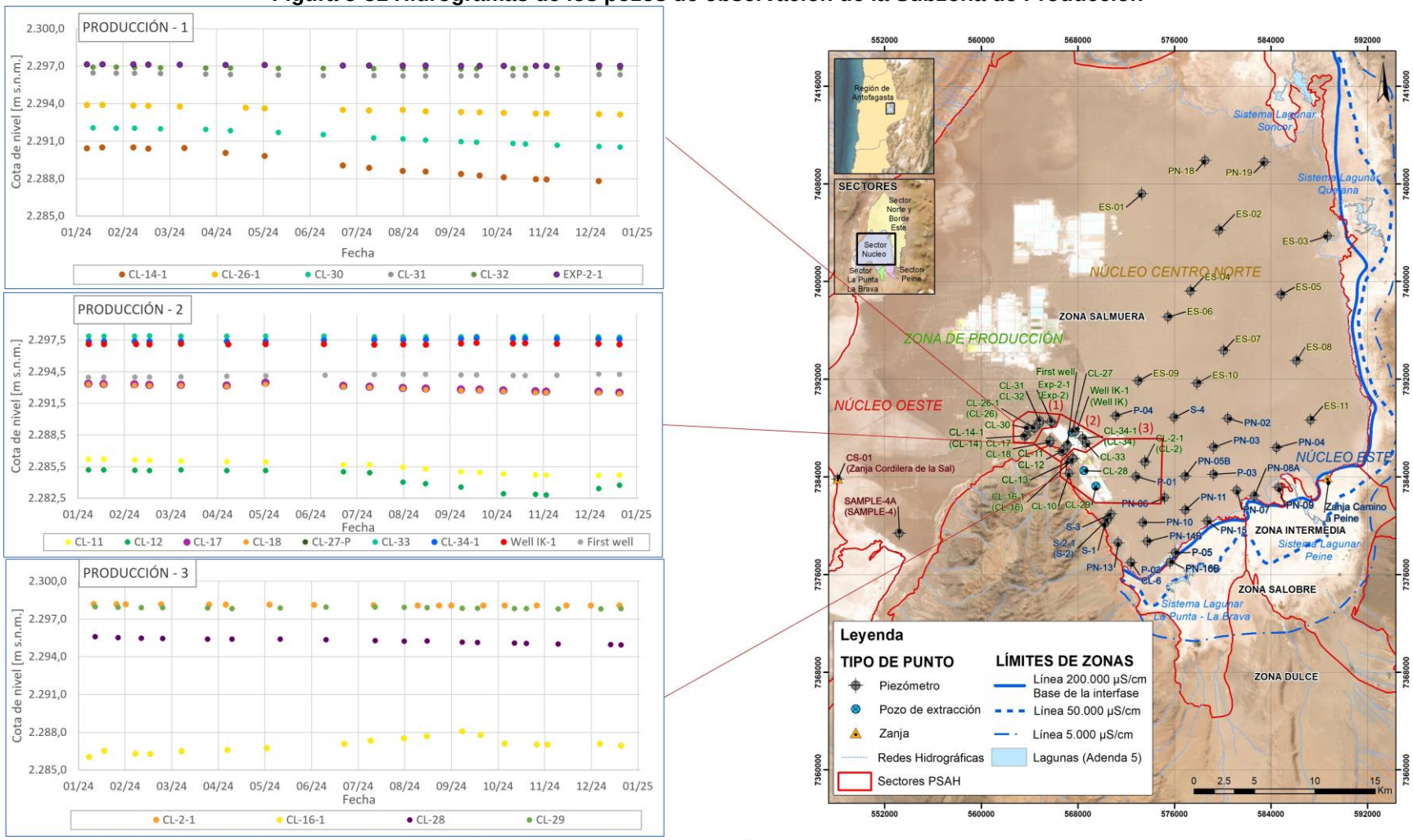
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-30 Hidrogramas de los pozos de observación del subzona Núcleo Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-31 Hidrogramas de los pozos de observación de la Subzona 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 aquella zona y 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 µS/cm cuando se está en presencia de salmuera. La profundidad a la que se alcanza los 200.000 µS/cm es considerada como la base o piso 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/salmuera de puntos pertenecientes a la red de monitoreo del PSAH durante el año 2024. Los registros de profundidad (m), conductividad eléctrica (µS/cm) y temperatura (ºC) para esta variable, tanto para el año 2024 como para toda la data histórica, se presenta en Anexo X.

El objetivo de estas mediciones es determinar la posición y/o 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 2024 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 enero, febrero y diciembre (PAT Acuífero[23]); y agosto, septiembre y octubre (PAT Núcleo Fase II[24]). 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.

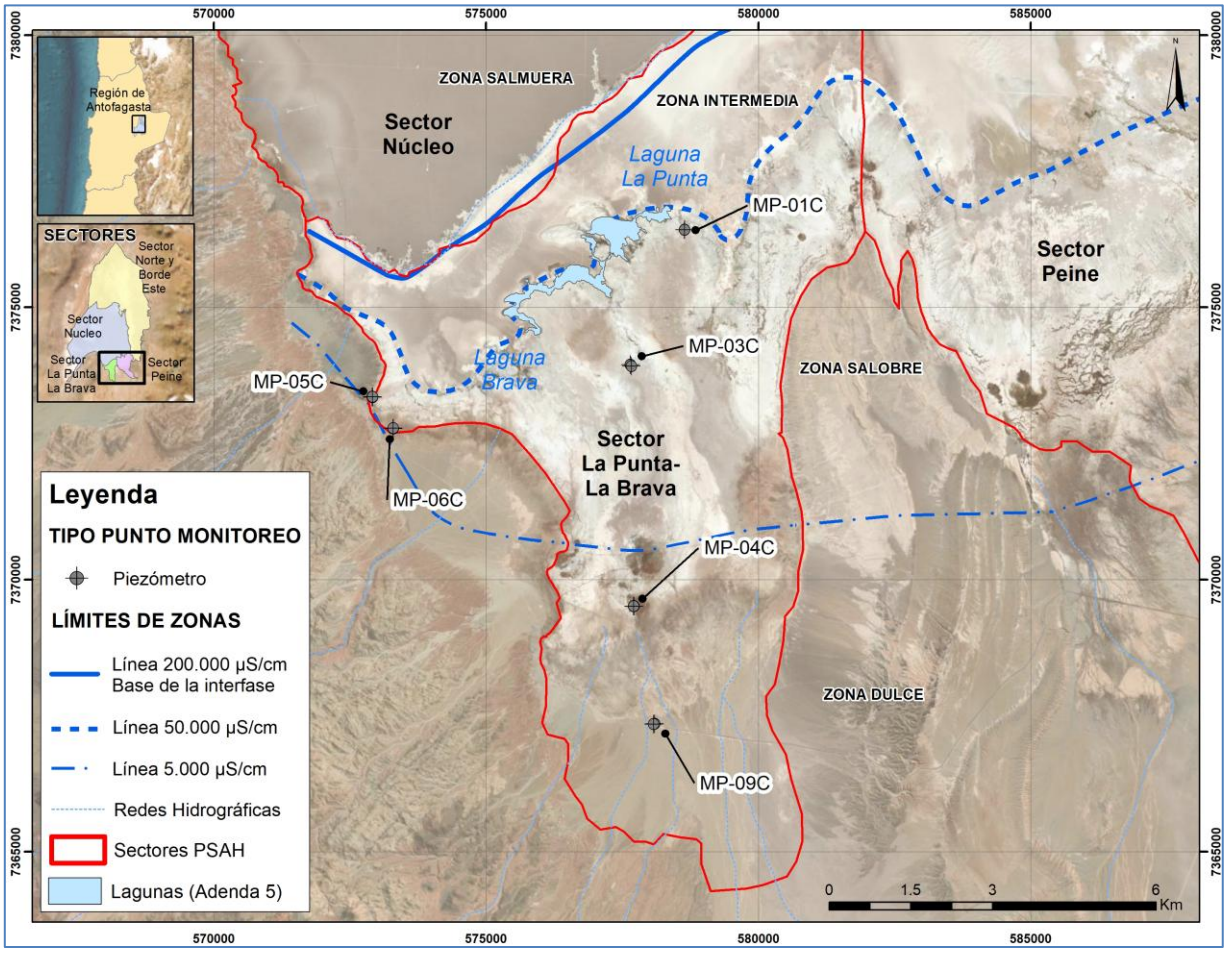
A continuación, se presentan los análisis de los datos obtenidos por sector (La Punta – La Brava, Peine y, Norte y Borde Este), en el cual se grafica la data monitoreada para el año 2024.

[23] Las acciones preventivas por PAT Acuífero comenzaron en diciembre 2023 y diciembre 2024.
[24] Las acciones preventivas del PAT sector Núcleo Fase II, comenzaron en agosto 2024.

5.7.1 Sector La Punta – La Brava

En la Figura 5-32 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.

Figura 5-32 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector La Punta – La Brava



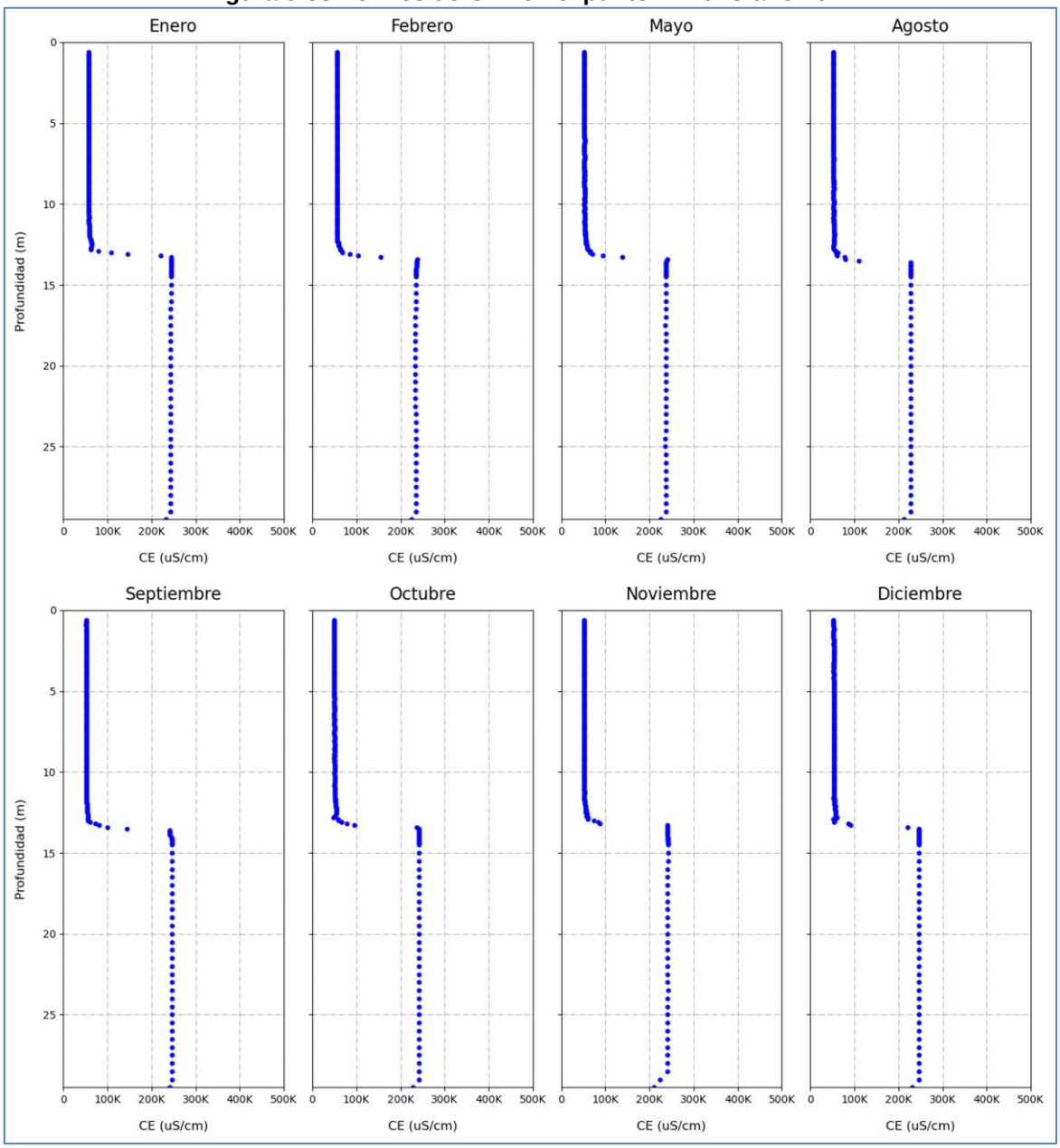
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas del año 2024, en conjunto con su representación gráfica de profundidad (m) versus conductividad eléctrica (µS/cm). Para un mejor entendimiento, además, se grafica la comparación de la conductividad por trimestres para el año 2024. En dichos gráficos se presentan los periodos trimestrales: T1 (enero, febrero y marzo), T2 (abril, mayo y junio), T3 (julio, agosto y septiembre) y T4 (octubre, noviembre y diciembre), se grafican todos los datos agrupados según trimestre y disponibilidad del dato.

5.7.1.1 MP-01C

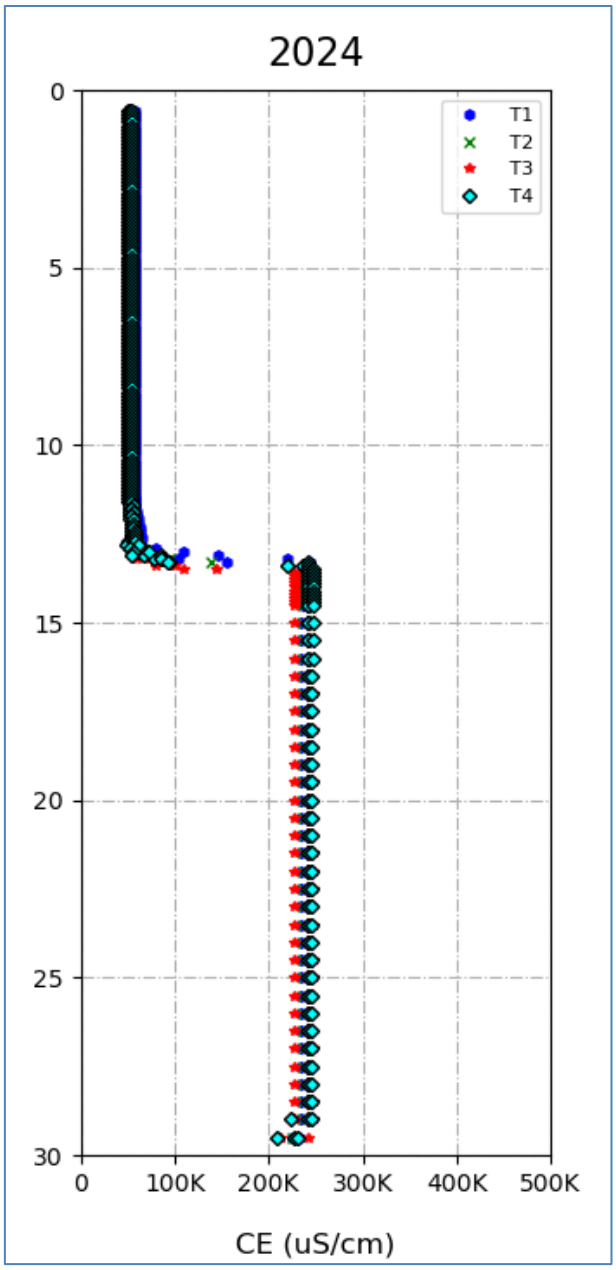
Durante el año 2024 la posición de la interfase salina en el punto MP-01C se mantiene entre los 13,0 y 13,5 m de profundidad hasta estabilizarse sobre los 200.000 µS/cm (Figura 5-33 y Figura 5-34).

Figura 5-33 Perfiles de C.E. en el punto MP-01C año 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-34 Perfil trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-01C



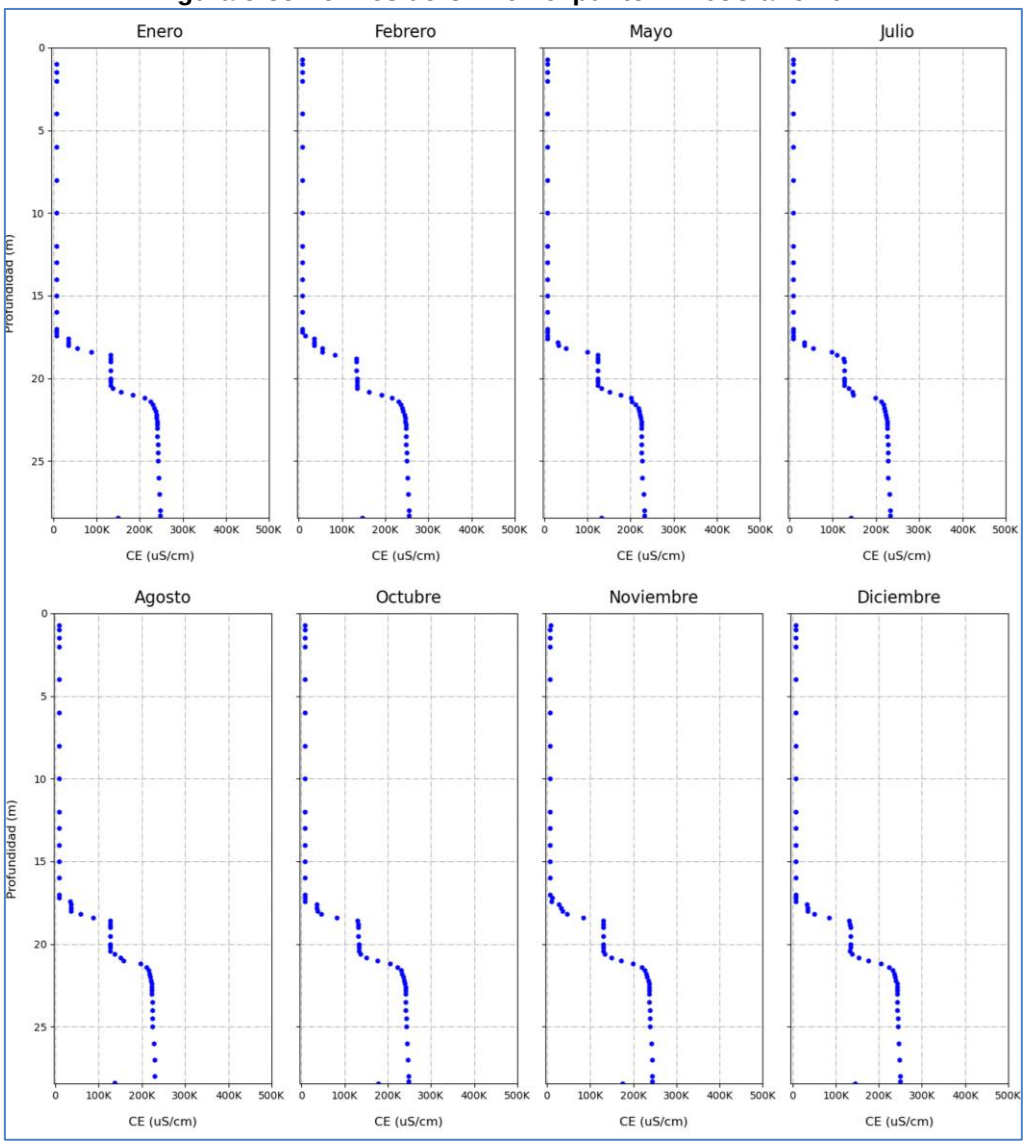
Fuente: Elaboración propia

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 2024 (Figura 5-35), con tres aumentos notorios hasta estabilizarse sobre los 200.000 µS/cm. La interfase salina ha sido reconocida entre los 17 y 21 m de profundidad en las campañas del año 2024, y no muestra variaciones en este periodo.

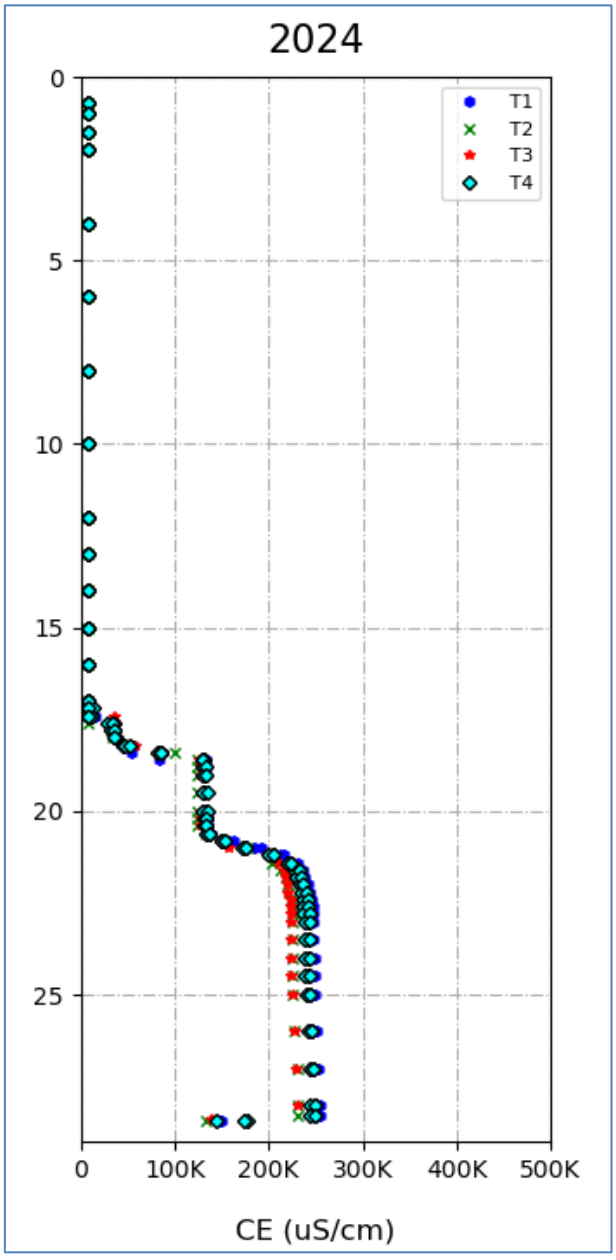
El límite inferior de la interfase salina (base o piso) se muestra estable con valores sobre 200.000 µS/cm en el 2024 en torno a los 21 m (Figura 5-36)

Figura 5-35 Perfiles de C.E. en el punto MP-03C año 2024



Nota: El pozo MPS-03C, cuenta con restricción de acceso para la medición de septiembre 2024.
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-36 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-03C

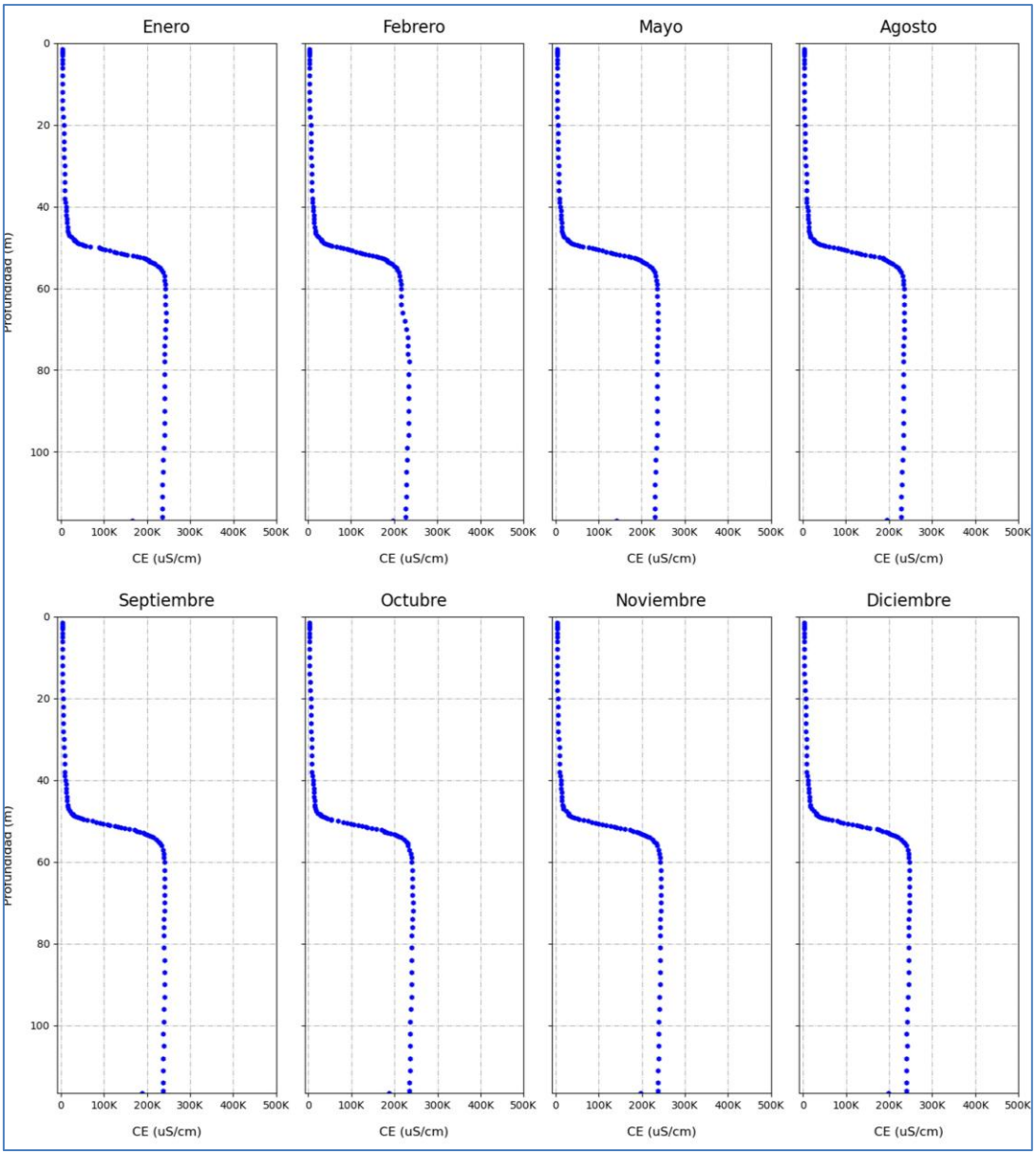


Fuente: Elaboración propia

5.7.1.3 MP-04C

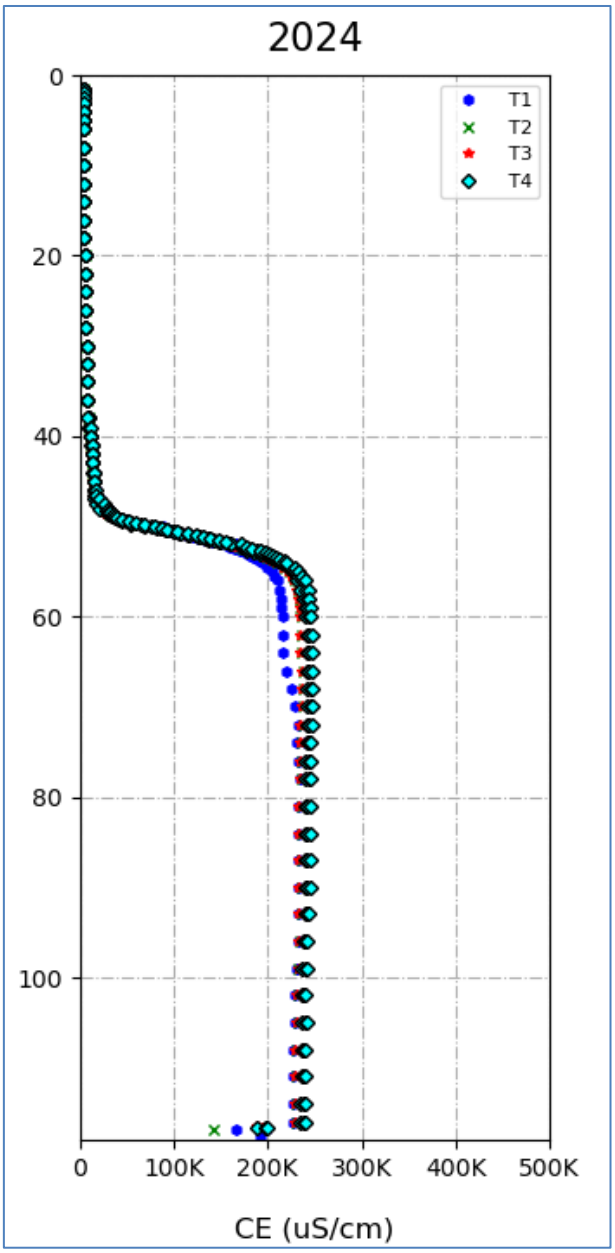
La información levantada en las campañas de 2024 en este punto muestra una interfase salina sin variaciones (Figura 5-37), con un aumento gradual de la conductividad eléctrica entre los 50 y los 53 m. hasta alcanzar valores sobre los 200.000 uS/cm, en un tramo de aproximadamente 3 m (Figura 5-38).

Figura 5-37 Perfiles de C.E. en el punto MP-04C año 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-38 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-04C



Fuente: Elaboración propia

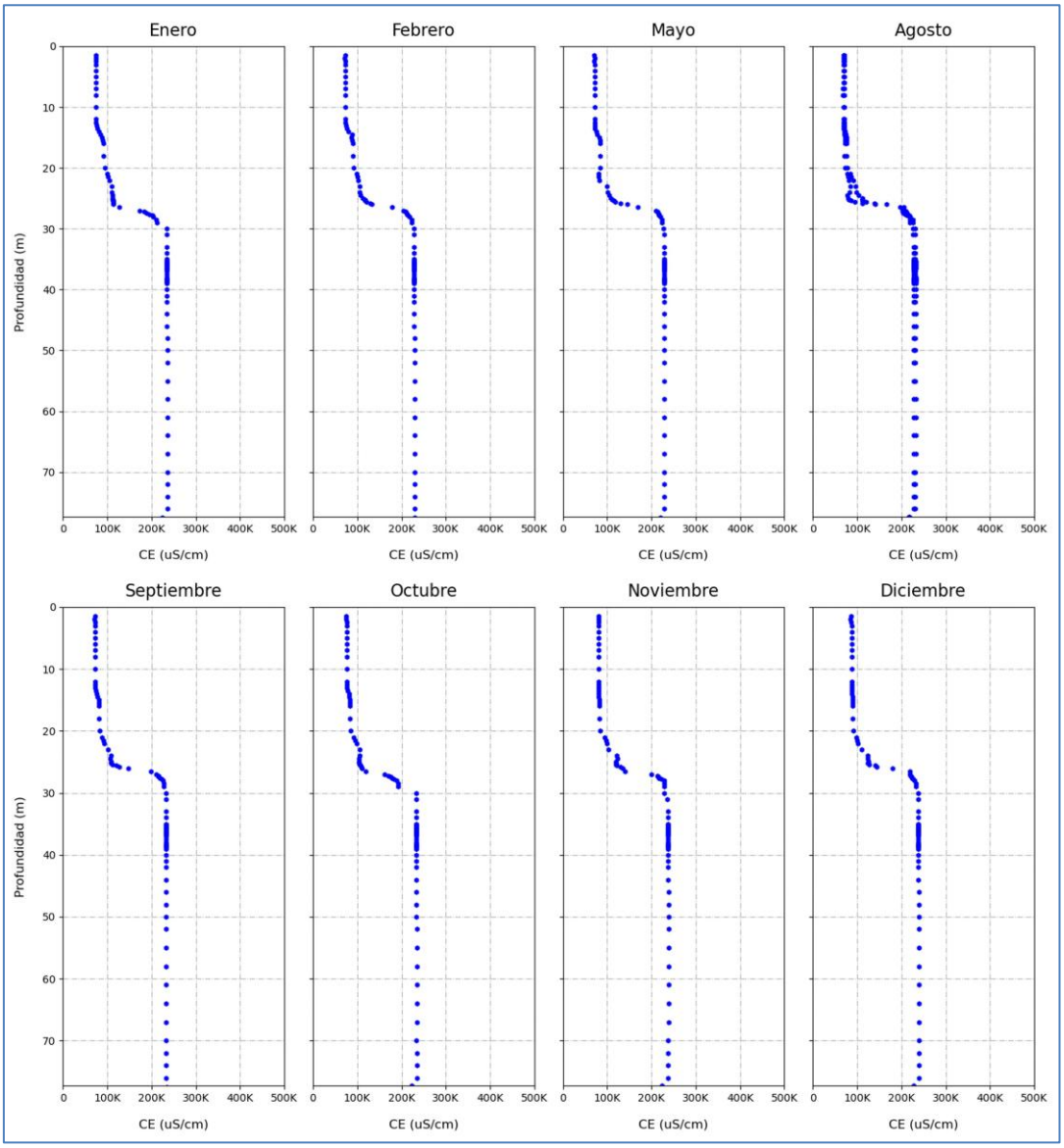
5.7.1.4 MP-05C

Los perfiles realizados durante el año 2024 en el punto MP-05C muestran variaciones mínimas en la posición de la interfase salina, se observa el aumento de conductividad entre los 14 y hasta los 30 m de profundidad, (Figura 5-39). En todas las campañas se observa el mismo

aumento gradual de la conductividad eléctrica para estabilizarse aproximadamente en los 30 m de profundidad hasta valores sobre 200.000 µS/cm.

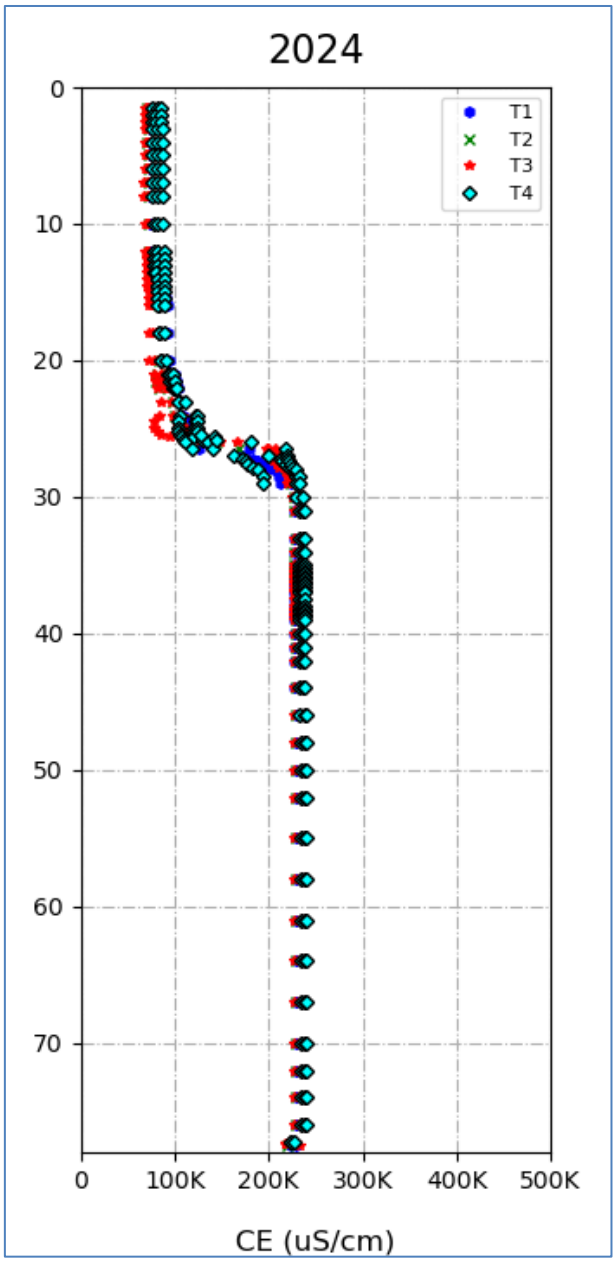
Durante el año 2024, se ha mantenido una interfase estable con una base o piso entorno a los 28 m de profundidad (Figura 5-40).En cuanto a los datos de agosto de 2024, este perfil se efectúo dos veces, porque la primera vez se realizó, se observaron algunos datos fuera de lo esperado; no obstante, en la segunda medición se observa que los datos muestran relación con la tendencia histórica en el punto, lo anterior podría atribuirse a un error en la medición.

Figura 5-39 Perfiles de C.E. en el punto MP-05C año 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-40 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-05C

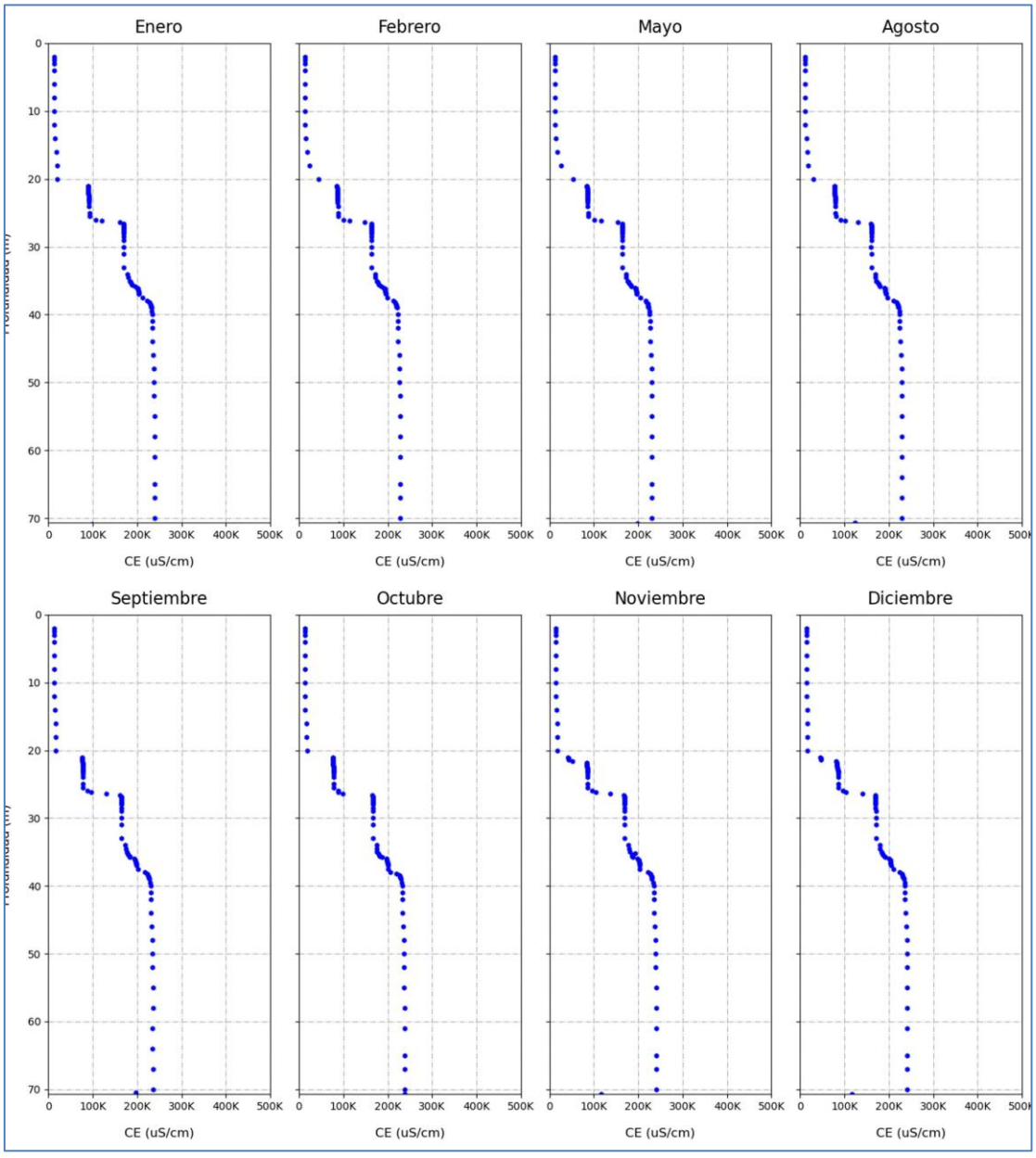


Fuente: Elaboración propia

5.7.1.5 MP-06C

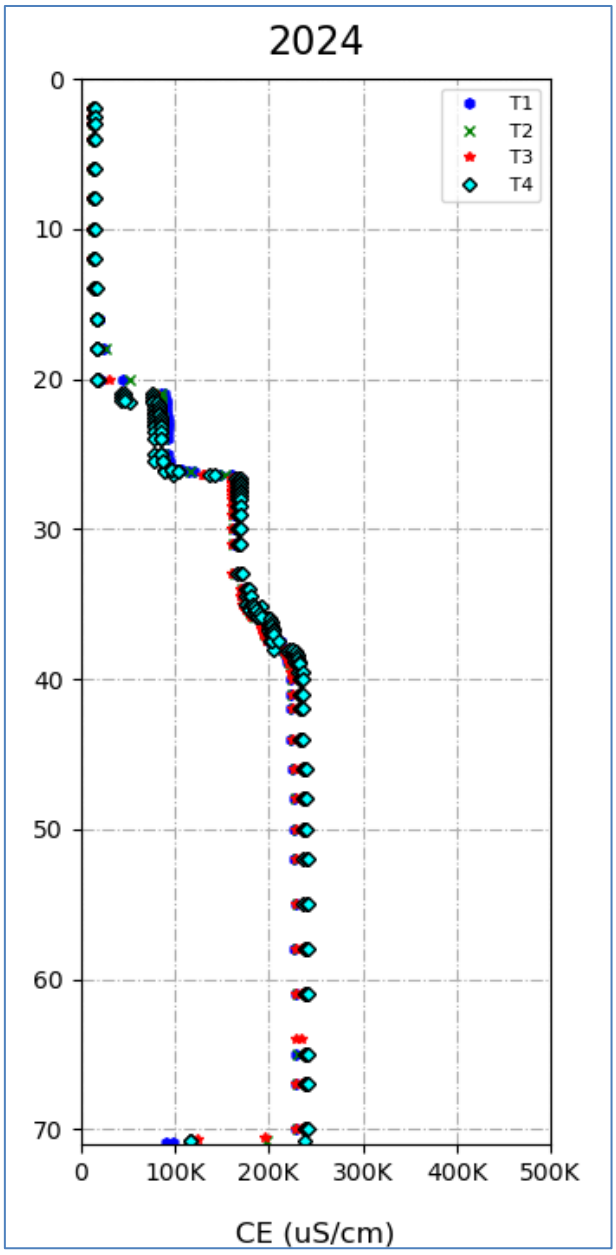
En la Figura 5-41 se muestran los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica de las campañas del año 2024 en el punto MP-06C. Los resultados muestran un patrón escalonado similar en todas las mediciones entre los 20 y 40 m, con valores en torno a 40.000 y 235.000 µS/cm. La profundidad de la interfase salina muestra una interfase estable en su base o piso entorno a los 37 m de profundidad sobre 200.000 µS/cm (Figura 5-42).

Figura 5-41 Perfiles de C.E. en el punto MP-06C año 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-42 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-06C

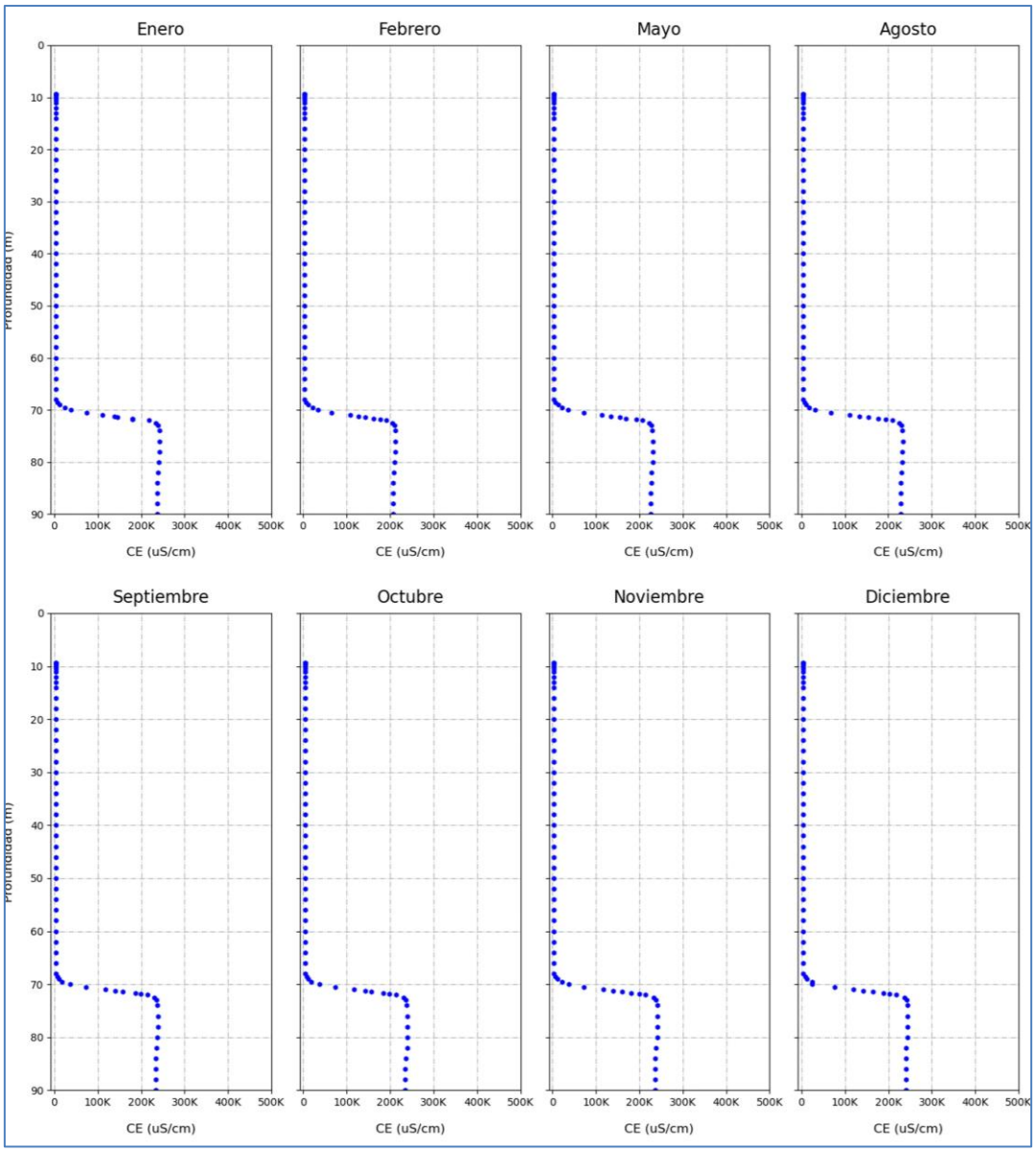


Fuente: Elaboración propia

5.7.1.6 MP-09C

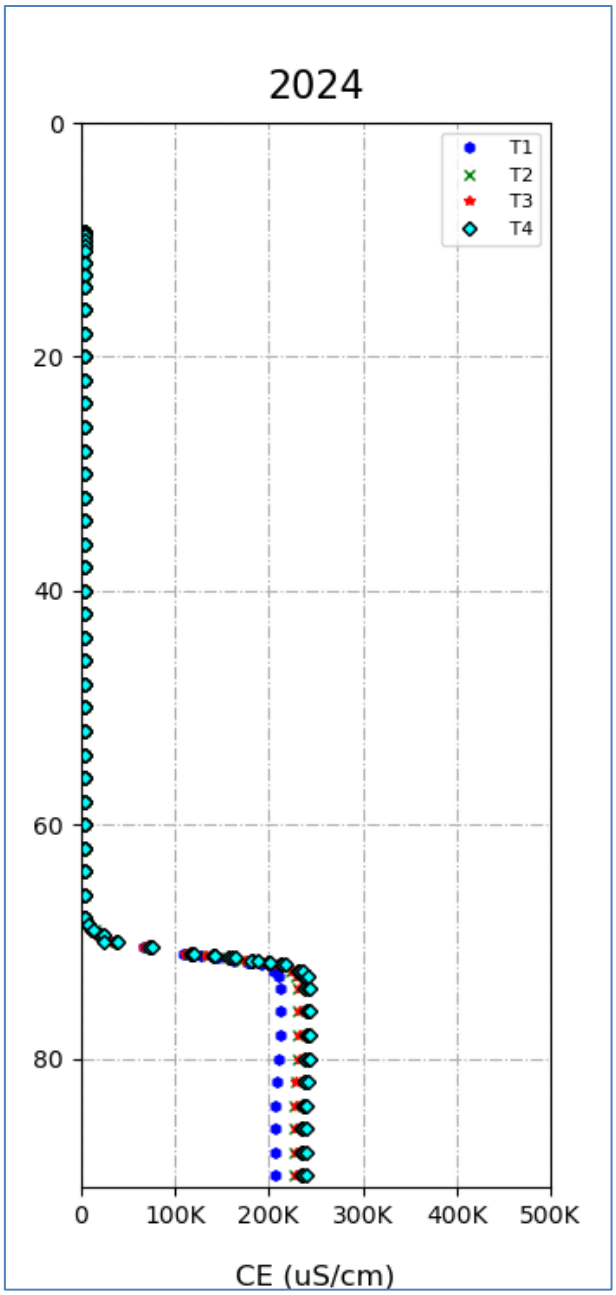
Los perfiles realizados durante el año 2024 en el punto MP-09C muestran que la interfase salina se encuentra aproximadamente entre los 70 y 73 m, con un aumento gradual de la conductividad eléctrica en ese tramo (Figura 5-43). La interfase salina no muestra variaciones en su posición para el 2024 (Figura 5-44).

Figura 5-43 Perfiles de C.E. en el punto MP-09C año 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-44 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-09C

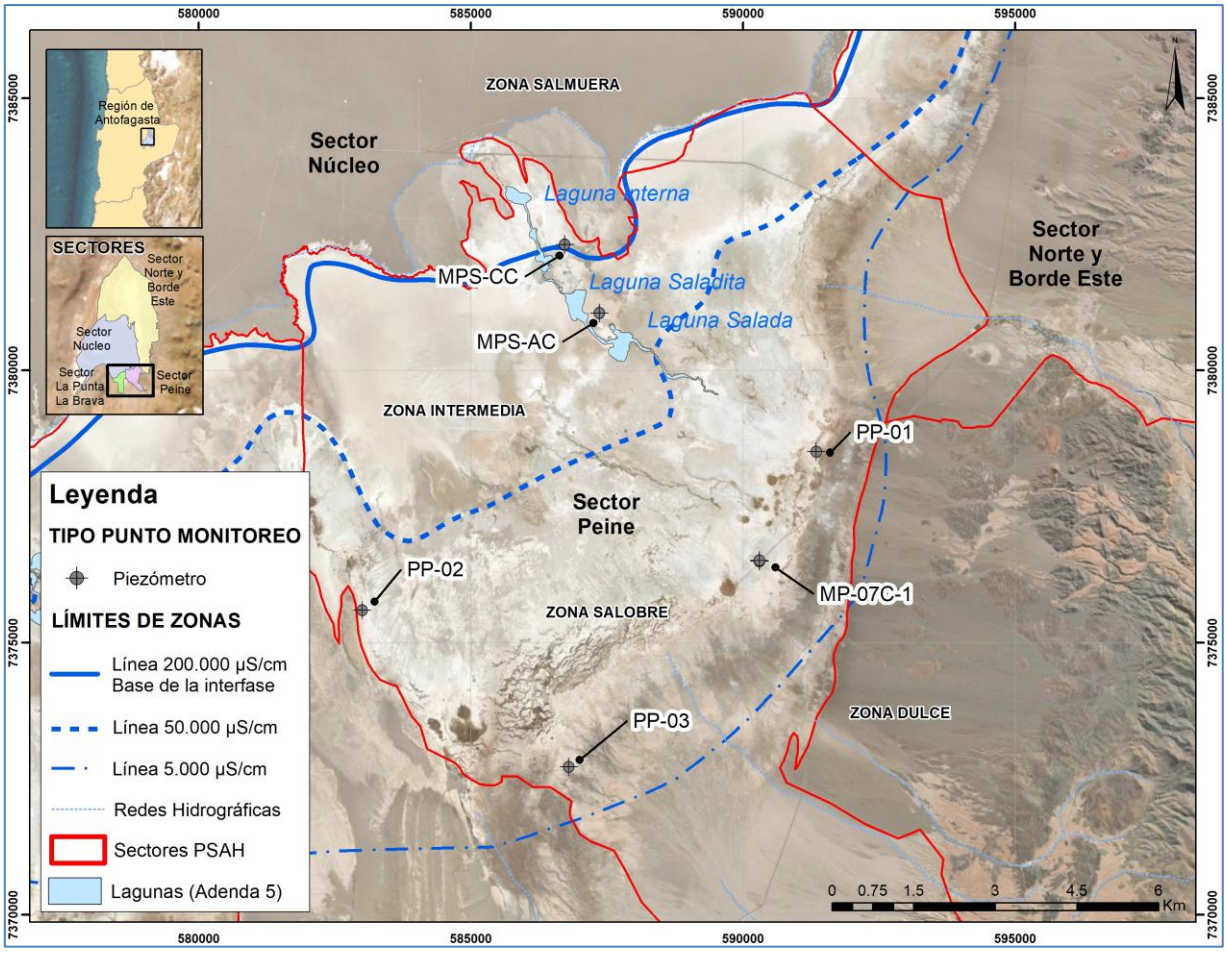


Fuente: Elaboración propia

5.7.2 Sector Peine

En la Figura 5-45 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 5-45 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Peine



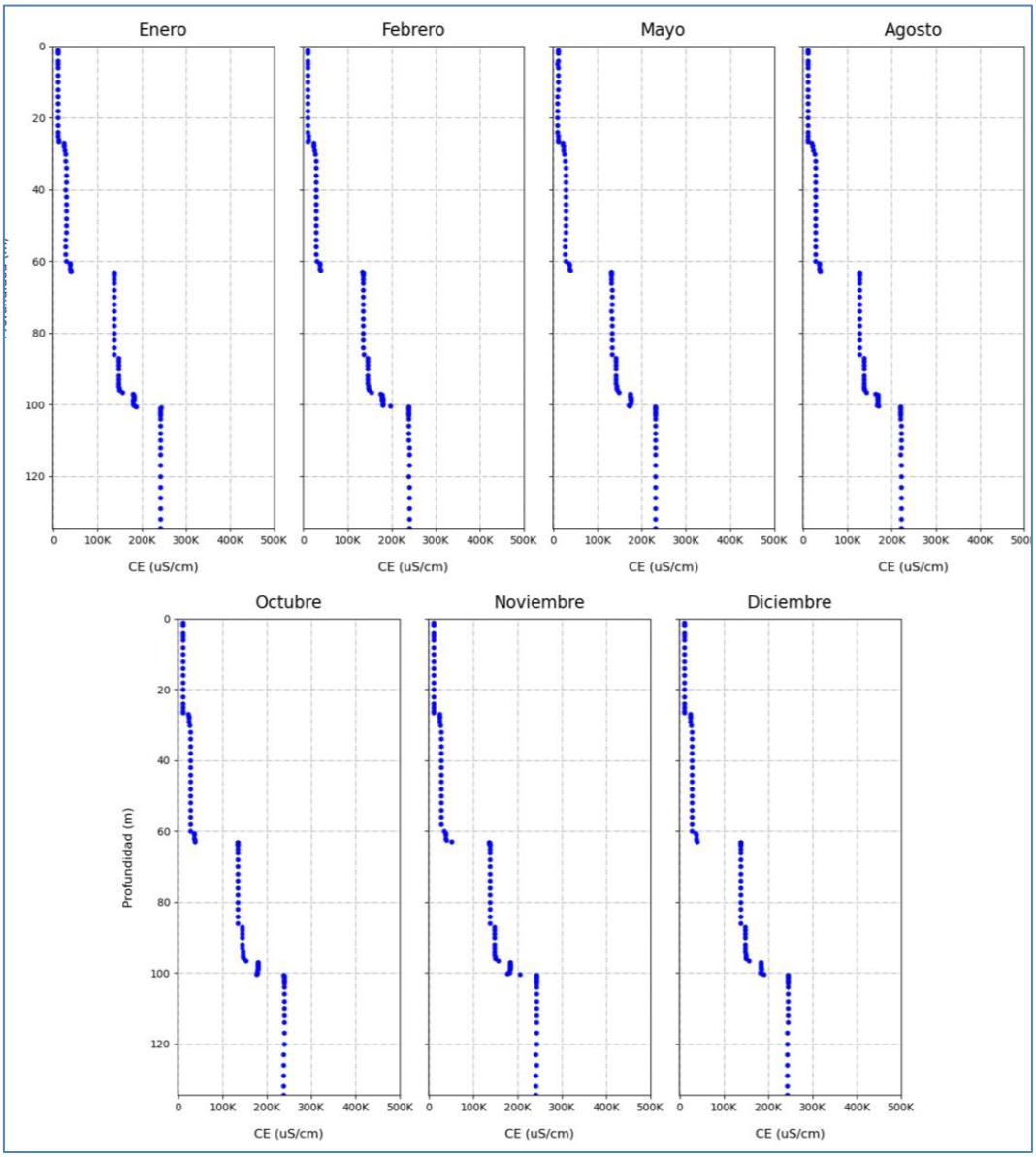
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas del año 2024, en conjunto con su representación gráfica. Se incluye un gráfico con todo el registro 2024 separado en trimestres para una mejor comparación.

5.7.2.1 MP-07C-1

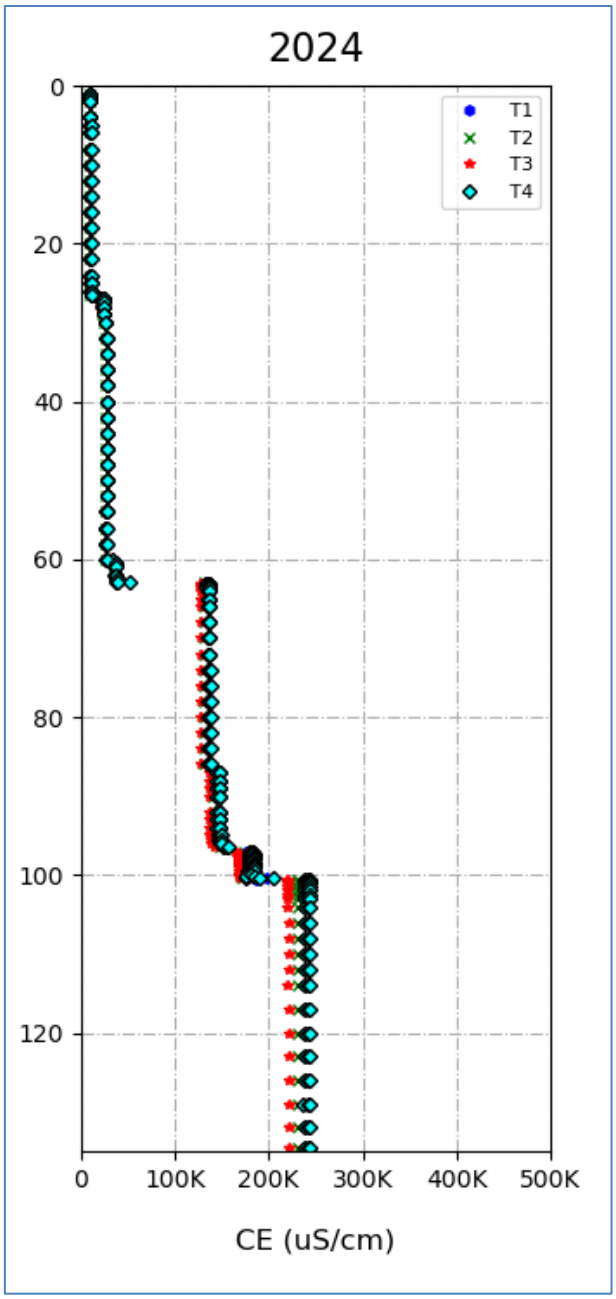
En el registro para el año 2024 del punto MP-07C-1 (Figura 5-46), se observa un notorio aumento de 3 escalones. A aproximadamente 100 m de profundidad se encuentra el piso de la interfase, con valores de conductividad eléctrica por sobre 200.000 µS/cm, característicos para salmuera (Figura 5-47).

Figura 5-46 Perfiles de C.E. en el punto MP-07C-1 año 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-47 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-07C-1



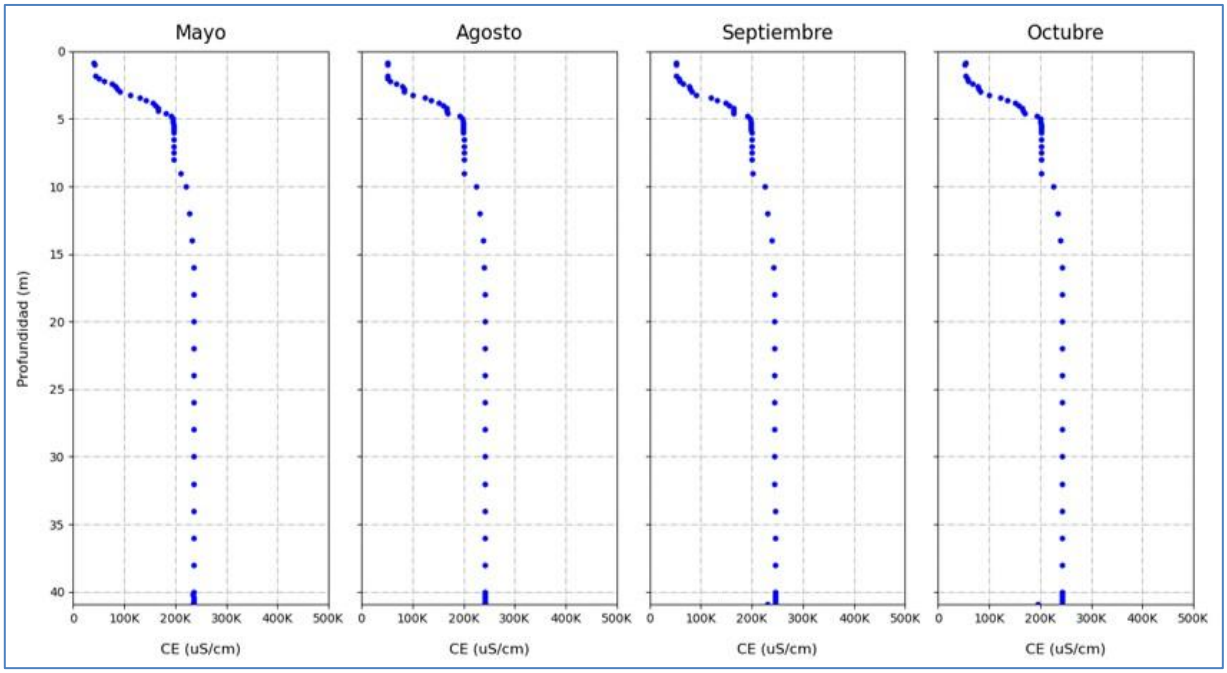
Fuente: Elaboración propia

5.7.2.2 MPS-AC

En el punto MPS-AC, ubicado en el entorno del sistema Peine, cercano a la laguna Saladita, las medidas de las campañas del 2024 identifican la posición de la base o piso de la interfase salina a través del aumento gradual de la conductividad eléctrica desde los 3 y llegando al piso entorno a los 5 -7m de profundidad, para valores sobre 200.000 µS/cm (Figura 5-48).

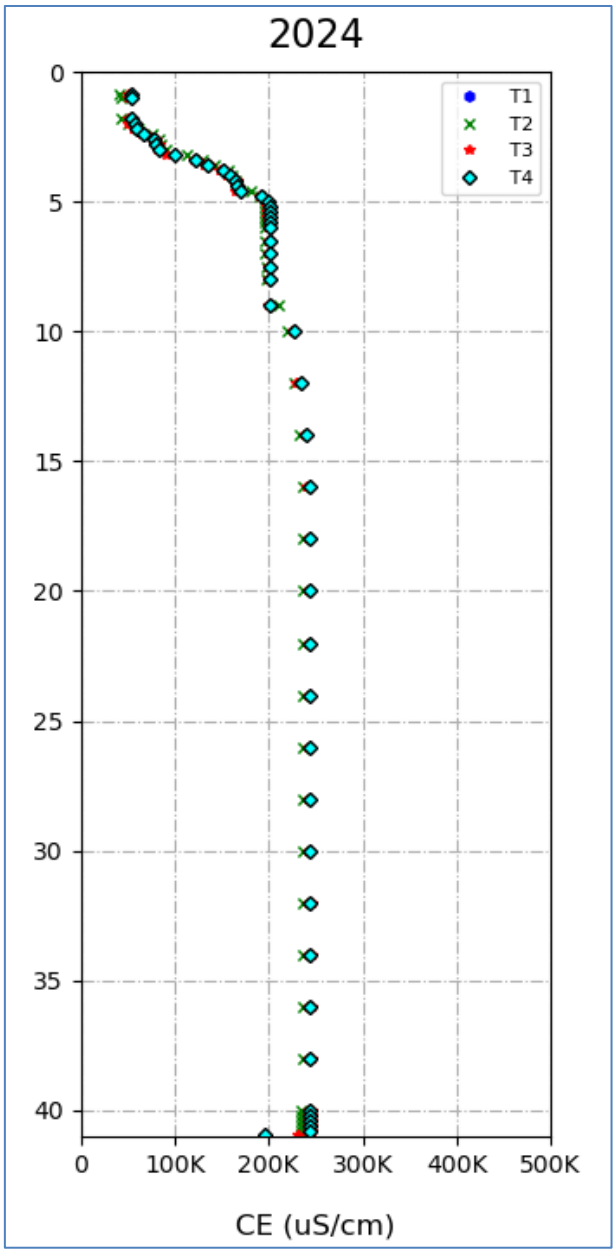
En la Figura 5-49 se observa que la profundidad del nivel de la interfase salina no ha variado durante el año.

Figura 5-48 Perfiles de C.E. en el punto MPS-AC año 2024



Nota: El pozo MPS-AC se encuentra sin acceso por cierre de lagunas en época reproductiva de flamencos los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre.
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-49 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MPS-AC

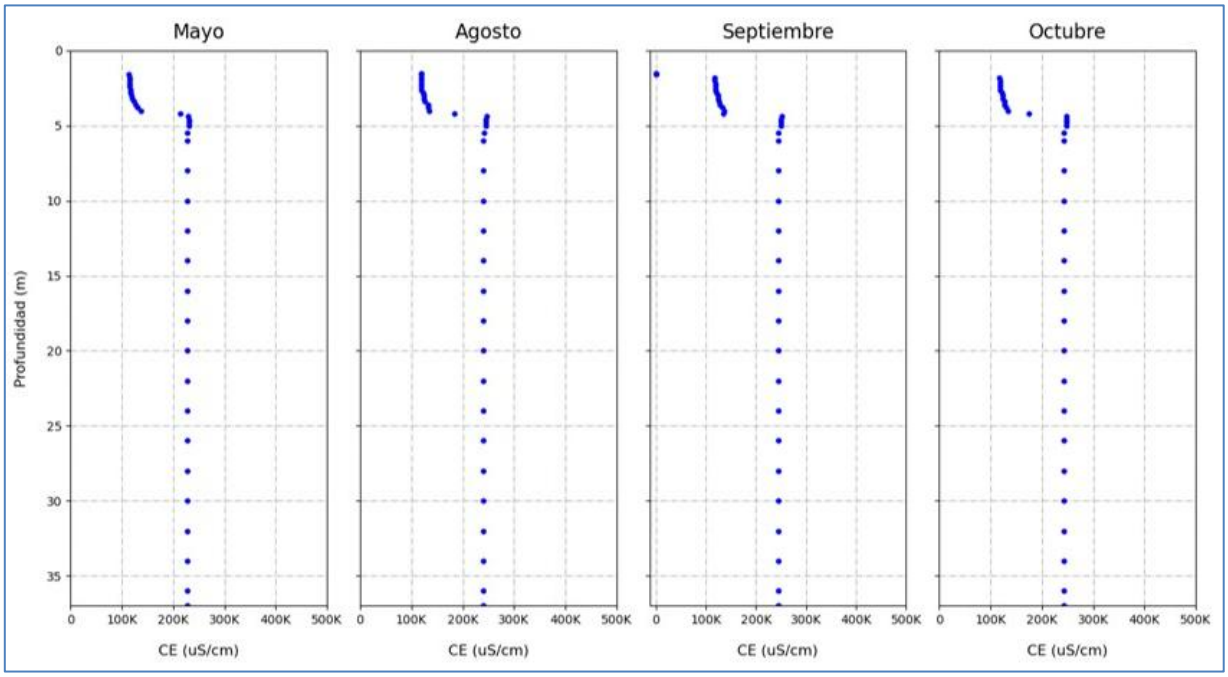


Fuente: Elaboración propia

5.7.2.3 MPS-CC

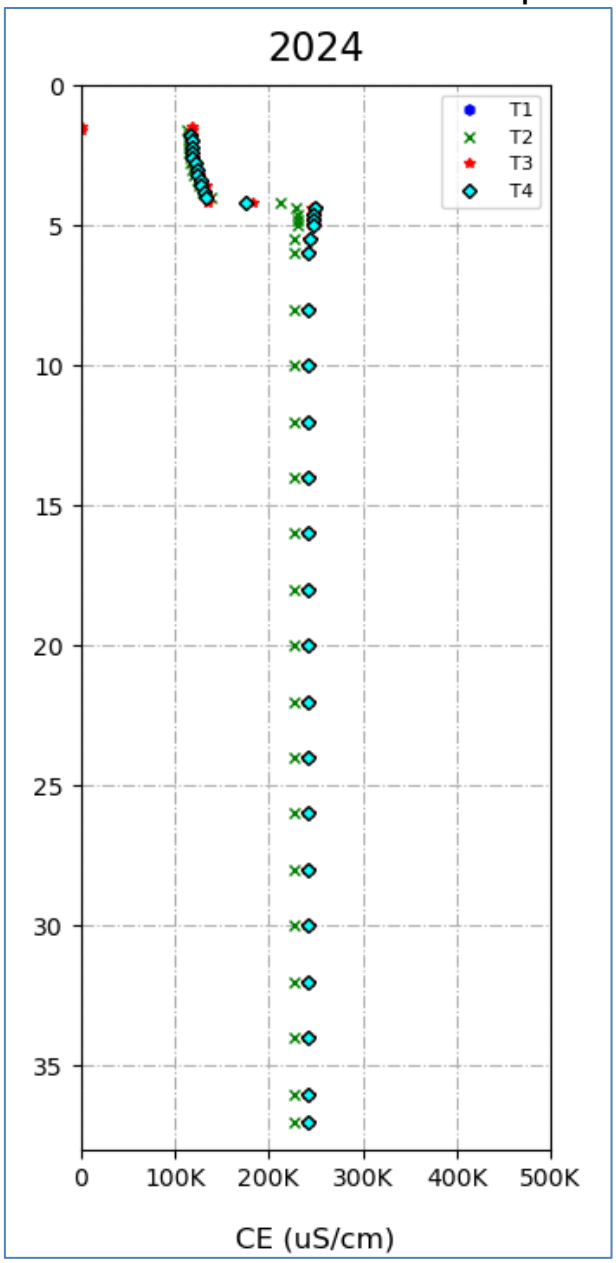
En la Figura 5-50 y Figura 5-51)se muestra el resultado de las campañas durante el año 2024. La interfase salina se observa entre los 3 y 5 m, cercano a la laguna Interna, destaca la alta conductividad eléctrica registrada en profundidades más someras desde el inicio del pozo, con agua salobre de conductividad eléctrica desde los 120.000 µS/cm, esto dada la cercanía al núcleo del Salar.

Figura 5-50 Perfiles de C.E. en el punto MPS-CC año 2024



Nota: El pozo MPS-CC se encuentra sin acceso por cierre de lagunas en época reproductiva de flamencos los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre.
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-51 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MPS-CC

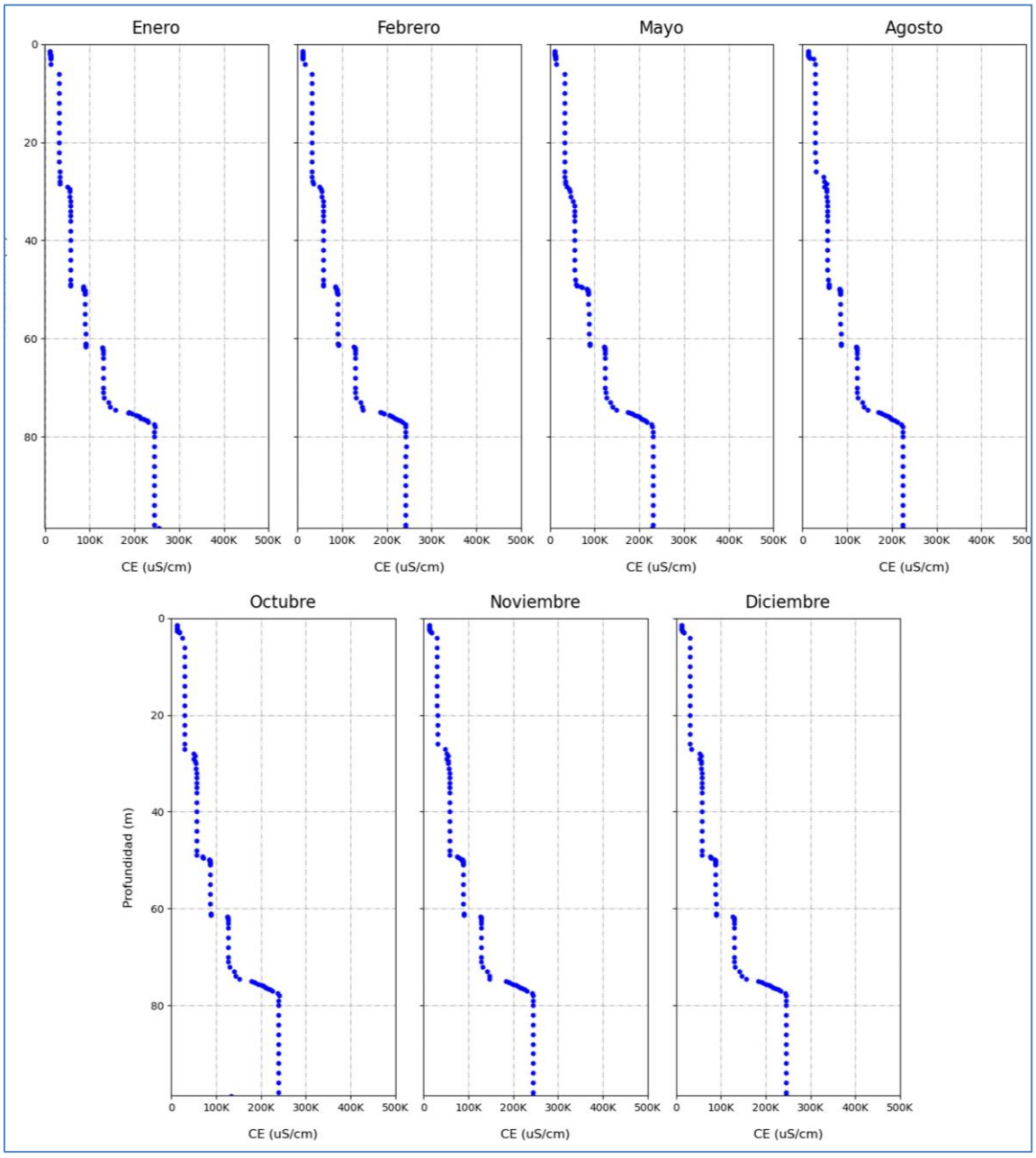


Fuente: Elaboración propia

5.7.2.4 PP-01

Durante el año 2024, el punto PP-01 muestra en su transición cinco escalones de conductividad eléctrica hasta llegar a estabilizarse en la base de la interfase entorno a los 80 m de profundidad aproximadamente (Figura 5-52). La profundidad de la base de la interfase se observa estable durante el año (Figura 5-53).

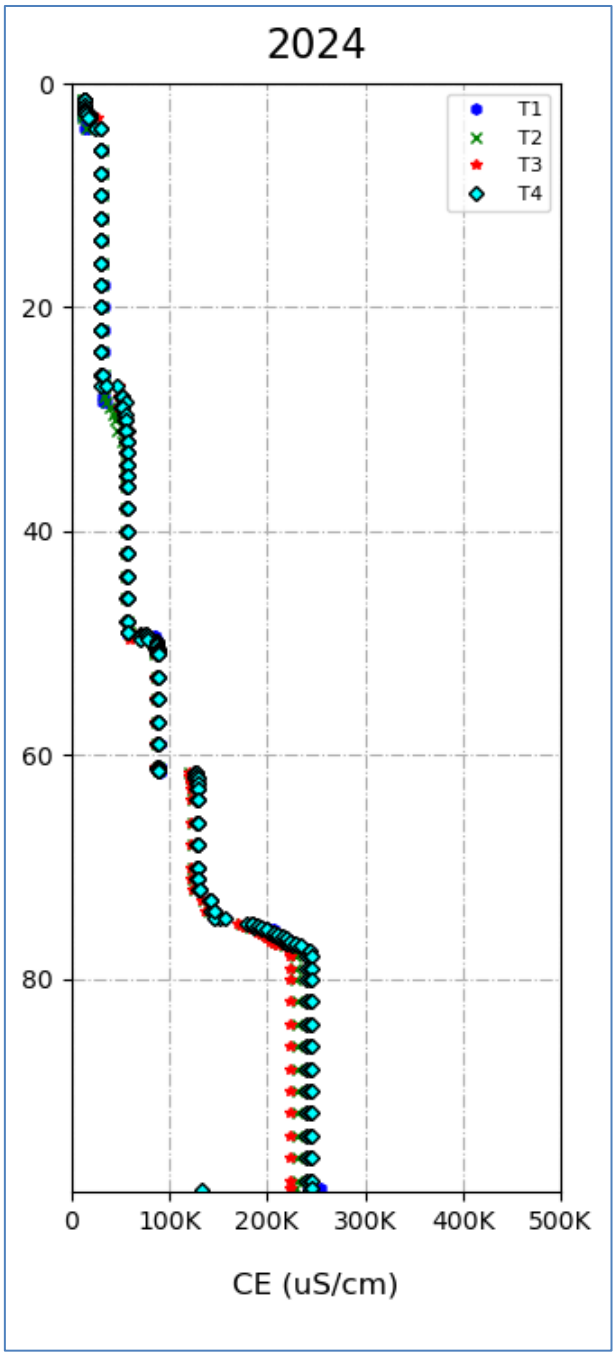
Figura 5-52 Perfiles de C.E. en el punto PP-01 año 2024



Nota: El pozo PP-01, cuenta con restricción de acceso para el mes de septiembre.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-53 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto PP-01



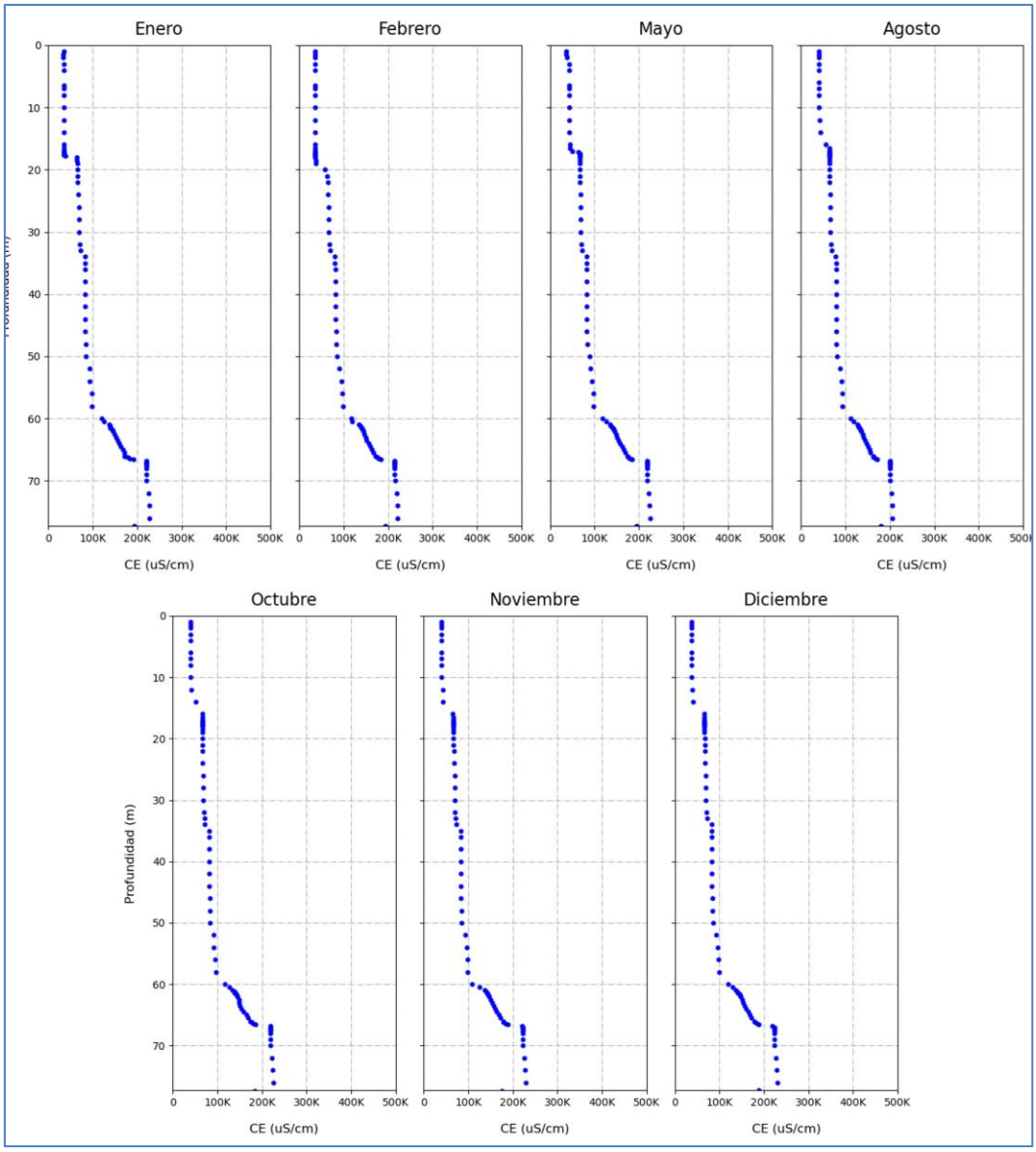
Fuente: Elaboración propia

5.7.2.5 PP-02

En la Figura 5-54 y la Figura 5-55, muestran los resultados de los perfiles realizados durante el 2024 para el punto PP-02.

La zona de transición de conductividades eléctricas se presenta entorno a los 20 a 67 m de profundidad, con un aumento más pronunciado entre los 60 y 67 m, entorno a los 67 m muestra una interfase estable en su base o piso desde donde se registran valores superiores a los 200.000 µS/cm característicos de salmuera.

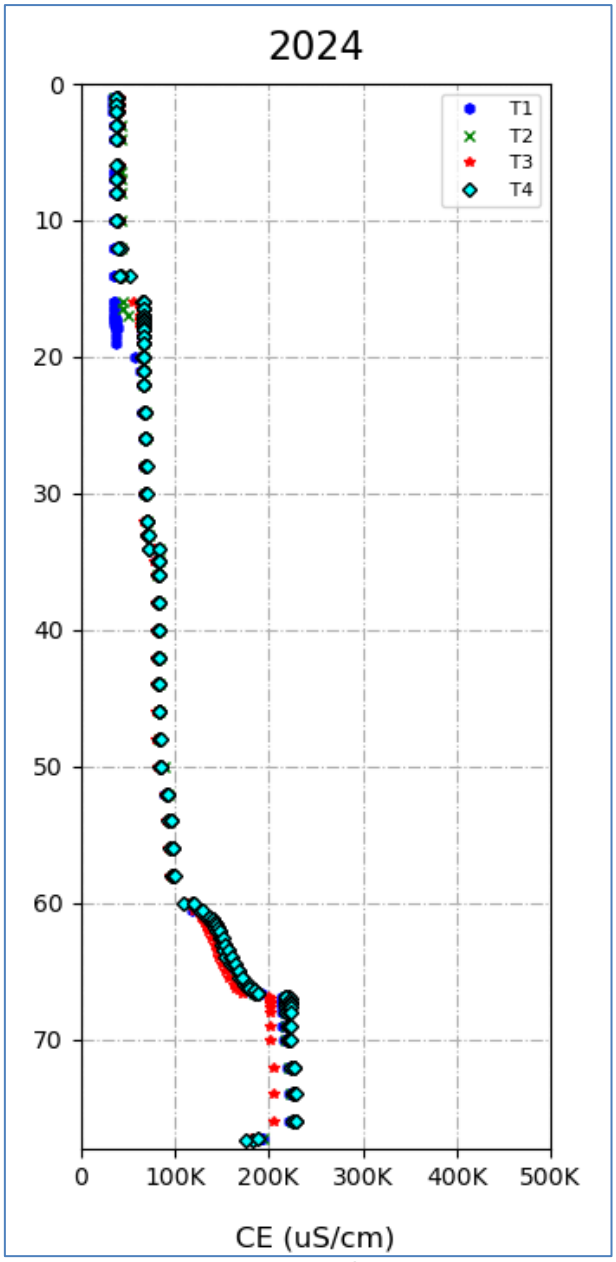
Figura 5-54 Perfiles de C.E. en el punto PP-02 año 2024



Nota: El pozo PP-02, cuenta con restricción de acceso para el mes de septiembre.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-55 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto PP-02

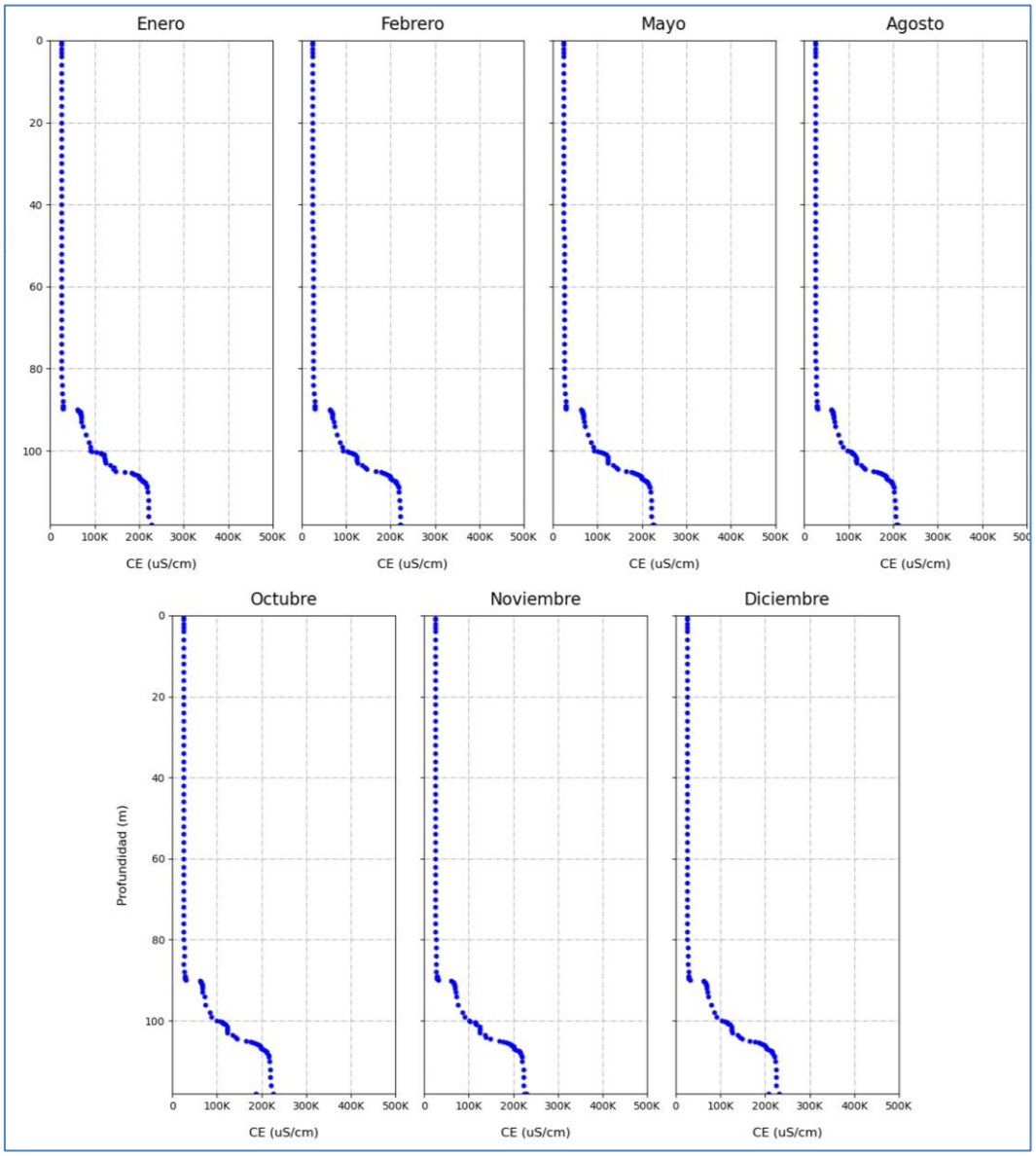


Fuente: Elaboración propia

5.7.2.6 PP-03

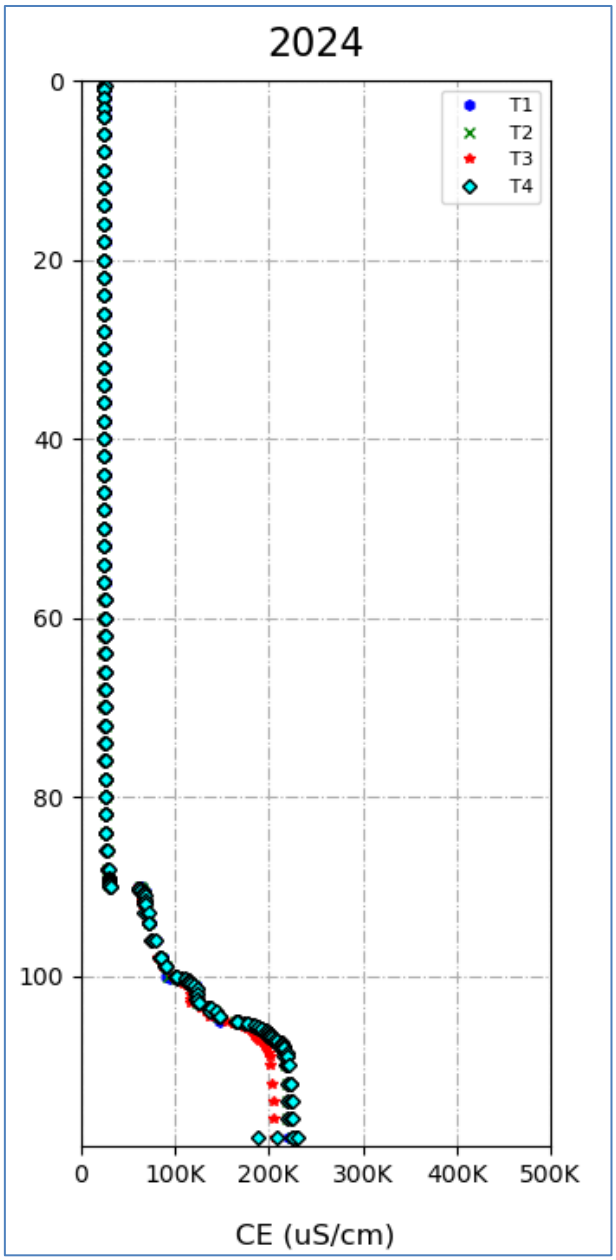
Las campañas de 2024 de perfiles de conductividad en el punto PP-03 muestran que la interfase salina se presenta desde los 90 hasta 110 m de profundidad, donde la conductividad eléctrica aumenta de manera gradual a valores por sobre los 200.000 µS/cm (Figura 5-56 y Figura 5-57).

Figura 5-56 Perfiles de C.E. en el punto PP-03 año 2024



Nota: El pozo PP-03, cuenta con restricción de acceso para el mes de septiembre.
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-57 Perfiles trimestral 202 de C.E. en el punto PP-03

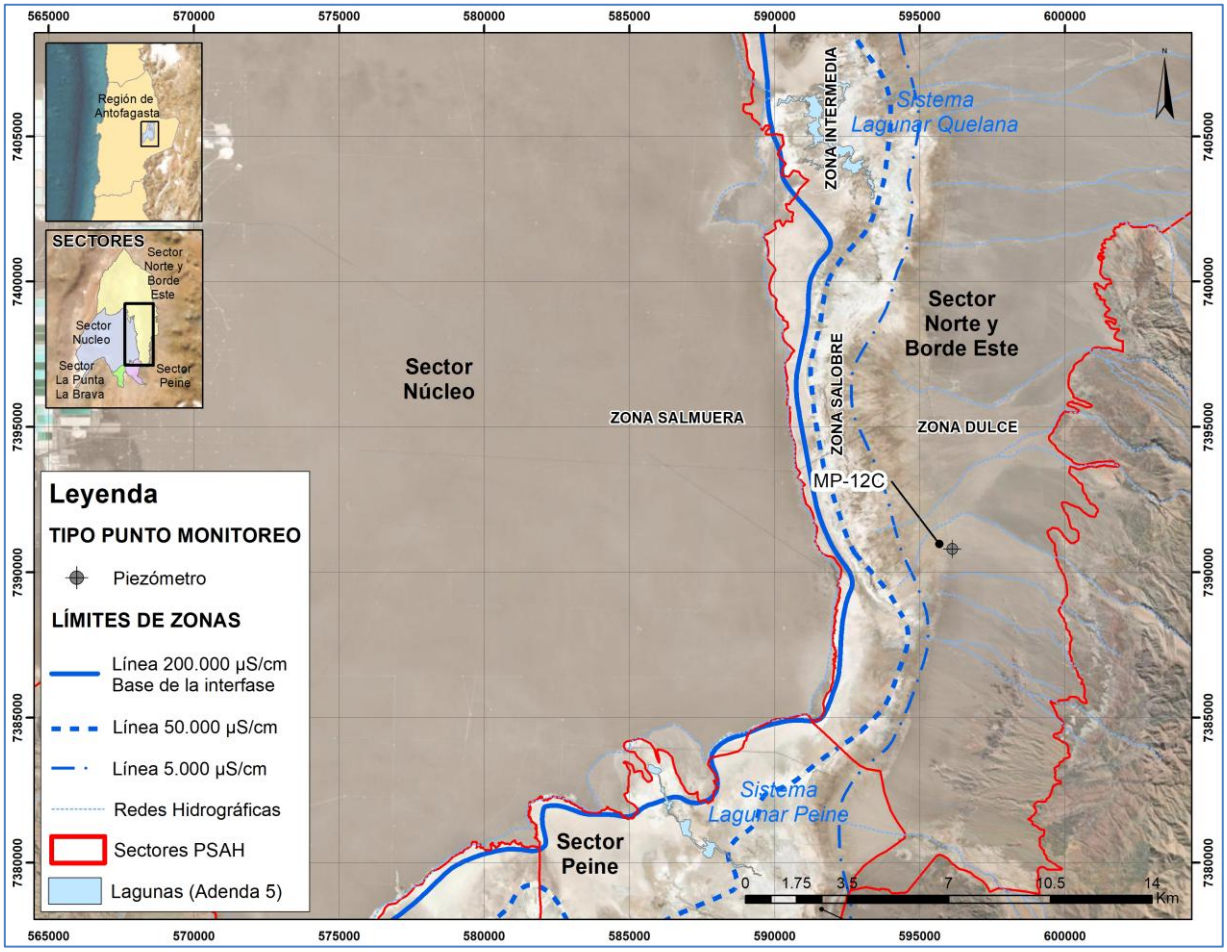


Fuente: Elaboración propia

5.7.3 Sector Norte y Borde Este

En la Figura 5-58 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 5-58 Ubicación puntos de medición de perfiles de conductividad eléctrica, Sector Norte y Borde Este

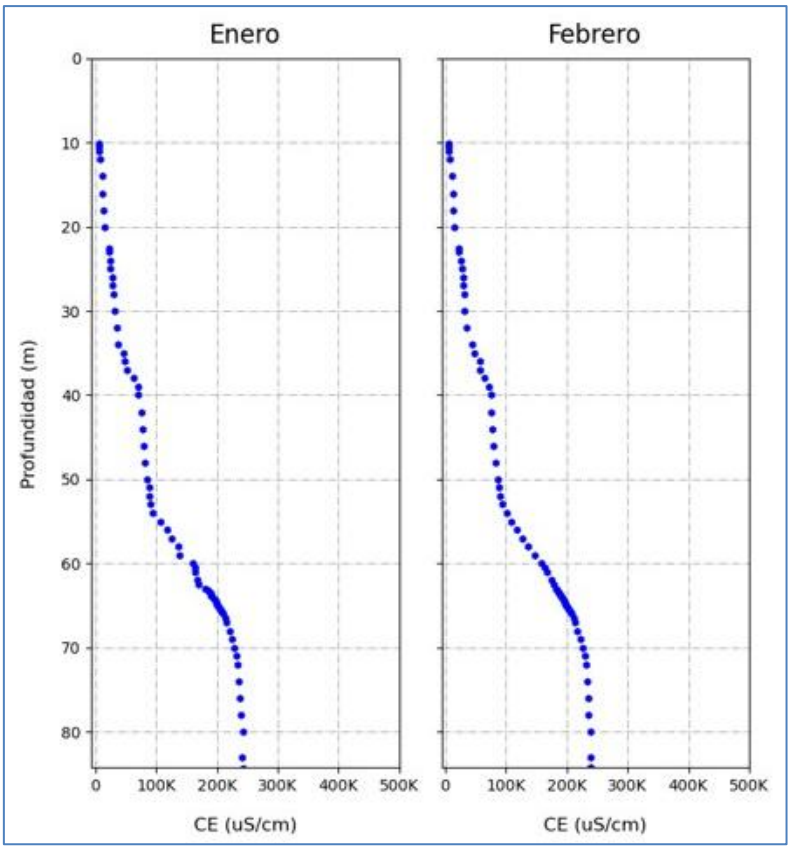


Fuente: Elaboración propia

5.7.3.1 MP-12C

En la Figura 5-59 se observan los resultados para las campañas de medición de perfiles de conductividad eléctrica para el año 2024, donde se muestran solo dos perfiles para los meses de enero y febrero, ya que, el resto del periodo no fue posible realizar mediciones debido a restricción de acceso, por parte de la comunidad de Socaire (mayor detalle en la sección 4.4.2). Dada la escasez de datos, no es posible analizar el comportamiento de la interfase salina para el pozo MP-12C en el periodo anual 2024 (Figura 5-60).

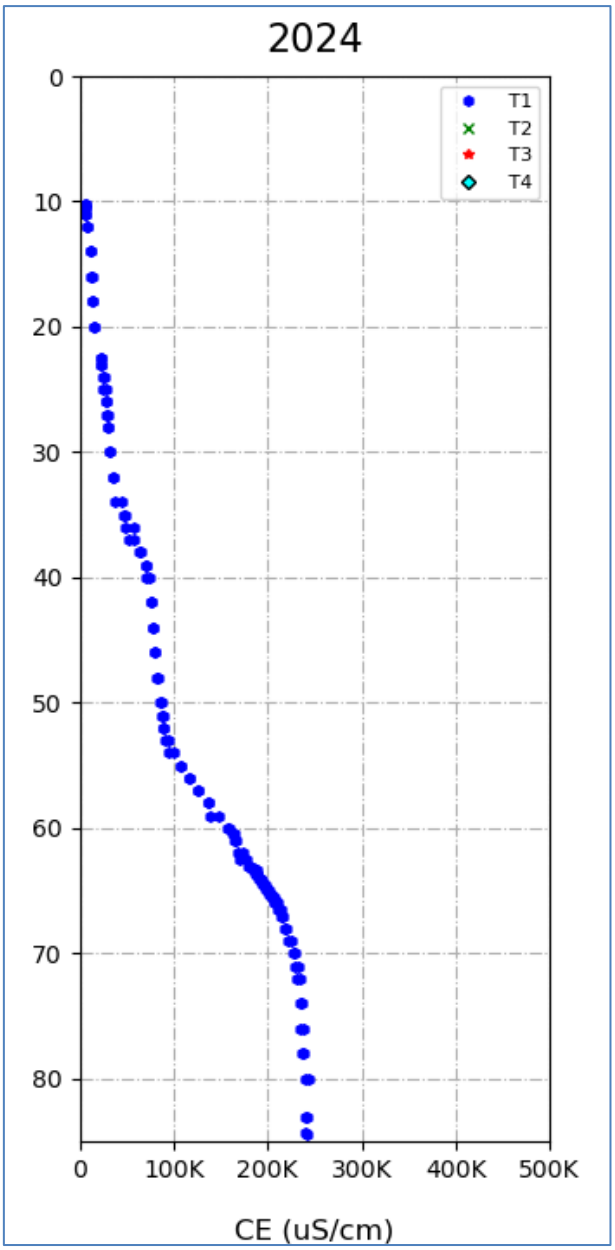
Figura 5-59 Perfiles de C.E. en el punto MP-12C año 2024



Nota: El pozo MP-12C se encuentra con acceso restringido por la Comunidad de Socaire los meses de mayo, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-60 Perfiles trimestral 2024 de C.E. en el punto MP-12C



Nota: Debido a la restricción de acceso por parte de la Comunidad de Socaire para el pozo MP-12C, solo se grafica el primer trimestre (T1) para el pozo, con dos meses de datos.

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 2024, 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 5-61, Figura 5-74 y Figura 5-87.

Como se menciona en la sección 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.

Dado el monitoreo comprometido se cuenta con mediciones trimestrales en los meses de enero, abril, julio y octubre. Por otro lado, debido a la activación en diciembre 2023 y diciembre 2024 de la Fase Única del PAT sector Alerta Acuífero, según se indica en la sección 6.3.6.1 de este Informe, se aumentó la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual, por lo que se cuentan con mediciones mensuales, para los meses de enero, febrero y diciembre[1] de 2024. Además, debido a la activación durante el mes de julio 2024 de la Fase II del PAT del sector Alerta Núcleo, también se aumentó la frecuencia de monitoreo de trimestral a mensual en agosto y septiembre 2024. De lo anterior se tiene que para el año 2024 se cuentan con mediciones para los meses de enero, febrero, abril, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre[1].

Se debe tener en cuenta que 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 2024 y los motivos asociados.

En el Anexo H-1 se entregan los resultados y/o registros de las campañas del año 2024, de los meses de enero, febrero, abril, agosto, septiembre y octubre[25], 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 mismas tablas se indica que los monitoreos de 2024 fueron realizados por la ETFA ANAM y CEA como subcontrato de la anterior mencionada.

5.8.1 Conductividad Eléctrica en el Salar de Atacama

La conductividad eléctrica ha sido un parámetro de clasificación del tipo de agua, utilizado en la evaluación ambiental, para poder hacer la distinción entre aguas que son parte del Núcleo (salmuera) y las aguas que se encuentran en las cuencas aportantes (agua dulce – salobre). Para facilitar el entendimiento del análisis que se presenta a continuación, se entregan en la Tabla 5-22 los rangos de conductividad que se usaba hasta el año 2023 para clasificar las muestras, los cuales fueron clasificados acorde a las características químicas de las aguas en la RCA 021/2016 y la **Tabla 5-23** que actualiza levemente estos valores.

Tabla 5-22 Clasificación de los tipos de agua

Tipo de Agua	SDT (mg/l)	CE (µS/cm)
Dulce	0 – 4.200	0 – 4.500
Salobre	4.200 – 200.000	4.500 – 200.000
Salmuera	>200.000	>200.000

Fuente: Tabla 7-6 Anexo 1 Adenda 5

Tabla 5-23 Zonas hidroquímicas, características principales y relación con unidades geológicas

Zona Hidroquímica	CE (µS/cm)
Zona Dulce	<5.000
Zona Salobre	Entre 5.000 y 50.000
Zona Intermedia	Entre 50.000 y 200.000
Zona Salmuera	>200.000

Fuente: Adaptada de Cuarta Actualización del Modelo Albemarle, 2025

[25] Se hicieron campañas en diciembre, pero estos datos están en proceso de revisión con ETFA, al desarrollar el presente informe.

5.8.2 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).

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

De las 188 muestras analizadas el 2024, el 59,0% de las muestras (111) presenta un error inferior al 5%, 44 muestras (23,4%) presentan un error entre 5% y 7% (ambos porcentajes inclusive), 33 muestras (17,6%) presentan un error de balance entre 7% y 10% y ninguna muestra presentan un error de balance mayor que 10%, todo lo anterior en valor absoluto.

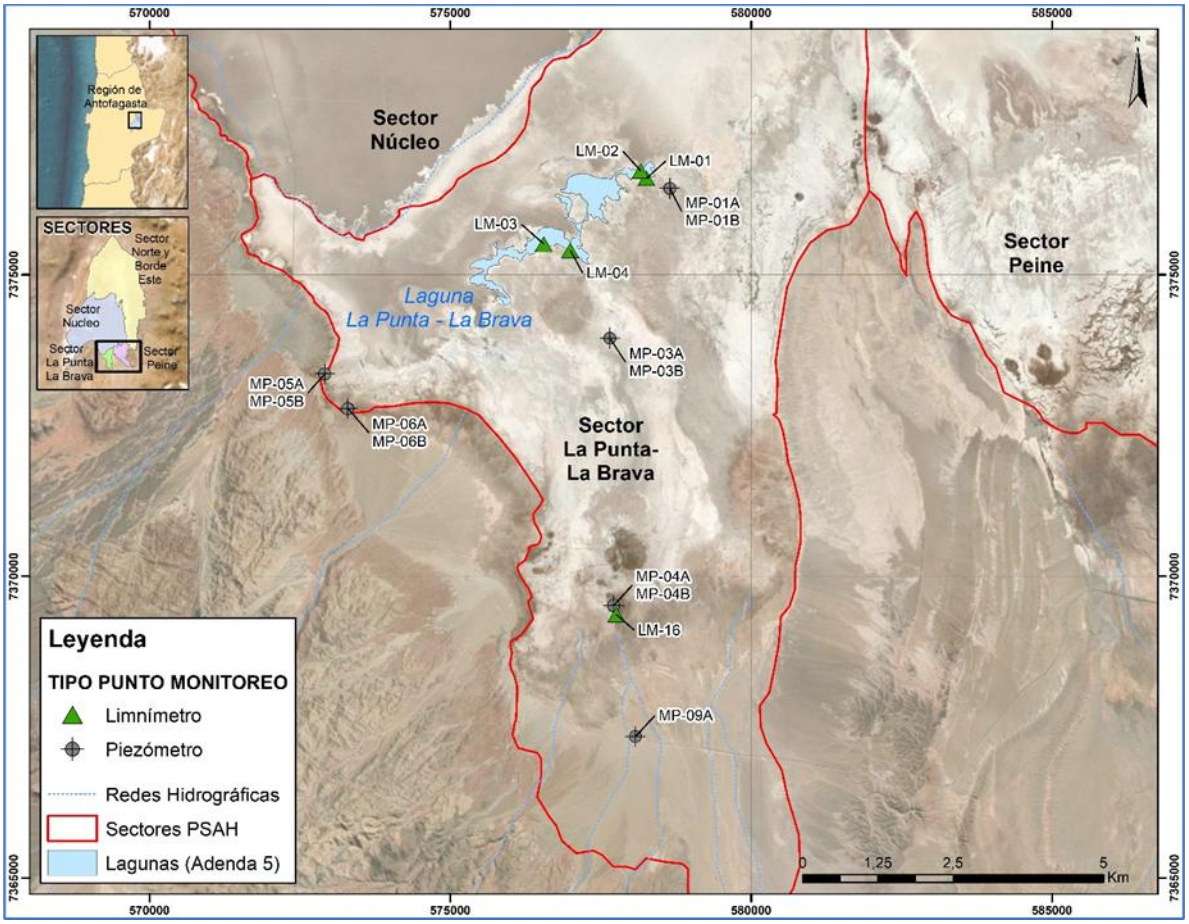
Estos porcentajes de cumplimiento se consideran adecuados por la tipología de muestras analizadas (mayoritariamente muestras dulce – salobres y salmueras), siendo que los lineamientos de la Guía SEA, 2012, “de carácter indicativo y referenciales”, son aplicables para aguas dulces y no consideraría las aguas dulce – salobres y salmueras. Porcentajes del error del balance iónico menores a 10% como valor absoluto se consideran aceptables de acuerdo con la ETFA ANAM (ver carta ANAM R14/2025 en Anexo M), debido a que se pueden esperar errores más altos asociado 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 químicos más del pH y conductividad eléctrica (los otros parámetros se pueden ver en sección 6.1.7). 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 2024.

5.8.3 Sector La Punta – La Brava

La ubicación de los 16 puntos de monitoreo (LM-01, LM-02, LM-03, LM-04, LM-16[26], 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 5-61.

Figura 5-61 Localización puntos de monitoreo Sector La Punta – La Brava



Fuente: Elaboración propia

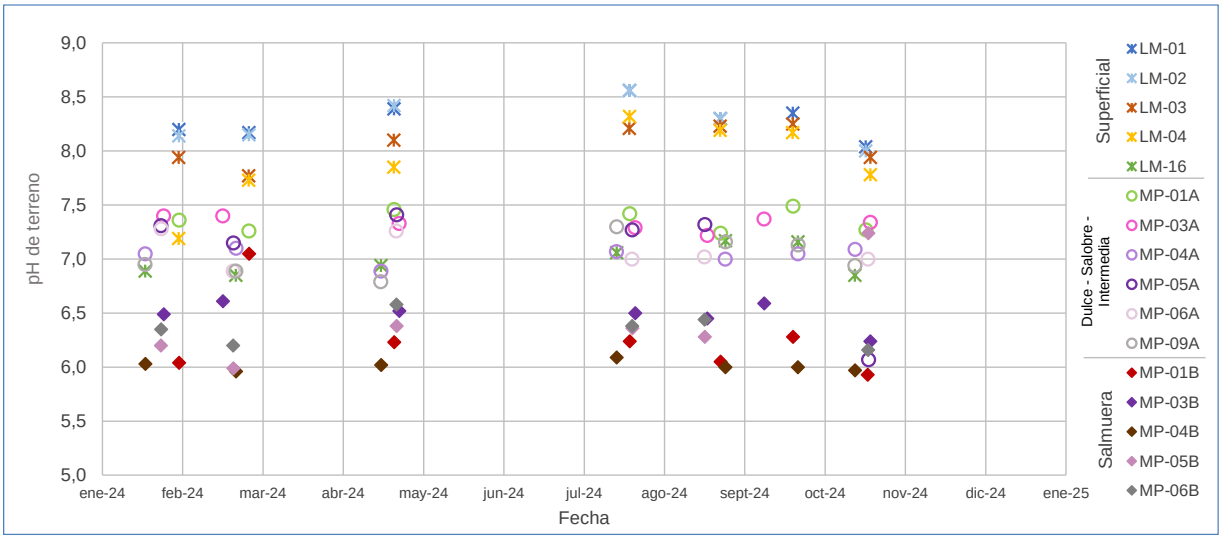
[26] LM-16 corresponde a un pozón de agua en sector de Tilopozo, y dada su composición y fuente de recarga no permite hacer una relación directa de su evolución química respecto a los otros puntos de agua superficial del sector.

5.8.3.1 Parámetros Fisicoquímicos in situ

5.8.3.1.1 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 7,19 (LM-04) en enero y 8,56 (LM-02) en julio, 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 6,85 y 7,17). Las aguas dulce – salobres presentan rangos de pH intermedios, con medidas entre 6,07 en MP-05A en octubre y 7,49 en MP-01A en septiembre, mientras que las salmueras son las que presentan los valores pH más bajos, en general con valores inferiores a 7, que varían entre 5,99 (MP-05B) y 6,61 (MP-03B), a excepción del MP-05B en el mes de octubre que presentó un valor de 7,24. Lo anterior se puede ver en la Figura 5-62.

Figura 5-62 Variación pH *in situ* Sector La Punta-La Brava 2024



Fuente: Elaboración propia

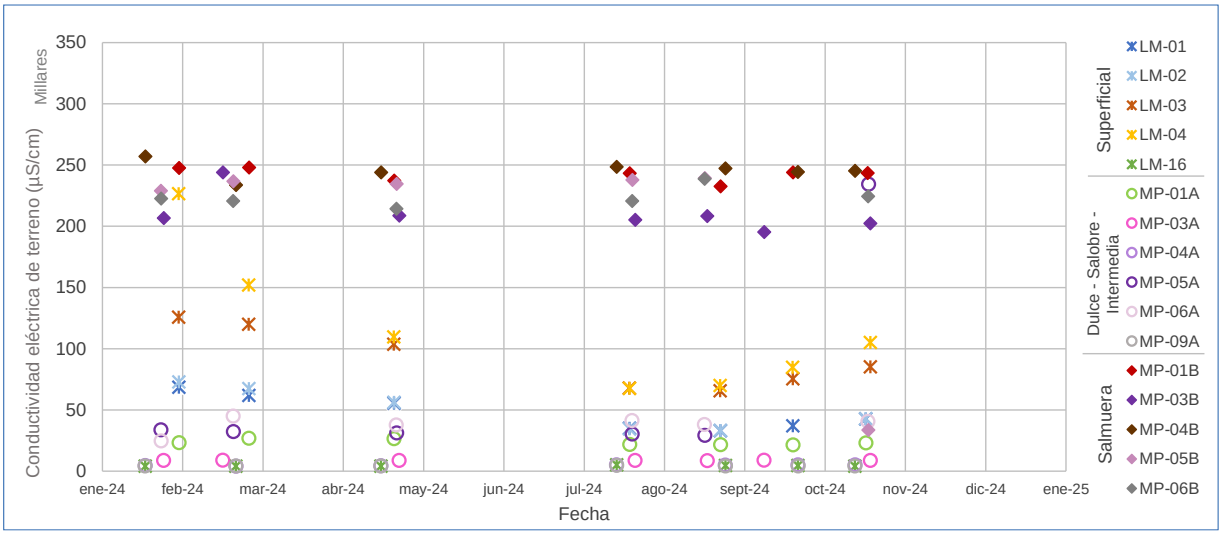
5.8.3.1.2 Conductividad Eléctrica *in situ*

Respecto a la conductividad eléctrica (CE) del sector La Punta-La Brava (En el sector LP-LB se observan dos tendencias principales en las aguas superficiales. Por un lado, en las lagunas de La Punta – La Brava (LM-01, LM-02, LM-03 y LM-04), los valores de conductividad corresponden a agua salobre y muestran una tendencia a la baja hasta julio, mes en el que las conductividades comienzan a aumentar nuevamente. Por otro lado, en el sur, el punto LM-16, ubicado en Tilopozo, presenta los menores valores de conductividad eléctrica en comparación con el resto de las lagunas, registrando valores entre 4.110 y 5.194 µS/cm en 2024. En general, las aguas superficiales presentan valores intermedios que oscilan entre 33.170 µS/cm en LM-01 y 116.644 µS/cm en LM-04, excepto en el punto LM-16, por su ubicación geográfica.

Las muestras tomadas en salmuera (pozos MP-01B, MP-04B, MP-05B y MP-06B), tienen valores que varían aproximadamente entre los 214.300 µS/cm y los 257.100 µS/cm, a excepción de un registro anómalo en el punto MP-05B, correspondiente a 33.720 µS/cm en octubre 2024 y un registro en el punto MP-03B de 195.300 µS/cm en septiembre.

Las aguas subterráneas de las zonas dulce – salobre presentan conductividades entre 4.127 µS/cm (MP-04A) y 45.080 µS/cm (MP-06A) ambas muestras del mes de febrero corresponden a los valores más bajos de CE del sector. El único punto con valores anómalos es MP-05A con una conductividad de 234.400 µS/cm por sobre el rango esperado en diciembre de 2024, que podría asociarse a un error de medida de la EFTA. Lo anterior se puede observar en Figura 5-63.

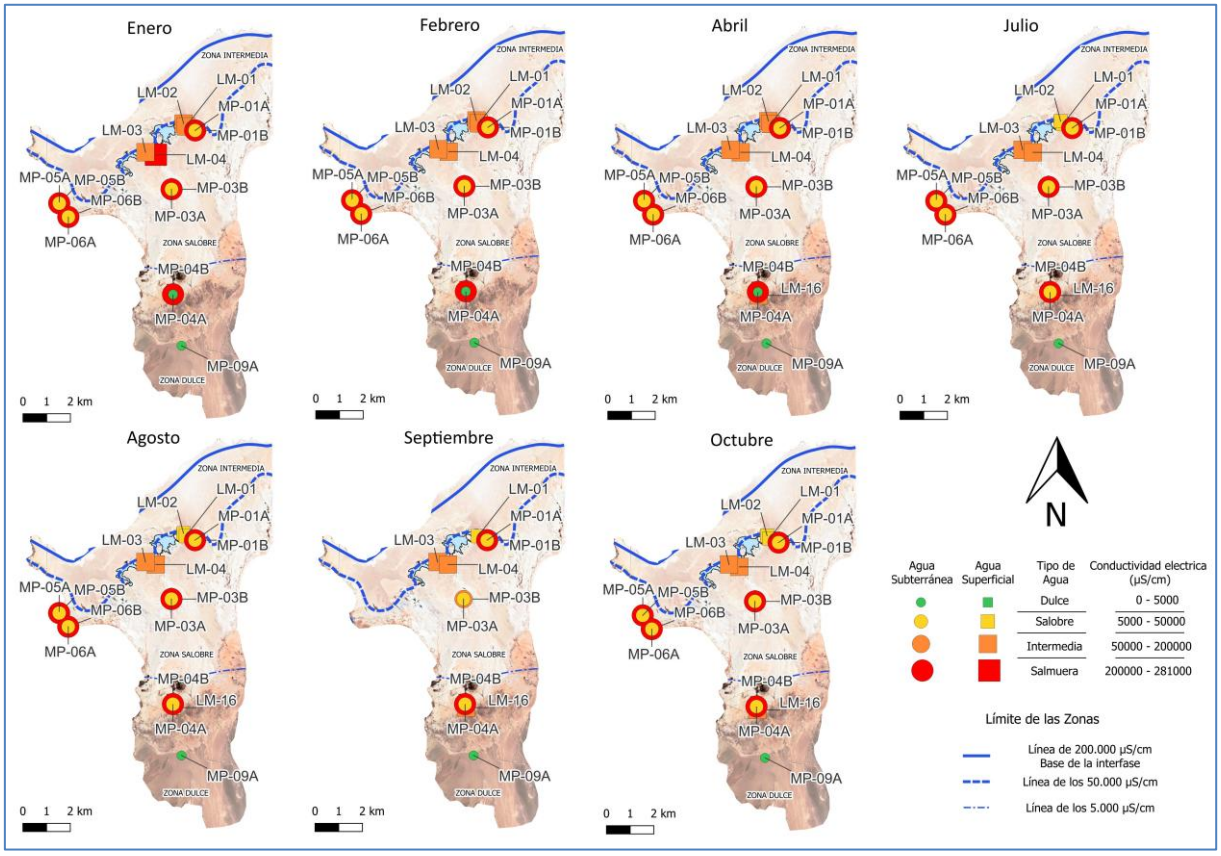
Figura 5-63 Variación durante el año 2024 de CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-64 se presenta el mapa, para el Sector La Punta-La Brava, que muestra la variación temporal de la conductividad eléctrica durante el 2024, y su respectiva clasificación del tipo de agua de los puntos monitoreados. En dicha Figura (Figura 5-64) se observa, que en general los puntos monitoreados en La Punta – La Brava no presentan variaciones importantes en sus conductividades durante el 2024, y los cambio en las clasificaciones de agua se deben a valores que salen de los rangos establecidos por escasos µS/cm, lo cual no representa cambios realmente importantes en las condiciones de estas aguas. No obstante, se observan algunas tendencias particulares, en el punto MP-04-A se observa que cambia su clasificación de agua salobre a dulce, del primer al segundo semestre 2024. Y que de los puntos superficiales ubicados en la zona intermedia (LM-01, LM-02, LM-03 y LM-04), los puntos LM-01 y LM-02 se clasifican como agua intermedia para todo el periodo, pero en el caso de los puntos LM-03 y LM-04, se clasifican como agua intermedia en el primer semestre, para cambiar a clasificarse como agua salobre el segundo semestre.

Figura 5-64 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava 2024



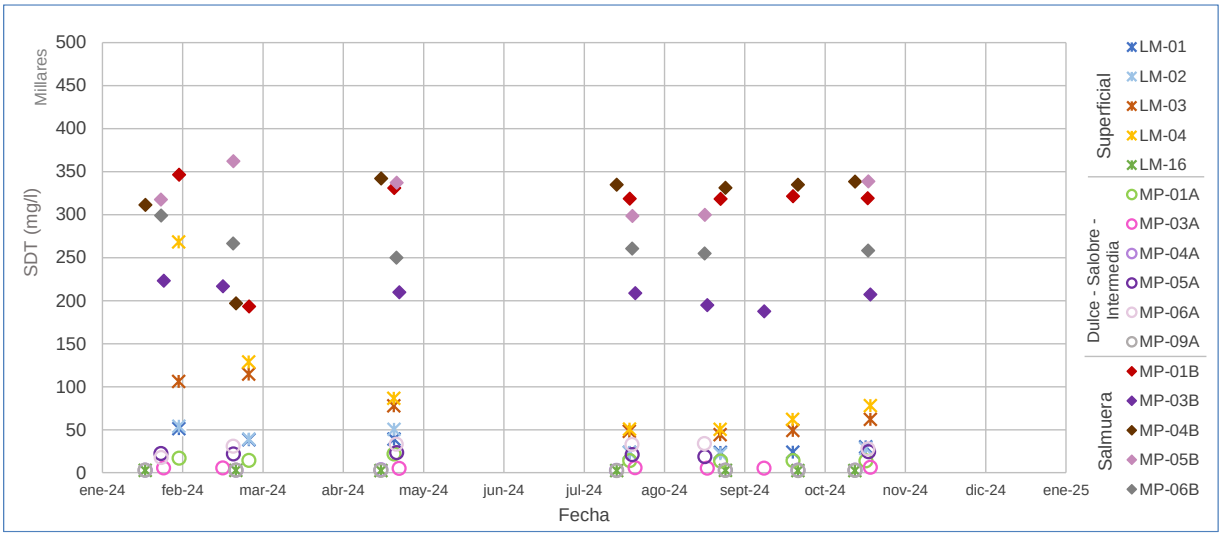
Nota: Dato anómalo en enero 2024 en el punto LM-04
Fuente: Elaboración propia

5.8.3.2 Parámetros Fisicoquímicos de laboratorio

5.8.3.2.1 Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 5-65 se presentan los resultados de laboratorio del análisis de SDT en el Sector La Punta-La Brava. La carga de material disuelto, como es esperable, es mucho mayor en las muestras de salmuera, que varían entre los 187.500 mg/l en septiembre y 362.100 mg/l en febrero. Los SDT de las muestras de las lagunas (superficiales) están en un rango intermedio de concentraciones, el valor mínimo es de 22.080 mg/l en LM-02 y el máximo es de 268.100 mg/l en LM-04. Es importante destacar que para el punto LM-16, en Tilopozo, los valores de sólidos disueltos son menores, manteniéndose en un rango entre 2.396 mg/l y 2.672 mg/l. Para las aguas subterráneas someras (dulces, salobres e intermedias) los SDT son menores a los 2.530 mg/l en julio y mayores a 33.860 mg/l en agosto.

Figura 5-65 Variación Temporal de SDT en laboratorio, Sector La Punta-La Brava 2024



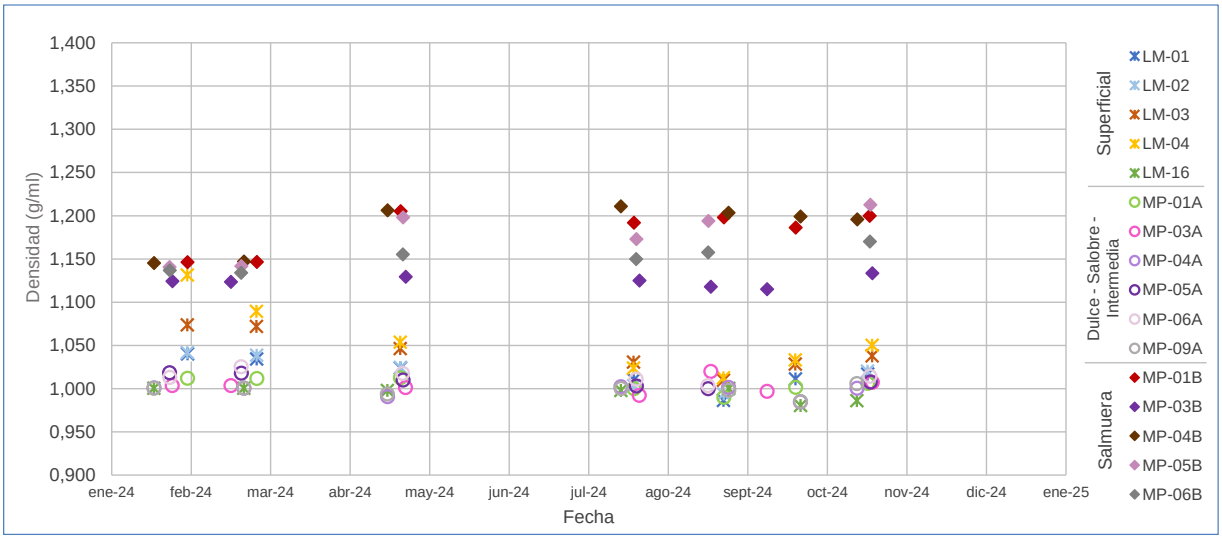
Fuente: Elaboración propia

5.8.3.2.2 Densidad

Con respecto a la densidad, los valores para las salmueras son mayores que aquellos de las aguas del acuífero dulce – salobre, con mediciones entre 1,134 g/ml en febrero y 1,213 g/ml en octubre. Las aguas dulce – salobres, como es de esperar por la menor carga de material disuelto, tienen mediciones entre 0,985 g/ml en septiembre y 1,025 g/ml en febrero. Las aguas superficiales de las lagunas tienen densidades que se circunscriben entre las de las salmueras y las aguas dulce – salobres, con densidades entre 0,980 g/ml en septiembre y 1,132 g/ml en enero.

En la Figura 5-66 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 2024. Los puntos LM-01 a LM-04 muestran que la densidad de las aguas aumenta relativamente entre enero y abril para luego disminuir pasado el estío y aumentar nuevamente en octubre.

Figura 5-66 Variación Temporal Densidad en Laboratorio, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

5.8.3.3 Elementos Mayoritarios Disueltos-

5.8.3.3.1 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 10.707 mg/l en LM-01 y un máximo de 149.830 mg/l LM-04. Para las aguas del afloramiento LM-16 en las vegas de Tilopozo, la concentración de cloruros es menor a los anteriores, con un mínimo de 894 mg/l y un máximo de 913 mg/l. En estos puntos superficiales se identifica una tendencia a ascender desde julio hasta los registros de octubre.

Por otro lado, las aguas dulce – salobres presentan valores menores a las aguas superficiales lagunares, variando entre un mínimo de 837 mg/l en el punto MP-09A, y un máximo de 15.042 mg/l en el punto MP-06A.

Los pozos que monitorean la salmuera presentan las mayores concentraciones de cloruros, con valores que varían entre un mínimo de 104.435 mg/l en el punto MP-06B y un máximo de 204.748 mg/l en el punto MP-04B. 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 1400 mg/l, sin considerar los registros bajo el límite de detección. Las aguas superficiales lagunares, sin embargo, presentan concentraciones mayores de bicarbonato, llegando a un mínimo de 403,8 mg/l en LM-01 y un máximo de 1309,1 mg/l en LM-04. En el otro extremo, las concentraciones en la salmuera obtenida desde MP-04B son las menores, registrando un mínimo de 211,1 mg/l de bicarbonato disuelto, llegando a un máximo de 671,0 mg/l en MP-04B. Finalmente, los valores de aguas dulces, salobres e intermedias oscilan entre un mínimo de 406,3 mg/l en MP-06A, y un máximo de 469,7 mg/l en MP-06A.

Los valores del nitrato, en los puntos de agua superficial y dulce – salobre oscilan entre un mínimo de 0,71 mg/l en el punto MP-03A (julio), y un máximo 9,61 mg/l en el punto LM-01 (octubre), siendo bajos y similares entre sí. En el caso de la salmuera, presenta dispersión en sus valores más que el agua dulce – salobre y superficial, en 2024 el valor mínimo para en salmuera fue de 2,08 mg/l en MP-04B, mientras que el máximo valor registrado de nitrato fue de 121,43 mg/l en el punto MP-01B. Por otro lado, los valores.

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 dulce – salobres y para la salmuera. Las aguas dulce – salobres oscilan entre un mínimo de 390 mg/l en MP-04A y un máximo de 3.511 mg/l en MP-06A, y entre un mínimo de 7.891 mg/l en MP-01B (sin considerar el valor atípico de febrero 0,037 mg/l en MP-01B) y un máximo de 20.543 mg/l en MP-05B, para las salmueras. 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 dulce – salobres como en el caso de las lagunas. En general, las concentraciones de sulfato en las lagunas durante el 2024, registrándose un mínimo de 408 mg/l en LM-16, y un máximo de 23.231 mg/l en LM-04.

5.8.3.3.2 Cationes mayores

Los cationes mayores que se analizan corresponden a calcio (Ca2+), potasio (K+), magnesio (Mg2+) 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 dulce – salobres, presentan valores semejantes a las concentraciones de las aguas superficiales en lagunas y pozón medido.

Las concentraciones de calcio muestran un rango de variación para las aguas superficiales de entre un mínimo de 135,4 mg/l en las Vegas de Tilopozo (LM-16) y valores entre 258,3 (LM-02) y un máximo de 1.036,0 mg/l en LM-04. Para aguas salobres entre un mínimo de 110,0 mg/l en MP-04A y un máximo de 244,6 mg/l en MP-06A, y para la salmuera entre un mínimo de 289,6 mg/l en MP-05B y un máximo de 1.139,8 mg/l en MP-03B.

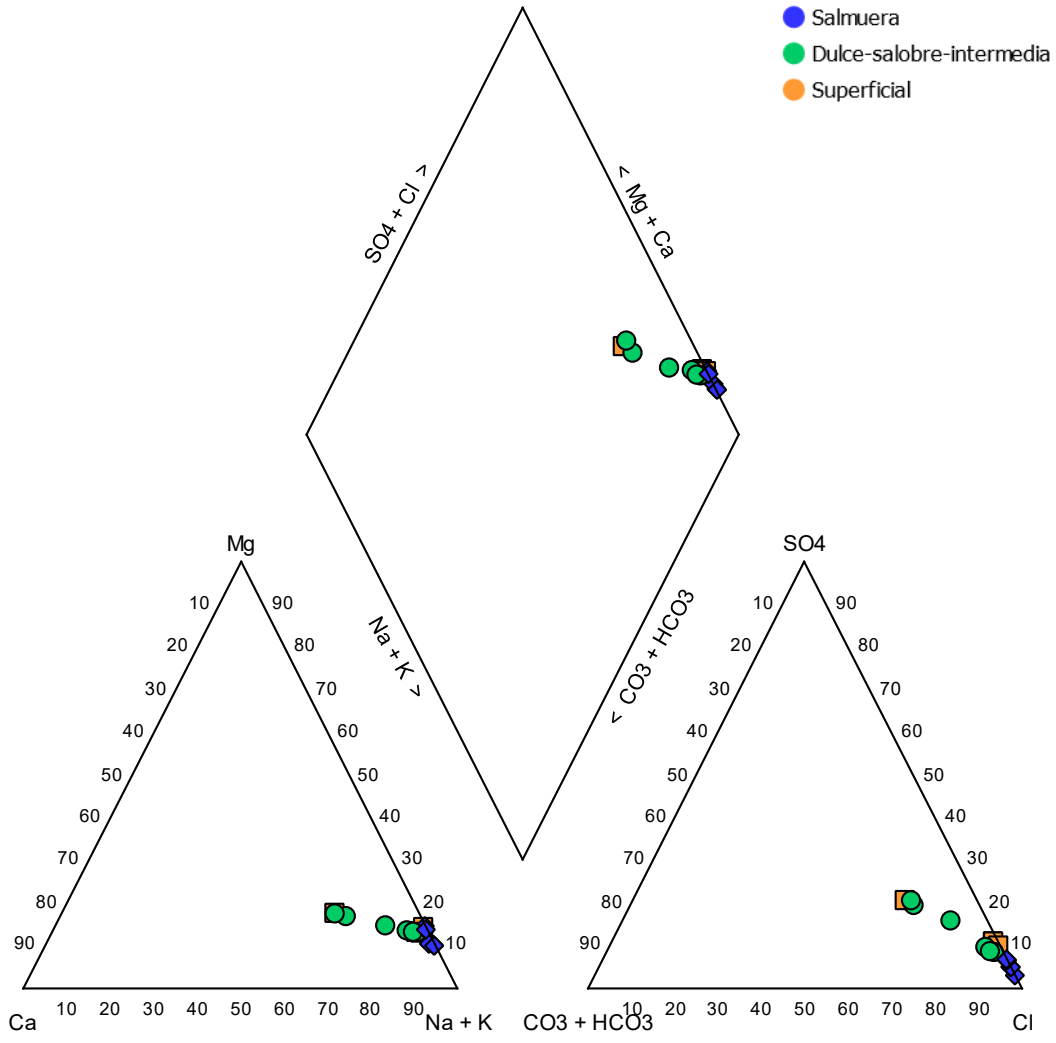
El potasio se presenta estable a lo largo del tiempo, con las mayores concentraciones alcanzadas en la salmuera. El limnímetro LM-16 posee los valores más bajos de potasio, con un mínimo de 71,7 mg/l, y un máximo de 80,2 mg/l. Para el resto de las aguas superficiales las concentraciones de potasio muestran un rango de variación de entre un mínimo de 949,0 mg/l en LM-01, y un máximo de 5.539,0 mg/l en LM-03 (sin considerar el valor anómalo de enero 11.272,0 mg/l en LM-04), para aguas dulce – salobres entre un mínimo de 67,0 mg/l en MP-09ª y un máximo de 1.693,0 mg/l en MP-05A, y para la salmuera entre un mínimo de 5.548,0 mg/l en MP-03B y un máximo de 19.877,0 mg/l en MP-04B.

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 72,8 mg/l, y un máximo de 85,1 mg/l. Las lagunas presentan concentraciones mayores, con un mínimo de 487,3 mg/l en LM-02, y un máximo de 7.301,0 mg/l en LM-03 (enero). Para las aguas dulce – salobres el mínimo registrado es de 68,2 mg/l en MP-04A, y el máximo es de 811,6 mg/l en MP-06A. Finalmente, los pozos profundos (salmuera), alcanzan un mínimo de 3.596,6 mg/l en MP-03B y un máximo de 8.679,4 mg/L en MP-05B.

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 414 mg/l en MP-04A, y un máximo de 6.860 mg/l en MP-06A. Le siguen las lagunas, con un mínimo 5.414 mg/l en LM-02 y un máximo de 73.537 mg/l en LM-04, pero el LM-16 sigue manteniendo concentraciones más bajas que las anteriores, con un mínimo de 455 mg/l y un máximo de 567 mg/l. 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 50.985 mg/l en MP-03B, y un máximo de 103.169 mg/l en MP-01B.

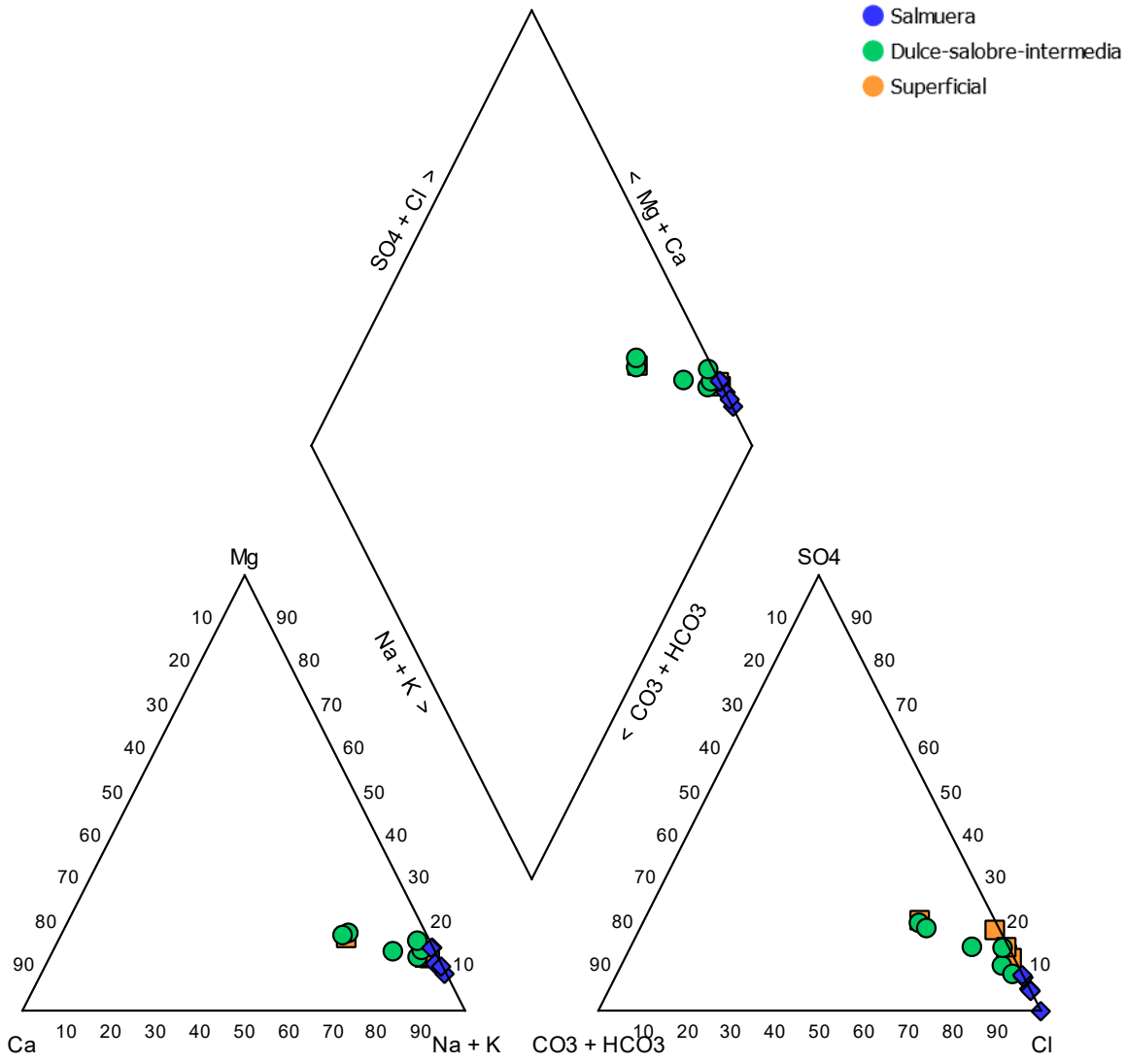
Desde la Figura 5-67 la Figura 5-73, se presentan Diagramas de Piper con las clasificaciones de composición de las aguas de acuerdo con sus concentraciones de elementos mayores, para las campañas de enero, febrero, abril, julio, agosto, septiembre y octubre de 2024. Se puede observar que las muestras corresponden al tipo de cloruradas sódicas. La variación en los contenidos porcentuales de los elementos principales entre las diferentes campañas no ha sido significativa, y su clasificación se mantiene constante a lo largo de las campañas del año 2024.

Figura 5-67 Diagrama de Piper, campaña enero 2024, Sector La Punta-La Brava



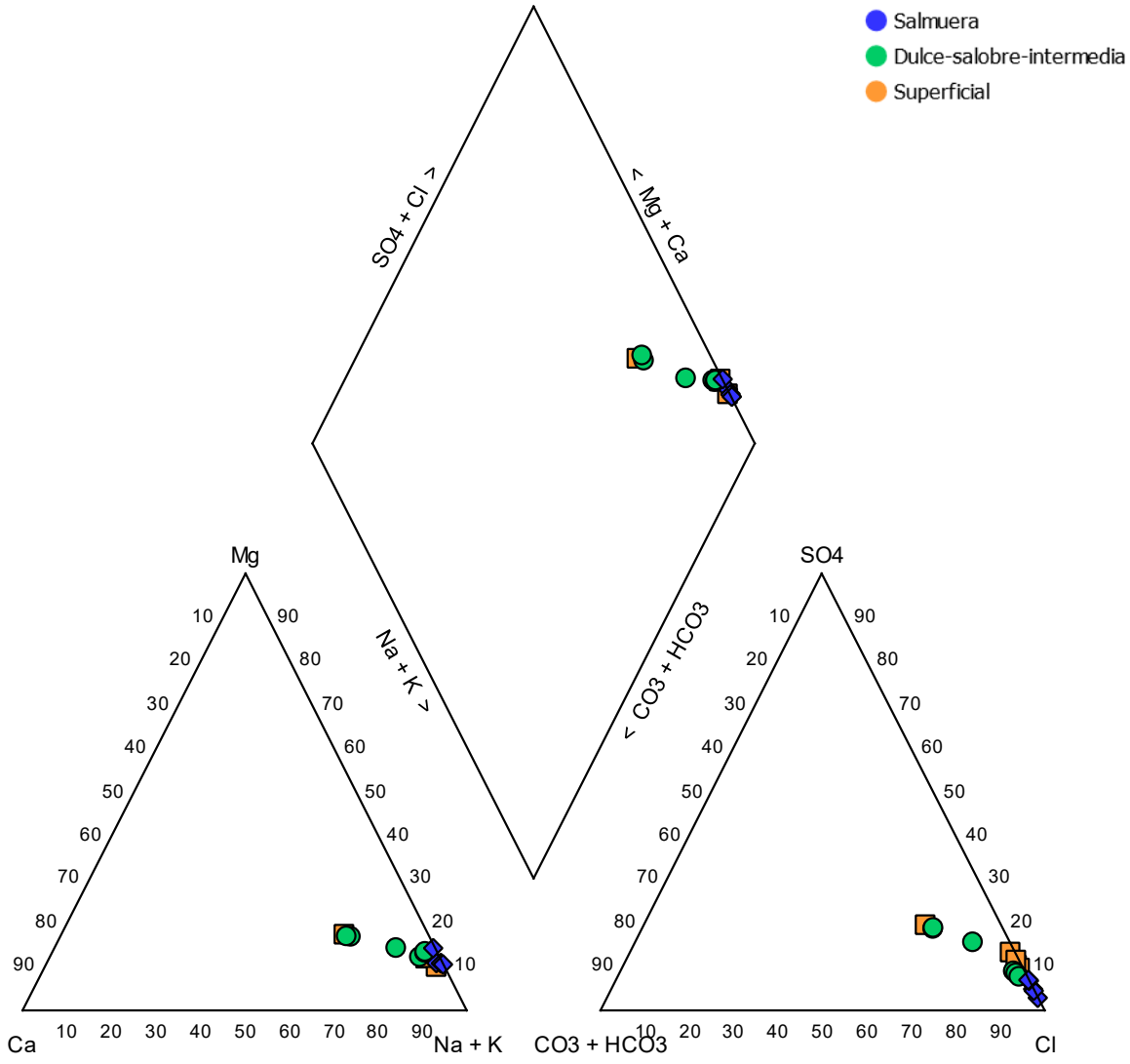
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-68 Diagrama de Piper, campaña febrero 2024, Sector La Punta-La Brava



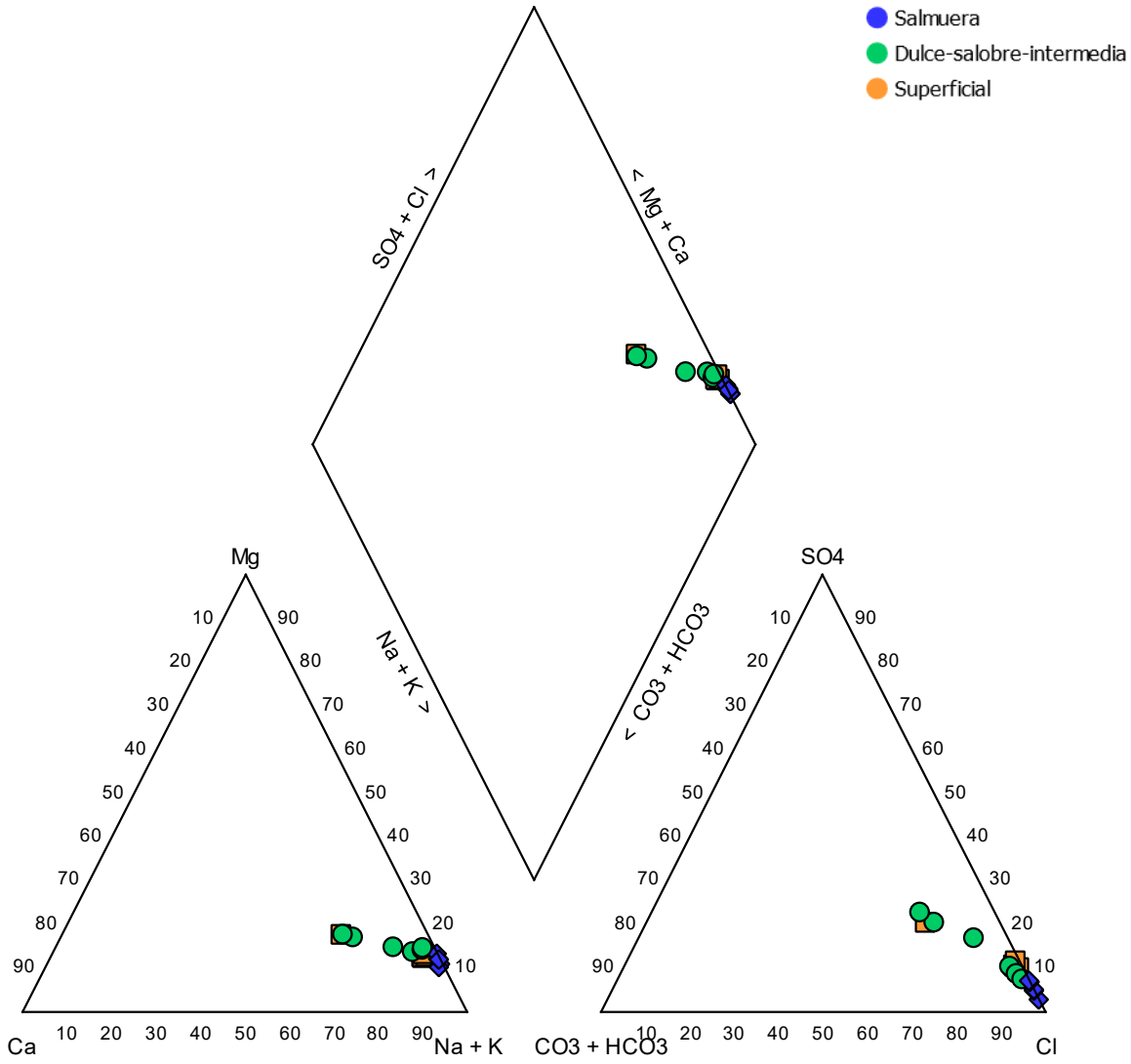
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-69 Diagrama de Piper, campaña abril 2024, Sector La Punta-La Brava



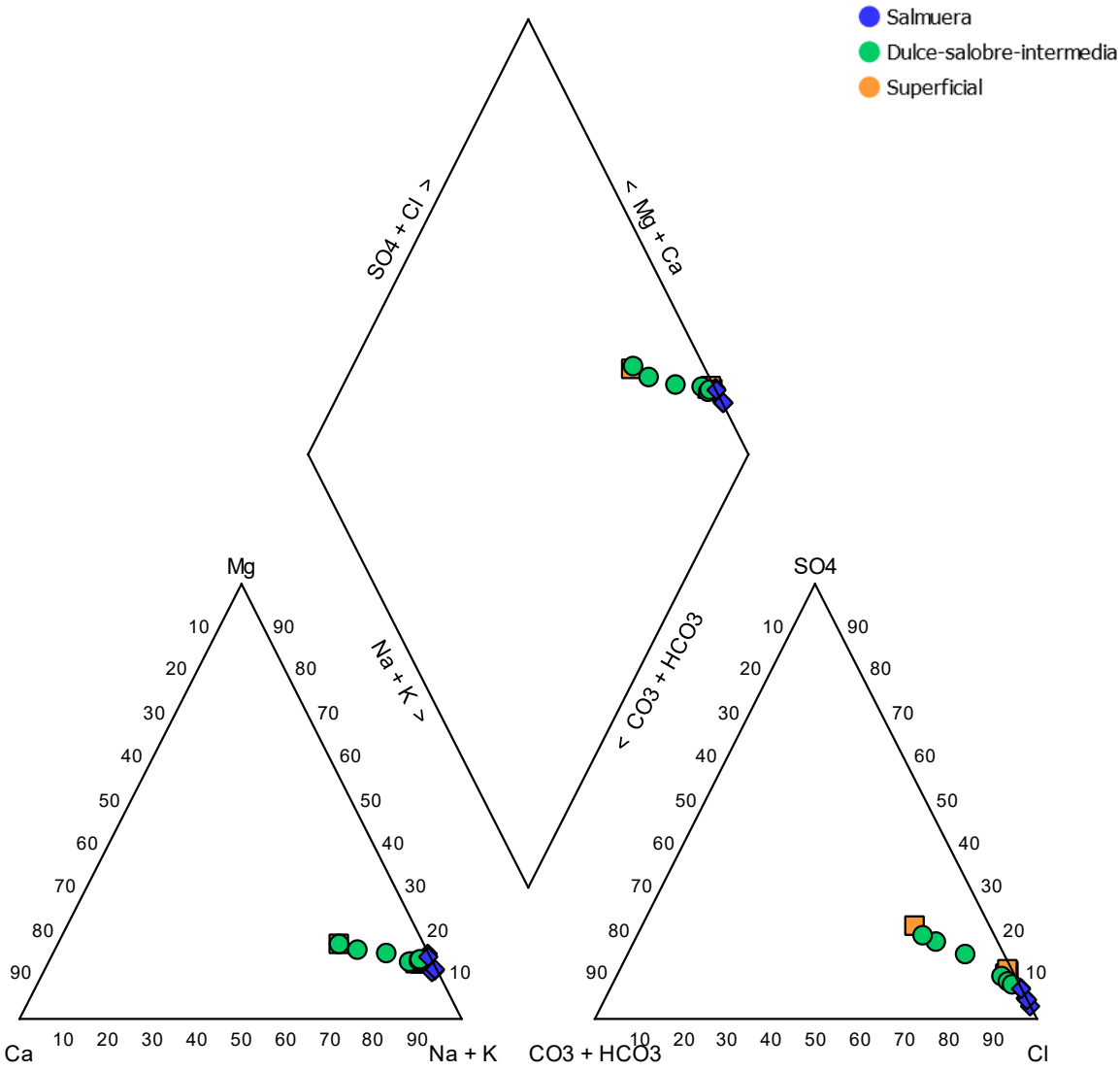
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-70 Diagrama de Piper, campaña julio 2024, Sector La Punta-La Brava



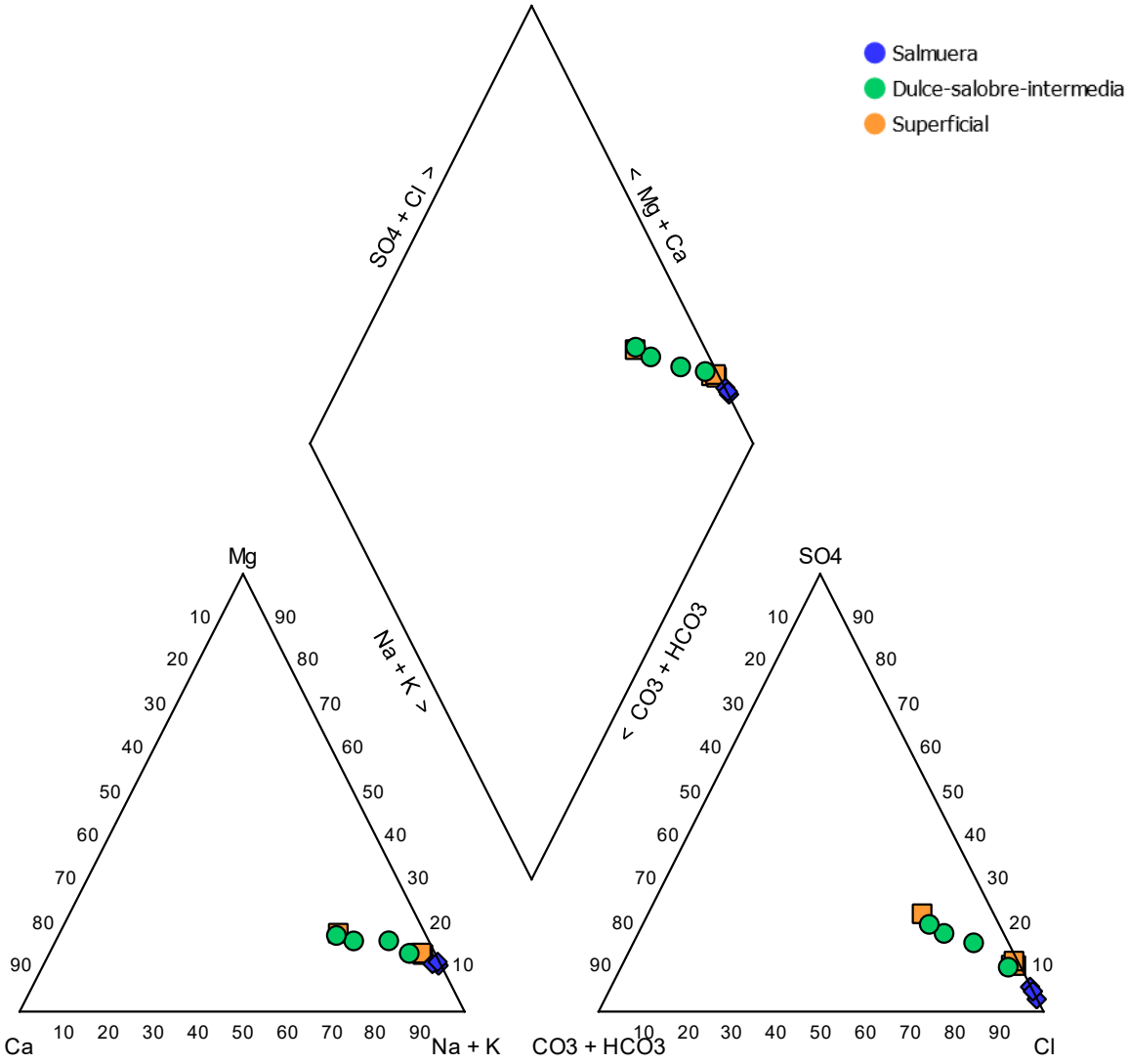
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-71 Diagrama de Piper, campaña agosto 2024, Sector La Punta-La Brava



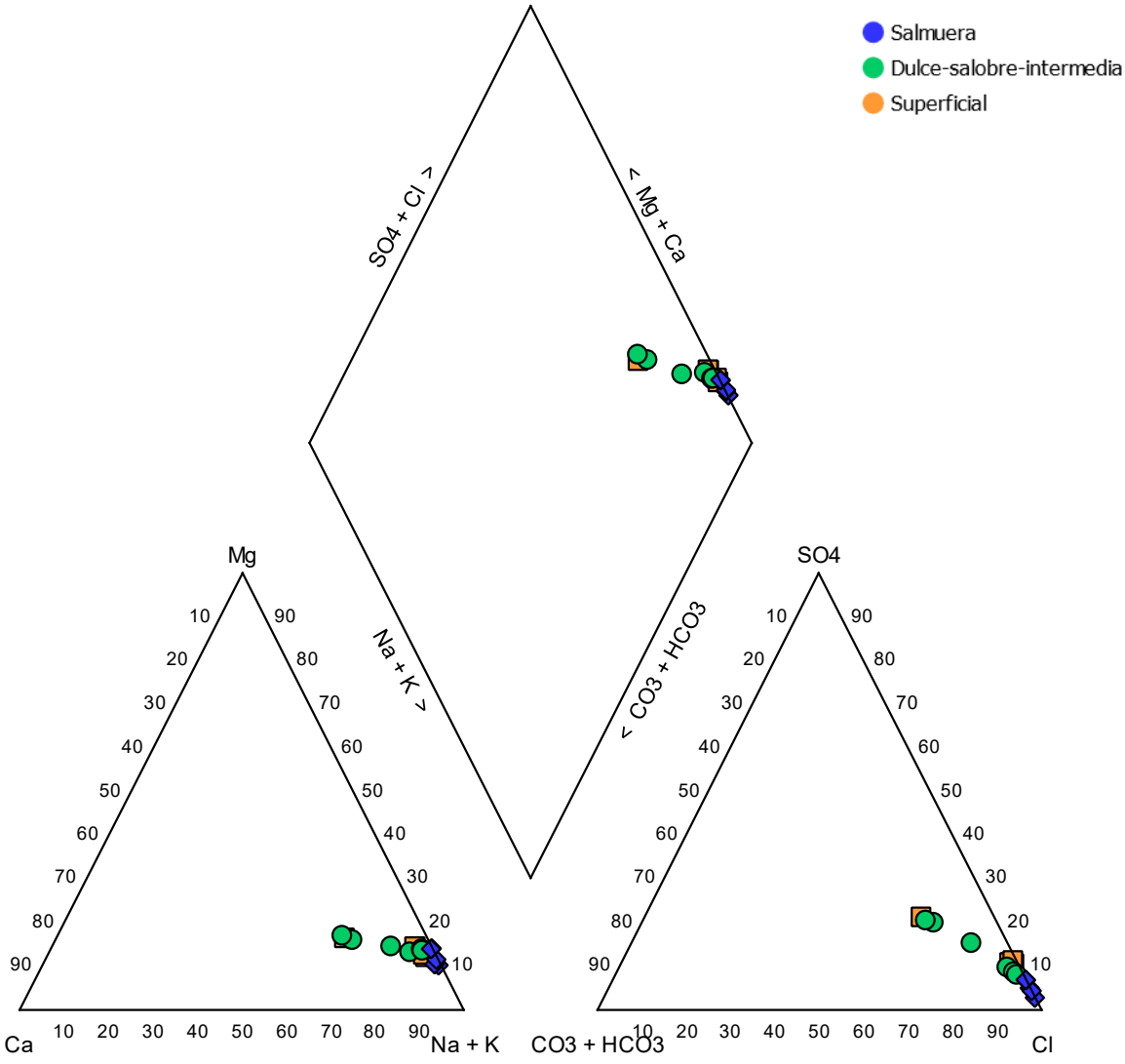
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-72 Diagrama de Piper, campaña septiembre 2024, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-73 Diagrama de Piper, campaña octubre 2024, Sector La Punta-La Brava

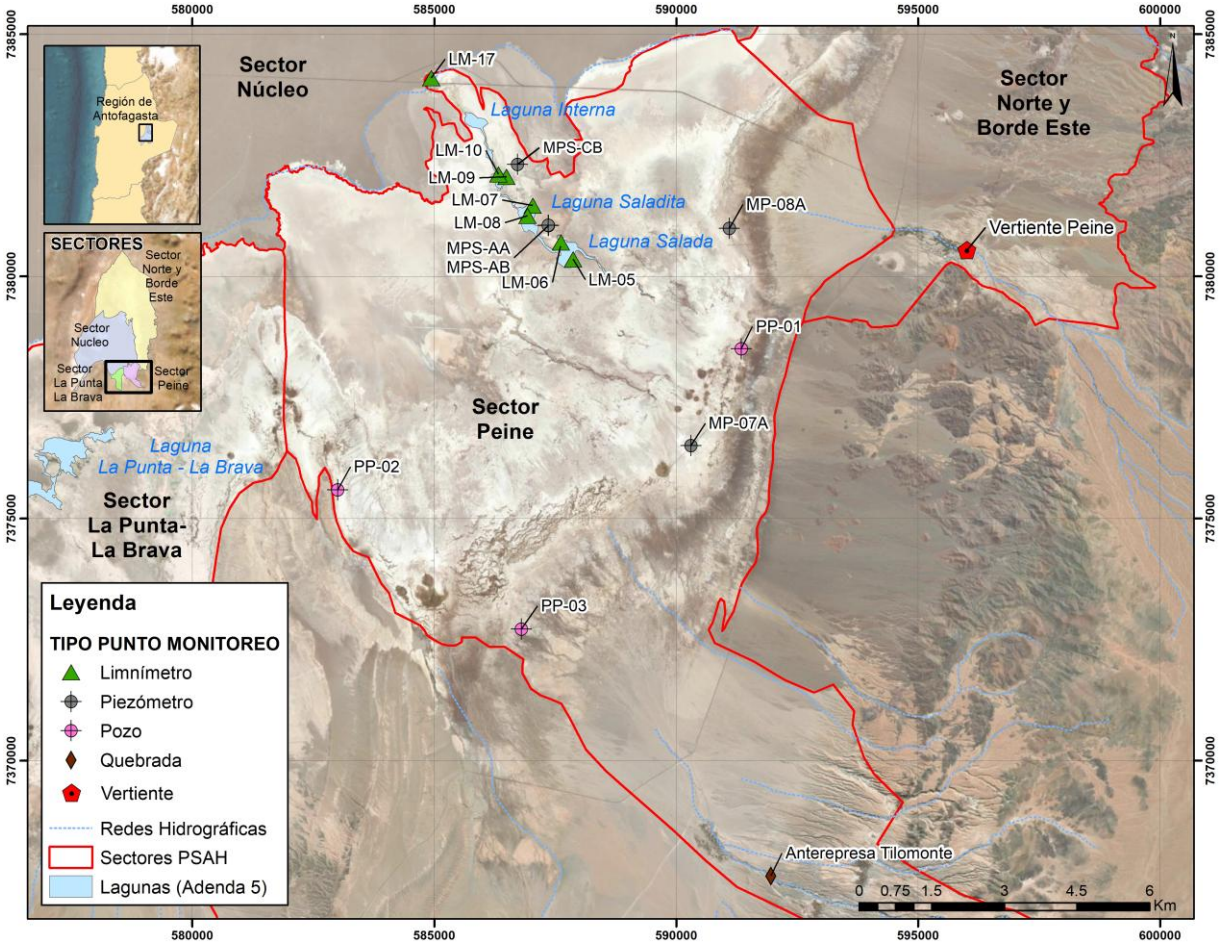


Fuente: Elaboración propia

5.8.4 Sector Peine

La distribución de los 16 puntos de monitoreo (Anterepresa 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 5-74.

Figura 5-74 Localización puntos de monitoreo Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

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 que accede al punto. Para el presente periodo de reporte, año 2024, el pozo se encontró seco entre los meses de enero a diciembre con excepción del 17 de septiembre que no hubo acceso al punto (ver Anexo D).

El punto Vertiente Peine, para el presente informe, 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 dulce – salobres de este sector.

Es relevante indicar que durante el 2024 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.

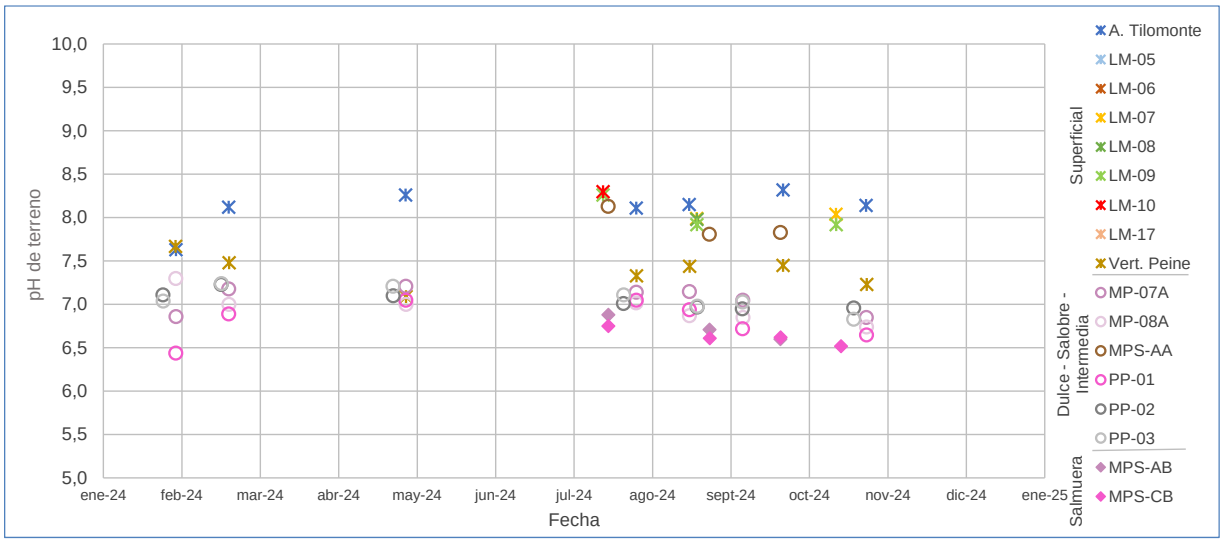
5.8.4.1 Parámetros Fisicoquímicos in situ

5.8.4.1.1 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 7,09 (Vertiente Peine) a 8,32 (Anterepresa Tilomonte). Las aguas dulces, salobres e intermedias de este sector presentan rangos de pH intermedios, que varían entre 6,44 (PP-01) y 8,13 (MPS-AA) y las salmueras son las que presentan en general el pH más bajo, con valores de medidas que varían entre 6,52 (MPS-CB) a 6,88 (MPS-AB). La distribución de los valores de 2024 se presenta en la

Figura 5-75. No se obtuvieron muestras para los puntos LM-05, LM-06 y LM-17 (principalmente punto seco), durante el año 2024.

Figura 5-75 Variación Temporal pH *in Situ*, Sector Peine 2024



Nota: El punto LM-17 no cuenta con datos para el 2024, por encontrarse seco para todo el 2024, con excepción de septiembre que no hubo acceso al punto.
Fuente: Elaboración propia

5.8.4.1.2 Conductividad Eléctrica in situ

La conductividad eléctrica (CE) del sector Peine, de acuerdo con la Figura 5-76, muestra medidas para aguas dulce – salobres entre 7.565 µS/cm (medido en MP-08A) y 76.890 µS/cm (medido en MPS-AA). El punto de monitoreo Anterepresa Tilomonte presenta CE con un promedio de 5.351 µS/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 4.234 µS/cm, se considera agua dulce, lo que se condice con su ubicación y el origen de sus aguas

Por otra parte, en general los pozos de aguas dulce – salobres mantienen mediciones dentro del rango esperado con la excepción de MPS-AA, el cual registra un valor máximo de 59.269 µS/cm, valor que sale de su tendencia general.

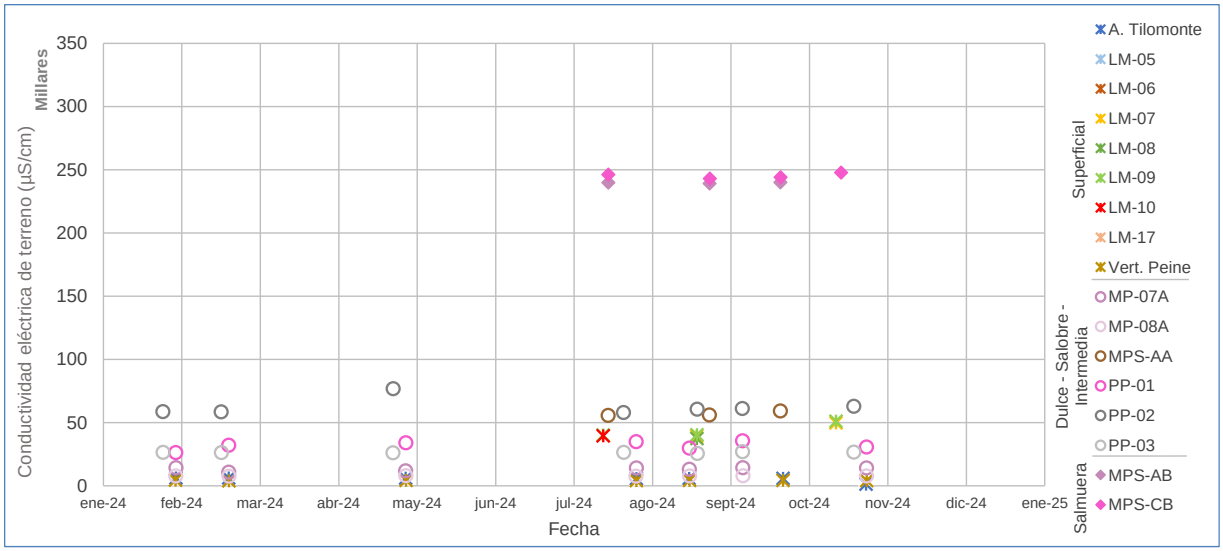
Para el caso de las salmueras, los valores de CE son bastante altos, con valores máximos de 247.800 µS/cm medido en MPS-CB en octubre y mínimos de 239.100 µS/cm medido en MPS-CB en agosto. En términos generales no se observan mayores variaciones a lo largo del 2024 en las conductividades de estos puntos.

Para las aguas del acuífero dulce salobre intermedio los registros de CE son menores, aunque similares a los de las aguas lagunares superficiales, con el valor más alto en el LM-07 con 49.660 µS/cm en octubre, y con un mínimo de 37.340 µS/cm registrado en LM-08 en agosto. Los puntos MP-07A y MP-08A, cercanos al borde del salar, presentan valores que tienden a

ser más bajos (promedios de 13.209 µS/cm y 7.818 µS/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, variando entre 25.690 en PP-03 y 76.890 en PP-02.

La CE, según la serie de datos registrados no presenta una variabilidad estacional marcada. Las aguas profundas (salmuera) presentan una tendencia estable, con rangos entre los 239.100 µS/cm y los 247.800 µS/cm. En el caso de las aguas someras, estas presentan mayor dispersión de los datos y rango de valores, entre los 4.029 µS/cm y 76.890 µS/cm, aproximadamente.

Figura 5-76 Variación Temporal CE *in Situ*, Sector Peine 2024



Nota: El punto LM-17 no cuenta con datos para el 2024, por encontrarse seco para todo el 2024, con excepción de septiembre que no hubo acceso al punto.
Fuente: Elaboración propia

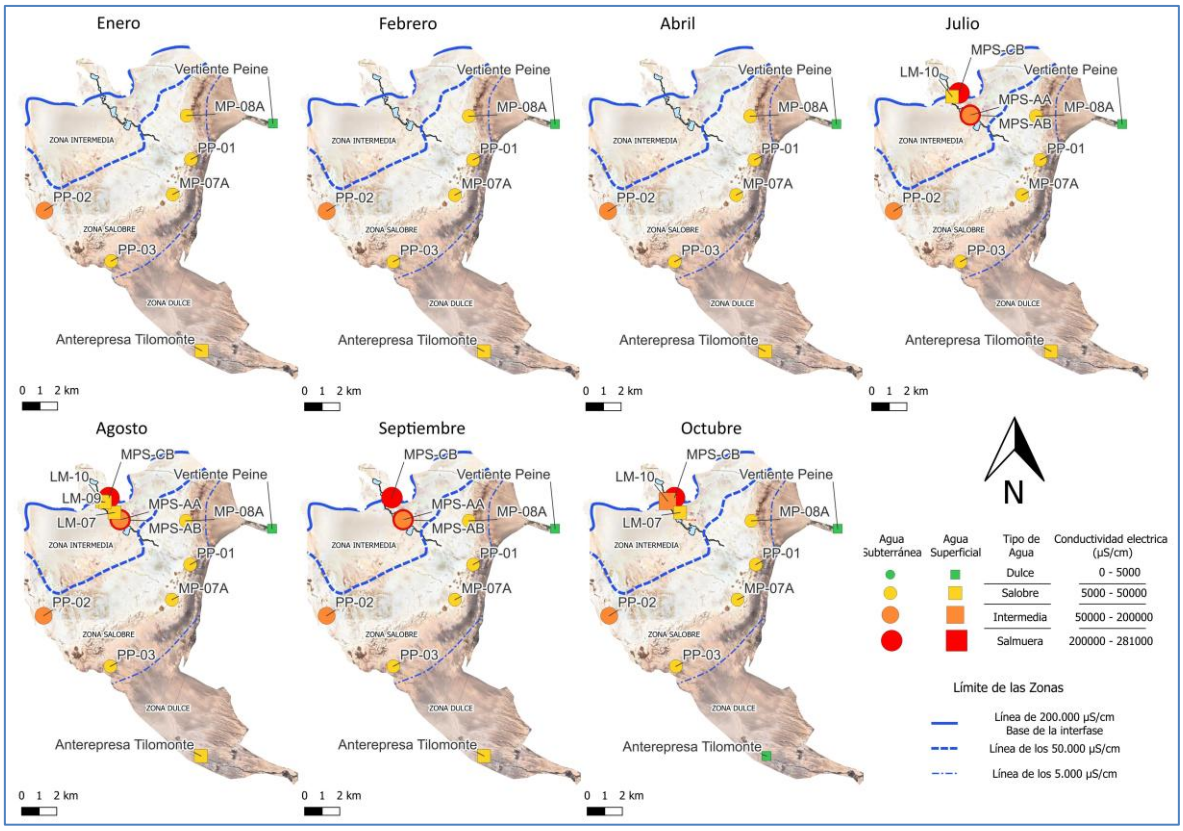
En la Figura 5-77 se presenta el mapa, para el Sector Peine. que muestra la variación temporal de la conductividad eléctrica durante el 2024, y su respectiva clasificación del tipo de agua de los puntos monitoreados.

En la figura (Figura 5-77) es posible identificar que los puntos de monitoreo superficial y subterráneo como son Anterepresa Tilomonte, MP-07A, MP-08A, PP-01 y PP-03 ubicados hacia el sur y este de las lagunas, se mantienen en un rango de conductividades clasificándose como agua salobre sin presentar mayores variaciones, con excepción de Anterepresa Tilomonte que en octubre se clasifica como agua dulce. En la misma figura (Figura 5-77) se

observa, además, la Vertiente Peine se clasifica como agua dulce, y el punto PP-02 se clasifica intermedia para todo el periodo 2024.

No se analizan los puntos LM-06, LM-07, LM-09, LM-10, LM-17, MPS-AA, MPS-AB y MPS-CB, dada la escasez de datos por prohibición de acceso (se explica en la sección 4.4.1).

Figura 5-77 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector Peine 2024



Nota: El punto LM-17 no cuenta con datos para el 2024, por encontrarse seco para todo el 2024, con excepción de septiembre que no hubo acceso al punto.
Fuente: Elaboración propia

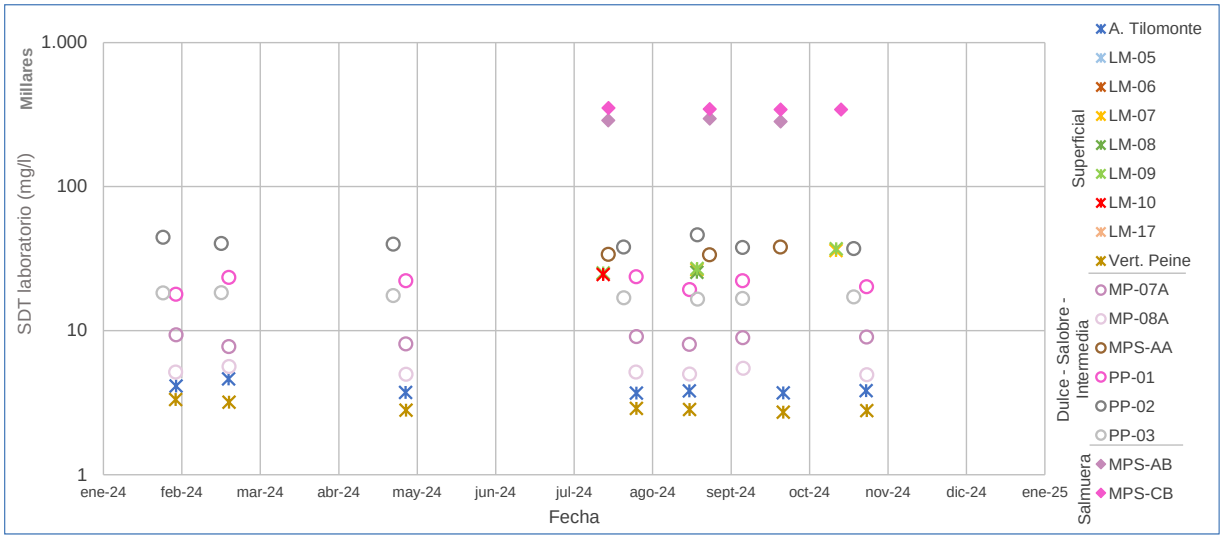
5.8.4.2 Parámetros Fisicoquímicos de laboratorio

5.8.4.2.1 Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 5-78 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. Las muestras de salmuera presentan un rango de mediciones entre 282.700 mg/l y 350.500 mg/l, medidos en MPS-AB y MPS-CB respectivamente. Los SDT de las muestras de las lagunas (superficiales) están en un rango intermedio de concentraciones, el valor mínimo es de 2.716

mg/l en La Vertiente Peine (valores estables en todo el registro 2024) y el máximo es de 37.000 mg/l en LM-09. Para las aguas subterráneas someras (dulce – salobres) los SDT son menores a los 46.200 mg/l y mayores a 4.940 mg/l.

Figura 5-78 Variación Temporal SDT en laboratorio, Sector Peine 2024



Nota: El punto LM-17 no cuenta con datos para el 2024, por encontrarse seco para todo el 2024, con excepción de septiembre que no hubo acceso al punto.
Fuente: Elaboración propia

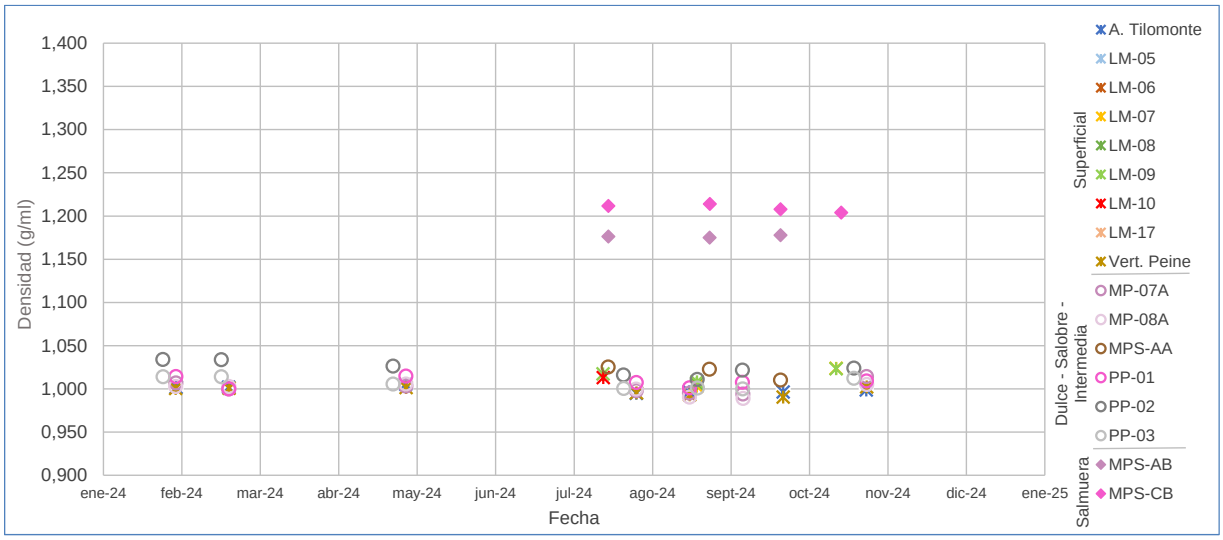
5.8.4.2.2 Densidad

En la

Figura 5-79 se presentan los datos de densidad medida en laboratorio. Estos indican que tanto la estación Anterepresa Tilomonte como las lagunas y los pozos someros, tienen menor densidad y rangos muy acotados, con valores entre 1,000 g/ml y 1,050 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 1,175 g/ml y 1,214 g/ml. Finalmente, los valores de aguas superficiales presentan densidades entre 0,995 g/ml y 1,214 g/ml.

El registro de densidad muestra un comportamiento estable para todos los datos disponibles en el año 2024.

Figura 5-79 Variación Temporal: Densidad en Laboratorio, Sector Peine 2024



Nota: El punto LM-17 no cuenta con datos para el 2024, por encontrarse seco para todo el 2024, con excepción de septiembre que no hubo acceso al punto.
Fuente: Elaboración propia

5.8.4.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

5.8.4.3.1 Aniones mayores

Los aniones que se analizan corresponden a cloruros (Cl^-), sulfatos ($SO4^{2-}$), 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 167.576 mg/l en MPS-AB en abril y un máximo de 202.488 mg/l en MPS-CB; las aguas dulces, salobres e intermedias registran un mínimo de 1.980 mg/l en MP-08A, y un máximo de 25.349 mg/l en PP-02, mientras que las aguas dulces de quebradas o vertientes tienen concentraciones bastante más bajas, con un valor mínimo de 834 mg/l en Vertiente Peine, y un máximo de 1.670 mg/l en Anterepresa Tilomonte. Los registros de las lagunas presentan un valor mínimo de 12.827 mg/l en LM-08, y un máximo de 17.672 mg/l en LM-07.

Con respecto a los bicarbonatos se observa que las aguas superficiales y dulce – salobres (someras) se encuentran en un rango de variación muy similar, con un valor mínimo registrado de 207,4 mg/l en LM-09, y un máximo de 413,6 mg/l en MP-08A (sin considerar el valor anómalo registrado en el enero en MP-08A de 1.238,3 mg/l), a diferencia de las salmueras, que están entre un mínimo de 541,7 mg/l en MPS-AB y un máximo de 646,6 mg/l en MPS-CB.

Para el nitrato se observa en general que las salmueras poseen las concentraciones más altas, registrando un mínimo de 34,49 mg/l en MPS-AB, y un máximo de 214,89 mg/l en MPS-CB. En Anterepresa Tilomonte los valores registrados son menores a la tendencia general de aguas superficiales, con un mínimo de 0,05 mg/l en abril, y un máximo de 0,07 mg/l en marzo (sin considerar el valor anómalo registrado en febrero de 8,41 mg/l), el resto de las aguas superficiales varían entre un mínimo de 1,02 mg/l en LM-07, y un máximo de 1,82 mg/l en LM-09. Las concentraciones en las aguas dulce – salobres varían entre un mínimo de 1,59 mg/l en PP-03, y un máximo de 13,02 mg/l en PP-02.

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 9.074 mg/l en MPS-AB, y un máximo de 15.952 mg/l en MPS-CB. Las aguas dulces, salobres e intermedias varían entre un mínimo de 614 mg/l en MP-07A, y un máximo de 4.865 mg/l en MPS-AA. Las aguas superficiales son las que más dispersión presentan, con un mínimo de 605 mg/l en Anterepresa Tilomonte, y un máximo de 3.619 mg/l en LM-09.

5.8.4.3.2 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 427,8 mg/l en MPS-CB, y un máximo de 912,4 mg/l en MPS-AB. Las aguas dulce – salobres varían entre un mínimo de 232,2 mg/l en MP-07A, y un máximo de 1.440,0 mg/l en MPS-AA. Finalmente, las aguas superficiales varían entre un mínimo de 232,3 mg/l en Anterepresa Tilomonte, y un máximo de 1.062,4 mg/l en LM-09.

Para el potasio los mayores valores de concentración se dan en los pozos de salmuera, con un mínimo de 10.904 mg/l en MPS-AB, y un máximo de 19.899 mg/l en MPS-CB. Para las aguas dulce – salobres las concentraciones varían entre un mínimo de 90 mg/l en MP-08A, y un máximo de 2.069 mg/l PP-02. Las concentraciones más bajas se registran en los puntos Anterepresa Tilomonte y V. Peine, con un mínimo de 24 mg/l en V. Peine, y un máximo de 75

mg/l en Anterepresa Tilomonte . Finalmente, en las lagunas las concentraciones varían entre un mínimo de 967 mg/l en LM-07, y un máximo de 1.279 mg/l en LM-09.

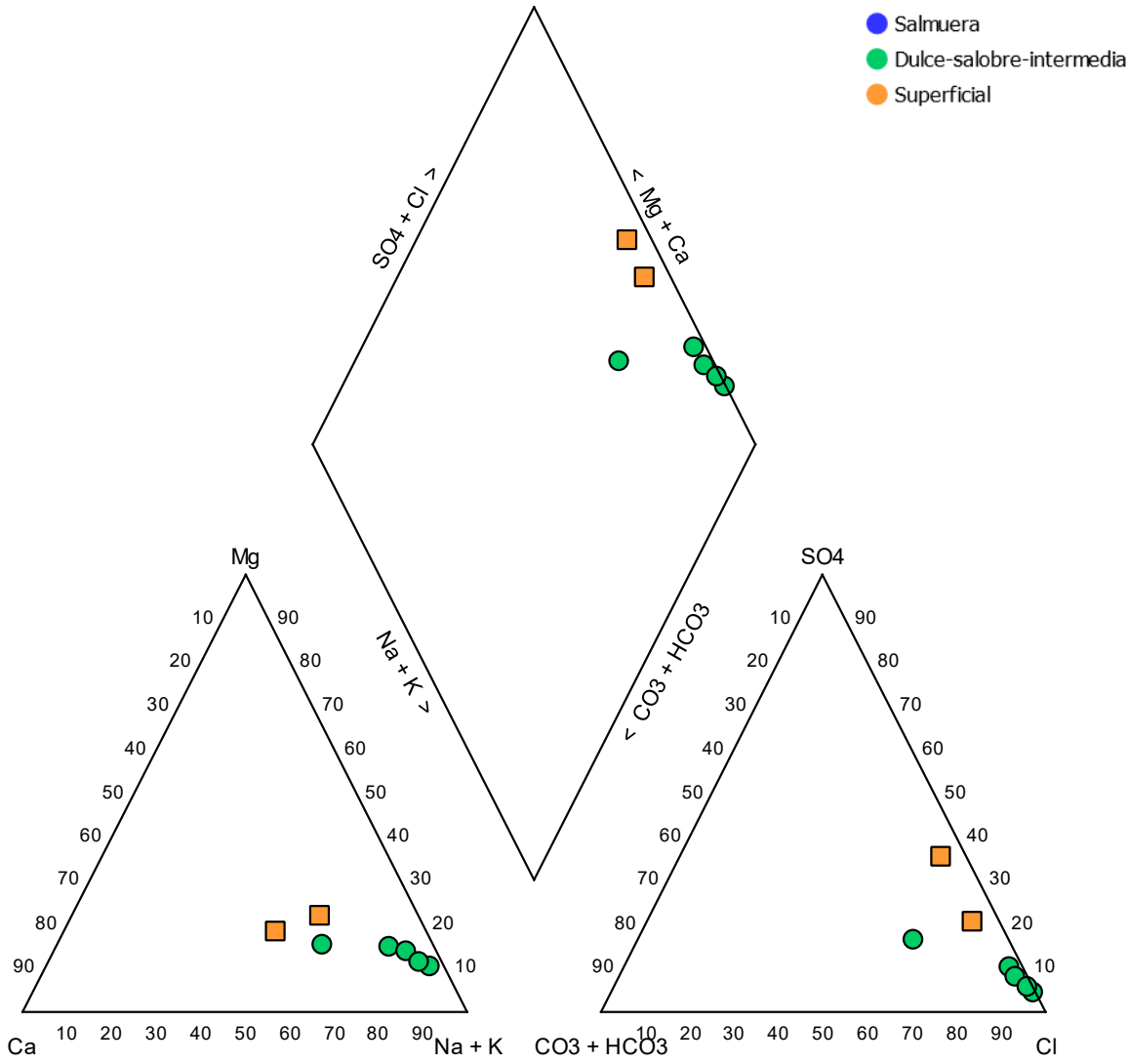
Las concentraciones de magnesio más altas se dan en los pozos de salmuera, con un mínimo de 7.624 mg/l en MPS-AB, y un máximo de 9.373 mg/l en MPS-CB. Para las aguas dulce – salobres las concentraciones varían entre un mínimo de 121 mg/l en MP-07A, y un máximo de 1.110 mg/l en MPS-AA. Las concentraciones más bajas se registran en los puntos Anterepresa Tilomonte y V. Peine, con un mínimo de 71 mg/l en V. Peine, y un máximo de 151 mg/l en Anterepresa Tilomonte . Finalmente, en las lagunas las concentraciones varían entre un mínimo de 646 mg/l en LM-10, y un máximo de 1.007 mg/l en LM-09.

En el caso del sodio las concentraciones de salmuera varían entre un mínimo de 76.349 mg/l en MPS-AB, y un máximo de 92.759 mg/l en MPS-CB. Para las aguas dulce – salobres las concentraciones varían entre un mínimo de 832 mg/l en MP-08A, y un máximo de 11.025 mg/l en MPS-AA. Las concentraciones más bajas se registran en los puntos Anterepresa Tilomonte y V. Peine, con un mínimo de 359 mg/l en V. Peine, y un máximo de 754 mg/l en Anterepresa Tilomonte . Finalmente, en las lagunas las concentraciones varían entre un mínimo de 5.979 mg/l y un máximo de 9.677 mg/l ambos en LM-09.

De la anterior se denota que el potasio, magnesio y sodio disueltos muestran que las salmueras son las que tienen mayores concentraciones de estos elementos, diferenciándose notoriamente en los tipos de agua salmueras, aguas someras (dulce – salobres) y aguas superficiales.

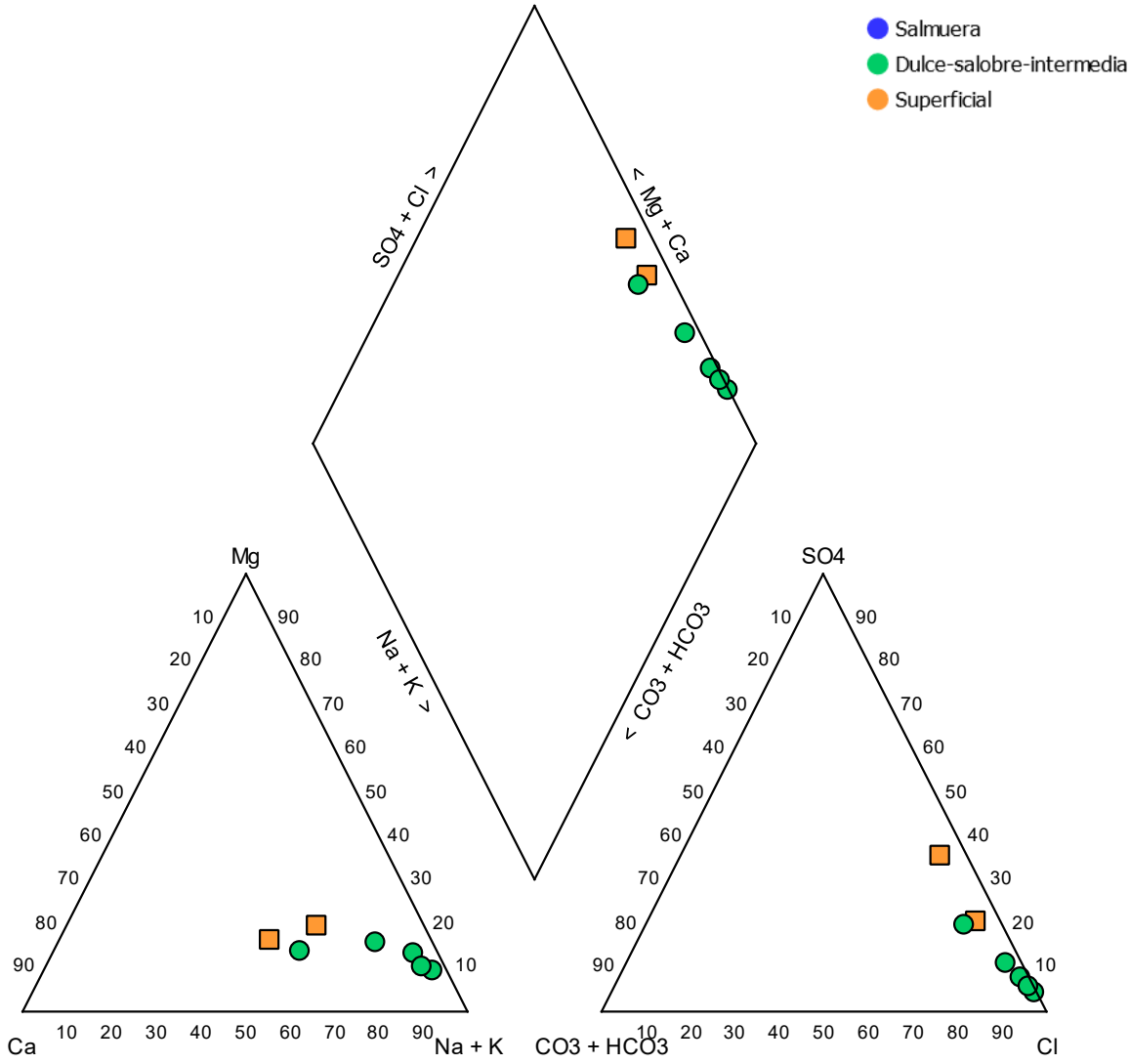
Desde la Figura 5-80 a la Figura 5-86, se presentan Diagramas de Piper con las clasificaciones de composición de las aguas respecto a sus elementos mayores, para las campañas de enero, febrero, abril, julio, agosto, septiembre y octubre de 2024. Se puede observar que las muestras son del tipo cloruradas sódicas, salvo las de Vertiente Peine, donde la clasificación cambia a clorurada sódico-cálcica. 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 2024.

Figura 5-80 Diagrama de Piper, Campaña enero 2024 Sector Peine



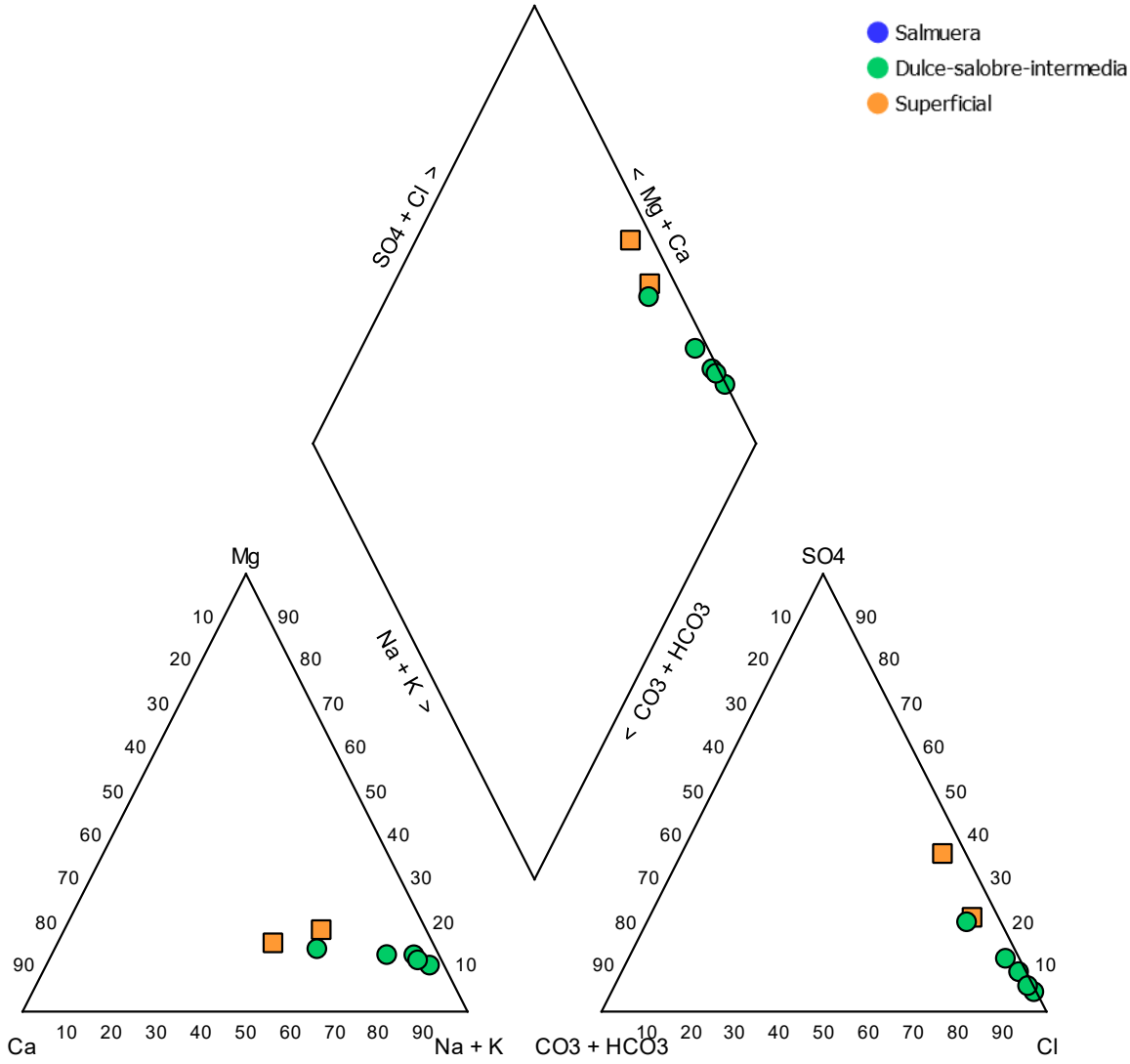
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-81 Diagrama de Piper, Campaña febrero 2024, Sector Peine



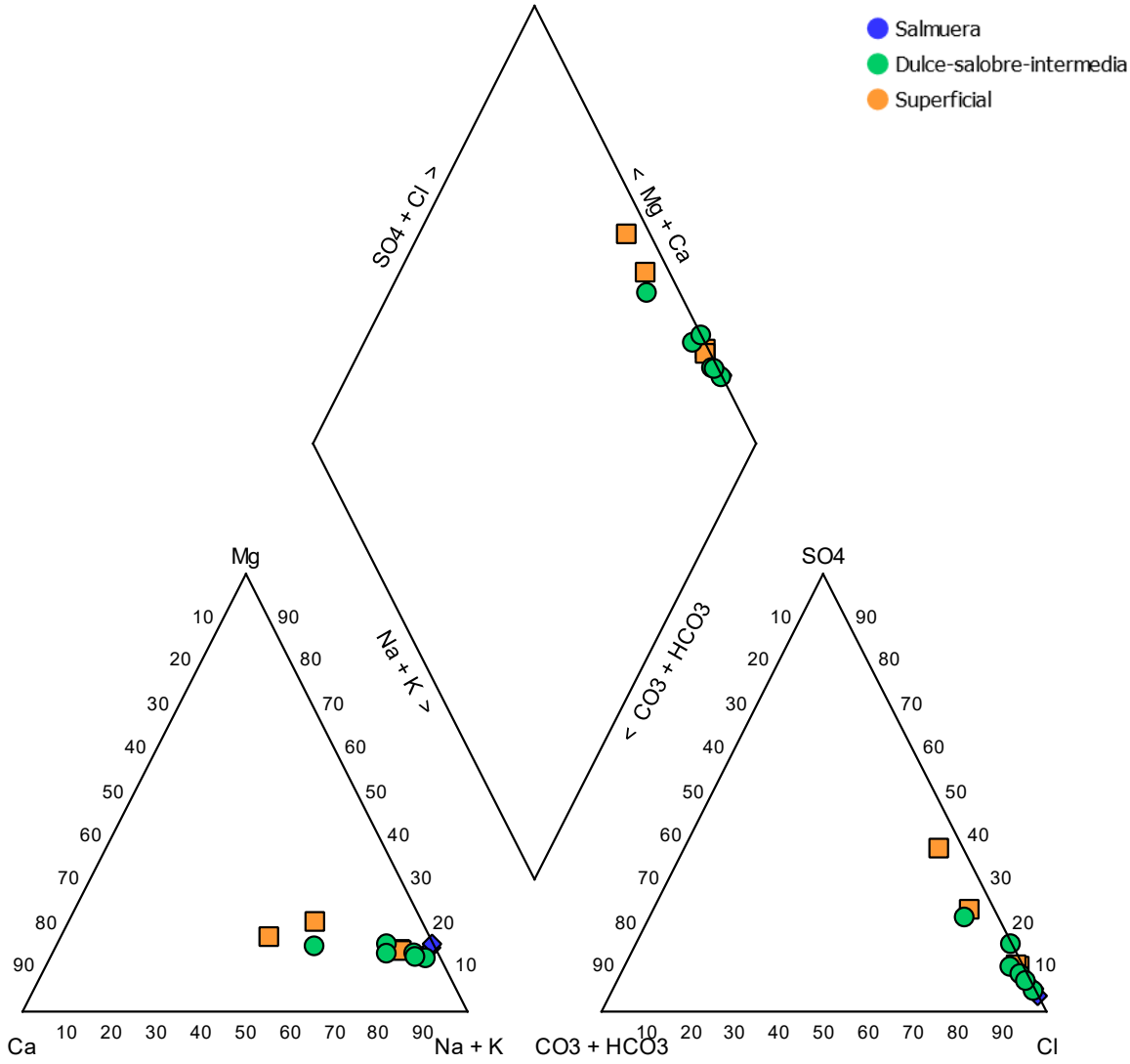
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-82 Diagrama de Piper, Campaña abril 2024, Sector Peine



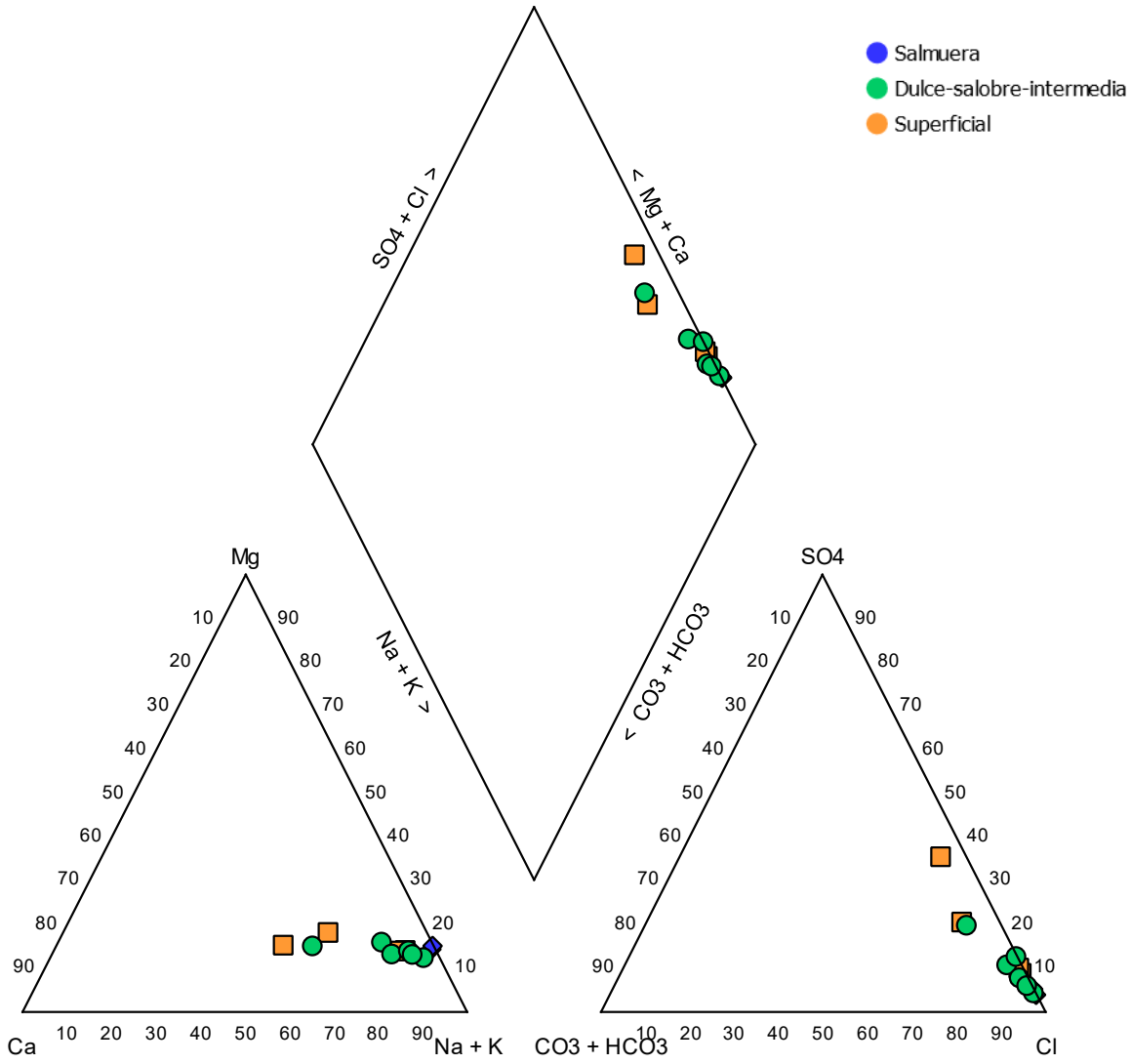
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-83 Diagrama de Piper, Campaña julio 2024, Sector Peine



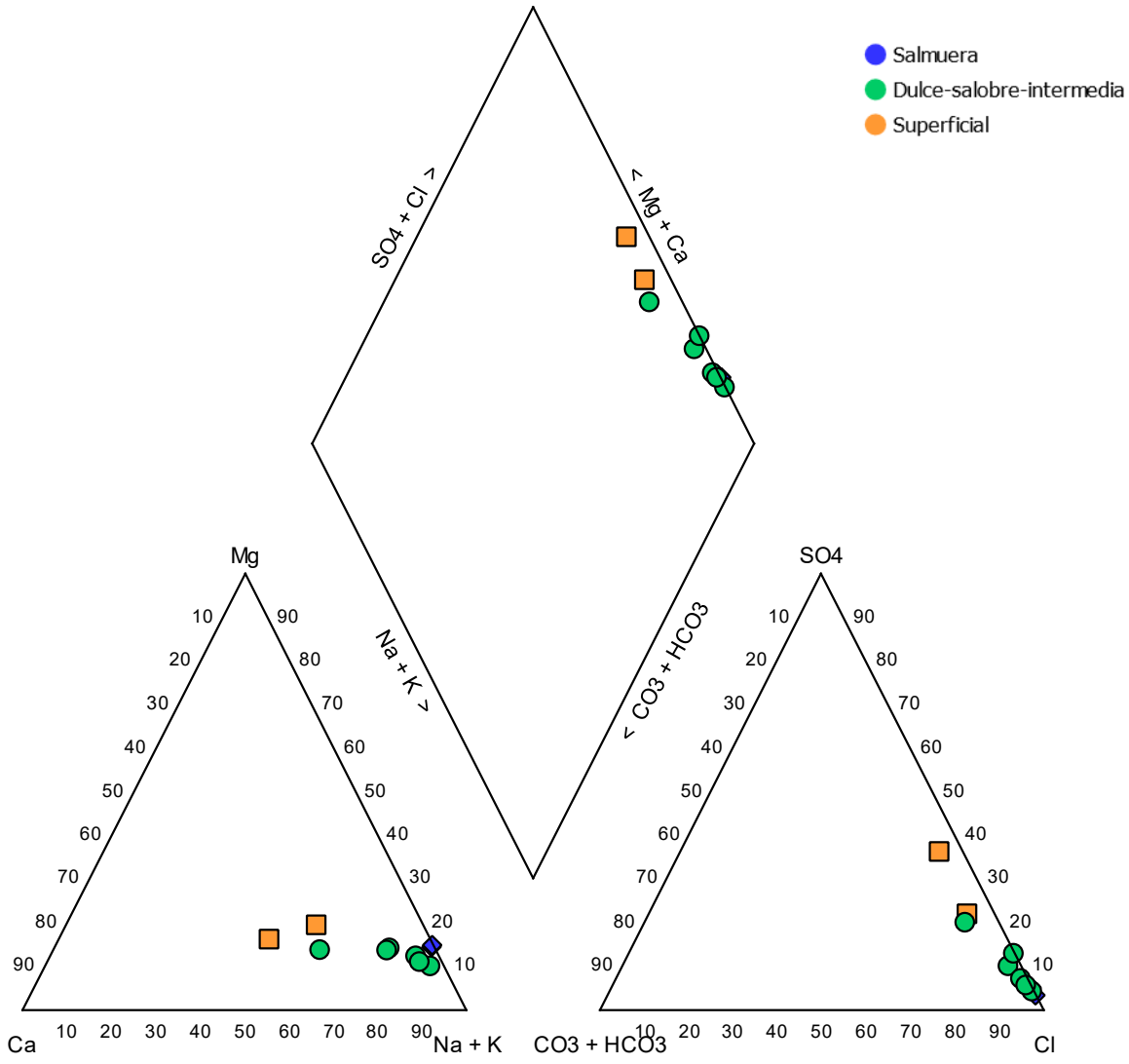
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-84 Diagrama de Piper, Campaña agosto 2024, Sector Peine



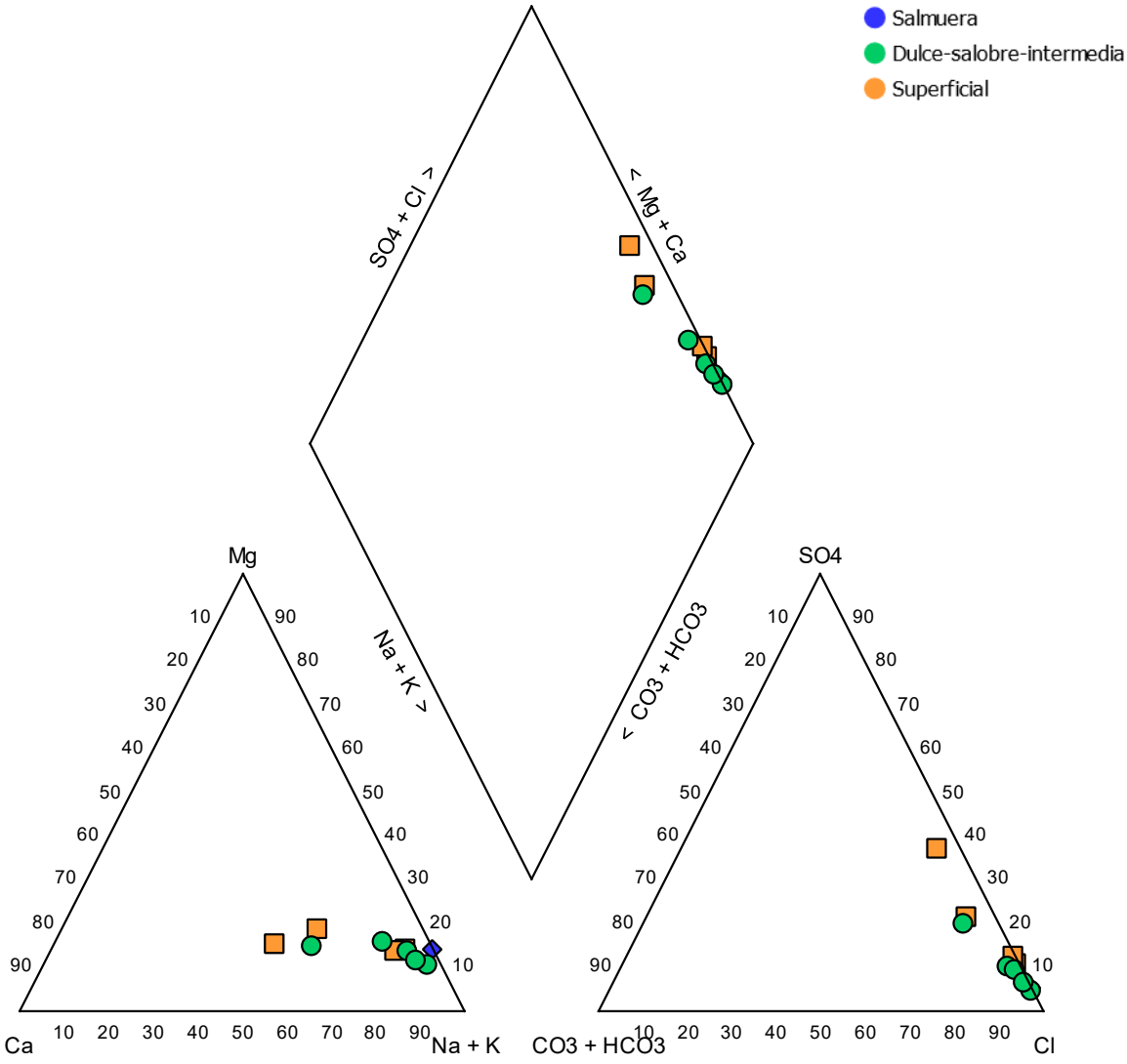
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-85 Diagrama de Piper, Campaña septiembre 2024, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-86 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2024, Sector Peine

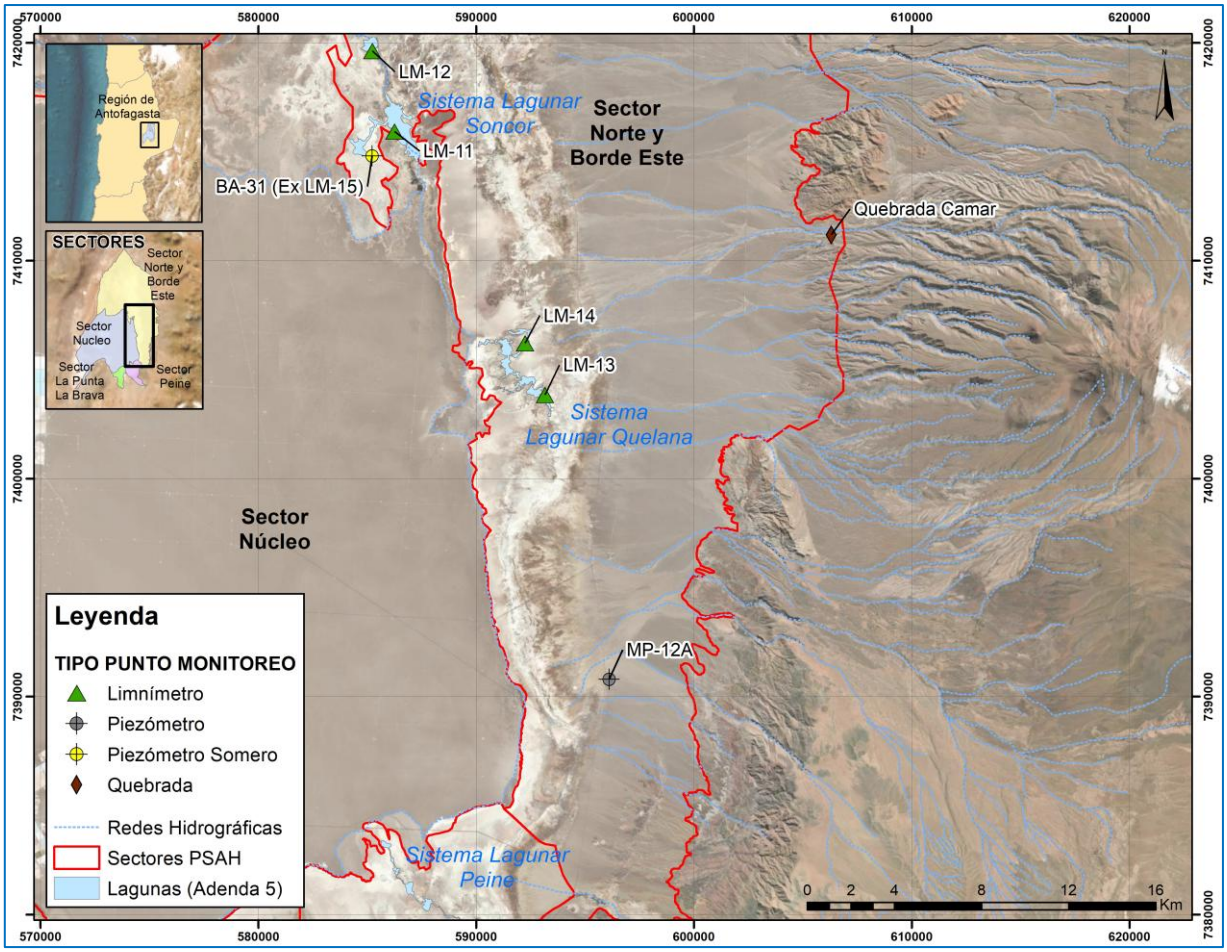


Fuente: Elaboración propia

5.8.5 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 5-87.

Figura 5-87 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

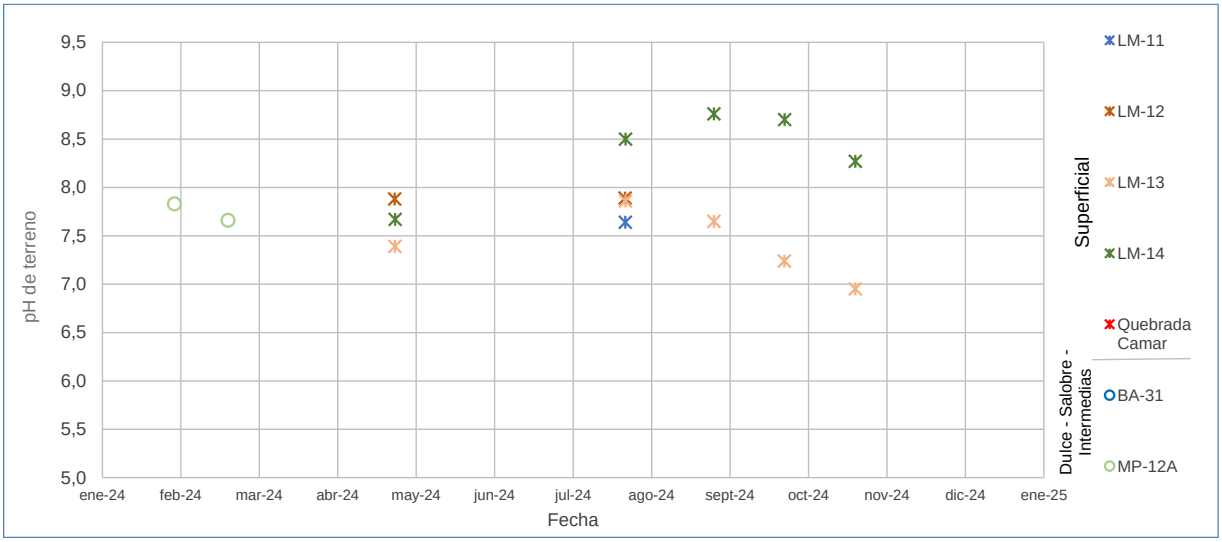
Es relevante indicar que durante el 2024 no se pudo llevar a cabo el muestreo en algunos puntos debido a que no se contó con autorizaciones desde la CONAF y de la Comunidad para acceder a este sector. Asimismo, es importante indicar que el punto Quebrada Camar no se ha podido medir durante este año debido a que no hay permiso de acceso por parte de la comunidad.

5.8.5.1 Parámetros Fisicoquímicos in situ

5.8.5.1.1 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 6,95 (LM-13) en octubre y 8,76 (LM-14) en agosto. Las aguas dulce – salobre de este sector solo se presentan dos muestras en MP-12A en enero y febrero rangos de pH acotados que varían entre 7,66 y 7,83. La distribución de los valores de 2024 se presenta en la Figura 5-88.

Figura 5-88 Variación Temporal pH in situ, Sector Norte y Borde Este 2024



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

5.8.5.1.2 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 5-89).

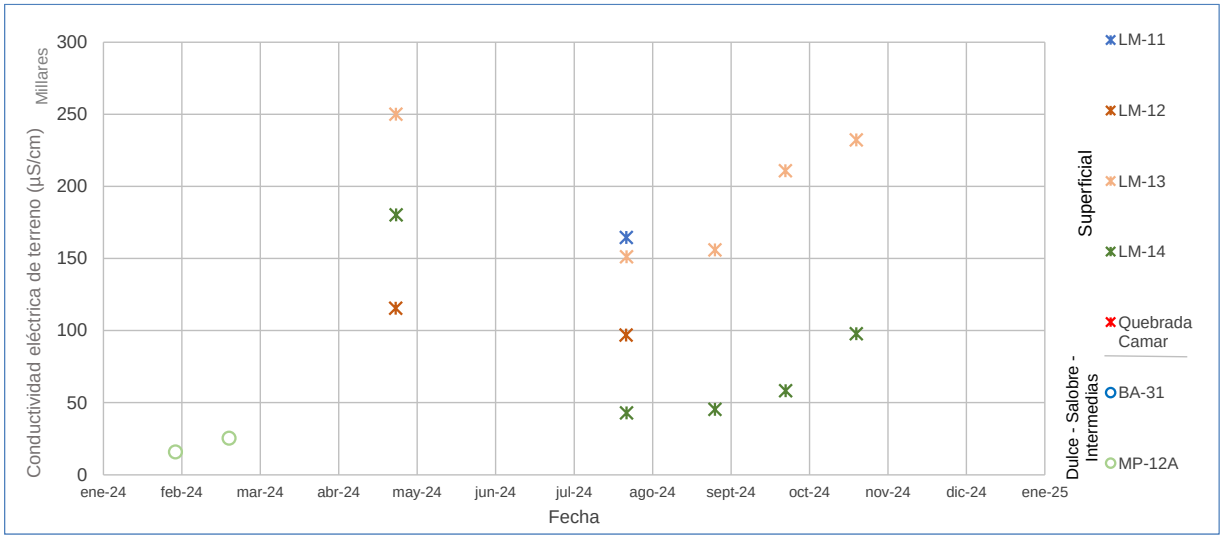
Los valores más altos de CE se registran en las lagunas (puntos LM-XX) con mediciones variables entre 42.840 µS/cm (LM-14) en julio hasta los 250.000 µS/cm (LM-13) en abril.

Para las aguas subterránea somera se tomaron solo dos muestras en MP-12A y presentan valores de 15.820 µS/cm y 25.320 µS/cm en enero y febrero. En el caso del BA-31 no se obtuvieron muestras del punto por encontrarse seco.

En los puntos de muestreo de este sector son de agua superficial (de la serie LM-XX), estos puntos muestran una tendencia a incrementar ligeramente desde julio. 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.

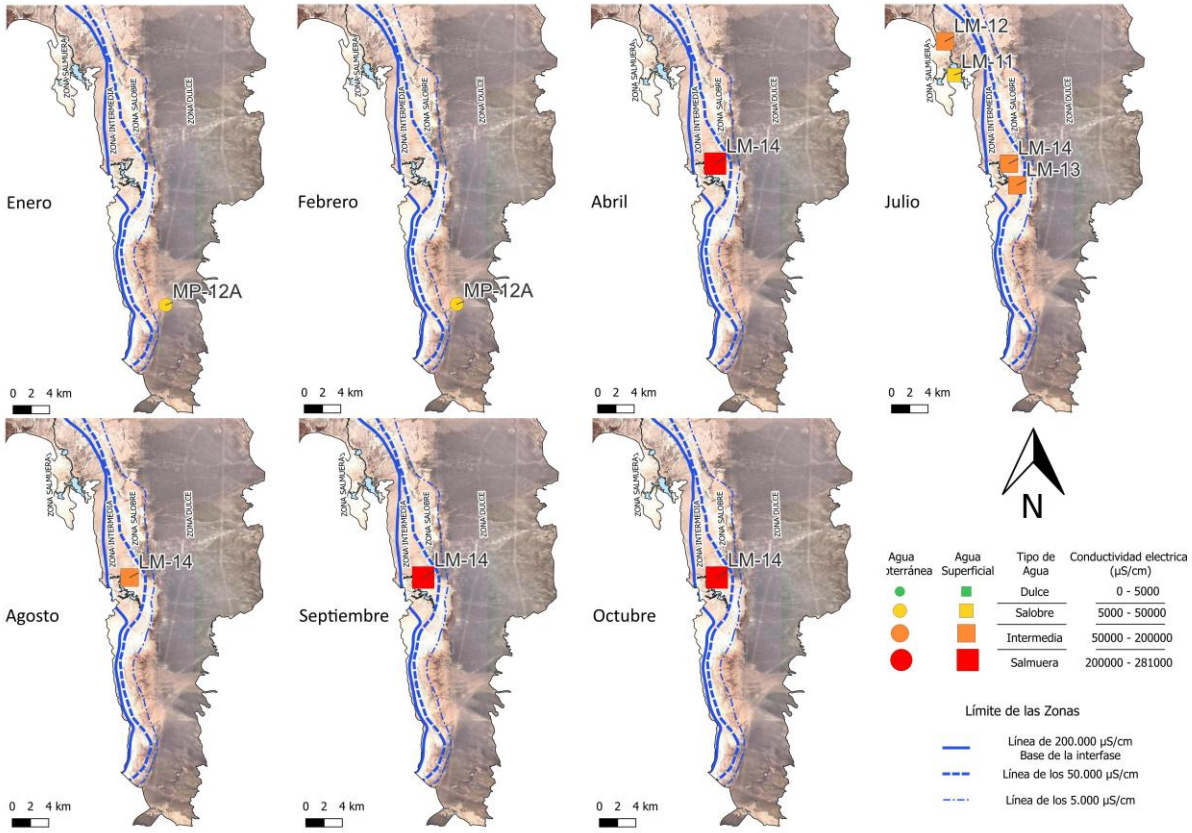
Figura 5-89 Variación Temporal CE in situ, Sector Norte y Borde Este 2024



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-90 se presenta el mapa, para el Sector Norte y Borde Este, con la variación temporal de la conductividad eléctrica durante el 2024, y su respectiva clasificación del tipo de agua. Dada la escaza disponibilidad de datos por prohibición de acceso al área (se detalla en la sección 4.4.1), no se puede analizar las tendencias, el punto LM-14 es el punto que cuenta con mayor disponibilidad de datos (5 meses) se observa que el punto se clasifica como salmuera principalmente, con variación a intermedia en los meses de julio y agosto 2024.

Figura 5-90 Representación espacial de la variación temporal de la CE *in situ*, Sector Norte y Borde Este 2024



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia.

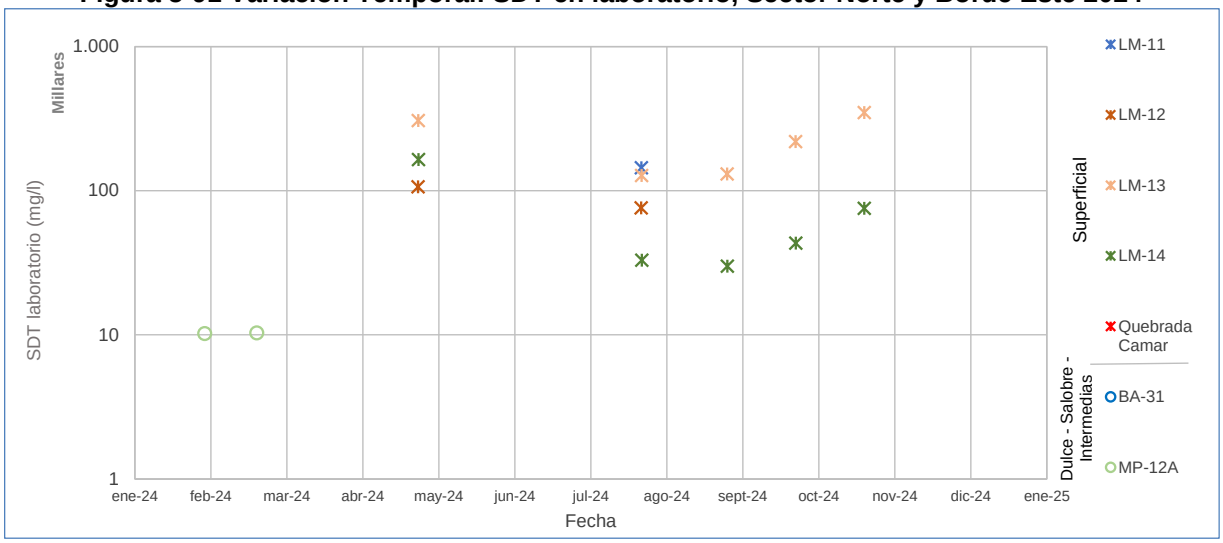
5.8.5.2 Parámetros Fisicoquímicos en laboratorio

5.8.5.2.1 Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 5-91 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 29.920 mg/l en LM-14 y el máximo es de 347.700 mg/l en LM-13. Para las aguas subterráneas someras (dulce – salobres) los SDT se obtienen solo dos muestras 10.180 mg/l y 10.310 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 5-91 Variación Temporal: SDT en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2024

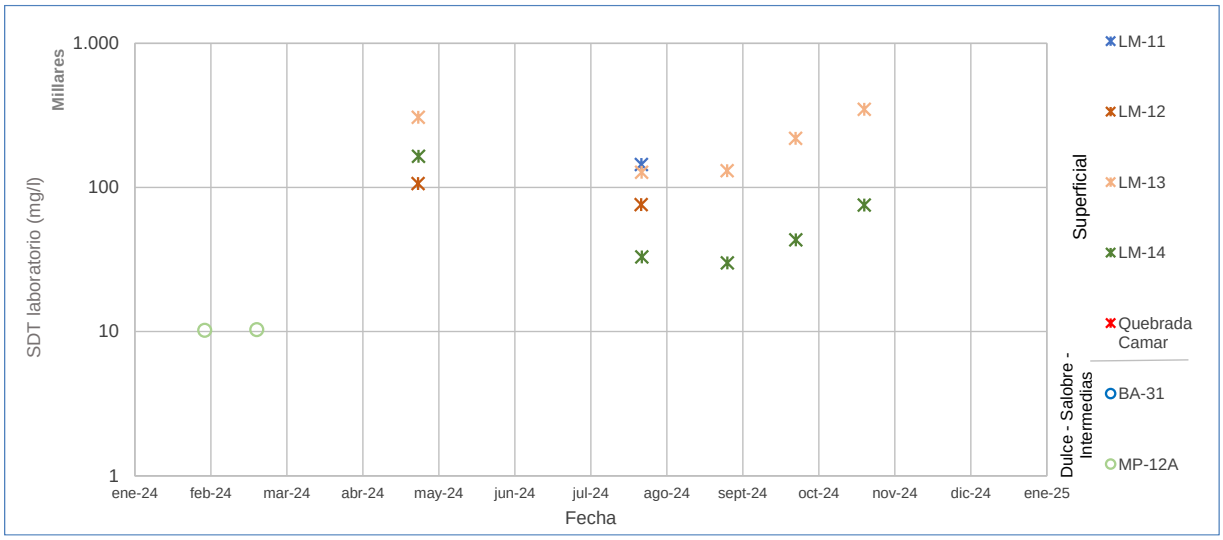


Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

5.8.5.2.2 Densidad

Las mediciones de densidad se presentan en la Figura 5-92. Los rangos varían entre los puntos de las lagunas y las aguas dulce-salobre. Para las muestras de las lagunas, los valores varían entre 1,012 g/ml (LM-14) en agosto y 1,207 g/ml (punto LM-13) en octubre. Por otro lado, las aguas subterráneas del acuífero dulce – salobre solo registraron una densidad de 1,007 g/ml en enero y febrero.

Figura 5-92 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Norte y Borde Este 2024



Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

5.8.5.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

Durante el 2024 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.

5.8.5.3.1 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 de las aguas dulce – salobre, estas varían entre un mínimo de 15.844 mg/l en LM-14 en agosto, y un máximo de

188.780 mg/l en LM-13 en octubre, mientras que el pozo MP-12A (agua dulce-salobre) solo se registran dos valores, 4.911 mg/l en enero, y un máximo de 4.921 mg/l en febrero.

En cuanto a la concentración de bicarbonatos, las lagunas poseen concentraciones más altas que el agua dulce-salobre, al igual que para el cloruro, estas varían entre un mínimo de 340,4 mg/l en LM-13 en agosto, y un máximo de 1.240,4 mg/l en LM-11 en octubre. En el pozo MP-12A (agua dulce – salobre) se registran dos valores 242,8 mg/l y 245,2 mg/l en enero y febrero respectivamente.

Para los nitratos, el pozo MP-12A registra valores de 0,068 mg/l en enero y 0,207 mg/l en febrero. Por otro lado, el mínimo valor registrado en las lagunas es de 1,68 mg/l en julio en el punto LM-14 (sin considerar el valor registrado en abril correspondiente al límite de detección 0,068), mientras que el máximo es de 10,9 mg/l registrado en octubre en el punto LM-13.

Para las lagunas, las concentraciones de sulfato varían entre un mínimo de 2.069 mg/l en LM-14 en agosto, y un máximo de 21.540 mg/l en LM-13 en octubre. En el punto MP-12A los valores registrados fueron de 488 mg/l en enero, y el máximo de 596 mg/l en febrero.

5.8.5.3.2 Cationes mayores

Los cationes que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), potasio (K^{+}), magnesio (Mg^{2+}) y sodio (Na^{+}) en su fracción disuelta.

Para el calcio, las aguas superficiales varían entre un mínimo de 155,2 mg/l en LM-14 en julio, y un máximo de 1.079,8 mg/l en LM-11 en octubre, mientras que en el punto MP-12A los valores registrados son 141,8 mg/l en enero y 129,5 mg/l en febrero.

Las muestras de MP-12A para potasio, los únicos dos valores registrados el 2024 son de 399 y 467 mg/l. Estos valores están por debajo de las concentraciones medidas en las muestras de las lagunas, las cuales registran un mínimo de 1.557 mg/l en LM-14 en julio, y un máximo de 19.911 mg/l en LM-13 en octubre.

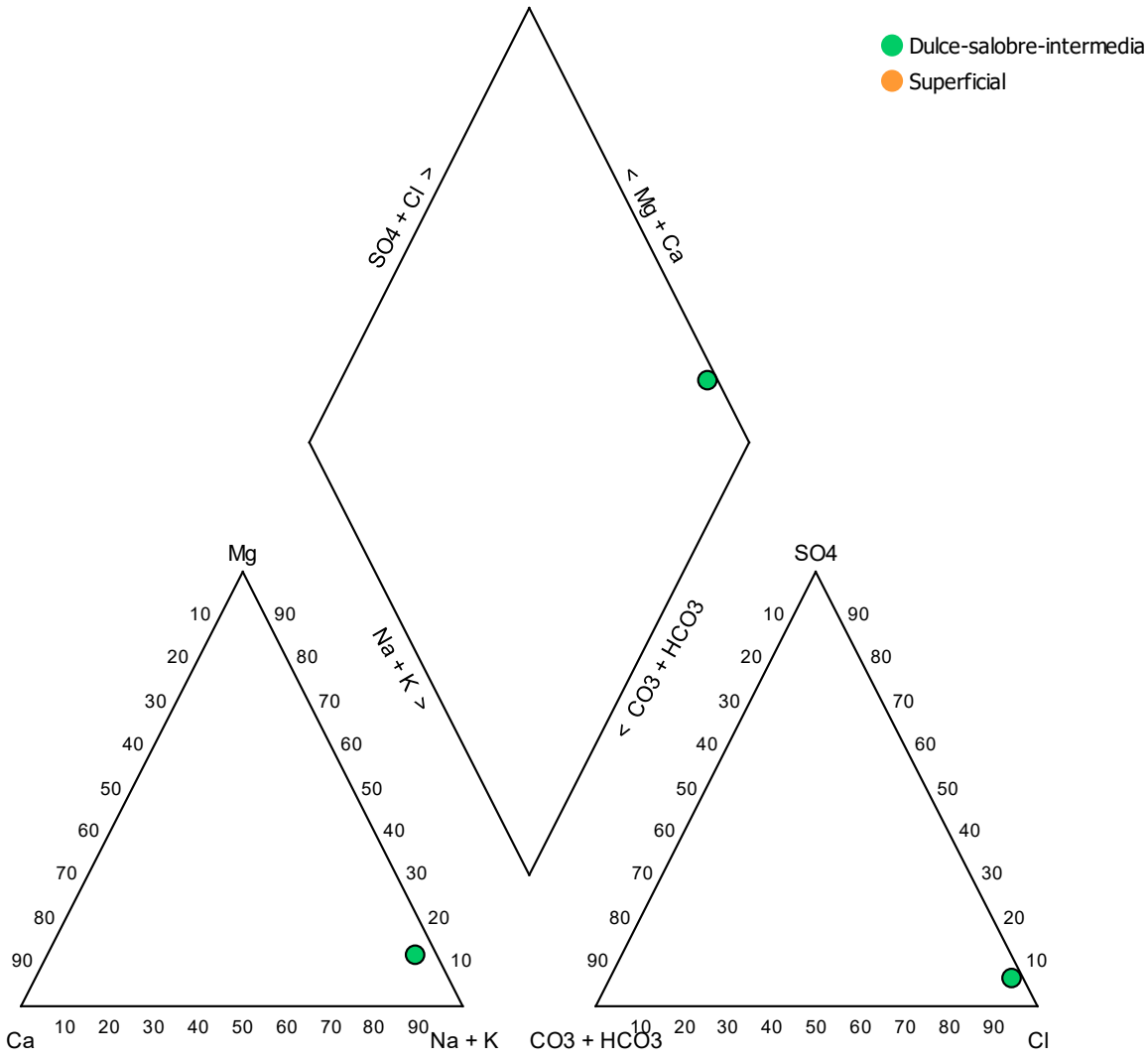
Las concentraciones de magnesio muestran que las aguas lagunares, son las que presentan las mayores concentraciones de magnesio con un valor mínimo de 733,7 mg/l en LM-14 en julio, y un valor máximo de 8.630,8 mg/l en LM-13 en octubre. En MP-12A, los valores que se registraron enero y febrero son de 204,4 mg/l y 187,5 mg/l respectivamente y corresponden a los valores más bajos del sector.

El sodio se comporta de manera similar al potasio, donde las muestras de MP-12A poseen las menores concentraciones. Los valores registrados en MP-12A son de 2.431,8 mg/l y 2.264,5 mg/l, mientras que las muestras superficiales (lagunas) varían entre un mínimo 7.096,9 mg/l

en LM-14, y un máximo de 87.446,8 mg/l en LM-13. Las mediciones para el año 2024 están acotadas a la variación natural.

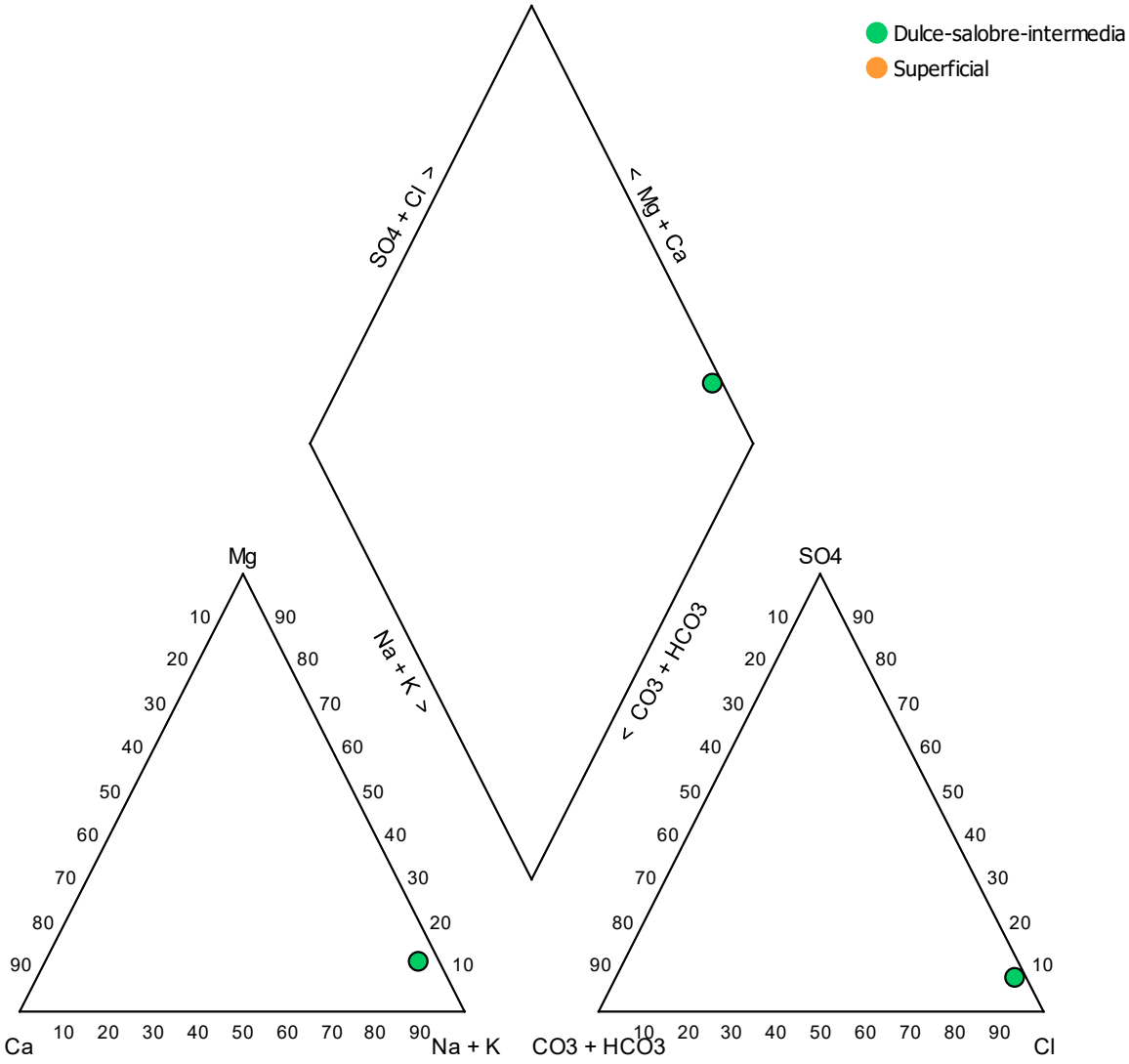
Desde las Figura 5-93 a la Figura 5-99, se presentan Diagramas de Piper con la clasificación de la composición de las aguas respecto a sus elementos mayores, para las campañas de enero, febrero, abril, julio, agosto, septiembre y octubre de 2024. Se puede observar que las muestras son del tipo cloruradas 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 5-93 Diagrama de Piper, Campaña enero 2024, Sector Norte y Borde Este



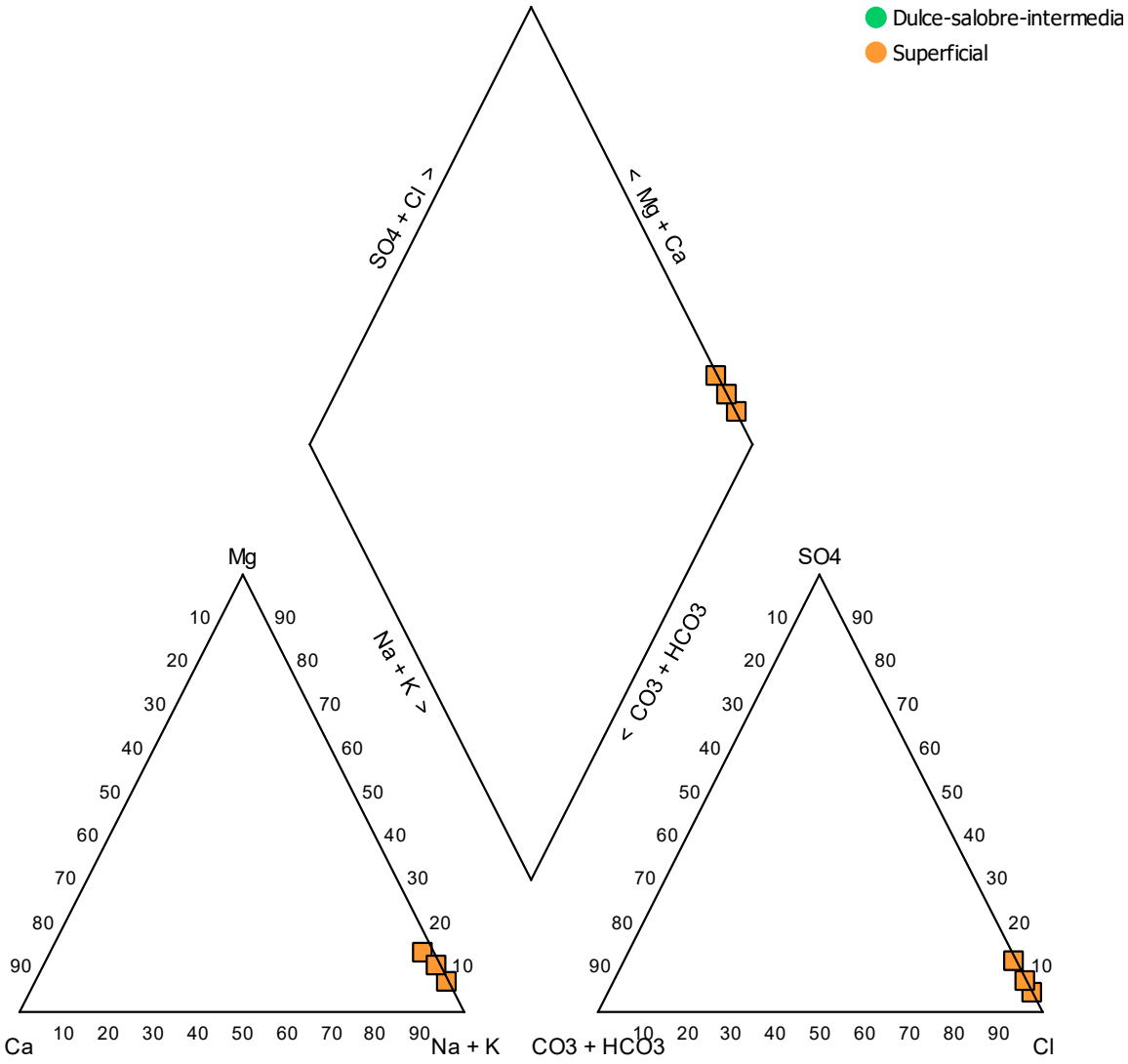
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-94 Diagrama de Piper, Campaña febrero 2024, Sector Norte y Borde Este



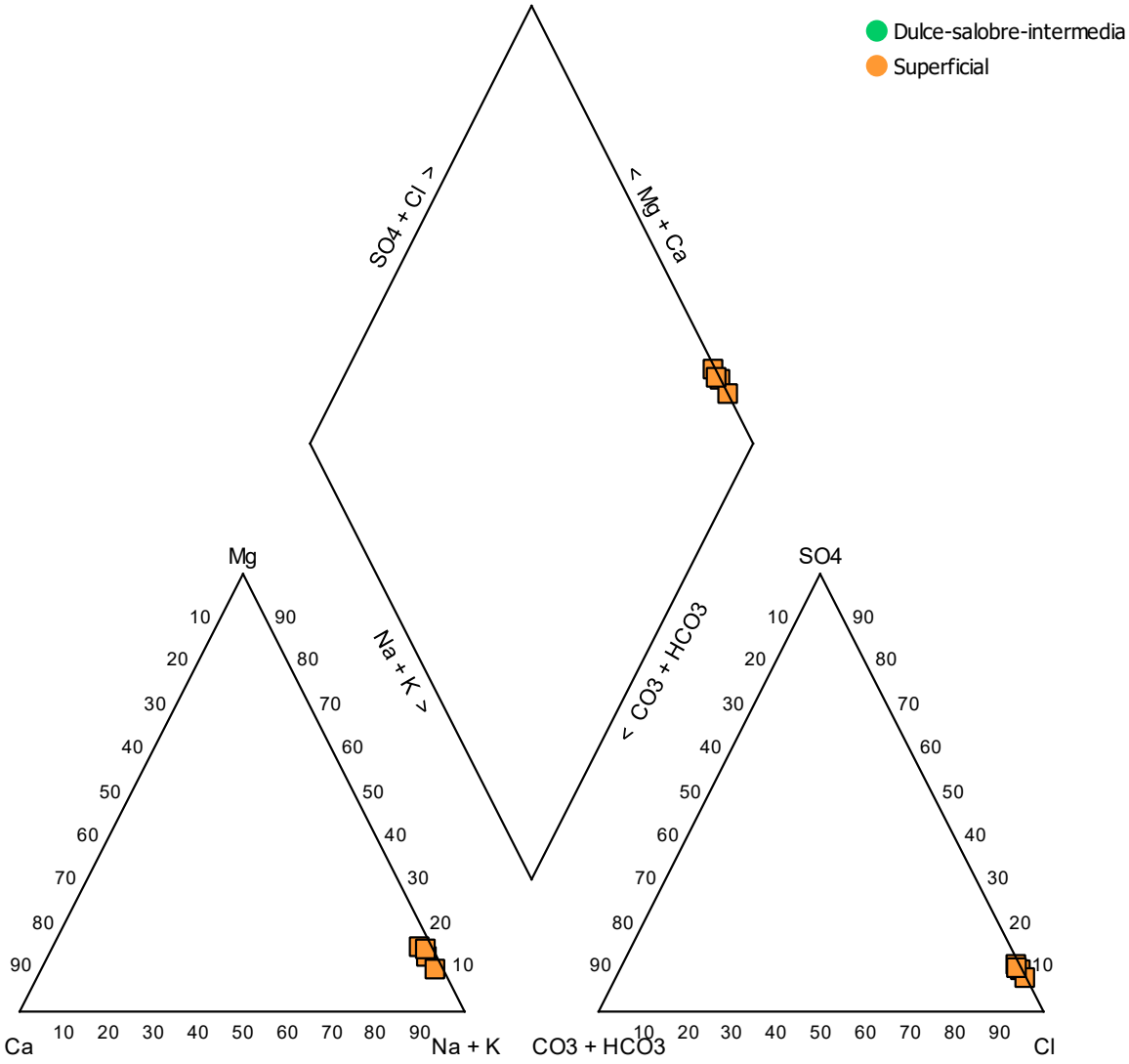
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-95 Diagrama de Piper, Campaña abril 2024, Sector Norte y Borde Este



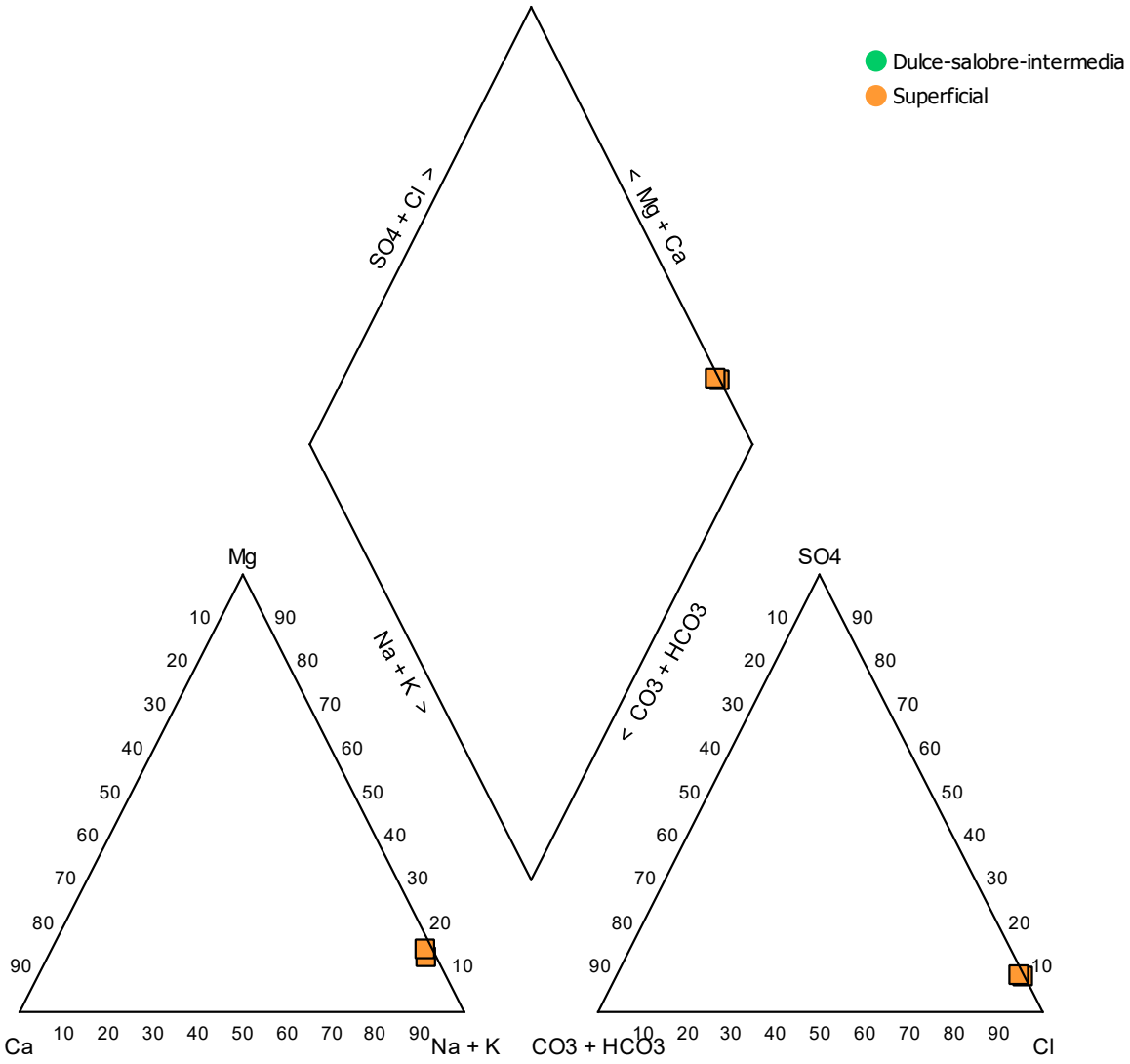
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-96 Diagrama de Piper, Campaña julio 2024, Sector Norte y Borde Este



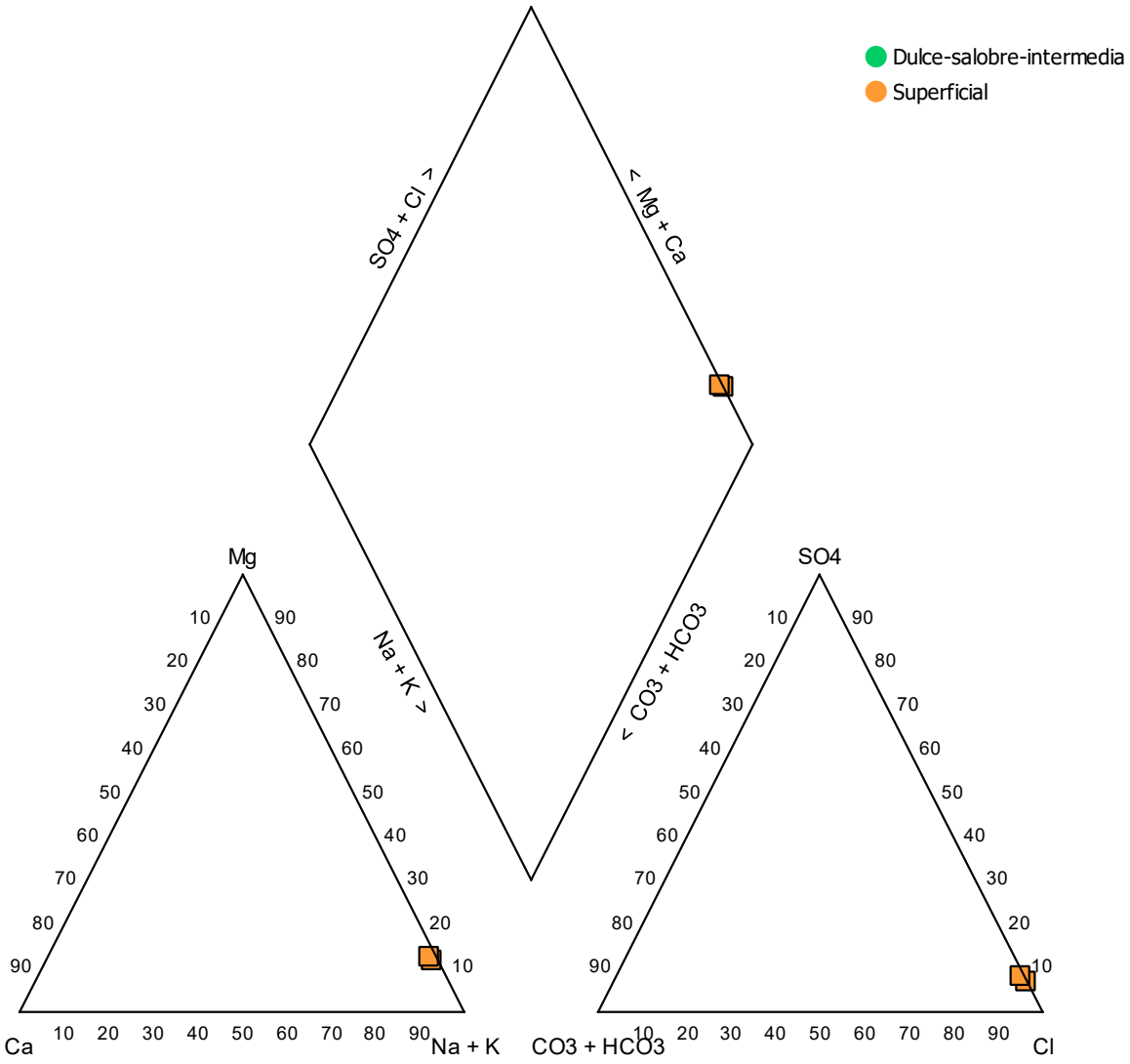
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-97 Diagrama de Piper, Campaña agosto 2024, Sector Norte y Borde Este



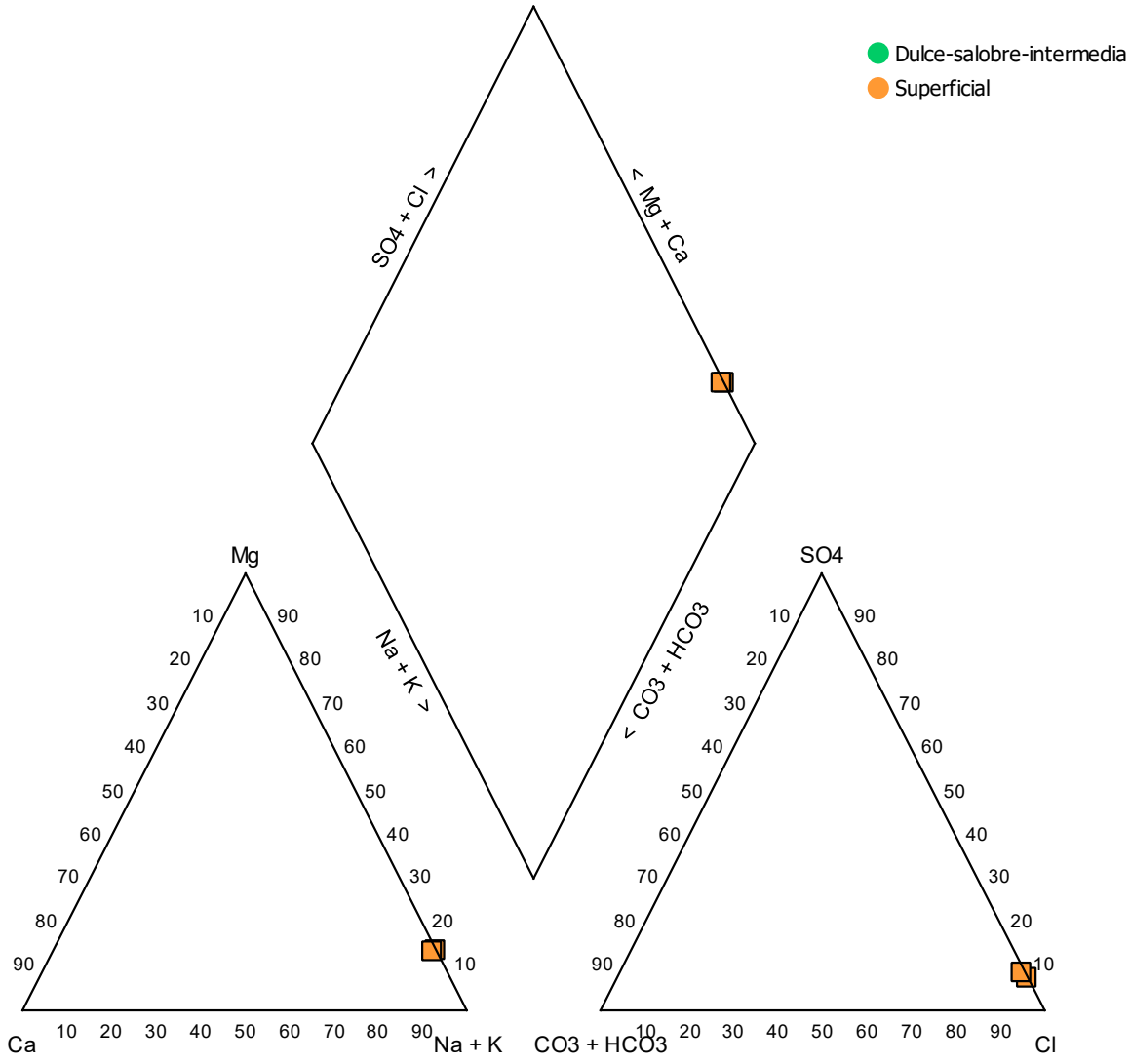
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-98 Diagrama de Piper, Campaña septiembre 2024, Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-99 Diagrama de Piper, Campaña octubre 2024, Sector Norte y Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.8.6 Química de los Pozos de Extracción

En la siguiente sección se presentan los resultados de la química de las 3 captaciones de extracción (ver ubicación en la 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 2024.

En la Tabla 5-24, Tabla 5-2 y Tabla 5-26, se presentan los resultados registrados de calidad química en el año 2024 para dichos pozos.

Tabla 5-24 Resultados Calidad Química de pozo Peine año 2024

Mes	Densidad (g/cm^3)	Calcio (ppm)	Litio (ppm)	Magnesio (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Sulfato (ppm)
Enero	1,000	409	1	108	34	877	626
Febrero	1,001	438	1	111	38	670	871
Marzo	1,001	439	1	104	33	622	940
Abril	1,000	449	1	110	33	694	892
Mayo	1,001	459	1	110	33	647	934
Junio	1,000	384	1	107	34	674	867
Julio	1,000	425	1	108	36	652	955
Agosto	1,000	451	1	100	36	653	1020
Septiembre	0,999	418	1	97	39	630	924
Octubre	1,001	382	5	98	34	586	904
Noviembre	1,002	438	2	110	43	683	1035
Diciembre	1,001	414	1	100	30	609	917

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-25 Resultados Calidad Química de vertiente Tilopozo año 2024

Mes	Densidad (g/cm^3)	Calcio (ppm)	Litio (ppm)	Magnesio (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Sulfato (ppm)
Enero	1,001	128	5	95	76	575	393
Febrero	1,000	133	5	98	77	558	372
Marzo	1,001	137	5	98	80	582	443
Abril	1,000	136	5	97	81	554	437
Mayo	1,000	145	5	96	79	562	418
Junio	1,000	138	5	95	77	587	380
Julio	1,000	135	5	95	78	574	437
Agosto	1,001	166	5	85	81	530	420
Septiembre	1,002	198	5	99	80	601	546
Octubre	1,000	154	5	88	82	529	439
Noviembre	1,001	157	7	90	80	536	433
Diciembre	1,002	160	5	88	71	530	418

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-26 Resultados Calidad Química de pozo Tucúcaro año 2024

Mes	Densidad (g/cm^3)	Calcio (ppm)	Litio (ppm)	Magnesio (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Sulfato (ppm)
Enero	1,001	136	11	127	161	960	543
Febrero	1,002	136	11	129	160	947	518
Marzo	1,002	137	11	129	164	958	582
Abril	1,001	138	10	123	162	973	562
Mayo	1,001	150	11	125	158	975	579
Junio	1,000	143	11	123	157	1004	517
Julio	1,000	142	11	124	162	986	529
Agosto	1,001	135	12	116	152	985	566
Septiembre	1,000	169	13	119	138	1032	591
Octubre	1,001	148	12	99	127	853	512
Noviembre	1,002	153	11	120	148	966	575
Diciembre	1,001	163	11	116	154	969	550

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5-27, se puede ver que la densidad es similar en los 3 puntos analizados, y que las mayores concentraciones de calcio (459 ppm en mayo) y sulfato (1.035 ppm en noviembre) ocurren en el punto Peine, mientras que, las mayores concentraciones de litio (13 ppm en septiembre), magnesio (129 ppm en febrero y marzo), potasio (164 ppm en marzo) y sodio (1032 ppm en septiembre) se observan en el punto Tucúcaro.

Tabla 5-27 Mínimos y máximos de los puntos Peine, Vertiente Tilopozo y Tucúcaro

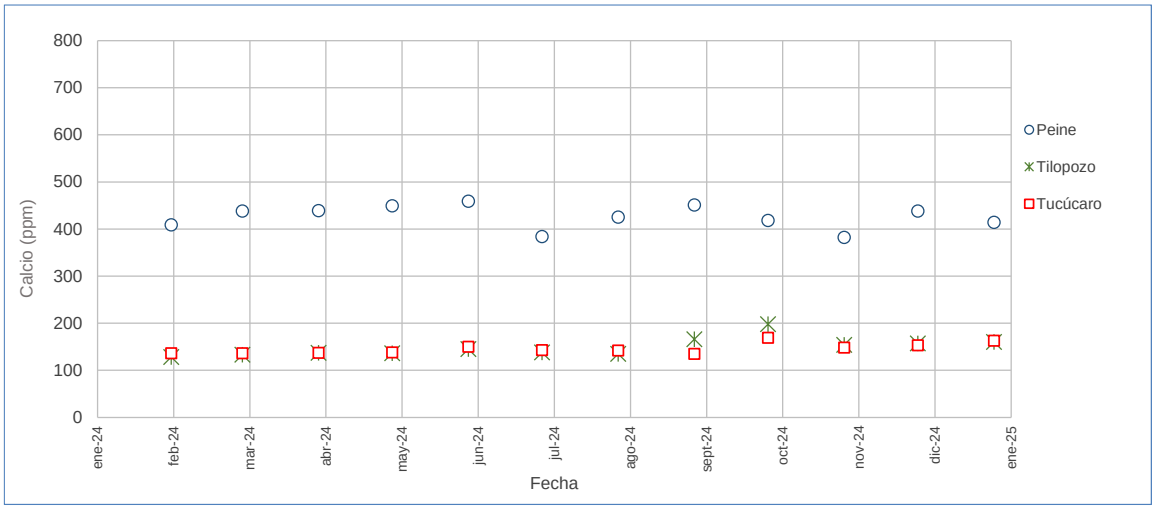
Puntos	Rango	Densidad	Calcio	Litio	Magnesio	Potasio	Sodio	Sulfato
		(g/cm3)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Peine	Mínimo	0,999	382	1	97	30	586	626
	Máximo	1,002	459	5	111	43	877	1035
Tilopozo	Mínimo	1,000	128	5	85	71	529	372
	Máximo	1,002	198	7	99	82	601	546
Tucúcaro	Mínimo	1,000	135	10	99	127	853	512
	Máximo	1,002	169	13	129	164	1032	591

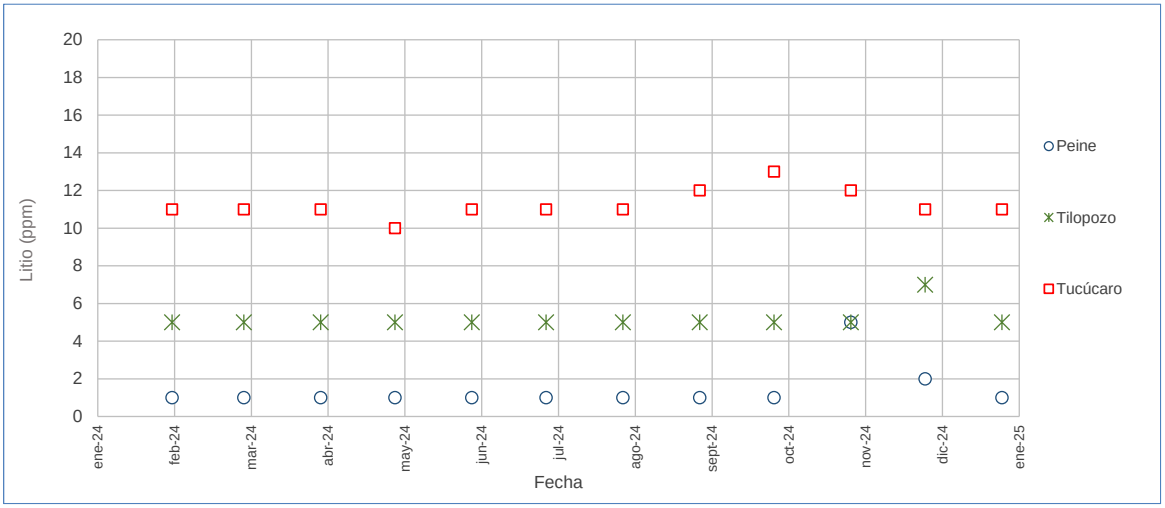
La Figura 5-100 presenta la gráfica de la variación de calcio, litio y magnesio para los puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro durante el año 2024 y la Figura 5-101 presenta la variación de potasio, sodio y sulfato para estos mismos puntos y periodo.

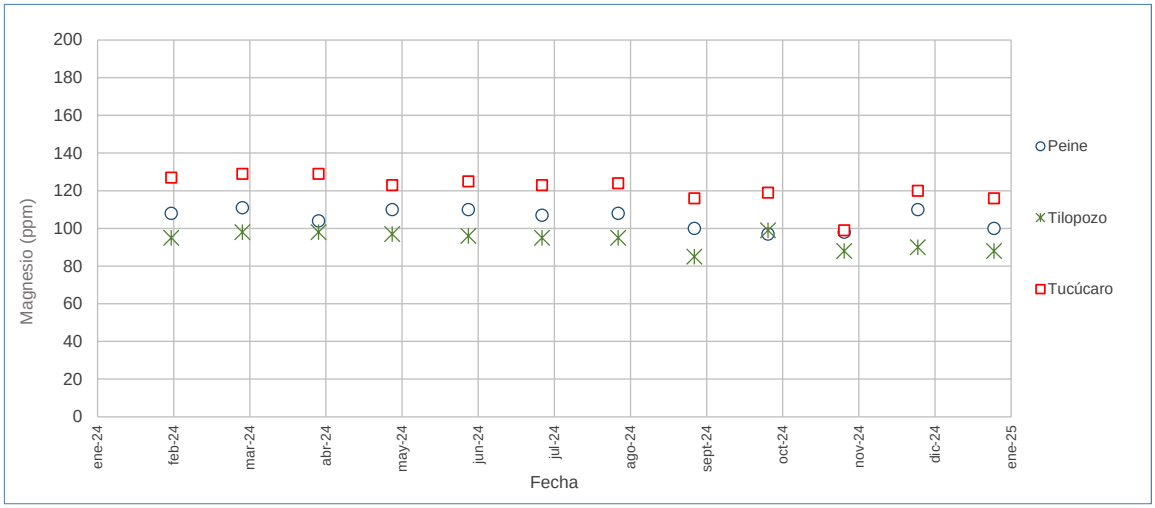
En la Figura 5-100 se puede observar que en Tilopozo y Tucúcaro el calcio se comporta de forma similar, con valores entre 128 y 198 ppm. Peine muestra los mayores valores, que van desde 382 a 459 ppm. Por otra parte, en Peine, Tilopozo, y Tucúcaro el litio se muestra relativamente constante para cada punto, con valores entre 1 y 5 ppm (Peine), entre 5 y 7 ppm (Vertiente Tilopozo) y entre 10 y 13 ppm (Tucúcaro). Además, se tiene en los 3 puntos los valores de magnesio se comportan similares con valores entre 85 y 129 ppm.

En la Figura 5-101, se puede observar que el potasio en Peine presenta los menores valores, que van desde 33 hasta 43 ppm, y en Tucúcaro los máximos, entre 127 y 164 ppm. Por otra parte, en Peine y Tilopozo el sodio muestra un comportamiento de valores relativamente similar, entre 529 y 877 ppm, y en Tucúcaro se observan mayores valores que van desde 853 hasta 1032 ppm. Por último, se tiene que los menores valores de sulfato se observan en Tilopozo, entre 372 y 546 ppm, y los mayores valores en Peine, entre 626 y 1035 ppm.

Figura 5-100 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en puntos Peine, Tilopozo y Tucúcaro

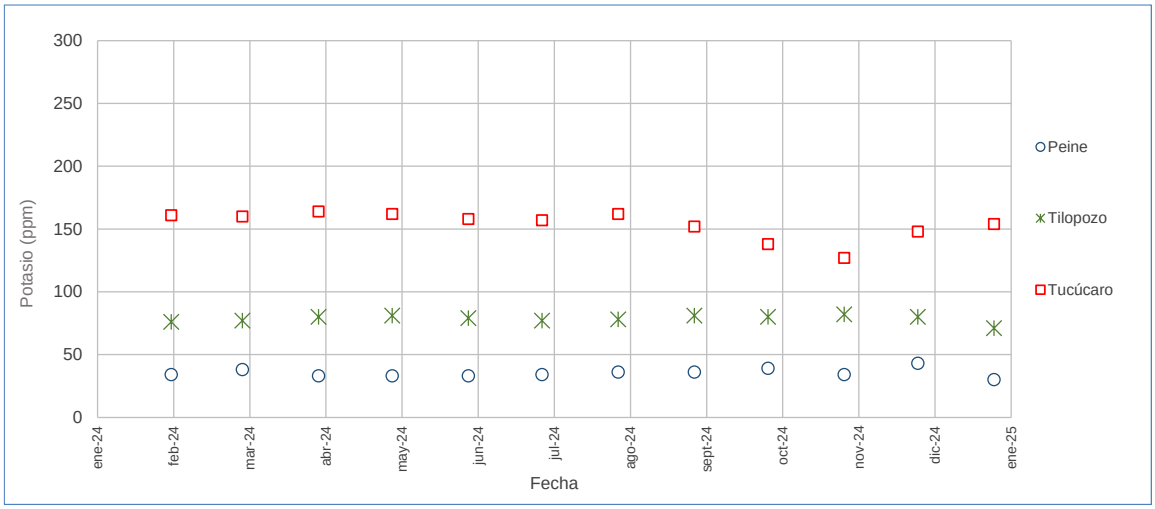


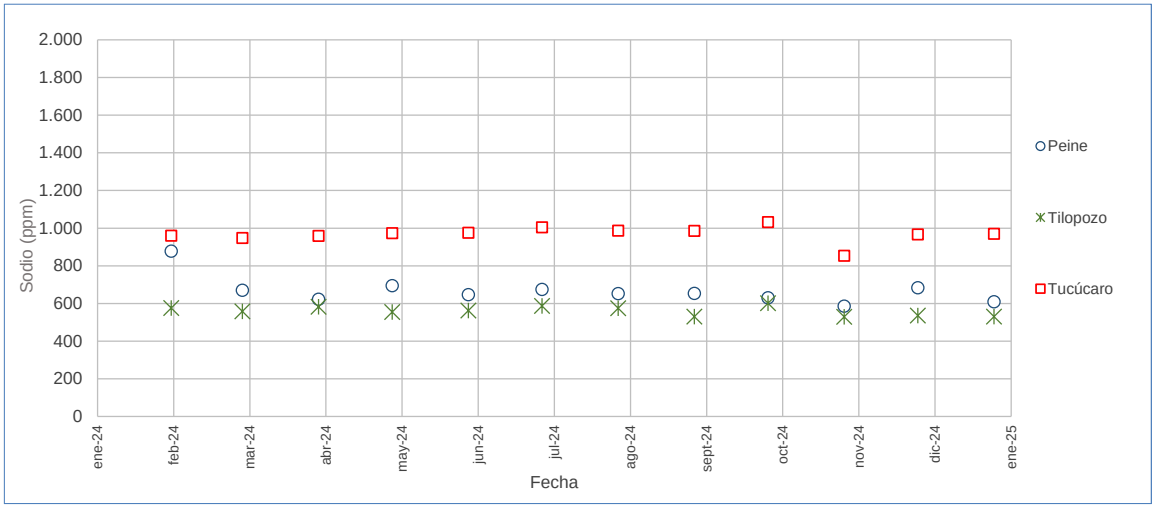


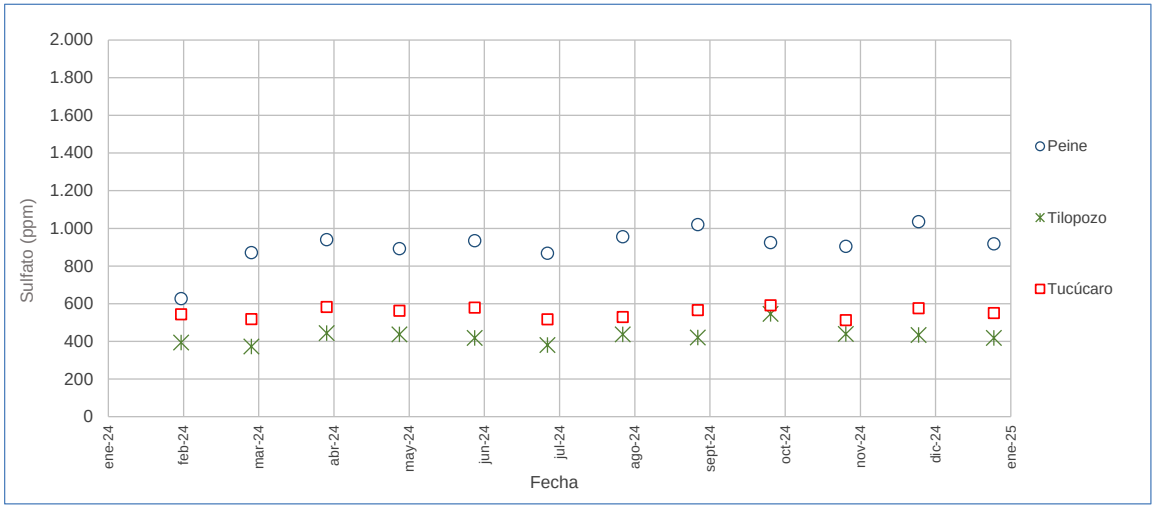


Fuente: Elaboración propia

Figura 5-101 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 calendario 2024 y operacional 2023-2024.

Durante este periodo fueron bombeados un total de 78 pozos de extracción de salmuera en las áreas de extracción A1 y A2, en la Tabla 4-11 de la sección 4.2.5, se presentan las coordenadas de cada pozo y su correspondiente área de extracción, además, 3 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.

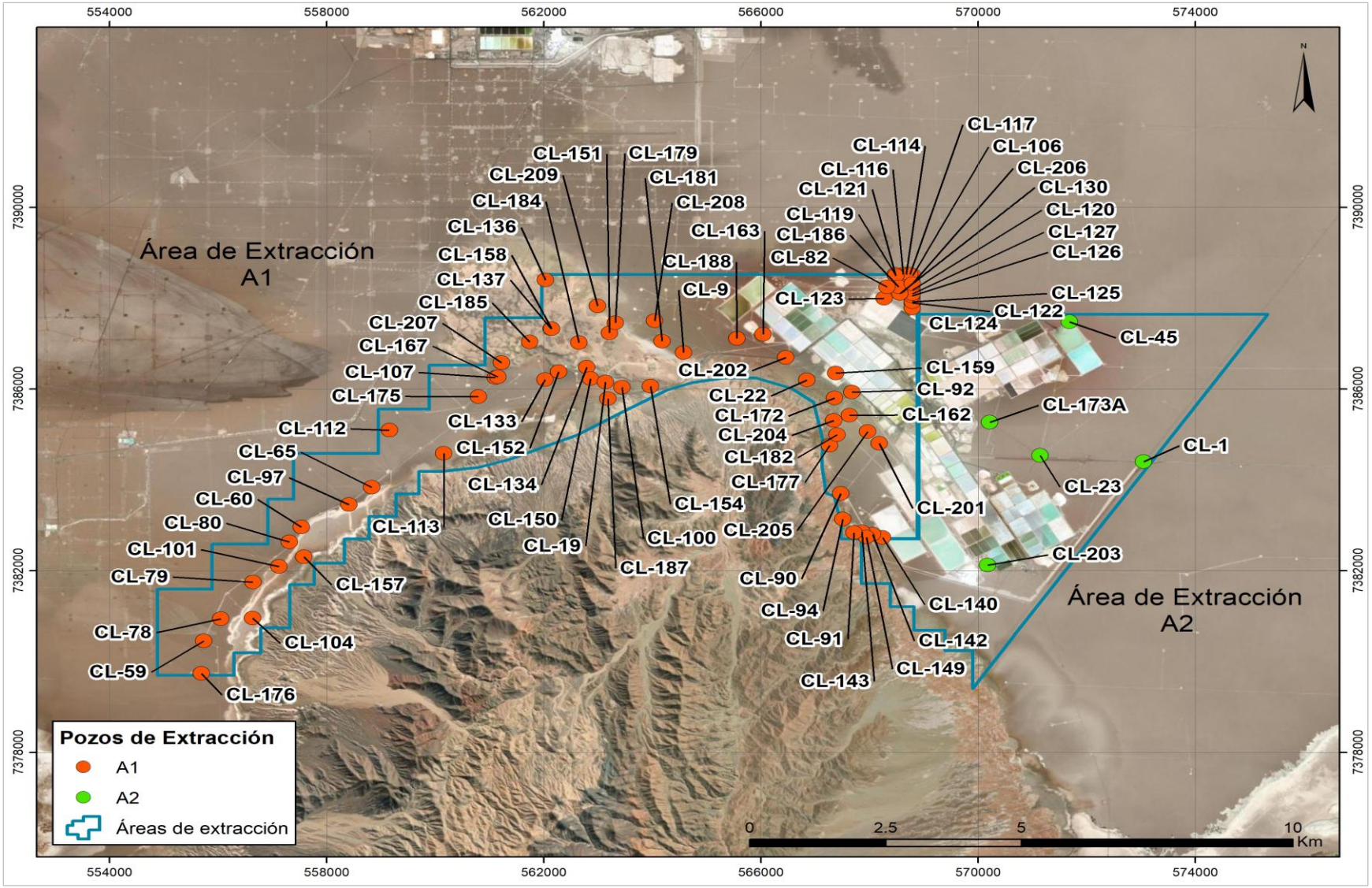
A continuación, se presentan los valores de los caudales bombeados durante 2024.

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 se representa en el mapa de la Figura 5-102. El detalle de los volúmenes y caudales bombeados durante el año 2024 se presenta en la Tabla 5-28. Los resultados del volumen anual del año calendario de extracción de salmuera en ambas áreas (A1 y A2) en el período 2024 se presenta en la Tabla 5-28.

En dicha tabla (Tabla 5-28) se observa que el volumen de extracción total del año calendario 2024 fue de 12.745.803 m^3, lo que equivale a un caudal medio anual de 403,06 l/s, mientras que para el área A1 el volumen total de extracción fue de 10.150.151 m^3 equivalente a un caudal medio anual de 320,98 l/s, y para el área A2 el volumen total de extracción durante el 2024 fue de 2.595.652 m^3, equivalente a un caudal medio anual de 82,08 l/s, con una desviación de extracción absolutamente marginal de 0,08 l/s para dicha área.

Figura 5-102 Mapa de ubicación de los pozos de extracción de salmuera de Albemarle



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

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]	5.234	3.944	0	4.566	4.290	3.099	5.434	1.404	5.418	5.344	5.106	5.505	49.344
	Caudal [l/s]	1,95	1,57	0,00	1,76	1,60	1,20	2,03	0,52	2,09	2,00	1,97	2,06	
CL-19	Volumen [m3/mes]	23.881	20.266	25.643	24.994	20.624	14.236	20.670	16.937	31.387	29.792	24.070	21.720	274.220
	Caudal [l/s]	8,92	8,09	9,57	9,64	7,70	5,49	7,72	6,32	12,11	11,12	9,29	8,11	
CL-22	Volumen [m3/mes]	19.190	16.357	16.195	15.292	14.048	11.622	16.447	21.583	18.296	15.841	10.841	4.906	180.618
	Caudal [l/s]	7,16	6,53	6,05	5,90	5,24	4,48	6,14	8,06	7,06	5,91	4,18	1,83	
CL-59	Volumen [m3/mes]	0	0	0	9.541	1.238	0	0	121	30.959	84	1.018	3	42.964
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	0,00	3,68	0,46	0,00	0,00	0,05	11,94	0,03	0,39	0,00	
CL-60	Volumen [m3/mes]	16.928	8.104	4.025	6.441	403	6	0	879	27.181	9.892	25.108	808	99.775
	Caudal [l/s]	6,32	3,23	1,50	2,49	0,15	0,00	0,00	0,33	10,49	3,69	9,69	0,30	
CL-65	Volumen [m3/mes]	335	1.190	0	0	0	0	0	0	4.543	2	110	0	6.180
	Caudal [l/s]	0,13	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,04	0,00	
CL-78	Volumen [m3/mes]	3.082	963	2.829	5.621	45	3.117	114	86	15.536	40	0	0	31.433
	Caudal [l/s]	1,15	0,38	1,06	2,17	0,02	1,20	0,04	0,03	5,99	0,01	0,00	0,00	
CL-79	Volumen [m3/mes]	5.386	1.623	10	276	0	0	0	0	9.634	2.726	9.888	819	30.362
	Caudal [l/s]	2,01	0,65	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	3,72	1,02	3,81	0,31	
CL-80	Volumen [m3/mes]	1.581	1.142	0	1.406	10	1.493	96	14	4.029	1.125	4.327	462	15.685
	Caudal [l/s]	0,59	0,46	0,00	0,54	0,00	0,58	0,04	0,01	1,55	0,42	1,67	0,17	
CL-82	Volumen [m3/mes]	10.986	7.225	5.343	4.102	3.725	2.525	15.507	14.123	12.375	11.752	9.927	9.394	106.984
	Caudal [l/s]	4,10	2,88	1,99	1,58	1,39	0,97	5,79	5,27	4,77	4,39	3,83	3,51	
CL-90	Volumen [m3/mes]	8.667	5.529	4.818	1.838	0	3.143	8.725	11.668	6.471	2.419	0	0	53.278
	Caudal [l/s]	3,24	2,21	1,80	0,71	0,00	1,21	3,26	4,36	2,50	0,90	0,00	0,00	
CL-91	Volumen [m3/mes]	6.611	6.292	7.781	10.931	9.575	12.389	3.863	303	10.800	11.014	10.856	1.172	91.587
	Caudal [l/s]	2,47	2,51	2,90	4,22	3,57	4,78	1,44	0,11	4,17	4,11	4,19	0,44	
CL-92	Volumen [m3/mes]	13.531	14.947	7.912	11.421	8.119	11.199	11.192	11.440	10.937	11.796	10.252	8.737	131.483

Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	5,05	5,97	2,95	4,41	3,03	4,32	4,18	4,27	4,22	4,40	3,96	3,26	
CL-94	Volumen [m3/mes]	14.353	12.637	759	0	0	0	0	0	6.119	11.864	6.860	1.108	53.700
	Caudal [l/s]	5,36	5,04	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	4,43	2,65	0,41	
CL-97	Volumen [m3/mes]	16.252	17.296	18.467	11.007	17.514	18.036	17.749	12.668	16.212	19.103	18.595	18.681	201.580
	Caudal [l/s]	6,07	6,90	6,89	4,25	6,54	6,96	6,63	4,73	6,25	7,13	7,17	6,97	
CL-100	Volumen [m3/mes]	11.637	8.998	16.985	9.155	9.838	8.129	4.366	1.080	27.326	33.128	33.497	34.586	198.725
	Caudal [l/s]	4,34	3,59	6,34	3,53	3,67	3,14	1,63	0,40	10,54	12,37	12,92	12,91	
CL-101	Volumen [m3/mes]	2.008	4.039	0	3.617	11	7.118	139	119	23.665	26.130	22.980	19.057	108.883
	Caudal [l/s]	0,75	1,61	0,00	1,40	0,00	2,75	0,05	0,04	9,13	9,76	8,87	7,12	
CL-104	Volumen [m3/mes]	2.594	2.382	0	9.036	9.941	1.337	261	242	15.537	17.925	17.827	2.048	79.130
	Caudal [l/s]	0,97	0,95	0,00	3,49	3,71	0,52	0,10	0,09	5,99	6,69	6,88	0,76	
CL-106	Volumen [m3/mes]	18.740	28.580	20.352	20.284	21.459	30.427	39.370	43.546	41.049	40.385	43.799	36.447	384.438
	Caudal [l/s]	7,00	11,41	7,60	7,83	8,01	11,74	14,70	16,26	15,84	15,08	16,90	13,61	
CL-107	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	35	10	4.531	1.736	0	0	6.312
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,75	0,65	0,00	0,00	
CL-112	Volumen [m3/mes]	13.277	13.074	14.913	14.969	13.991	14.510	14.021	10.614	13.248	15.693	13.367	14.169	165.846
	Caudal [l/s]	4,96	5,22	5,57	5,78	5,22	5,60	5,23	3,96	5,11	5,86	5,16	5,29	
CL-113	Volumen [m3/mes]	9.751	11.602	12.248	8.329	12.105	10.246	10.382	4.671	10.298	8.949	6.357	481	105.419
	Caudal [l/s]	3,64	4,63	4,57	3,21	4,52	3,95	3,88	1,74	3,97	3,34	2,45	0,18	
CL-114	Volumen [m3/mes]	10.314	12.558	12.496	11.988	12.500	12.389	12.468	9.570	11.369	12.801	12.684	1.290	132.427
	Caudal [l/s]	3,85	5,01	4,67	4,63	4,67	4,78	4,66	3,57	4,39	4,78	4,89	0,48	
CL-116	Volumen [m3/mes]	9.059	9.435	7.437	6.230	5.332	8.914	1.537	2.831	6.937	7.026	6.828	7.761	79.327
	Caudal [l/s]	3,38	3,77	2,78	2,40	1,99	3,44	0,57	1,06	2,68	2,62	2,63	2,90	
CL-117	Volumen [m3/mes]	5.964	10.398	13.205	12.660	9.731	4.417	12.669	13.830	14.813	15.360	14.862	16.098	144.007
	Caudal [l/s]	2,23	4,15	4,93	4,88	3,63	1,70	4,73	5,16	5,71	5,73	5,73	6,01	
CL-119	Volumen [m3/mes]	16.836	12.979	11.575	10.753	6.575	6.761	9.719	10.031	8.474	11.286	11.149	10.710	126.848
	Caudal [l/s]	6,29	5,18	4,32	4,15	2,45	2,61	3,63	3,75	3,27	4,21	4,30	4,00	

Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
CL-120	Volumen [m3/mes]	21.709	22.623	22.287	20.489	21.356	21.887	19.337	23.068	19.805	19.526	19.118	22.084	253.289
	Caudal [l/s]	8,11	9,03	8,32	7,90	7,97	8,44	7,22	8,61	7,64	7,29	7,38	8,25	
CL-121	Volumen [m3/mes]	22.186	22.141	21.913	21.341	24.921	23.833	22.570	21.433	20.497	22.188	17.107	8.655	248.785
	Caudal [l/s]	8,28	8,84	8,18	8,23	9,30	9,19	8,43	8,00	7,91	8,28	6,60	3,23	
CL-122	Volumen [m3/mes]	12.287	11.259	11.545	8.407	11.270	10.340	11.980	16.554	14.138	16.416	17.465	17.083	158.744
	Caudal [l/s]	4,59	4,49	4,31	3,24	4,21	3,99	4,47	6,18	5,45	6,13	6,74	6,38	
CL-123	Volumen [m3/mes]	943	3.824	198	0	0	0	2.399	2.558	2.695	2.310	937	0	15.864
	Caudal [l/s]	0,35	1,53	0,07	0,00	0,00	0,00	0,90	0,96	1,04	0,86	0,36	0,00	
CL-124	Volumen [m3/mes]	11.874	8.798	10.302	9.554	9.450	9.418	7.969	10.147	10.257	11.641	10.651	10.602	120.663
	Caudal [l/s]	4,43	3,51	3,85	3,69	3,53	3,63	2,98	3,79	3,96	4,35	4,11	3,96	
CL-125	Volumen [m3/mes]	10.364	8.867	7.054	10.191	7.979	5.611	5.071	5.536	6.559	7.796	7.393	9.054	91.475
	Caudal [l/s]	3,87	3,54	2,63	3,93	2,98	2,16	1,89	2,07	2,53	2,91	2,85	3,38	
CL-126	Volumen [m3/mes]	10.673	9.878	10.515	11.836	11.826	11.468	10.508	11.015	10.724	11.887	11.972	12.235	134.537
	Caudal [l/s]	3,98	3,94	3,93	4,57	4,42	4,42	3,92	4,11	4,14	4,44	4,62	4,57	
CL-127	Volumen [m3/mes]	21.579	19.477	18.538	19.496	20.173	19.449	16.506	16.876	18.108	16.563	4.661	21.407	212.833
	Caudal [l/s]	8,06	7,77	6,92	7,52	7,53	7,50	6,16	6,30	6,99	6,18	1,80	7,99	
CL-130	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	4.373	7.914	9.950	9.271	6.846	7.560	45.914
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	2,95	3,84	3,46	2,64	2,82	
CL-133	Volumen [m3/mes]	22.901	23.536	28.039	26.923	27.534	23.994	26.822	21.689	25.228	27.446	28.453	28.752	311.317
	Caudal [l/s]	8,55	9,39	10,47	10,39	10,28	9,26	10,01	8,10	9,73	10,25	10,98	10,73	
CL-134	Volumen [m3/mes]	18.739	20.577	20.027	17.992	20.301	23.193	22.722	18.539	23.923	22.838	22.661	21.090	252.602
	Caudal [l/s]	7,00	8,21	7,48	6,94	7,58	8,95	8,48	6,92	9,23	8,53	8,74	7,87	
CL-136	Volumen [m3/mes]	9.175	9.312	10.216	9.713	9.652	8.505	9.577	8.925	8.819	8.687	8.576	8.726	109.883
	Caudal [l/s]	3,43	3,72	3,81	3,75	3,60	3,28	3,58	3,33	3,40	3,24	3,31	3,26	
CL-137	Volumen [m3/mes]	15.378	12.709	14.426	14.291	20.387	18.794	20.393	20.147	19.417	20.439	16.443	16.782	209.606
	Caudal [l/s]	5,74	5,07	5,39	5,51	7,61	7,25	7,61	7,52	7,49	7,63	6,34	6,27	
CL-140	Volumen [m3/mes]	20.230	21.736	21.603	19.860	22.145	21.844	22.051	21.591	20.148	19.828	20.431	22.072	253.539

Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	7,55	8,67	8,07	7,66	8,27	8,43	8,23	8,06	7,77	7,40	7,88	8,24	
CL-142	Volumen [m3/mes]	23.643	24.079	25.854	12.796	24.254	23.399	29.642	29.179	28.914	29.479	28.600	31.730	311.569
	Caudal [l/s]	8,83	9,61	9,65	4,94	9,06	9,03	11,07	10,89	11,16	11,01	11,03	11,85	
CL-143	Volumen [m3/mes]	21.957	20.114	19.292	18.568	19.420	19.432	22.825	23.637	20.744	23.479	21.505	22.204	253.177
	Caudal [l/s]	8,20	8,03	7,20	7,16	7,25	7,50	8,52	8,83	8,00	8,77	8,30	8,29	
CL-149	Volumen [m3/mes]	6.326	14.464	22.869	19.708	14.659	10.054	2.761	4	14.418	22.751	23.498	3.410	154.922
	Caudal [l/s]	2,36	5,77	8,54	7,60	5,47	3,88	1,03	0,00	5,56	8,49	9,07	1,27	
CL-150	Volumen [m3/mes]	6.692	7.017	5.959	3.393	7.305	4.632	5.996	8.487	7.848	5.367	6.688	4.981	74.365
	Caudal [l/s]	2,50	2,80	2,22	1,31	2,73	1,79	2,24	3,17	3,03	2,00	2,58	1,86	
CL-151	Volumen [m3/mes]	7.301	3.766	11.247	9.979	7.070	4.833	4.112	1.182	7.601	8.109	6.837	676	72.713
	Caudal [l/s]	2,73	1,50	4,20	3,85	2,64	1,86	1,54	0,44	2,93	3,03	2,64	0,25	
CL-152	Volumen [m3/mes]	12.146	10.478	12.556	11.627	12.242	11.577	12.008	11.936	11.186	12.013	10.876	11.429	140.074
	Caudal [l/s]	4,53	4,18	4,69	4,49	4,57	4,47	4,48	4,46	4,32	4,49	4,20	4,27	
CL-154	Volumen [m3/mes]	10.715	13.960	14.520	14.691	15.083	13.738	9.329	15.354	23.680	21.482	21.332	18.789	192.673
	Caudal [l/s]	4,00	5,57	5,42	5,67	5,63	5,30	3,48	5,73	9,14	8,02	8,23	7,01	
CL-157	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	0	0	13.849	17.726	15.534	16.213	63.322
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,34	6,62	5,99	6,05	
CL-158	Volumen [m3/mes]	19.666	15.451	18.203	19.169	18.489	13.239	13.529	14.072	12.835	12.608	11.826	11.199	180.286
	Caudal [l/s]	7,34	6,17	6,80	7,40	6,90	5,11	5,05	5,25	4,95	4,71	4,56	4,18	
CL-159	Volumen [m3/mes]	223	300	0	0	0	380	93	9	0	17	0	6	1.028
	Caudal [l/s]	0,08	0,12	0,00	0,00	0,00	0,15	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
CL-162	Volumen [m3/mes]	11.761	10.379	10.477	9.007	9.953	9.923	11.361	11.093	11.366	13.580	11.200	10.590	130.690
	Caudal [l/s]	4,39	4,14	3,91	3,47	3,72	3,83	4,24	4,14	4,38	5,07	4,32	3,95	
CL-163	Volumen [m3/mes]	7.596	7.607	7.685	7.301	6.823	6.384	6.521	7.747	7.521	7.589	7.218	7.383	87.375
	Caudal [l/s]	2,84	3,04	2,87	2,82	2,55	2,46	2,43	2,89	2,90	2,83	2,78	2,76	
CL-167	Volumen [m3/mes]	9.824	11.339	5.480	0	0	0	0	0	0	1.736	34	0	28.413
	Caudal [l/s]	3,67	4,53	2,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65	0,01	0,00	

Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
CL-172	Volumen [m3/mes]	19.159	21.484	21.831	18.449	28.581	27.264	30.769	29.079	28.596	27.208	23.815	24.276	300.511
	Caudal [l/s]	7,15	8,57	8,15	7,12	10,67	10,52	11,49	10,86	11,03	10,16	9,19	9,06	
CL-175	Volumen [m3/mes]	19.879	20.408	20.000	20.432	21.111	18.163	21.481	21.761	20.902	8.608	8.344	906	201.995
	Caudal [l/s]	7,42	8,14	7,47	7,88	7,88	7,01	8,02	8,12	8,06	3,21	3,22	0,34	
CL-176	Volumen [m3/mes]	8.835	8.554	8.451	7.633	5.774	5.568	3.690	463	2.878	6.181	4.940	4.972	67.939
	Caudal [l/s]	3,30	3,41	3,16	2,94	2,16	2,15	1,38	0,17	1,11	2,31	1,91	1,86	
CL-177	Volumen [m3/mes]	5.625	9.156	11.639	12.007	11.701	11.379	11.295	9.911	8.251	8.123	7.319	7.430	113.836
	Caudal [l/s]	2,10	3,65	4,35	4,63	4,37	4,39	4,22	3,70	3,18	3,03	2,82	2,77	
CL-179	Volumen [m3/mes]	12.937	12.385	15.576	13.391	20.430	18.934	17.039	13.943	18.759	17.635	14.710	13.802	189.541
	Caudal [l/s]	4,83	4,94	5,82	5,17	7,63	7,30	6,36	5,21	7,24	6,58	5,68	5,15	
CL-181	Volumen [m3/mes]	0	0	0	0	0	0	3.102	7.893	10.259	258	0	0	21.512
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	2,95	3,96	0,10	0,00	0,00	
CL-182	Volumen [m3/mes]	13.791	13.953	13.640	11.520	14.427	12.708	13.821	15.439	14.986	15.508	14.003	14.093	167.889
	Caudal [l/s]	5,15	5,57	5,09	4,44	5,39	4,90	5,16	5,76	5,78	5,79	5,40	5,26	
CL-184	Volumen [m3/mes]	7.457	7.996	9.430	9.417	9.625	8.928	6.871	8.538	8.985	9.416	7.169	8.020	101.852
	Caudal [l/s]	2,78	3,19	3,52	3,63	3,59	3,44	2,57	3,19	3,47	3,52	2,77	2,99	
CL-185	Volumen [m3/mes]	29.584	28.029	32.618	33.160	39.063	39.521	38.800	39.804	30.744	36.089	34.782	36.075	418.269
	Caudal [l/s]	11,05	11,19	12,18	12,79	14,58	15,25	14,49	14,86	11,86	13,47	13,42	13,47	
CL-186	Volumen [m3/mes]	6.966	2.290	14.180	15.024	14.189	13.789	12.991	14.448	16.402	19.065	16.848	19.337	165.529
	Caudal [l/s]	2,60	0,91	5,29	5,80	5,30	5,32	4,85	5,39	6,33	7,12	6,50	7,22	
CL-187	Volumen [m3/mes]	4.980	6.987	7.079	5.528	9.082	6.530	5.561	4.810	6.115	5.620	7.459	7.873	77.624
	Caudal [l/s]	1,86	2,79	2,64	2,13	3,39	2,52	2,08	1,80	2,36	2,10	2,88	2,94	
CL-188	Volumen [m3/mes]	6.144	5.923	6.412	6.518	6.532	6.096	5.807	6.049	5.702	5.781	5.486	5.211	71.661
	Caudal [l/s]	2,29	2,36	2,39	2,51	2,44	2,35	2,17	2,26	2,20	2,16	2,12	1,95	
CL-201	Volumen [m3/mes]	11.722	11.752	12.421	12.271	12.920	12.527	14.352	13.059	15.167	15.661	15.061	13.306	160.219
	Caudal [l/s]	4,38	4,69	4,64	4,73	4,82	4,83	5,36	4,88	5,85	5,85	5,81	4,97	
CL-202	Volumen [m3/mes]	5.394	4.890	8.103	11.578	11.750	10.630	11.817	12.117	11.414	9.573	9.387	9.607	116.260

Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	2,01	1,95	3,03	4,47	4,39	4,10	4,41	4,52	4,40	3,57	3,62	3,59	
CL-204	Volumen [m3/mes]	34.252	30.745	26.126	21.431	27.562	27.312	26.733	26.328	22.700	27.176	25.637	25.767	321.769
	Caudal [l/s]	12,79	12,27	9,75	8,27	10,29	10,54	9,98	9,83	8,76	10,15	9,89	9,62	
CL-205	Volumen [m3/mes]	13.703	8.254	8.829	8.142	5.798	7.165	4.761	7.258	5.842	6.189	7.107	7.667	90.715
	Caudal [l/s]	5,12	3,29	3,30	3,14	2,16	2,76	1,78	2,71	2,25	2,31	2,74	2,86	
CL-206	Volumen [m3/mes]	7.490	7.040	7.793	9.173	8.182	7.414	8.393	9.293	5.745	4.600	1.231	1.120	77.474
	Caudal [l/s]	2,80	2,81	2,91	3,54	3,05	2,86	3,13	3,47	2,22	1,72	0,47	0,42	
CL-207	Volumen [m3/mes]	0	0	12.188	7.562	7.546	5.843	13.762	15.917	17.482	18.829	15.235	15.113	129.477
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	4,55	2,92	2,82	2,25	5,14	5,94	6,74	7,03	5,88	5,64	
CL-208	Volumen [m3/mes]	0	0	0	7.897	10.107	10.094	10.754	9.970	7.580	8.889	8.472	8.979	82.742
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	0,00	3,05	3,77	3,89	4,02	3,72	2,92	3,32	3,27	3,35	
CL-209	Volumen [m3/mes]	0	0	12.765	31.198	33.512	33.416	31.252	27.077	25.374	25.538	22.076	20.916	263.124
	Caudal [l/s]	0,00	0,00	4,77	12,04	12,51	12,89	11,67	10,11	9,79	9,53	8,52	7,81	
Volumen total anual área de extracción A1 [m3/año]														**10.150.151**
Caudal mensual A1 [l/s]		294,95	305,36	299,76	305,99	306,62	302,59	305,51	302,28	401,72	370,35	357,73	300,61	-
Caudal medio anual área de extracción A1 [l/s]														**320,98**
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]	69.134	63.376	75.360	68.189	67.472	68.409	49.602	55.401	59.041	62.961	59.428	31.951	730.324
	Caudal [l/s]	25,81	25,29	28,14	26,31	25,19	26,39	18,52	20,68	22,78	23,51	22,93	11,93	
CL-23	Volumen [m3/mes]	62.815	49.420	41.891	45.330	48.654	58.098	65.230	59.623	75.414	68.013	60.969	65.460	700.917
	Caudal [l/s]	23,45	19,72	15,64	17,49	18,17	22,41	24,35	22,26	29,09	25,39	23,52	24,44	
CL-45	Volumen [m3/mes]	60.192	46.929	72.850	59.100	61.208	67.904	72.548	76.850	78.169	55.390	65.193	57.623	773.956
	Caudal [l/s]	22,47	18,73	27,20	22,80	22,85	26,20	27,09	28,69	30,16	20,68	25,15	21,51	
CL-173A	Volumen [m3/mes]	14.122	12.009	12.230	13.898	14.486	9.333	16.513	15.866	26.875	26.846	28.913	29.128	220.219
	Caudal [l/s]	5,27	4,79	4,57	5,36	5,41	3,60	6,17	5,92	10,37	10,02	11,15	10,88	
CL-203	Volumen [m3/mes]	24.647	20.240	16.610	10.375	7.872	1.837	865	5.506	23.801	7.652	25.422	25.409	170.236

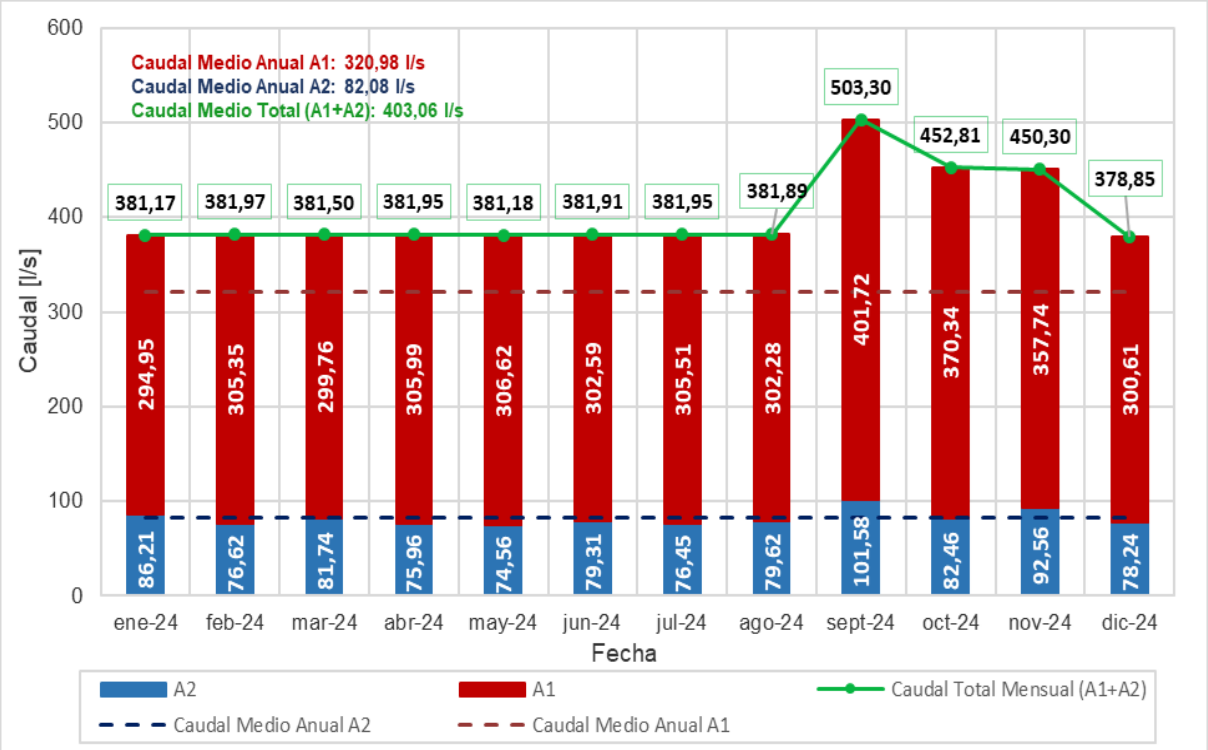
Tabla 5-28 Caudales y volúmenes bombeados en pozos de salmuera, año calendario 2024

Pozo	Volumen/Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Volumen total [m3/año]
	Caudal [l/s]	9,20	8,08	6,20	4,00	2,94	0,71	0,32	2,06	9,18	2,86	9,81	9,49	
Volumen total anual área de extracción A2 [m3/año]														**2.595.652**
Caudal mensual A2 [l/s]		86,21	76,62	81,74	75,96	74,56	79,31	76,45	79,62	101,58	82,46	92,56	78,24	-
Caudal medio anual área de extracción A2 [l/s]														**82,08**
Volumen total de extracción Salmuera [m3/año]														**12.745.803**
Caudal medio anual total [l/s]														**403,06**

Los caudales mensuales de extracción de salmuera durante el año calendario 2024 en las áreas A1 y A2, se presentan en el gráfico de columnas apiladas de la Figura 5-103. De la Tabla 5-28 se tiene que los caudales mensuales promedio más bajos en las áreas A1 y A2 fueron de 294,95 l/s y 74,56 l/s, respectivamente, observados en enero para A1 y en mayo para A2. Por otra parte, los caudales máximos en las áreas A1 y A2 fueron de 401,72 l/s y 101,58 l/s, respectivamente, durante el mes de septiembre para ambas áreas (A1 y A2). Los caudales medios anuales en las áreas A1 y A2 fueron de 320,98 l/s y 82,08 l/s, respectivamente.

La Figura 5-103 también muestra el caudal total de salmuera (línea de color verde de la Figura 5-103), el que considera el total de pozos en el sector A1 (73 pozos) y en el sector A2 (5 pozos). Se observa que el menor caudal total en ambas áreas (A1+A2) es de 378,85 l/s en diciembre 2024, mientras que el mayor caudal total es de 503,30 l/s en septiembre 2024. Y, por último, se tiene un caudal medio anual total para el año calendario 2024 de 403,06 l/s.

Figura 5-103 Caudal medio mensual de extracción de salmuera por zona, año calendario 2024



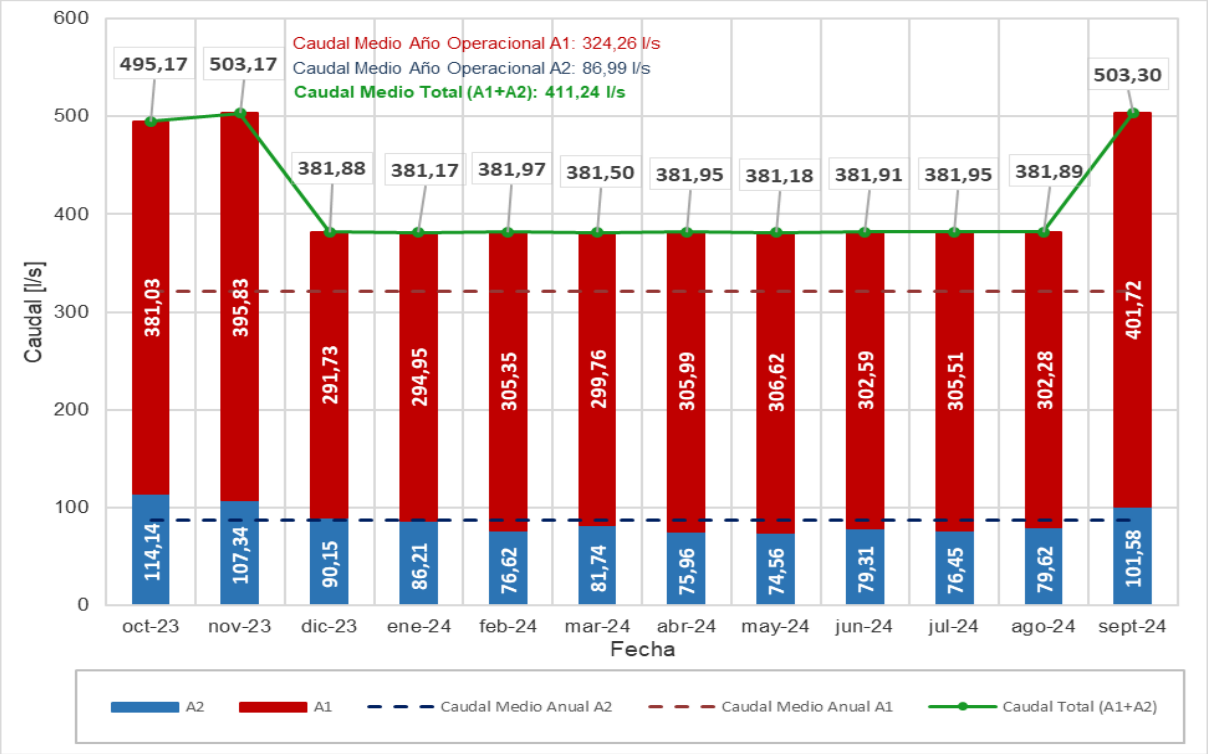
Nota: Los caudales totales se calculan, como corresponde, desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que 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, es decir, el año operacional comienza en octubre y termina en septiembre de cada año.

En este contexto, el volumen de extracción total de salmuera del año operacional 2023-2024 fue de 13.004.415 m^3, lo que equivale a un caudal medio anual de 411,24 l/s, mientras que para el área A1 el volumen total de extracción del año operacional 2023-2024 fue de 10.253.722 m^3 equivalente a un caudal medio anual de 324,26 l/s, y para el área A2 el volumen total de extracción durante el año operacional 2023-2024 fue de 2.750.693 m^3, equivalente a un caudal medio anual de 86,99 l/s, generándose una desviación del límite de dicho sector. Los datos de volúmenes y cálculos de caudales de los pozos mencionados para el año operacional 2023-2024 (octubre 2023 a septiembre 2024) y para el año calendario 2024 (enero a diciembre 2024) se encuentra disponible en el Anexo J.

En la Figura 5-104 se muestra la extracción mensual de salmuera de Albemarle para el año operacional 2023-2024, en donde se observa que el caudal total mínimo se registra en enero 2024 con 381,17 l/s, mientras que el caudal total máximo se mide en septiembre 2024 con 503,30 l/s.

Figura 5-104 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, año operacional 2023-2024 (extracción total de zonas A1 y A2)



Nota: Los caudales totales se calculan como corresponde desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

Es relevante mencionar que el caudal total bombeado de salmuera queda sujeto a restricciones, según las medidas asociados a las posibles activaciones del PAT (Plan de Alerta Temprana), el cual se describe en Anexo 3 de la Adenda 5 de la evaluación ambiental del proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Lo anterior se detalla en la subsección 6.1.9.1.1 *Limites comprometidos para caudales bombeados en Salmuera*.

5.9.2 Caudales bombeados en agua dulce-salobre

La extracción de agua dulce-salobre se realiza desde la vertiente Tilopozo[27] y el pozo Tucúcaro[28], 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 Peine[29].

Los volúmenes y caudales bombeados en estos pozos durante 2024 se presentan resumidos en la Tabla 5-29. El caudal medio para el año calendario 2024 es de 5,66 l/s en la Vertiente Tilopozo, de 2,02 l/s en Tucúcaro y de 0,04 l/s en Peine. El volumen anual dado por la suma del volumen de los tres puntos de extracción es de 244.170 m^3, lo que da un caudal medio mensual de 7,72 l/s para el año calendario 2024. Por otro lado, para el año operacional 2023-2024 (octubre 2023 a septiembre 2024), el volumen anual dado por la suma de los tres puntos es de 253.625 m^3 que representa el caudal medio anual de 8,02 l/s.

Tabla 5-29 Caudales promedio y volúmenes bombeados de agua dulce-salobre, año calendario 2024

Año Calendario	Vertiente Tilopozo		Tucúcaro		Peine	
	Volumen [m^3/mes]	Caudal [l/s]	Volumen [m^3/mes]	Caudal [l/s]	Volumen [m^3/mes]	Caudal [l/s]
Enero	13.968	5,22	4.345	1,62	92	0,03
Febrero	10.651	4,25	2.085	0,83	96	0,04
Marzo	14.681	5,48	5.430	2,03	65	0,02
Abril	14.761	5,69	6.321	2,44	64	0,02
Mayo	17.104	6,39	6.603	2,47	98	0,04
Junio	14.606	5,64	5.063	1,95	243	0,09
Julio	15.087	5,63	5.072	1,89	119	0,04
Agosto	15.875	5,93	5.303	1,98	167	0,06
Septiembre	14.269	5,51	5.486	2,12	129	0,05
Octubre	14.855	5,55	5.352	2,00	112	0,04
Noviembre	15.633	6,03	5.260	2,03	122	0,05
Diciembre	17.516	6,54	7.445	2,78	92	0,03
Volumen anual [m^3/año] /Caudal promedio anual [l/s]	**179.006**	**5,66**	**63.765**	**2,02**	**1.399**	**0,04**

Fuente: Elaboración propia

27 Conforme a R.E. N°316/1983 DGA, permite aprovechamiento de aguas por 8,5 l/s.

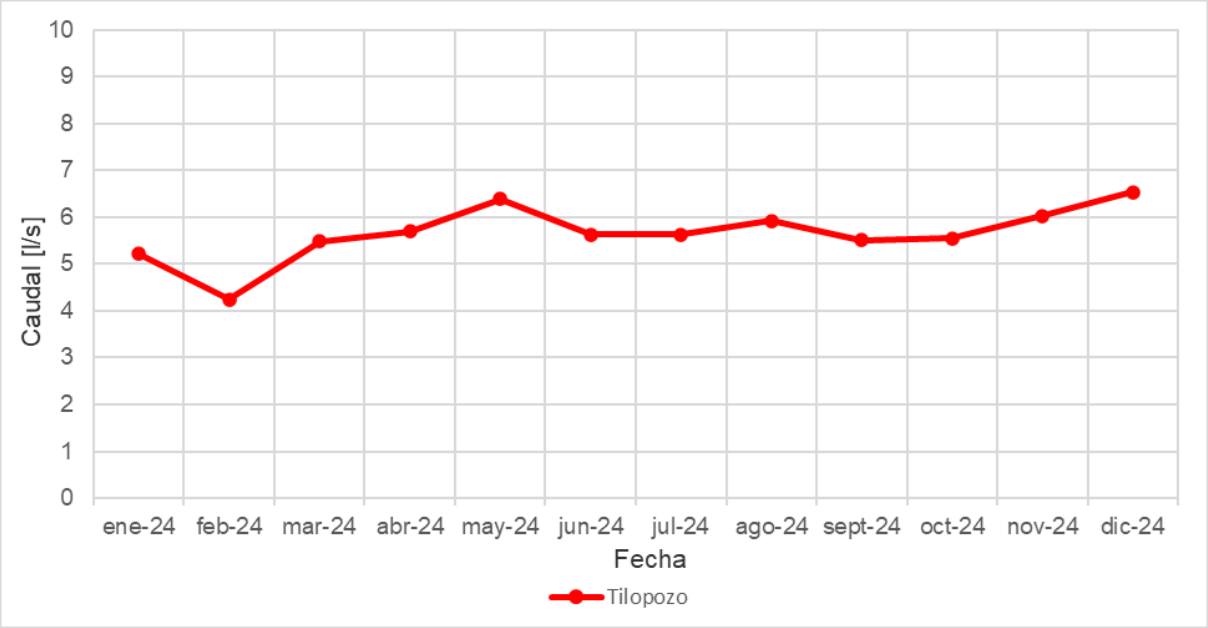
28 Conforme a R.E. N°453/1996 DGA, permite aprovechamiento de aguas por 10,0 l/s.

29 Conforme a R.E. N°584/2000 DGA, permite aprovechamiento de aguas por 5,0 l/s.

Los caudales que han sido bombeados durante el 2024 en la Vertiente Tilopozo, y los pozos Tucúcaro y Peine, se presentan en los gráficos de las Figura 5-105, Figura 5-106 y

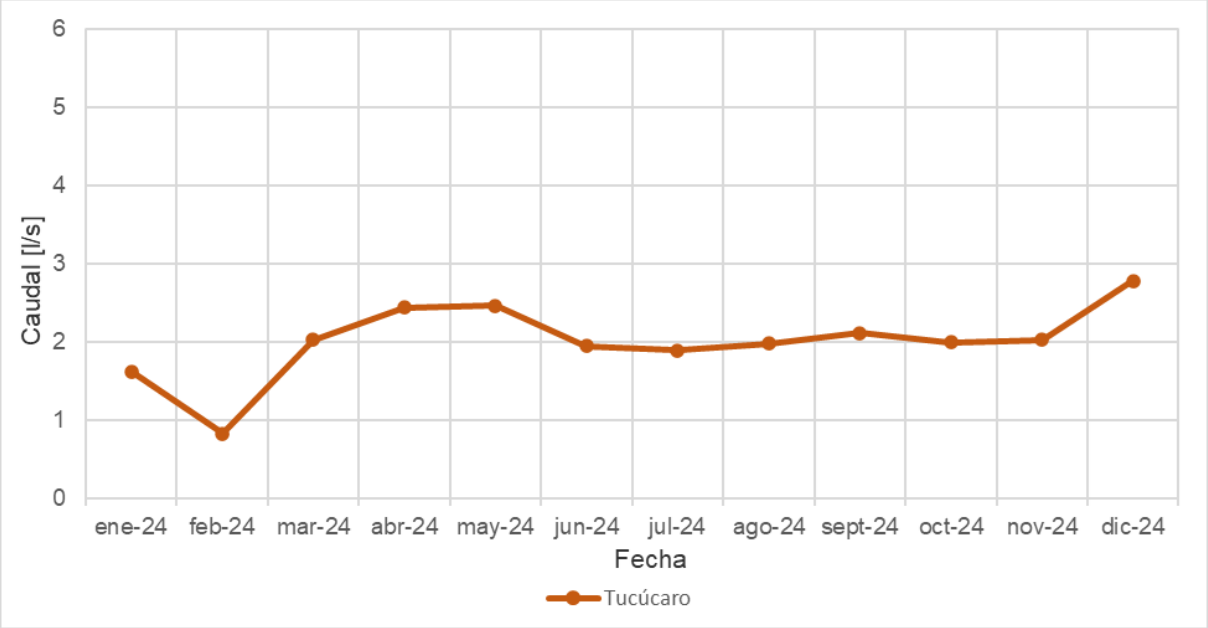
Figura **5-107** respectivamente.

Figura 5-105 Caudales mensuales 2024 bombeados en Vertiente Tilopozo



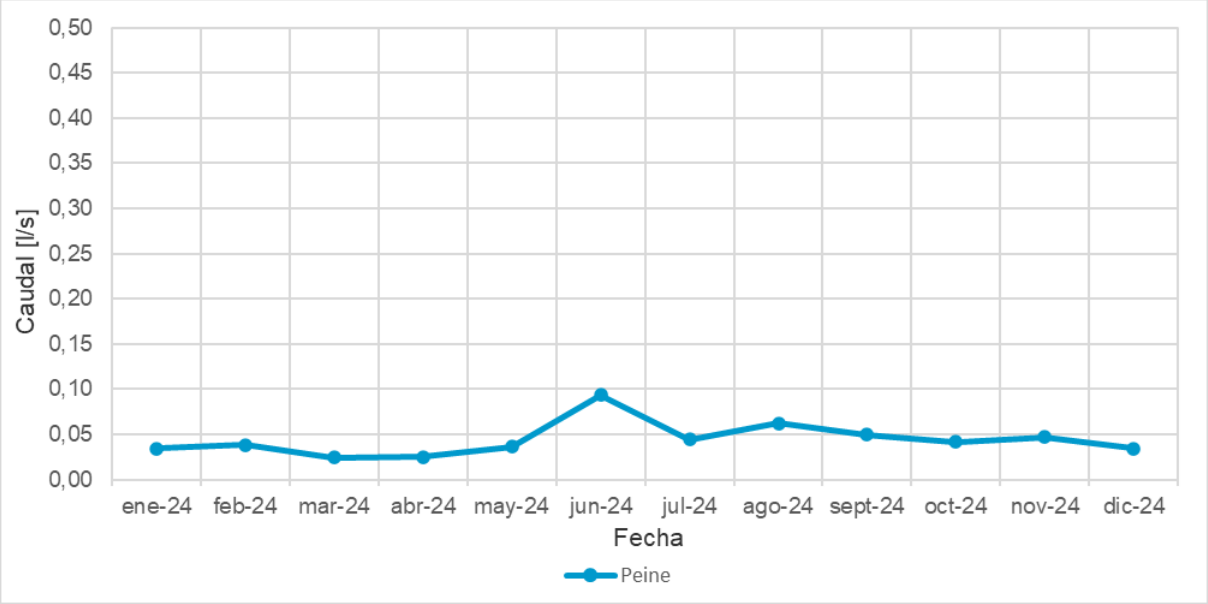
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-106 Caudales mensuales 2024 bombeados en pozo Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-107 Caudales mensuales 2024 bombeados en pozo Peine



Fuente: Elaboración propia

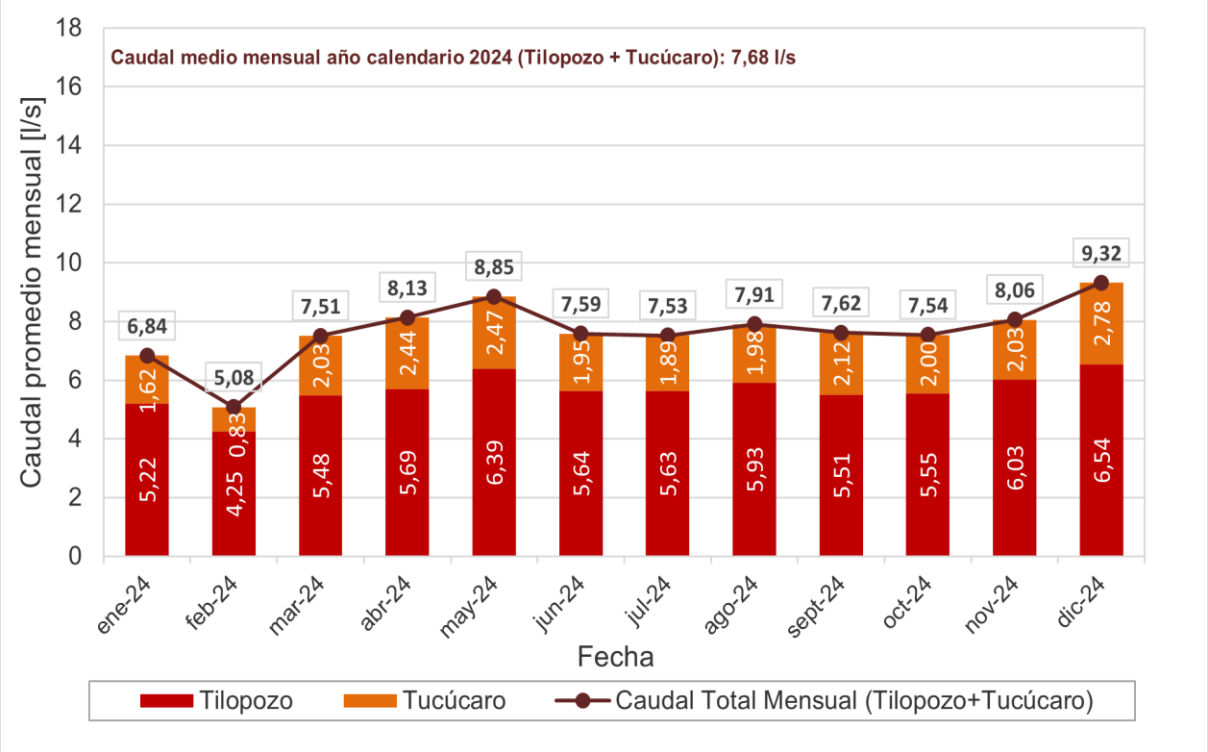
Dado que en el marco de la aprobación ambiental que establece un caudal máximo de 16,9 l/s entre Vertiente Tilopozo y Tucúcaro, se representan, en la Figura 5-108 los caudales en conjunto de ambos puntos (Vertiente Tilopozo y Tucúcaro) para el año calendario 2024. La figura (Figura 5-108) presenta un gráfico de columnas apiladas, de manera que el alto de la barra corresponde a la suma de caudal entre ambas captaciones. En la figura (Figura 5-108) se observa que el caudal bombeado en forma conjunta alcanza un máximo de 9,32 l/s en diciembre 2024, mientras que el caudal mínimo bombeado en forma conjunta es de 5,08 l/s, en julio 2024. El caudal promedio anual (año calendario) bombeado en forma conjunta es de 7,68 l/s (Puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro).

Luego, en la Figura 5-109, se representa en conjunto los caudales de los puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante el año operacional 2023-2024 en un gráfico de columnas apiladas. En esta figura se observa que el caudal bombeado en forma conjunta alcanza un máximo de 10,02 l/s en octubre 2023, mientras que el mínimo caudal bombeado en forma conjunta es de 5,08 l/s en febrero 2024. El caudal medio del año operacional bombeado en forma conjunta es de 7,98 l/s (Puntos Vertiente Tilopozo y Tucúcaro).

Es relevante mencionar que el caudal total bombeado agua dulce-salobre queda sujeto a las restricciones según las medidas asociados a las posibles activaciones del PAT sector Alerta Acuífero, el cual se describe en Anexo 3 de la Adenda 5 de la evaluación ambiental del proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, lo que se detalla en la sección 6.1.9.2.1 *Límites comprometidos para caudales bombeados en agua dulce salobre*. Los datos de volúmenes y caudales de los pozos

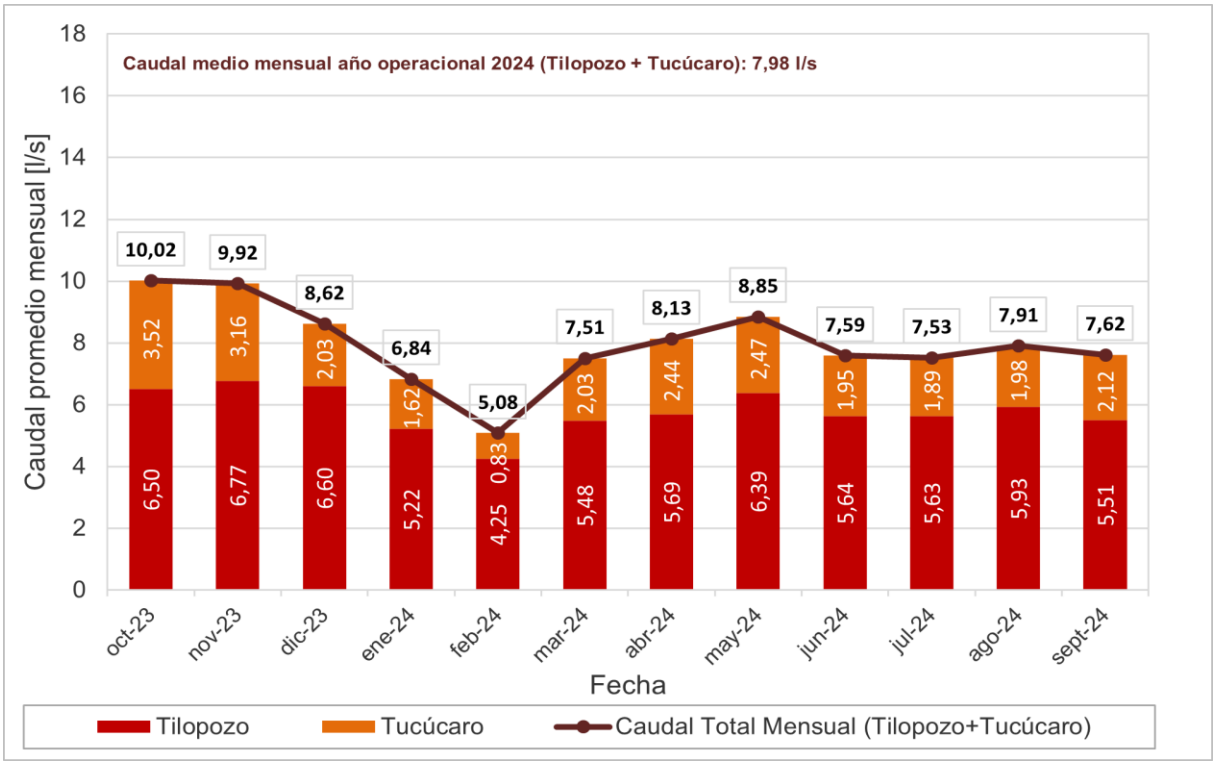
mencionados para el año operacional 2023-2024 (octubre 2023 a septiembre 2024) y para el año calendario 2024 (enero a diciembre 2024) se encuentra disponible en el Anexo J.

Figura 5-108 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año calendario 2024



Nota: Los caudales totales se calculan, como corresponde, desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-109 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año operacional 2023-2024



Nota: Los caudales totales se calculan, como corresponde, desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

5.10 Limites Comprometidos por Variable y Limites PAT

En la siguiente sección se presentan los límites comprometidos por variable y los límites asociados al PAT.

Para cada parámetro monitoreado en el área de estudio, se presentan los niveles o límites comprometidos según la Resolución Exenta N°21/2016, lo que se muestra en la Tabla 5-30.

Tabla 5-30 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 [ºC] 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]	Mantener caudales de extracción autorizados ambientalmente
			Caudal de agua industrial en [l/s]	
FISICO Calidad del Agua	No existe impacto asociado	Calidad química del agua en agua superficial y subterránea	- Parámetros Físicos *in situ*: pH, C.E., Tº, TDS y Oxígeno Disuelto.	Mantener parámetros dentro de variabilidad natural
			- 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^+.	

Tabla 5-30 Límites comprometidos por Variables Ambientales y Parámetros

Componente Ambiental	Impacto ambiental potencial	Monitoreo	Parámetros	Niveles o límites Comprometidos
			- Elementos minoritarios y trazas disueltos: B, Li, Sr.	
			- Elementos minoritarios y trazas totales: Al, As, B, Fe, Li, Si, Sr.	

Fuente: modificado de Resolución Exenta 21/2016

En cuanto a los límites establecidos para los puntos que son parte del PAT, a continuación, se presentan los umbrales de activación para el sector de Alerta Norte, sector de Alerta Núcleo y sector Alerta Acuífero, en la Tabla 5-31, Tabla 5-32 y Tabla 5-33, respectivamente.

Cabe destacar que los umbrales de los puntos BA-05, BA-07 y BA-16 pertenecientes al sector de Alerta Acuífero, se actualizaron en el año 2024 según muestra la Tabla 5-33, y se explican los detalles del cambio de umbrales del sector aprobado por la autoridad (La Punta-La Brava) en la sección 4.2.6.

Tabla 5-31 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 Nº 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 5-32 Umbrales de Activación del Sector de Alerta Núcleo

Pozo	Año	Periodo	Umbral Fase I	Umbral Fase II	Umbral Final
	Operacional	Operacional	(m s.n.m.)	(m s.n.m.)	(m s.n.m.)
PN-05B	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.298,33	2.298,24	2.297,74
	2025	oct. 2024 - sep. 2025	2.298,31	2.298,21	2.297,74
PN-08A	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.298,36	2.298,27	2.297,82
	2025	oct. 2024 - sep. 2025	2.298,34	2.298,25	2.297,82
PN-14B	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.297,88	2.297,79	2.297,27
	2025	oct. 2024 - sep. 2025	2.297,85	2.297,76	2.297,27
PN-16B	2024	oct. 2023 - sep. 2024	2.298,42	2.298,33	2.297,99
	2025	oct. 2024 - sep. 2025	2.298,40	2.298,31	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 5-33 Umbrales de activación de los puntos PAT, BA-28 y BA-30 y actualización de umbrales de activación de los puntos PAT BA-05, BA-07 y BA-16, Sector Alerta Acuífero año 2024

Pozo	Sistema lagunar	Umbral Fase única (m s.n.m.) (Datum WSG84) Adenda 5[1]	Umbral Fase única (m s.n.m.) (Datum WSG84) Actualización mayo 2024
BA-05	La Punta – La Brava	2.300,11[1]	2.300,116[2]
BA-07	La Punta – La Brava	2.299,97[1]	2.299,969[2]
BA-16	La Punta – La Brava	2.300,80[1]	2.300,824[2]
BA-28	Peine	2.300,59[1]	2.300,59
BA-30	Peine	2.301,42[1]	2.301,42

1) Fuente: Tabla 4-10, Anexo 3 de la Adenda 5.
2) Datos actualizados según Res. Ex. N°762 de la SMA con fecha de 20 de mayo 2024.
Fuente: Elaboración Propia

5.10.1 Actualización de cálculo de umbrales para PAT Sector Alerta Acuífero.

De acuerdo con el considerando 10.15 de la RCA N°21/2016, se indica: *"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".* De acuerdo con lo anterior, Albemarle entregó la actualización de umbrales en el sector Alerta Acuífero, con fecha 25 de febrero del 2022 mediante la carta ALB-GMA-2022-SMA-012, donde hace entrega del documento "*Informe Final – Actualización del Cálculo de los Umbrales del Plan de Alerta Temprana Sector Alerta Acuífero*". A partir de este informe se desprenden una serie de documentos que dan cuenta del proceso, y los antecedentes requeridos en relación con la actualización de umbrales (en referencia RE EX N°762[30]/2024) (mayor detalle en Anexo M). En resumen, se puede señalar:Con fecha 10 de marzo de 2022 mediante el Oficio ORD. SMA N°571, la SMA solicitó a la DGA pronunciamiento técnico referente al informe; posterior a ello, mediante el Oficio ORD. DGA N°82 de septiembre de 2022, la DGA se pronunció con observaciones al respecto.

Después de varios pronunciamientos de observaciones y respuestas, el 29 de noviembre de 2023 mediante el Oficio ORD. DGA N°63, la DGA entregó su pronunciamiento final sobre el compromiso en revisión, aclarando sus pronunciamientos previos e informando cuáles serían los umbrales actualizados a considerar para efectos del seguimiento ambiental del proyecto.

[30] Informa sobre los pronunciamientos de la DGA y las consideraciones que se indican, y requiere información al titular Albemarle Ltda., en relación con el compromiso de actualización de umbrales del Plan de Alerta Temprana del sector de Alerta Acuífero en el Salar de Atacama, según lo dispuesto en el Considerando 10.15 de la RCA N°21/2016.

Con ello, la SMA, mediante la Resolución Exenta N°2056 en diciembre 2023, realiza el último requerimiento de información a Albemarle.

El 04 de enero del 2024 mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-001, Albemarle da respuesta al requerimiento de información solicitado en la Resolución Exenta N°2056, a través de la "*Minuta - Respuesta a la autoridad: Resolución SMA 2056/2023" del 13 de diciembre 2023".*

Con fecha 13 de junio de 2024, Albemarle responde y se hace entrega mediante la carta ALB-GMA-2024-DGA-017 a la Dirección General de Aguas, y mediante la carta la ALB-GMA-2024-SMA-038 a la Superintendencia del Medio Ambiente, el documento técnico: "*Minuta con los valores solicitados dentro del plazo establecido"* respecto a los **umbrales actualizados del PAT sector de Alerta Acuífero, siguiendo las consideraciones propuestas en la Resolución Exenta N°762/2024, dando cumplimiento al numeral 10.15 de la RCA 21/2016** y a la resolución indicada.

De esta manera, la Tabla 5-18 previa, presenta los valores actualizados y aprobados por la SMA y la DGA de los puntos PAT sector Alerta Acuífero, de La Punta-La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16).

6 DISCUSIONES

6.1 Análisis de la variabilidad temporal y/o espacial de las Variables Ambientales y Limites 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 6-1 en conjunto con un resumen del periodo disponible de registro para cada estación, y su ubicación. Además, para ampliar el entendimiento del sistema, y ejecutar un mejor análisis, se utiliza la información proveniente de los pluviómetros que se encuentran instalados en las cercanías de los lisímetros, esto para el caso del sistema Peine (PLLS-08) y La Punta La Brava (PLLS-10). No obstante, en el Anexo A-2, se presenta esta información para los pluviómetros instalados en el Salar de Atacama.

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-24	abr-16	dic-24	abr-16	dic-24	abr-16	dic-24	may-16	dic-24
Camar(3)	DGA	Norte y Borde Este	ene-79	dic-24	-	-	-	-	-	-	-	-
El Tatio(3)	DGA	Norte y Borde Este	jun-77	dic-24	mar-84	may-96	-	-	may-12	may-14	-	-
Peine(4)	DGA	Peine	nov-74	sept-20	nov-74	dic-18	-	-	ene-13	abr-20	-	-
Río Grande(5)	DGA	Norte y Borde Este	ene-77	dic-24	ene-00	ene-00	-	-	-	-	-	-
San Pedro de Atacama(5)	DGA	Norte y Borde Este	ene-59(9)	dic-24	jul-63	mar-89	-	-	-	-	-	-
Socaire(6)	DGA	Norte y Borde Este	ago-74	dic-24	-	-	-	-	-	-	-	-
Talabre(3)	DGA	Norte y Borde Este	ago-95(10)	dic-24	-	-	-	-	-	-	-	-
EM-Toconao experimental(7)	DGA	Norte y Borde Este	nov-75	jun-18	nov-75	nov-09	-	-	-	-	-	-
EM-Chaxa (1)	SQM	Núcleo	ago-99	dic-24	ago-99	dic-24	-	-	ago-99	dic-24	sept-22	dic-24
EM-Salar	SQM	Núcleo	sept-99	dic-14	sept-99	dic-14	-	-	-	-	-	-
EM-KCl (2)	SQM	Núcleo	sept-99	dic-24	sept-99	dic-24	-	-	sept-99	dic-24	sept-22	dic-24
EM-Tilopozo(8)	MEL	La Punta – La Brava	ene-15	ago-21	-	-	-	-	-	-	-	-
Pluviómetro PLS-10	ALB	La Punta – La Brava	Nov-18	Dic-24	-	-	-	-	-	-	-	-
Pluviómetro PLS-08	ALB	Peine	Dic-18	Dic-24	-	-	-	-	-	-	-	-

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

(1) Actualización 2024 tomado de SQM en línea https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232. Consulta 06-02-2025.

(2) EM-KCL reemplazó EM-Salar en el año 2015. Actualización 2024 tomado de SQM en línea https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232. Consulta 06-02-2025.
(3) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, en primera instancia actualizados con los datos recibidos el 06-12-2024 y carta asociada N°AM006T0020526, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 05-02-2025, y carta asociada N°AM006T0021740, 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 05-02-2025, y carta asociada N°AM006T0021740 (Anexo M).
(6) La estación meteorológica fue suspendida en julio de 2017, según lo indicado en la carta N° AM006T0009653, obtenida a través de la Ley de Transparencia y recibida el 24 de febrero de 2023 (disponible en el Anexo M). No obstante, la estación reactiva su vigencia a partir de junio de 2024, según la última solicitud N° AM006T0021740 de febrero de 2025.
(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".
(9) La estación inició operaciones el 02-09-1958, según una consulta realizada en el sitio de la DGA (https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes) el 19-02-2025. Sin embargo, los registros de precipitaciones comienzan el 01-01-1959.
(10) La estación inició operaciones el 02-01-1995, según una consulta realizada en el sitio de la DGA (https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes) el 19-02-2025. No obstante, los registros de precipitaciones están disponibles a partir del 01-08-1995.

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 mensuales obtenidos por la EM-SCL desde enero 2002 hasta abril 2016 junto a los datos obtenidos por la EM-Rockwood desde mayo 2016 hasta diciembre 2024. Esta estación (EM-Rockwood) se ubica a una distancia de 750 m al noreste de la estación que reemplaza.

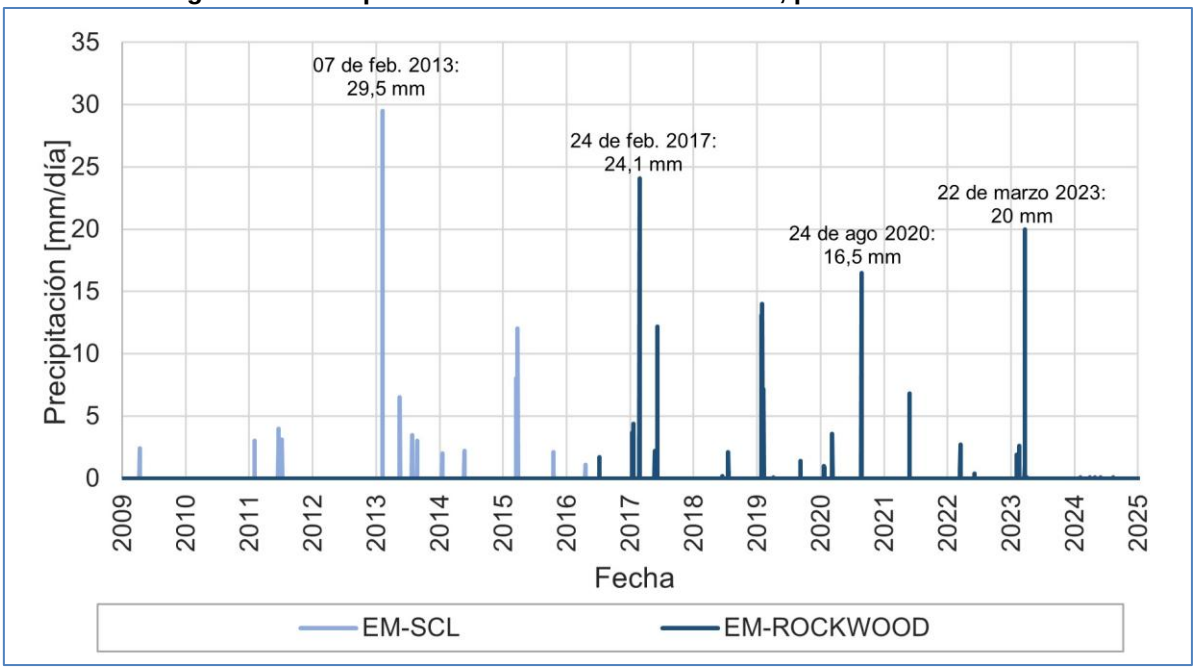
A continuación, se presentan cada una de las variables meteorológicas de las estaciones de propiedad de Albemarle y de terceros.

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 2024. En la cual 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 las que ocurren principalmente en los meses de verano. No obstante, se han reconocido precipitaciones diarias sobre los 10 mm en meses del invierno estacional, como es el caso de los años 2017, 2020, 2021 y 2023. En el año 2024 se observa una disminución en las precipitaciones diarias en frecuencia y mm caídos, respecto a los años anteriores (EM-Rockwood), y es el año con menor precipitación desde el 2013 (Figura 6-5).

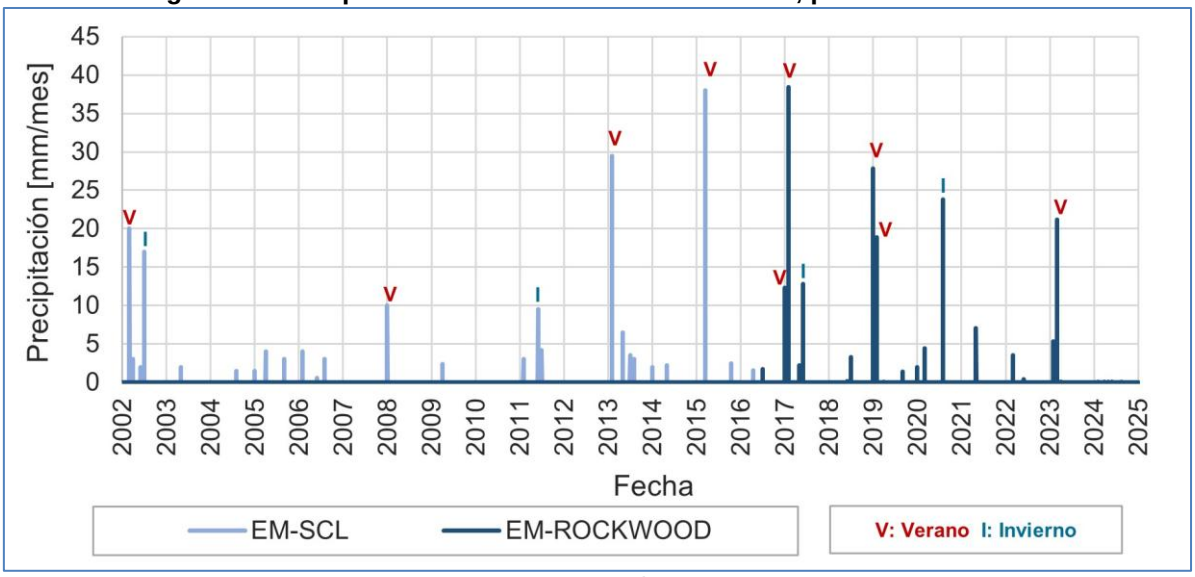
Figura 6-1 Precipitación diaria con data histórica, periodo 2009-2024.



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 (representados con “I” en la gráfica) como ocurre en julio 2002 (16,7 mm), junio 2011 (9,5 mm), junio 2017 (12,8 mm) y agosto 2020 (23,8 mm). En el año 2024, como ya se mencionó, no se observan eventos de precipitaciones relevantes en estación EM-Rockwood.

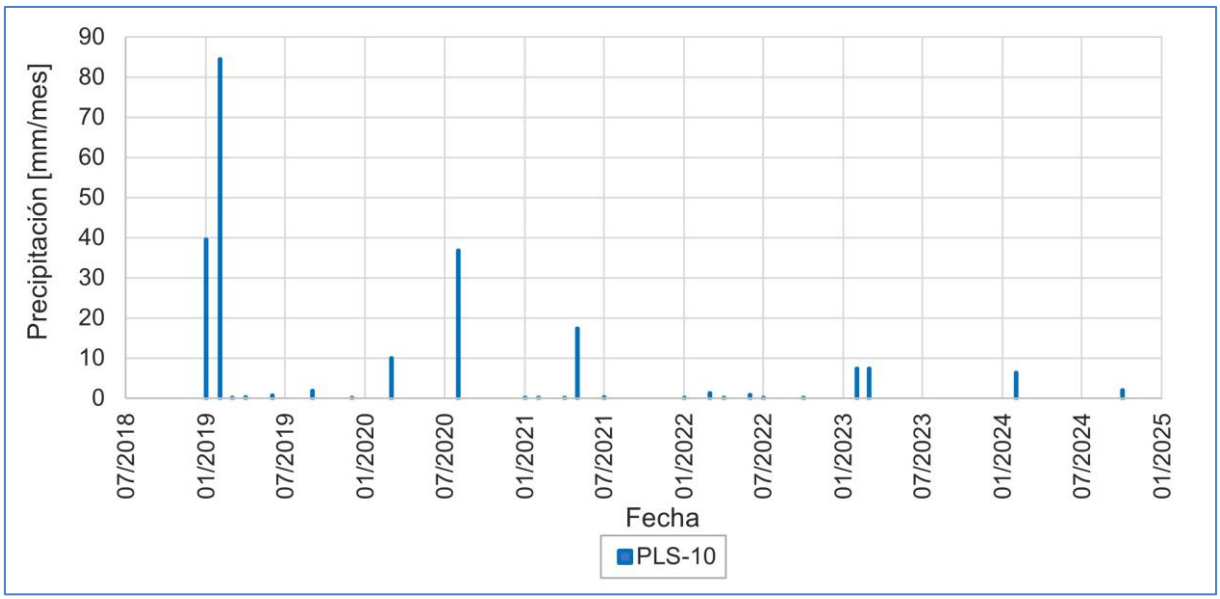
Figura 6-2 Precipitación mensual con data histórica, periodo 2002-2024.



Fuente: Elaboración propia

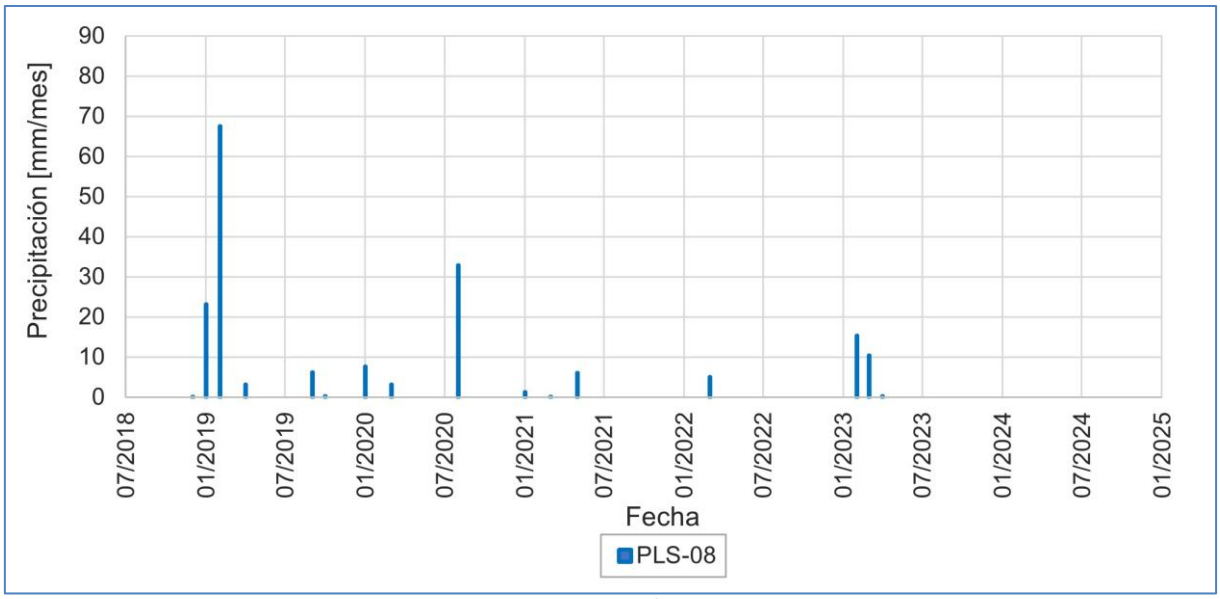
En las gráficas siguientes (**Figura 6-3** y **Figura 6-4**), se observa la precipitación mensual captada por los pluviómetros instalados en el sistema La Punta La Brava (PLS-10) y Peine (PLS-08), como se puede apreciar, existe cierta diferencia en la precipitación entre las estaciones que se ubican en los sistemas lagunares v/s la EM-Rockwood, ubicada en el núcleo.

Figura 6-3 Precipitación mensual en Punto de monitoreo PLS-10



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-4 Precipitación mensual en Punto de monitoreo PLS-08

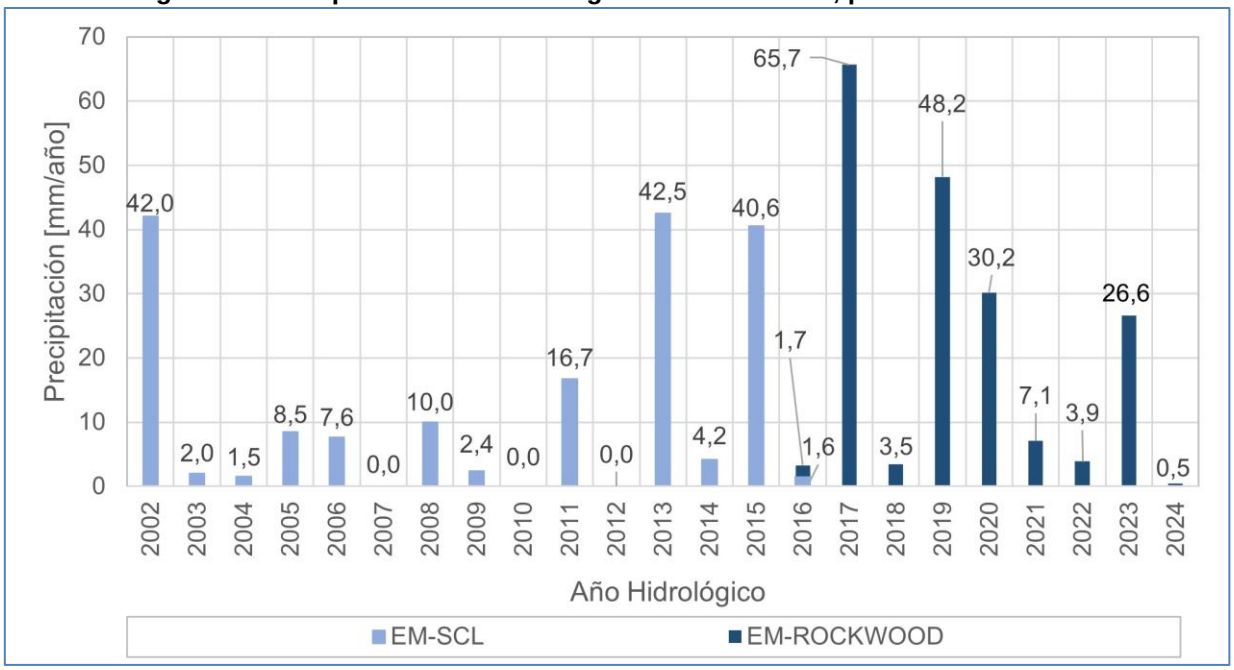


Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-5 presenta la precipitación anual entre el año 2002 y 2024, en esta figura se observa que los años más lluviosos (sobre 40 mm) del registro, en orden decreciente, corresponden a los años 2002, 2017, 2019, 2013 y 2015, alcanzando 42,0 mm/año, 65,7 mm/año; 48,2 m/año, 42,5 m/año y 40,6 m/año, respectivamente. En el 2024 no se observan precipitaciones importantes (mayores a 10 mm), siendo la menor precipitación en relación con los últimos 11 años. Por último, desde 2017, la tendencia sigue siendo a mostrar disminución de precipitaciones.

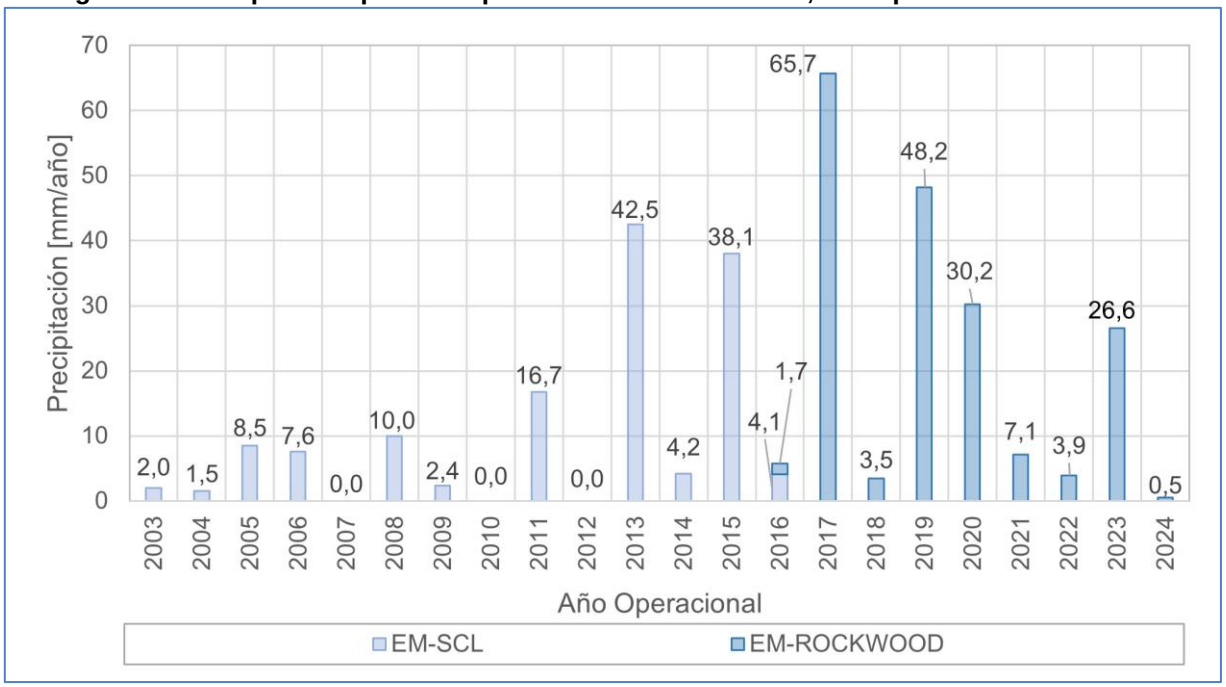
En las Figura 6-5 y Figura 6-6 se observa que la distribución de precipitaciones por año operacional (octubre 2023 a septiembre 2024) e hidrológico (2023 a 2024), presentan las mismas precipitaciones para todo el periodo, con excepción de los años 2015 y 2016.

Figura 6-5 Precipitación año hidrológico EM-Rockwood, periodo 2002-2024.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-6 Precipitación por año operacional EM-Rockwood, año operacional 2003-2024.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las estaciones de la cuenca, 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 139,6 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 Río Grande y Talabre también tienen abundantes precipitaciones, promediando 71,6 mm/año y 70,2 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 40,9 mm/año (EM-Camar) y 10,3 mm/año (EM-KCL), la estación Tilopozo presenta escasos datos y muestra un promedio de 0,2 mm/año. 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 39,5 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 (m s.n.m.)	Promedio (mm/año)	Máximo (mm)	Año
EM-SCL/EM-ROCKWOOD	2300,0	16,0	65,7	2017
EM-CAMAR	2721,0	40,9	221,0	2019
EM-EL TATIO	4329,0	139,6	421,7	2001
EM-PEINE	2390,0	19,4	79,0	2002
EM-RIO GRANDE	3217,0	71,6	220,8	1984
EM-SAN PEDRO DE ATACAMA	2445,0	25,2	113,4	2012
EM-SOCAIRE	3248,0	39,5	155,9	1984
EM-TALABRE	3255,0	70,2	194,0	2012
EM-TOCONAO EXPERIMENTAL	2500,0	34,8	155,3	2017
EM-CHAXA	2307,0	25,3	124,6	2017
EM-KCL	2300,0	10,3	31,3	2017
EM-TILOPOZO	2312,6	0,2	0,9	2017

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 el año 2024, según los datos recibidos el 6 de febrero del año 2024 con la carta asociada N°AM006T0020526, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 5 de febrero del año 2025, con la carta asociada N°AM006T0021740, ambas cartas se encuentran en el Anexo M, y los datos históricos se encuentran en el Anexo A.

Por otra parte, la vigencia de las estaciones se considera según lo informado desde la plataforma de Estadística hidrológica en línea de la DGA, el día 19 de febrero de 2025 (https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas /reportes).

Para las estaciones meteorológicas de SQM la información se obtuvo desde el portal www.sqmsenlinea.com (06 de febrero de 2025).

Por último, la información más reciente de la estación meteorológica Tilopozo se ha obtenido del “Reporte Anual Monitoreo Ambiental Lixiviación de Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado”, Minera Escondida Ltda. Periodo Año 2021.

Es relevante 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 2 de las 8 estaciones de propiedad de la DGA y la estación de MEL, no cuentan con datos actualizados hasta diciembre de 2024. Por otra parte, las dos estaciones de SQM (EM-Chaxa y EM-KCL) presentan datos actualizados hasta 2024.

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	2002-2024	2,42	4,31	3,79	0,49	0,87	1,11	1,29	1,37	0,19	0,11	0,00	0,00	16,0
EM-Camar (1)	DGA	1979-2024	9,34	15,79	7,90	0,58	1,19	2,92	0,61	1,27	0,59	0,04	0,18	0,53	40,9
EM-El Tatio (1)	DGA	1977-2024	40,57	45,60	31,51	2,69	3,86	3,17	3,06	2,15	1,45	0,46	0,98	6,75	139,6
EM-Peine (2)	DGA	1974-2020	2,06	6,88	5,63	0,53	1,32	1,45	0,42	0,80	0,46	0,07	0,02	0,21	19,4
EM-Río Grande (3)	DGA	1977-2024	20,75	30,05	13,36	0,70	1,01	3,00	0,74	0,94	0,53	0,08	0,17	1,62	71,6
EM-San Pedro de Atacama (3)	DGA	19759-2024(9)	5,19	13,63	3,69	0,14	1,02	1,17	0,11	0,21	0,60	0,51	0,46	0,27	25,2
EM-Socaire (4)	DGA	1974-2024	10,60	13,37	7,74	1,10	2,66	2,43	0,84	1,05	0,82	0,42	0,26	0,70	39,5
EM-Talabre (1)	DGA	1995-2024 (10)	15,32	25,77	16,56	4,57	2,94	1,77	2,71	2,50	0,39	0,15	0,23	0,30	70,2
EM-Toconao experimental (5)	DGA	1975-2018	6,89	15,40	6,70	0,53	1,37	2,56	0,31	0,44	0,33	0,10	0,07	0,89	34,8
EM-Chaxa (6)	SQM	1999-2024	4,78	12,77	3,60	1,21	0,98	0,52	0,56	1,00	0,10	0,10	0,17	0,43	25,3
EM-KCL (7)	SQM	1999-2024	1,52	2,50	3,25	0,13	0,55	0,69	0,58	0,97	0,02	0,24	0,06	0,20	10,3
EM-Tilopozo (8)	MEL	2016-2021	6,89	15,40	6,70	0,53	1,37	1,89	0,31	0,44	0,33	0,10	0,07	0,89	0,2

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 06-12-2024 y carta asociada N°AM006T0020526, posteriormente actualizada con los datos recibidos el 05-02-2025, y carta asociada N°AM006T0021740, 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. Consulta 19-03-2024.

(3) Datos actualizados, solicitados por ley de transparencia, con los datos recibidos el 05-02-2025, y carta asociada N°AM006T0021740 (Anexo M.

(4) La estación meteorológica fue suspendida en julio de 2017, según lo indicado en la carta N° AM006T0009653, obtenida a través de la Ley de Transparencia y recibida el 24 de febrero de 2023 (disponible en el Anexo M). No obstante, la estación reactiva su vigencia a partir de junio de 2024, según la última solicitud N° AM006T0021740 de febrero de 2025.

(5) 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

(6) Actualización 2024 tomado de SQM en línea https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232. Consulta 06-02-2025.

(7) EM-KCL reemplazó EM-Salar en el año 2015. Actualización 2024 tomado de SQM en línea https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/232. Consulta 06-02-2025.

(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”.

(9) La estación inició operaciones el 02-09-1958, según una consulta realizada en el sitio de la DGA (https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes) el 19-02-2025. Sin embargo, los registros de precipitaciones comienzan el 01-01-1959.
(10) La estación inició operaciones el 02-01-1995, según una consulta realizada en el sitio de la DGA (https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes) el 19-02-2025. No obstante, los registros de precipitaciones están disponibles a partir del 01-08-1995.

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 2024 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 escases 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. En dicha tabla existen ausencia de datos, dado que la estaciones publicas DGA no disponen de dicha información a la fecha de este informe (marzo 2025). Las estaciones que cuentan con la data completa para el periodo (2017-2024) son las estaciones DGA: Talabre, El Tatio y Camar.

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)
1959	-	-	-	18,5	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	42,8	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
1965	-	-	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-
1967	-	-	-	20,0	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	35,0	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	14,0	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	81,0	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	51,1	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	0,0	-	2,5	0,0	-	-	-	-	-	-
1975	0,0	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	-	0,0	-	-	-	-
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	12,5	22,8	-	55,7	20,0	-	-	-

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)
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	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	40,0	-	156,2	40,5	-	-	-
1990	41,3	14,1	64,0	-	33,1	-	128,3	25,5	-	-	-
1991	8,0	0,0	9,6	-	0,8	-	82,4	2,0	-	-	-
1992	2,0	11,0	7,5	-	16,5	-	45,0	8,1	-	-	-
1993	2,5	10,5	37,9	-	13,8	-	124,1	20,1	-	-	-
1994	6,6	1,5	42,4	-	10,0	-	116,6	12,4	-	-	-
1995	25,5	17,5	81,3	-	35,7	4,0	180,5	28,5	-	-	-
1996	5,0	11,5	20,2	-	24,5	48,0	20,5	16,0	-	-	-
1997	37,8	26,5	129,1	-	60,5	82,0	186,6	60,5	-	-	-
1998	3,5	9,0	30,1	-	14,0	9,0	79,9	2,0	-	-	-
1999	27,0	18,5	70,2	-	23,0	38,0	243,0	25,5	-	0,0	0,0
2000	19,5	5,5	112,7	-	70,0	112,5	244,7	37,9	-	28,0	3,4
2001	71,0	37,5	194,3	-	55,0	161,0	421,7	98,5	-	75,2	23,7
2002	84,2	79,0	100,9	-	34,0	99,0	71,5	58,8	42,0	30,1	38,1

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)
2003	31,7	48,0	21,6	-	24,0	50,0	36,0	17,0	2,0	15,3	2,8
2004	3,0	1,5	42,8	-	13,5	41,5	6,8	5,0	1,5	4,5	0,1
2005	6,5	17,5	67,2	-	17,0	58,7	110,2	33,0	8,5	14,6	1,5
2006	0,0	4,0	4,5	-	14,2	28,7	0,0	13,4	7,6	5,3	8,4
2007	9,0	0,0	19,7	-	0,0	11,9	53,4	8,1	0,0	1,1	6,0
2008	28,6	0,0	35,6	-	4,8	40,0	123,1	5,2	10,0	3,6	7,4
2009	0,0	2,5	20,5	-	3,8	7,1	36,7	6,0	2,4	4,8	0,8
2010	1,9	2,0	16,9	-	0,5	12,0	8,8	2,0	0,0	0,5	5,1
2011	41,0	28,4	70,6	7,2	102,9	125,8	207,0	43,9	16,7	13,0	5,8
2012	84,4	38,0	220,7	113,4	121,2	194,0	352,7	90,4	0,0	48,2	5,0
2013	43,4	37,5	71,5	96,6	73,4	133,0	94,2	46,5	42,5	43,0	29,1
2014	2,2	3,5	55,6	12,8	11,0	6,0	63,4	2,4	4,2	4,9	1,2
2015	83,3	58,5	88,4	36,9	126,1	186,0	142,6	89,2	40,6	49,1	23,3
2016	21,5	0,0	87,8	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	3,3	4,1	3,6
2017	155,3	46,0	182,1	37,3	0,0	192,2	174,8	166,2	65,7	124,6	31,3
2018	18,6	8,0	89,1	10,4	-	53,0	157,1	32,9	3,5	9,0	3,1
2019	-	5,5	166,6	-	-	177,0	143,4	221,0	48,2	77,2	30,3
2020	-	12,6	63,8	-	-	4,2	143,6	45,0	30,2	40,7	16,2
2021	-	-	10,3	-	-	7,6	149,6	13,0	7,1	4,0	2,9
2022	-	-	19,4	0,0	-	72,0	112,8	25,0	3,9	18,8	7,2
2023	-	-	0,0	14,5	-	129,0	325,0	42,2	26,6	32,2	7,4
2024	-	-	0,0	15,4	25,1	22,6	387,8	12,0	0,5	5,4	4,0

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)
Promedio	34,8	19,4	71,6	25,2	39,5	70,2	139,6	40,9	16,0	25,3	10,3

Nota:
Datos de estaciones públicos no disponibles, se identifican con "-".
(1) Datos actualizados según cartas DGA N°AM006T0020526 y AM006T0021740.
(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 2019-2024 – datos de precipitaciones de la página de SQM www.sqmsenlinea.com/salmuera, consulta realizada 06-02-2025.
Fuente: Elaboración propia

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. Y la Tabla 6-6 muestra la precipitación anual registrada durante el año 2024 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 2024 en las estaciones con las que se cuenta registro.

Según el criterio para la clasificación de un año seco la probabilidad de excedencia puede ser considerado como >85% para Chile (DGA 1998, capítulo 6.7). Basado en este criterio, la precipitación registrada en las estaciones pluviométricas de la zona indica lo siguiente:

- La estación meteorológica Río Grande muestra el mayor valor con probabilidad de excedencia de 98%, dato que representa un porcentaje de excedencia característico de un año seco para chile (> 85%, Tabla 6-8).
- Las estaciones EM-SCL/Rockwood y Camar muestran valores de probabilidad de excedencia (Pexc) altos, sobre el 70% para estas estaciones (a continuación de Río grande con 98% de Pexc), con valores de probabilidad de excedencia de 83,3% y 74,5% respectivamente, lo que indica condiciones de año normal (Tabla 6-8) para estas dos estaciones, pero más cercano a un año seco.
- Las estaciones Talabre, Chaxa, KCL, San Pedro de Atacama y Socaire presentan valores porcentuales de excedencia de 67,7%, 59,3% , 51,2% y 50,0%; respectivamente, indicando una condición de año normal (Tabla 6-8) en estas cinco estaciones (ver Tabla 6-6).
- Por último, la estación El Tatio muestra un valor porcentual de excedencia de 4,1% que representa un año húmedo.

Lo expuesto con anterioridad, confirma la gran variabilidad espacial en relación con las precipitaciones en la cuenca (Salar de Atacama), en la que se aprecian principalmente sectores con valores porcentuales de excedencia (Pexc) de años normales, un solo sector con Pexc de años secos y un solo sector con valores de Pexc de años húmedos.

En la Figura 6-7 y Figura 6-8 se presentan las gráficas de precipitación anual (mm/año), y la distribución espacial de todas las estaciones meteorológicas consideradas para este informe, donde, se grafican los registros históricos de precipitación para las estaciones 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).

Tabla 6-5 Precipitación Anual histórica para diferentes probabilidades de excedencia.

Probabilidad Excedencia	Estación Meteorológica (Pp en mm)									
	Peine	Río Grande	San Pedro de Atacama	Socaire	Talabre	El Tatio	Camar	SCL/ Rockwood	Chaxa	KCL
85%	1,5	9,8	0,0	0,8	6,7	36,2	5,2	0,3	3,6	1,2
70%	5,5	27,6	8,0	14,0	15,2	74,4	13,0	2,6	4,8	3,1
50%	12,6	65,6	16,7	25,1	49,0	125,1	25,5	7,1	13,8	5,4
30%	25,5	89,8	36,9	46,9	108,5	162,4	44,9	24,6	32,0	8,3
10%	48,4	169,4	58,0	110,2	185,1	326,7	96,8	45,9	75,8	30,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-6 Precipitación Anual Año 2024 (mm).

Probabilidad Excedencia	Estación Meteorológica (Pp en mm)								
	Río Grande	San Pedro de Atacama	Socaire	Talabre	El Tatio	Camar	SCL/ Rockwood	Chaxa	KCL
Pp 2024 (mm)	0,0	15,4	25,1	22,6	387,8	12,0	0,5	5,4	4,0
Pexc (%)	98,0%	51,2%	50,0%	67,7%	4,1%	74,5%	**83,3%**	59,3%	59,3%

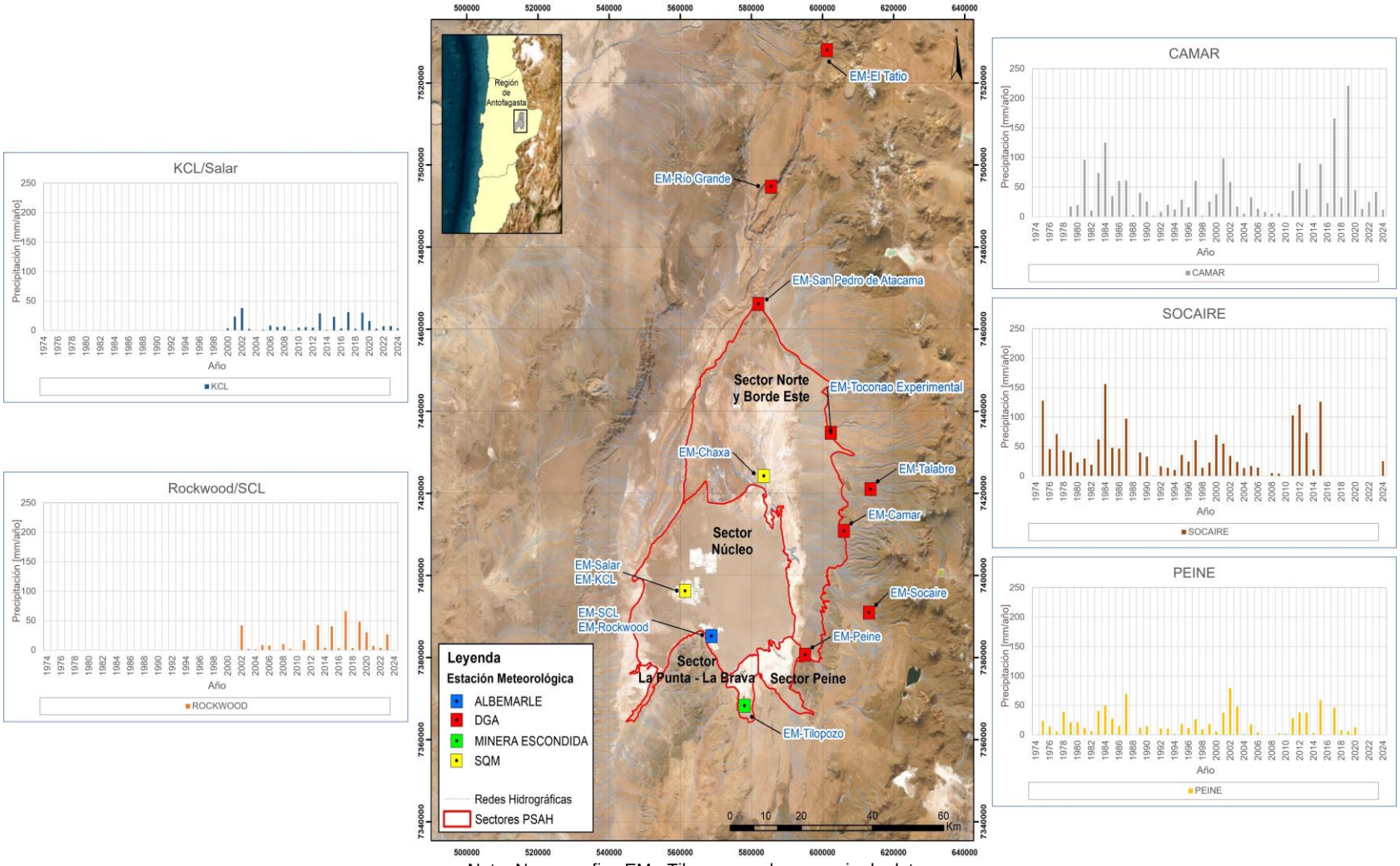
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-7 Criterios de clasificación de años húmedos, normales y secos

Probabilidad de Excedencia %		
Seco	Normal	Húmedo
> 85	85 ≥ ; ≥ 30	< 30

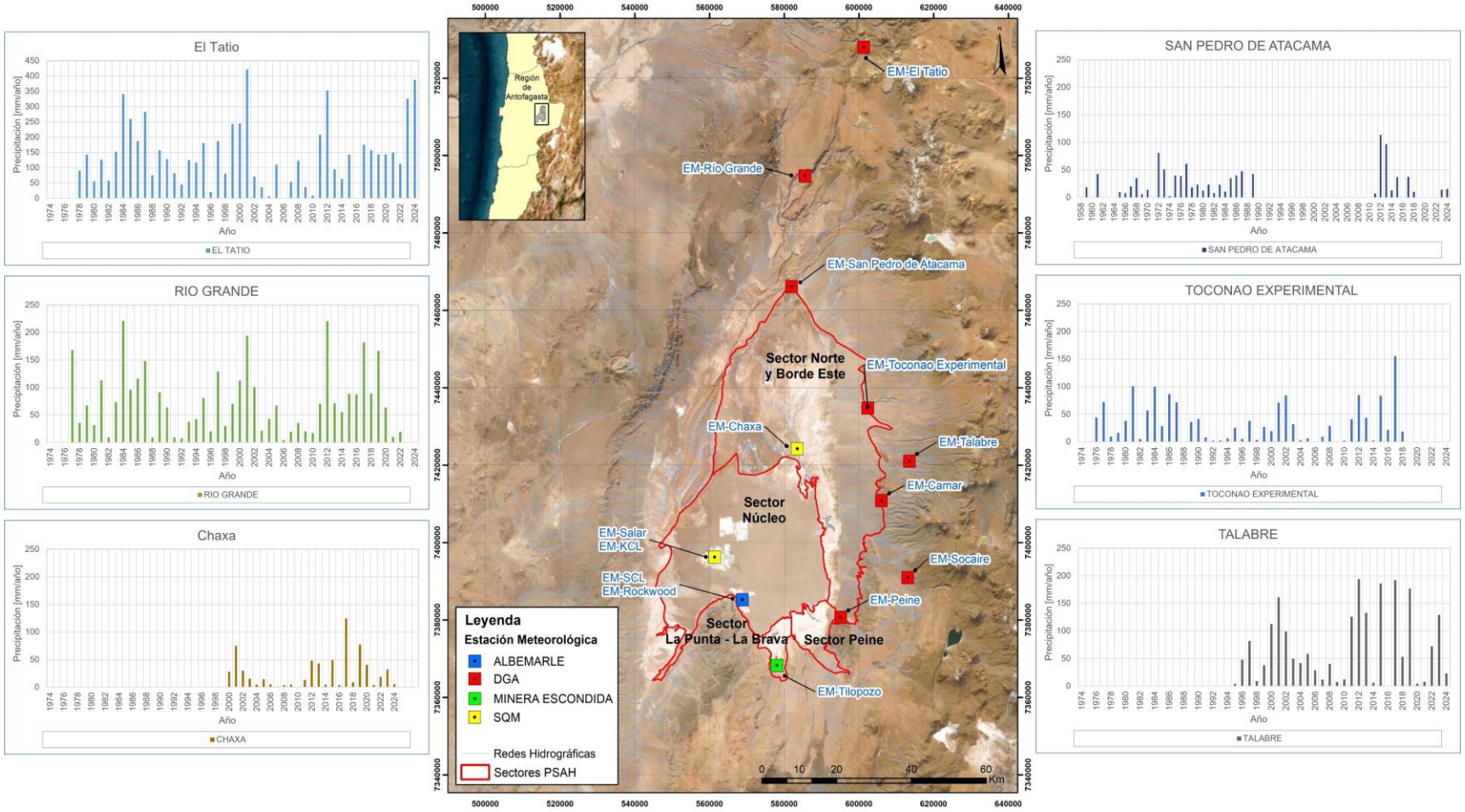
Fuente: Taller de hidrología aplicada a la resolución se solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales (DGA, 1998)

Figura 6-7 Precipitaciones anuales por estación periodo 1970-2024.



Nota: No se grafica EM - Tilopozo por la ausencia de datos
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-8 Precipitaciones anuales por estación periodo 1970-2024.



Nota: El gráfico de precipitaciones anuales de la estación San Pedro utiliza una escala horizontal diferente, ya que es la única con registros desde 1959.
Fuente: Elaboración propia

6.1.1.2 Temperatura

En la Figura 6-9 se presenta el registro de las temperaturas extremas diarias obtenidas desde las estaciones EM-SCL y EM-Rockwood a partir de 2009 y hasta 2024. 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.

Las temperaturas mínimas diarias (Figura 6-9) para la estación SCL, oscilan entre los -6 y los 17°C para los meses fríos, por otro lado, para la estación Rockwood las temperaturas mínimas oscilan entre-4 y 21°C para los meses fríos.

Las temperaturas máximas diarias para la estación SCL, oscilan entre 9 y 39°C para los meses cálidos, para la estación Rockwood las temperaturas máximas oscilan entre 11 y 37°C para los meses cálidos.

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 6-10 y Figura 6-11).

En relación con las temperaturas mínimas diarias (Figura 6-10) se observa un aumento en la mediana de las mediciones anuales entre los períodos de 2010 a 2012 y 2013 hasta 2015, (EM-SCL), y entre el período de 2016[31] a 2020 (EM- Rockwood); luego de este último aumento, se observan disminución en la mediana durante los años 2021 y 2022, para posteriormente volver a subir hasta el 2024, superando los valores registrados en todo el periodo 2009-2024.

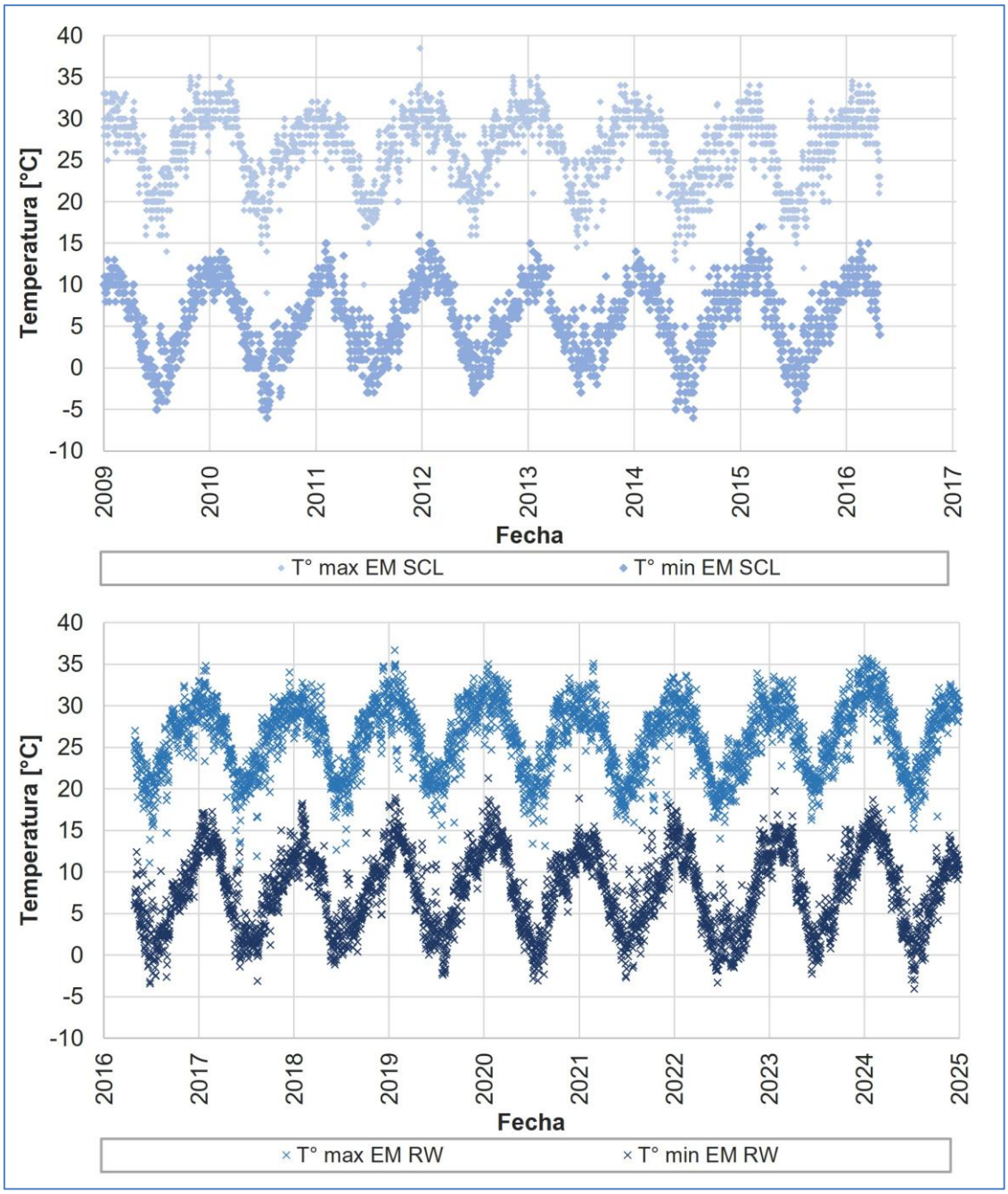
Por otra parte, las temperaturas máximas muestran una oscilación de las medianas con aumentos y descensos en el período de 2009 a 2014 (Figura 6-11), donde ocurre un aumento entre 2014 y abril de 2016[4] (para la estación SCL). En la EM-Rockwood, se observa un aumento en las medianas entre el mes de mayo del 2016 y el año 2020, para luego descender 2°C el 2021, y posteriormente comenzar a incrementar la temperatura a una mediana de 26,71°C el 2023 y seguir aumentando hasta alcanzar una temperatura de mediana 28°C el 2024, lo cual supera las medianas de las temperaturas máximas en todo el periodo.

Continuando con el análisis (Figura 6-11) 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 (EM-SCL). Desde el año 2016 al

[31] Se debe considerar que la data para el año 2016 en EM-SCL contempla el periodo de enero a abril 2016 y la EM-Rockwood mayo a diciembre 2016.

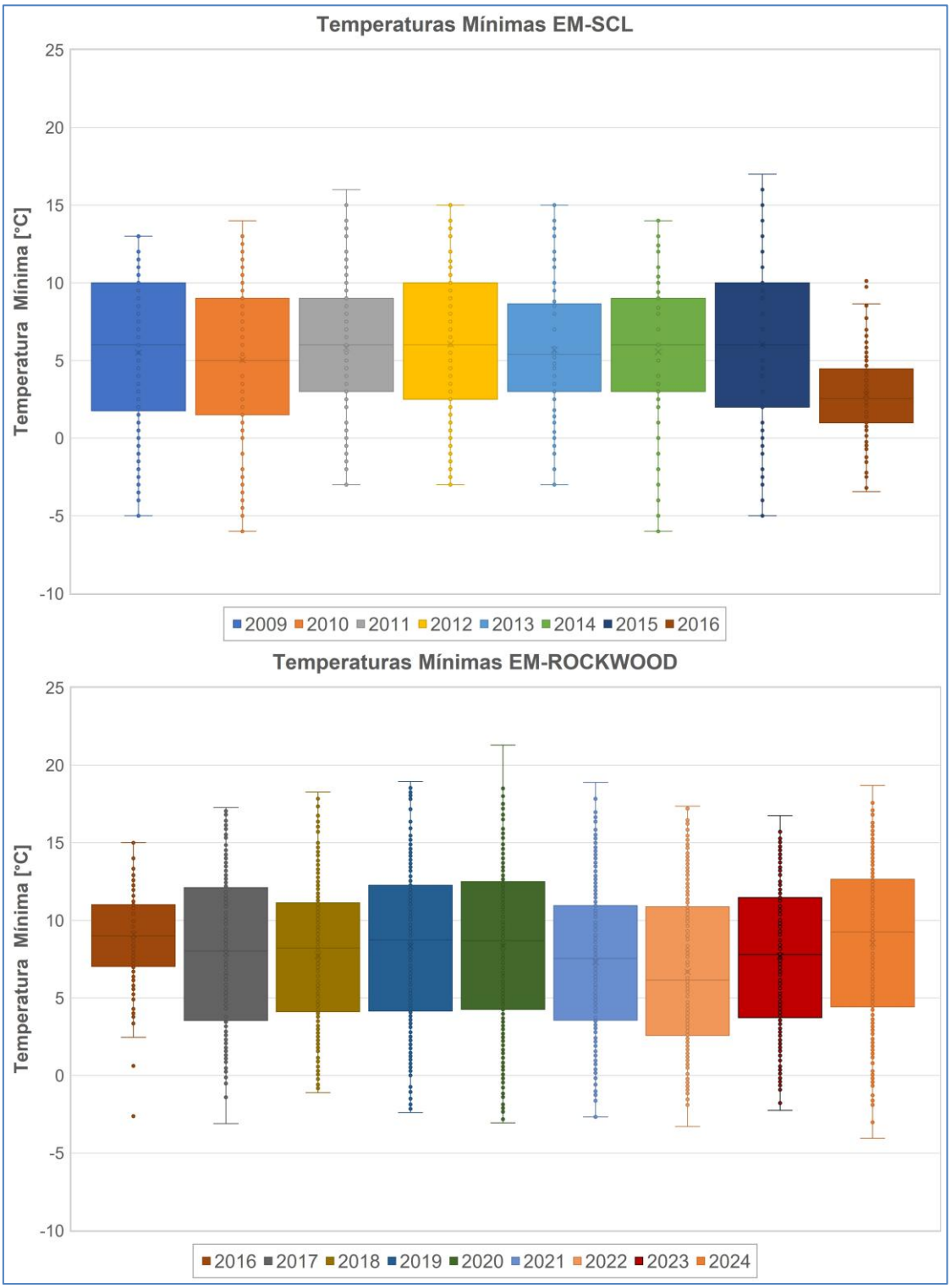
2020 estas se mantienen estables en torno a los 27°C, con una reducción a 25°C en el año 2021, sin embargo, desde 2021 se observa una tendencia que va en aumento hasta el año actual, 2024.

Figura 6-9 Temperaturas extremas diarias [°C], periodo 2009-2024



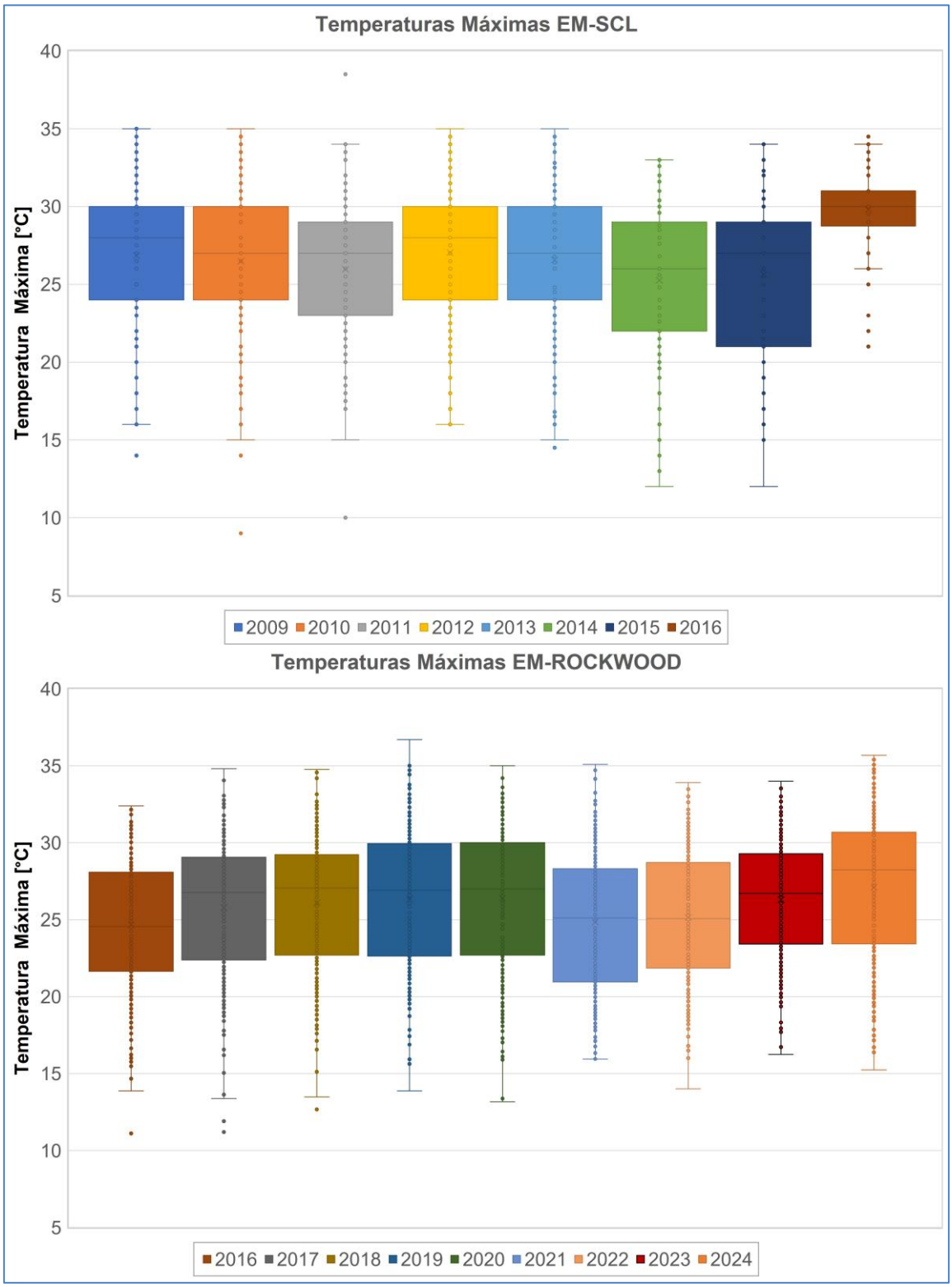
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-10 Distribución T° mínimas por año EM- SCL y EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2024



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 6-11 Distribución T° máximas por año EM-SCL y EM-ROCKWOOD [°C], periodo 2009-2024

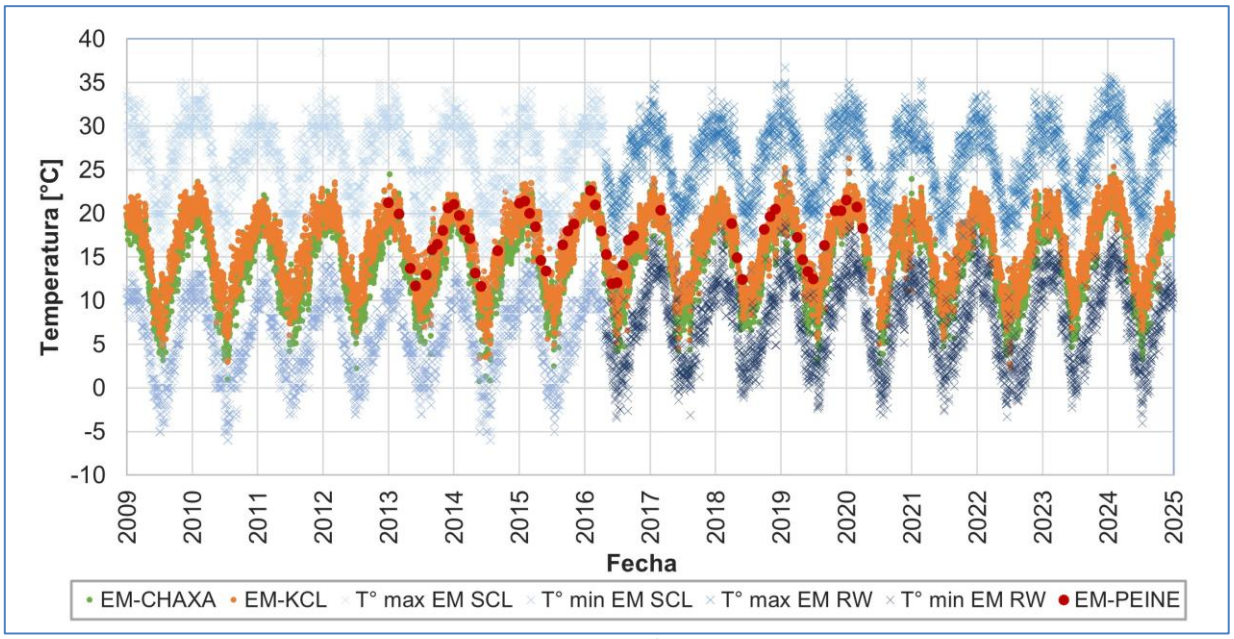


Nota: Año 2016 incompleto, dado que hubo cambio de estación. En EM-SCL cuenta sólo con los registros hasta abril de 2016 y la EM-ROCKWOOD inicia con valores en abril 2016.
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la Figura 6-12, 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 leve 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 6-12 Temperaturas extremas diarias Albemarle y medias de terceros [°C], periodo 2009-2024



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.3 Presión atmosférica

En la Figura 6-13 se presenta el registro histórico de presión atmosférica diaria, para el periodo 2016-2024. Estos datos comenzaron su registro desde el inicio de la estación EM-Rockwood que incorpora los instrumentos necesarios para la medición de esta variable.

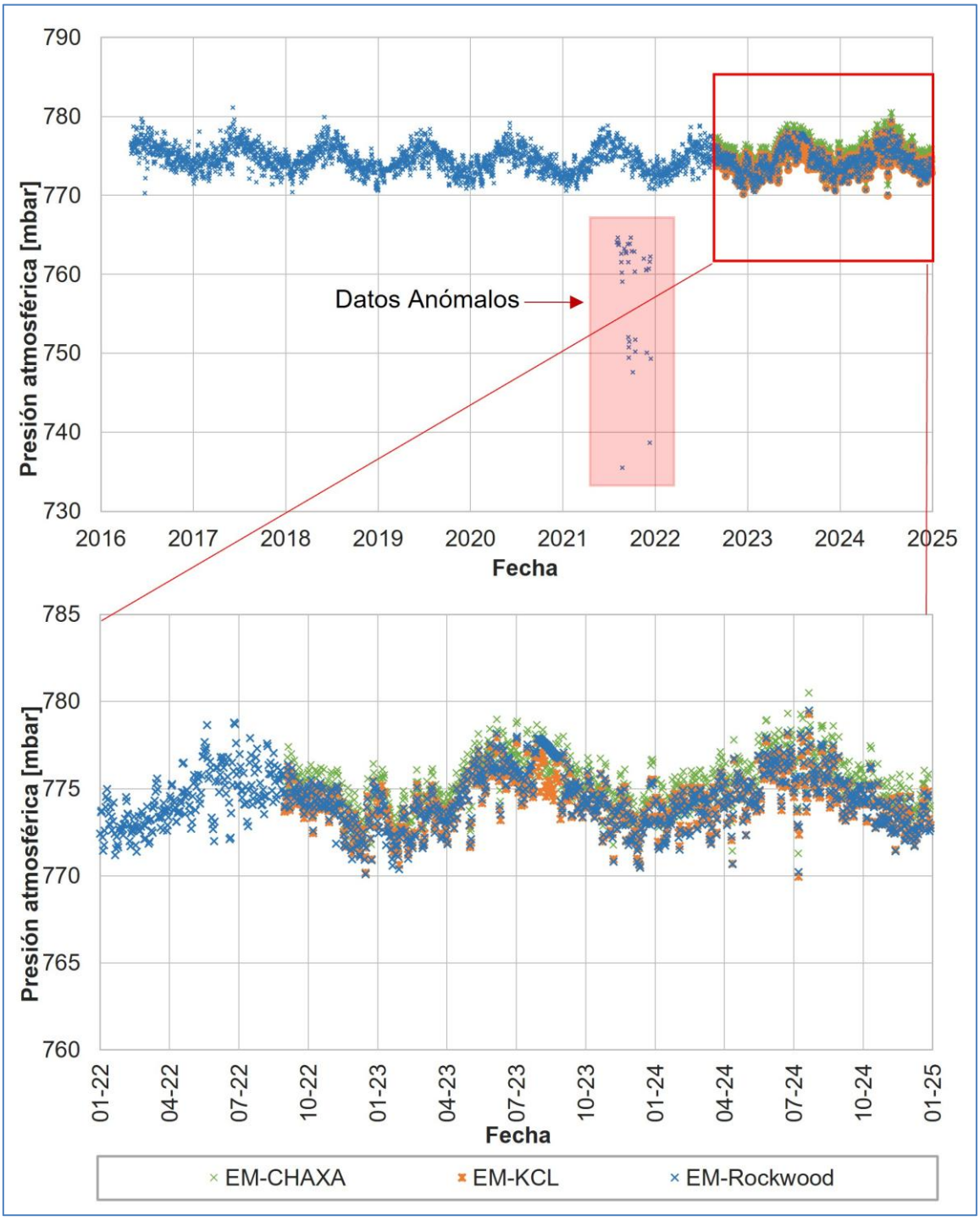
Los registros de presión atmosférica muestran variaciones de origen estacional, registrándose los valores máximos en las estaciones frías (entre los meses de abril y septiembre) y los valores mínimos en las estaciones cálidas (entre los meses de octubre y marzo).

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 con un recuadro en rojo en la figura superior de Figura 6-13, lo que se detalla en la figura inferior). A pesar de esto, se presentan en la misma figura (Figura 6-13), 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 6-13 se observa que la EM-Chaxa y EM-KCL, tienen el mismo comportamiento que EM-Rockwood, con mayores valores en EM-Chaxa. Por último, se observan datos en abril y julio 2024 de las tres estaciones (EM-Rockwood, EM-Chaxa y EM-KCL), que escapan de la tendencia (como se menciona en la sección 5.1) que muestra el registro de presión atmosférica diaria, específicamente los días 14 de abril, 11 y 10 de julio, sin embargo, los valores se mantienen dentro del rango general entre 770 y 780 mbar.

Figura 6-13 Presión atmosférica diaria, periodo 2016-2024



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.4 Evaporación

En la Figura 6-14 se presenta el registro de evaporación de agua libre diaria en el periodo 2009-2024. 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 28% con respecto a la EM-SCL.

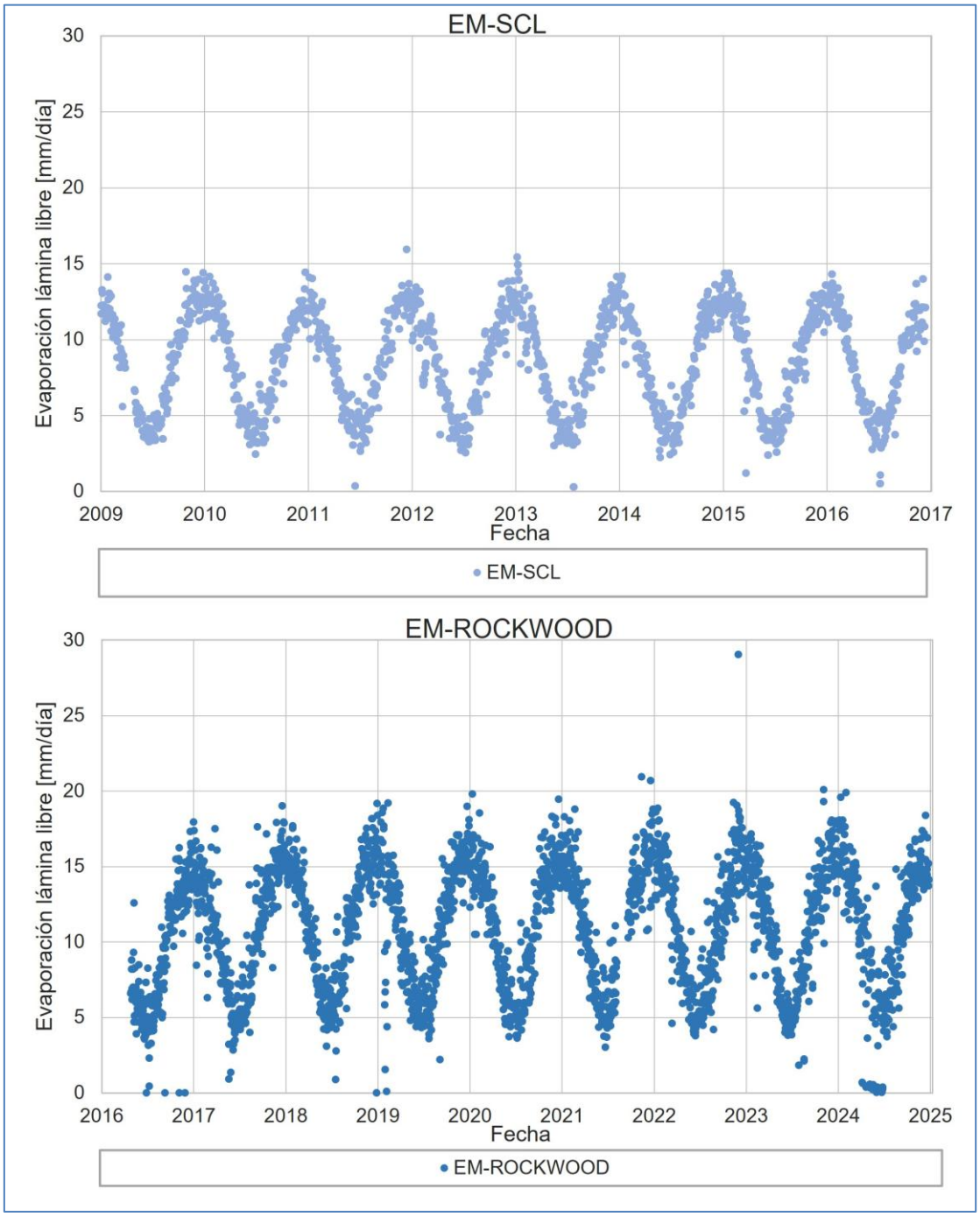
De esta manera, en el periodo 2009-2016 (EM-SCL) la evaporación de lámina libre oscila en torno a los 3,0 mm/día en los meses fríos y los 14,0 mm/día en los meses cálidos, mientras que en el periodo 2016-2024 (EM-Rockwood) la evaporación de lámina libre oscila en torno a los 4,0 mm/día en los meses fríos 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, por lo que se considera anómalo, seguido a este registro se tienen 20,96 mm/día el 16 de noviembre del 2021 (EM-Rockwood).

Dentro de los últimos 5 años (2020-2024) los valores mínimos de evaporación fueron registrados en junio del 2024, en específico el 5 de junio de este año se registró una evaporación de 0,04 mm/día, sin embargo, estos valores también parecen salirse de la tendencia general.

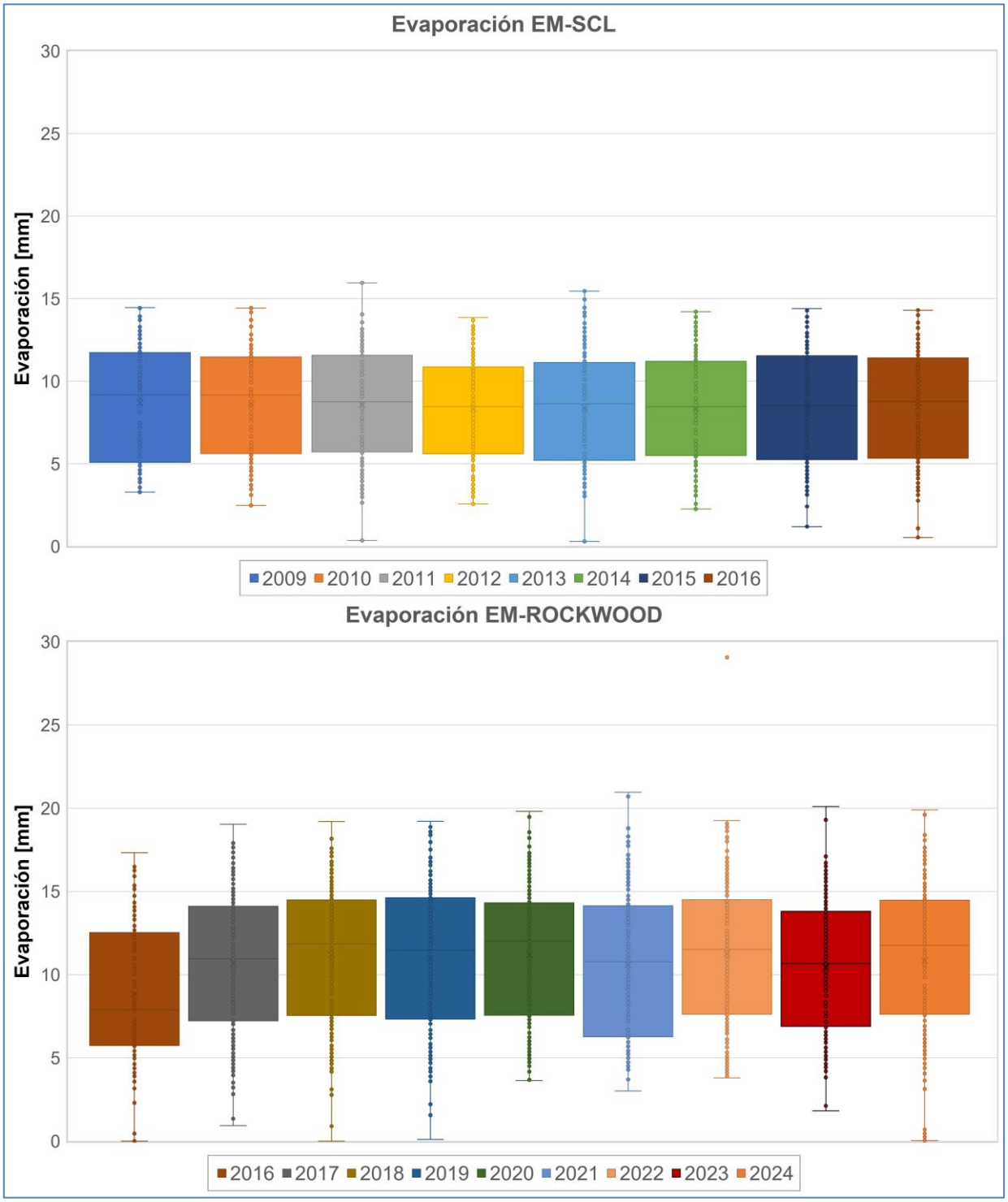
La Figura 6-15 muestra la distribución anual de la evaporación en el período 2009-2023 para ambas estaciones meteorológicas (SCL/Rockwood). Como se mencionó anteriormente, se observa un contraste entre las mediciones realizadas en la estación SCL (2009 - abril 2016) y Rockwood (mayo 2016 – presente) 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, las cuales presentan una tendencia en aumento desde 2016 hacia 2020, y una tendencia oscilante, pero relativamente estable entre el periodo 2021 a 2024, esto último coincide con lo observado en la Figura 6-14.

Figura 6-14 Evaporación diaria, periodo 2009-2024



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

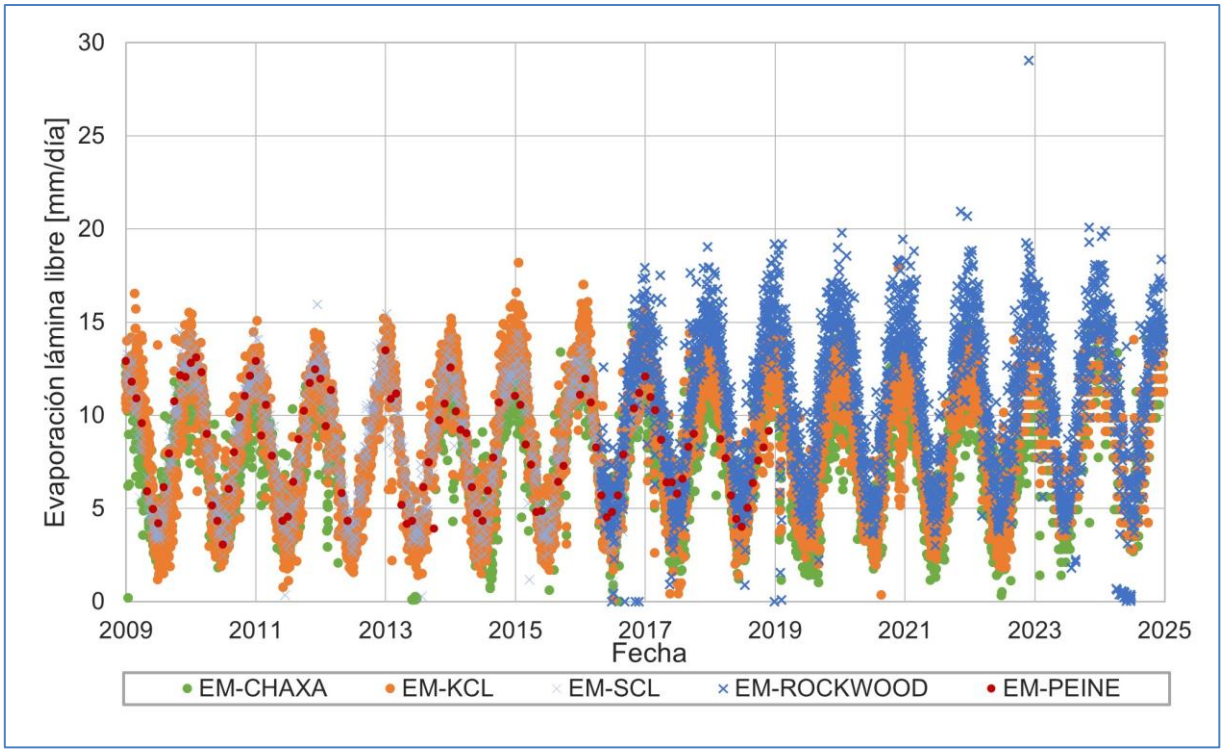
Figura 6-15 Distribución Evaporación Lámina Libre EM-ROCKWOOD/SCL [mm], periodo 2009-2024



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 6-16, se muestran en conjunto los registros de evaporación[32] de terceros (EM-Chaxa, EM-KCL y EM-Peine) y se comparan con la estación de Albemarle (EM-SCL y EM-Rockwood). 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-M.

Figura 6-16 Evaporación diaria Albemarle y terceros, periodo 2009-2024



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 evaporación), debido a que no se cuenta con medidas para ambas estaciones en el periodo de funcionamiento conjunto.

[32] En EM-Chaxa y EM-KCL son evaporaciones diarias, por otra parte, la evaporación de EM-Peine son evaporaciones mensuales.

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 algunas mediciones comprometidas del año 2024 se justifica en el capítulo 5.2.

En la variable de evapotranspiración no aplica límite comprometido, ver en Tabla 5-28.

6.1.2.1 Sector La Punta-La Brava

En la Figura 6-17 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, resultados en sección 5.2.1). En particular, el punto EVT-19, se gráfica de manera independiente en el primer gráfico de la Figura 6-17, debido a la diferencia de escala con respecto al resto de las mediciones. Esta diferencia de escala se debe a que el punto EVT-19, al estar ubicado sobre la laguna, se mide directamente sobre el espejo de agua, por lo que la tasa de evaporación es máxima de acuerdo a las condiciones atmosféricas de la campaña y a la salinidad del agua. Para los demás puntos (EVT-20, EVT-21 y EVT-22) la EVT es menor, ya que estos están influenciados por la profundidad del nivel freático, lo que hace disminuir la tasa de EVT hasta volverse nula al llegar a la profundidad de extinción.

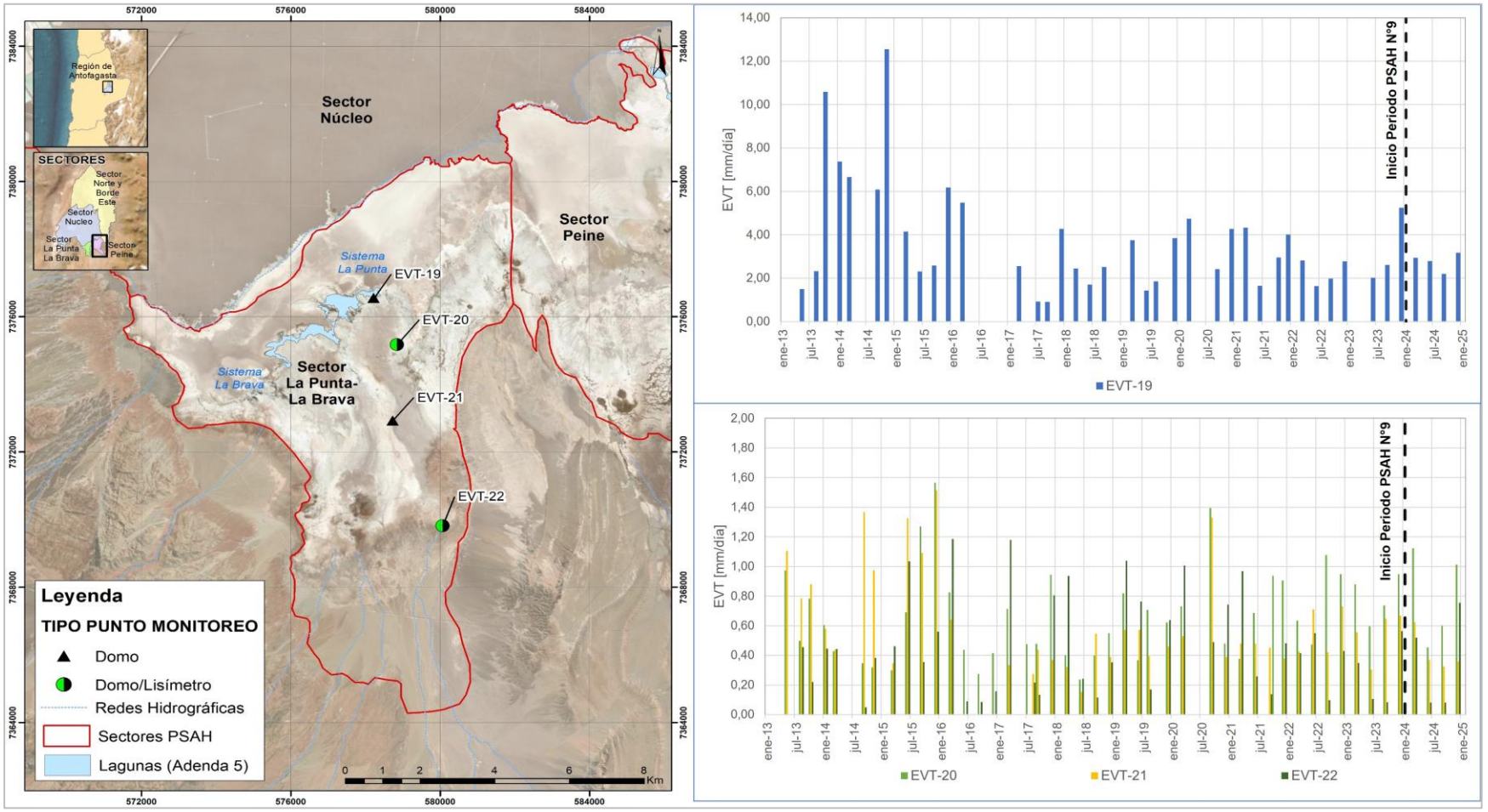
En el gráfico de EVT-19 (Figura 6-17) se observa en el registro histórico entre los años 2013 a 2024 que las tasas de evapotranspiración oscilan en un rango de EVT mínima de 0,909 (septiembre 2017) y EVT máxima de 12,558 mm/día (noviembre 2014). En general, se denota una tendencia relativamente estable de estas tasas desde el año 2018 con valores que se mantienen entre 1,433 (junio 2019) y 5,251 mm/día (diciembre 2023) para el periodo 2018 a 2024. En general se observa correlación entre invierno y verano, en donde las EVT de temporada estival son mayores a las de la temporada invernal, lo que se justifica debido que este punto depende solo de las condiciones atmosféricas y salinidad de agua.

Por otra parte, el gráfico de la Figura 6-17 (figura inferior) muestra las estaciones EVT-20, EVT-21 y EVT-22, puntos de la zona marginal al sur de las lagunas LP LB, en el que se observa menores tasas de evapotranspiración y que se mantienen dentro de un rango acotado entre los años 2017 a 2024 con un mínimo de 0,081 (junio 2024, EVT-22) y un máximo de 1,394

mm/día (septiembre 2020, EVT-20). El registro para el periodo de 2013 a mediados del año 2017 se presenta un poco mayor en sus 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 las temporadas estivales (octubre a marzo) y mínimos en temporadas invernales (abril a septiembre).

Figura 6-17 Evolución de la evapotranspiración en el punto EVT-19, EVT-20, EVT-21 y EVT-22, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

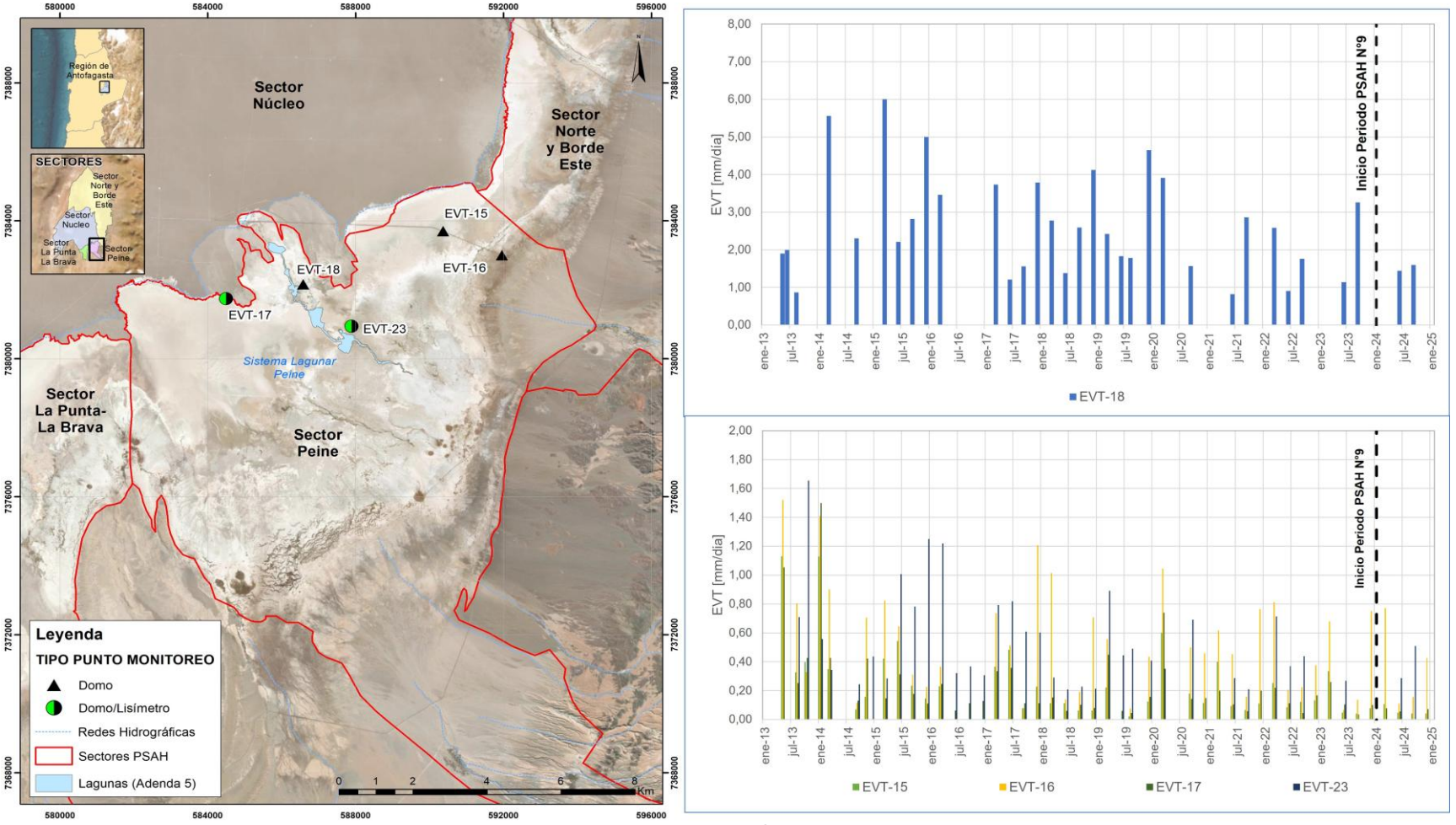
6.1.2.2 Sector Peine

En la Figura 6-18 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, resultados en sección 5.2.2). En particular, el punto EVT-18, se grafica de manera independiente en el primer gráfico de la Figura 6-18, debido a la diferencia de escala con respecto al resto de las mediciones. Esta diferencia de escala se debe a que el punto EVT-18, al estar ubicado sobre la laguna, se mide directamente sobre el espejo de agua, por lo que la tasa de evaporación es máxima de acuerdo con las condiciones atmosféricas de la campaña y a la salinidad del agua. Para los demás puntos (EVT-15, EVT-16, EVT-17 y EVT-23) la EVT es menor, ya que estos están influenciados por la profundidad del nivel freático, lo que hace disminuir la tasa de EVT hasta volverse nula al llegar a la profundidad de extinción.

En el gráfico de EVT-18 (Figura 6-18) se observa en el registro histórico entre los años 2013 a 2024 que las tasas de evapotranspiración oscilan en un rango de EVT mínima de 0,821 (junio 2021) y EVT máxima de 6,006 mm/día (marzo 2015). Entre los Años 2017 y 2020 se puede observar una variación estacional, con menor EVT en la época invernal, y mayor en le época estival lo que se justifica debido que este punto depende solo de las condiciones atmosféricas y salinidad de agua. Entre los años 2021 a 2024 el análisis se presenta de forma parcial, debido a la imposibilidad de acceso para ciertas campañas de medición, por lo que, durante estos años solo se tienen registros de algunos meses (junio, septiembre y sólo 1 registro en marzo). Entre los años 2021 a 2024 las menores EVT se miden en junio, y las mayores EVT en septiembre (salvo en el año 2022 en donde se tiene una medición en marzo, la cual es la mayor para ese año).

La variabilidad histórica para los puntos EVT-15, EVT-16, EVT-17 y EVT-23 (Figura 6-18) oscila en un rango de entre 0,021 mm/día (agosto de 2019, EVT-15) y 1,655 mm/día (octubre de 2013 EVT-23). Es posible observar en los puntos EVT-15, EVT-16 y EVT-17 un comportamiento estacional, con mayor EVT en verano y menor EVT en invierno y una tendencia a la baja a lo largo del registro histórico (2013 – 2024). Es importante mencionar, que el punto EVT-23 presenta un registro parcial de datos entre 2021 y 2023, por lo que la tendencia de sus datos no sería representativa para el periodo.

Figura 6-18 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 6-19 y Figura 6-20.

En la Figura 6-19 se muestran las mediciones históricas de los puntos EVT-1, EVT-2, EVT-3 y EVT-4 y EVT-5. En particular, el punto EVT-5, se grafica de manera independiente en el primer gráfico de la Figura 6-19, debido a la diferencia de escala con respecto al resto de las mediciones. Este punto se ubica sobre el espejo de agua lo que justifica la mayor EVT, la que oscila en un rango de datos mínimos de 1,251 mm/día (junio 2023) y máximo de 9,100 mm/día (marzo 2014). Es importante mencionar que EVT-5 cuenta con un registro parcial de datos (en particular no presenta datos entre junio 2021 a marzo 2023, además de otros periodos intermedios del registro histórico, situación que se debe principalmente a la restricción de acceso a los puntos del sector por la Comunidad de Coyo), por lo que sus datos no serían representativos para el análisis estacional ni de tendencias.

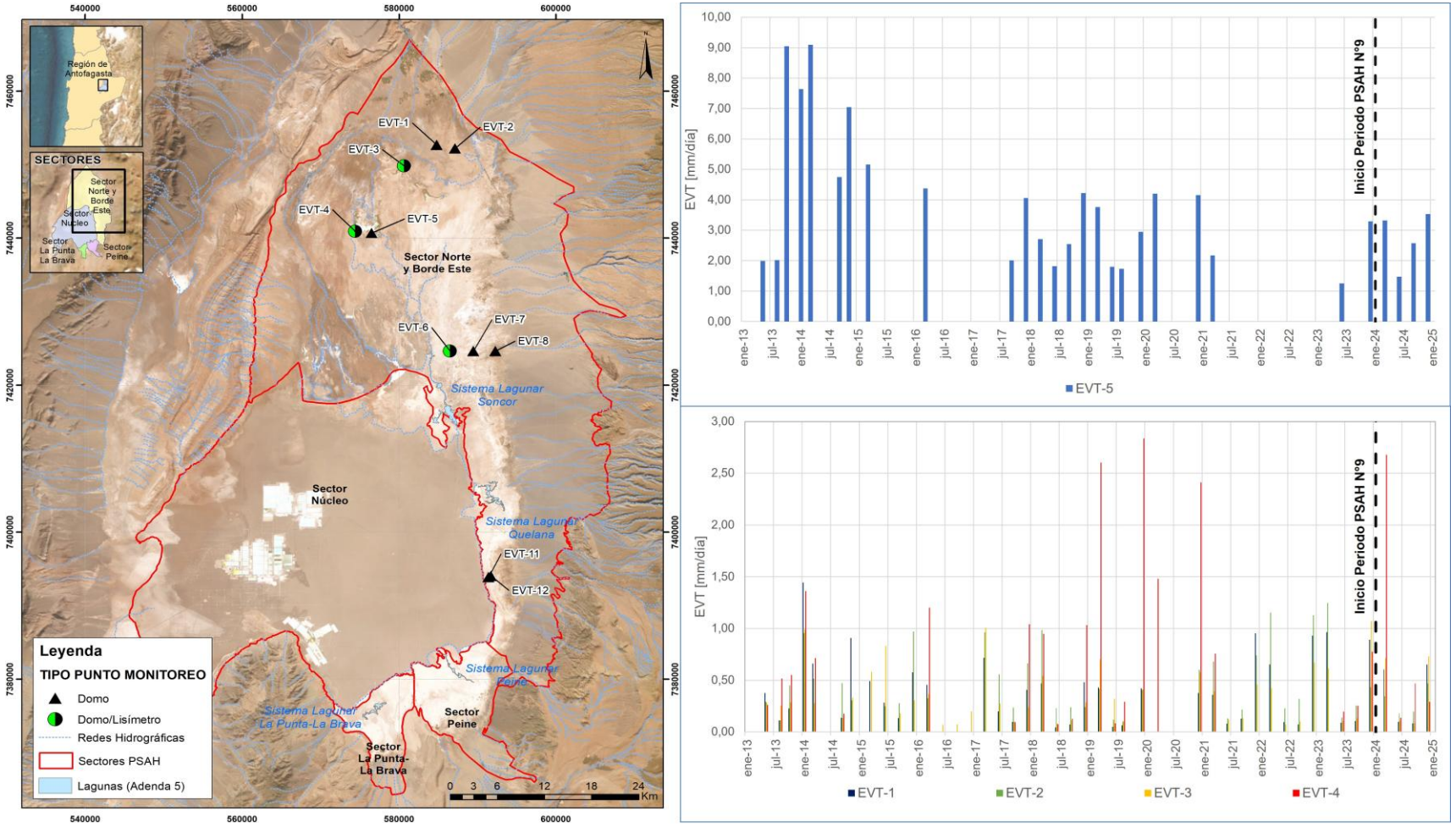
Además, en la Figura 6-19, en el gráfico inferior, se grafica el punto EVT-4 junto a los puntos EVT-1, EVT-2 y EVT-3. Se destaca el punto EVT-4, ya que su EVT es mayor a la observada en los otros 3 puntos (EVT-1, EVT-2 y EVT-3), , con valores de EVT que oscilan en un rango entre 0,075 mm/día (junio de 2018) y 2,837 mm/día (diciembre 2019). Por otro lado, los puntos EVT-1, EVT-2 y EVT-3 presentan EVT menores, con una mayor influencia del nivel freático debido a la ubicación de los domos (más alejados de las lagunas). La EVT en estos puntos oscila entre 0,045 mm/día (junio 2018, EVT-1) y 1,443 mm/día (enero 2014, EVT-1). A la vez, estos presentan una mayor cantidad de datos, lo que permite observar el comportamiento estacional, con menor EVT en invierno y mayor EVT en verano.

Los puntos EVT-6, EVT-7 y EVT-8 ubicados de la parte norte del Borde Este del salar, (ver Figura 6-20, gráfico superior), presentan valores de evapotranspiración entre los rangos de 0,086 mm/día (septiembre 2024, EVT-8) y 1,745 mm/día (diciembre 2015. EVT-7), además, se puede observar que la EVT en el punto EVT-8 es menor a la de los puntos EVT-6 y EVT-7. 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, por este motivo, el registro no se considera contundente para realizar una mayor profundidad de análisis.

En el gráfico inferior de la Figura 6-20 se grafican los puntos EVT-11 y EVT-12, los que se encuentran en el borde este. Estos puntos presentan un valor mínimo de EVT de 0,037 mm/día (junio de 2024, EVT 11) y un valor máximo de 2,430 mm/día (septiembre de 2015, EVT-12). En general, la estación EVT-12 para el periodo de registro presenta valores de evapotranspiración mayores a EVT-11.

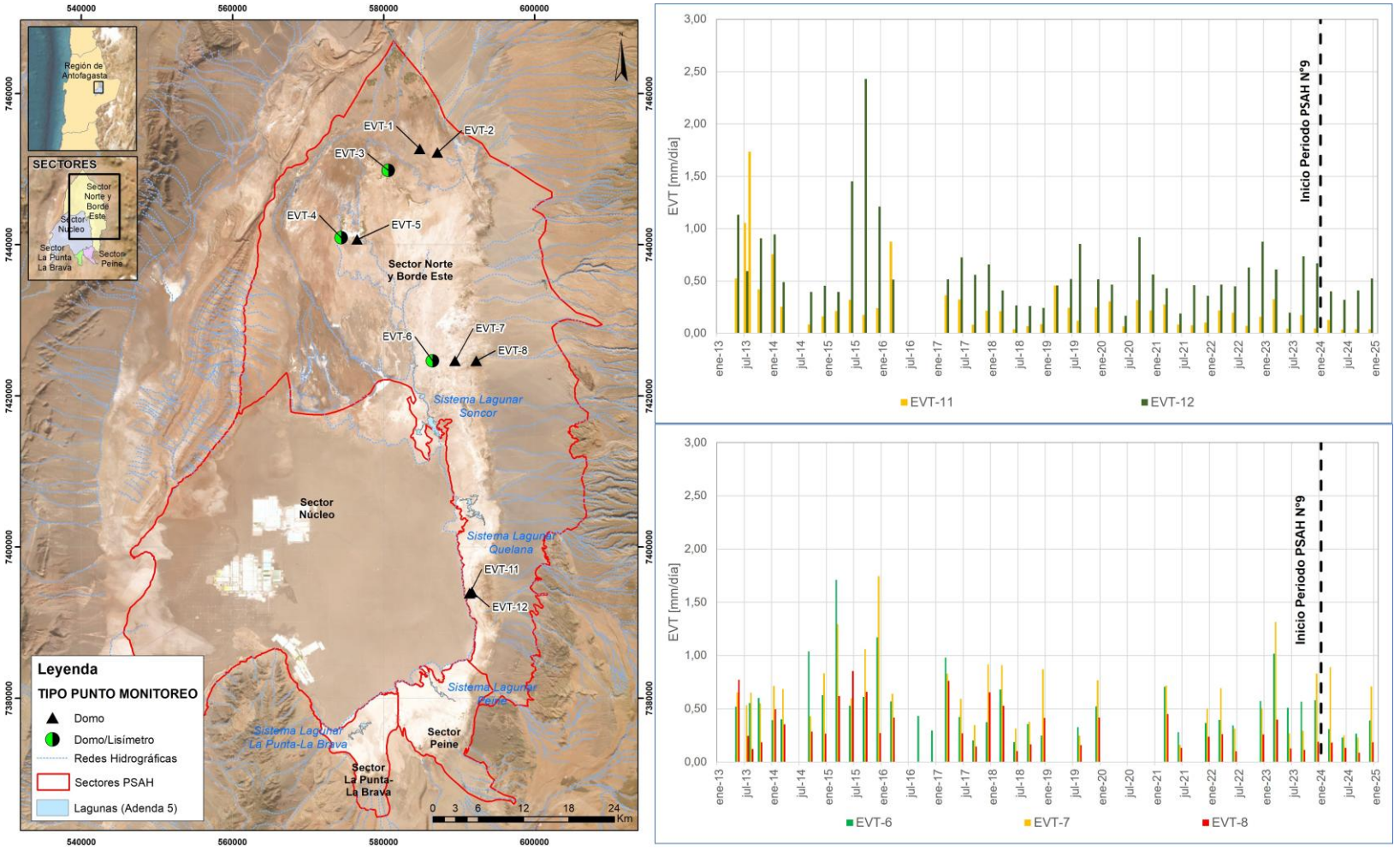
En general, se observa una variación estacional de las tasas de evaporación con tasa de evaporación menores en los meses de invierno y mayores en verano. En general, los 10 puntos presentan ETV en rangos similares, sin puntos que presenten un cambio significativo en la escala.

Figura 6-19 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 6-20 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

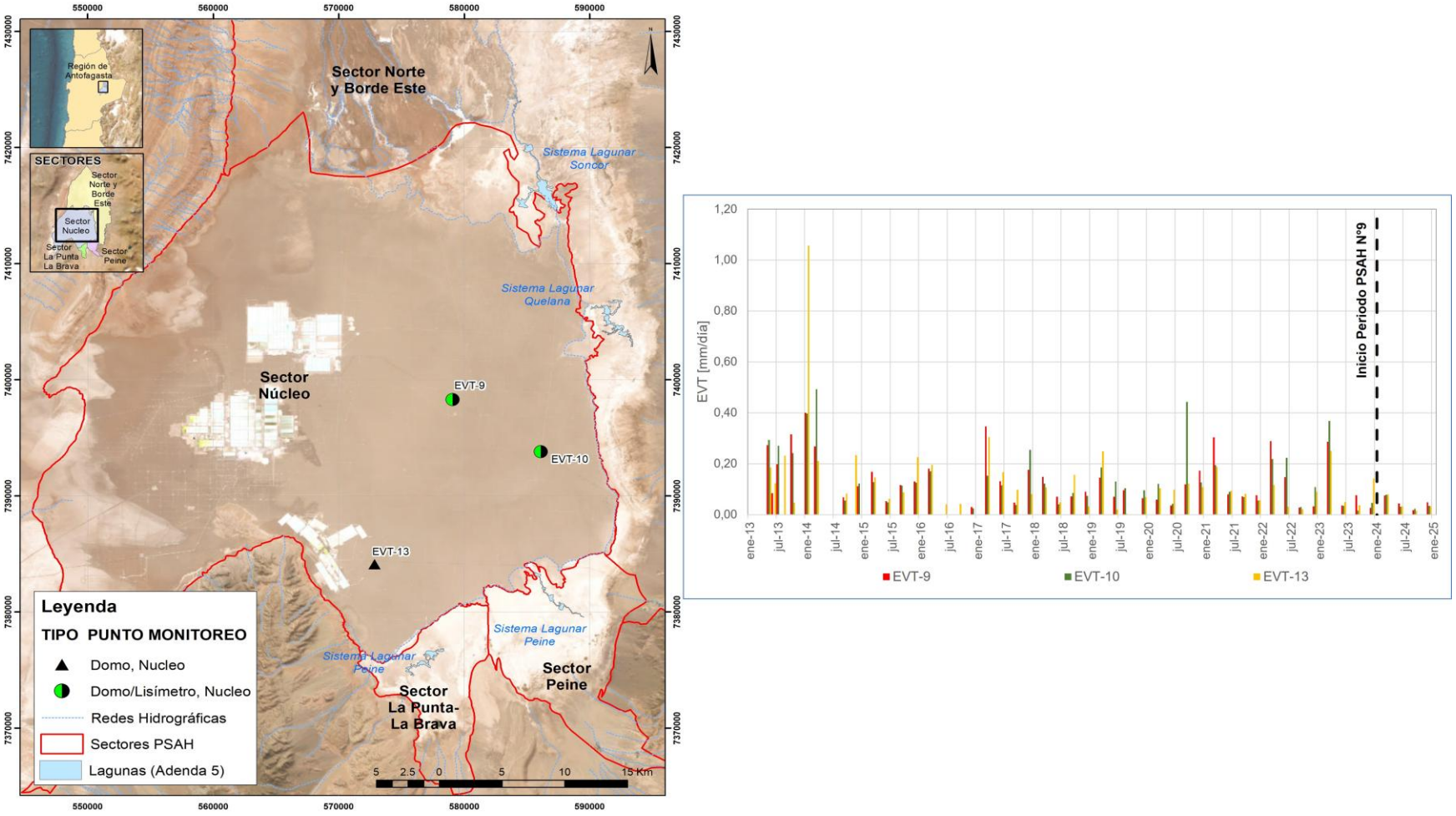
En la Figura 6-21 se muestra la evolución histórica de la evapotranspiración en los puntos de la red de monitoreo de evapotranspiración en el Núcleo del salar EVT-9, EVT-10 y EVT-13.

Los puntos presentan valores de evapotranspiración entre los rangos de 0,003 mm/día (agosto 2019, EVT-13) y 0,492 mm/día (marzo 2014, EVT-10), sin considerar el valor anómalo 1,057 mm/día en enero 2014 en EVT-13.

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 0,138 mm/día en comparación con los puntos EVT-9 y EVT-13, con promedios de 0,128 y 0,108 mm/día, respectivamente.

Del análisis de todos los sectores y sus tasas de evapotranspiración, se observa que el sector Núcleo, es que tiene las menores EVT de todo el Salar. Del análisis realizado en el informe de la Cuarta actualización del modelo numérico del Salar de Atacama (entregado a la autoridad en paralelo al presente informe, ALBEMARLE-GESTIONARE 2025), referente a los datos de evapotranspiración del núcleo surge la incertidumbre respecto si realmente las mediciones arrojan el valor de esta variable, dado que pareciera que muchos de estos puntos actualmente presentan una profundidad del nivel freático por debajo de la profundidad de extinción estándar de 2 m, con lo que es probable que se esté midiendo bajo el límite de detección del método, es decir, lo que se mide en el Núcleo podría ser igual a 0.

Figura 6-21 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. La Tabla 6-8 y Tabla 6-9 presentan las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada para el año 2024, determinadas desde la imagen de alta resolución (Pléiades 1-A) y de media resolución (Landsat 8), junto con la comparación tanto con los históricos disponibles de Alta Resolución como con las superficies de 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 6-9).

Tabla 6-8 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pléiades 1-A y datos de monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos de AR disponibles en Adenda 5 RWL, 2015.

Sistema Lagunar	Superficies Mínimas AR disponibles en Adenda 5		Superficies lagunares Monitoreo Fase Operación (1)			
	Quickbird/Worldview/Geoeye (2)		Invierno 2024		Verano 2024	
	ha	m²	ha	m²	ha	m²
La Punta La Brava	31,6 feb-14	316.000	40,7	407.332,2	24,4	243.682,9
Peine	48,9 mar-06	489.000	31,4	313.749,3	27,5	275.083,5
Aguas de Quelana	11,3 mar-07	113.000	70,9	708.985,1	3,0	30.007,6
Soncor	192,4 mar-07	1.924.000	155,5	1.540.142,5	125,8	1.257.816,2

(1) Superficies a partir de modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2024.
(2) Las fechas en que se obtuvieron los 5 registros históricos, corresponden a las que se presentaron en las tablas 4-7, 4-8, 4-9 y 4-10 del "*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 6-9 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos del período 1973-1976 presentados en la Adenda 5 RWL, 2015.

Sistema Lagunar	Superficie Mínima Landsat disponible en Adenda 5 periodo 1973-1976 (2)		Superficies lagunares (ha) Monitoreo Fase Operación (1)			
			Invierno 2024		Verano 2024	
	ha	m2	ha	m2	ha	m2
	19,2	192.000	40,0	400.103,0	34,0	340.036,7

Tabla 6-9 Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros mínimos del período 1973-1976 presentados en la Adenda 5 RWL, 2015.

Sistema Lagunar	Superficie Mínima Landsat disponible en Adenda 5 periodo 1973-1976 (2)		Superficies lagunares (ha) Monitoreo Fase Operación (1)			
			Invierno 2024		Verano 2024	
	ha	m2	ha	m2	ha	m2
La Punta y La Brava	mar-73					
Peine	25,4 nov-75	254.340	42,4	424.333,4	22,8	227.885,9
Aguas de Quelana	0,2 (nov 1975) feb - mar 1976)	2.469	59,8	598.204,1	6,2	62.437,8
Soncor	143,3 feb-76	1.433.495	154,0	1.540.142,5	141,2	1.411.927,4

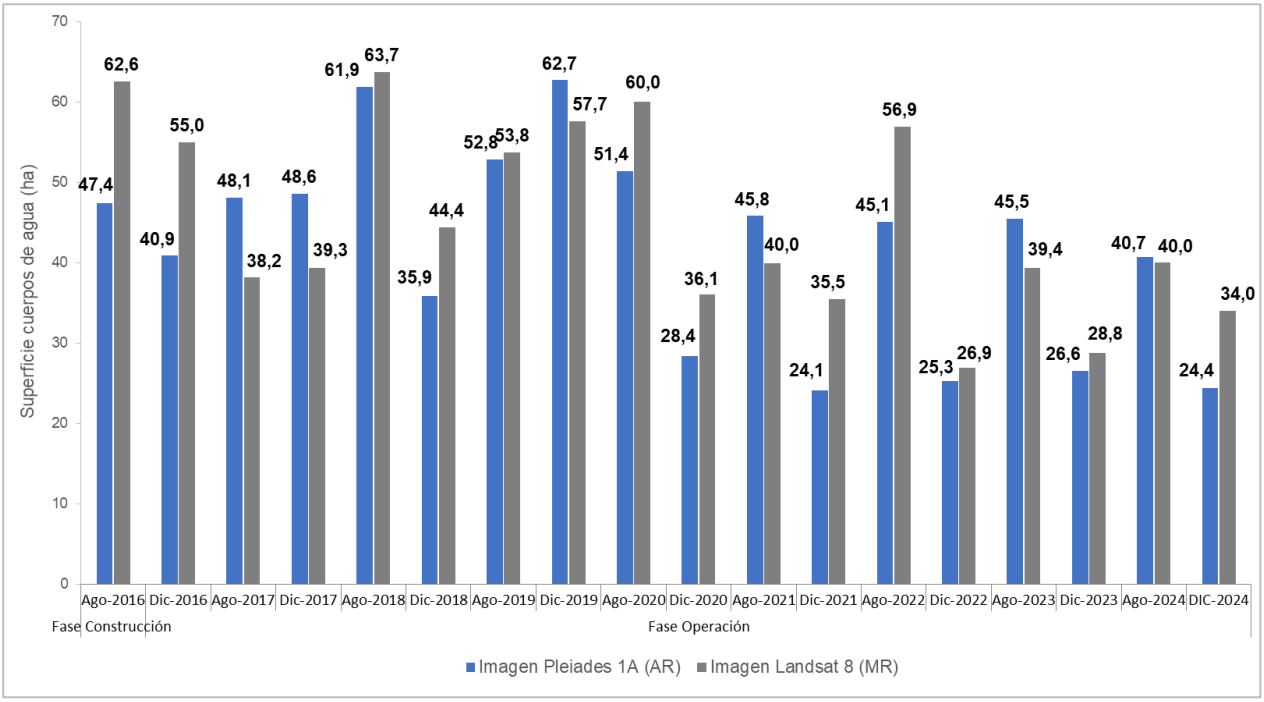
(1) Superficies a partir de modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2024.
(2) Las fechas y áreas de los registros históricos, corresponden a las que se presentaron en la Tabla 5-2, Tabla 6-3, Tabla 7-2 y Tabla 8-2, del “Apéndice I. Funcionamiento Hidrogeológico de los Sistemas Lagunares: La Punta–La Brava, Peine, Aguas de Quelana Y Soncor”, del “Anexo 1 Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar De Atacama” de la Adenda 5 de la Evaluación Ambiental del “Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”.

Fuente: Elaboración Propia

6.1.3.1 La Punta - La Brava

La Figura 6-22 muestra los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas durante el seguimiento ambiental del proyecto, entre 2016 a 2024, desde que se aprobó la RCA N° 21/2016 hasta la última campaña 2024.

Figura 6-22 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar La Punta - La Brava (2016 a 2024).



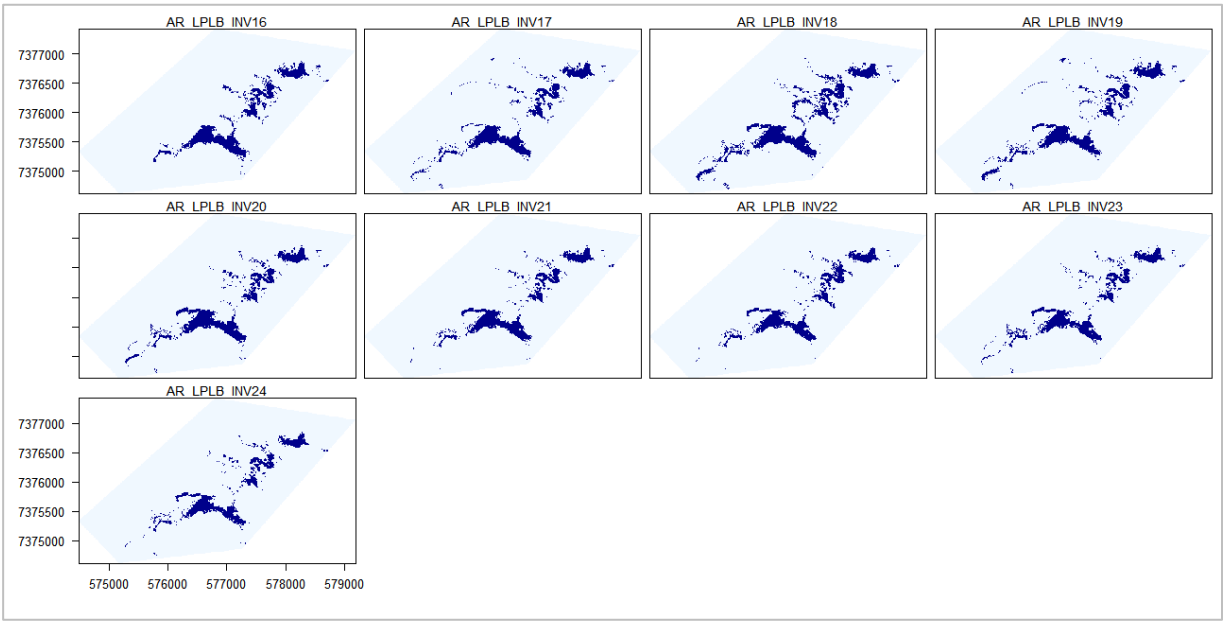
Dónde; MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); AR: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

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 2024, se evidencia una variación, pero dentro de cierta estabilidad hasta 2020, seguido de una disminución marcada en el año 2021. Se observa una ligera recuperación en invierno de 2022, y durante 2023 y 2024 la superficie se mantiene dentro del rango de los últimos cuatro inviernos (Figura 6-22).

Las Figura 6-23 a la Figura 6-26, 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).

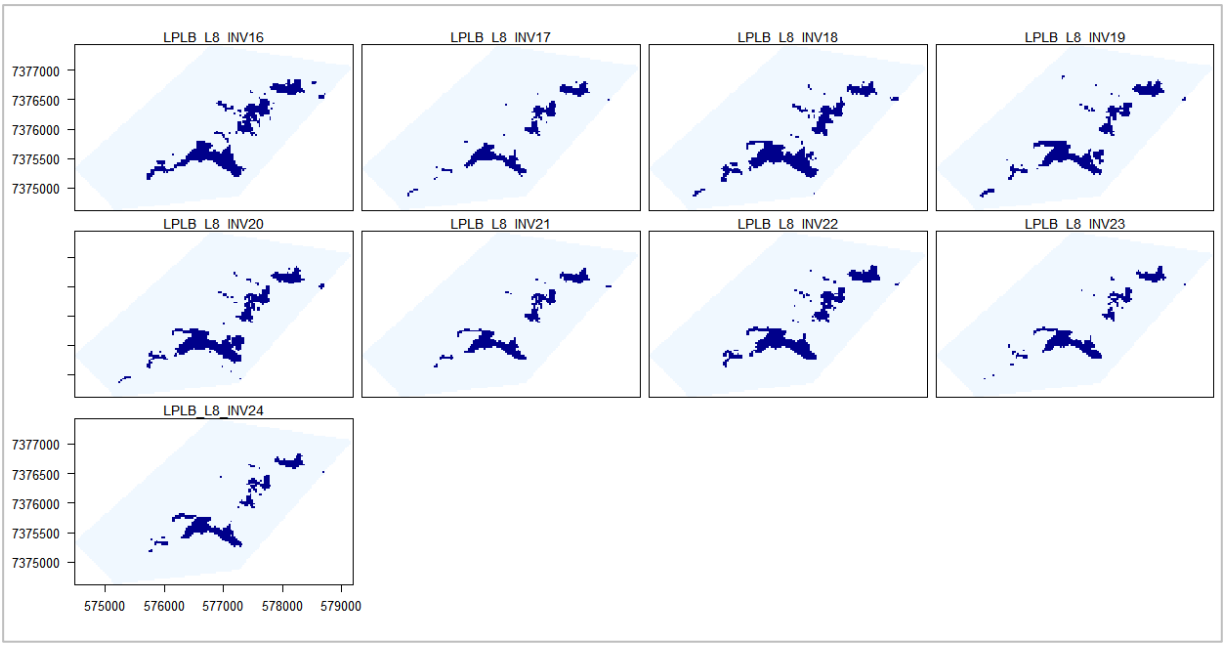
En el registro de los veranos 2016 a 2024, entre los veranos de 2016 y 2019, se observa cierta estabilidad, sin embargo, desde el verano de 2020 hasta la fecha se observa una tendencia al descenso, con registros mostrando coberturas menores en comparación con los veranos de 2016 a 2019. El registro del año 2024 se mantiene similar a lo que se viene observando desde el año 2020. El seguimiento de verano de 2019 (diciembre) 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 en enero y febrero de 2019, agosto de 2020 y mayo de 2021 expandiendo los límites naturales de lagunas y canales con el respectivo descenso posterior. En resumen, la tendencia general a lo largo del tiempo muestra un patrón de crecimiento inicial, seguido de una disminución en las superficies de invierno y una cierta estabilización en los últimos veranos 2020-2024 (ver Figura 6-23 a la Figura 6-26).

Figura 6-23 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



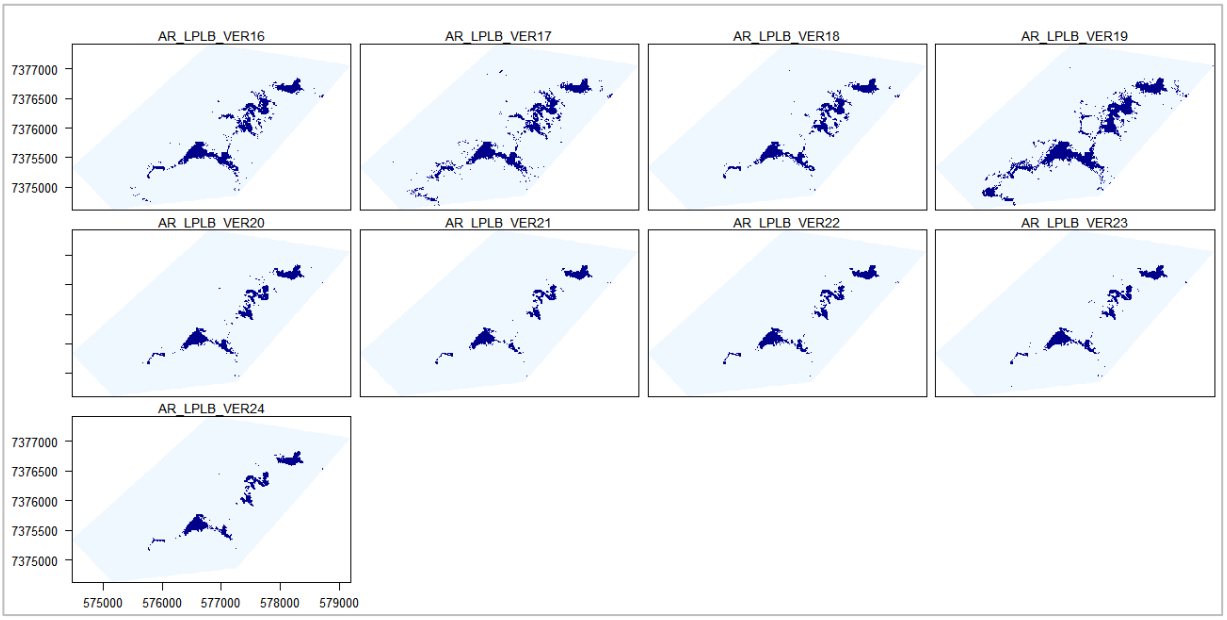
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-24 Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



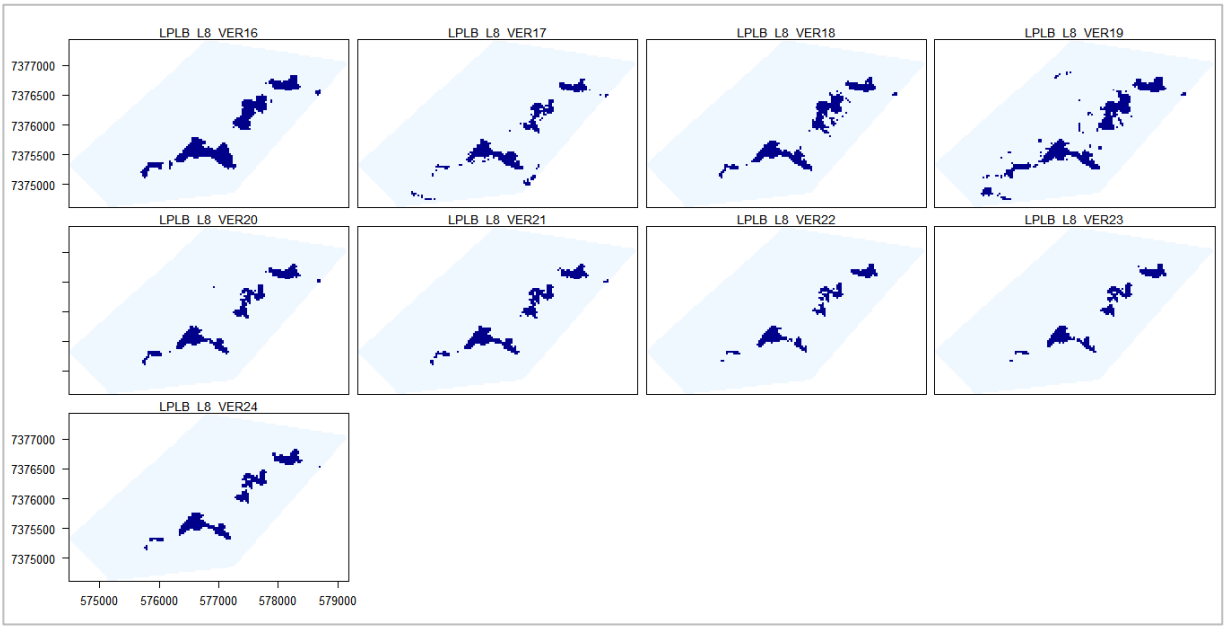
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-25 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-26 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.

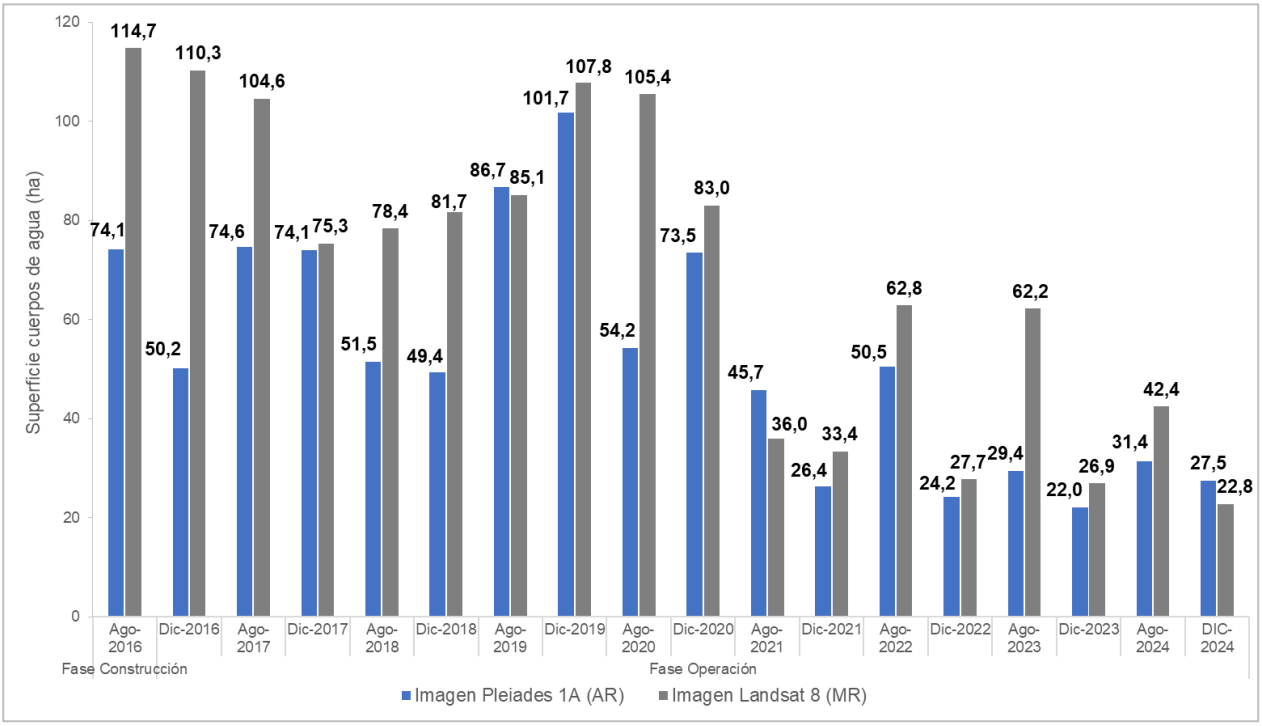


Fuente: Elaboración propia

6.1.3.2 Peine

La Figura 6-27, muestra los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2024, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

Figura 6-27 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar Peine (2016 a 2024).



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.

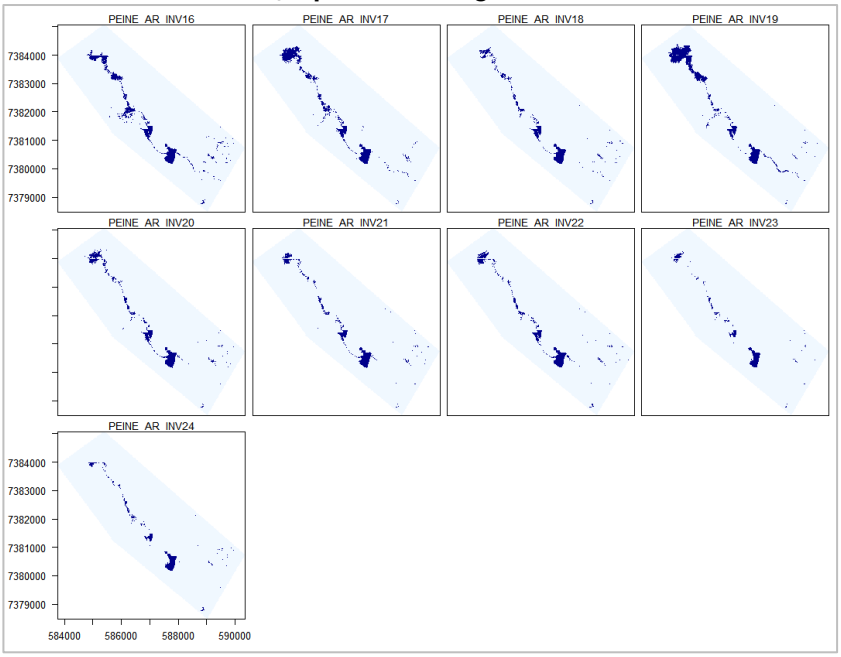
Entre las principales diferencias entre registros de invierno, se observan mayores superficies de invierno en 2016 y 2017 respecto del 2018. En el invierno de 2019, se registra un aumento considerable, el que se infiere fue debido a las precipitaciones de ese año. A partir de 2020, si se observan en las superficies de Alta Resolución, una disminución en las superficies de invierno, que continuó hasta 2021. Aunque se presenta una recuperación en el invierno de 2022, en 2023 se experimenta una nueva disminución, manteniéndose similar en 2024 (Figura 6-27). La superficie de verano se presenta muy similar los últimos 4 años.

Las Figura 6-28 a Figura 6-31 presentan 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).

Estas fluctuaciones indican la influencia de condiciones atmosféricas tales como precipitación, temperaturas y evaporación en la dinámica de las lagunas. La laguna Interna (y también desborde de interna) destaca como una parte significativa de los cambios, mostrando variaciones notables en su zona de inundación (ver Figura 6-28 a Figura 6-31).

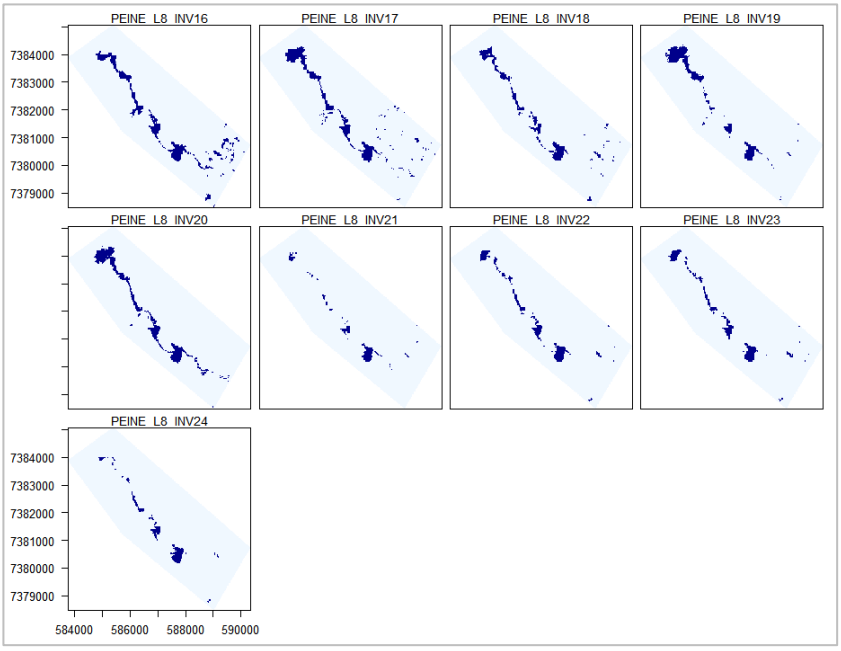
Para los veranos entre 2021 a 2024, se observa una mayor disminución en las zonas de interconexión entre la laguna Interna y la laguna Salada. Además, el análisis de imágenes de alta resolución revela una reducción en las coberturas de cuerpos de agua desde el verano de 2021, especialmente en las áreas de laguna Interna y Saladita debido a variaciones en la inundación, y también en los canales de conexión de Salada y Saladita, situación que se mantiene similar hasta el año 2024 (ver Figura 6-28 a Figura 6-31).

Figura 6-28 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



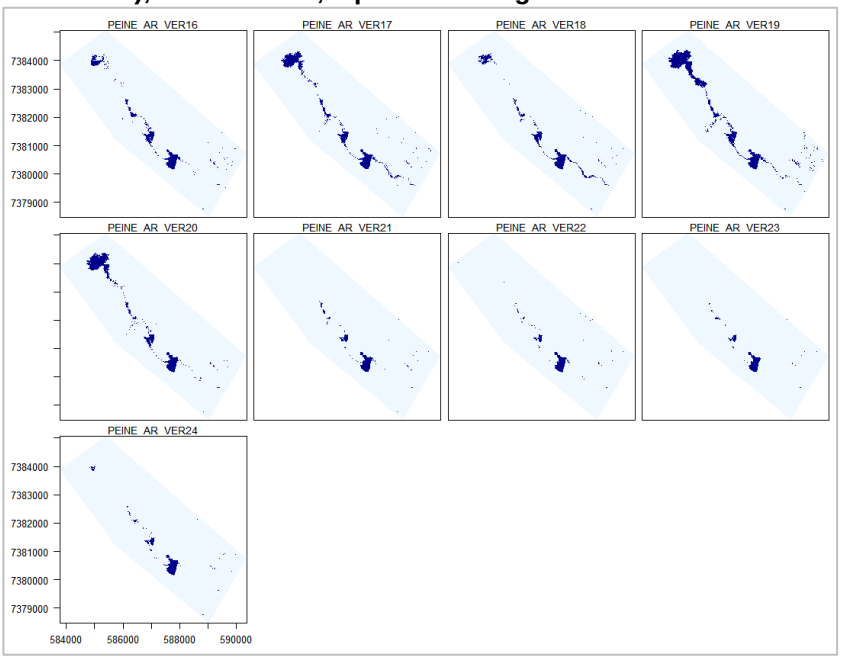
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-29 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



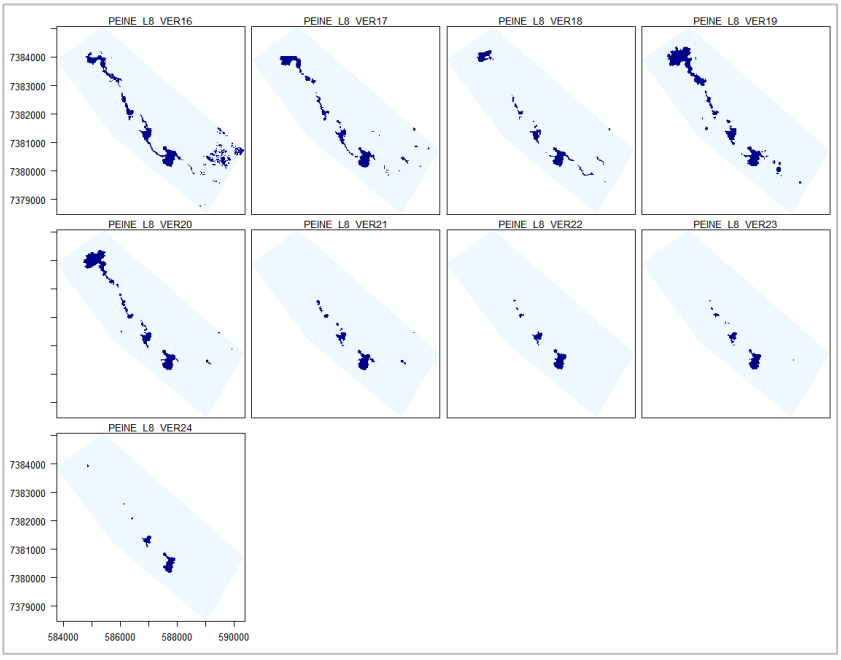
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-30 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-31 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.

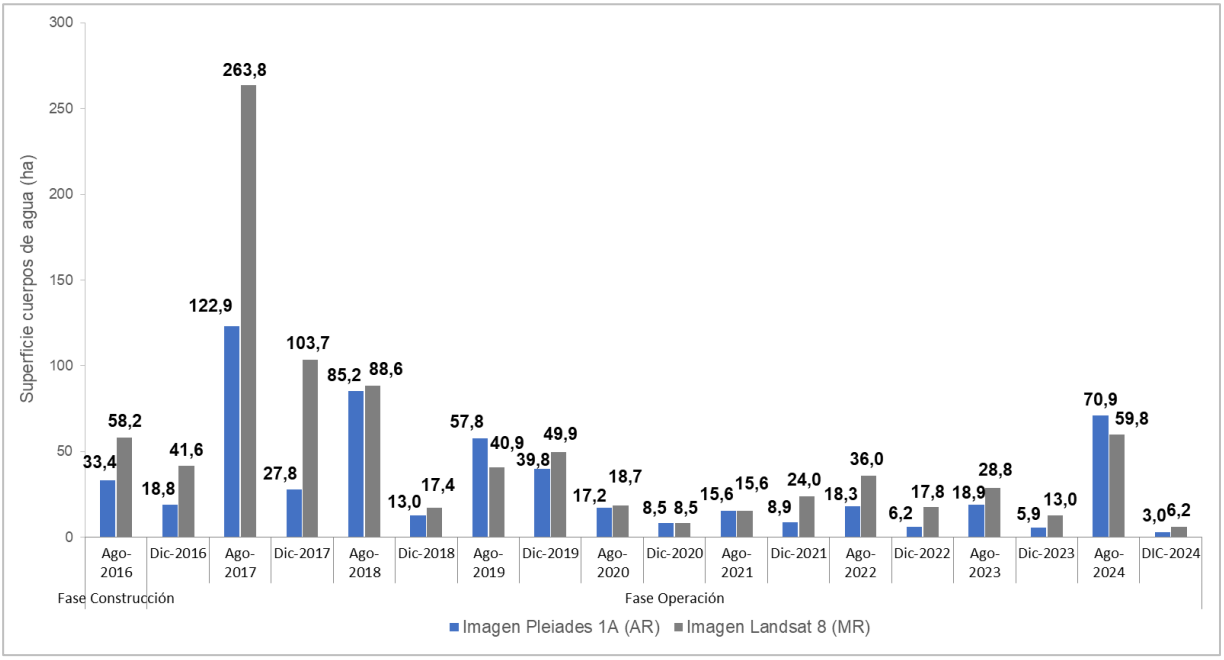


Fuente: Elaboración propia

6.1.3.3 Aguas de Quelana

La Figura 6-32 muestra los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas en el seguimiento ambiental del proyecto entre 2016 a 2024, desde la aprobación de la RCA 021/2016.

Figura 6-32 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar Aguas de Quelana (2016 a 2024).



MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
Fuente: Elaboración propia

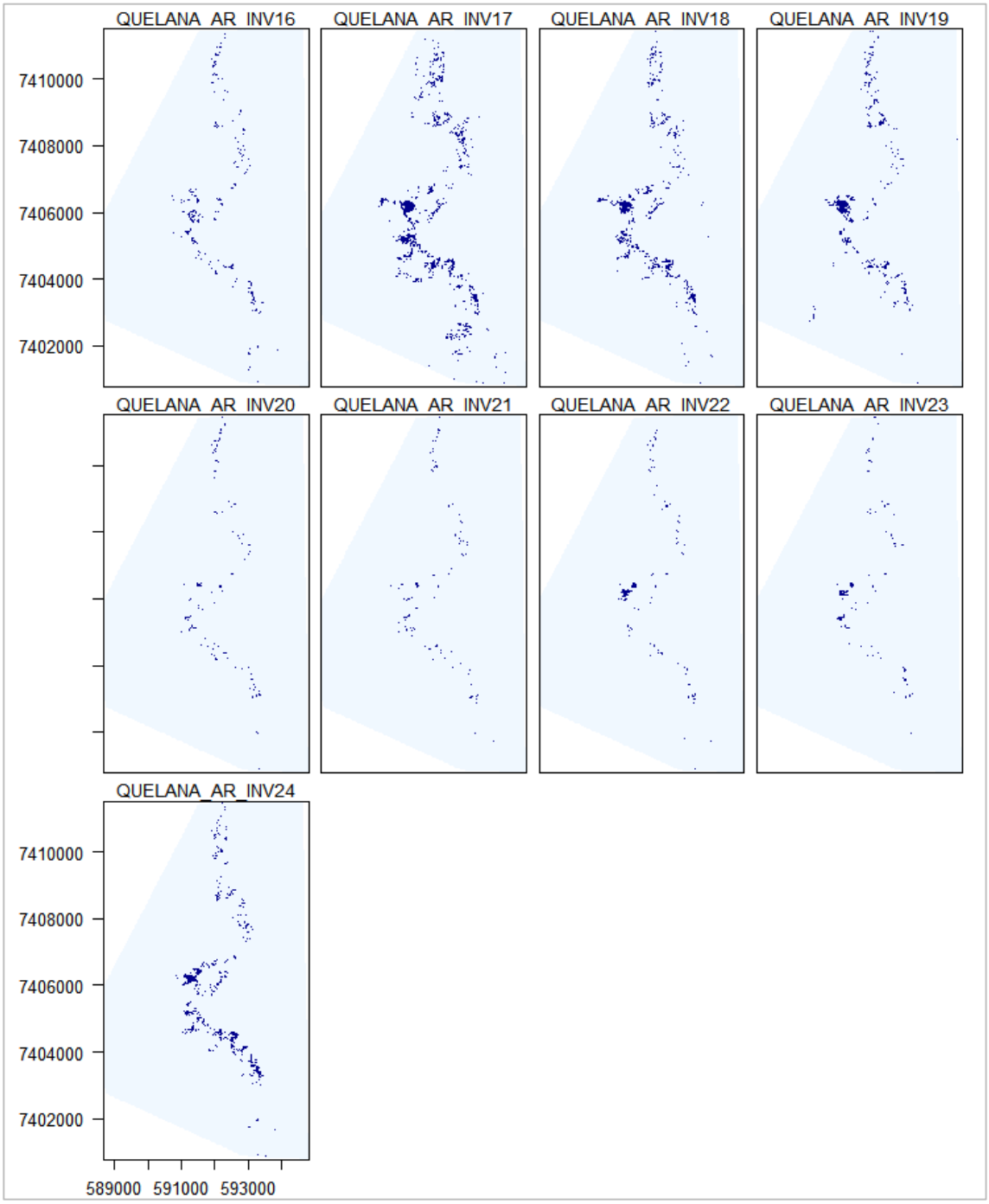
Para el año 2024 se observa un aumento en la cobertura de invierno en relación con los años anteriores entre 2020 a 2023, sin embargo, en verano 2024 se observan las menores superficies históricas para el periodo de seguimiento, tanto para las imágenes obtenidas por alta y media resolución.

La Figura 6-33 a Figura 6-36, 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 y verano, se observa la disminución de los pequeños cuerpos de agua que se reparten en faja central del sector Aguas de Quelana, que muestran una reducción en su extensión y número y que están asociadas principalmente con vegetación ribereña. Además, se evidencia una contracción de zonas de inundación que surgen de la interconexión de estos pequeños cuerpos al presentarse eventos de precipitación.

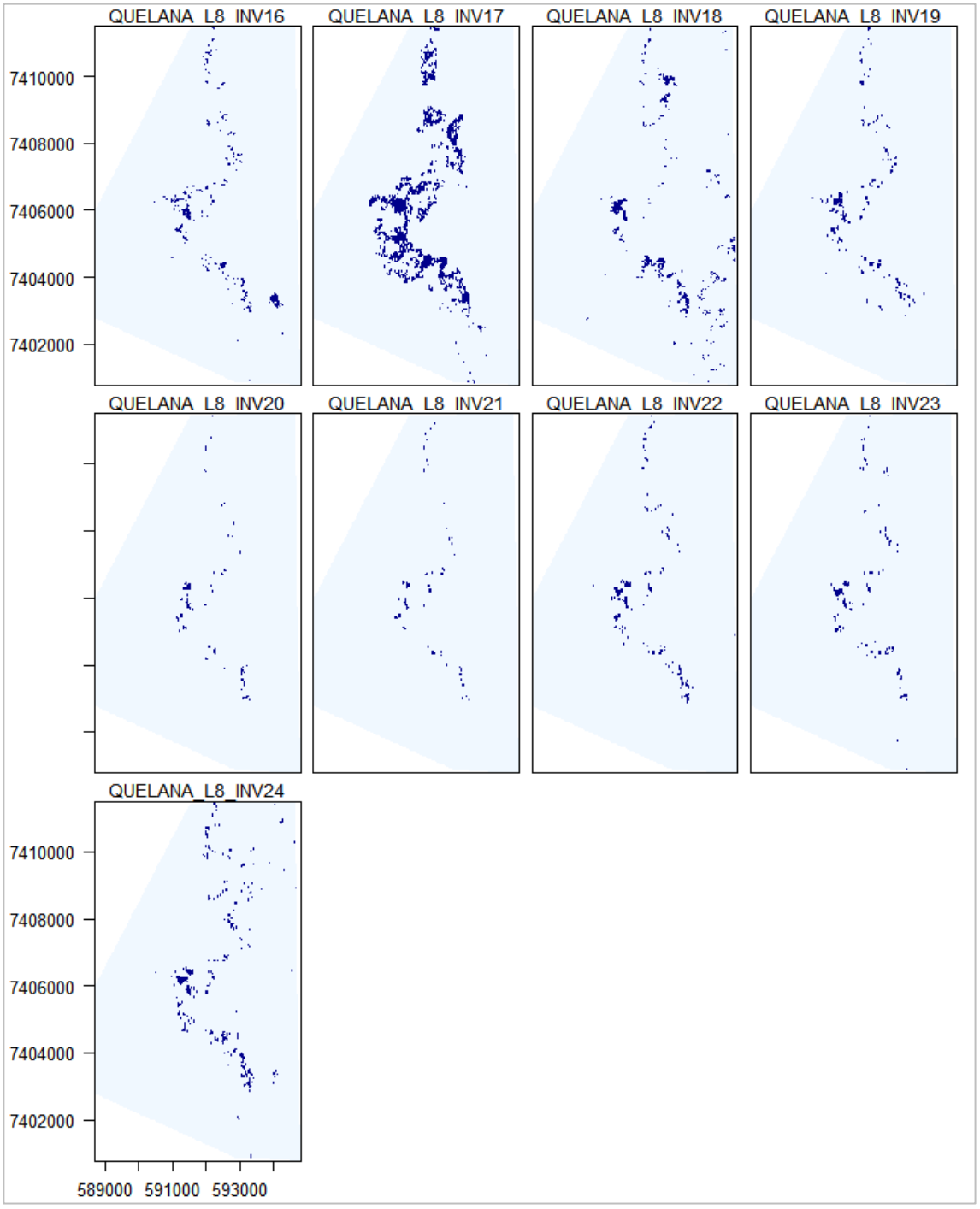
La reducción en la extensión de estos humedales y áreas inundadas se ve acrecentada en los meses de verano desde diciembre de 2019 (ver Figura 6-33 a Figura 6-36).

Figura 6-33 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Aguas de Quelana, a partir de Pléiades 1-A.



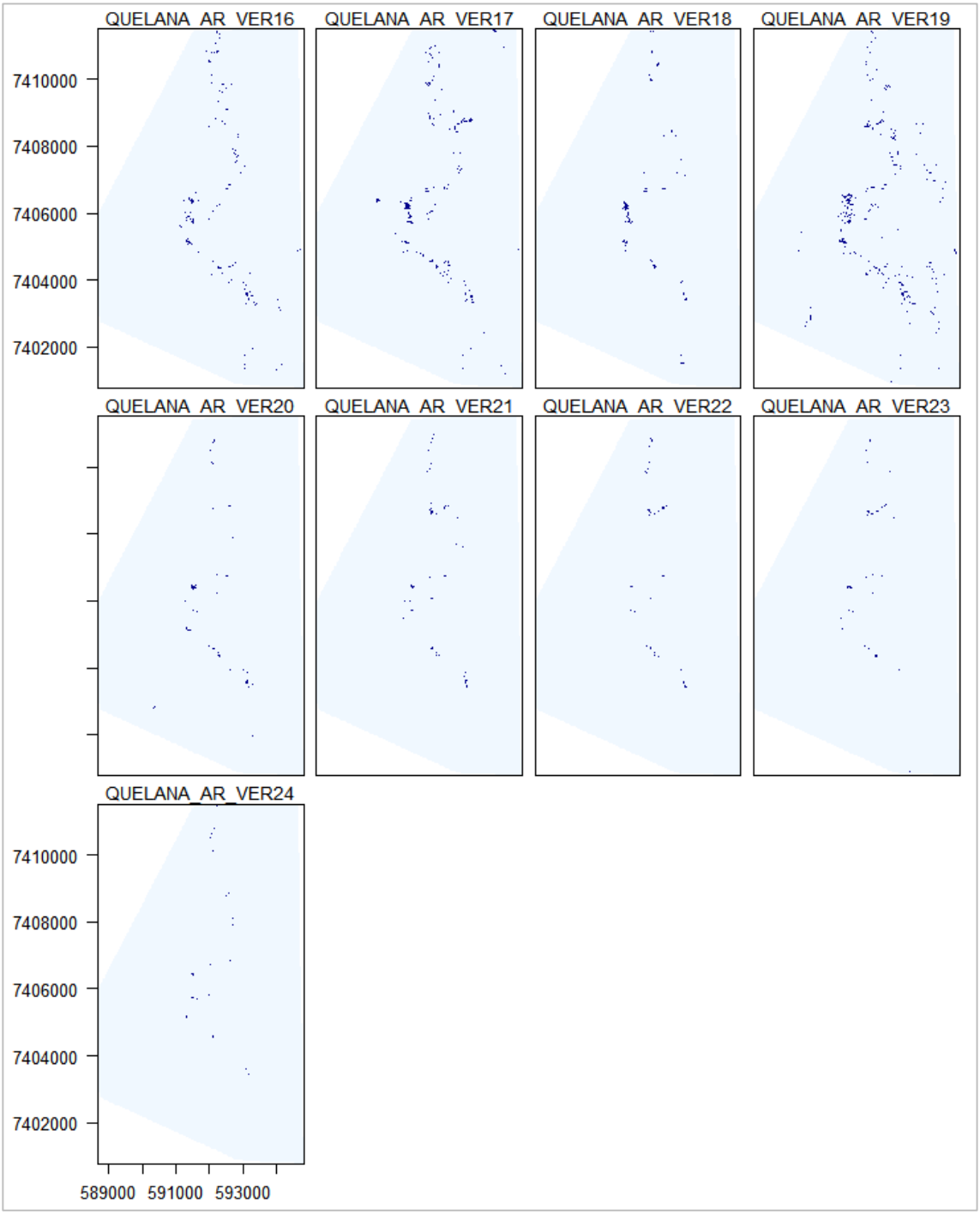
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-34 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Aguas de Quelana, de imágenes Landsat 8.



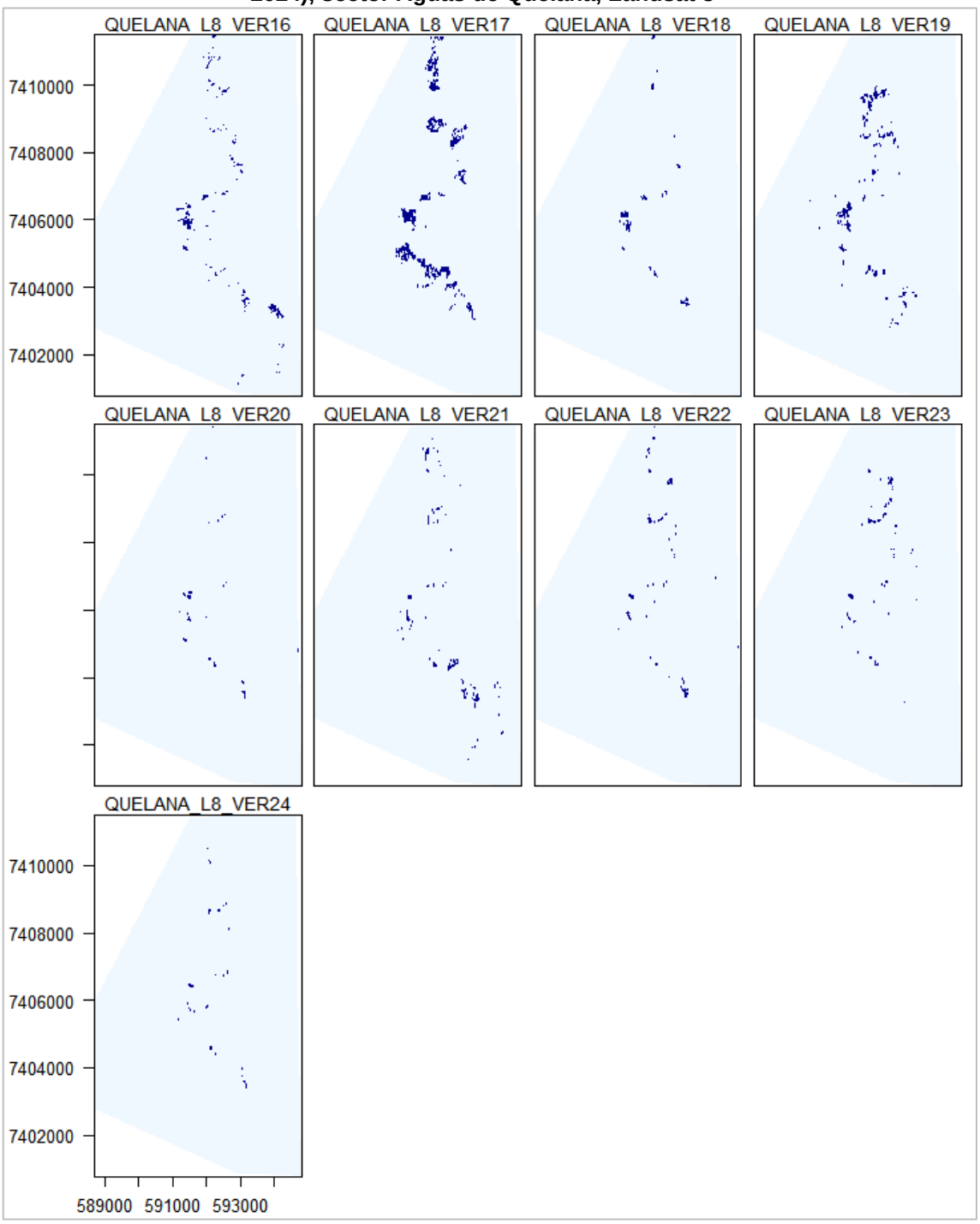
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-35 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), Aguas de Quelana, imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-36 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Aguas de Quelana, Landsat 8

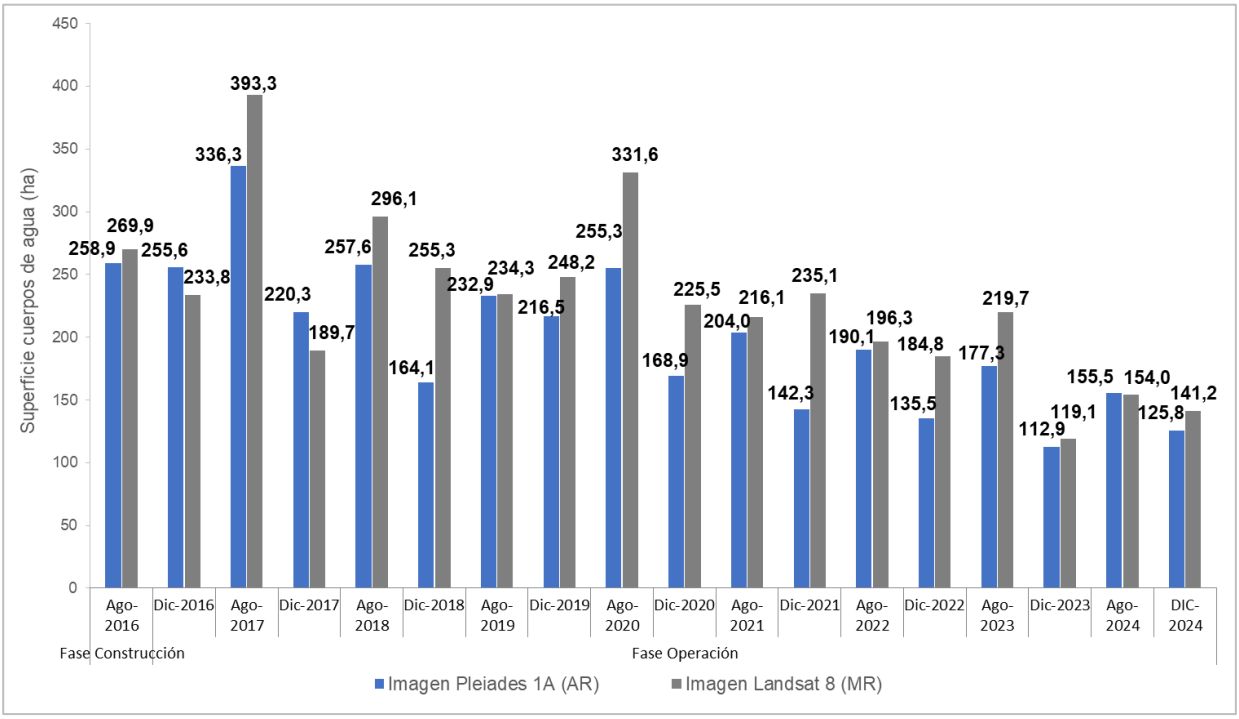


Fuente: Elaboración propia

6.1.3.4 Soncor

La Figura 6-37 muestra los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2024, desde la aprobación de la RCA 021/2016.

Figura 6-37 Registros históricos de invierno y verano de las superficies de los cuerpos de agua, Sistema Lagunar Soncor (2016 a 2024).



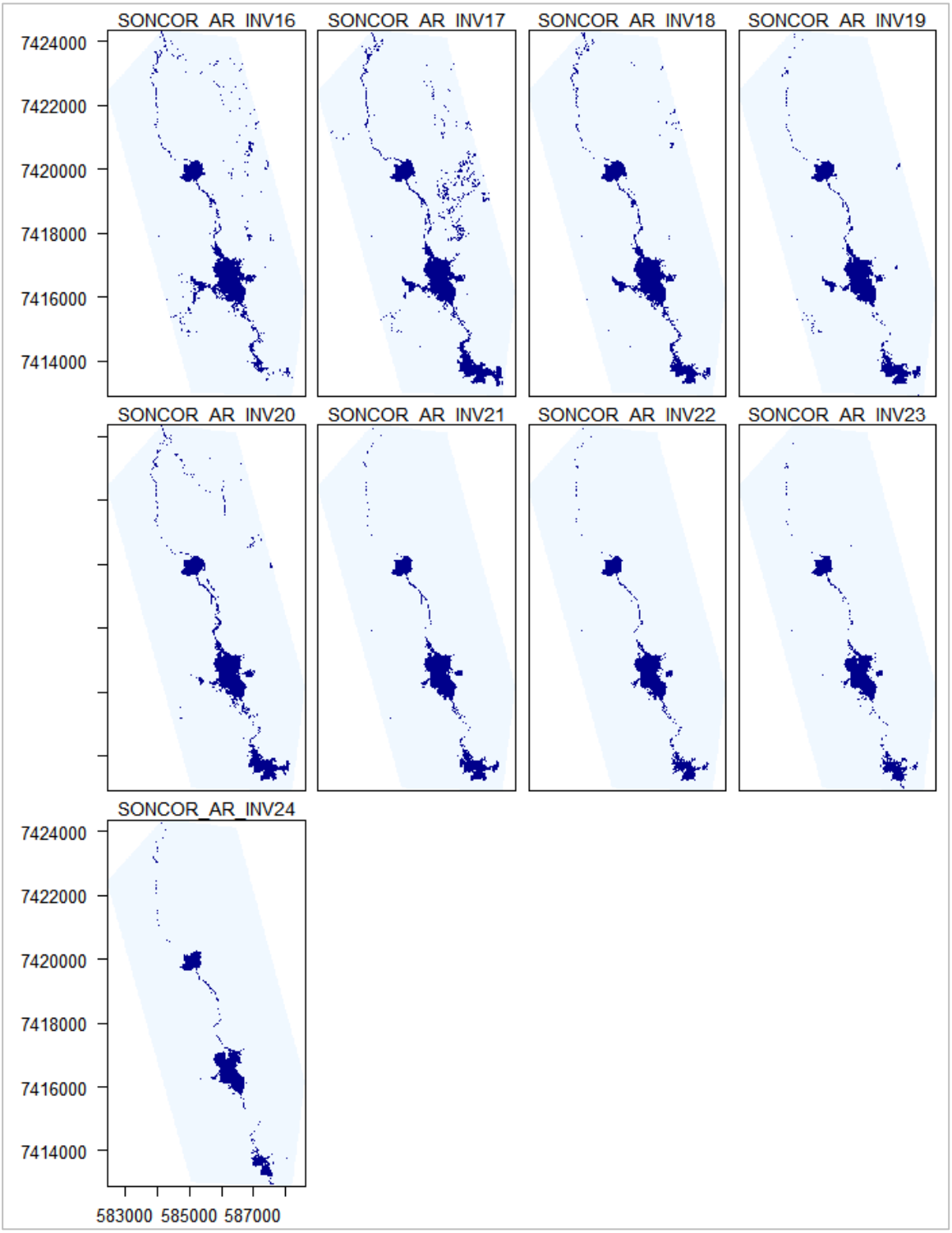
MR: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); AR: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

Al analizar las superficies de invierno de Pleiades 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 2024 a superficies mínimas dentro del registro. En el caso de los veranos, se observa una tendencia histórica al descenso para el periodo de seguimiento, más marcado para los últimos 4 veranos. En el año 2023 se muestra el menor valor de los registros y el 2024 muestra una leve recuperación en relación con el verano del año anterior, pero manteniéndose dentro de los valores mínimos (ver Figura 6-37).

Figura 6-38 a la Figura 6-41, 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).

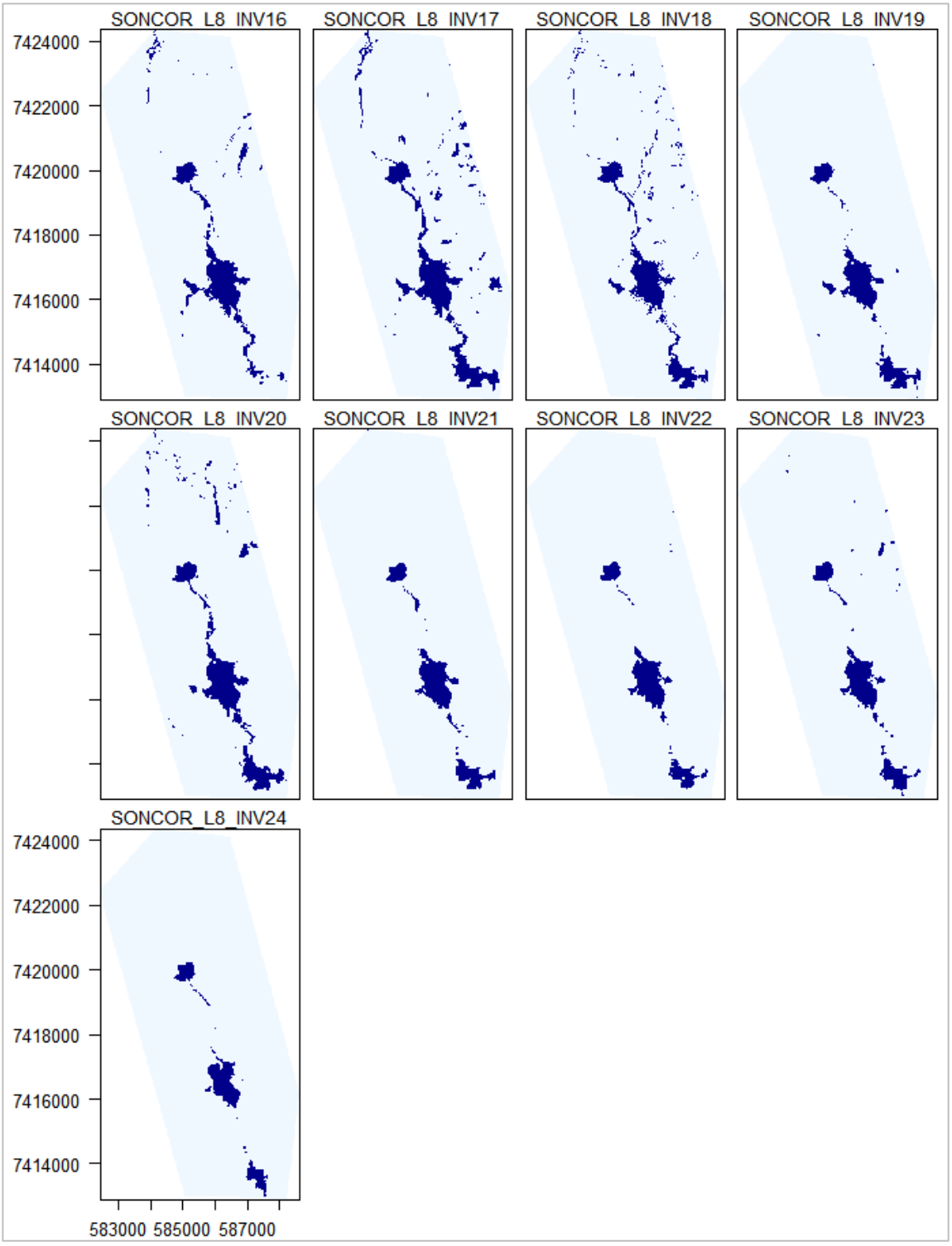
Para el sector de Soncor, las principales diferencias entre monitoreos se observan en la zona sur y oeste del sistema y por derrames de la laguna Barros Negros al sector de entrada oeste, cuyas variaciones contribuyen aumentando o disminuyendo las superficies calculadas para los cuerpos de agua. Para invierno 2024 se observa una disminución en los cuerpos de las lagunas principales en relación a los años anteriores, tanto en las imágenes de alta y media resolución. El verano 2024 se observa un leve aumento en los cauces de interconexión y en las lagunas principales del sistema (ver Figura 6-38 a la Figura 6-41).

Figura 6-38 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



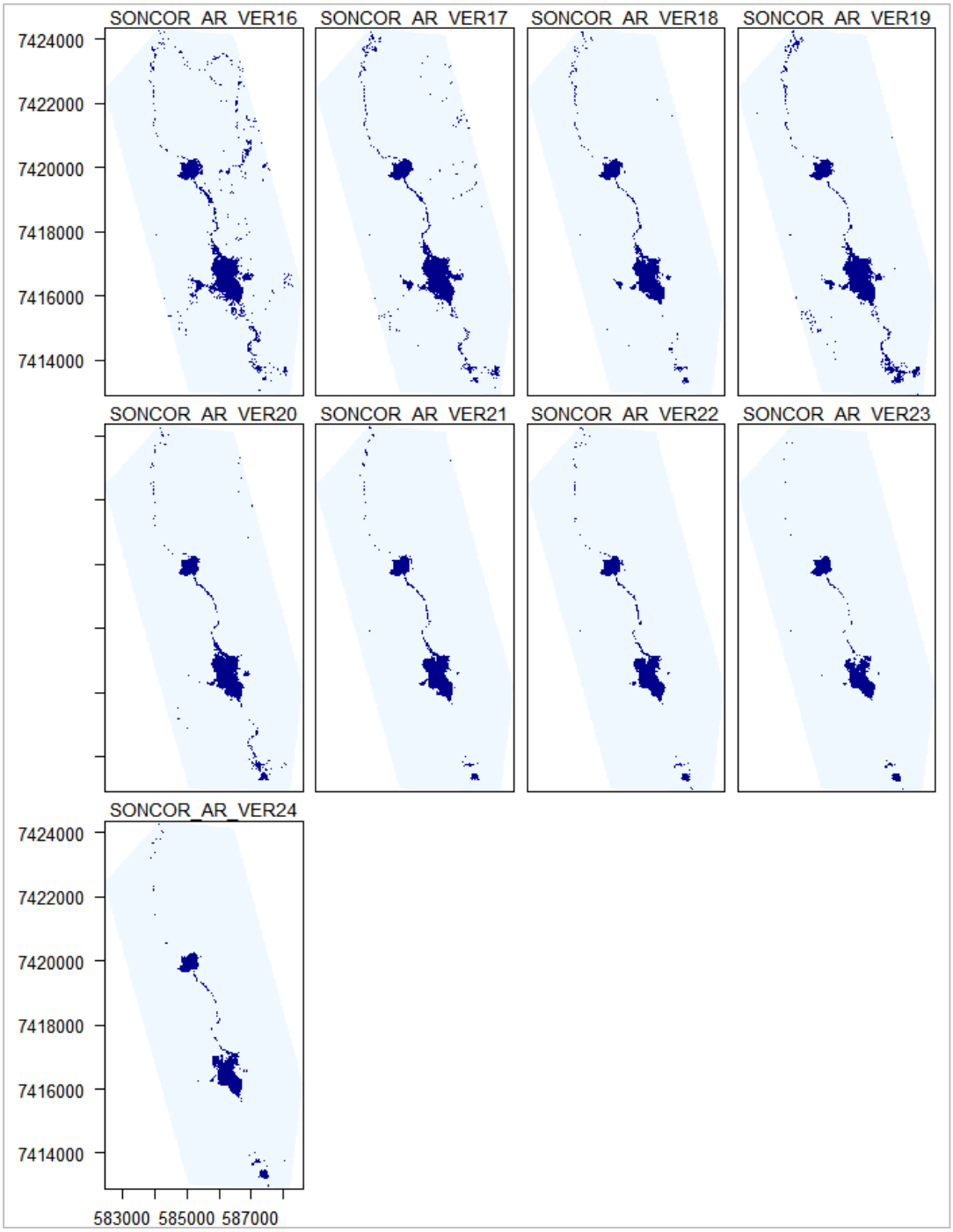
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-39 Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.



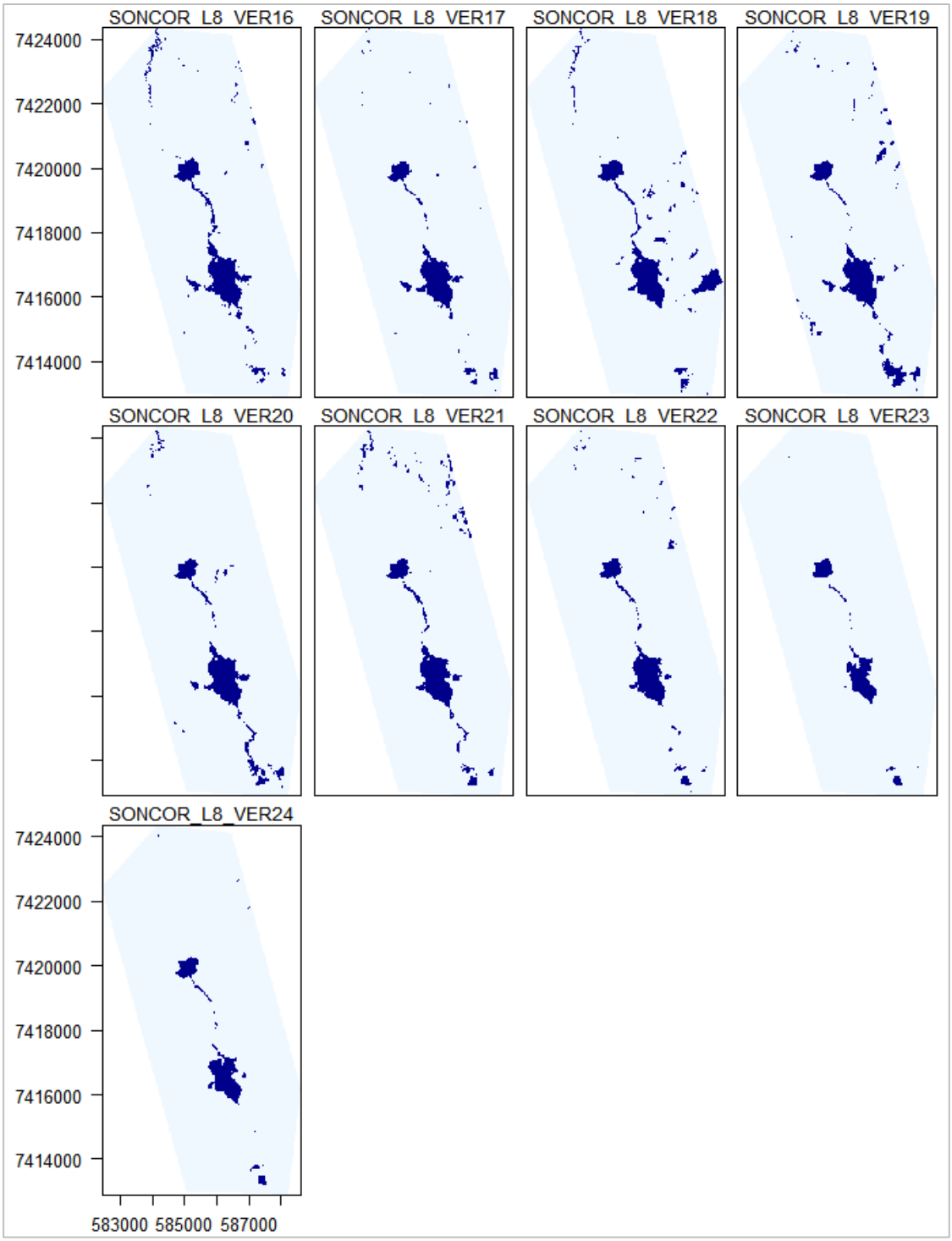
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-40 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Soncor, a partir de imágenes Pléiades 1-A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-41 Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), 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 6-10, se muestra la comparación de las superficies mínimas históricas de referencia en relación con las del año 2024, 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* y por otro lado, se presenta para los cuatro sistemas lagunares los resultados de superficies mínimas de las campañas del año 2024 (Anexo C), estimadas a través de las imágenes de alta resolución (AR) utilizadas.

Tabla 6-10 Comparación de superficies mínimas AR disponibles en Ad5s y superficie mínima año 2024 de los sistemas lagunares a partir de imágenes satelitales de alta resolución

Sistema Lagunar	Superficie mínimas de imagen AR disponibles en Adenda 5 QuickBird/Worldview/GeoEye (ha)	Superficie mínima 2024 Pléiades Alta resolución (ha)
La Punta-La Brava	31,6 (febrero 2014)	24,4 (diciembre)
Peine	48,9 (marzo 2006)	27,5 (diciembre)
Aguas de Quelana	11,3 (marzo 2007)	3,0 (diciembre)
Soncor	192,4 (marzo 2007)	125,8 (diciembre)

Fuente: Elaboración propia

En relación con las superficies mínimas de AR medidas en el año 2024, éstas son inferiores a las superficies obtenidas de las imágenes referenciales de alta resolución presentadas en la Adenda 5.

Es importante señalar que las superficies históricas que se tuvieron 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.

Por otra parte, y dado que existe un número más elevado de imágenes históricas de mediana resolución (Landsat), las que 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 6-11 se comparan los valores mínimos de superficie lagunar registrados en el año 2024 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 valores mínimos de superficie cubierta de agua de los datos históricos, y al compararlos con los mínimos de Landsat del 2024 que corresponden a la campaña de verano (diciembre); se observa que estas últimas (2024), en el sistema lagunar La Punta-La Brava, 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 Peine y Soncor estarían por bajo de la superficie mínima histórica (ver Tabla 6-11).

Tabla 6-11 Comparación de superficie mínima histórica y superficie mínima año 2024 de los sistemas lagunares a partir de imágenes satelitales de mediana resolución (Landsat 8)

Sistema Lagunar	Superficie Mínima Histórica Adenda 5 Landsat Histórico (ha)	Superficie mínima 2024 Landsat 8 (ha)
La Punta-La Brava	19,2 (marzo 1973)	34,0 (diciembre)
Peine	25,4 (noviembre 1975)	22,8 (diciembre)
Aguas de Quelana	0,2 (nov 1975, feb y mar 1976)	6,2 (diciembre)
Soncor	143,3 (feb 1976)	141,2 (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 2024. 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

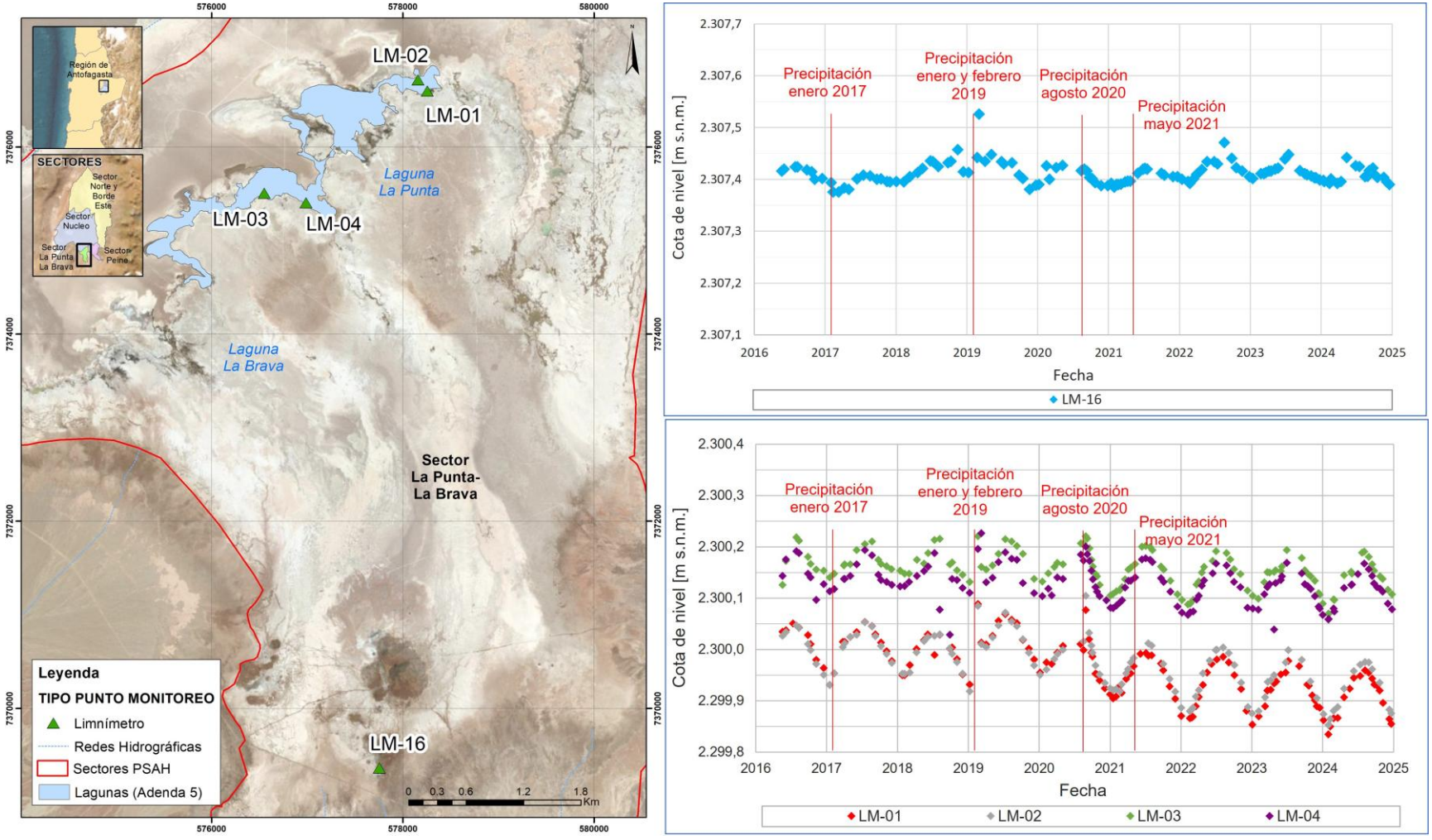
En la Figura 6-42, se grafican el monitoreo histórico (2016-2024), de los 5 puntos de monitoreo detallados en la sección 5.4 (LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 y LM-16). En ambos gráficos, se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de invierno.

En particular en el primer gráfico de la Figura 6-42, 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 2024).

En el segundo gráfico de la Figura 6-42, 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 (2016-2024), siendo mucho más marcado el quiebre en el 2020, para los niveles limnimétricos de los puntos de La Punta LM-1 y LM-02. A partir del año 2022 es posible observar que la tasa de descenso, tanto de los inviernos como de los de veranos se hace más pequeña, mostrando una leve estabilidad en los mínimos.

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) que para el sector La Brava (LM-03 y LM-04). 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 6-42 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 6-42 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 6-44 se presenta el registro histórico de los niveles limnimétricos hasta el año 2024, 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 2024, principalmente por restricción de acceso al sector.

Es relevante mencionar que el punto E1 y LM-17 presentan incidentes, lo que se detalla y se presenta gráficamente (dato original y con ajuste) en la sección 4.4.2. En el caso de las gráficas, se presentan los valores ajustados, dado que muestran una mejor relación con los datos históricos.

Para efectos de la gráfica, los datos actualizados en E1 corresponden a los datos entre mayo y octubre 2024, y el punto LM-17 presenta datos actualizados desde julio 2022 a diciembre 2023, el detalle se puede ver en la sección 4.4.2.

En el primer gráfico de la Figura 6-43, 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 (2016-2024).

Por una parte, el punto LM-05 (Salada) presenta una tendencia de aumento en sus niveles durante todo el periodo (2016-2022[33]), y por otra parte el punto LM-06 (Salada) presenta una tendencia estable de sus niveles en el tiempo. Finalmente, se observa estabilidad en el punto LM-07 (laguna Saladita) para el periodo 2019-2024, y en LM-08 (laguna Saladita) para todo el periodo (2016-2024); pero en los 4 puntos (LM-05, LM-06, LM-07 y LM-08) se debe tener en cuenta que no cuenta con data completa desde el año 2020 en el caso del punto LM-08 y desde el año 2021 en el caso del punto LM-07, lo que limita el análisis.

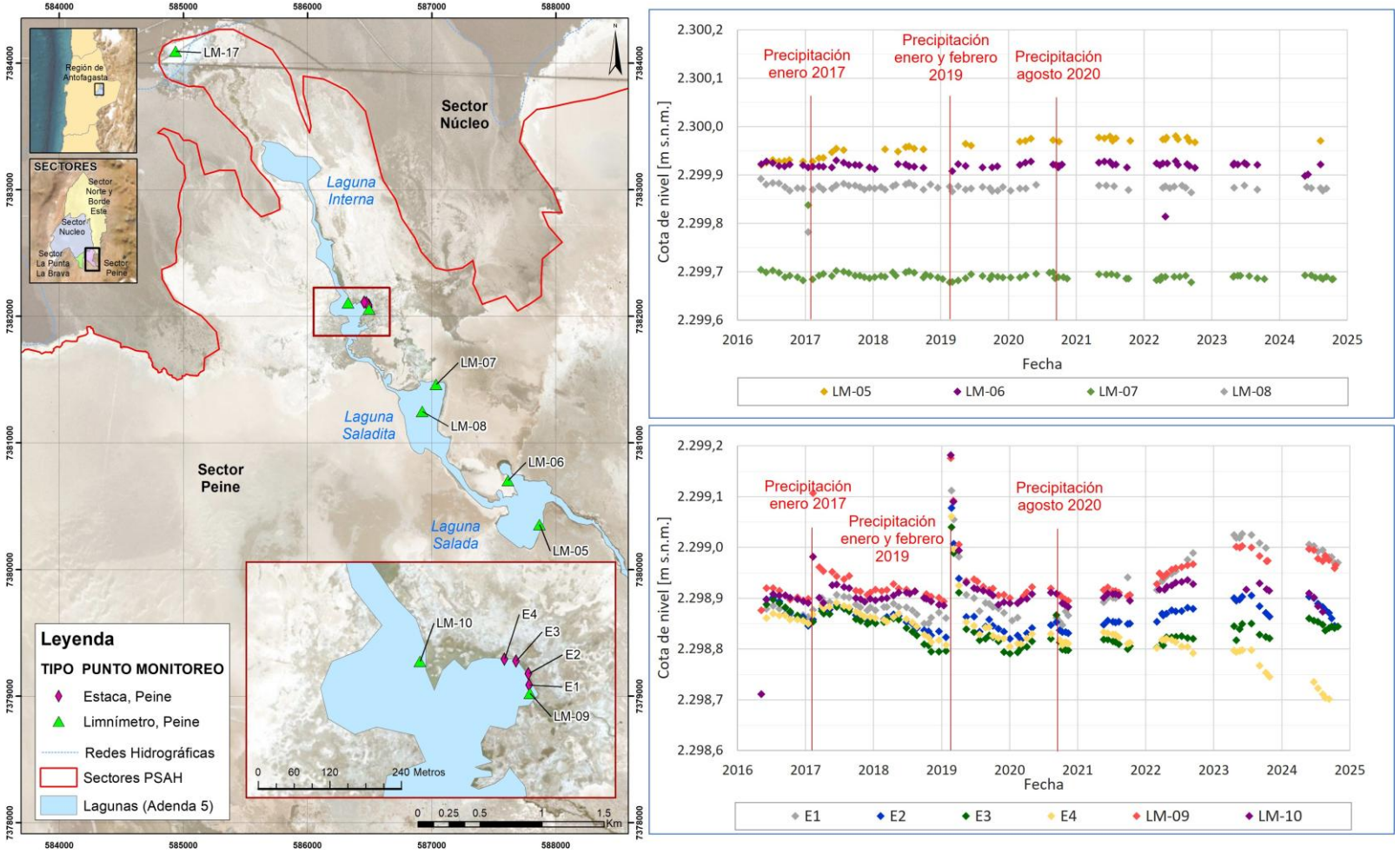
En la misma figura (Figura 6-27), se observa para todo el periodo (2016-2024), que las mediciones de los puntos de monitoreo LM-05 y LM-06, se encuentran en torno a los 2.299,93 m s.n.m. En el mismo periodo los puntos aguas abajo, LM-07 y LM-08 presentan cotas menores, LM-08 cercano a 2.299,88 m s.n.m., 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.

[33] Entre el año 2023 y 2024 tiene solo un dato por lo que no se considera hablar de la tendencias abarcando estos años.

En el segundo gráfico de la 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 borde 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. Desde 2022, se observa un ascenso de nivel en todos los puntos, excepto en E4.

En el mismo gráfico de la Figura 6-43, 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 y de alrededor de 25 mm en el pluviómetro 08 ubicado en el entorno lagunar, no se puede observar si hay respuesta a esta precipitación, dado que no hay medidas en los primeros meses del año 2023 (por restricción de acceso ya mencionada), en la sección 5.1.1, se puede ver con mayor detalle las precipitaciones, el año 2024 no se registran precipitaciones importantes.

Figura 6-43 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la Figura 6-44, 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.

Respecto al año 2024 este punto de monitoreo no presenta registro de datos dado que se midió como seco en todo el transcurso del periodo anual.

Figura 6-44 Evolución histórica de nivel limnimétrico en sector Peine



Fuente: Elaboración propia

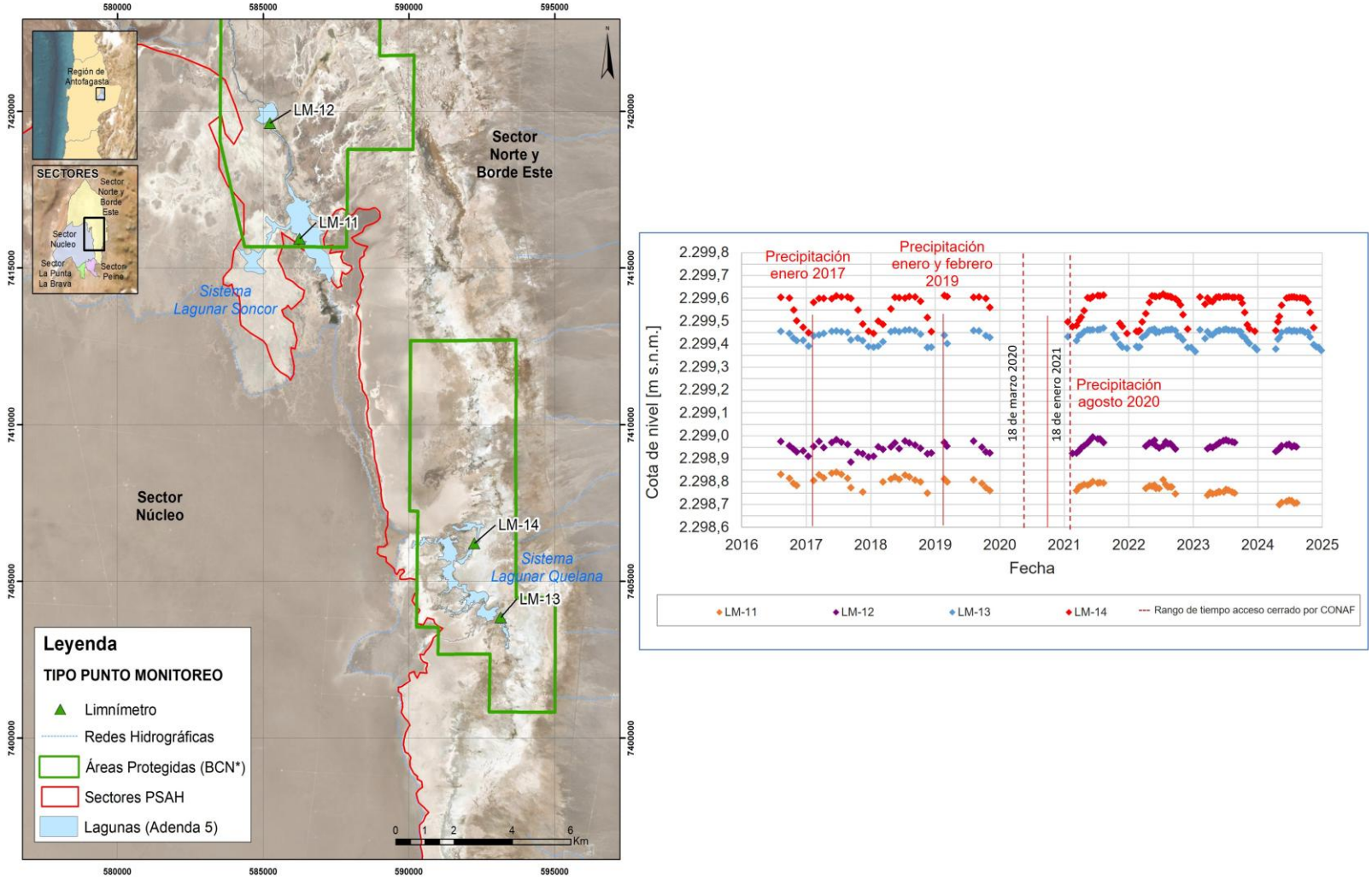
6.1.4.3 Sector Norte y Borde Este

En el gráfico de la Figura 6-45 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 dicha figura se observa que el nivel limnimétrico en el punto LM-11 muestra en general descenso para todo el periodo 2016-2024, en el punto LM-12 se han mantenido relativamente estable, similar a los puntos LM-13 y LM-14, para el mismo periodo (2016-2024).

Además, en la Figura 6-45, 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 2.298,75 m s.n.m (LM-11) y en torno a 2.298,95 m s.n.m. (LM-12), para todo el periodo (2016-2024). Del mismo modo, los puntos de control LM-13 y LM-14 (ver Figura 6-45), ubicados en el sistema lagunar Aguas de Quelana, presentan un comportamiento sincrónico y relativamente estable, 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. (2016-2024).

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 6-45 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 5-30 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 2024 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 y los puntos LM-01, LM-02 y LM-03 muestran niveles mínimos en 2024.

En Peine, el registro de los niveles limnimétricos para el año 2024 presenta escasa data lo que limita el análisis del sector, sin poder observar por ejemplo la oscilación estacional.

Por último, en el sector Norte y Borde Este, durante el año 2024, 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, por lo que no es adecuado emitir conclusiones. Con la información que se dispone, se observan en general dentro de la oscilación natural y el punto LM-11 se observan niveles mínimos para el año 2024.

6.1.5 Caudales Superficiales

En el presente subcapítulo, se muestra el análisis histórico (entre los años 2014 a 2024) conformado 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 5-19. Además, se analiza en la presente sección, el límite comprometido para esta variable.

En la Tabla 6-12, se muestra el resumen de las mediciones por punto de aforo, obtenido a partir del cálculo de estadígrafo. De manera complementaria, en la Figura 6-46, se presenta un gráfico de caja asociado a la serie de datos de caudales desde el año 2014 a diciembre 2024 para cada uno de los puntos de medición. En estos (Tabla 6-12 y Figura 6-46) se representan los percentiles 25% (P25 en Tabla 6-12) y 75% (P75 en Tabla 6-12) 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 (RIC en Tabla 6-12) y el percentil 75% más 1,5 veces el rango intercuartil (RIC en Tabla 6-12) para la estación. Se debe considerar que dentro del registro histórico de Anterepresa Tilomonte el dato de octubre 2015 (0,80 l/s), se considera anómalo, no obstante, se mantiene en el gráfico de la Figura 6-47 , y no se incluye para los cálculos estadísticos.

Se observa (ver Tabla 6-12 y Figura 6-46) que al comparar los puntos de la Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine, son mayores los caudales en la quebrada asociada a la Anterepresa Tilomonte (mediana 40,02 l/s) que en la Vertiente Peine (mediana 8,12 l/s).

En el caso de los puntos de aforo en el sector del Sistema Lagunar Peine, AFP-01 a AFP-04, la numeración de los puntos de monitoreo es creciente en sentido aguas abajo del sistema lagunar, y se puede observar una disminución de caudal en dicha dirección, por lo que se tiene el mayor caudal en AFP-01 con una de mediana 47,45 l/s, y el menor caudal se registra en AFP-04 con una mediana de 25,27 l/s, ver Tabla 6-12 y Figura 6-46.

Además, en la Figura 6-46, se observa que la mayor dispersión de datos se presenta en el punto AFP-01, con una desviación estándar de 17,62 l/s (ver Tabla 6-12), mientras que la menor dispersión se observa en el punto de aforo Vertiente Peine con una desviación estándar de 3,13 l/s (ver Tabla 6-12).

Tabla 6-12 Estadígrafos por punto de monitoreo de caudales superficiales aforados (2014-2024) (1)

Punto de Monitoreo	Anterepresa Tilomonte	Vertiente Peine	AFP-01	AFP-02	AFP-03	AFP-04
N° Datos	55,00	56,00	44,00	37,00	32,00	47,00
Mínimo	19,24	3,00	24,28	13,99	14,74	9,38
P25 (2)	35,51	5,91	37,25	32,80	22,06	18,89

Tabla 6-12 Estadígrafos por punto de monitoreo de caudales superficiales aforados (2014-2024) (1)

Punto de Monitoreo	Anterepresa Tilomonte	Vertiente Peine	AFP-01	AFP-02	AFP-03	AFP-04
Promedio	39,88	8,29	50,99	39,78	29,60	27,13
Mediana	40,02	8,12	47,45	37,41	29,05	25,27
P75 (2)	43,20	9,93	59,19	45,88	33,18	32,39
Máximo	58,80	22,65	106,00	69,70	64,00	58,00
RIC(3)	7,70	4,02	21,94	13,08	11,12	13,50
Desviación Estándar	7,34	3,13	17,62	12,30	10,73	10,49

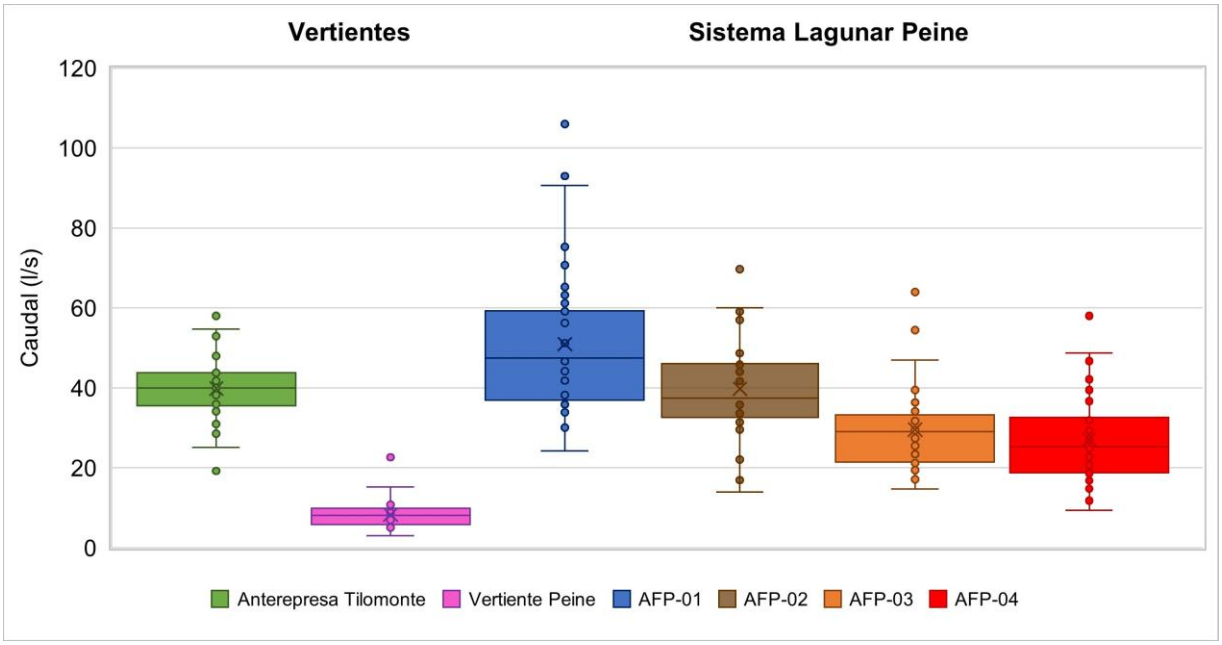
Notas: (1) Para esta tabla, la serie de datos utilizado entre el año 2014 al 01 de marzo de 2023 corresponden a mediciones de Albemarle y los datos entre 21 de marzo de 2023 a diciembre 2024 se usaron solo los valores ETFA (SGS código ID 023-01 y ANAM código ID 011-01).

(2) Percentil 25 (P25) y percentil 75 (P75) incluyen los valores extremos de la serie de datos para cada punto.

(3) Rango Inter Cuartil: corresponde a la diferencia entre el tercer cuartil y el primer cuartil. Es importante mencionar que el percentil 25 (P25) es equivalente al primer cuartil (Q1) y percentil 75 (P75) es equivalente al tercer cuartil (Q3).

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-46 Gráfico de caja muestra la mediana de caudales superficiales aforados (2014-2024)



NOTAS: Para esta figura, la serie de datos utilizado entre el año 2014 al 01 de marzo de 2023 corresponden a mediciones de Albemarle y los datos entre 21 de marzo de 2023 a diciembre 2024 se usaron solo los valores ETFA (SGS código ID 023-01 y ANAM código ID 011-01).

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-47 se muestra la evolución temporal (2014 a 2024) de los caudales aforados en cada punto de monitoreo. Los datos pertenecen al registro histórico realizado por Albemarle incluyendo a partir del año 2023 las mediciones realizadas por ETFA Cabe mencionar que las

medidas tomadas por Albemarle muestran una buena correlación con valores tomado por las ETFAs.

A modo general, se observa en la Figura 6-47 que la Anterepresa Tilomonte, la Vertiente Peine y AFP-04 mantienen caudales relativamente constantes durante todo el registro, mientras que AFP-01, AFP-02 y AFP-03 han presentado cambios de aumento y/o descenso en el tiempo. A continuación, se presenta un breve análisis para cada punto de aforo.

La Anterepresa Tilomonte se ha mantenido estable para todo el periodo de registro, no obstante, en 2023 se observa un descenso a valores entorno a los 25 y 29 l/s en diciembre y septiembre respectivamente. Para el año 2024, los caudales se encuentran entorno a los 35 l/s y 41 l/s aquellos medidos por Albemarle, mientras que entre 35 l/s y 41 l/s los medidos por la ETFA (ver Figura 6-47).

La Vertiente Peine muestra los menores caudales durante todo el registro, con un mínimo histórico de 4,23 l/s en junio de 2024 según mediciones de Albemarle y de 3,00 l/s en septiembre del año 2023 según mediciones ETFA. Para el año 2024 los caudales presentan valores entre 4 l/s y 10 l/s según mediciones Albemarle y entre 5 l/s y 10 l/s según mediciones ETFA (Figura 6-47).

El punto AFP-01, entre los años 2014 y 2019, muestra una variación de hasta 66,42 l/s entre el mínimo y el máximo caudal registrado en este periodo y una ligera tendencia al descenso, posteriormente, entre los años 2019 y 2024 se observa una tendencia al incremento de los caudales llegando en torno a 67 l/s en mayo de 2024 en las mediciones de Albemarle y hasta 106 l/s en septiembre 2023 para los datos ETFA (ver Figura 6-47).

El punto AFP-02, entre los años 2014 a 2024, muestra una tendencia de aumento, con valores que van entre alrededor de 14 l/s en marzo de 2016 y hasta un máximo de 59 l/s en octubre de 2021, mientras que durante el año 2024 los valores van desde 42 l/s a 56 l/s de acuerdo con las mediciones de Albemarle y de 46 l/s a 70 l/s según los datos ETFA (ver Figura 6-47).

El punto AFP-03 muestran un aumento sostenido en sus caudales desde el 2020, registrándose los máximos históricos en el 2023 (56,27 l/s dato Albemarle y 64,00 l/s dato ETFA). El 2024 los caudales descienden, tanto en el registro de Albemarle (entorno a los 21 l/s y 26 l/s) y en de la ETFA (en torno a 21 l/s y 27 l/s) (ver Figura 6-47).

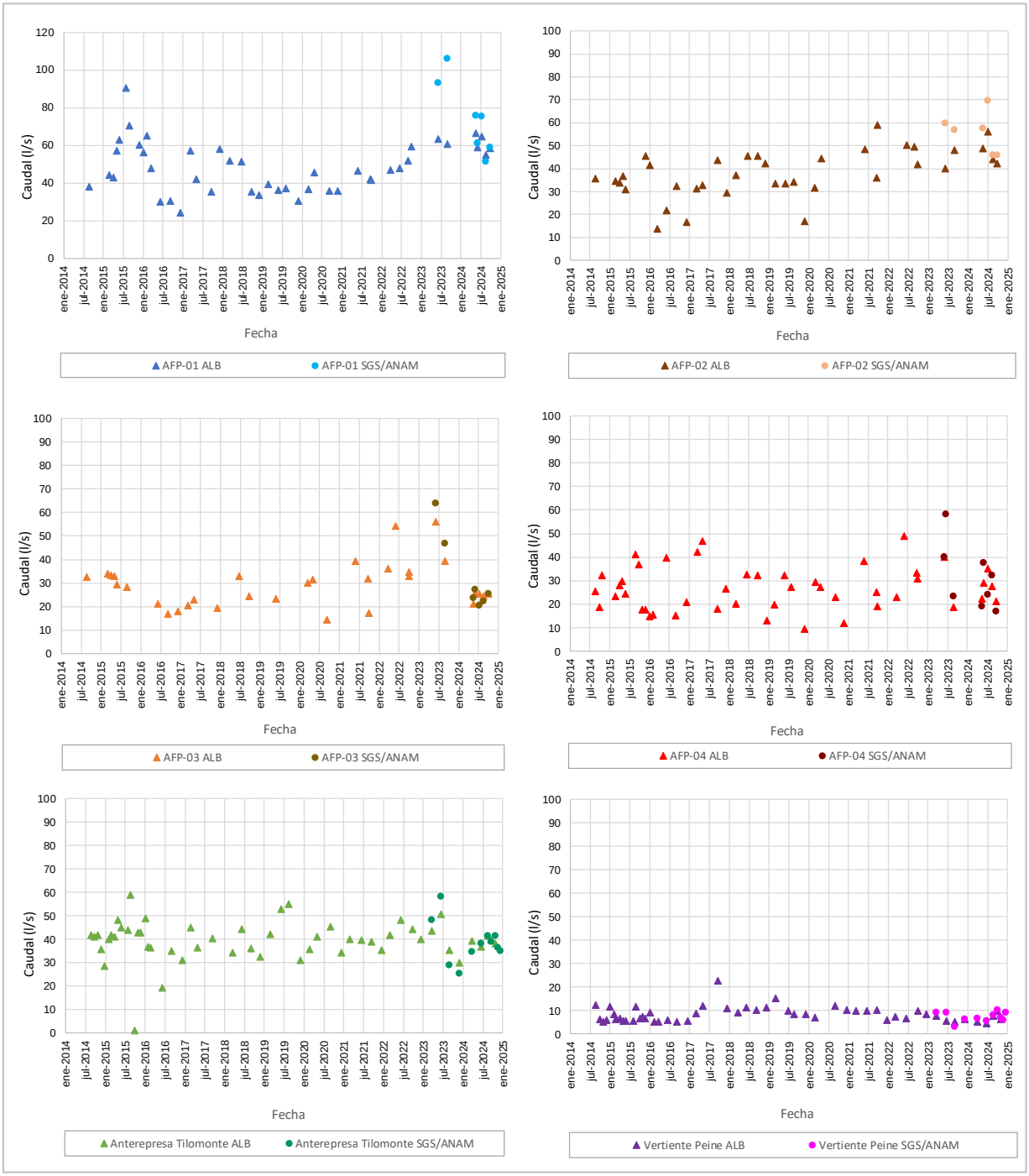
El punto AFP-04 muestran caudales estables a lo largo del tiempo. El 2024 los caudales se encuentran entorno a los 21 l/s y 35 l/s en el registro de Albemarle y entre 17 l/s y 37 l/s en ETFA (ver Figura 6-47).

En relación con el límite comprometido que es “Mantener los caudales dentro de su variación histórica” (ver Tabla 5-28), en términos generales, todos los puntos monitoreados se

encuentran dentro de su variación histórica (ver Figura 6-46 y Tabla 6-12), salvo algunos valores atípicos.

El detalle de las mediciones de los caudales de aforo se encuentra en el Anexo E del presente informe.

Figura 6-47 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 muestran los resultados de las mediciones de nivel freático en salmuera y agua dulce-salobre históricos, los detalle de periodos de registro se exhiben 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 y se presentan en 6 subsectores:

1) Norte de las lagunas: Zona Intermedia
2) Centro de las lagunas: entre Zona Intermedia y Zona Salobre
3) Este de las lagunas: Zona Intermedia
4) Sur de las lagunas: Zona Salobre
5) Tucúcaro: Zona Salobre
6) Vegas de Tilopozo: Zona Dulce

La ubicación de los puntos se exhibe en el mapa de la Figura 6-48, y más detalle se puede ver en la sección 5.6.

6.1.6.1.1 Norte de las lagunas (Zona Intermedia)

En la Figura 6-48, se muestra el gráfico de la evolución (2013-2024) 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, no obstante, en el año 2022 y 2023, se observa cierta estabilidad en los niveles en el punto BA-01 y BA-09, y un leve descenso en los valores mínimos en esta misma fecha en el punto BA-11.

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 2024 (periodo de registro entre los años 2013 y 2024), se tiene que la cota de nivel de este subsector varía entre un mínimo de 2.298,883 y máximo de 2.299,723 m s.n.m. (medidos ambos en BA-11 en las fechas de diciembre 2024 y febrero 2019, respectivamente). El descenso neto promedio para estos tres pozos entre diciembre de 2013 y diciembre de 2024 es de 42 cm.

En relación con las precipitaciones históricas, en cuanto a los puntos BA-01, BA-09 y BA-11, estos han mostrado una reacción inmediata a los eventos de precipitación importantes. Por ejemplo, posterior a las precipitaciones de enero y febrero 2019, se generaron aumentos de su nivel freático, de hasta 0,67 m (en el piezómetro somero BA-11) (Figura 6-48). En cambio, durante el año 2024 los niveles freáticos de este punto, al no haber precipitaciones relevantes, no mostraron aumentos abruptos relacionados con las precipitaciones, las cuales fueron mayores el año 2023[34]; observando que los niveles se mantienen relativamente estables durante el año 2024.

6.1.6.1.2 Centro de las lagunas (entre Zona Intermedia y Zona Salobre)

En la Figura 6-48, se muestra el gráfico de la evolución histórica (2013-2024), de los niveles freáticos de todos los puntos monitoreados que incluye los 7 puntos de esta zona (BA-02, BA-03, BA-06, BA-10, BA-12, BA-13 y BA-14), con leve tendencia general al descenso, no obstante, desde el año 2022 a la fecha se observa estabilidad en los niveles, similar a lo observado en el norte.

Se observan variaciones estacionales con descensos y valores mínimos en verano, recuperándose en los meses de estaciones de invierno alcanzando su nivel máximo, en los meses de julio-agosto de cada año.

En relación con los registros de niveles considerados hasta el año 2024 (periodo entre los años 2013 y 2024), se tiene que la cota de nivel de este subsector varía entre 2.299,185 y 2.300,131 m s.n.m. considerando los valores medidos en BA-12 (marzo de 2024) y BA-02 (febrero de 2019), respectivamente.

En general, en el centro de lagunas, se tienen pozos que se presentan estables en el tiempo, como BA-14; y otros en cambio, como el BA-12, que está más hacia el nor-oeste, en donde se percibe una tendencia de largo plazo de descenso.

En relación con las precipitaciones, para los puntos de la zona Centro de lagunas, ha mostrado históricamente que también reaccionan y son sensibles a los eventos de precipitación (Figura 6-48) como se ve en el aumento de niveles tras las precipitaciones de los años 2019 (sobre los 120 mm en el PLS-10), 2020 (36,8 mm en el mes de agosto, según dato de PLS-10) y 2021 (17,3 mm en mayo en el PLS-10). En el año 2024, considerando que no se registraron precipitaciones importantes, si bien no hay saltos abruptos de los niveles, mantiene y se

[34] 21,2 mm en marzo en EM-Rockwood.

observa su característica de variación estacional, la que es mayor (en amplitud) a los pozos ubicados hacia el norte de las lagunas.

6.1.6.1.3 Este de las lagunas (Zona Intermedia)

En la Figura 6-48 superior, 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 (2015-2024), se observa una leve tendencia general al descenso, no obstante, desde el año 2022 se observa estabilidad en los niveles mínimos.

Este punto muestra variaciones estacionales (máximas en invierno y mínimos en verano) pero de menor variación anual que las zonas antes analizadas.

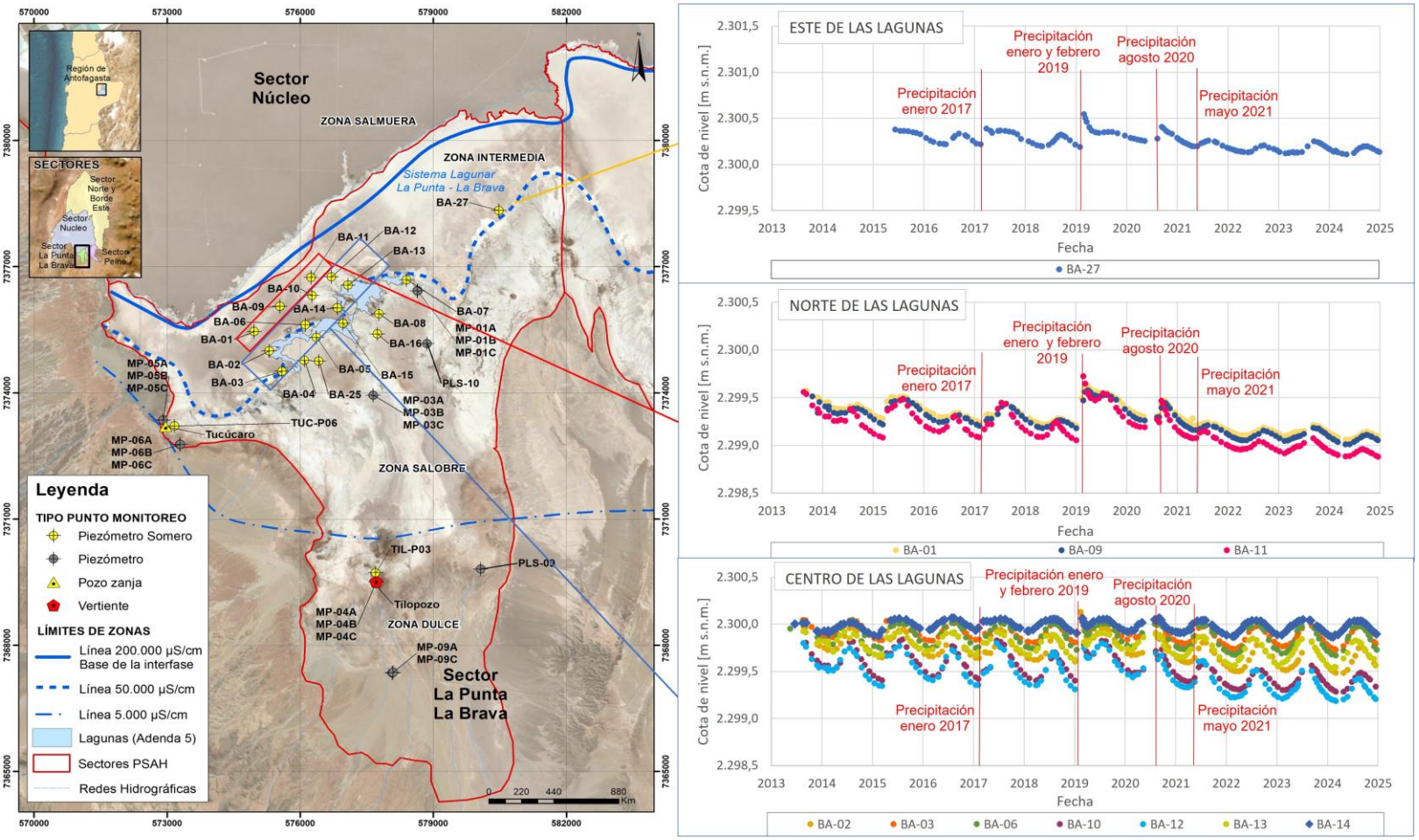
En relación con los valores históricos las cotas de nivel han variado entre 2.300,110 m s.n.m. (mayo 2024) y 2.300,546 (febrero 2019) m s.n.m., con un descenso neto de 19 cm (calculado para diciembre 2015 y diciembre 2024).

Además, en la Figura 6-48 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.

En relación con las precipitaciones históricas, el punto BA-27, también responde con “saltos” inmediatos 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, desde el año 2021 a 2024[35] no muestran saltos abruptos relacionados a precipitaciones.

[35] El año 2024 presenta la menor precipitación anual de este periodo con 0,5 mm (2021-2024)

Figura 6-48 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 y PLS-10
Fuente: Elaboración propia

6.1.6.1.4 Sur de las lagunas (Zona Salobre)

En el Sur de las lagunas, se monitorean 14 puntos (7 son piezómetros someros y 6 multipiezómetros, ver Tabla 5-18, y además, el punto PLS-10). Estos puntos cuentan con datos desde el año 2013 a 2024, las mediciones históricas se presentan en el Anexo F.

Los niveles históricos hasta el año 2024, muestran variaciones de cotas entre 2.299,901 m s.n.m. y 2.302,167 m s.n.m., medidos en BA-15 en febrero 2024 y en MP-03C (pozo habilitado en toda su columna) en agosto 2020, respectivamente.

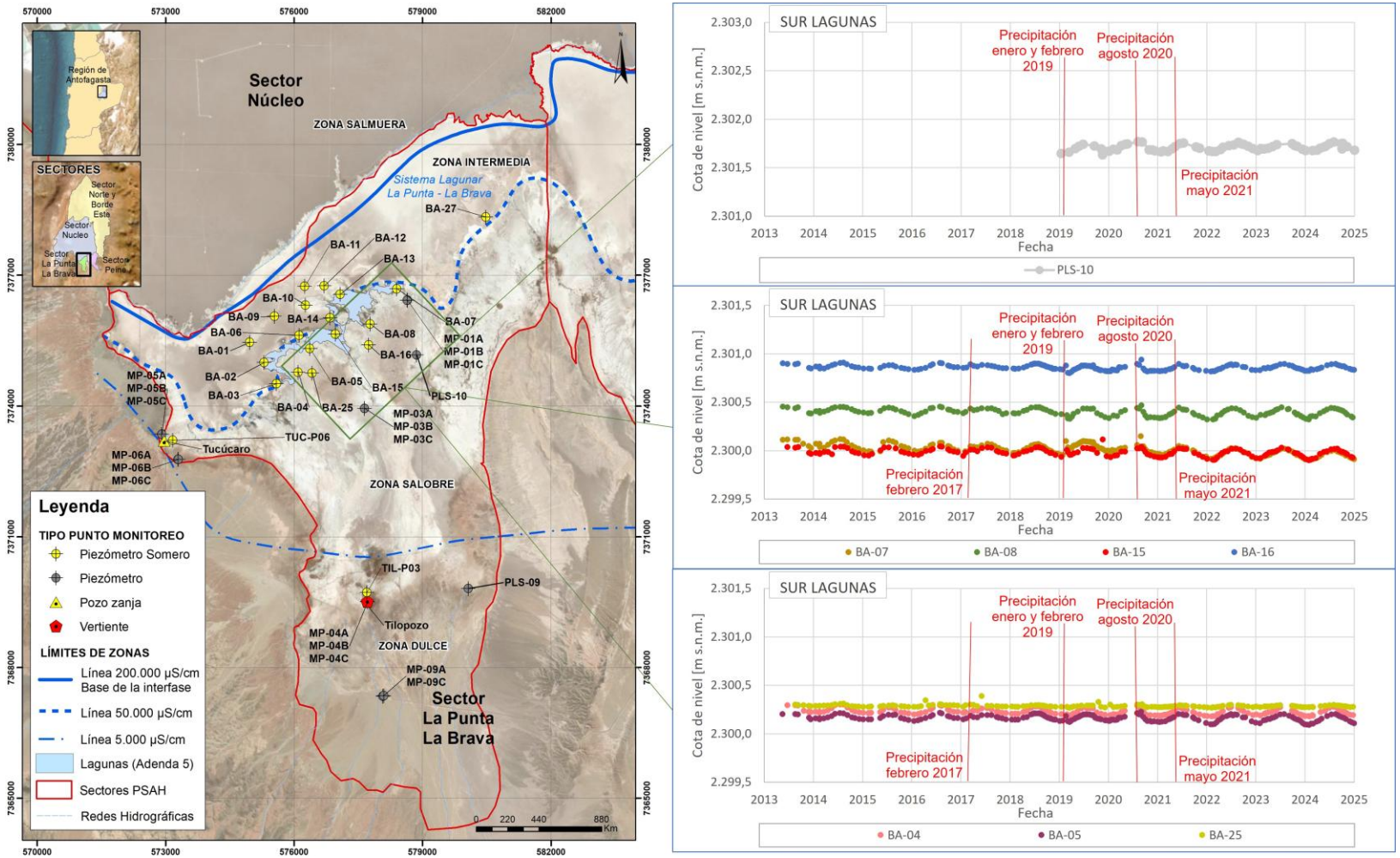
En la Figura 6-49 se muestra la ubicación y el gráfico de la evolución histórica del nivel freático (2013-2024) de los 14 puntos monitoreados en esta zona, al compararse entre sí, 5 muestran tendencias generales al descenso (BA-05, BA-07, BA-08, BA-15 y MP-03B), 4 puntos se muestran relativamente estables (BA-04, BA-16, BA-25, y PLS-10), y un punto muestra tendencia general al ascenso (MP-03A).-En cuanto al punto MP-01B, habilitado en salmuera, muestra tendencia al alza hasta el año 2024, no obstante desde marzo del mismo año presentó una caída; el punto MP-01C presenta tendencia general a la bajas hasta el año 2020, desde mediados 2021 a la fecha se muestra con un leve ascenso al igual que MP-03C. El punto MP-01A, se muestra con una leve tendencia al descenso.

No obstante, lo anterior, desde 2022 se observa una tendencia general a la estabilidad en los niveles, por ejemplo, en el punto BA-05 y BA-15, Figura 6-35. 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.

Respecto a las variaciones de nivel neto, el punto MP-01C muestran un ascenso neto de 1 cm (calculado para noviembre 2013 y noviembre 2024). El punto MP-03B, muestra nivel neto estable de 0 cm (calculado para diciembre 2013 y diciembre 2024). Los descensos netos, en los puntos BA-04, BA-05, BA-08, BA-15, BA-16, BA-25, MP-01A, MP-01B, MP-03A y MP-03C, registran valores de 1 cm (BA-16 y BA-25, calculado para diciembre 2013 y diciembre 2023) a 12 cm (BA-07, calculado para diciembre 2023 y 2024) y el punto con mayor descenso del sector es el punto BA-07, donde actualmente está activado el PAT Acuífero.

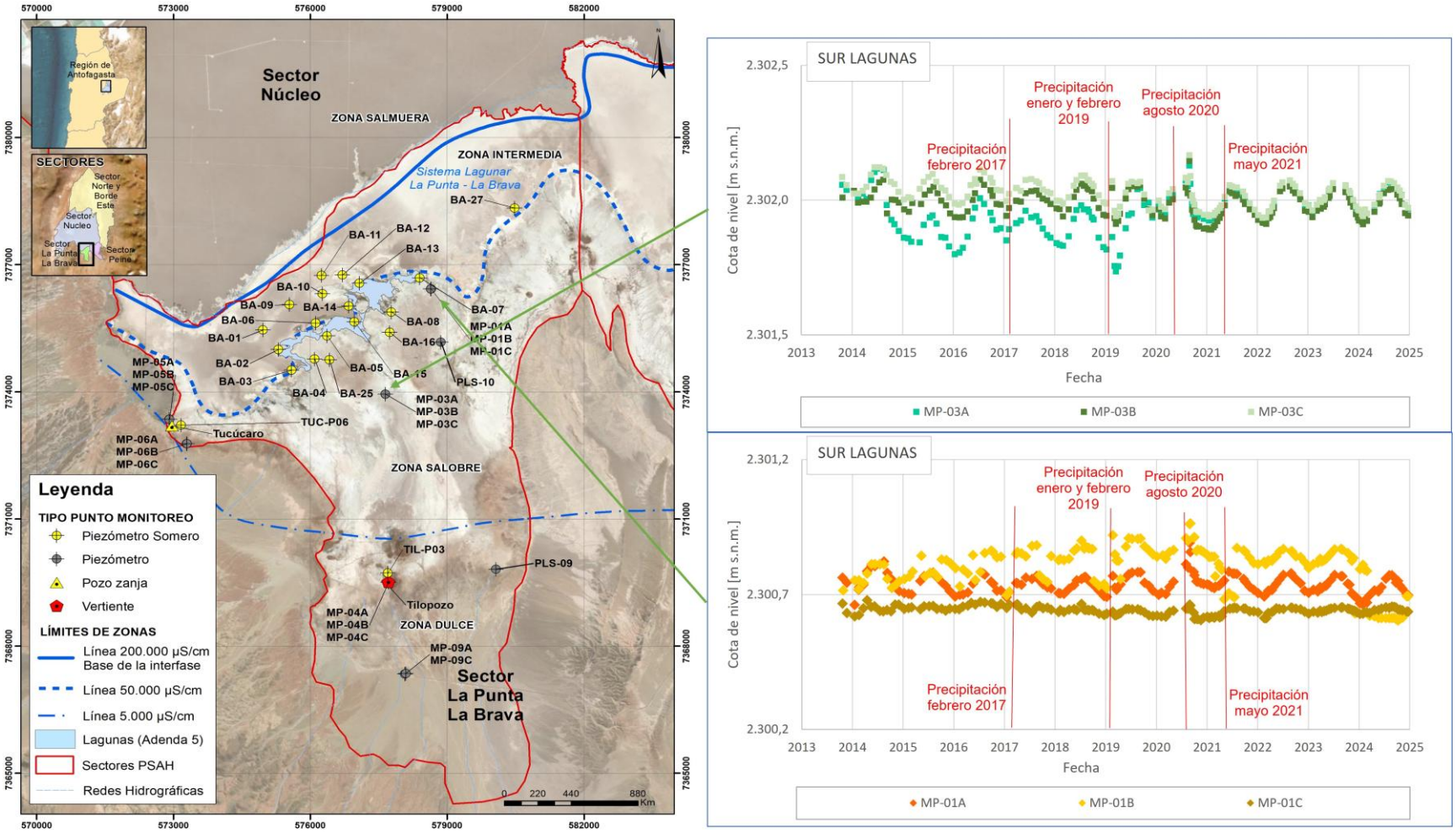
En relación con las precipitaciones históricas del área, los puntos de esta zona muestran respuesta clara de aumento de niveles luego del evento de precipitación de enero y febrero 2019, agosto 2020 y mayo 2021. El año 2024 no presenta precipitaciones importantes.

Figura 6-49 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava serie BA



Fuente: Elaboración propia

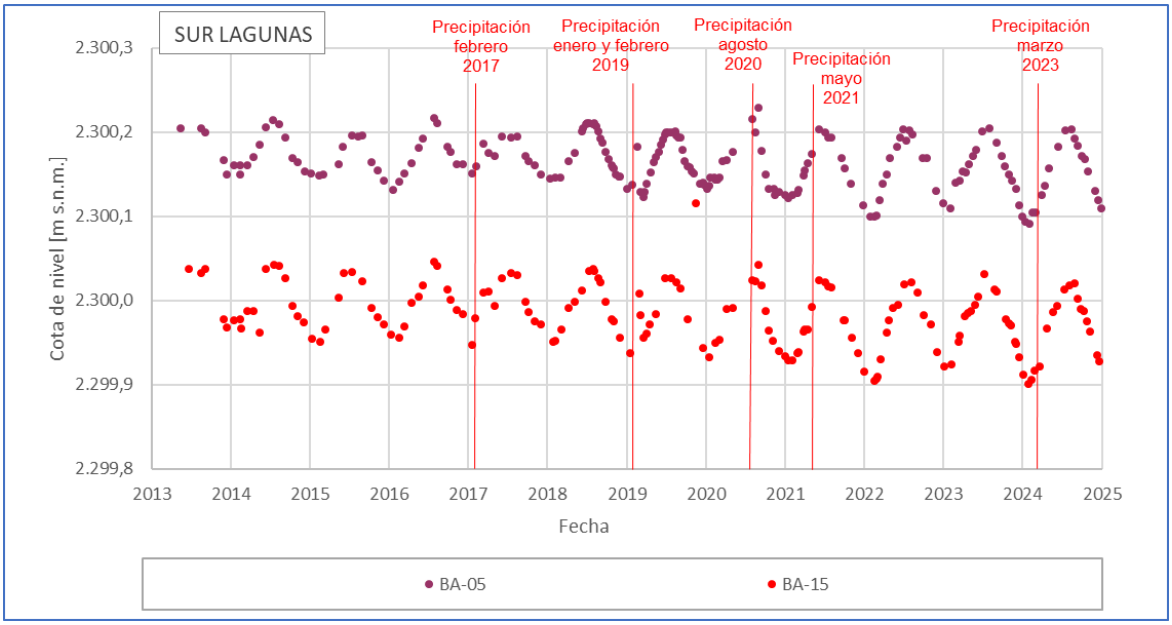
Figura 6-50 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava seria MP



Nota: Presenta rango de escala vertical diferente en relación con los otros gráficos de la sección

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-51 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Sur de las lagunas, sector La Punta-La Brava



6.1.6.1.5 Tucúcaro (Zona Salobre)

En la Figura 6-52 y Figura 6-53, se muestran los gráficos de la evolución histórica del nivel freático del sector (MP-05A, MP-05B, MP-05C, MP-06A, MP-06B, MP-06C y TUC-P06), los piezómetros MP-05B y MP-06B, monitorean la salmuera que está en profundidad. Los puntos monitoreados MP-05A, MP-05C, MP-06A, MP-06C, TUC-P06 al observar la serie histórica, exhiben una leve tendencia general al descenso leve.

El punto Tucúcaro, se utiliza para la extracción de agua dulce-salobre para su posterior uso industrial, por lo que presenta niveles dinámicos con un registro oscilante de niveles, este punto presenta un periodo de registro desde 2001, pero para hacerlo comparable con los otros puntos se grafica desde el 2013, en el período analizado (2013-2024) el punto se presenta con variaciones en el tiempo y tendencia de mediano plazo estable.

El punto MP-05C muestra niveles netos con ascensos de 28 cm (calculado para noviembre 2013 y noviembre 2024), es relevante tener en cuenta que este punto está habilitado en todo el tramo por lo que capta mezcla de agua y salmuera; y el resto de los puntos muestran niveles netos con descensos entre 5 cm (MP-05A, calculado para noviembre 2013 y noviembre 2024) y 26 cm (TUC-P06, calculado para diciembre 2015 y diciembre 2024).

Los valores históricos de niveles entre 2013 y 2024 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 puntos de la serie B). El punto MP-06C está habilitado en todo el tramo por lo que capta mezcla de agua y salmuera.

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 2.303.631 m s.n.m. y 2.304,024 m s.n.m. (calculado en ambos puntos para noviembre 2013 y noviembre 2024), con un comportamiento sincrónico entre ellos, y una leve tendencia histórica al descenso.

En la se observan los multipiezómetro MP-05B y MP-06B (habilitado en salmuera). 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, en el mismo punto (MP-05B), desde el año 2021, los niveles siguen descendiendo a una tasa menor. Los valores históricos de niveles entre 2013 y 2024 varían entre 2298,153 m s.n.m. (diciembre 2024) y 2301,694 m s.n.m. (octubre 2013), el descenso neto histórico de este punto 2,5 m) entre octubre de 2013 y octubre de 2024. En el mismo gráfico se presentan los niveles medidos en el punto MP-06B, con un comportamiento irregular hasta mediados del 2017 (y posteriormente en 2018), luego muestra un comportamiento un

poco más estable y además, muestra niveles ascendentes. Los valores históricos de niveles (MP-06B) entre 2013 y 2024 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 107 cm (1,07 m) entre octubre de 2013 y octubre de 2024.

6.1.6.1.6 Vegas de Tilopozo (Zona Dulce)

En la Figura 6-54, se muestra el gráfico de la evolución histórica (de 2013 a 2024) del nivel freático para los puntos (MP-04A, MP-04B, MP-04C, MP-09A, MP-09C, Tilopozo, TIL-P03 (ver Tabla 5-18) y PLS-09) monitoreados en el sector.

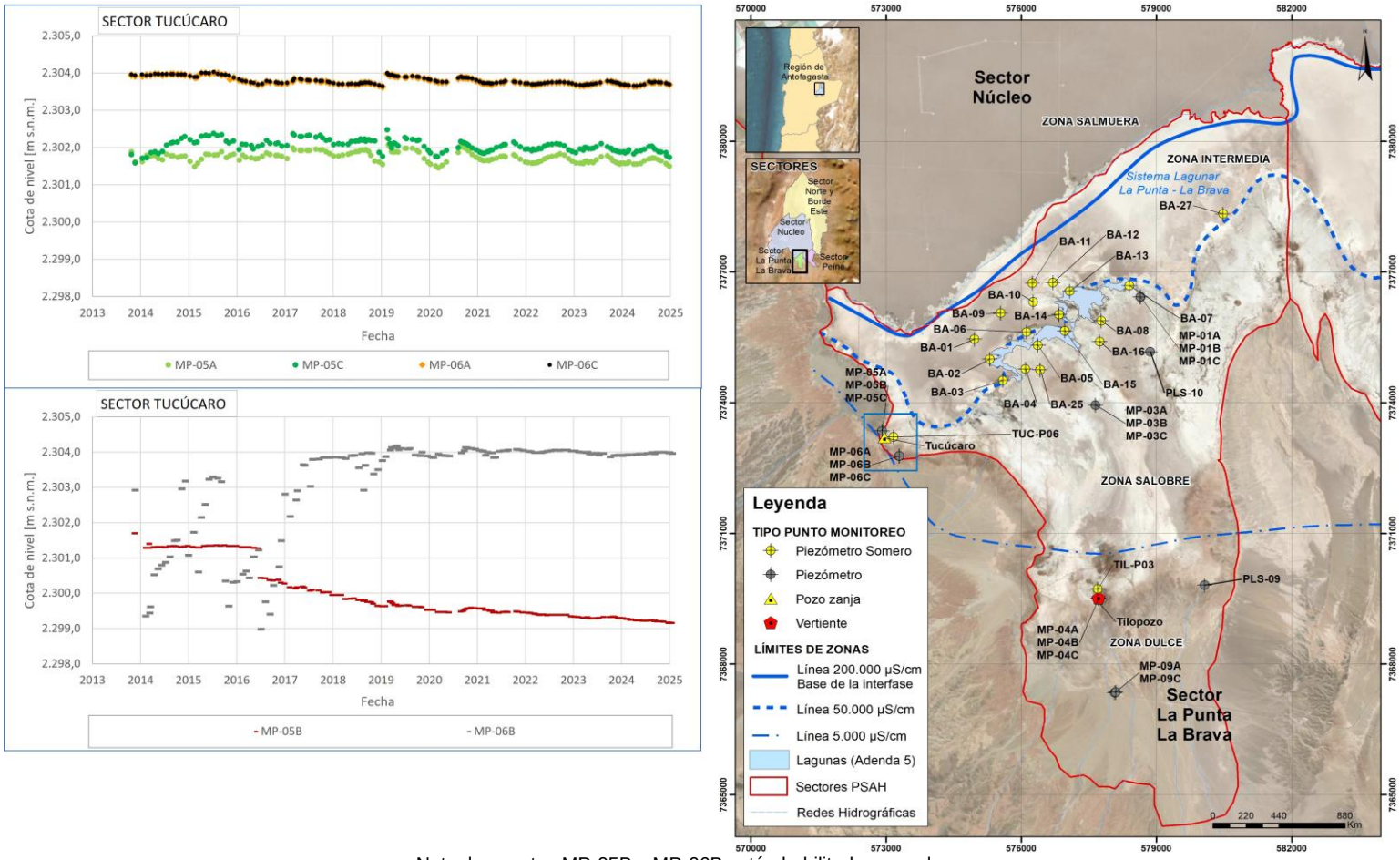
En general, los puntos (MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C y TIL-P03) muestran una tendencia histórica general al descenso (siendo este descenso mayor en el punto TIL-P03). El punto MP-04B, habilitado en salmuera, muestra ascensos significativos entre el año 2020 al 2024 (6,65 m).

Se tiene que los puntos MP-04A, MP-04C, MP-09A, MP-09C, TIL-P03 y PLS-09, varían entre cotas de nivel de 2305,130 y 2309,268 m s.n.m. medidos en PLS-09 (abril 2024) y MP-09C (febrero 2019). Y muestran descensos netos históricos entre 10 cm (MP-04A, calculado para noviembre 2013 y noviembre 2024) y 21 cm (TIL-P03, calculado diciembre de 2015 y diciembre de 2024).

El punto Tilopozo (Figura 6-54), 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 9 cm (calculado para diciembre 2001 y diciembre 2024), desde el año 2019 a la fecha, se observa una tendencia al ascenso. Este punto presenta variabilidad en sus niveles dado que se miden niveles dinámicos, también se aprecia cierta variabilidad estacional.

Por otra parte, el piezómetro MP-04B habilitado en salmuera, hasta el año 2024 (periodo de registro entre los años 2016 y 2024) muestra variaciones entre 2298,763 (diciembre 2017) y 2306,454 (agosto 2024) m s.n.m. con un ascenso en su nivel piezométrico desde el año 2020 de más de 7 metros y el último período con tendencia a la estabilización.

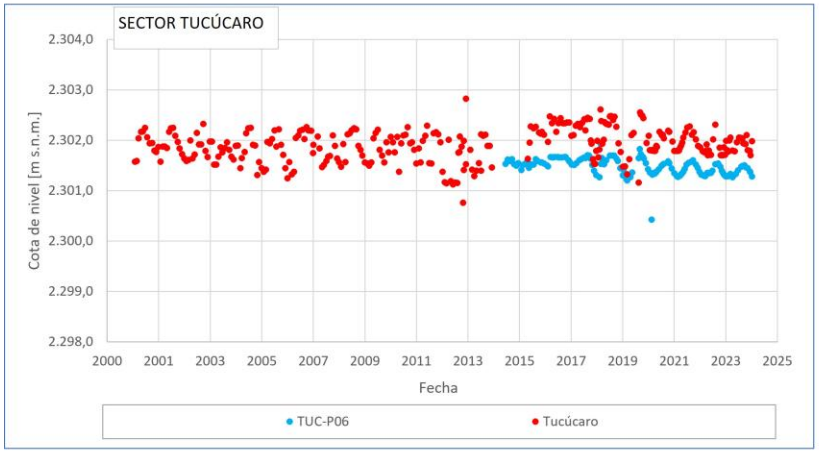
Figura 6-52 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Tucúcaro La Punta-La Brava serie MP

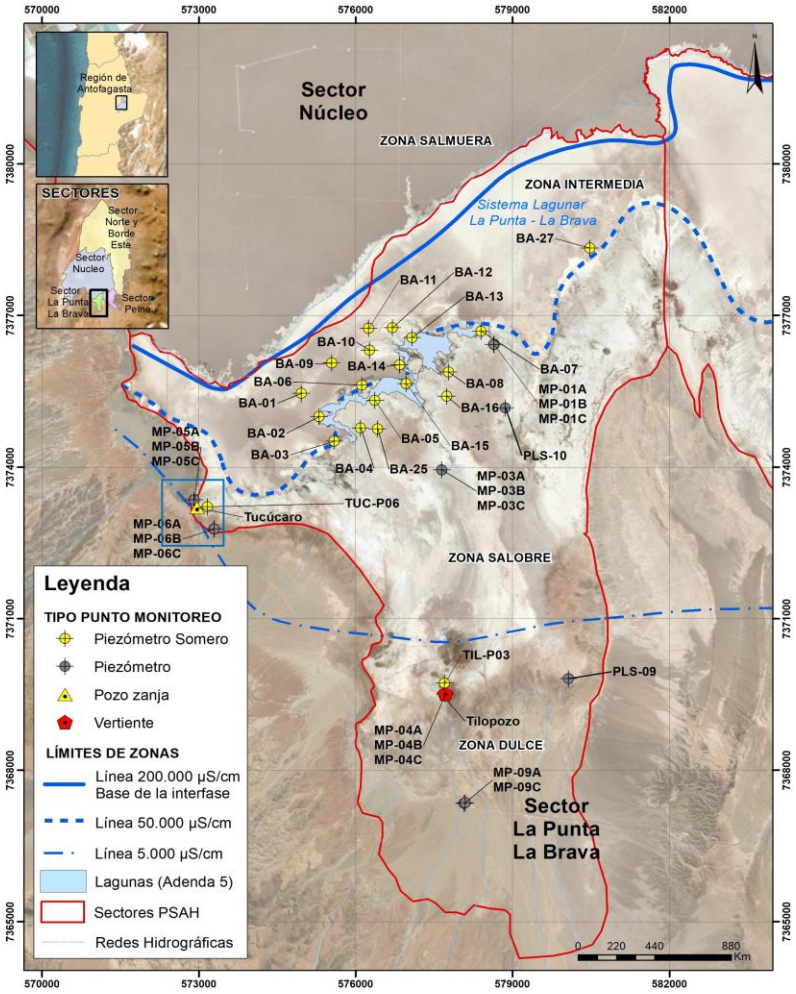


Nota: los puntos MP-05B y MP-06B están habilitados en salmuera

Fuente: Elaboración propia

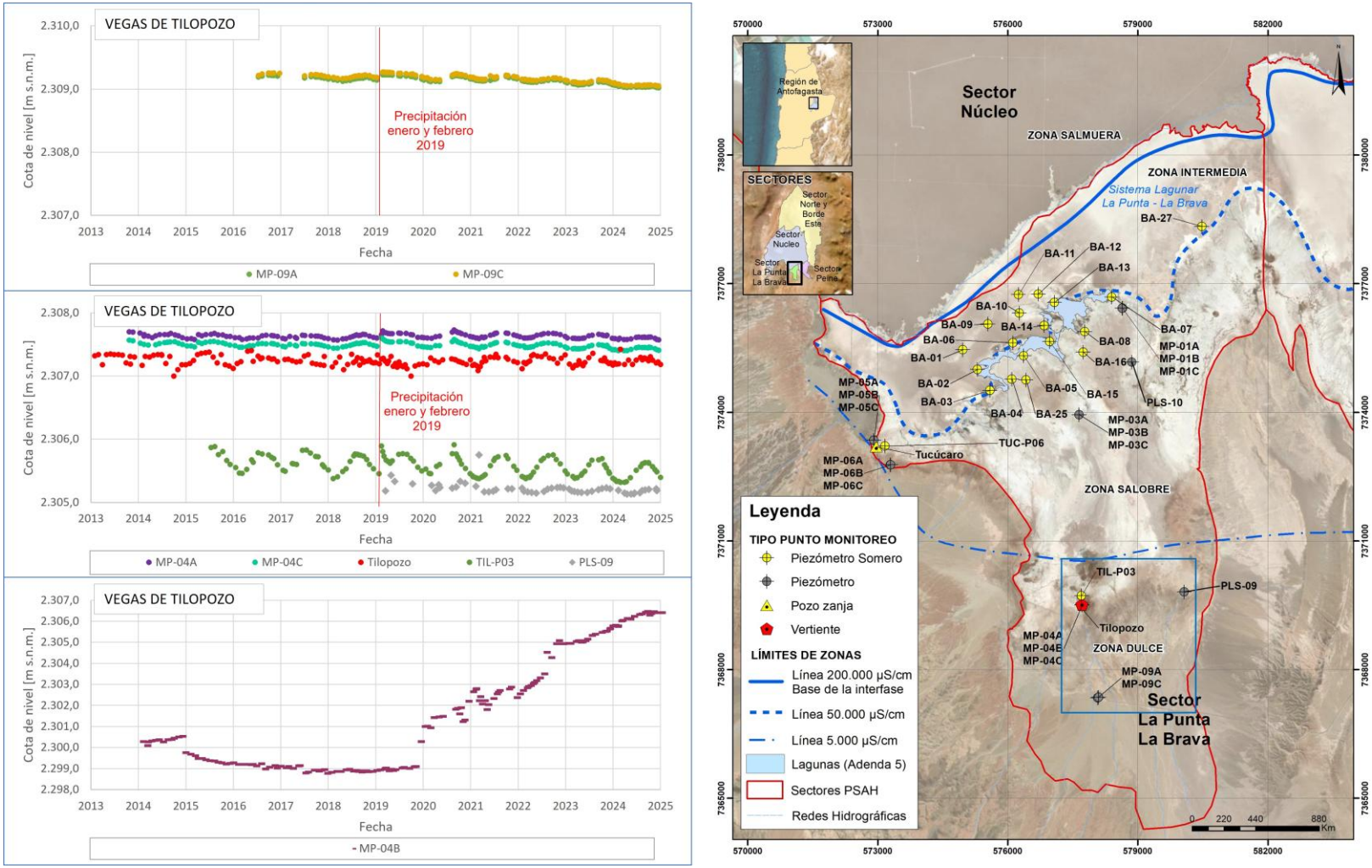
Figura 6-53 Hidrogramas de los puntos de observación, TUC-P06 y Tucúcaro, del sector Tucúcaro, sector La Punta-La Brava





Fuente: Elaboración propia

Figura 6-54 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Las Vegas de Tilopozo, 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 6-55 y Figura 6-56), de los 21 puntos de niveles del sector Peine (9 piezómetros someros, 9 multipiezómetros y 3 pozos).

Los puntos de monitoreo se han clasificado según su distribución espacial en 4 zonas para su descripción en el presente documento, esta clasificación está dada por las conductividades del agua, la cual cuenta con subzonas:

- Laguna Interna y su desborde: Zona Salmuera e Intermedia
- Lagunas Salada y Saladita: Zona Intermedia
- Inicio Laguna Salada: Zona Intermedia
- Borde Este y Sur: Zona Salobre

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 y su desborde (Zona Salmuera e Intermedia)

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en la Figura 6-55 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector (BA-17, BA-18, BA-19, BA-20, BA-23, MPS-CA, MPS-CB, MPS-CC (ver Tabla 5-20) y además, PLS-07).

Los niveles históricos de esta zona entre 2013 y 2024 varían entre un mínimo de 2298,003 y un máximo de 2299,717 m s.n.m. medidos en MPS-CC (octubre 2024) y BA-23[36] (febrero 2019), respectivamente.

Todos los puntos, muestran niveles con descensos netos entre 32 cm (BA-23) y 77 cm (BA-18) (calculado para octubre 2013 y octubre 2024, en ambos puntos).

En el gráfico de la Figura 6-55 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.

[36] En estricto rigor el punto BA-23 es parte de la zona salobre, pero al estar en el límite, se analiza como parte de laguna interna que es parte de la zona salmuera.

Desde el año 2021 no cuentan con la data completa, por otra parte, los máximos se alcanzan como respuesta a los eventos de precipitación, entre los años 2013 y 2023 ocurridos entre los meses de enero y mayo, con excepción de la precipitación del año 2020 que ocurre en agosto. 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).

6.1.6.2.2 Lagunas Salada y Saladita (Zona Intermedia)

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en la Figura 6-55 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector (BA-21, BA-22, MPS-AA, MPS-AB, MPS-AC (ver Tabla 5-20) y además, y el punto PLS-08).

Los niveles históricos de esta zona entre 2013 y 2024 varían entre 2299,381 y 2300,332 m s.n.m. medidos en MPS-AC (enero 2015) y BA-22 (septiembre 2020), respectivamente.

Todos los puntos, muestran niveles con descensos netos entre 2 cm (BA-22, calculado para septiembre 2013 y septiembre 2024) y 7 cm (BA-21, calculado para octubre 2013 y octubre 2024).

Al igual que en Laguna Interna, desde el año 2021 no cuentan con la data completa, 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 (Zona Intermedia)

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en la Figura 6-56 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector (BA-28 y BA-30).

Se debe considerar que este sector cuenta con data incompleta desde el año 2020, en este contexto se tiene que 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.

Con los datos disponibles (Figura 6-56) el punto BA-28 muestra niveles netos estables con 0 cm y el punto BA-30 muestra ascensos netos de 2 cm, ambos calculados entre septiembre 2015 y septiembre 2024, 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 6-56 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 (donde PLS-08 registró más de 90 mm entre enero y febrero); por ejemplo, en BA-28 los niveles suben entre 0,08 m (entre agosto y septiembre 2020) posterior a los eventos de precipitaciones (32,9 mm de agua caída en PLS-08). 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 6-56. 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 salmuera-Laguna Interna y zona Intermedia-Lagunas Salada y Saladita, en las cuales no se observa este mismo comportamiento estacional oscilatorio.

6.1.6.2.4 Borde Este y Sur de Peine (Zona Salobre)

La representación gráfica del registro histórico de niveles se presenta en Figura 6-56 en conjunto con el mapa de ubicación de los puntos del sector.

Los niveles históricos de esta zona registrados entre los años 2016 y 2024 varían entre 2302,362 y 2308,754 m s.n.m. medidos en MP-08A (enero 2017) y PP-03 (febrero 2019), respectivamente.

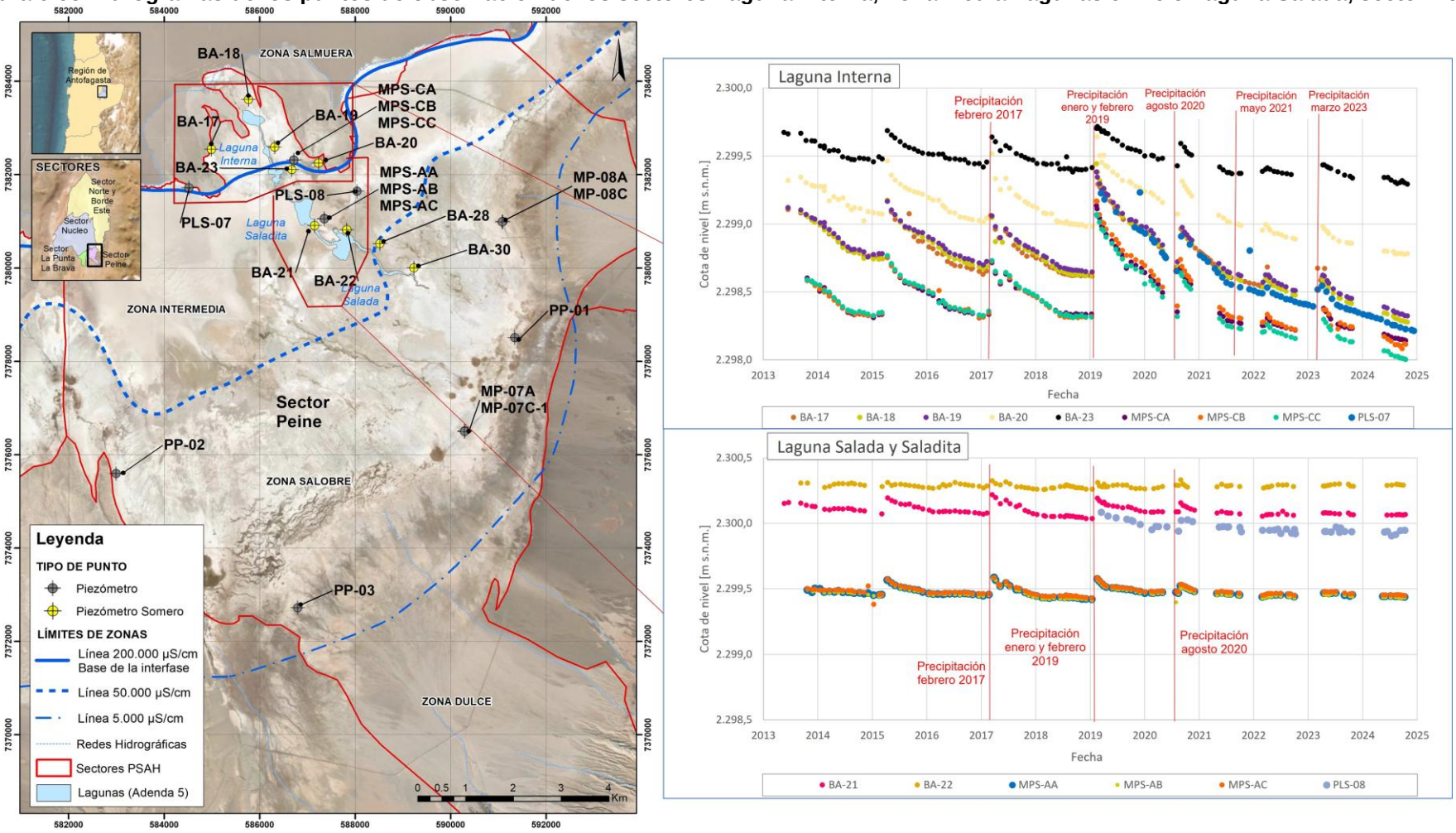
Los puntos MP-07A, MP-07C-1, MP-08A, y PP-03, muestran niveles con ascensos netos entre 7 cm (MP-07C-1) y 25 cm (MP-08A), ambos calculados en diciembre 2016 y diciembre 2024, no obstante, el punto PP-03 muestra una tendencia general al descenso leve, y se observa estable desde 2019 a 2024. Por otro lado, el punto PP-01 muestra 0 cm de descenso neto y PP-02, muestra un descenso neto histórico de 2 cm calculado para diciembre 2016 y diciembre 2024, no obstante, ambos muestran tendencias generales al descensos.

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). Se ejecutó, además, un análisis estadístico para evaluar el comportamiento del nivel, y este concluyó que se deben utilizar los datos post-choque con cierta precaución y que se

recomienda ir evaluando el comportamiento a medida que lleguen nuevas mediciones (Ver sección 4.4.2)

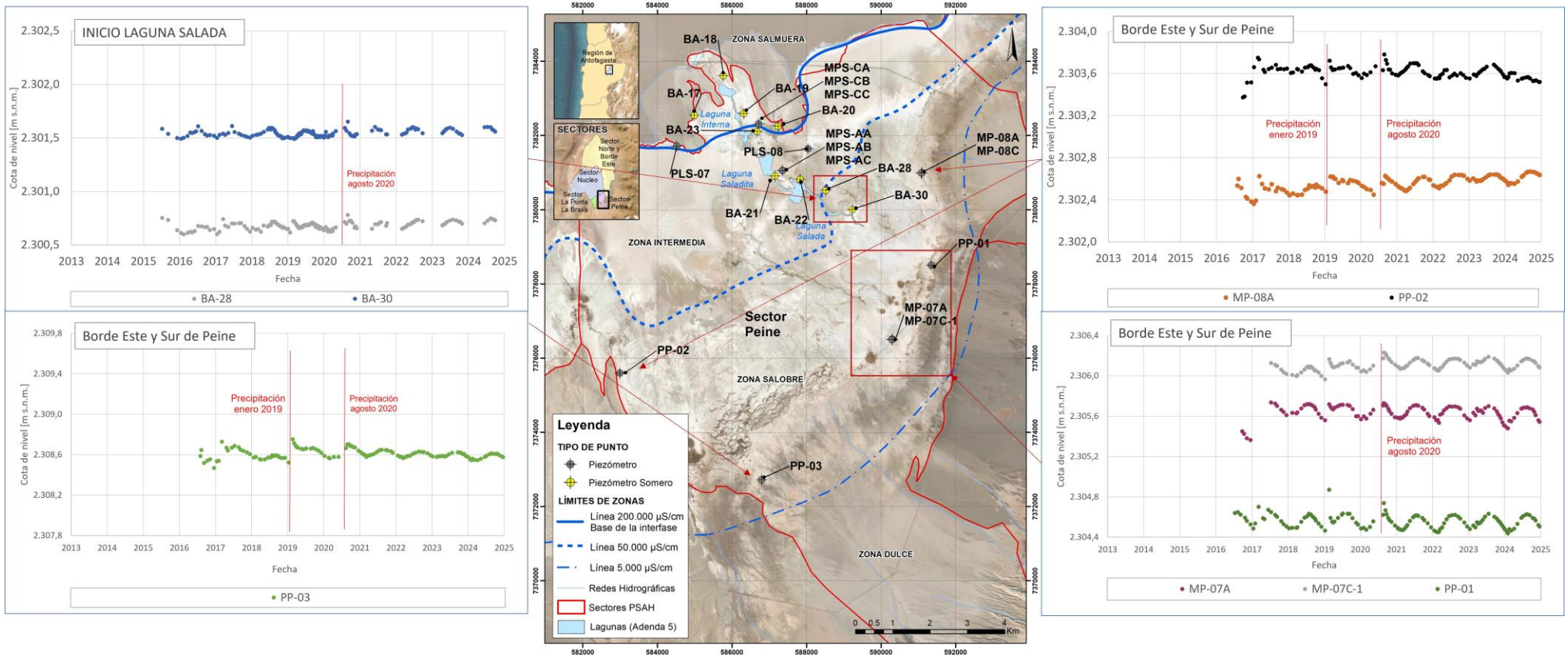
Todos los puntos de control del sector Borde Este y Sur de Peine, incluyendo los puntos con niveles surgentes, muestran oscilaciones estacionales y respuestas a los eventos de precipitación con ascensos bruscos y puntuales de los niveles, con magnitudes distintas entre los puntos. Los niveles máximos se registran entre julio y septiembre, y mínimos entre enero y marzo.

Figura 6-55 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 y PLS-10.
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-56 Hidrogramas de los puntos de observación del sector Borde 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 6-57, y los registros históricos se presentan en el Anexo F.

Los niveles históricos desde 2016 a 2024 en los puntos BA-31, MP-12A y MP-12C, ver Tabla 5-20, han variado entre 2297,450 y 2307,127 m s.n.m. medidos en BA-31 (ex LM-15) (marzo 2024) y MP-12C (noviembre 2019), respectivamente. Por otra parte, los puntos PLS-01 a PLS-04 en la Figura 6-59, muestran variaciones de 2300,240 y 2337,169 m s.n.m. medidos en PLS-04 (febrero 2024) y PLS-01 (marzo 2019), respectivamente.

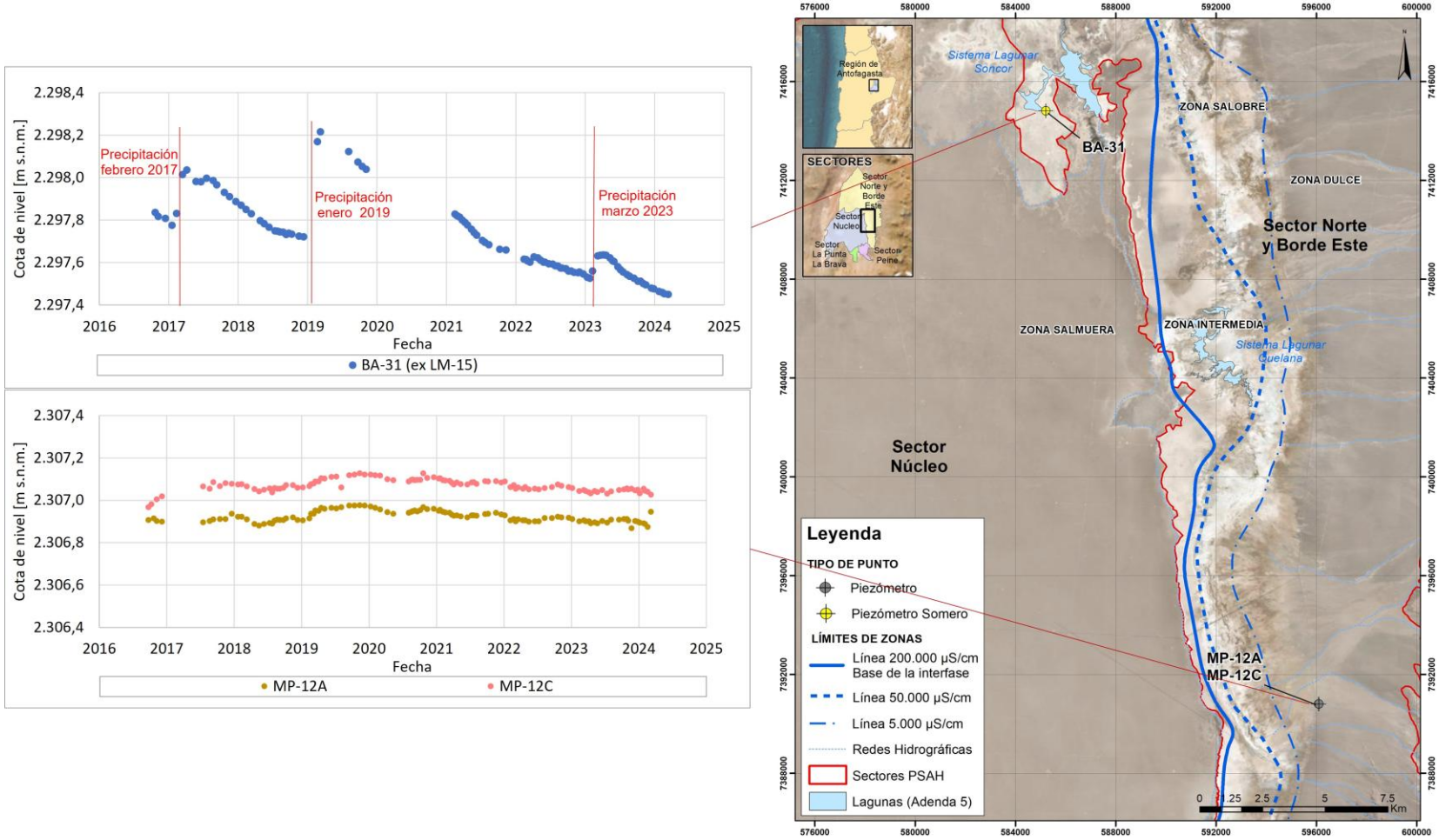
El piezómetro BA-31 no se mide durante el año 2020 por encontrarse cerrada la Reserva Nacional Los Flamencos, administrada por CONAF, en el contexto de la pandemia por COVID-19. En los años 2022 y 2023 se cuenta con datos desde febrero a diciembre, y en 2024 con datos hasta marzo en el punto BA-31, puesto que a la fecha se ha presentado seco. En cuanto a los puntos MP-12A y MP-12C, en el año 2024 se cuenta con datos hasta febrero, debido a la restricción de acceso.

En la Figura 5-28 se observa que el punto BA-31 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 también 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. El año 2024 no ocurren precipitaciones importantes.

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 2020 y luego una tendencia al descenso hasta el año 2023, actualmente no se cuenta con suficientes datos para analizar el año 2024.

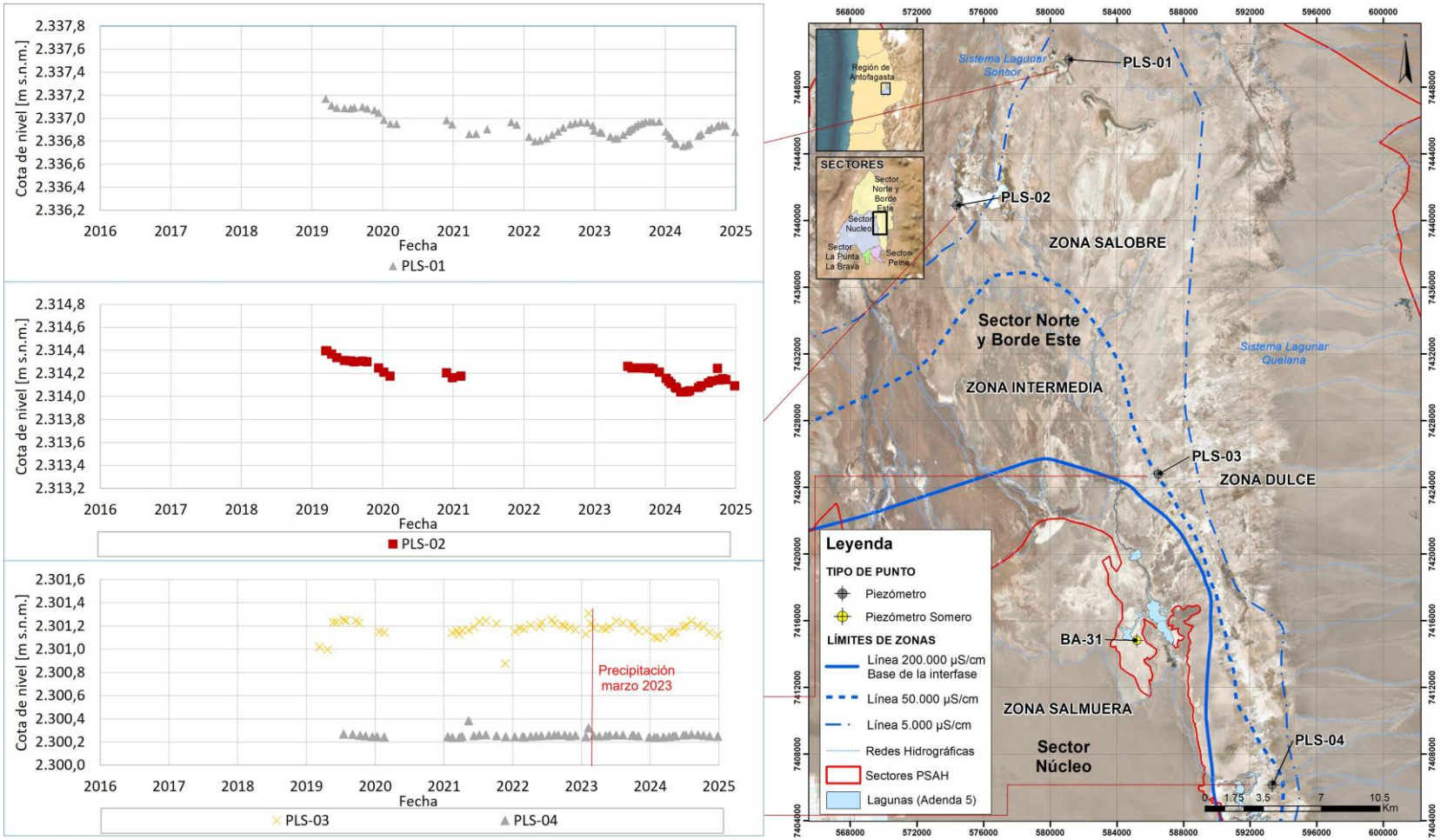
Cabe destacar, que el punto MP-12A fue chocado los detalles se presentan en la sección 4.4.2.

Figura 6-57 Mapa de ubicación puntos de monitoreo, BA-31, MP-12A y MP-12C, sector Norte y Borde Este



Nota: Mp-12A presenta incidente, detalles sección 4.4.2, se usan datos actualizados en el gráfico.
Precipitaciones graficadas pertenecen a EM-Rockwood
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-58 Mapa de ubicación puntos de monitoreo, PLS-01 a PLS-04, sector Norte y Borde Este



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 6-59, y los registros históricos se presentan en el en Anexo F.

Los puntos de monitoreo se han clasificado según su distribución en 4 subzonas, todas ubicadas en la zona Salmuera:

El análisis de la evolución temporal del nivel freático en el sector Núcleo se presenta a continuación, todos los puntos se ubican en Zona Salmuera

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

6.1.6.4.1 Núcleo Centro Norte *(Zona Salmuera)*

En la zona Núcleo Centro Norte, se monitorean 16 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 (ver Tabla 5-21), y los puntos PLS-11, PLS-05 y PLS-06, la ubicación de estos puntos Figura 6-3. Estos puntos cuentan con datos desde el año 2016 a 2024. Los resultados de las mediciones históricas se encuentran en el Anexo F.

Los niveles históricos desde el año 2016 al 2024 variaron entre un mínimo de 2.297,090 y un máximo de 2.298,896 m s.n.m. en los puntos PN-19 (diciembre de 2024) y ES-09 (febrero de 2019), respectivamente.

Todos los puntos, muestran niveles con descensos netos entre 39 cm (ES-09, ES-10, y PN-19, calculado para diciembre 2016 y diciembre 2024) y 77 cm (PLS-11, calculado para diciembre 2019 y diciembre 2024).

Todos los pozos del sector presentan un comportamiento similar y sincrónico, con rápidas respuestas a eventos de precipitación intensa como los ocurridos en enero y febrero 2019 y agosto de 2020, por ejemplo, en el evento de precipitaciones 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 (Zona Salmuera)

En la zona Núcleo Oeste, se monitorean desde el año 2016 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 6-59. Los resultados de las mediciones históricas se encuentran en el Anexo F.

Los niveles históricos de estos pozos han variado entre un mínimo de 2.292,037 (SAMPLE-4A diciembre de 2024) y máximo de 2.299,671 m s.n.m (SAMPLE-4, abril de 2002). Mostrando un descenso de nivel para este sector entre 1,5 m en CS-1 (ex de Zanja Cord. Sal) calculado para diciembre de 2016 y diciembre de 2024, y de 2,9 m en Sample-4A calculado entre septiembre de 2016 y diciembre 2016, lo anterior, es coherente a lo esperado dado la cercanía de los puntos a las áreas activas de bombeo y extracción de salmuera por parte de SQM y Albemarle.

6.1.6.4.3 Núcleo Este (Zona Salmuera)

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[37] (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 6-60. 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 puntos S-3 y PN-16B presentan incidentes que se detallan en la sección 4.4.2.

Además, cabe mencionar, que la medida de diciembre del punto PN-04 fue anómala, puesto que está totalmente fuera de tendencia, y se han revisado los datos de enero y febrero 2025, los que confirmarían esto, dado que sigue la tendencia previa a diciembre, probablemente corresponde a un error humado de digitación y/o medición en terreno.

[37] El pozo S-2-1, fue construido en 2019, para reemplazar al pozo S-2 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), que se había secado en mayo de 2019, y de esta manera tener continuidad de datos en su ubicación.

Los niveles históricos en esta zona han variado entre un mínimo de 2.297,098 m s.n.m. (PN-03, diciembre de 2024) 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, de 0 cm en el punto PN-16B (este punto presenta una anomalía detallado en sección 4.4.2, y con descensos netos de entre 33 cm (PN-13, calculado para diciembre 2016 y diciembre 2024) y 76 cm (P-04, calculado para diciembre 20013 y diciembre 2024). Mayores descensos se observan en los puntos S-1, S-2-1,S-3, S-4 y CL-6, con descensos netos de entre 111 cm (1,11 m en CL-6 calculado para diciembre 2001 y diciembre 2024) y 158 cm (1,58 m, en S-3 calculado para diciembre 1989 y diciembre 2024), los mayores descensos netos coincide con los puntos que presentan mayor periodo de registro, siendo de aproximadamente 35 años para los puntos S-1, S-2-1,S-3 y S-4, y con un periodo de registro de 23 años para el punto CL-6, 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 provocan los eventos de precipitación intensas como las observadas en marzo 2013, abril 2015, febrero 2017, marzo 2019, agosto 2020 y febrero y marzo 2023[38]. 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. En el año 2024 no se miden precipitaciones importantes lo que coincide con no observar “saltos” en los niveles.

6.1.6.4.4 Producción (Zona Salmuera)

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 6-61. Los resultados de las mediciones históricas se presentan en el Anexo F. Los puntos CL-13 y CL-10 se encuentran secos desde febrero del año 2020 (excepto por una medida de abril del 2022 en el punto CL-10).

Los niveles históricos de esta zona entre los años 1985 y 2024 variaron entre un mínimo de 2.282,817 y un máximo de 2.300,780 m s.n.m., en CL-12 (diciembre de 2024) 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 30 cm (calculado

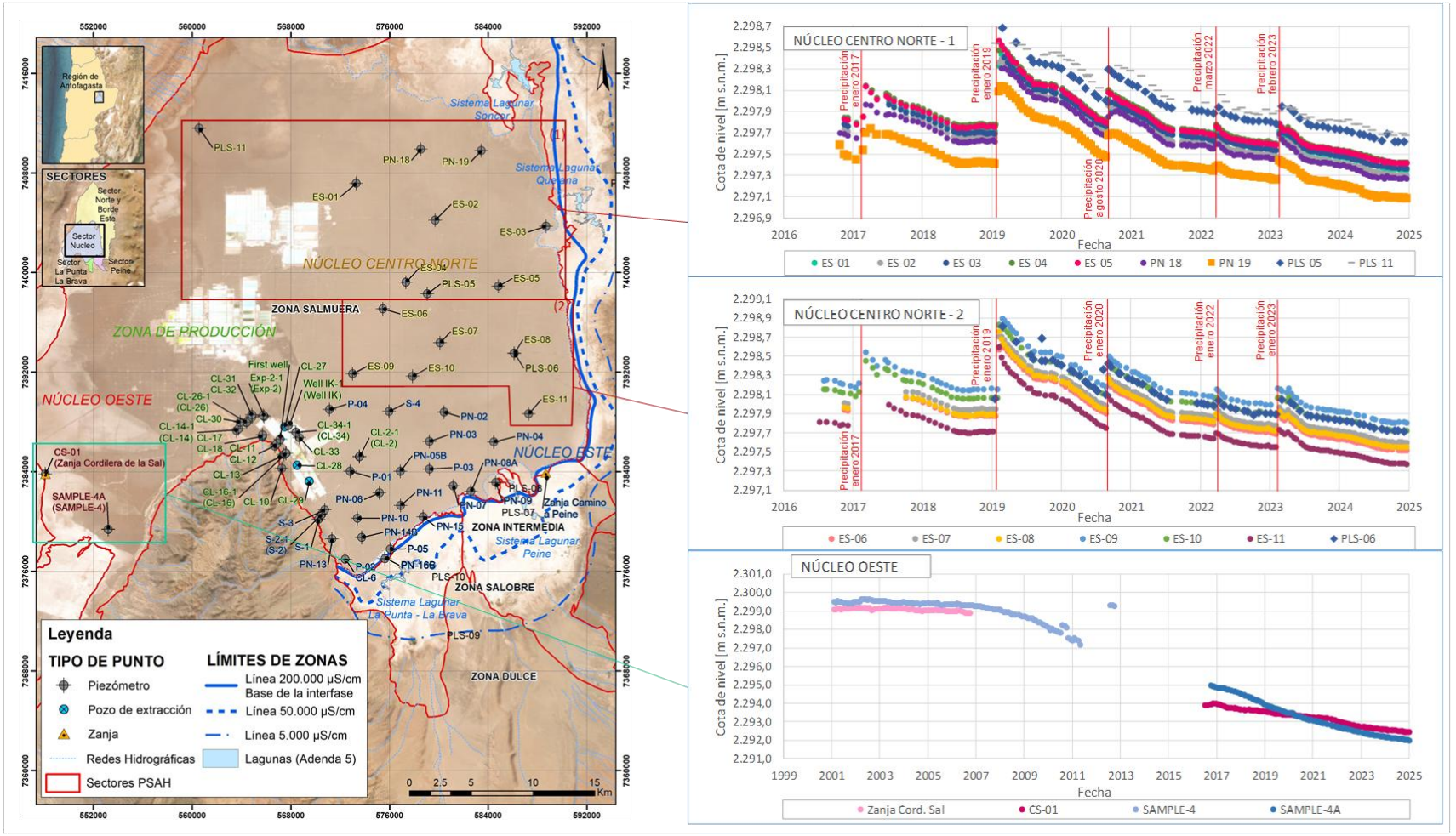
[38] Precipitaciones registradas en Chaxa en el mes de febrero (30,97 mm/mes) y Rockwood en el mes de marzo 2023 (21,2 mm/mes)

para diciembre de 2001 y diciembre de 2024). Por otra parte, los puntos CL-2-1, CL-26-1, CL-33 y EXP-2-1, muestran descensos de entre 24 cm en EXP-2-1 (ex Exp-2) y de 94 cm en el pozo CL-26-1(ex CL-26), ambos calculados para diciembre de 2016 y diciembre de 2024.

Luego con descensos mayores a los anteriores, se tienen en los puntos CL-14-1, CL-16-1, CL-17, CL-18, CL-26-1L-28, CL-29, CL-30, CL-31, CL-32, CL-34-1, First well y Well IK-1 (ex Well IK) que muestran descensos entre 1,2 m (CL-34-1) y 8,8 m, CL-16-1), ambos calculados para diciembre de 2016 y diciembre de 2024.

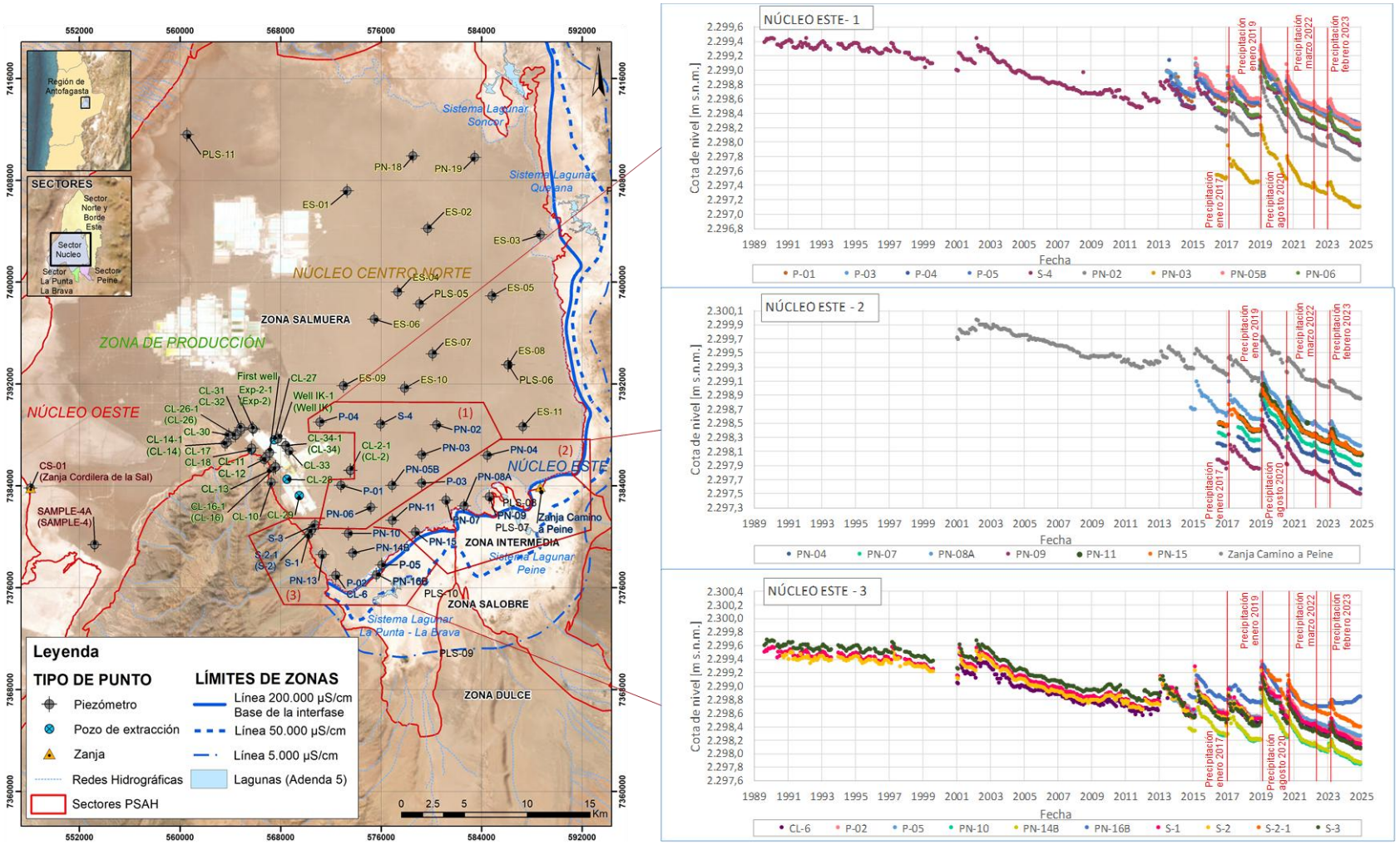
Finalmente, los puntos que muestran un mayor descenso neto de nivel son: CL-11 y CL-12, con descensos entre 14,0 cm (CL-11) y 14,8 m (CL-12), ambos calculados para diciembre de 1985 y diciembre 2024, coincide que los mayores descensos tienen mayor registro de estos, por lo que no necesariamente son puntos que muestren más descensos, sino que presentan mayor registro (39 años de registro).

Figura 6-59 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

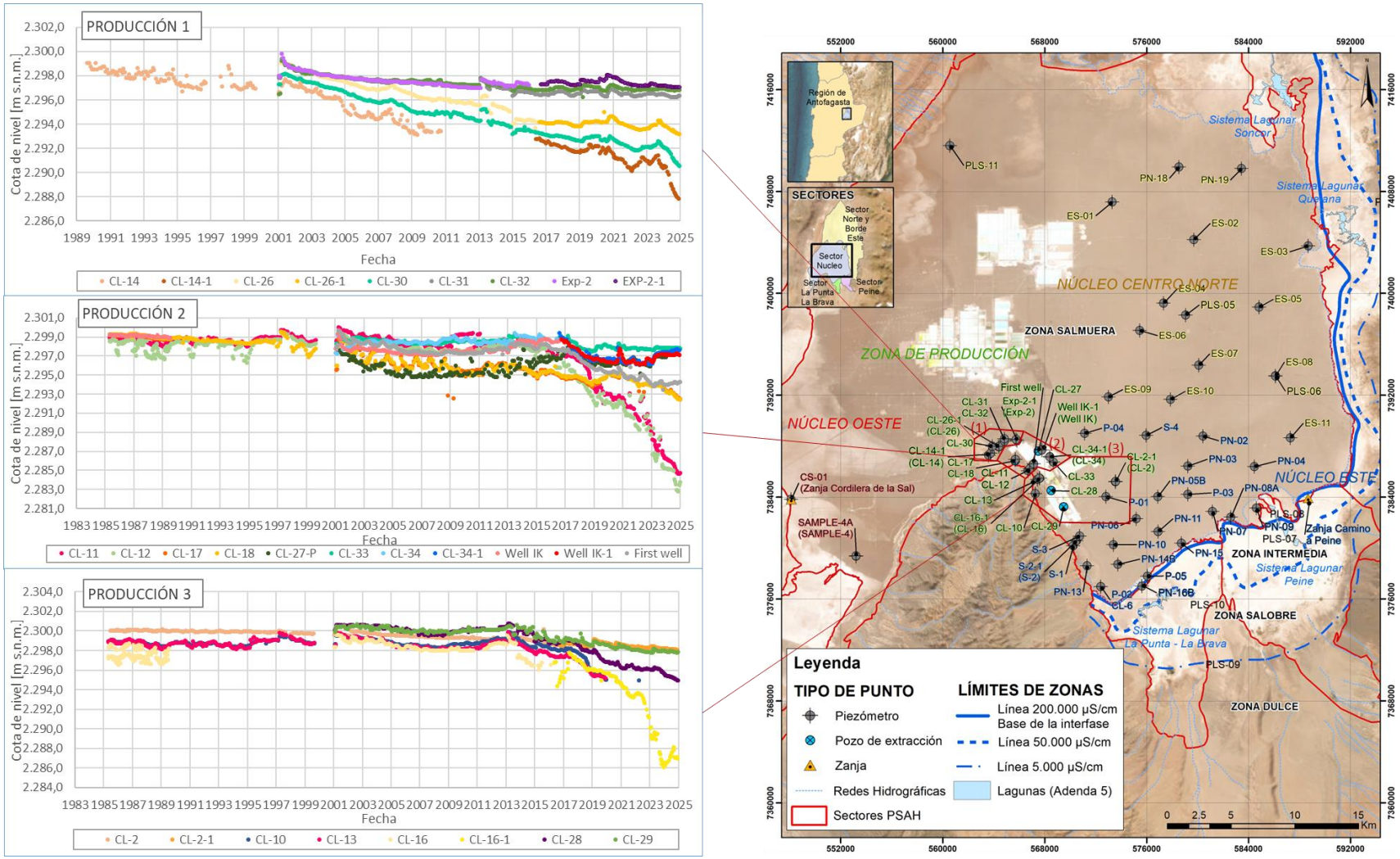
Figura 6-60 Hidrogramas de los pozos de observación del sector Núcleo Este



El punto PN-16 presenta un incidente mencionado en sección 4.4.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-61 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 2024 presentados, con los niveles modelados obtenidos de los escenarios Caso Proyecto (Escenario P) y Caso Proyecto Recarga Reducida (Escenario P_RR) presentados en el informe de la Tercera Actualización del modelo de Flujo de Agua Subterránea en el Salar de Atacama (RCA N°21/2016), en Fecha 31 de marzo de 2023 (ALBEMARLE-VAI, 2023), mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-018. Cabe destacar, que este modelo fue validado por la DGA (ORD N°52/2024) y SMA, a través de la Res Ex N°2146/2024, de fecha 13 de noviembre de 2024 y así mismo se ingresó a la plataforma de la SMA el cumplimiento del Considerando 4.1.9 de la RCA N°21/2016 mediante la carta ALB- GMA-2024-SMA-063 de fecha 18 de noviembre de 2024.

Es importante mencionar que, esta Tercera Actualización del Modelo consideró, la actualización de las series de niveles de agua, caudales de extracción y balance hídrico; y también los nuevos antecedentes en la cuenca entre los años 2020 y 2022. Así mismo, presenta los resultados de la construcción, calibración y simulaciones predictivas del modelo numérico 3D y los perfiles de densidad variable.

Es importante destacar que la distribución de los caudales informados por SQM, PEEx[39], son una aproximación de la distribución real de los pozos de bombeo tanto en superficie como en profundidad. Esta aproximación de los efectos de su extracción impacta directamente en los resultados que el modelo entrega, especialmente en las cercanías del campo de extracción de SQM. Por otro lado, para este modelo se contó con esta distribución aproximada hasta diciembre 2020, suponiendo una distribución arbitraria desde enero 2021 hasta septiembre 2022.

El Esc P 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 Esc P_RR 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

[39] PEEx se refiere a Punto Equivalente de Extracción. El área de extracción de SQM es dividida en superficie por una malla de 1km x 1km, con un punto en el centro (PEEx). Cada celda de esta malla contiene dos PEEx en el centro, uno somero (en su unidad hidrogeológica (UH) superior) y uno profundo (en su UH inferior)

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 Sector Alerta Núcleo, es en estos puntos en los cuales se realiza la comparación entre lo observado y lo modelado.

De la Figura 6-62 a la Figura 6-65, se presentan las series simuladas en los dos escenarios considerados (Esc P y Esc P_RR) versus los valores observados de los puntos PAT del Sector de Alerta Núcleo actualizados a diciembre de 2024.

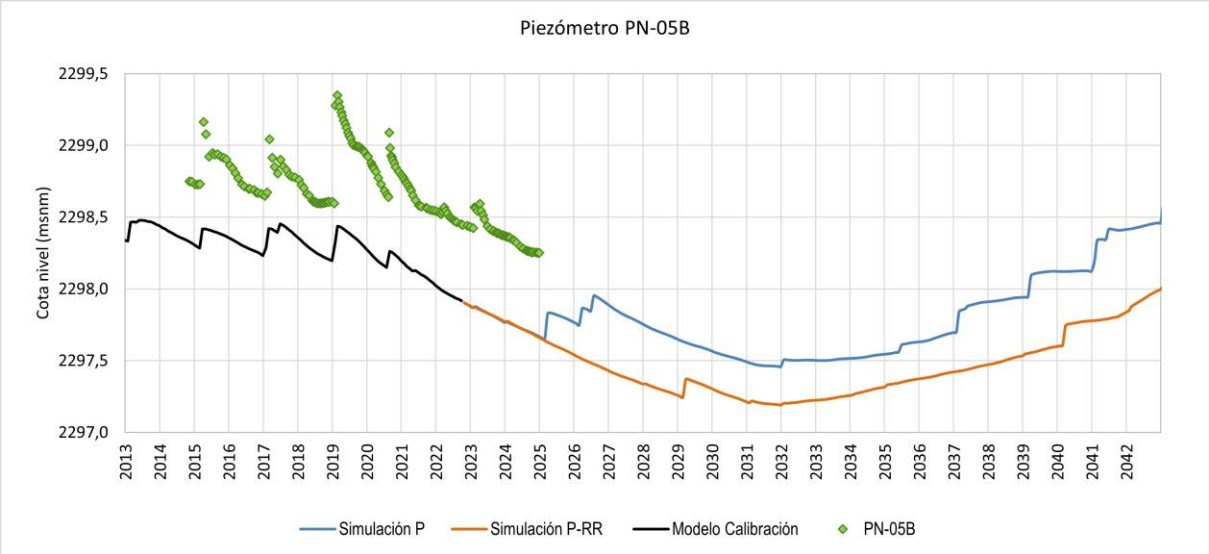
En general los puntos PN-05B, PN-08A, PN-14B y PN-16B muestran una tasa de descenso, y aumentos provocados por las lluvias y descensos después de éstas, similar a lo modelado hasta diciembre 2024, como así también la tendencia de descenso marcada por los niveles mínimos de los valores observados muy 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 noviembre 2024.

Los puntos PN-05B, PN-08A y PN-14B (de la Figura 6-62 a la

Figura 6-64), muestra descensos y tendencias con valores similares al modelo, con puntos observados con cotas mayores que en los niveles simulados del modelo numérico para ambos escenarios.

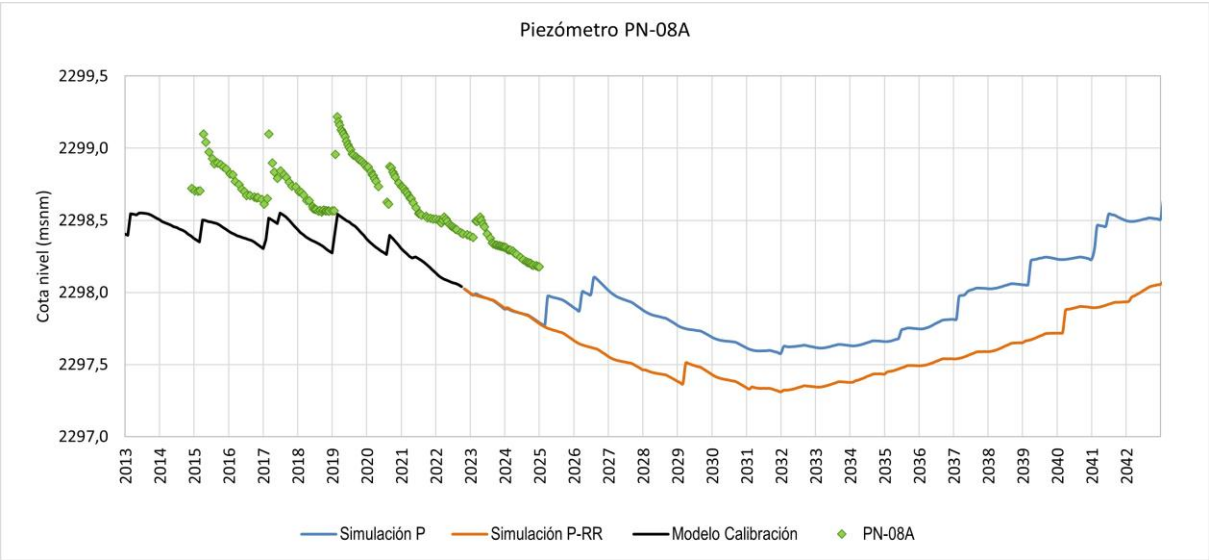
Por último, el punto PN-16B (Figura 6-65), muestra una tendencia en el nivel que se estabiliza en el año 2022 y aumentar hasta el año 2024, mostrando un comportamiento atípico, en este caso que los datos medidos presentan menores tasas de descenso que lo modelado.

Figura 6-62 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-05B



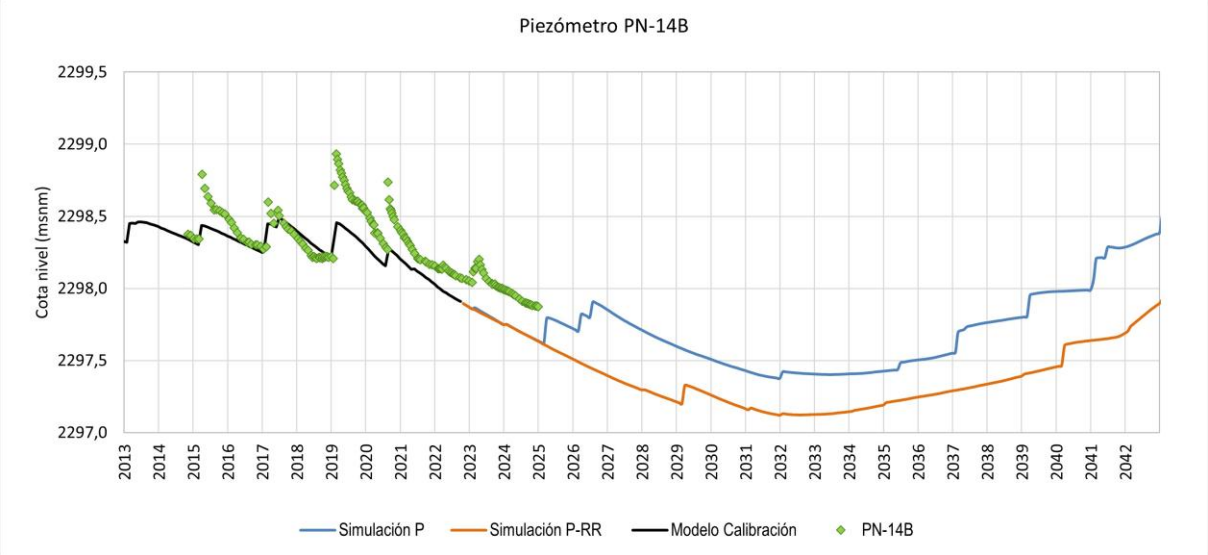
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-63 Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-08A



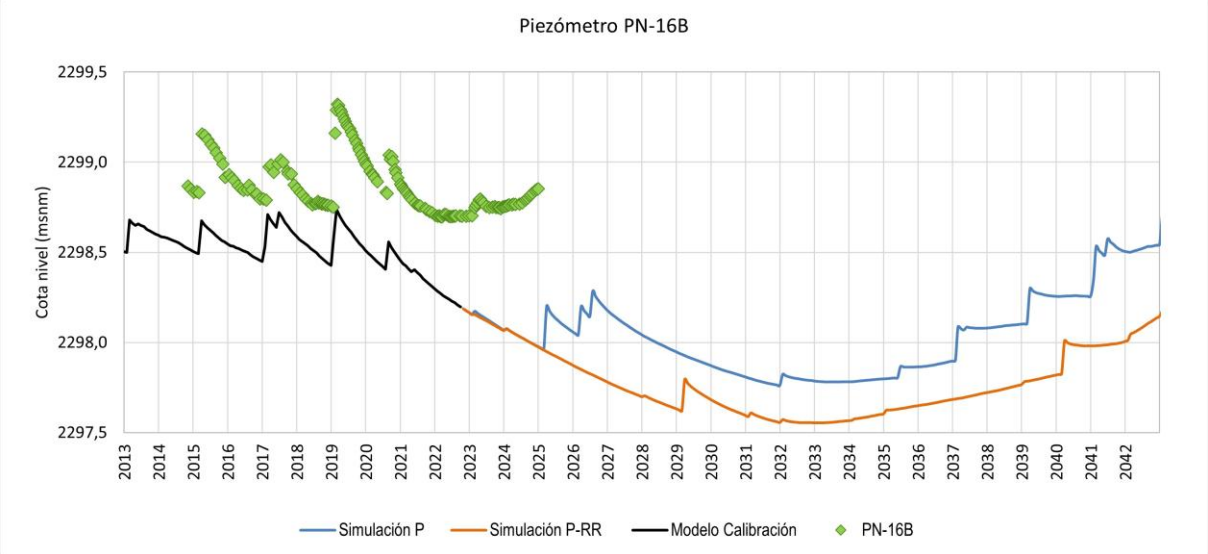
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-64Comparación de niveles simulados versus niveles observados en pozo PAT PN-14B



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-65 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 2024 los niveles freáticos en agua dulce-salobre se mantienen dentro de la oscilación natural y presenta mínimos en los sectores más cercanos al núcleo.

6.1.7 Posición de la Interfase Salina

En la Tabla 6-13 se presentan los pozos donde se monitorea trimestralmente la posición de la interfase salina, mediante los perfiles de conductividad, agrupados por sector, se detallan datos históricos, como la fecha de construcción y periodo de registro de los perfiles de conductividad. Además, al final de esta misma sección, se analiza el límite comprometido para esta variable.

Tabla 6-13 Puntos de realización de perfiles trimestrales 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 2024
	MP-03C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2024
	MP-04C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2024
	MP-05C	septiembre 2013	octubre 2013	diciembre 2024
	MP-06C	agosto 2013	octubre 2013	diciembre 2024
	MP-09C	agosto 2016	julio 2016	diciembre 2024
Sector Peine	MP-07C-1(1)	julio 2017	julio 2017	diciembre 2024
	MPS-AC	septiembre 2013	octubre 2013	octubre 2024
	MPS-CC	septiembre 2013	octubre 2013	octubre 2024
	PP-01	julio 2016	julio 2016	diciembre 2024
	PP-02	agosto 2016	octubre 2016	diciembre 2024
	PP-03	julio 2016	agosto 2016	diciembre 2024
Sector Norte y Borde Este	MP-12C	agosto 2016	octubre 2016	febrero 2024

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los perfiles de conductividad eléctrica se muestran de manera gráfica para las campañas históricas hasta el año reportado 2024. 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, se debe al equipo de medición que se utilizaba en aquellos años[40], el que, fue cambiado durante 2015 por uno de mayor precisión en medios de alta salinidad.

[40] La sonda utilizada por Albemarle hasta julio del año 2015 fue la sonda Solinst TLC-107, con un rango de medición de conductividad de 0 a 80.000 µS/cm (mide valores mayores, pero sin precisión adecuada). Desde agosto del año 2015, se utiliza una sonda marca SEBA Hydrometrie con sensores MPS que tienen un rango de medición de la conductividad entre 0 y 300.000 µS/cm por lo que los perfilajes obtenidos después de esa fecha se consideran válidos.

En la Figura 5-32, Figura 5-45 y Figura 5-58 se muestra la ubicación de los puntos comprometidos para la medición de perfiles de conductividad eléctrica para los sectores: La Punta - La Brava, Peine y, Norte y Borde Este. A continuación, se presentarán los análisis de los datos obtenidos por sector.

6.1.7.1 Sector La Punta – La Brava

En el sector La Punta-La Brava se cuenta con los puntos MP-01C, MP-03C, MP-04C, MP-05C, MP-06C y MP-09C (ubicación en Figura 5-32).

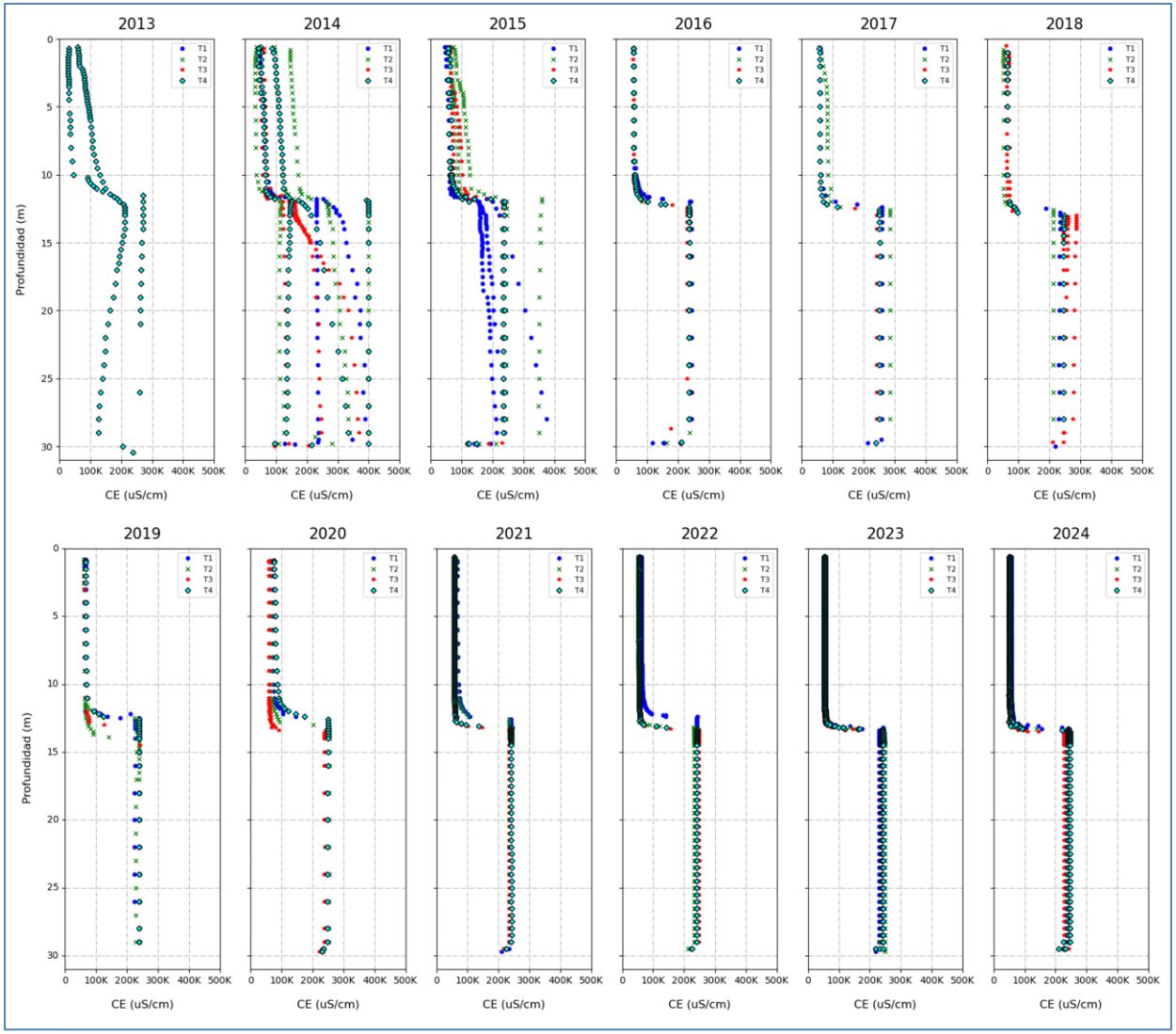
A continuación, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas históricas hasta año 2024, en conjunto con su representación gráfica. En los gráficos presentados para el registro histórico anual las series se separan en trimestres para una mejor representación.

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

Para el punto MP-01C (Figura 6-66) los registros dan cuenta de una leve profundización del nivel de salmuera en el periodo, aunque en los últimos dos años no presenta una tendencia. Su interfase (como una zona o franja) se encuentra 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. El año 2024, no ha presentado oscilación.

Figura 6-66 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-01C

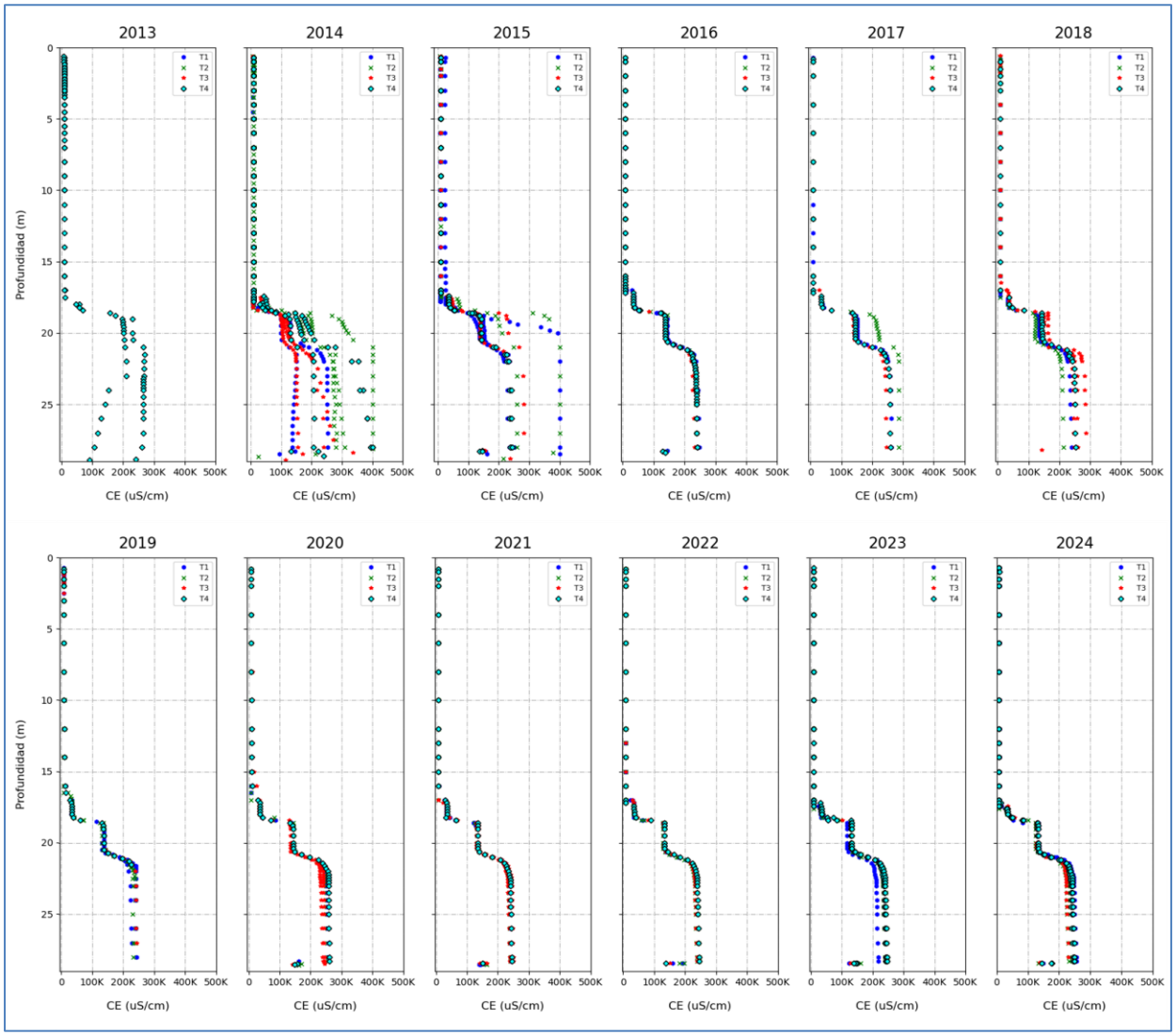


Fuente: Elaboración propia

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 mayores a 200.000 µS/cm. La base de la interfase salina (inicio de la salmuera) ha sido reconocida entre los 17 y 21 m de profundidad en todas las campañas, no se registra una variación en su posición (Figura 6-67).

Figura 6-67 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-03C

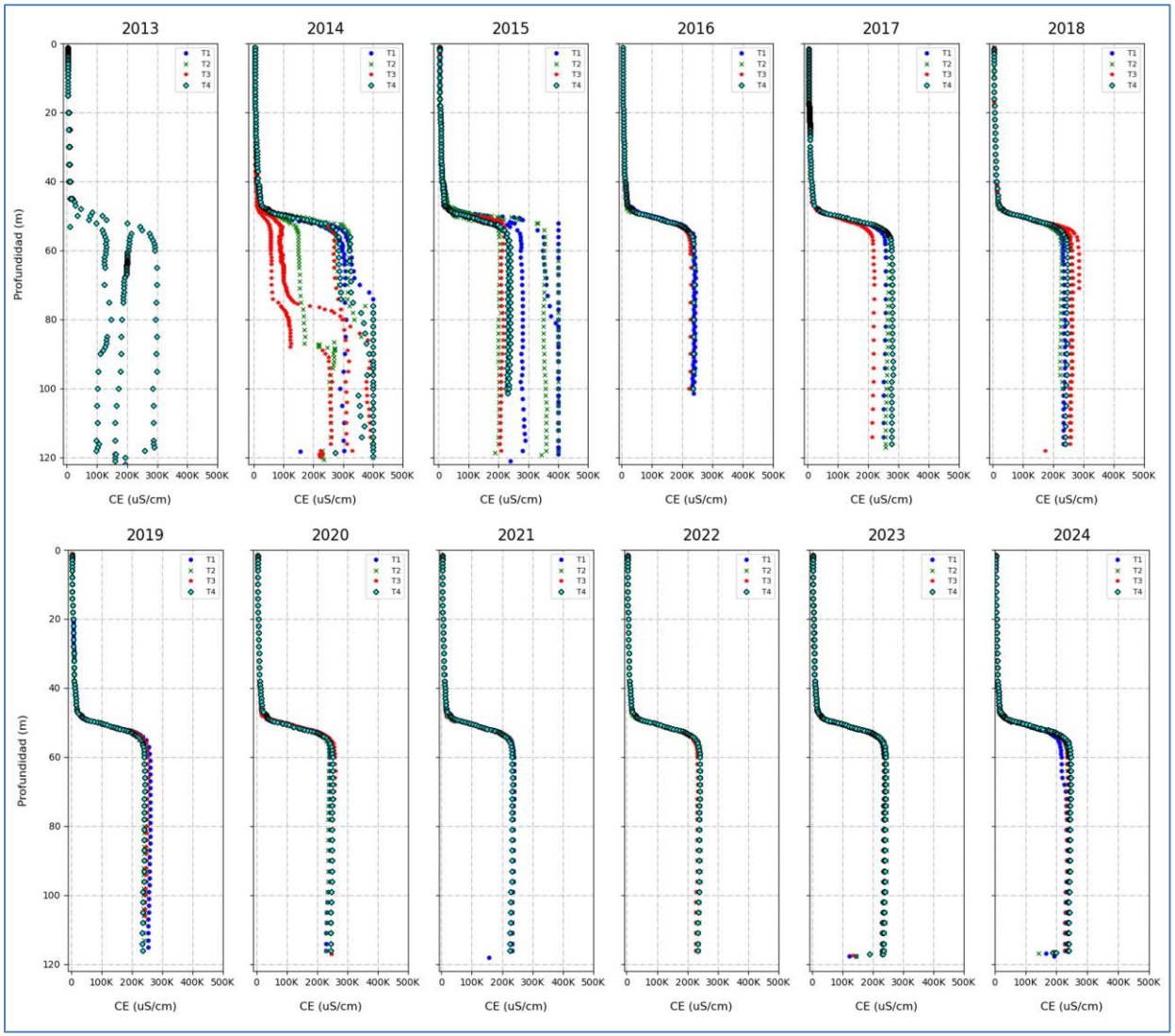


Fuente: Elaboración propia

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 6-68) con variaciones mínimas durante el primer trimestre de 2024. En general, se observa un aumento gradual en la conductividad eléctrica a una profundidad de aproximadamente 50 m, extendiéndose hasta los 55 m de profundidad.

Figura 6-68 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-04C



Fuente: Elaboración propia

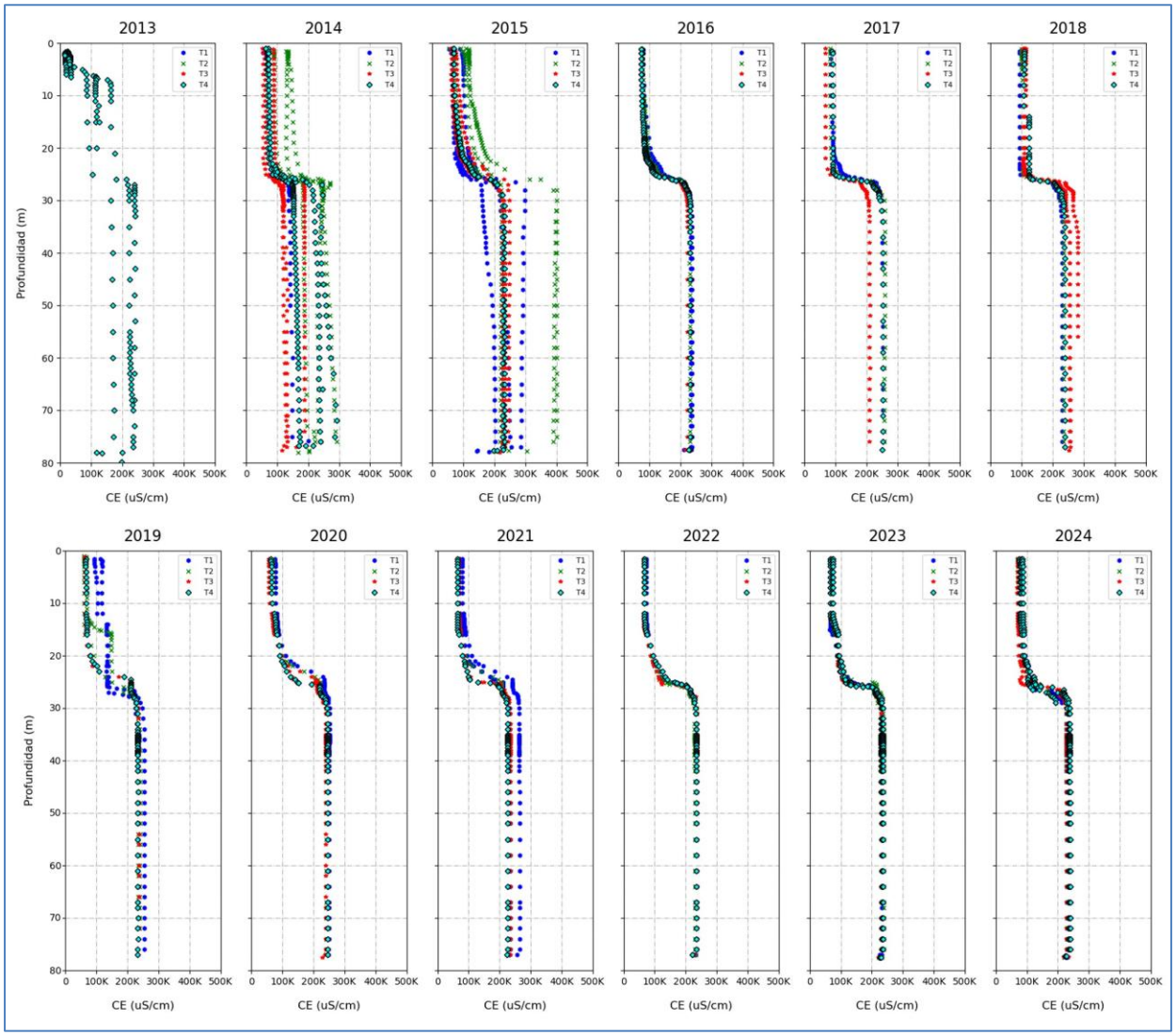
6.1.7.1.4 MP-05C

En general, el registro histórico muestra una posición de la base de la interfase salina estable, en torno a los 25 - 27 m de profundidad (Figura 6-69). 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, estabilizándose en los 30 metros de profundidad para valores sobre 200.000 µS/cm.

.

Figura 6-69 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-05C

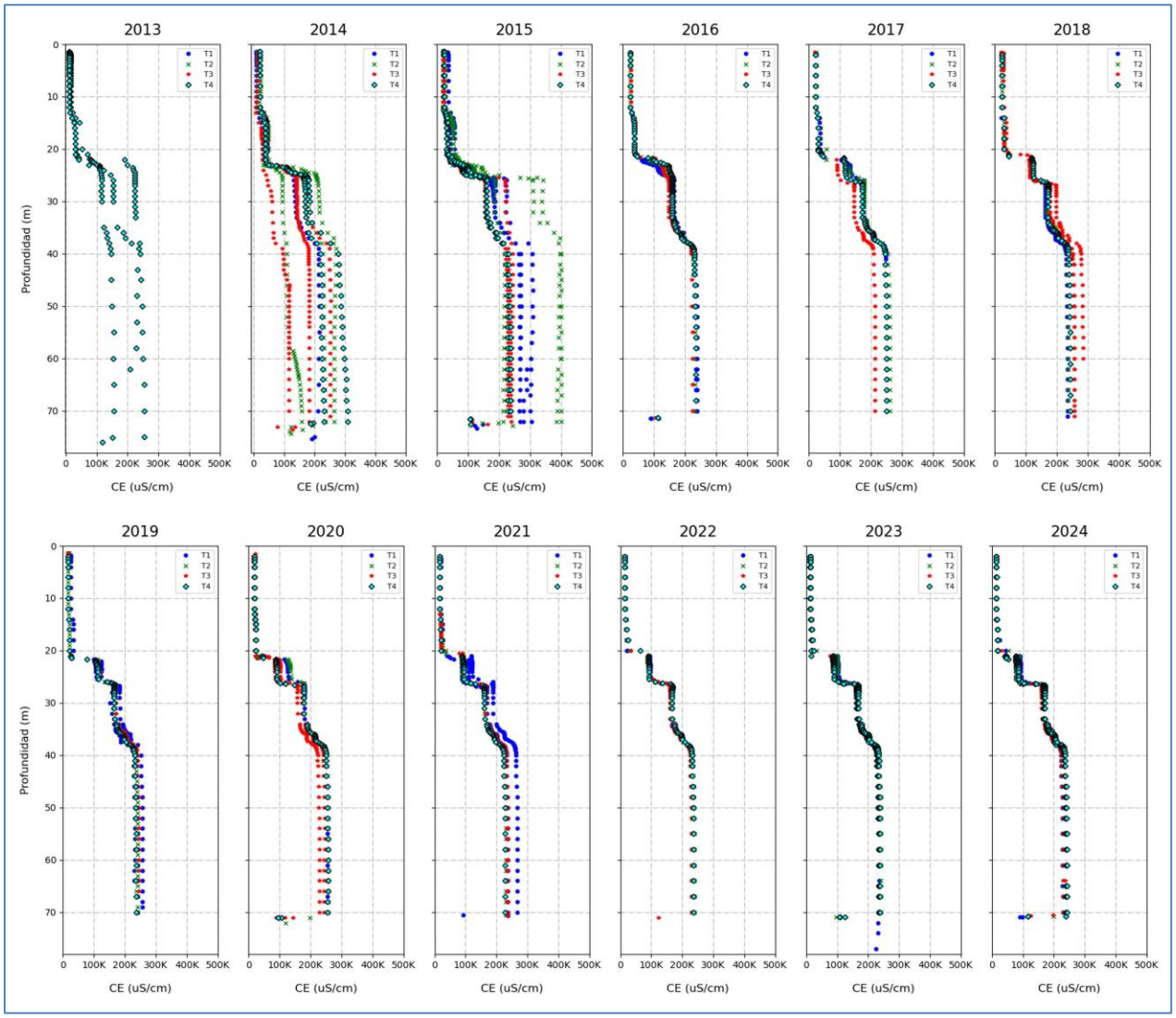


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.5 MP-06C

El registro histórico (Figura 6-70), así como los nuevos registros no muestran cambios con respecto a la posición de la interfase salina, mostrando un patrón escalonado entre los 20 y 40 m de profundidad, ubicándose la base de la interfase salina (salmuera) entre los 30 a 40 m, con valores superiores a 200.000 µS/cm.

Figura 6-70 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-06C

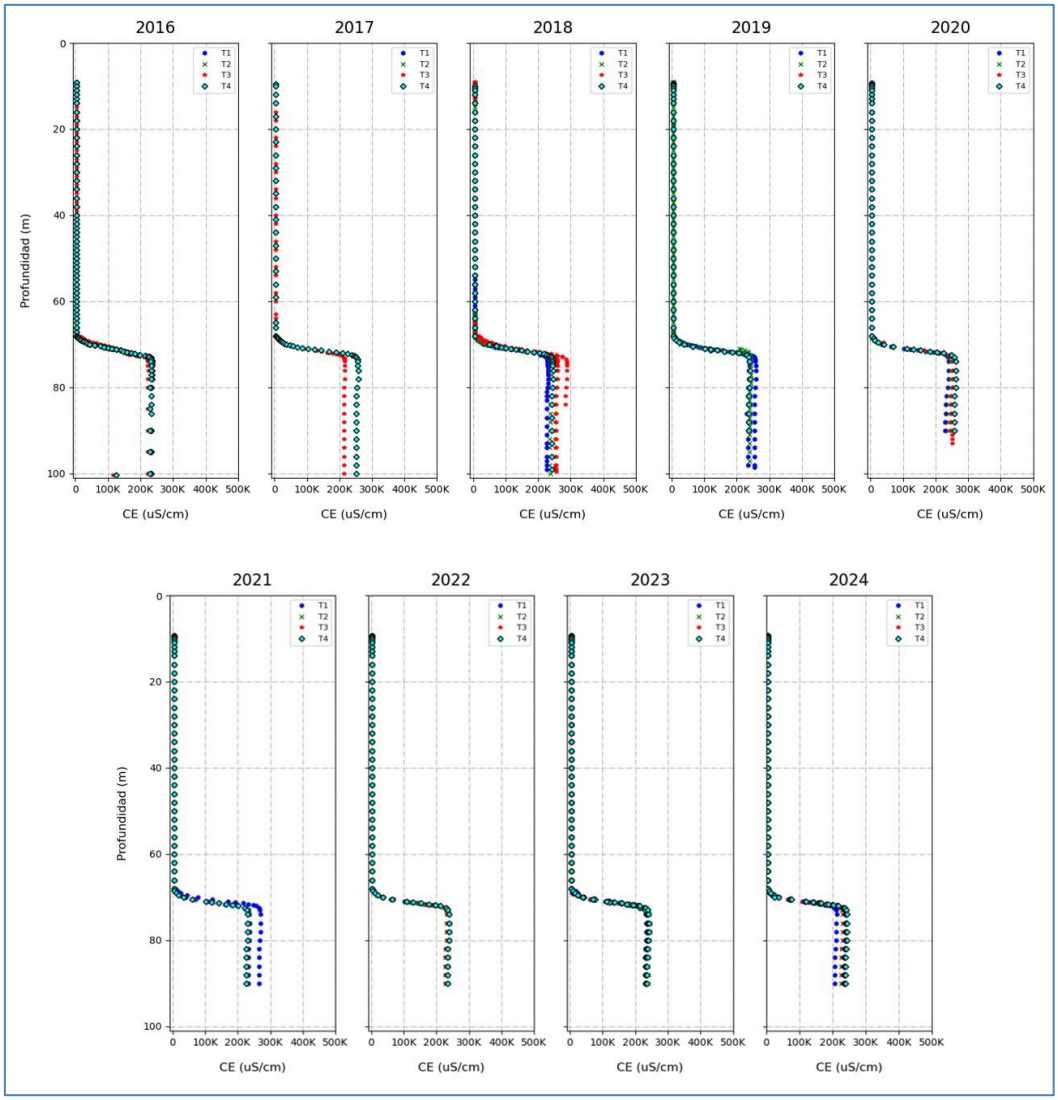


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.1.6 MP-09C

Los registros históricos muestran que la base de la interfase salina se encuentra a aproximadamente entre 70 y 73 m (valores de conductividad eléctrica sobre 200.000 µS/cm), con un aumento gradual de la conductividad eléctrica en un tramo de aproximadamente 3 m, no registrándose cambios desde el inicio del registro (Figura 6-71).

Figura 6-71 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-09C



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2 Sector Peine

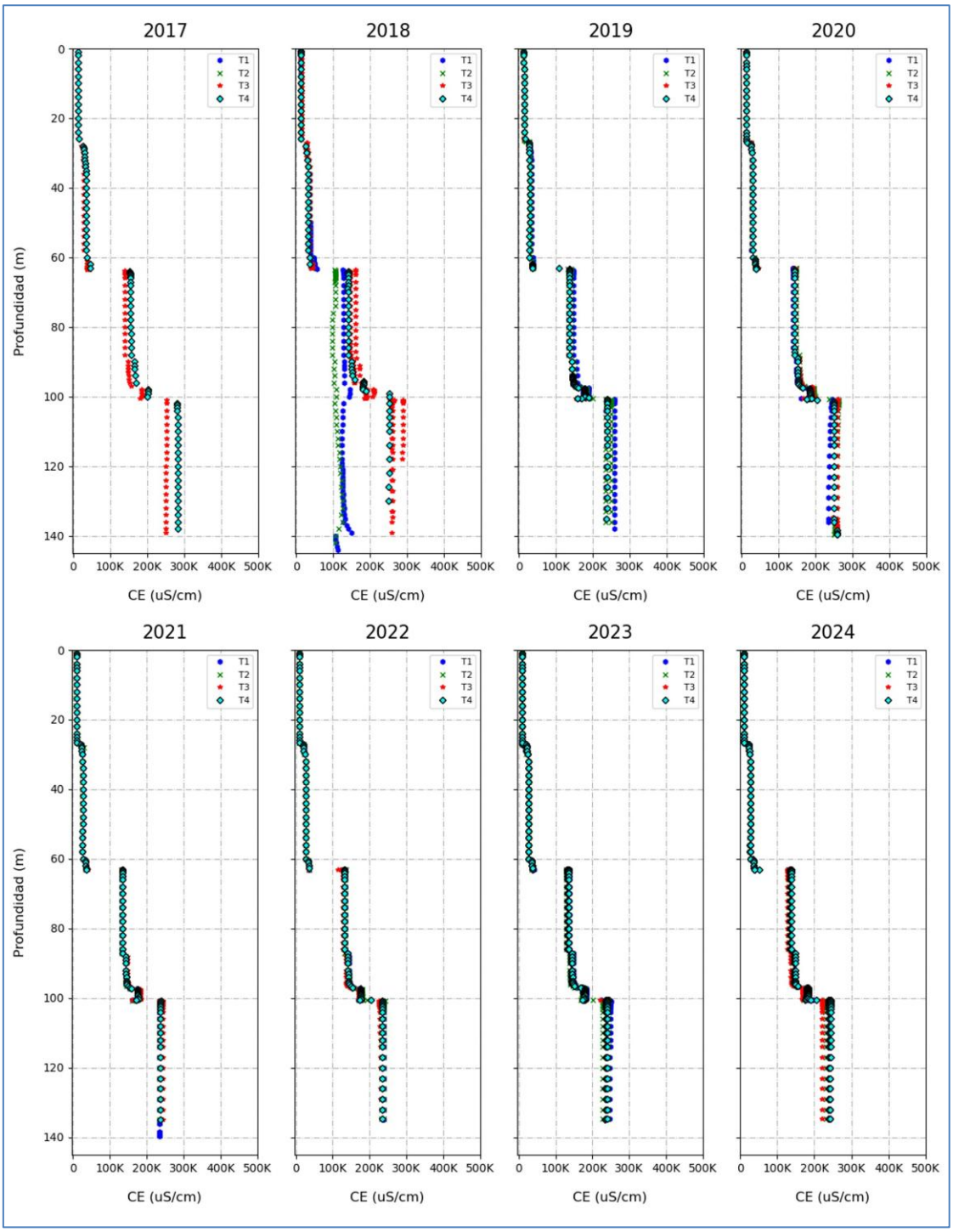
En el sector Peine se cuenta con los siguientes puntos: MP-07C-1, PP-01, PP-02, PP-03, MPS-AC y MPS-CC (ubicación en Figura 5-45).

A continuación, al igual que en todos los sectores, se muestra la descripción de los resultados obtenidos durante las campañas históricas y del año 2024, 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 6-72), se observa un notorio aumento escalonado en tres tramos de la conductividad eléctrica en todo el periodo de registro. No se observan cambios en la posición de la interfase salina en el registro histórico.

Figura 6-72 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MP-07C-1

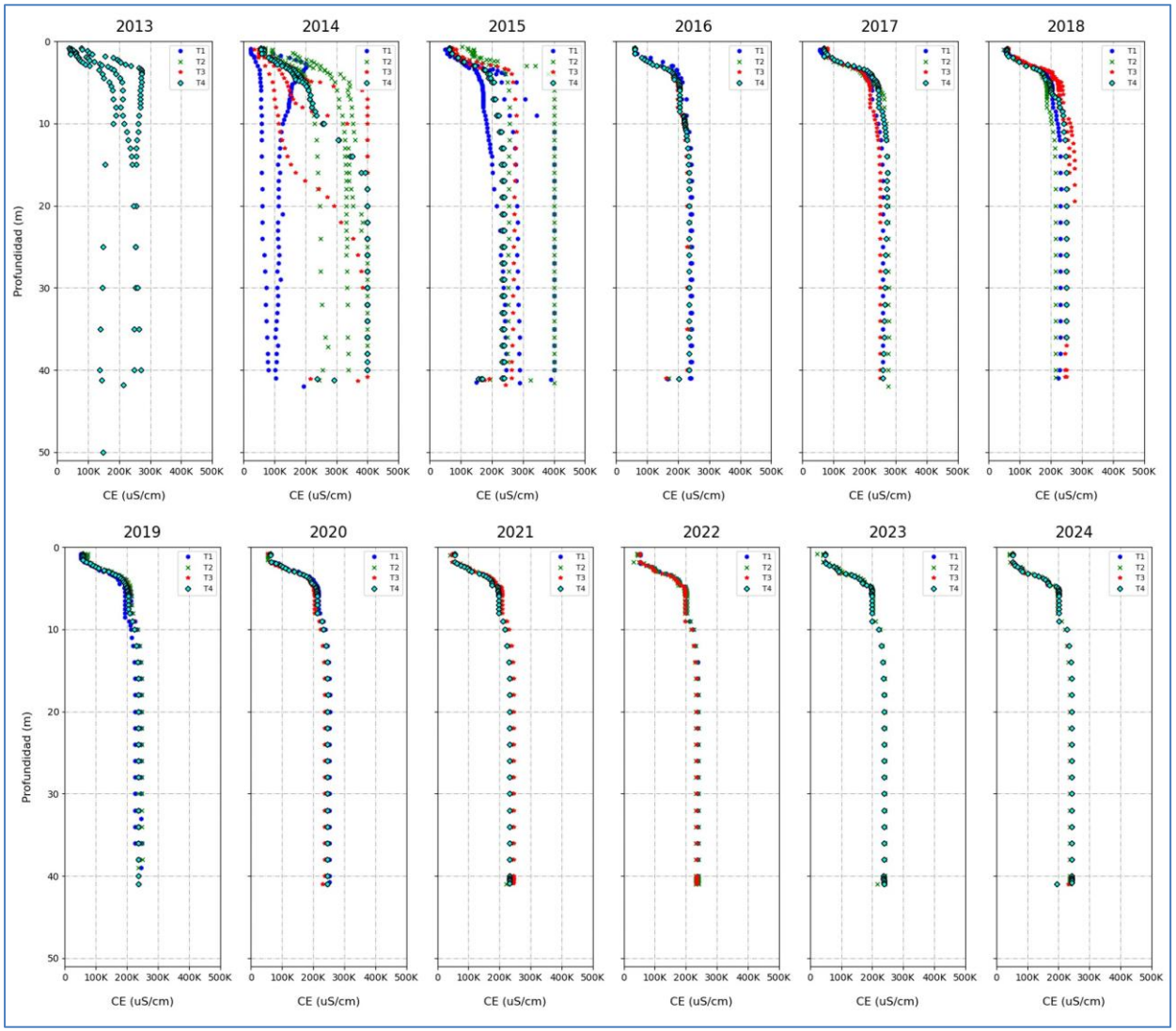


Fuente: Elaboración propia

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 la base de la interfase salina (de la salmuera) en torno a la profundidad de 5 a 7 m con valores superiores a 200.000 µS/cm (Figura 6-73), esta no ha variado en el periodo de registro.

Figura 6-73 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-AC



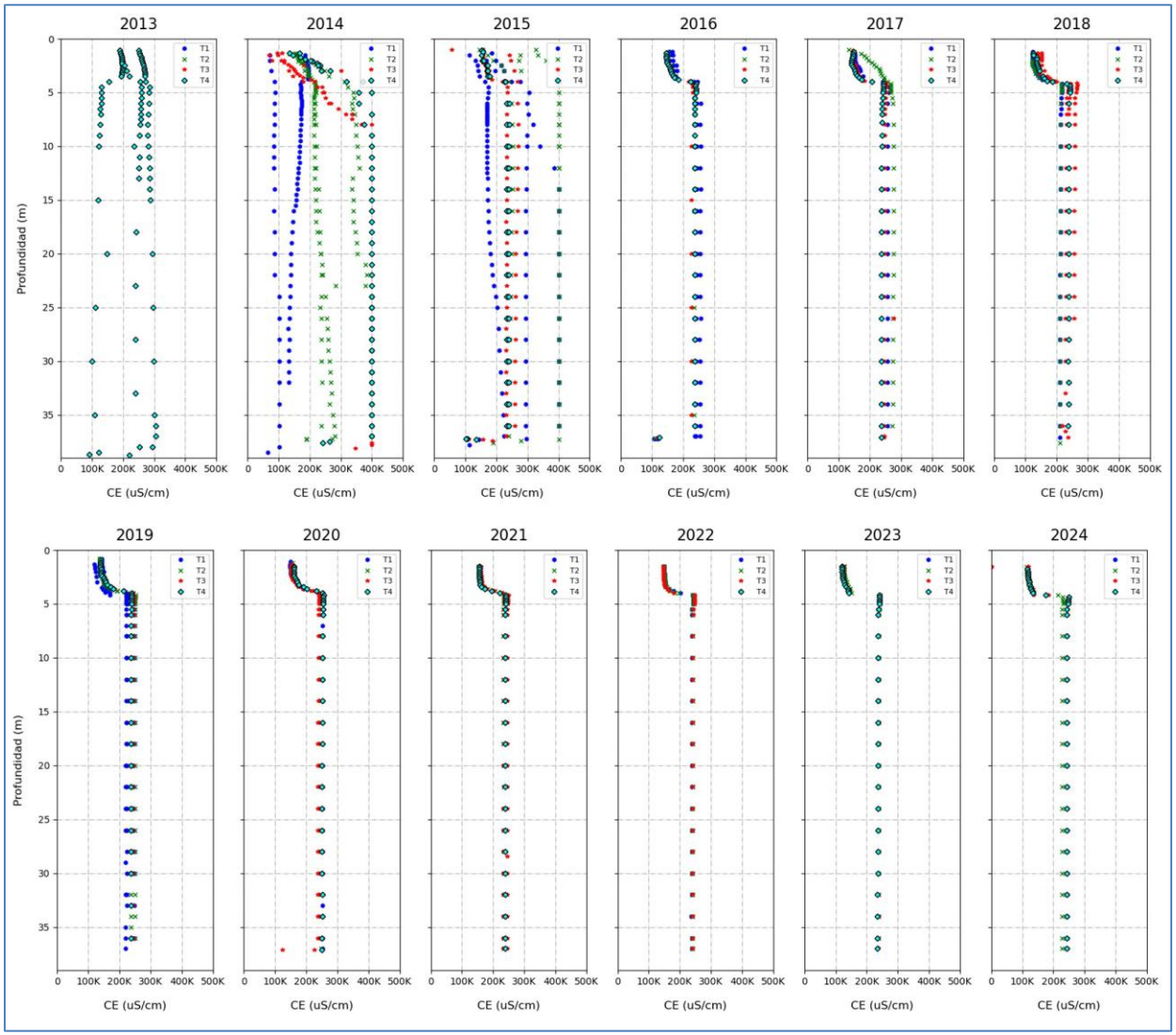
Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.3 MPS-CC

El registro histórico muestra una interfase en una posición estable, entre 3 y 5 m (Figura 6-74), 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 120.000 µS/cm, y alcanzado valores de la base de la interfase salina (mayores a 200.000 µS/cm) en torno a los 5 m de profundidad.

Figura 6-74 Perfiles Históricos de C.E. en el punto MPS-CC

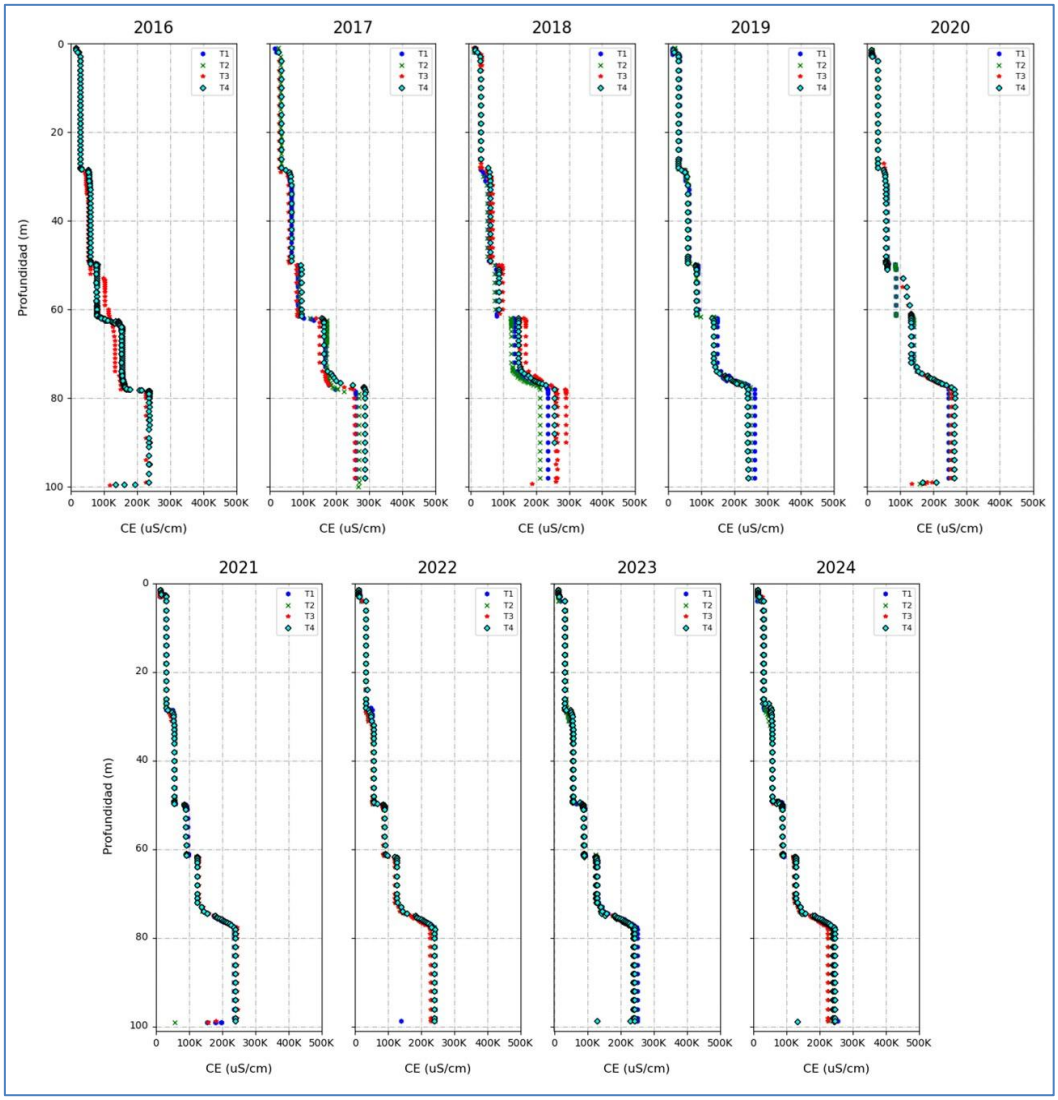


Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.4 PP-01

El comportamiento de este pozo se ha mantenido relativamente estable durante el registro histórico (Figura 6-75), aunque se observa mayor variación de conductividad en el año 2018. Identificándose la base de la interfase salina en torno 80 m de profundidad con valores superiores a 200.000 µS/cm.

Figura 6-75 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-01



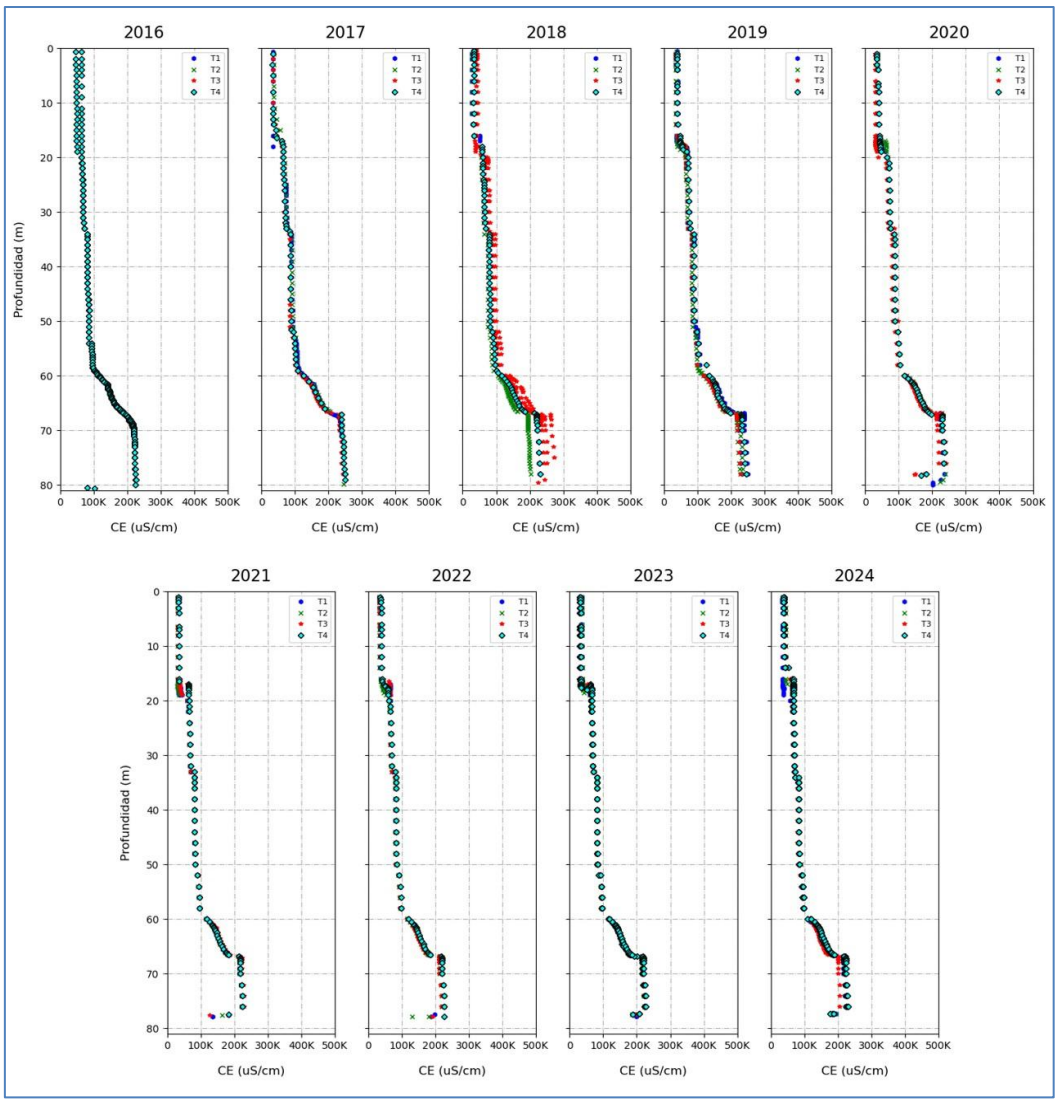
Fuente: Elaboración propia

6.1.7.2.5 PP-02

En la Figura 6-76, se presentan los registros históricos desde el año 2016 al año 2024, 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, a partir de aproximadamente los 67 m se registran valores superiores a los 200.000 µS/cm.

Figura 6-76 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-02



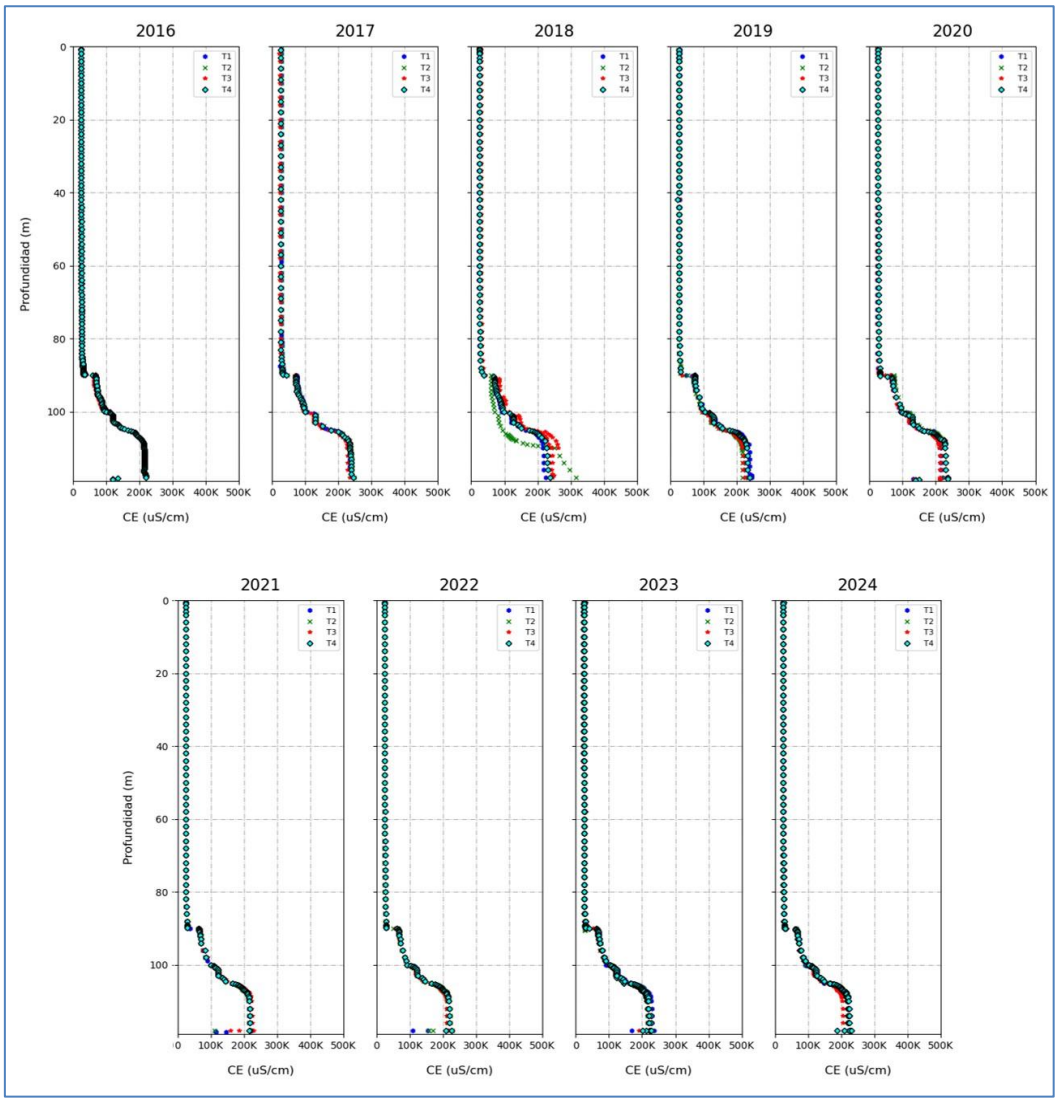
Fuente: Elaboración propia

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 6-77), 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 µS/cm.

Figura 6-77 Perfiles Históricos de C.E. en el punto PP-03



Fuente: Elaboración propia

6.1.7.3 Sector Norte y Borde Este

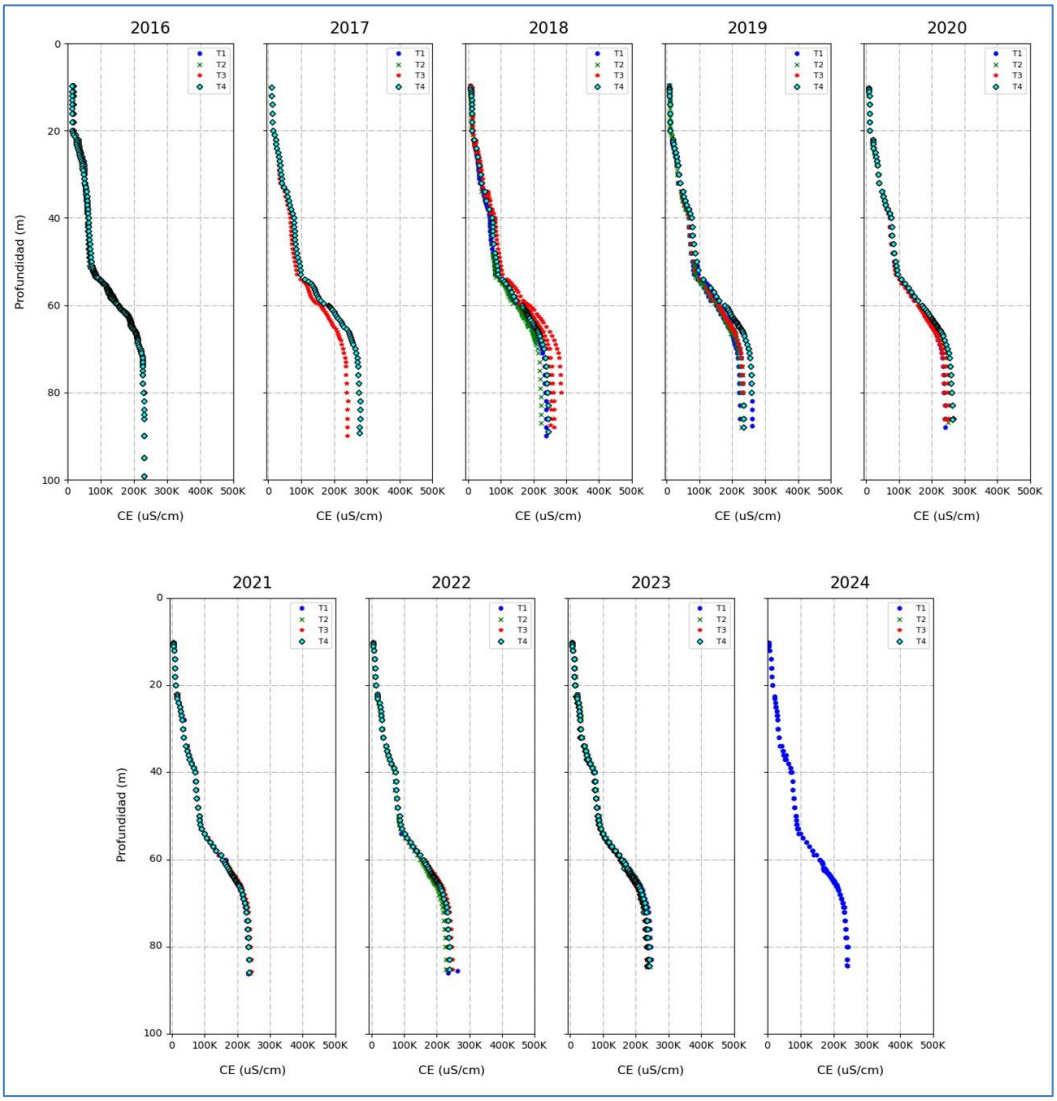
En la Figura 5-58se muestra la ubicación del punto comprometido para la medición de perfiles de conductividad eléctrica en el Norte y Borde Este, el cual corresponde al punto MP-12C.

A continuación, se muestran los registros de profundidad y conductividad eléctrica obtenidos en las campañas históricas hasta el año 2024.

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 , alcanzando valores superiores a 200.000 µS/cm. La interfase salina se ha mantenido constante desde la perforación del pozo (Figura 6-78). No obstante, en 2024 solo se cuenta con registros correspondientes al primer trimestre, ya que el resto del periodo no se realizaron mediciones debido a restricciones de acceso establecidas por la comunidad de Socaire, lo que impide un análisis completo de su comportamiento en este periodo.

Figura 6-78 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 ha mantenido en la misma posición.

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 5-61, Figura 5-74 y Figura 5-87. Además, se analiza en la presente sección, el límite comprometido para esta variable.

Como se menciona en la sección 5.8, 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),

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 Nº 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 µS/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 µS/cm de conductividad. El conjunto de puntos analizados históricamente en el Salar presenta una línea de tendencia según la siguiente relación TDS=0,95*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 µS/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 5-61 del Capítulo 5.8.3, del presente informe.

6.1.8.1.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

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 6-79, indican que las aguas superficiales de las lagunas presentan valores de pH mayores (básicos) que las aguas subterráneas, con medianas que varían entre 8,02 en LM-04 a 8,26 en LM-02. Las aguas dulce – salobres de este sector presentan rangos de pH intermedios (neutros), con medianas que varían entre 7,07 en MP-09A a 7,47 en MP-03A. Las salmueras son las que presentan en general el pH más bajo, con valores de medianas que varían entre 6,07 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).

Conductividad Eléctrica *in situ*

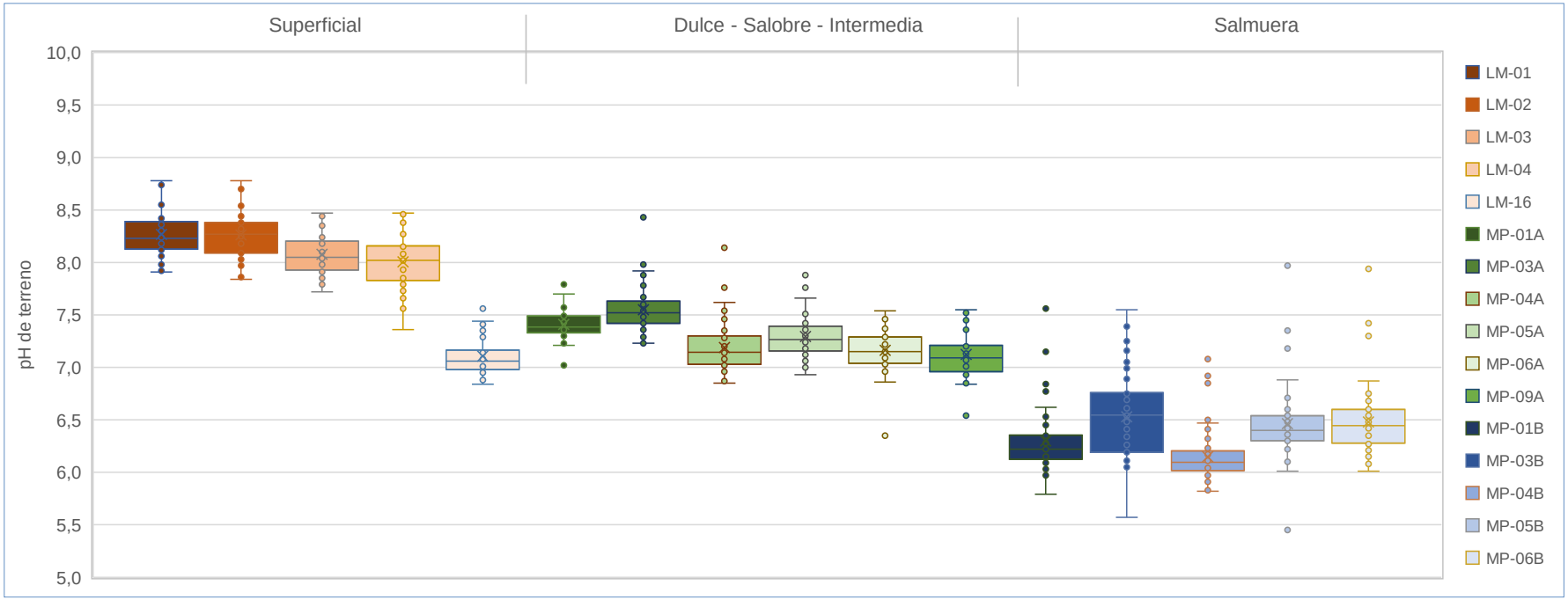
Respecto a la conductividad eléctrica (CE) del sector La Punta-La Brava (Figura 6-80), se aprecia que la salmuera (puntos “MP-XXB”) presenta mayor variabilidad que las aguas superficiales (“LM”) y que las aguas dulce – salobre (puntos “MP-XXA”), alcanzado típicamente valores por sobre los 200.000 µS/cm. Algunas muestras de salmuera (puntos MP-XXB), tienen valores que en el registro histórico son menores a 200.000 µS/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 208.700 µS/cm y los 242.200 µS/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 (dulce – salobres), este rango está dado por un P25 de 4.481 µS/cm (MP-09A) y un P75 de 42.585 µS/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 33.170 µS/cm y menores a 226.700 µS/cm (P75 de 151.800 µS/cm), lo que indica que en general son aguas dulce – salobres. En términos de la mediana, los puntos LM-01 y LM-02 presentan conductividades menores, con medianas en torno a 58.000 µS/cm, y los puntos LM-03 y LM-04 presentan medianas en torno a 106.000 µS/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 4.297 µS/cm.

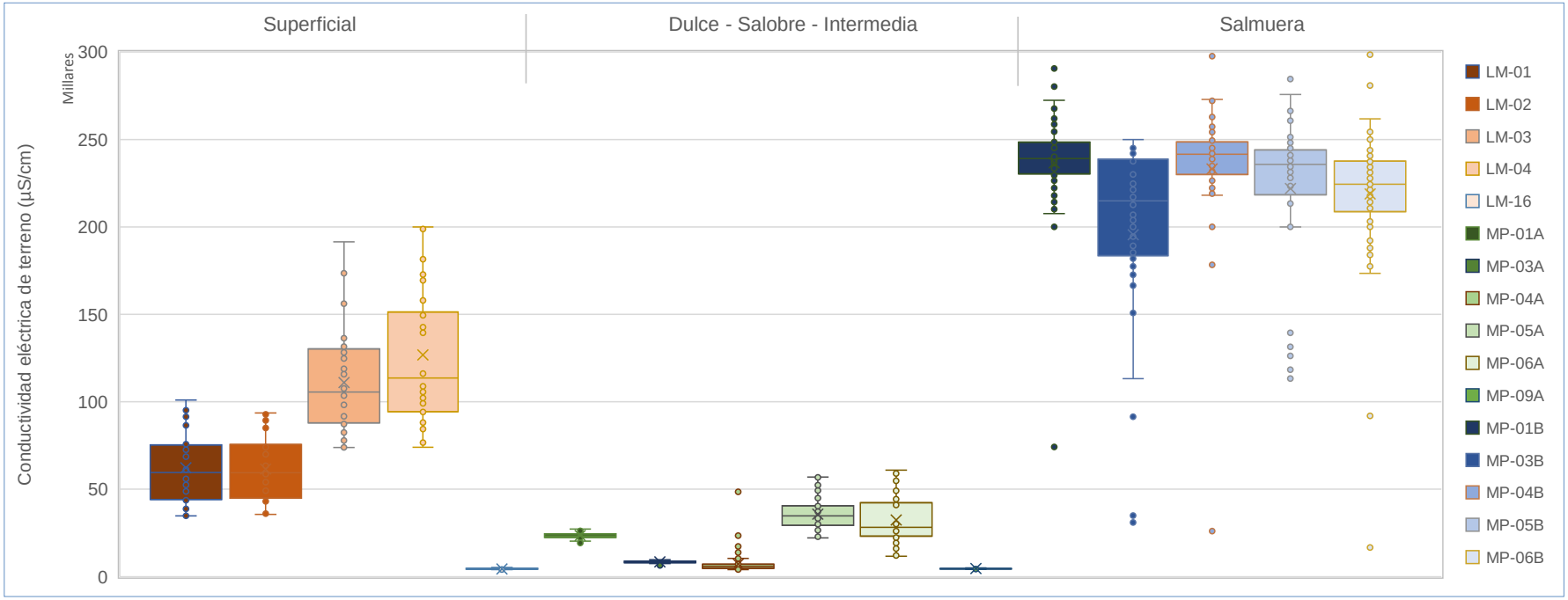
Figura 6-79 Diagrama de Caja, pH *in situ* histórico, Sector La Punta-La Brava



	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	51	45	51	51	48	73	77	81	80	53	50	79	78	80	53	80
Min	7,91	7,84	7,72	7,19	6,83	7,02	7,20	6,73	6,07	6,35	6,54	5,79	5,57	5,82	5,45	6,01
P25	8,15	8,13	7,95	7,82	6,96	7,32	7,37	7,02	7,16	7,03	6,94	6,12	6,24	6,00	6,25	6,28
Mediana	8,24	8,26	8,05	8,02	7,06	7,39	7,47	7,12	7,26	7,15	7,07	6,22	6,53	6,07	6,37	6,44
P75	8,39	8,39	8,18	8,16	7,17	7,48	7,61	7,26	7,38	7,27	7,20	6,31	6,71	6,17	6,50	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	7,55	7,08	7,97	7,94
RQ	0,24	0,26	0,23	0,34	0,21	0,16	0,24	0,24	0,22	0,24	0,26	0,19	0,47	0,17	0,25	0,32

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-80 Diagrama de Caja, Conductividad Eléctrica *in situ* 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	51	45	51	51	49	79	75	81	80	57	50	78	79	80	55	80
Min	33.170	33.400	65.710	64.500	4.043	19.271	6.474	4.003	22.150	11.720	4.188	74.190	31.030	26.100	33.720	16.630
P25	42.650	43.487	85.300	90.090	4.204	22.370	8.121	4.692	30.303	23.670	4.395	231.750	194.500	233.950	229.100	216.700
Mediana	56.260	59.400	103.600	110.600	4.297	23.250	8.650	5.629	34.000	28.817	4.481	240.400	208.700	242.200	235.800	224.850
P75	71.370	73.485	125.600	151.800	4.692	24.500	8.934	6.683	39.738	42.585	4.654	248.216	239.500	249.850	242.979	236.258
Max	101.000	93.600	191.400	226.700	5.200	27.160	9.870	48.540	234.400	60.930	5.654	290.647	253.600	297.600	284.567	298.560
RQ	28.720	29.998	40.300	61.710	488	2.130	813	1.991	9.435	18.915	259	16.466	45.000	15.900	13.879	19.558

Fuente: Elaboración propia

Variación Temporal de los parámetros *in situ*

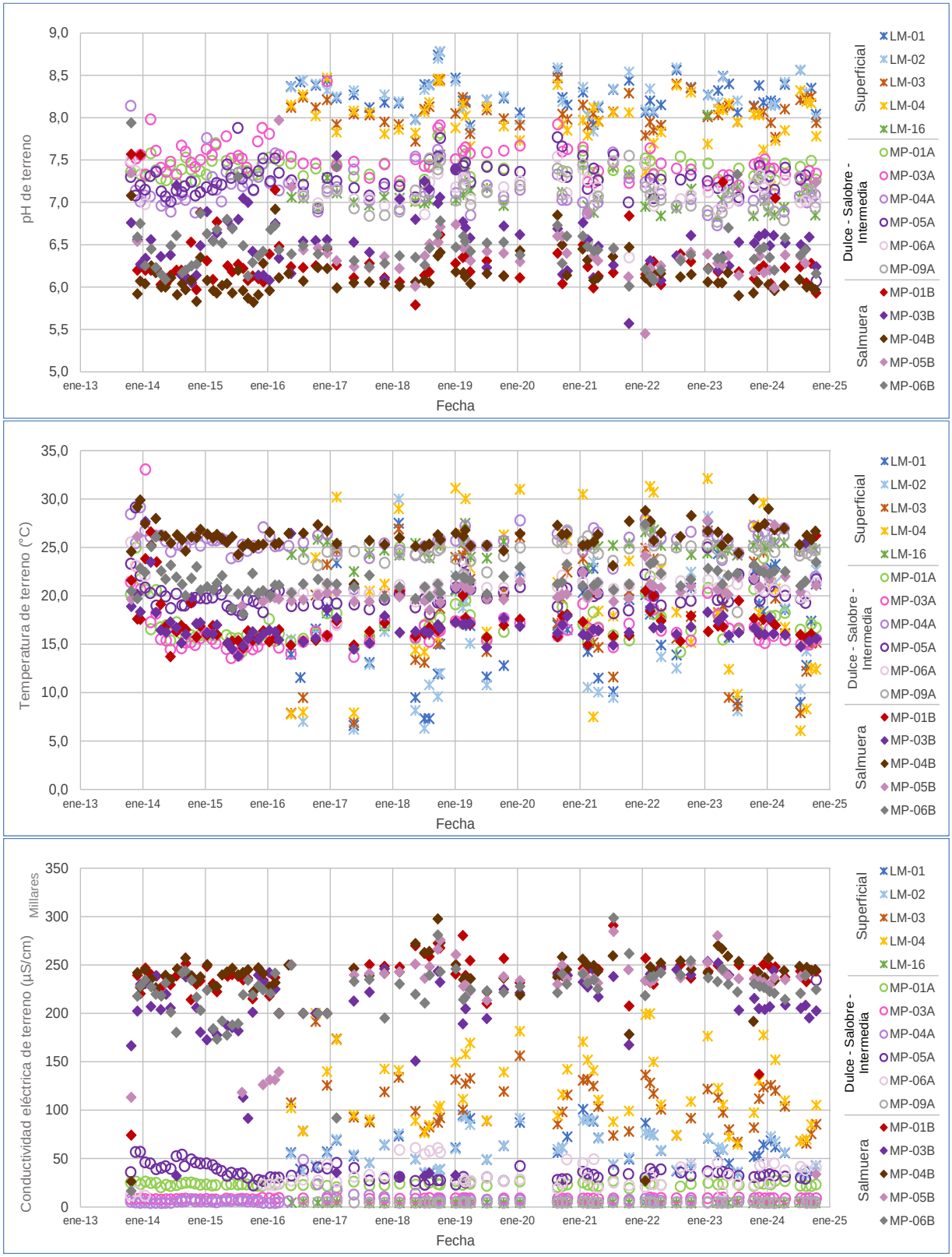
En esta sección se presentan los resultados del comportamiento temporal de estas variables, vale decir, se presenta gráficamente cuál ha sido la variación en el tiempo, representando los datos desde 2013 a 2024.

En la Figura 6-81 y Figura 6-82, se presenta la gráfica para los 5 parámetros in situ comprometidos: pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, 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 2024 tienen un comportamiento similar a los años anteriores, con variaciones estacionales que se expresan mayormente en las variables de temperatura y CE.

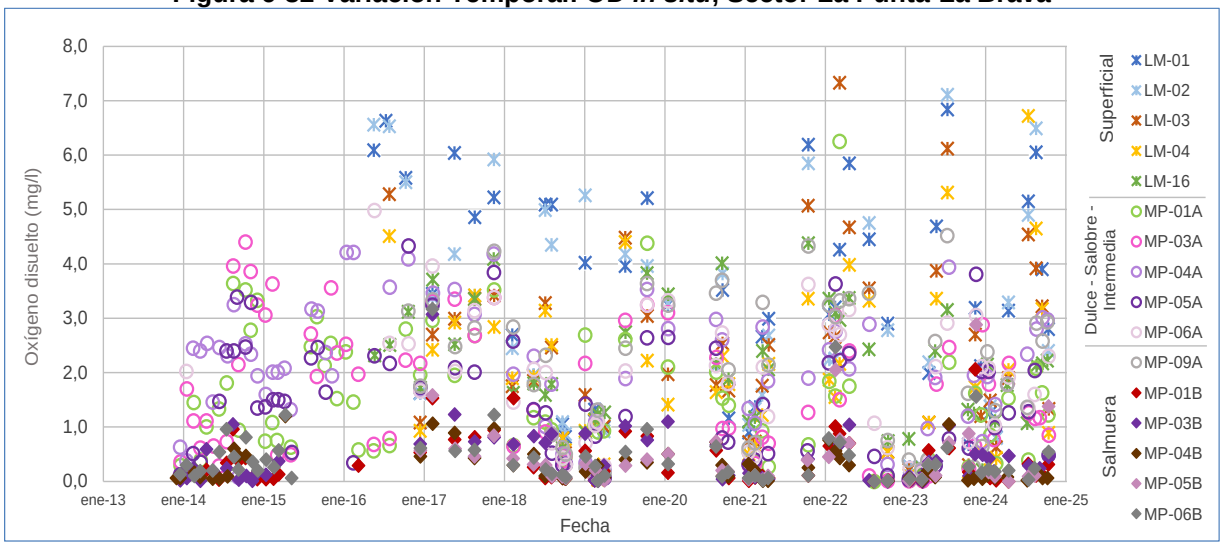
De manera general, el comportamiento de los parámetros in situ analizados durante el año 2023 se mantiene dentro de lo esperado, dentro de los rangos de la variación natural y estacional.

Figura 6-81 Variación Temporal: pH, Temperatura y CE *in situ*, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-82 Variación Temporal: OD *in situ*, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.1.2 Parámetros Fisicoquímicos de laboratorio

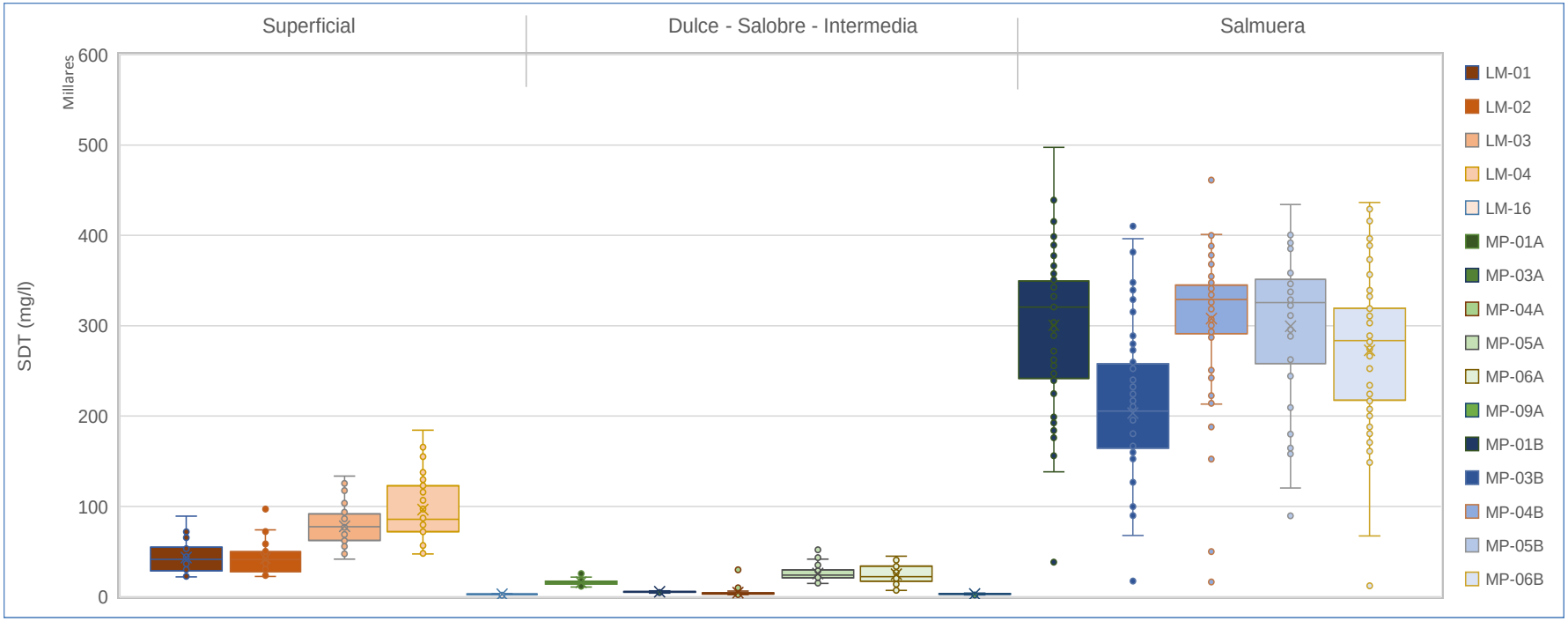
Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

En la Figura 6-83 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 117.935 mg/l en LM-04. Para las aguas subterráneas someras (dulce – salobre) los SDT son generalmente menores a los 51.890 mg/l en MP-05A.

Densidad

Respecto a la densidad, cuyos resultados se presentan en la Figura 6-84, los valores para las salmueras son mayores que las aguas dulce – salobres, con medianas entre los 1,190 y 1,206 g/ml. Las aguas dulce – salobres, como es de esperar por la menor carga de material disuelto, tienen medianas entre 1,000 g/ml y 1,012 g/ml. Las aguas superficiales de las lagunas tienen densidades que se circunscriben entre las de las salmueras y las aguas dulce – salobres, siendo mmás cercanas a estas ultimas, con densidades entre 1,000 g/ml y 1,060 g/ml.

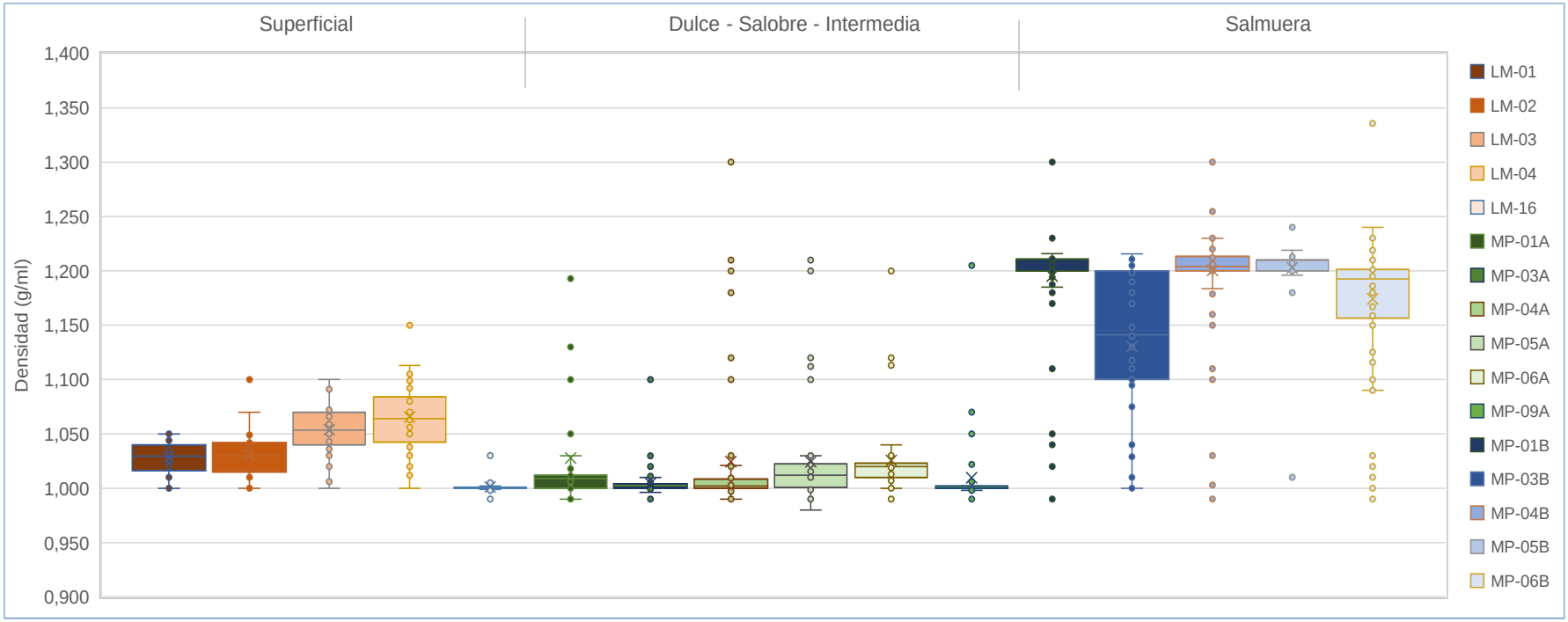
Figura 6-83 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	51	45	51	50	51	80	78	81	79	53	50	80	79	81	52	80
Min	22.050	22.080	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	28.138	27.456	60.900	62.100	2.530	14.070	5.025	2.964	21.060	17.450	2.729	239.505	170.600	292.073	263.096	218.741
Mediana	38.200	38.940	74.240	86.084	2.655	15.230	5.350	3.568	23.380	24.967	2.963	318.750	208.700	332.133	325.547	276.344
P75	48.200	50.200	92.133	117.935	2.920	16.764	6.055	4.217	28.600	33.388	3.293	346.175	241.650	344.338	351.430	315.455
Max	89.200	97.033	133.433	268.100	3.440	25.450	9.860	29.800	51.890	44.900	4.400	497.350	410.192	461.194	434.100	436.392
RQ	20.062	22.744	31.233	55.835	390	2.694	1.030	1.253	7.540	15.938	564	106.670	71.050	52.265	88.334	96.714

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-84 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector La Punta-La Brava



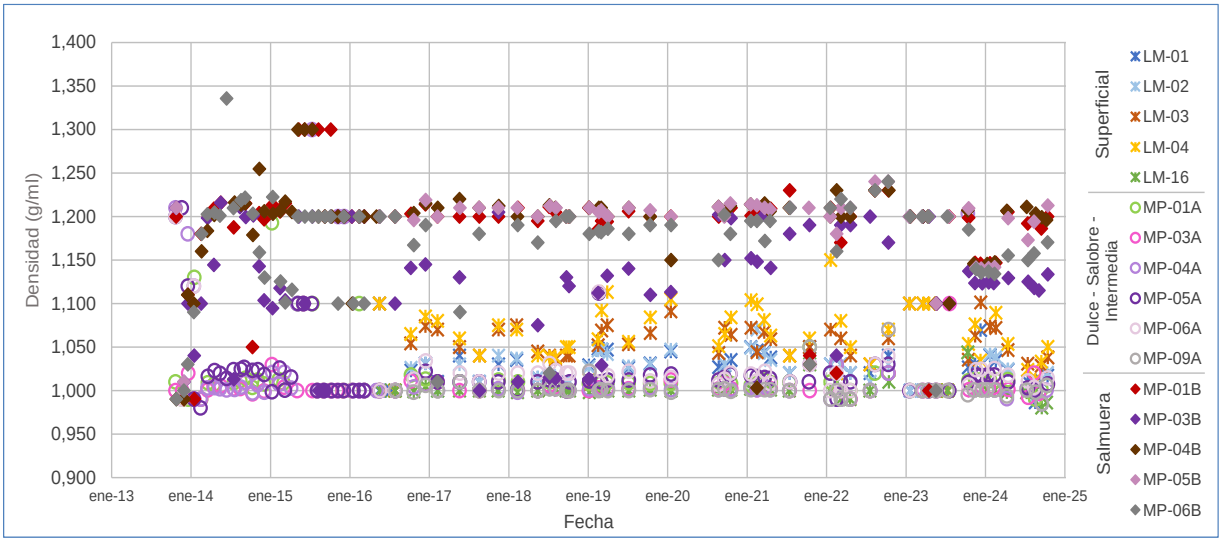
	LM-01	LM-02	LM-03	LM-04	LM-16	MP-01A	MP-03A	MP-04A	MP-05A	MP-06A	MP-09A	MP-01B	MP-03B	MP-04B	MP-05B	MP-06B
N° Datos	51	45	51	51	51	78	78	80	79	53	50	79	78	80	52	80
Min	0,986	0,994	1,000	1,000	0,333	0,333	0,333	0,333	0,980	0,990	0,333	0,990	1,000	0,990	1,010	0,990
P25	1,010	1,010	1,038	1,040	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,007	1,000	1,195	1,100	1,200	1,200	1,142
Mediana	1,027	1,028	1,052	1,060	1,000	1,009	1,001	1,001	1,012	1,018	1,000	1,200	1,133	1,201	1,206	1,190
P75	1,038	1,040	1,070	1,085	1,001	1,012	1,004	1,006	1,019	1,023	1,001	1,210	1,200	1,211	1,210	1,200
Max	1,070	1,100	1,101	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	0,028	0,030	0,032	0,045	0,001	0,012	0,004	0,006	0,019	0,016	0,001	0,015	0,100	0,011	0,010	0,058

Fuente: Elaboración propia

Variación Temporal de los parámetros fisicoquímicos de Laboratorio

En la Figura 6-85, 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 2024 se comportan dentro de la variabilidad natural histórica, aunque solo se observan variaciones estacionales de años anteriores en aguas superficiales.

Figura 6-85 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector La Punta-La Brava

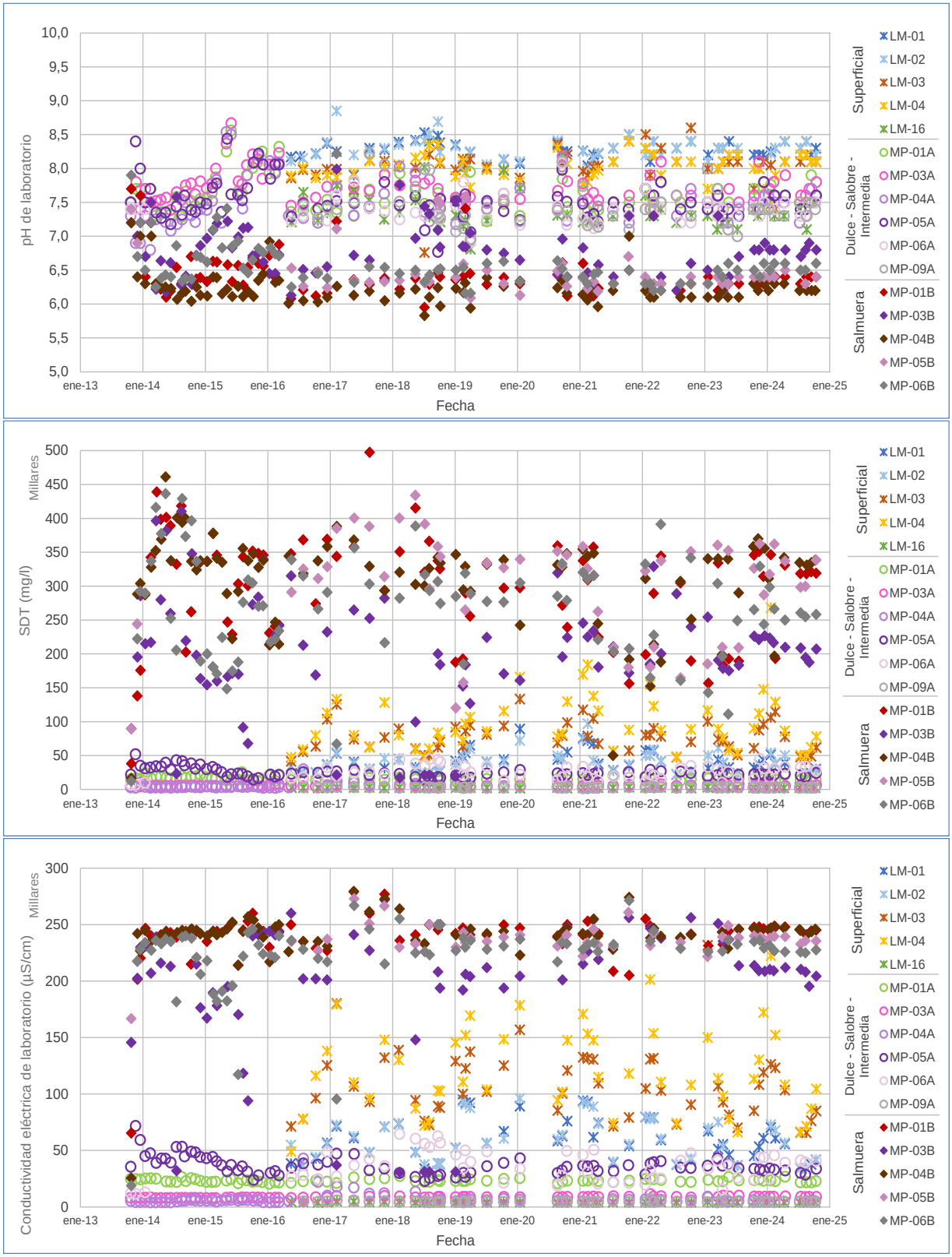


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-86, 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 2024 se comporta dentro de los registros históricos.

Como se mencionó anteriormente, para el presente periodo de reporte, 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. Sin embargo, cabe señalar que ya desde el monitoreo de abril de 2023 hasta el presente periodo, 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 6-86 Variación Temporal: pH, SDT, CE en laboratorio, Sector La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.1.3 Elementos Mayoritarios Disueltos

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 6-87 a Figura 6-90. 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 20.474 mg/l (LM-02) y 48.676 mg/l (LM-04). Para el punto LM-16, la concentración de cloruros es menor a los anteriores, con mediana de 966 mg/l. Por otro lado, las aguas dulce – salobres presentan valores menores a las aguas superficiales lagunares, con rango de mediana entre 1.048 mg/l para MP-09A y de 12.046 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 124.959 mg/l para MP-03B hasta los 187.662 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 1.309 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 237 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 215 mg/l en MP-04B, hasta el P75 máximo de 698 mg/l en LM-03. En el año 2024 los valores se sitúan dentro de los rangos históricos.

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 dulces – salobres, los valores son bajos y similares entre ellos. En 2024 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 121 mg/l, consistentes con los valores alcanzados años anteriores.

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 dulce – salobres y para la salmuera, con mediana que varían entre 427 mg/l (MP-09A) hasta 1.505 mg/l (MP-05A) para el caso de las aguas dulce – salobres, y entre 8.194 mg/l (MP-01B) hasta 17.840 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 dulce – salobres como en el caso de las lagunas. En general, las concentraciones de sulfato durante el 2024 se encuentran dentro de los rangos naturales y variaciones estacionales típicas, registrándose, sin embargo, un máximo de concentraciones en octubre en MP-05B (de 17.898 mg/l).

Durante el año 2024 se registran valores anómalos, que escapan de la tendencia de los demás puntos y datos, que para el sulfato corresponden al "valor atípico de febrero de 0,037 mg/l en MP-01B", marcado como "0" en la Figura 6-91.

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 6-91 a Figura 6-94.

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 dulce – 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 144 mg/l (LM-16) a 844 mg/l (LM-04), para las aguas dulce – salobres entre 133 mg/l (MP-03A) a 201 mg/l (MP-06A) y, para la salmuera, entre 354 mg/l (MP-05B) a 842 mg/l (MP-03B). En 2024 los valores de calcio disuelto se mantienen dentro del rango histórico.

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 17.513 mg/l en MP-04B.

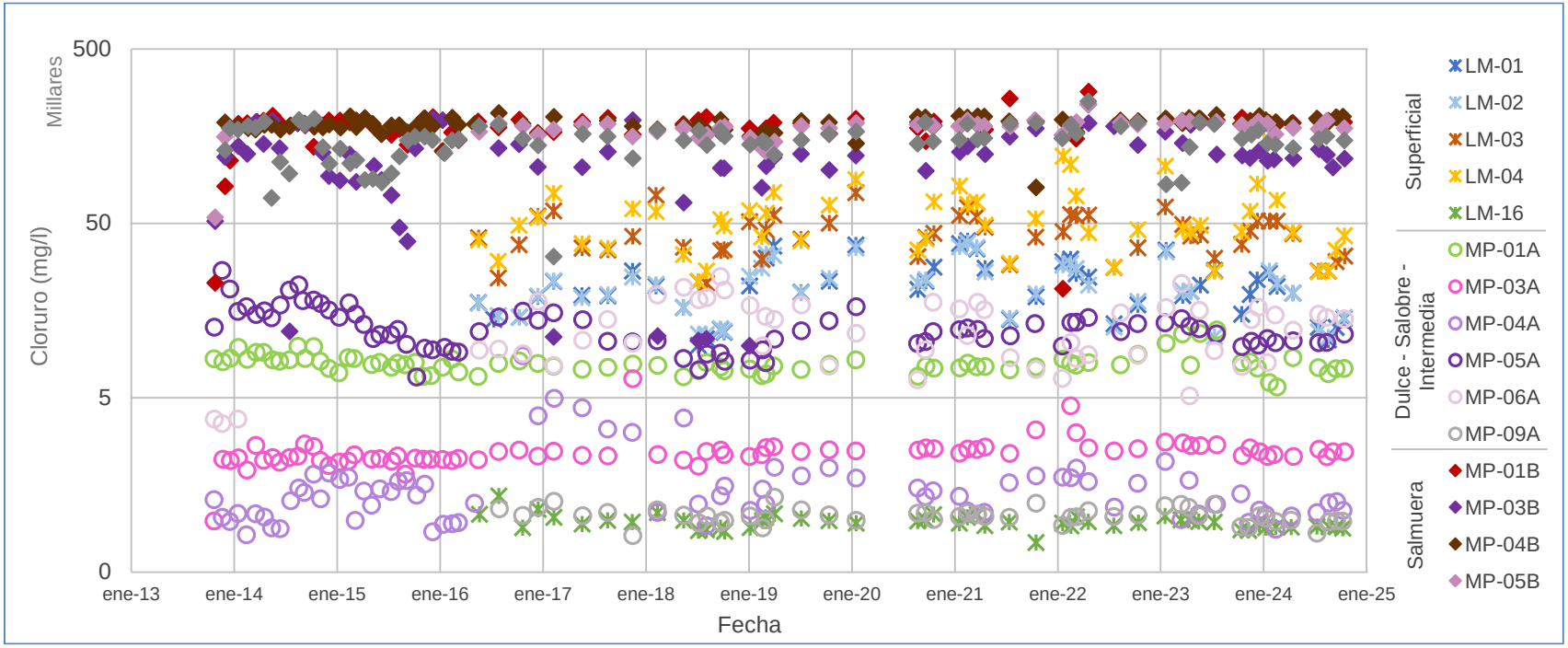
Por otra parte, se observa que en el punto LM-16 las concentraciones de potasio muestran valores bajos llegando a un valor de mediana de 79 mg/l, posiblemente un dato anómalo. En el 2024 las concentraciones se comportan dentro de los rangos de variación naturales.

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 dulce – salobre), los rangos de mediana varían entre 602 mg/l (MP-09A) y 6.128 mg/l (MP-05A). Le siguen las lagunas, con variaciones de mediana entre 10.400 mg/l (LM-02) hasta 25.441 mg/l (LM-04), pero LM-16 sigue manteniendo concentraciones más bajas que las anteriores, con mediana de 546 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 66.414 mg/l (MP-03B) hasta llegar a 97.144 mg/l (MP-04B). Los valores reportados para el año 2024 se encuentran dentro de los rangos de variación históricos.

De manera general, entre las aguas superficiales, dulce – 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 2024 se mantuvieron dentro de la variación natural en relación con los rangos registrados en años anteriores.

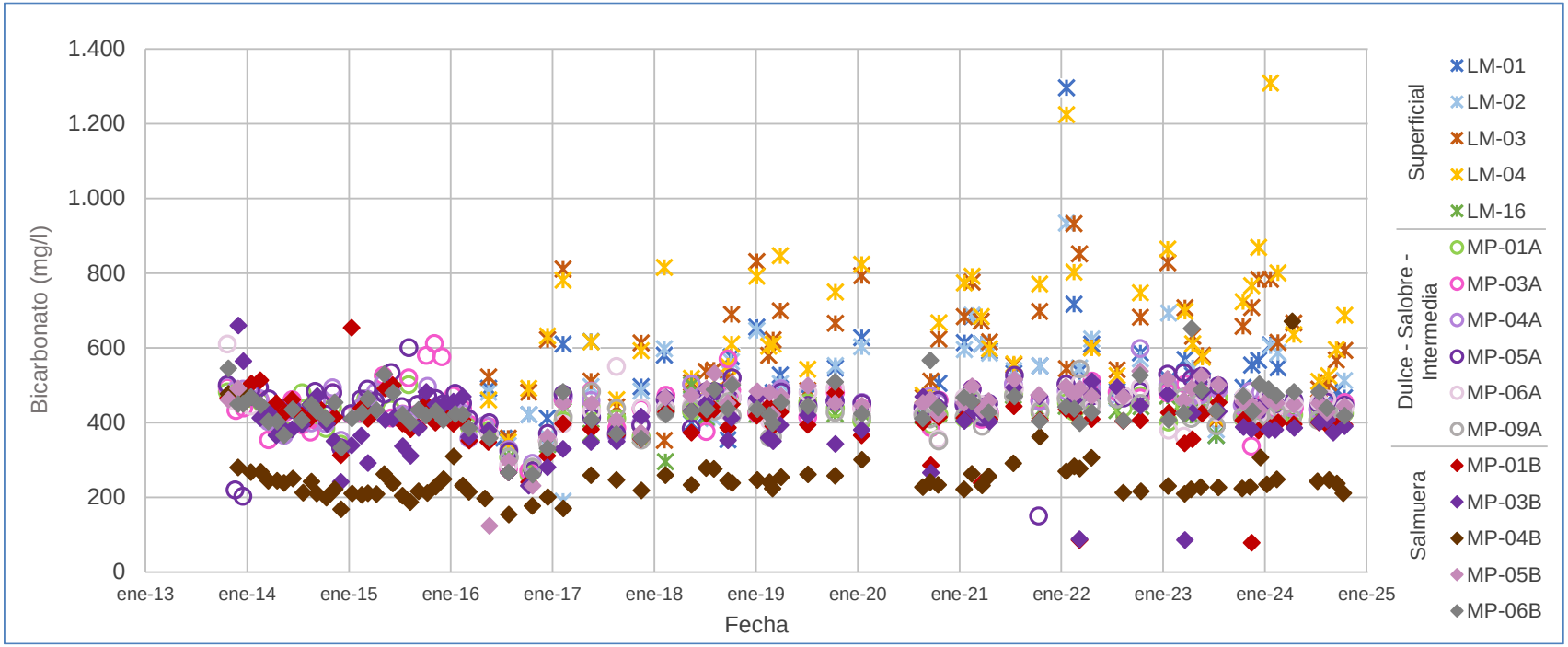
Figura 6-87 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	51	45	51	51	51	80	79	80	80	53	50	79	79	80	52	79
Min	9.969	11.109	22.693	23.250	738	5.749	982	818	6.570	3.550	810	21.088	9.917	80.225	54.152	32.176
P25	15.041	14.625	34.789	38.275	907	7.352	2.219	1.080	10.350	8.613	988	166.929	103.602	177.934	167.710	134.910
Mediana	20.845	20.474	42.229	48.676	966	7.728	2.359	1.356	12.046	12.199	1.048	187.662	124.959	185.847	180.810	151.690
P75	26.831	27.126	51.637	66.279	1.016	8.248	2.549	1.693	14.463	16.473	1.107	194.801	176.623	199.740	188.061	172.454
Max	39.738	38.738	74.927	149.830	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	11.790	12.501	16.848	28.004	109	896	330	613	4.113	7.860	119	27.872	73.021	21.806	20.351	37.544

Fuente: Elaboración propia

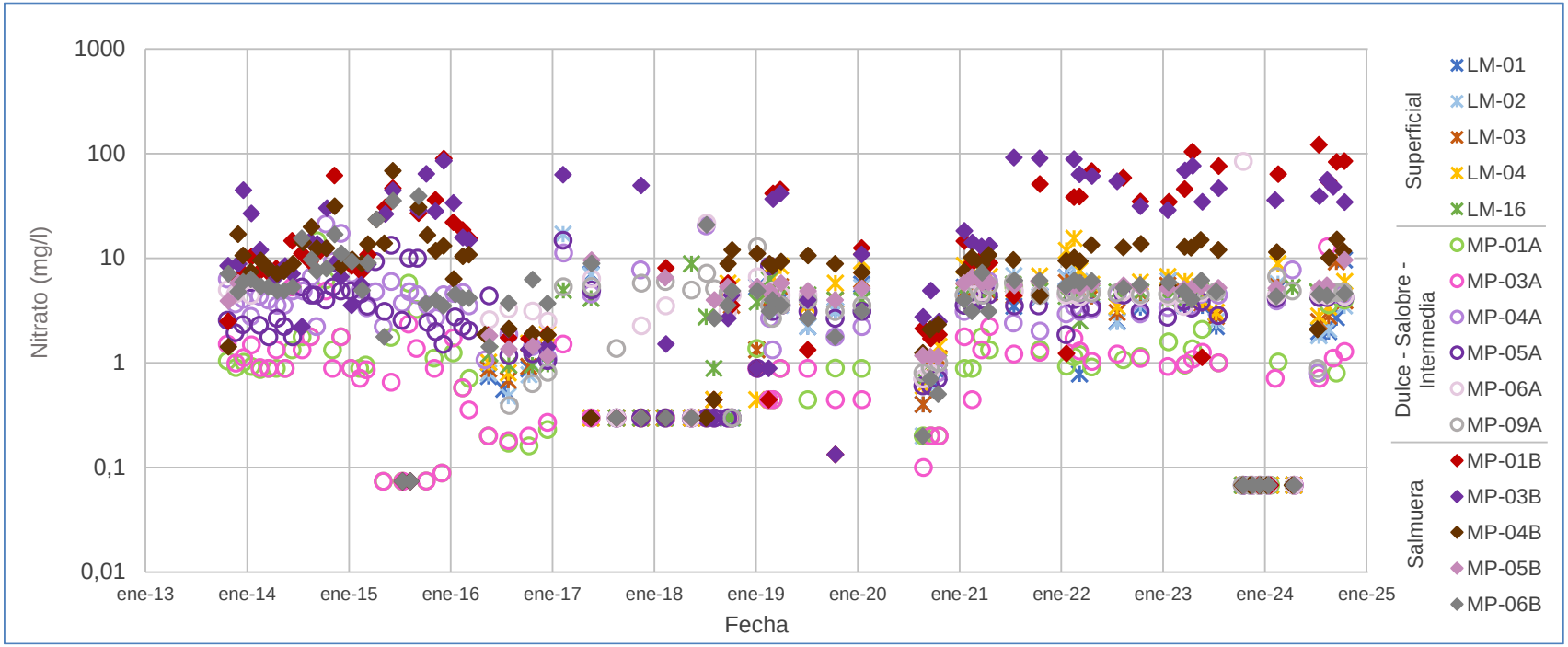
Figura 6-88 Variación Temporal: HCO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	51	44	51	51	51	79	79	81	80	53	50	80	78	81	52	79
Min	353,8	189,0	352,6	348,2	280,8	260,8	270,8	290,9	150,4	280,8	280,8	78,1	85,6	153,9	123,5	260,8
P25	438,0	434,4	518,5	524,6	413,6	411,1	422,0	424,0	435,5	425,8	410,6	385,8	360,3	215,1	444,4	407,4
Mediana	516,1	499,9	614,9	610,9	424,6	429,4	447,7	453,8	457,4	445,3	423,3	408,5	403,2	236,7	460,5	431,1
P75	586,2	586,5	697,8	773,5	445,3	453,0	476,1	475,6	482,8	467,3	449,7	435,5	449,1	260,0	490,4	467,3
Max	1.295,8	934,2	932,6	1.309,1	500,2	508,5	612,0	598,6	600,1	610,0	543,4	653,9	660,0	671,0	537,7	651,8
RQ	148,2	152,1	179,3	248,9	31,7	41,9	54,1	51,6	47,3	41,5	39,1	49,7	88,8	44,9	46,0	59,9

Fuente: Elaboración propia

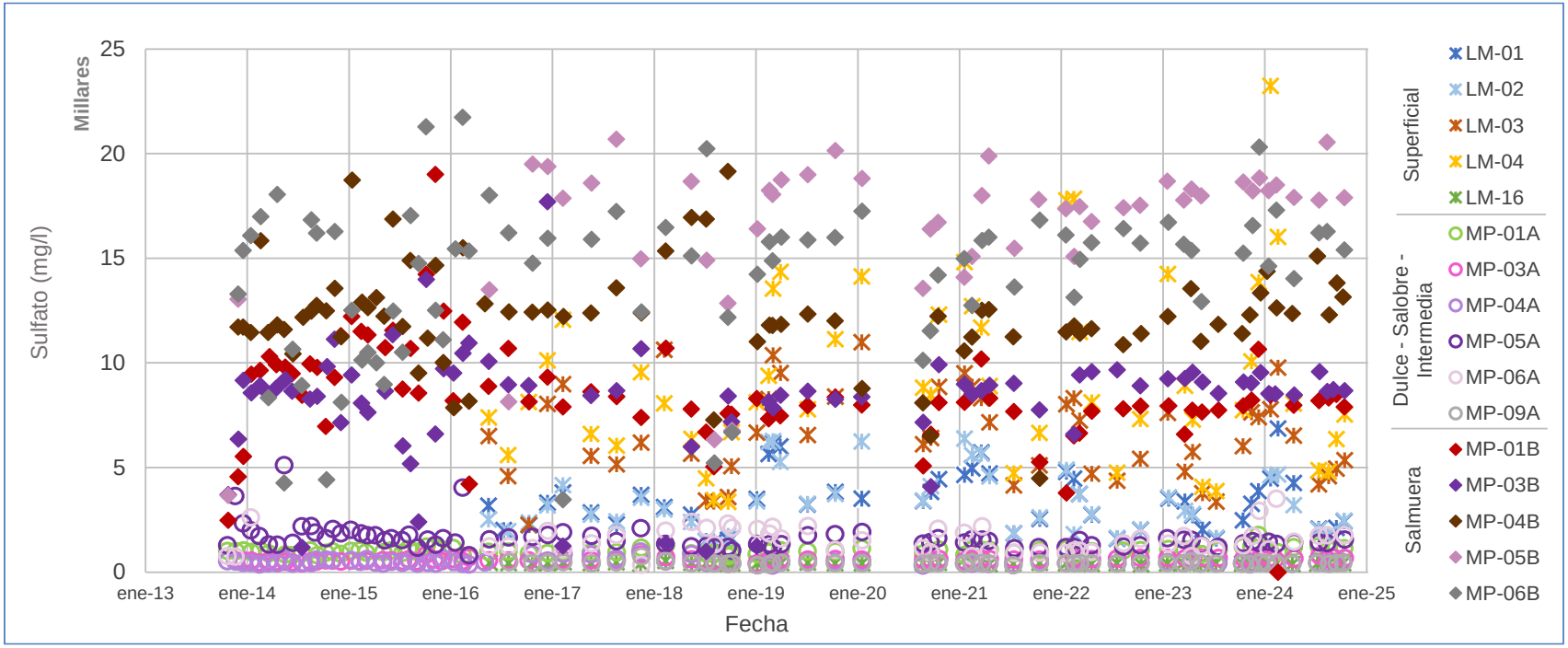
Figura 6-89 Variación Temporal: NO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	50	45	49	50	51	79	78	81	80	51	50	77	78	80	49	79
Min	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
P25	0,30	0,39	0,42	0,44	0,95	0,30	0,30	1,82	1,29	3,10	1,28	1,52	2,18	2,08	1,40	3,10
Mediana	2,37	3,10	3,10	3,73	4,12	0,89	0,89	3,54	3,10	4,38	4,57	8,41	12,44	9,10	5,15	4,60
P75	4,88	4,94	4,71	6,56	4,61	1,33	1,27	4,58	4,21	4,70	4,93	35,42	37,36	12,29	5,49	6,13
Max	9,61	17,01	9,21	15,44	8,81	14,61	12,79	21,25	14,79	84,30	12,89	121,43	91,90	68,61	9,61	39,40
RQ	4,58	4,55	4,29	6,12	3,66	1,03	0,97	2,76	2,92	1,60	3,65	33,90	35,18	10,21	4,09	3,03

Fuente: Elaboración propia

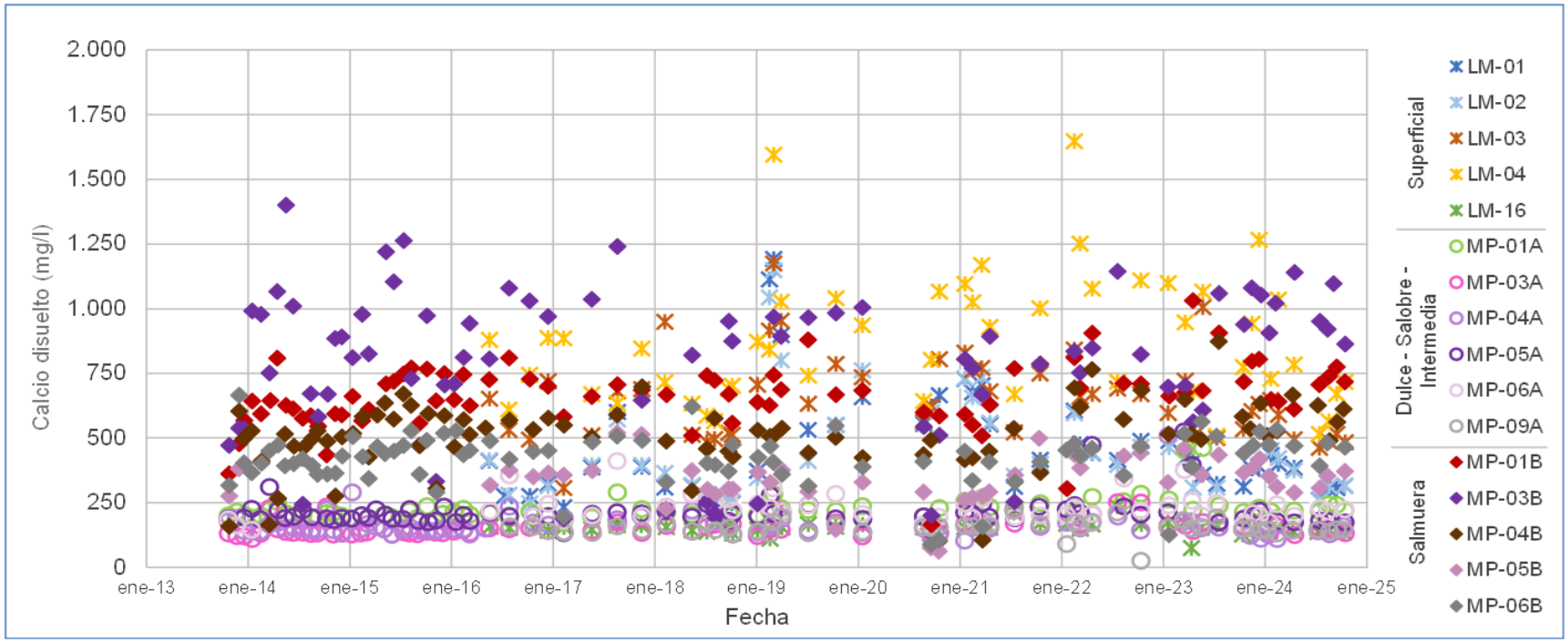
Figura 6-90 Variación Temporal: SO_4 en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	51	45	51	51	51	79	78	79	80	53	50	80	78	79	50	78
Min	1.429	1.285	2.274	3.353	367	771	417	315	803	355	336	0	992	4.476	3.663	3.459
P25	2.119	2.043	4.803	6.366	412	912	542	422	1.319	1.048	412	7.602	7.824	11.399	15.085	12.463
Mediana	3.263	2.989	6.405	8.117	426	1.008	597	450	1.505	1.391	427	8.194	8.652	12.216	17.840	15.360
P75	4.261	4.361	8.277	12.062	441	1.087	654	502	1.763	1.977	448	9.750	9.295	12.904	18.650	16.225
Max	6.863	6.388	10.990	23.232	601	1.775	850	991	5.120	3.511	753	19.005	17.697	19.148	20.686	21.740
RQ	2.142	2.318	3.474	5.696	29	175	112	80	444	929	36	2.148	1.471	1.505	3.565	3.762

Nota: los puntos MP-01B (febrero) y LM-04 (enero) presentan dato anómalo en 2024
Fuente: Elaboración propia

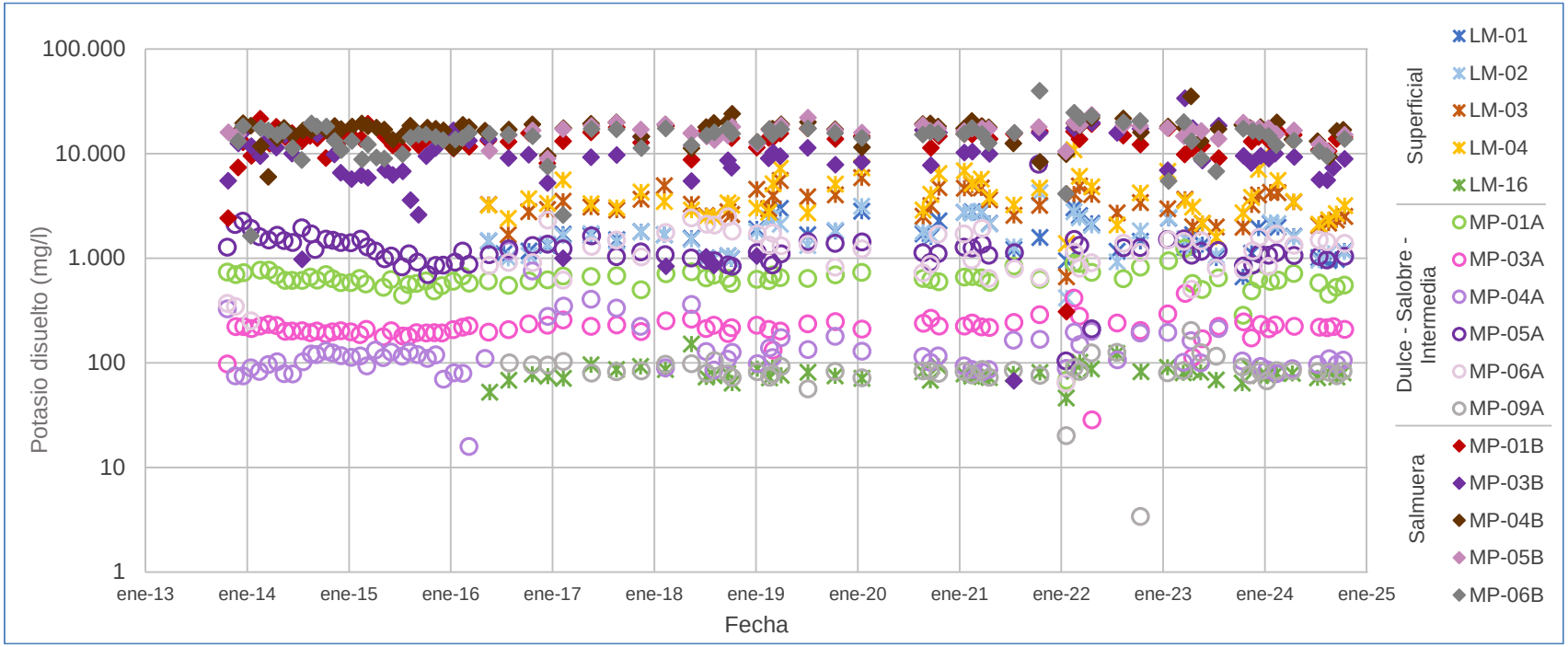
Figura 6-91 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	50	44	50	50	51	79	79	80	77	53	50	80	78	80	49	80
Min	233	177	307	508	75	150	110	104	132	146	26	165	188	102	63	89
P25	312	313	513	679	144	201	133	143	188	197	142	594	662	460	293	375
Mediana	405	406	640	844	155	214	144	151	198	217	153	668	842	516	354	433
P75	554	562	739	1.037	165	234	163	176	219	248	163	735	985	583	383	475
Max	1.192	1.149	1.175	1.647	236	462	252	510	526	411	219	1.032	1.400	874	520	665
RQ	242	249	226	358	21	33	30	33	31	51	21	141	323	123	90	100

Fuente: Elaboración propia

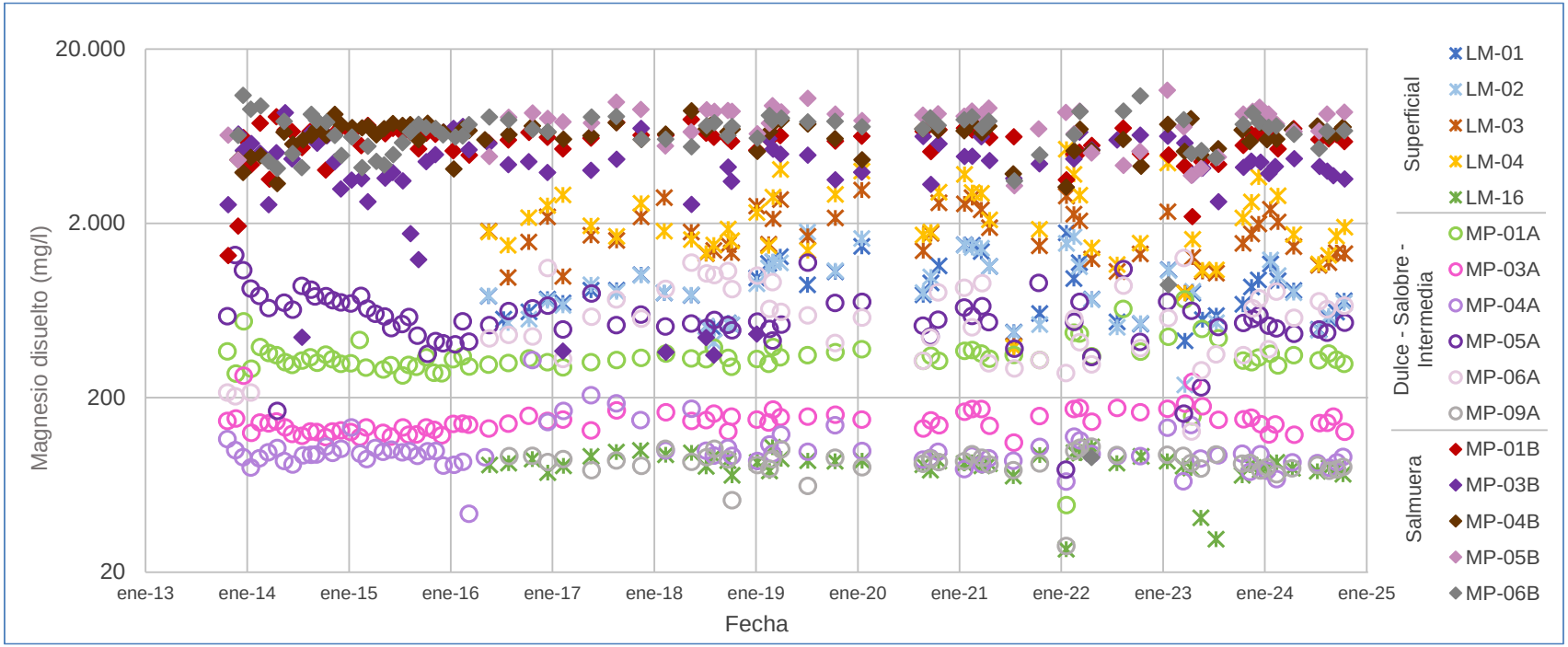
Figura 6-92 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	51	45	51	51	51	79	79	81	80	53	50	79	79	80	52	78
Min	665	417	664	1.375	46	68	29	16	104	64	3	307	67	5.968	8.956	1.630
P25	1.165	1.133	2.555	2.741	73	579	198	91	991	812	78	12.000	6.747	15.517	15.156	12.161
Mediana	1.615	1.651	3.236	3.473	79	630	216	112	1.155	1.293	83	14.080	9.494	17.513	16.708	15.146
P75	2.148	2.162	4.060	5.170	86	688	230	144	1.414	1.641	93	15.460	15.100	18.796	18.011	17.045
Max	3.025	4.228	5.876	11.272	151	1.245	460	1.180	7.908	2.489	203	21.459	33.721	35.240	23.407	39.821
RQ	983	1.029	1.505	2.429	13	109	32	53	423	829	15	3.460	8.353	3.279	2.855	4.884

Fuente: Elaboración propia

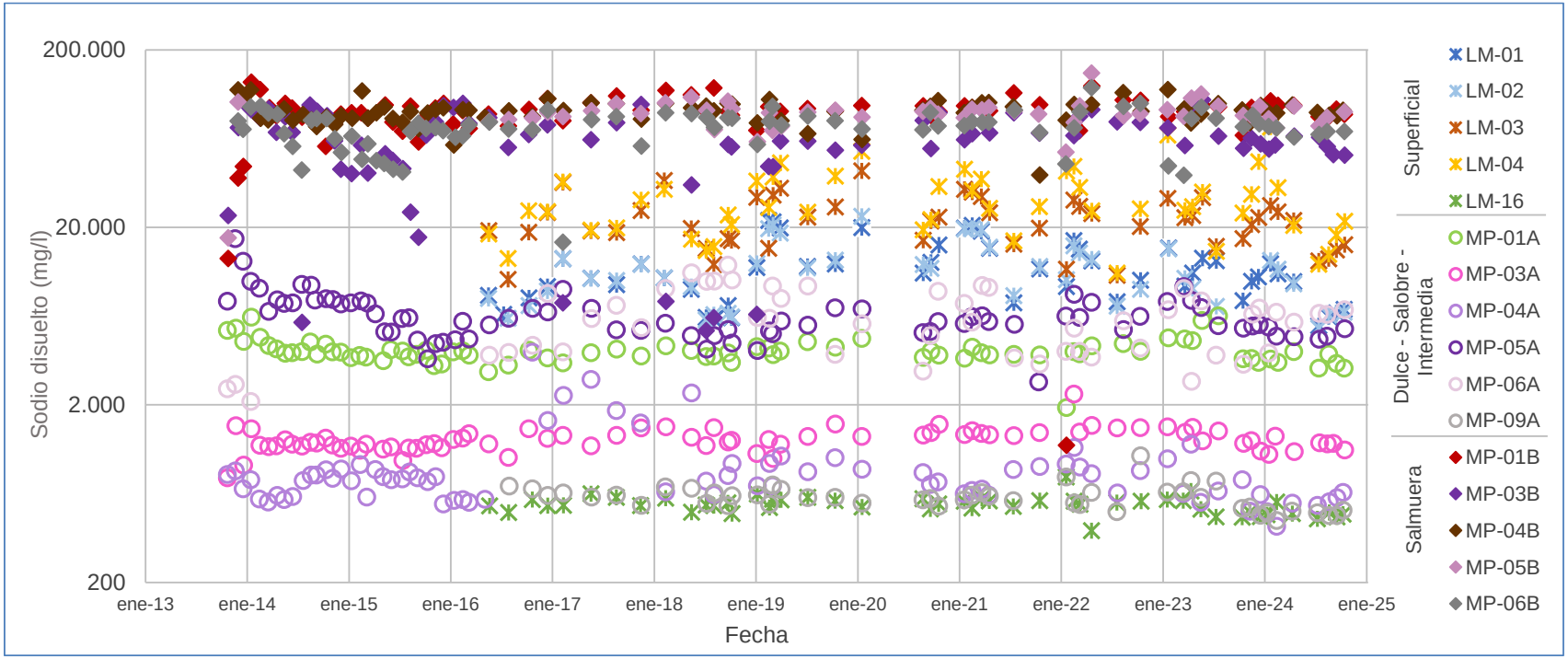
Figura 6-93 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector La Punta-La Brava



	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	51	45	51	51	51	80	78	80	80	53	50	78	79	78	52	78
Min	424	237	396	387	27	48	111	43	77	128	4	1.305	351	3.224	3.287	91
P25	591	538	1.339	1.504	78	313	130	87	494	352	79	5.343	3.597	6.021	6.566	5.733
Mediana	799	802	1.683	1.852	84	335	144	95	553	575	85	6.224	4.500	6.683	8.173	7.022
P75	1.084	1.131	2.179	2.906	89	359	156	103	699	826	93	6.670	5.716	7.217	8.784	7.817
Max	1.766	1.783	3.108	7.301	104	731	267	329	1.318	1.266	105	8.167	8.628	8.828	11.603	21.258
RQ	493	593	840	1.402	11	46	26	16	205	474	14	1.327	2.119	1.196	2.218	2.084

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-94 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	51	45	51	51	51	80	79	80	80	53	49	80	79	80	52	79
Min	5.573	5.414	10.184	11.035	391	1.929	777	414	2.698	2.089	447	1.184	5.226	39.450	17.470	16.500
P25	7.998	7.594	16.850	19.380	497	3.704	1.170	620	5.156	3.939	540	83.430	51.925	82.413	82.694	65.456
Mediana	10.943	10.400	21.875	25.441	546	3.929	1.258	756	5.917	6.128	602	90.764	64.414	90.589	88.676	74.516
P75	13.422	13.812	26.489	36.140	583	4.227	1.395	865	7.493	8.212	644	97.144	82.506	97.465	94.450	82.800
Max	21.840	23.090	41.645	73.537	786	6.341	2.303	3.968	17.237	12.240	1.035	131.663	104.561	119.479	147.766	122.366
RQ	5.424	6.218	9.639	16.760	86	523	225	245	2.337	4.273	104	13.714	30.581	15.052	11.756	17.344

Fuente: Elaboración propia

6.1.8.2 Sector Peine

La distribución de los puntos de monitoreo para el sector se detalla en la Figura 5-74 del Capítulo 5.8.4, del presente informe.

Es importante señalar que el punto LM-17 es un limnímetro 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 acceso al punto.

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 dulce - 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 2024.

6.1.8.2.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

pH in situ

Los valores históricos de pH se presentan en diagramas de caja en la Figura 6-95, 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

(Anterepresa 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 dulce – salobres corresponden a aguas circumneutrales, salvo en MPS-AA, donde las condiciones son ligeramente más básicas (7,9).

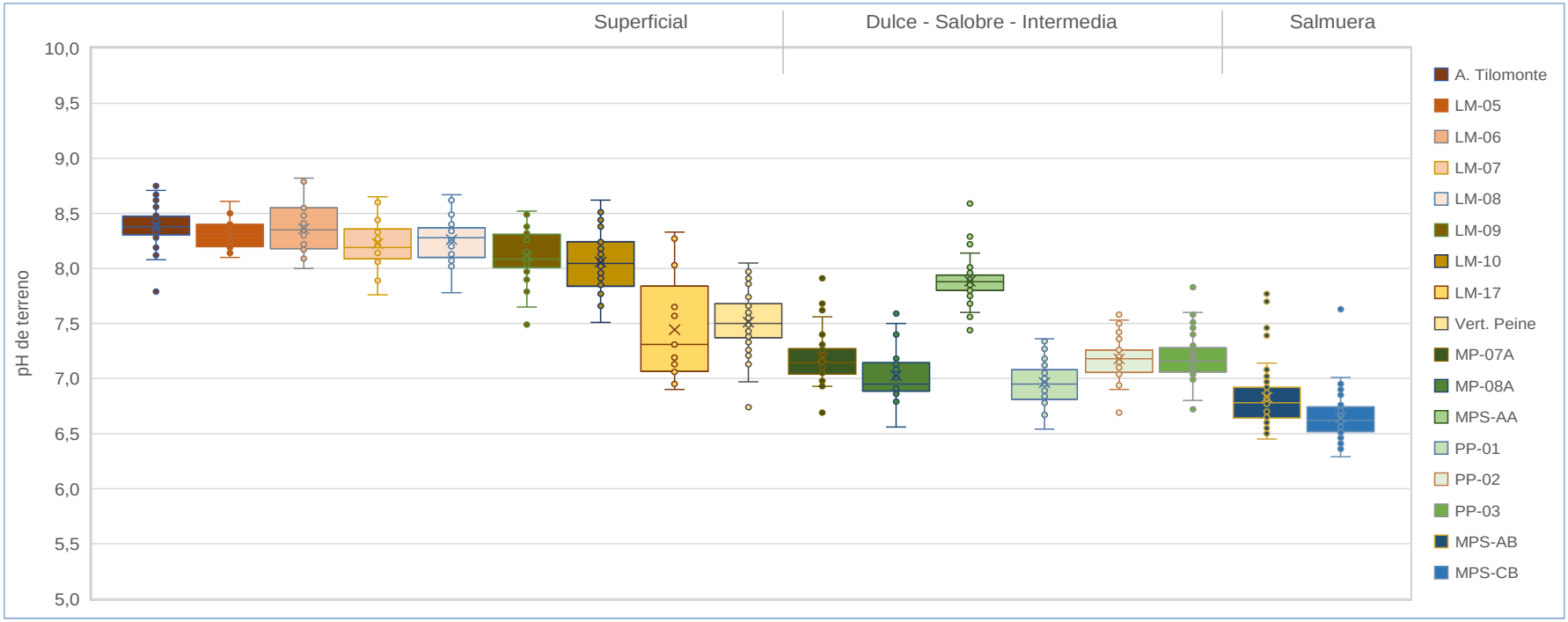
Conductividad Eléctrica *in situ*

La conductividad eléctrica (CE) del sector Peine, de acuerdo con la Figura 6-96, muestra que el punto de monitoreo Anterepresa Tilomonte presenta CE con una mediana de 6.115 µS/cm, cercano al límite inferior de las aguas consideradas como dulce – 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 4.159 µS/cm y P75 de 4.302 µS/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 dulce – salobres con valores de P75 desde 45.753 µS/cm hasta 89.485 µS/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 µS/cm de mediana).

Para el caso de las salmueras, los valores de CE son bastante altos, con valores de P25 mayores a 234.000 µS/cm. En el 2019 se registraron valores bajo los 150.000 µS/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 retoman 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 65.185 µS/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 14.095 µS/cm y 7.947 µS/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.

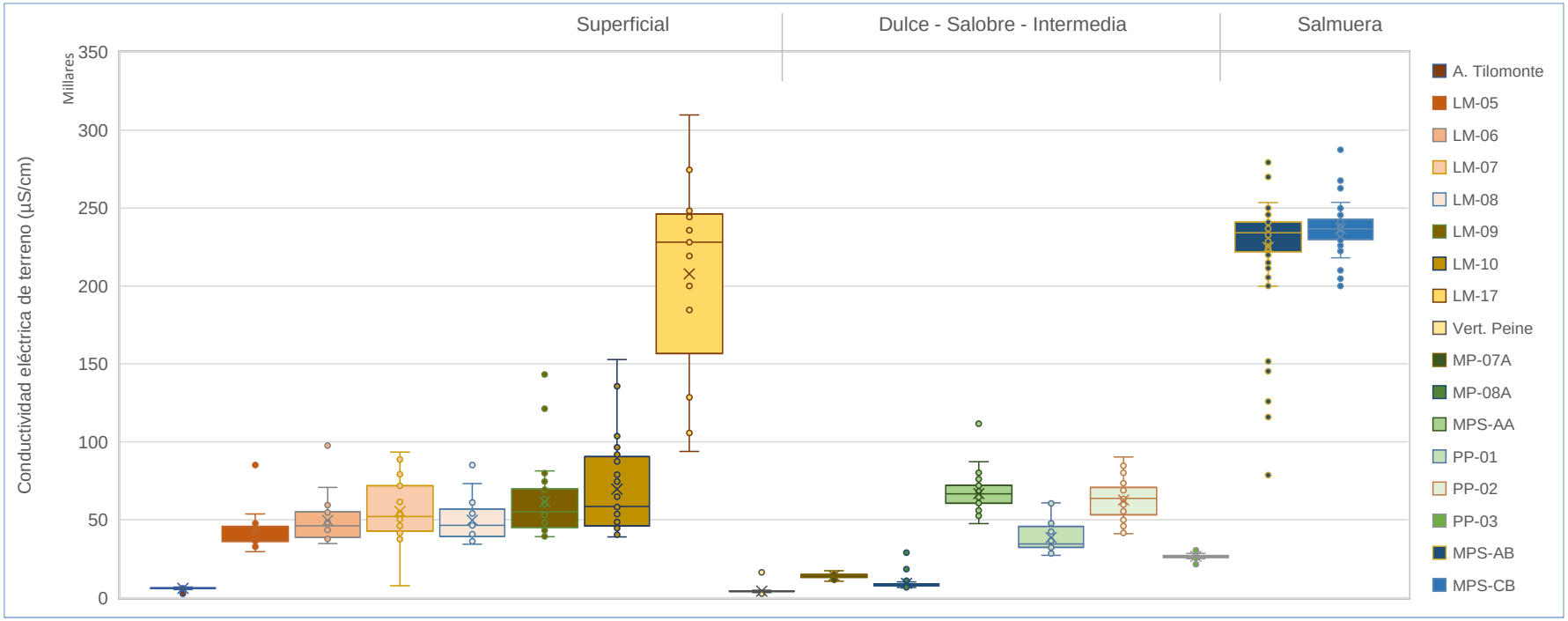
Figura 6-95 Diagrama de Caja, pH *in situ* histórico, Sector Peine



	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	67	14	21	31	20	34	28	17	85	49	43	66	50	48	50	66	66
Min	7,63	8,10	8,00	7,76	7,78	7,49	7,51	6,90	6,74	6,69	6,56	7,44	6,44	6,69	6,72	6,45	6,29
P25	8,25	8,20	8,18	8,08	8,09	7,97	7,87	7,07	7,37	7,05	6,88	7,80	6,81	7,03	7,03	6,64	6,53
Mediana	8,35	8,32	8,35	8,17	8,27	8,08	8,05	7,32	7,49	7,14	7,00	7,88	6,91	7,14	7,14	6,78	6,63
P75	8,46	8,40	8,53	8,33	8,37	8,28	8,25	8,05	7,63	7,26	7,16	7,94	7,05	7,23	7,25	6,89	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	0,21	0,20	0,35	0,25	0,28	0,31	0,38	0,98	0,26	0,21	0,28	0,14	0,24	0,20	0,22	0,25	0,22

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-96 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	69	15	21	31	20	34	28	17	85	49	43	66	50	49	50	65	65
Min	1.392	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	5.834	36.080	38.765	41.420	38.623	42.888	43.843	117.125	3.933	13.020	7.644	58.550	31.285	52.375	25.800	225.150	230.750
Mediana	6.115	36.980	45.910	50.290	46.370	52.270	56.710	228.100	4.159	14.095	7.947	65.185	34.295	59.330	26.420	234.400	236.800
P75	6.327	45.753	54.898	61.600	56.847	66.468	89.485	246.265	4.302	14.845	8.474	72.010	37.180	70.015	26.778	239.987	243.664
Max	7.591	85.070	97.690	93.400	85.120	143.300	152.800	309.800	16.510	17.280	28.880	111.600	60.800	90.240	30.437	279.300	290.400
RQ	493	9.673	16.133	20.180	18.224	23.580	45.642	129.140	369	1.825	830	13.460	5.895	17.640	978	14.837	12.914

Fuente: Elaboración propia

Variación Temporal de los parámetros *in situ*

Los parámetros *in situ* analizados en Sector Peine se presentan en la Figura 6-97 y en la Figura 6-98 con gráficos de la variación temporal de los valores registrados en el período 2013 a 2024.

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 dulce – salobre y lagunas. Se puede observar que para las muestras de las lagunas predominan aguas neutras a básicas, entre 7 y 9; para las aguas dulce – salobre la tendencia es neutra a básica y para las salmueras más neutras, entre 6 a 7, con algunos máximos cercanos a 8. Los valores registrados para el 2024 se acotan dentro de los valores históricos.

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 µS/cm en registros históricos y para el año 2024. 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 µS/cm, debido a su ubicación en el avance de la laguna Interna en el sector del núcleo del Salar, sin embargo, para este periodo no se obtuvo muestreo.

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.

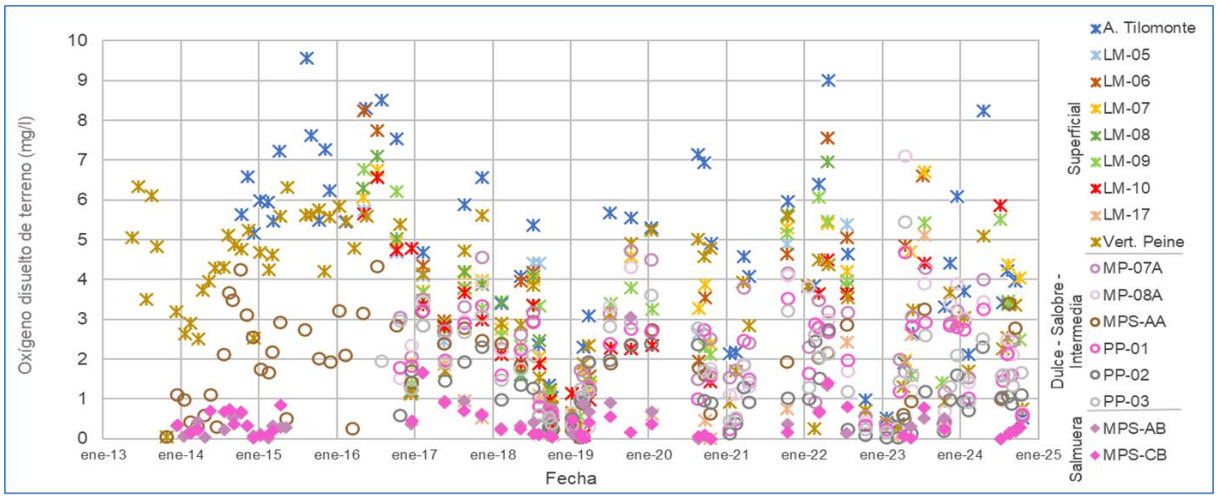
En general, los parámetros *in situ* medidos en el 2024, registran valores que se encuentran dentro del rango de variación natural.

Figura 6-97 Variación Temporal: pH, Temperatura, CE *in Situ*, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-98 Variación Temporal: OD in Situ, Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

6.1.8.2.2 Parámetros Fisicoquímicos de laboratorio

Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

Para el caso de los sólidos disueltos totales (SDT), Figura 6-99, 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.

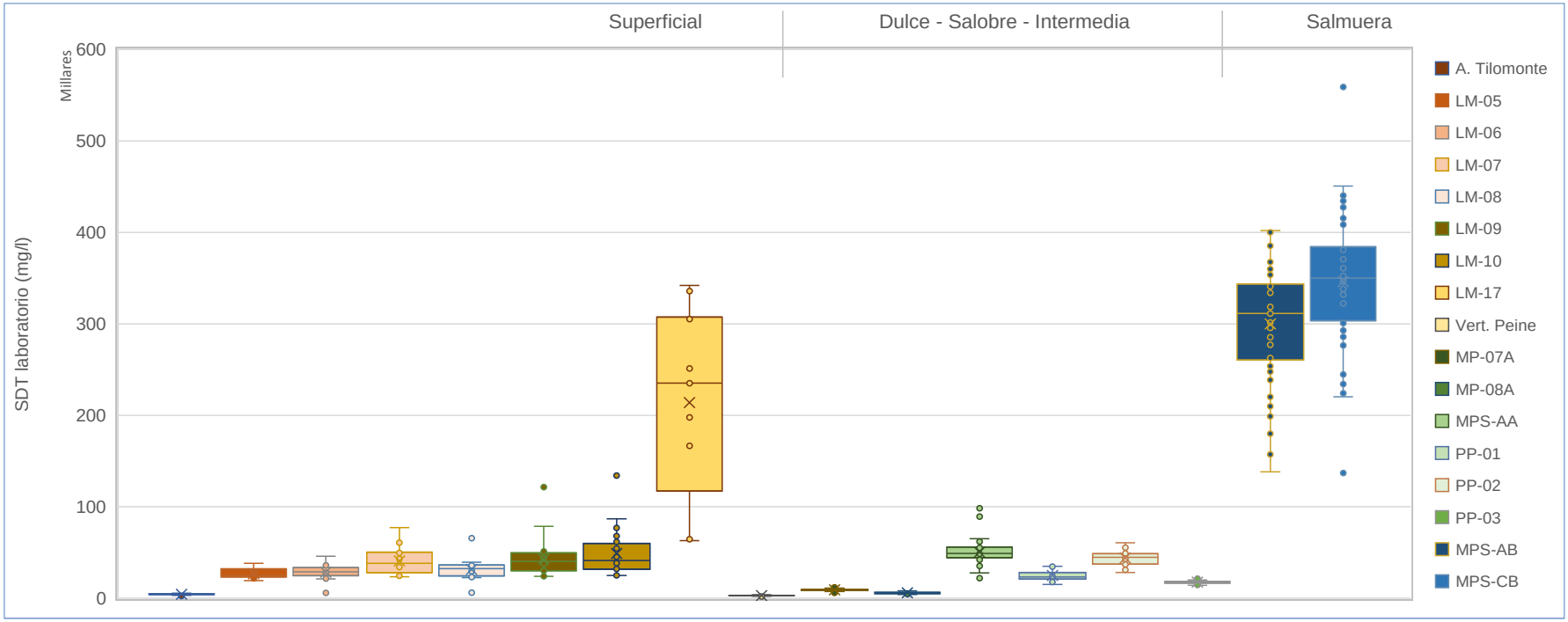
Las lagunas, representadas por los puntos LM-05 a LM-10, presentan valores de SDT, en general, por debajo de los 60.000 mg/l (P75), a excepción del punto LM-17, ubicado en avance de laguna Interna, que presenta SDT altos, con una mediana de 199.870 mg/l, muy cercano a los valores de las salmueras. La vertiente Peine presenta valores muy estables en todo su registro, con mediana 2.850 mg/l. Los puntos de salmuera presentan medianas altas, de 300.900 mg/l y 346.420 mg/l.

Para los puntos PP-0X, los valores de medianas están entre 17.129 mg/l a los 42.100 mg/l.

Densidad

En la Figura 6-100 se presentan los datos de densidad medida en laboratorio. Estos indican que tanto la estación Anterepresa 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 1,020 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.

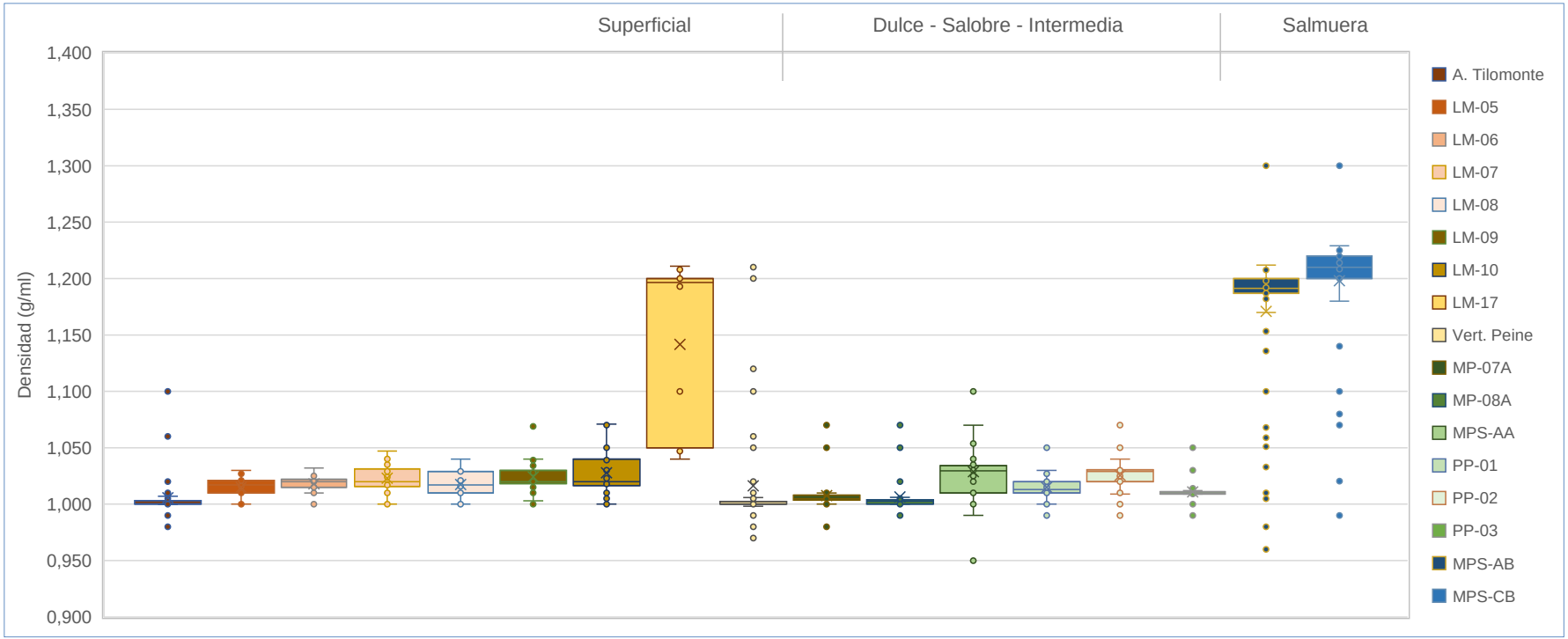
Figura 6-99 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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	69	15	20	31	20	34	28	17	85	49	42	66	50	49	50	61	67
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	3.842	23.100	22.569	26.540	24.563	29.078	28.425	68.890	2.666	8.115	4.985	41.933	20.773	36.065	16.593	251.505	303.467
Mediana	4.122	24.750	28.367	36.900	31.284	38.575	40.277	199.870	2.850	8.890	5.405	48.084	22.630	42.100	17.129	300.900	346.420
P75	4.510	31.990	32.893	46.733	36.068	44.343	58.263	278.200	3.134	9.475	6.005	55.696	24.502	46.650	18.135	341.098	370.670
Max	5.590	38.220	45.933	77.133	65.600	121.367	134.167	342.000	12.460	13.100	9.860	98.280	39.633	60.500	24.080	401.992	559.000
RQ	668	8.890	10.324	20.193	11.505	15.265	29.838	209.310	468	1.360	1.020	13.763	3.729	10.585	1.542	89.593	67.203

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-100 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	69	15	20	30	20	33	28	16	83	49	42	65	50	49	50	66	64
Min	0,333	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,333	0,333	0,989	0,950	0,990	0,990	0,990	0,960	0,990
P25	1,000	1,010	1,011	1,012	1,010	1,018	1,014	1,042	1,000	1,000	1,000	1,010	1,008	1,012	1,000	1,176	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	1,028	1,012	1,027	1,010	1,190	1,210
P75	1,003	1,021	1,022	1,031	1,028	1,032	1,040	1,200	1,002	1,008	1,004	1,034	1,019	1,031	1,011	1,200	1,220
Max	1,100	1,030	1,032	1,100	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	0,003	0,011	0,011	0,019	0,018	0,014	0,026	0,158	0,002	0,008	0,004	0,024	0,011	0,019	0,011	0,024	0,020

Fuente: Elaboración propia

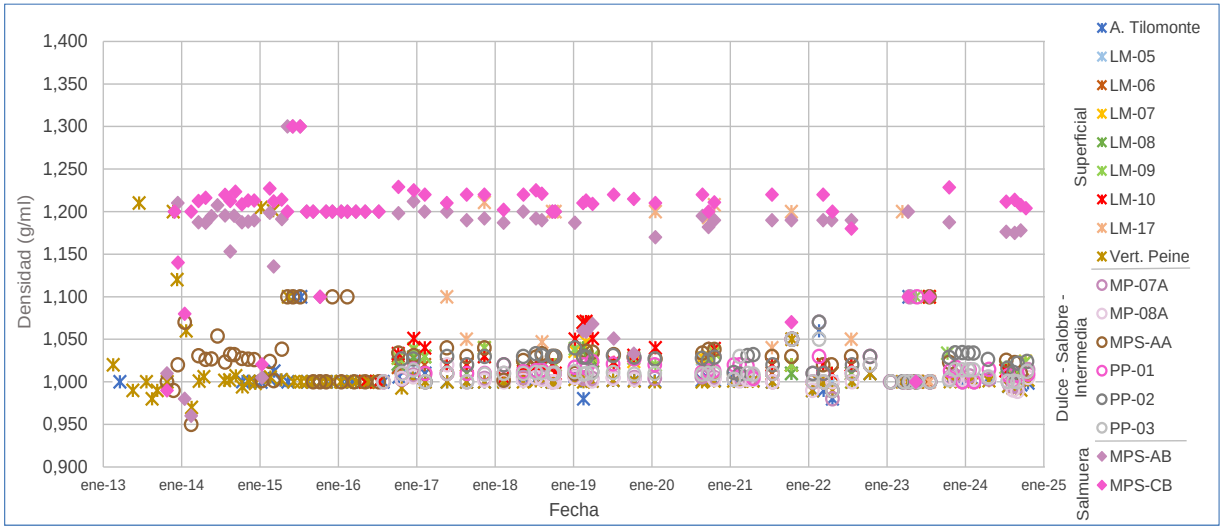
Variación Temporal de los parámetros de laboratorio

Las gráficas de datos temporales de laboratorio, de 2013 a 2024, para pH, CE, SDT y densidad se presentan en la Figura 6-101 y Figura 6-102.

El registro de densidad muestra un comportamiento estable para toda la serie disponible. No obstante, en el 2024 los valores de densidad para las salmueras están dentro de los históricos. De igual manera, para el año 2024 los valores de densidad de las muestras lagunares y de puntos someros indican una densidad de valor 1, 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).

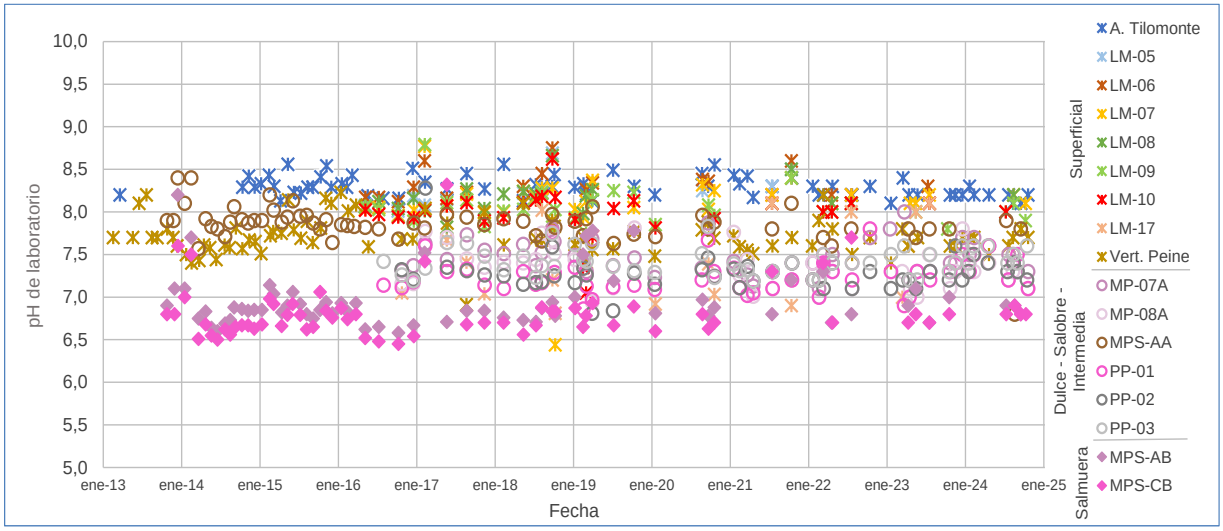
El pH en general presenta valores que oscilan entre el rango neutro a neutro alcalino, con valores de 6,5 y 8,8. Los valores se mantienen estables, con leves variaciones estacionales dentro de los rangos de variación natural. Los SDT, en general, muestran un comportamiento diferenciado entre salmueras 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 µS/cm y los 250.000 µS/cm. En el caso de las aguas someras, estas presentan mayor dispersión de los datos y rango de valores, entre los 5.000 µS/cm y 100.000 µS/cm, aproximadamente.

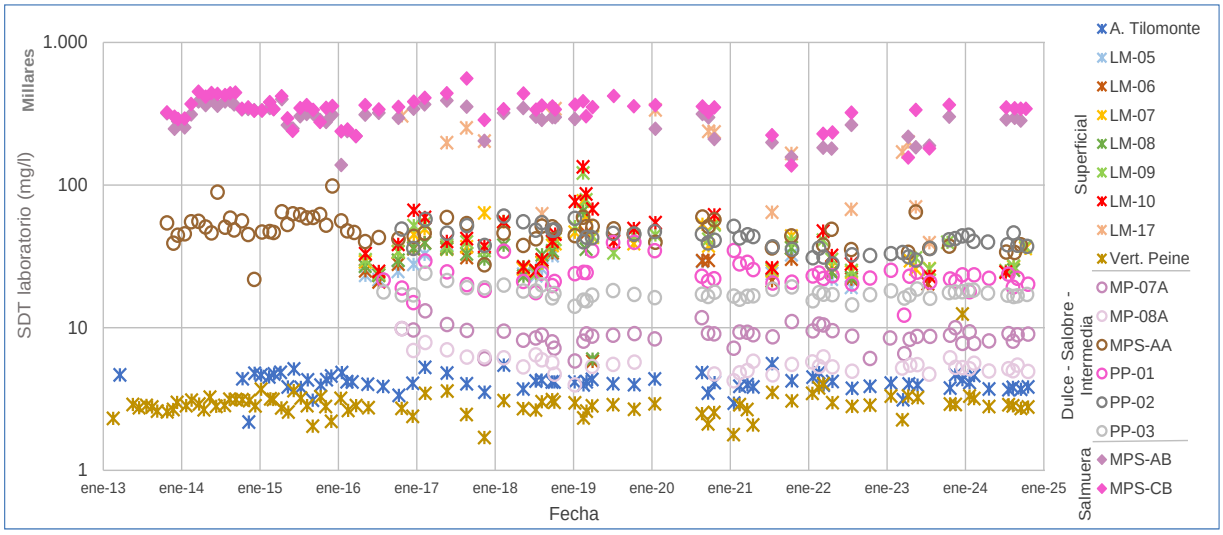
Figura 6-101 Variación Temporal: Densidad en laboratorio, Sector Peine

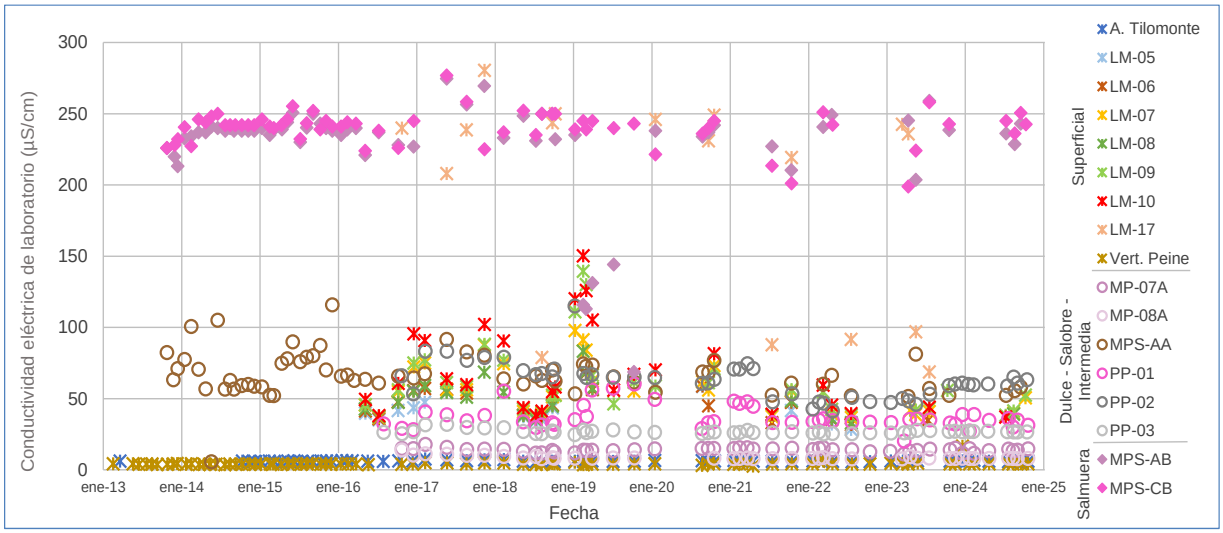


Fuente: Elaboración propia

Figura 6-102 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 6-103 a la Figura 6-110.

Aniones mayores

Los aniones que se analizan corresponden a cloruros (Cl-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO3-) y nitratos (NO3-). En cuanto a la evolución temporal, se observa que en general los valores medidos en el 2024, en relación con los rangos registrados en años anteriores se mantienen dentro de la variación natural.

Los registros de cloruros (Figura 6-103), 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 23.672 mg/l, mientras que las aguas dulces de quebradas o vertientes tienen concentraciones bastante más bajas, como es el caso de estación Anterepresa Tilomonte (mediana de 1.653 mg/l) y Vertiente Peine (mediana de 916 mg/l). En Anterepresa 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 20.395 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 de los registros históricos. Las aguas someras (dulce – salobres) tienen un amplio rango de concentraciones, con medianas que van desde 2.221 mg/l (MP-08A) a 23.672 mg/l (MPS-AA).

De la gráfica de los bicarbonatos se observa que las aguas superficiales y dulce – 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 506 mg/l y 605 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 1,28 mg/l (a excepción de LM-17 con mediana de 3,26 mg/l). En Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine, los valores de mediana alcanza 0,30 mg/l y 4,98 mg/l, respectivamente. Las concentraciones intermedias se observan en las aguas dulce – salobres, con medianas entre 1,43 mg/l y 3,63 mg/l, mientras que las mayores concentraciones se presentan en la salmuera, con medianas de 7,08 mg/l y 10,05 mg/l en

MPS-AB y MPS-CB, respectivamente. Las mediciones de 2024 se encuentran entre los rangos históricos.

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 (Anterepresa 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 2.769 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 14.426 mg/l en MPS-CB.

Cationes mayores

Los cationes que se analizan corresponden a calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}) representados en la Figura 6-107 a Figura 6-110. En cuanto a la evolución temporal, se observa que, para los cationes analizados, en general los valores medidos en el 2024, 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 1.350 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 430 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 409 mg/l en MPS-CB y 833 mg/l en MPS-AB. Durante el 2024 los valores se mantienen dentro de los rangos de variación naturales.

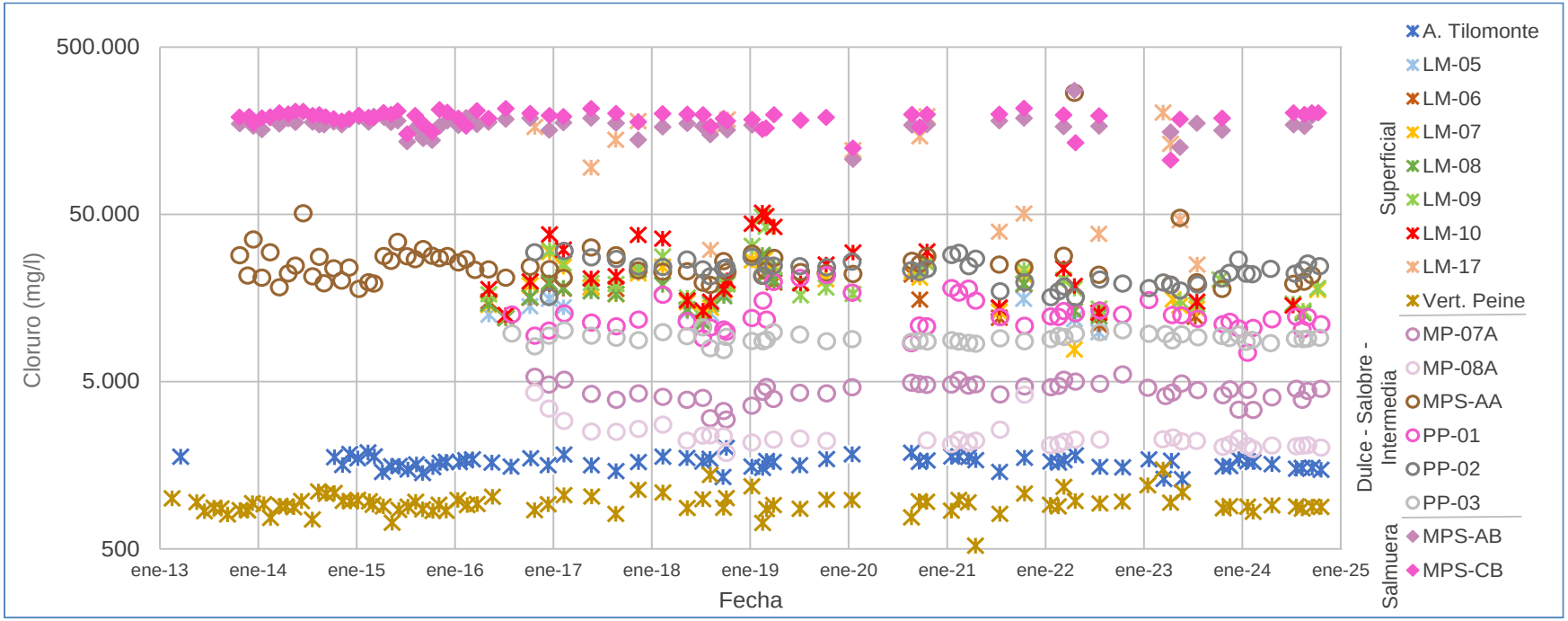
Para el potasio los mayores valores de concentración se dan en los puntos de salmuera, con medianas entre 14.090 mg/l y 20.498 mg/l. Las lagunas presentan medianas entre 1.031 mg/l (LM-05) y 1.603 mg/l (LM-10), con LM-17 con mediana de 3.455 mg/l. Las aguas dulce – salobre muestran un comportamiento disímil, ya que los puntos MP-07A y MP-08A tienen medianas bajas, entre 97 mg/l y 314 mg/l, mientras que el resto de los puntos tiene mediana mayor, similar a la de las lagunas, con medianas entre 717 mg/l (PP-03) y 1.991 mg/l (PP-02). Las muestras de agua superficial de Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine tienen medianas de 60 mg/l y 27 mg/l, respectivamente. Los valores se circunscriben dentro de lo que se considera como variación natural.

Las concentraciones de magnesio para las aguas superficiales muestran un valor de medianas entre 566 mg/l (LM-05) y 908 mg/l (LM-10). Sin embargo, Anterepresa 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 2024, se acotan dentro de los rangos históricos.

En el caso del sodio las concentraciones de la salmuera presentan un rango de mediana entre 83.625 mg/l y 89.053 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 10.675 mg/l (LM-10). En cambio, las aguas dulce – salobres tienen medianas que varían entre 1.035 mg/l (MP-08A) y 12.275 mg/l (MPS-AA), siendo las medianas de PP-02 y MPS-AA cercanas a las de las aguas lagunares (~12.000 mg/l). Anterepresa Tilomonte y Vertiente Peine tienen medianas de 754 mg/l y 453 mg/l, respectivamente. Para el 2024 las concentraciones se mantienen dentro de los rangos de variación naturales.

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 (dulce – salobre) y aguas superficiales. En gran medida, las concentraciones para el año 2024 se acotan dentro de los rangos históricos.

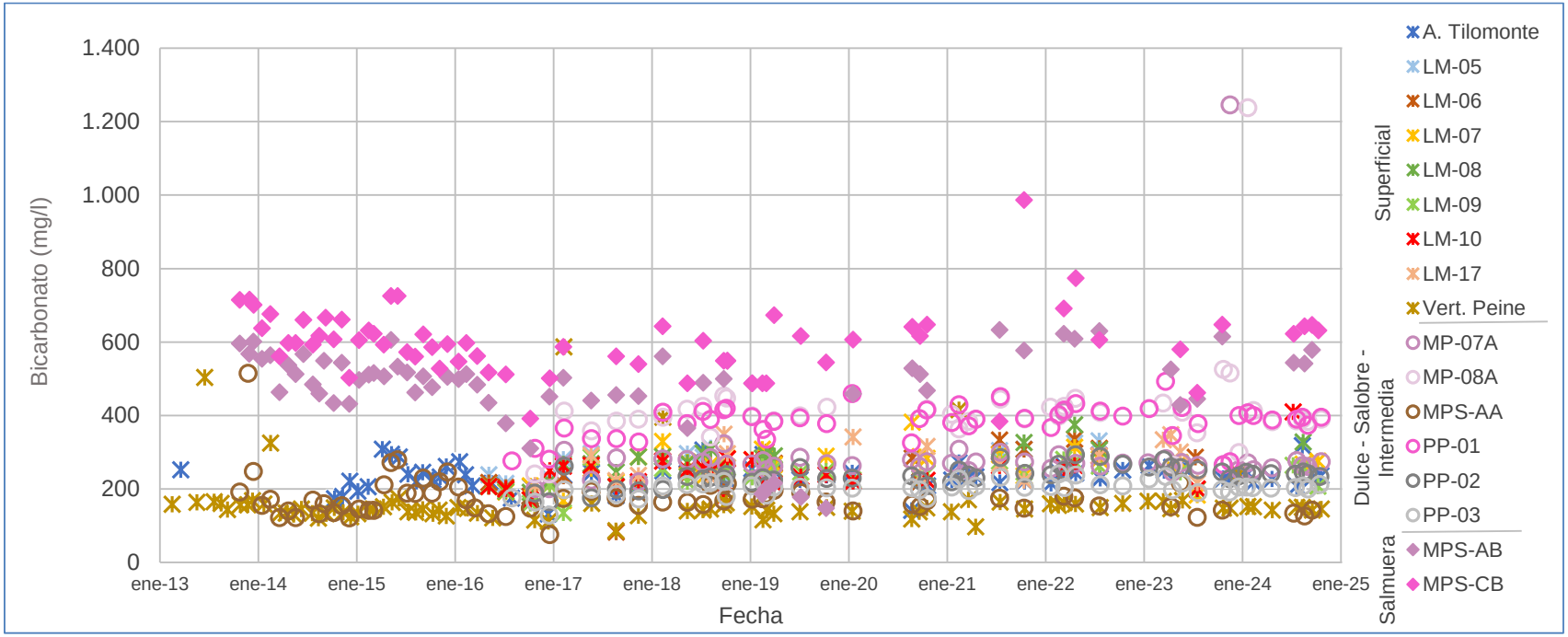
Figura 6-103 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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	69	15	20	31	20	34	28	17	84	49	42	66	49	49	50	61	66
Min	1.307	9.855	10.964	7.767	11.230	12.037	12.494	25.042	523	2.966	1.869	17.888	7.423	15.988	7.716	106.435	105.450
P25	1.550	12.106	13.219	13.801	13.279	15.130	15.091	42.717	869	4.036	2.099	21.195	10.697	19.602	8.715	166.498	183.620
Mediana	1.653	13.589	15.647	18.226	16.467	19.070	20.395	132.058	916	4.459	2.221	23.672	11.976	23.393	9.055	172.124	193.217
P75	1.740	15.633	18.860	22.703	19.568	23.726	34.543	175.215	980	4.803	2.379	28.021	13.239	25.071	9.545	181.329	200.250
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	190	3.527	5.641	8.902	6.289	8.596	19.452	132.498	111	767	280	6.826	2.542	5.469	830	14.831	16.630

Fuente: Elaboración propia

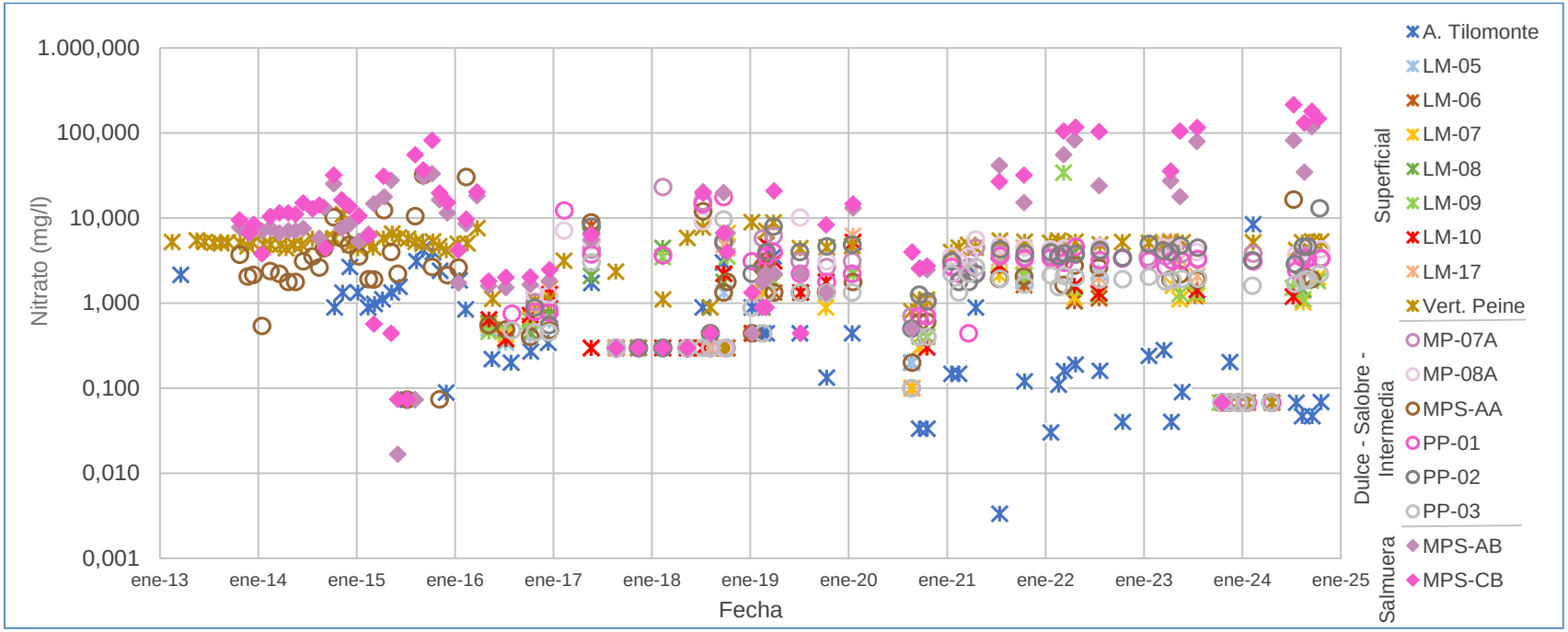
Figura 6-104 Variación Temporal: HCO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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	8	15	20	31	20	33	28	17	85	49	42	66	50	49	50	64	64
Min	132,1	180,5	82,4	168,0	190,6	135,0	170,5	210,6	86,7	200,6	240,7	76,2	266,0	165,5	128,6	147,7	384,3
P25	217,9	234,2	218,0	231,8	241,8	213,3	214,7	226,8	136,5	261,1	384,3	142,7	365,1	225,7	197,6	453,8	549,0
Mediana	233,6	286,7	252,5	271,8	285,6	246,4	243,1	290,2	146,6	270,3	398,8	165,9	391,0	237,9	204,9	505,9	604,5
P75	251,9	308,6	297,7	287,9	304,7	258,6	263,7	324,8	160,4	281,2	423,2	190,7	411,4	251,8	212,3	549,0	645,7
Max	318,4	330,8	335,6	381,9	375,2	286,0	409,9	348,9	587,0	1.245,6	1.238,3	515,0	493,2	293,4	240,8	633,2	986,5
RQ	34,0	74,4	79,7	56,1	62,9	45,3	49,0	98,0	23,9	20,1	38,9	48,0	46,3	26,1	14,7	95,2	96,7

Fuente: Elaboración propia

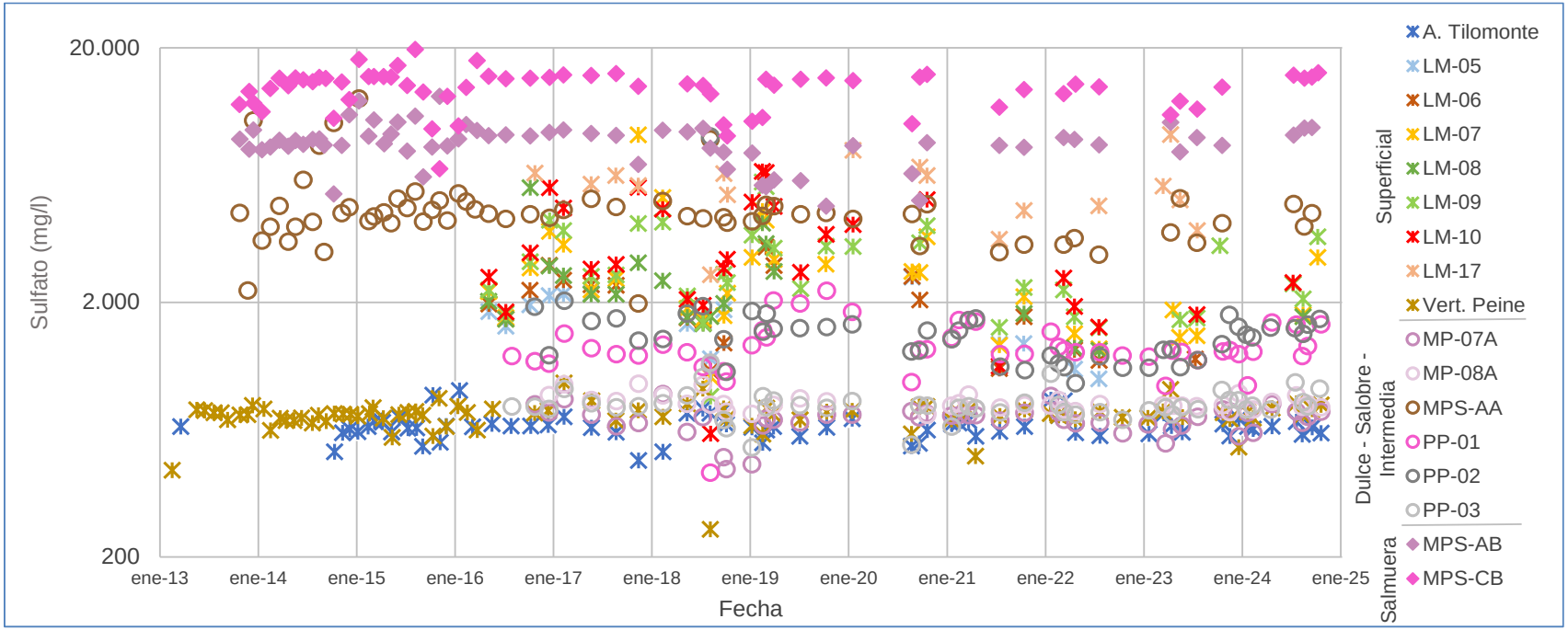
Figura 6-105 Variación Temporal: NO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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	67	13	18	29	19	33	27	17	84	48	40	64	49	45	46	65	66
Min	0,00	0,20	0,10	0,10	0,30	0,07	0,30	0,30	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,02	0,07
P25	0,09	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,30	0,89	4,17	0,70	0,30	0,60	0,57	0,53	0,37	1,75	2,03
Mediana	0,30	0,50	0,96	1,02	0,89	1,28	1,20	3,26	4,98	3,17	3,63	1,99	2,67	3,42	1,43	7,08	10,05
P75	1,11	1,56	1,66	1,69	1,77	2,17	2,21	5,06	5,30	3,79	4,53	3,10	3,37	4,38	1,94	18,07	27,78
Max	8,41	2,67	8,06	6,64	4,43	34,15	5,22	6,19	11,07	23,07	10,14	31,87	17,58	13,02	9,65	117,94	214,89
RQ	1,02	1,26	1,36	1,39	1,47	1,77	1,91	4,17	1,13	3,09	4,23	2,50	2,80	3,85	1,57	16,32	25,75

Fuente: Elaboración propia

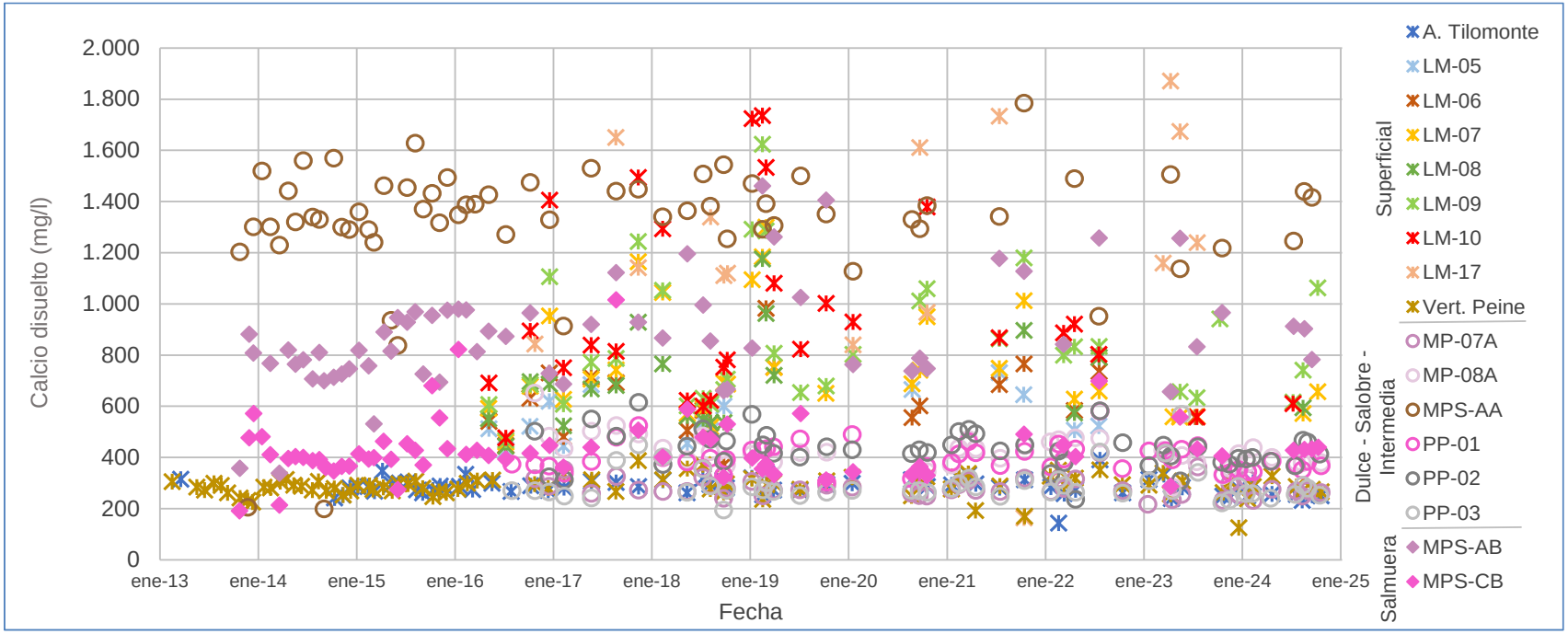
Figura 6-106 Variación Temporal: SO_4 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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	67	15	20	31	20	34	28	17	85	49	42	66	50	49	50	66	67
Min	479	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	1.742	1.753	2.000	1.972	4.687	695	660	773	4.060	1.230	1.238	757	7.983	12.512
Mediana	650	1.674	1.863	2.238	2.087	2.546	2.769	5.748	727	710	793	4.433	1.287	1.504	779	8.652	14.426
P75	680	2.126	2.422	3.004	2.742	3.632	4.746	6.419	755	740	830	4.838	1.513	1.695	820	9.320	15.348
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	65	755	1.101	1.262	989	1.632	2.774	1.732	60	80	57	778	283	457	63	1.337	2.836

Fuente: Elaboración propia

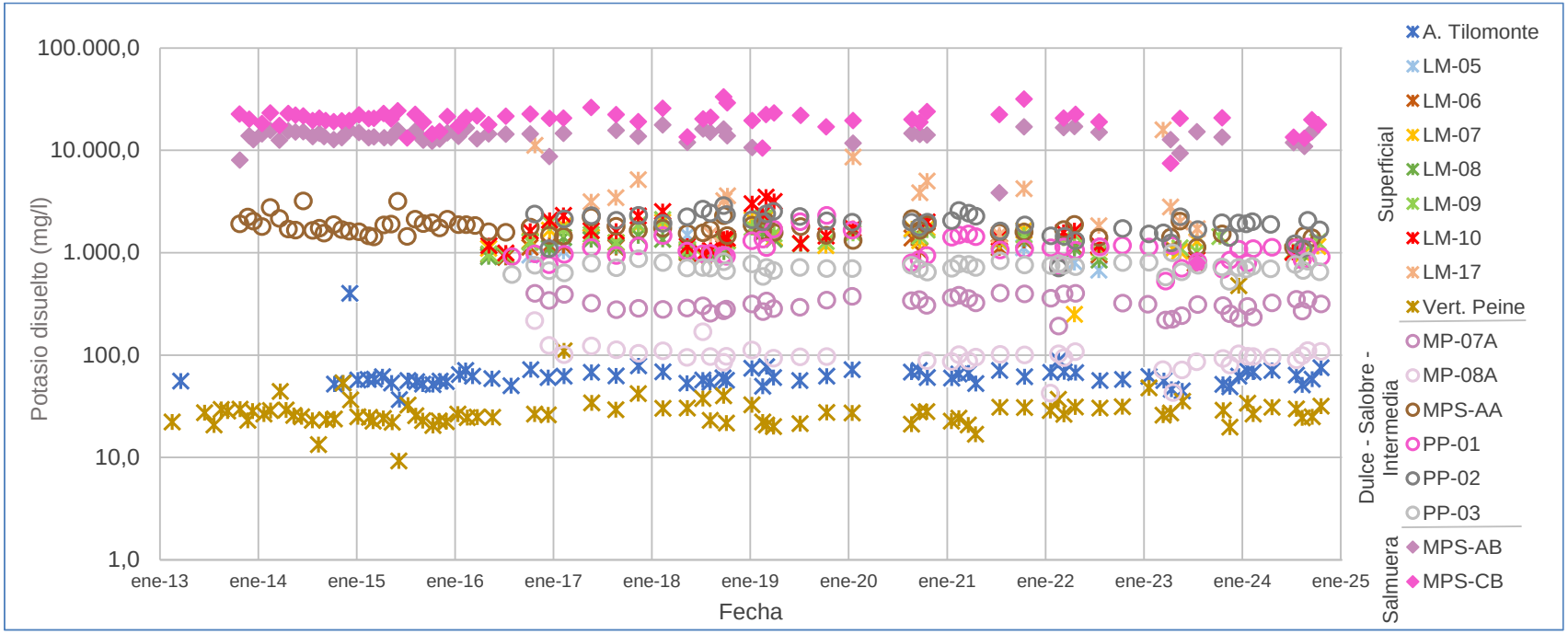
Figura 6-107 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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

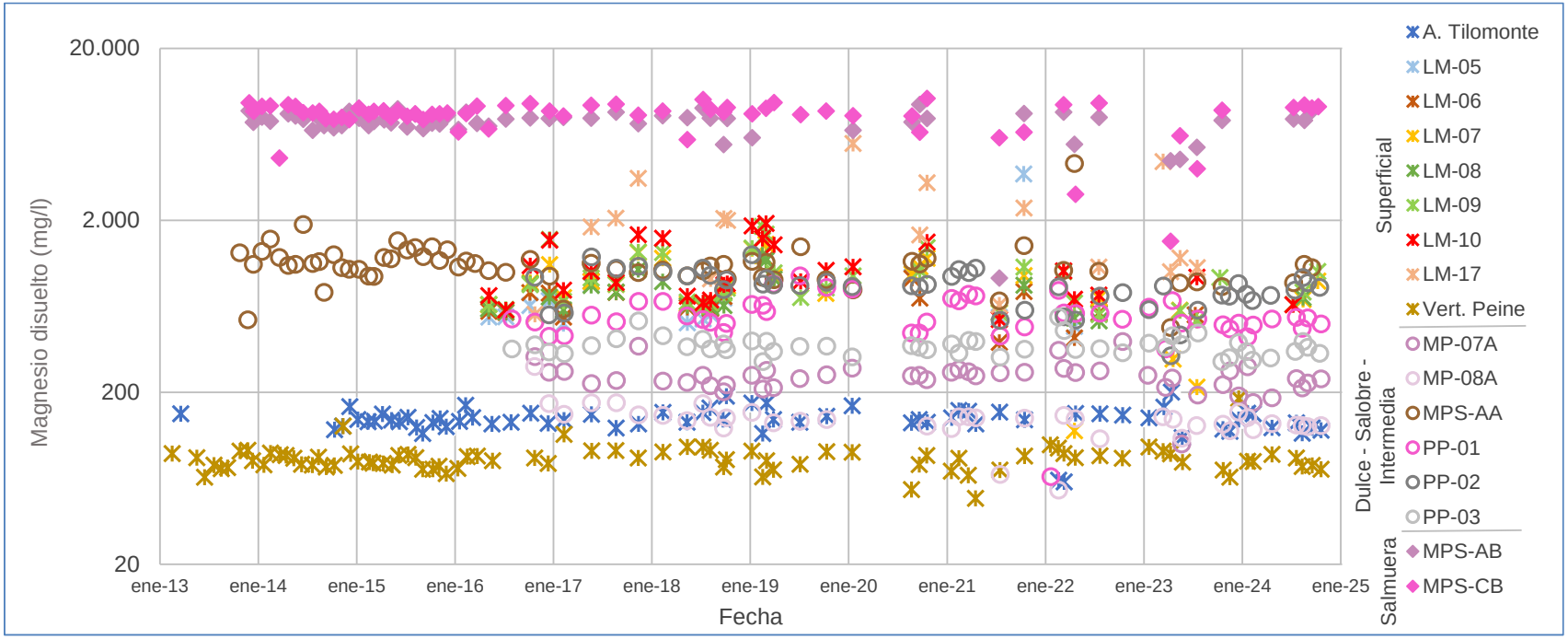
Figura 6-108 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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

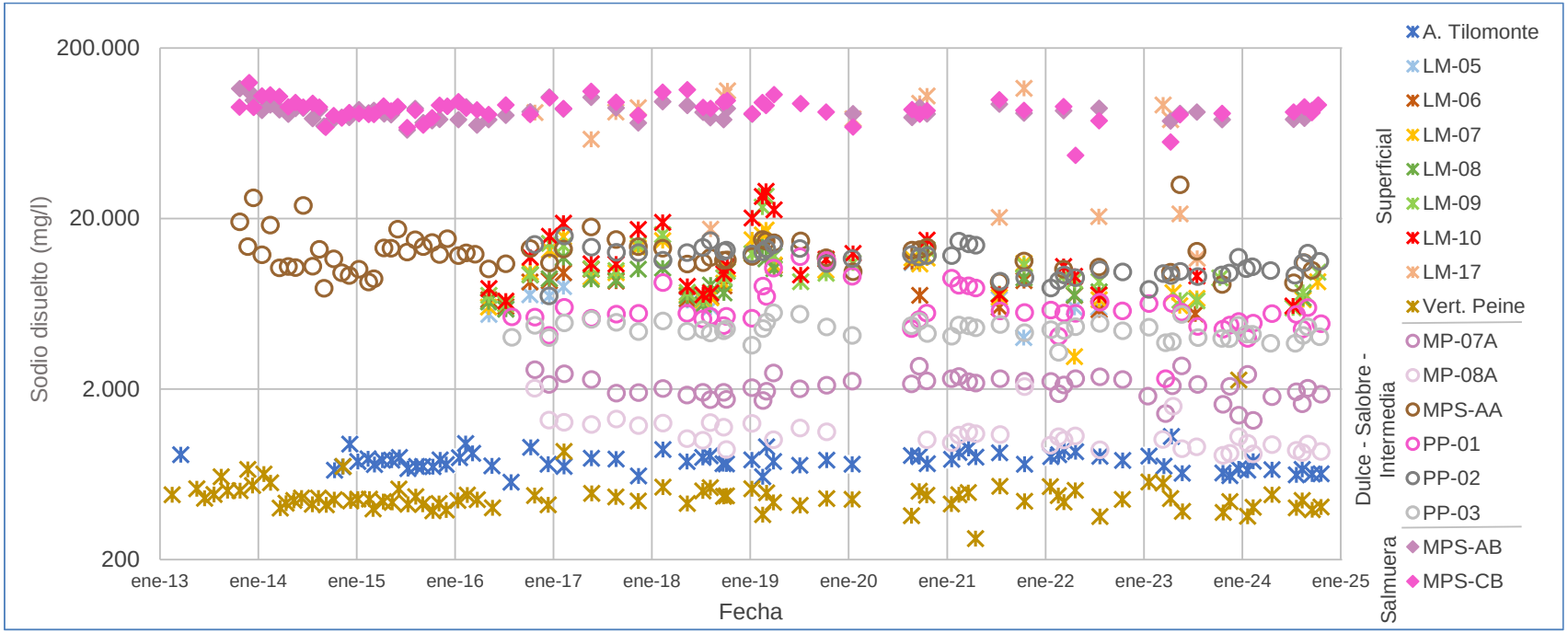
Figura 6-109 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Peine



	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 6-110 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 5-87, del Capítulo 5, del presente informe. Es importante mencionar que, si bien el punto de Quebrada de Camar se gráfica y calcula la estadista, 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.

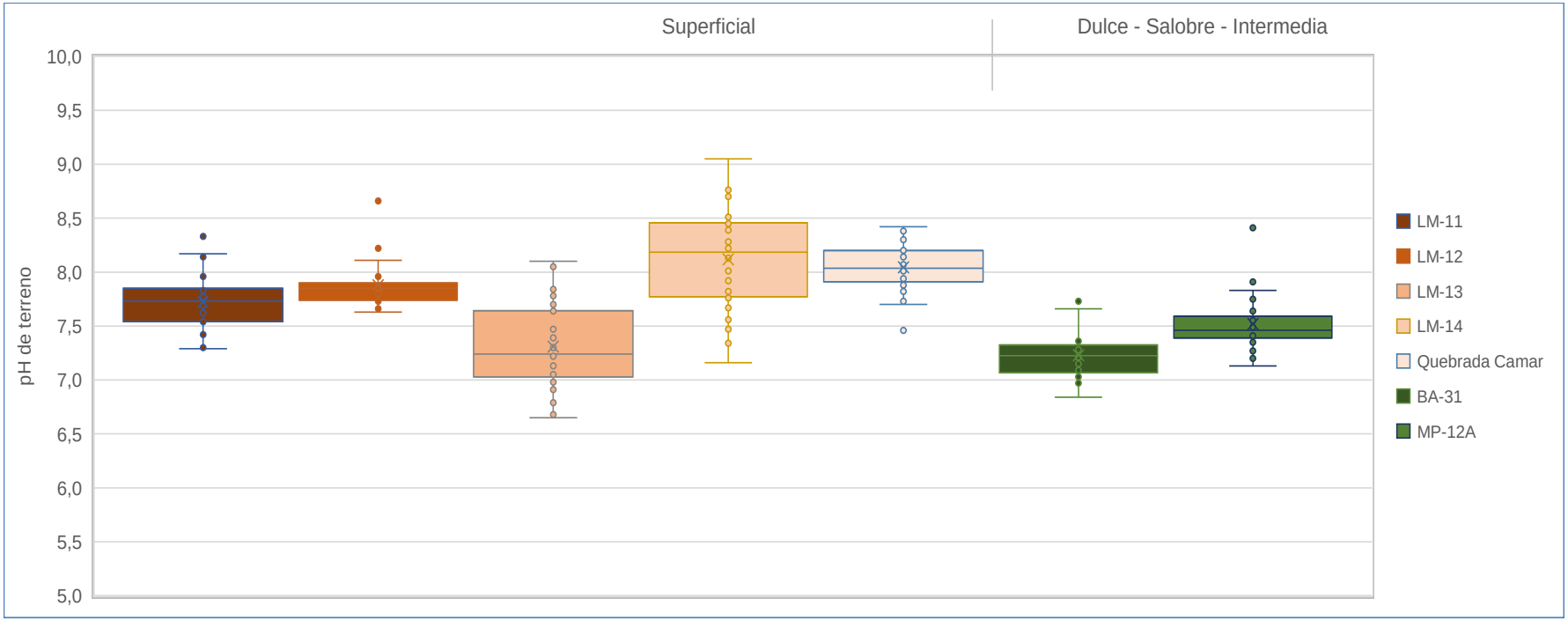
6.1.8.3.1 Parámetros Fisicoquímicos *in situ*

pH in situ

En la Figura 6-111 se presenta la variación del pH medido *in situ*, tanto para aguas superficiales, puntos LM, como para las aguas subterráneas del acuífero dulce – salobre, MP-12A y BA-31 (este punto ha presentado históricamente conductividades características de salmuera, sin embargo, originalmente se clasificó como un punto de agua salobre).

.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 8,2 (LM-14), tendiendo a presentar aguas neutras a básicas.

Figura 6-111 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	23	26	38	36	46	24	43
Min	7,29	7,63	6,65	7,16	7,46	6,84	7,13
P25	7,54	7,74	7,03	7,77	7,91	7,07	7,39
Mediana	7,73	7,85	7,24	8,19	8,04	7,23	7,46
P75	7,85	7,90	7,64	8,46	8,20	7,33	7,59
Max	8,33	8,66	8,10	9,05	8,42	7,73	8,41
RQ	0,31	0,16	0,61	0,69	0,29	0,26	0,20

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

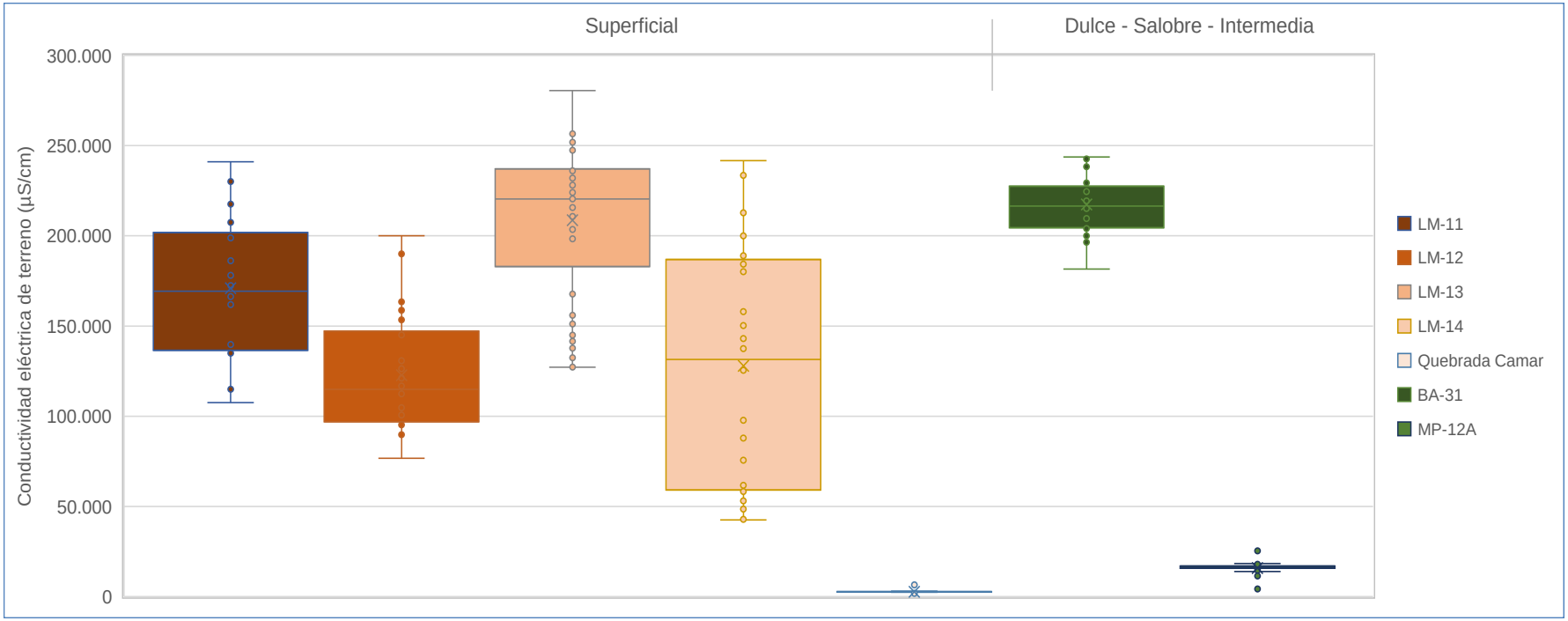
Conductividad Eléctrica in situ

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 6-112).

Los valores más altos de CE se registran en las lagunas (puntos LM-XX) con medianas variables entre 114.900 µS/cm (LM-12) hasta los 220.500 µS/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 16.125 µS/cm. En el barreno BA-31, sin embargo, se advierte un valor de mediana de 216.454 µS/cm, similar a las de las aguas lagunares (superficiales), este punto ha presentado históricamente conductividades características de salmuera (mayor a 200.000 µS/cm), sin embargo, originalmente se clasificó como un punto de agua salobre.

Figura 6-112 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	22	26	37	36	46	23	42
Min	107.600	76.700	127.200	42.520	1.854	181.600	4.162
P25	136.550	96.878	183.000	59.100	2.517	204.500	15.626
Mediana	169.350	114.900	220.500	131.450	2.579	216.454	16.125
P75	201.875	147.175	237.100	186.850	2.691	227.500	16.869
Max	241.100	200.000	280.500	241.700	6.470	243.693	25.320
RQ	65.325	50.297	54.100	127.750	174	23.000	1.243

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

Variación Temporal de los parámetros

En la Figura 6-113 y Figura 6-114 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 2024, los parámetros de pH, temperatura y CE se mantienen dentro de los rangos históricos.

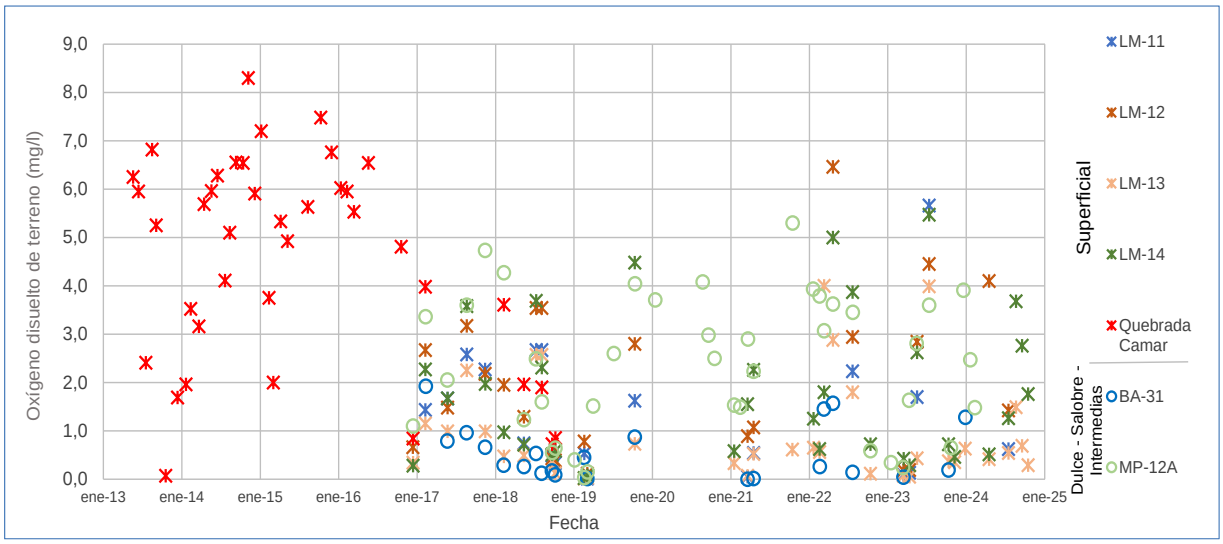
Para el caso del oxígeno disuelto se observan históricamente registros dispersos para todos los puntos, no mostrando ningún tipo de tendencia. En el 2024, las concentraciones se mantienen dentro de los valores mínimos y máximos históricos.

Figura 6-113 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 6-114 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

Sólidos Disueltos Totales de Laboratorio

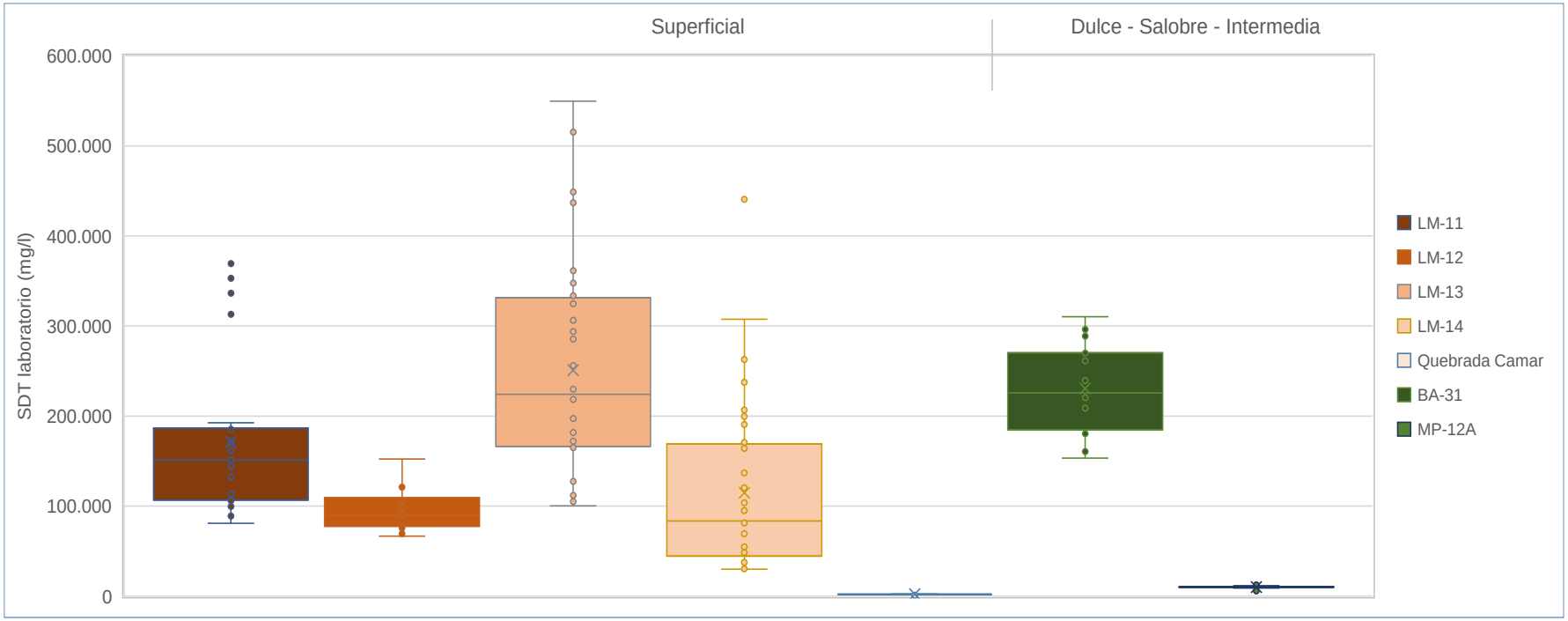
Los valores de SDT se observan en la gráfica presentada en la Figura 6-115. De los resultados obtenidos para este sector se observa que el comportamiento de los registros de SDT es muy similar a los de CE, dada la relación existente entre estos parámetros.

Los valores de SDT de las muestras lagunares varían entre medianas de 83.334 mg/l (LM-14) y 218.300 mg/l (LM-13). Para las aguas dulce – salobres, en BA-31 la mediana es de 225.617 mg/l, mientras que en MP-12A es de 10.080 mg/l.

Densidad

Las mediciones de densidad se presentan en la Figura 6-116. Los rangos varían entre los puntos de las lagunas y las aguas dulce – 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 1,180 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.

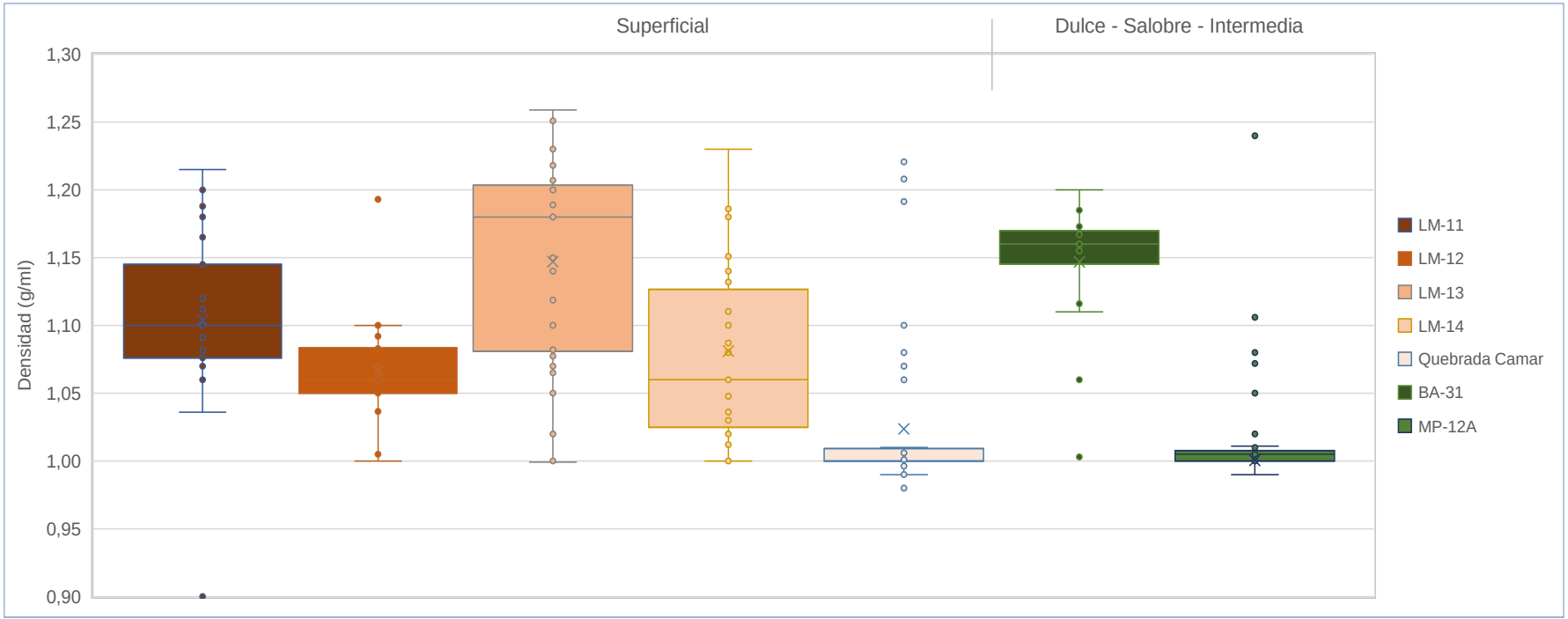
Figura 6-115 Diagrama de Caja, SDT de laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	36	36	46	18	41
Min	80.790	66.710	100.260	29.920	928	153.360	5.733
P25	106.690	77.490	166.360	44.470	1.863	184.640	9.718
Mediana	151.000	89.620	224.017	83.334	1.988	225.617	10.080
P75	186.533	109.325	331.334	168.995	2.137	270.190	10.448
Max	369.320	152.300	549.500	440.660	4.548	310.400	13.600
RQ	79.843	31.835	164.974	124.525	274	85.550	730

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-116 Diagrama de Caja, Densidad de laboratorio histórico (g/ml), Sector Norte y Borde Este



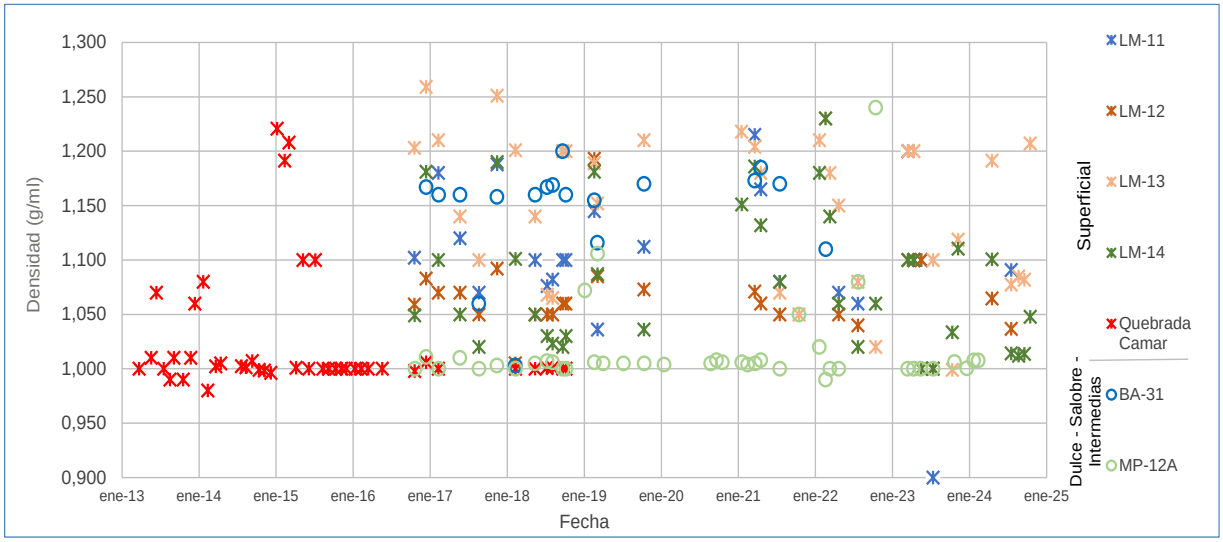
	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	24	31	30	44	18	40
Min	0,900	1,000	0,999	1,000	0,980	1,003	0,333
P25	1,075	1,050	1,100	1,030	1,000	1,145	1,000
Mediana	1,100	1,060	1,189	1,070	1,000	1,160	1,005
P75	1,150	1,085	1,210	1,143	1,009	1,170	1,008
Max	1,215	1,193	1,259	1,230	1,221	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

Variación Temporal de los parámetros

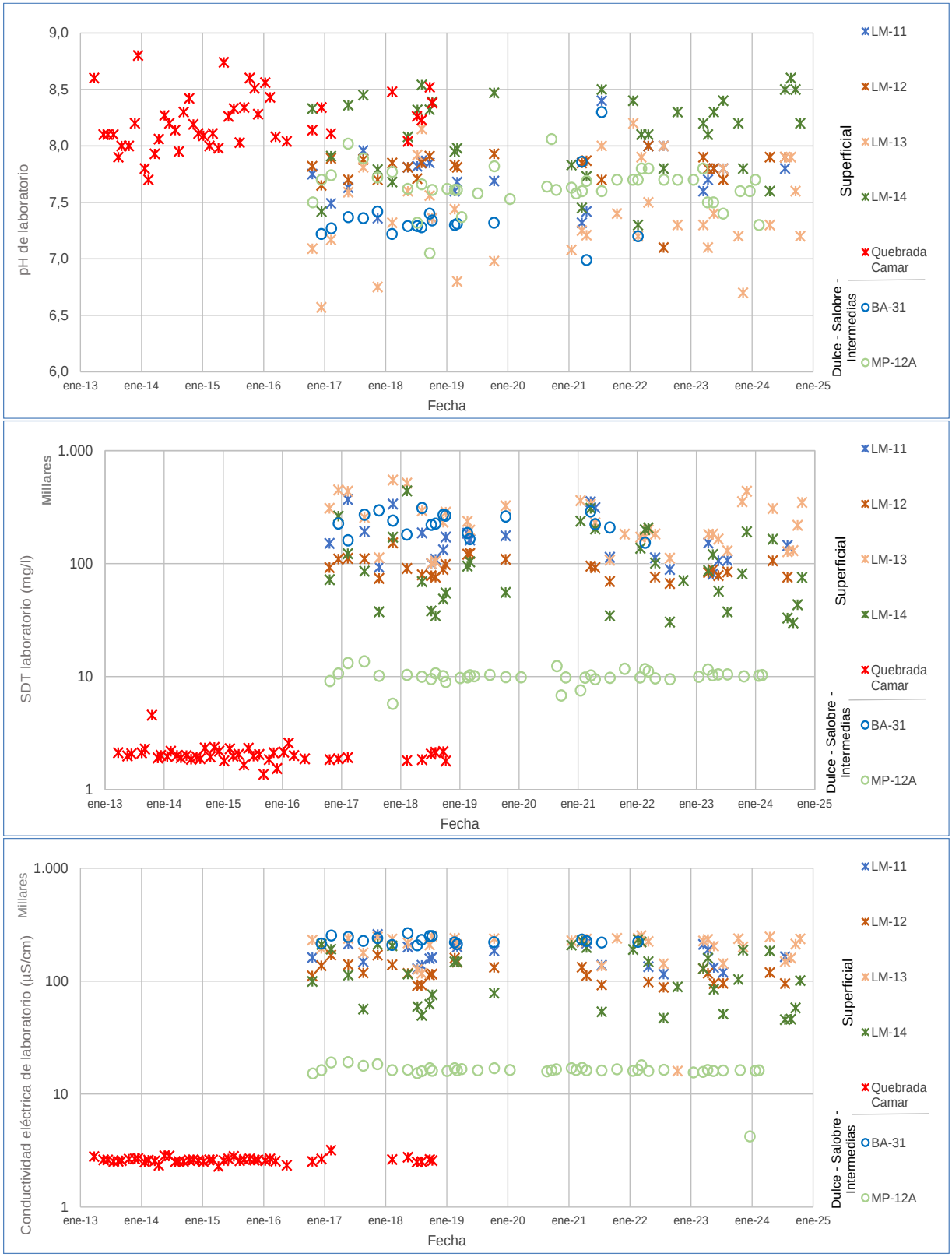
En la Figura 6-117 y Figura 6-118 se presenta la variación temporal de los valores de los parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio, donde se aprecia que las mediciones de 2024 se mantienen dentro de la variación natural observada en el registro histórico.

Figura 6-117 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 6-118 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

Aniones mayores

Los elementos mayoritarios disueltos se presentan desde la Figura 6-119 a Figura 6-122. 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 concentraciones de cloruros en las lagunas presentan valores de medianas de 48.564 mg/l en LM-14 hasta 165.199 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 5.282 mg/l. Los datos del año 2024 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 404 mg/l (LM-14), hasta valores máximos de P75 de 1.260 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 5,18 mg/l. Para los otros puntos LM-XX, la mediana de concentraciones varía entre 2,21 mg/l (LM-12) a 4,09 mg/l (LM-11). Las muestras obtenidas de BA-31 presentan una mediana de 5,41 mg/l. MP-12A presenta una mediana de 3,54 mg/l. Los datos de 2024 se circunscriben dentro de los históricos.

Para las lagunas, las medianas varían desde 5.856 mg/l (LM-14) hasta 13.107 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.

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 6-123 a la Figura 6-126.

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 453 mg/l (LM-14) hasta 941 mg/l (LM-11), mientras que las muestras de

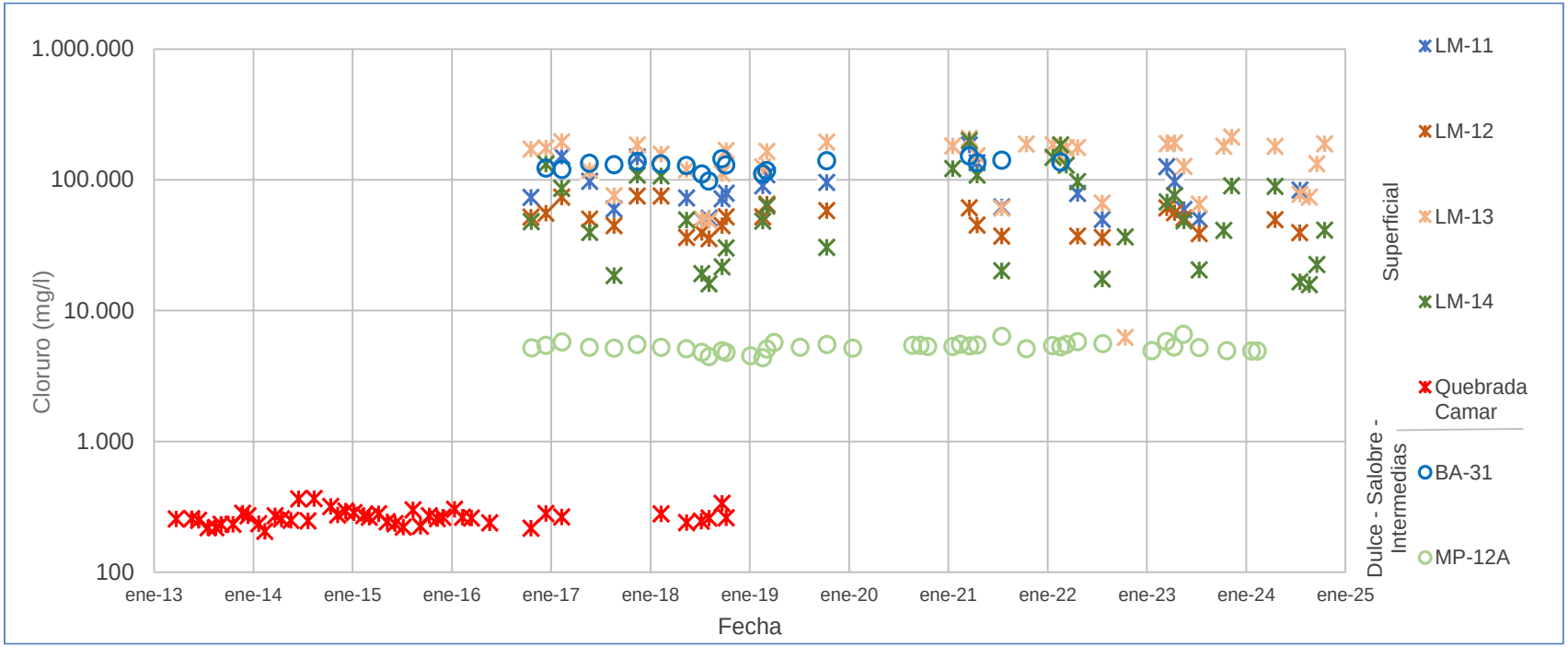
Q MP-12A la mediana es de 130 mg/l y 149 mg/l, respectivamente. En BA-31, la mediana es de 582 mg/l.

Las muestras de MP-12A para potasio se comportan dentro de la variabilidad natural histórica, donde la mediana es de 481 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 3.750 mg/l (LM-12) a 11.253 mg/l (LM-13).

Las concentraciones de magnesio muestran que MP-12A presentan medianas de 206 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 1.901 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.

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.

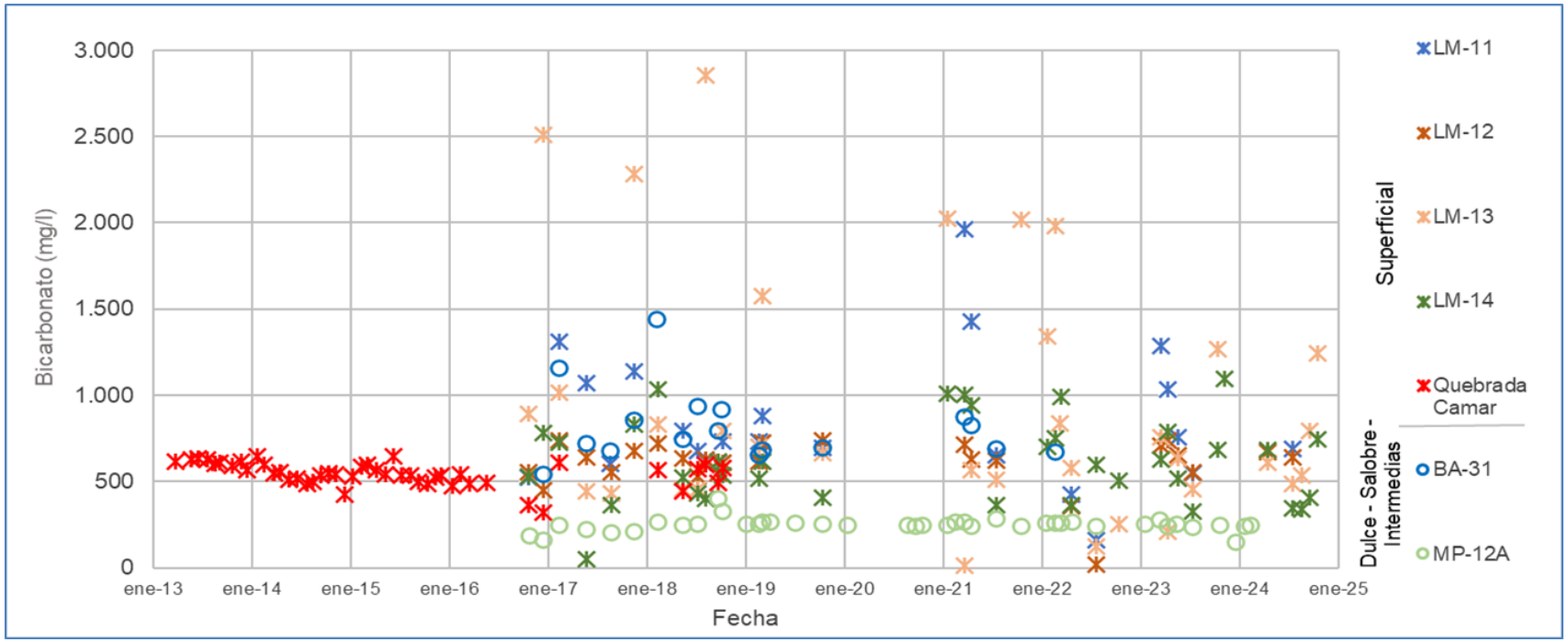
Figura 6-119 Variación Temporal: Cl en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	37	36	45	18	41
Min	49.735	35.589	6.258	15.844	205	98.170	4.374
P25	59.929	39.356	94.880	21.875	239	119.475	5.020
Mediana	79.334	50.616	165.199	48.564	260	131.659	5.282
P75	109.466	58.817	185.294	104.769	280	138.555	5.505
Max	184.943	75.259	212.959	199.938	365	152.453	6.581
RQ	49.537	19.461	90.414	82.894	41	19.080	485

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

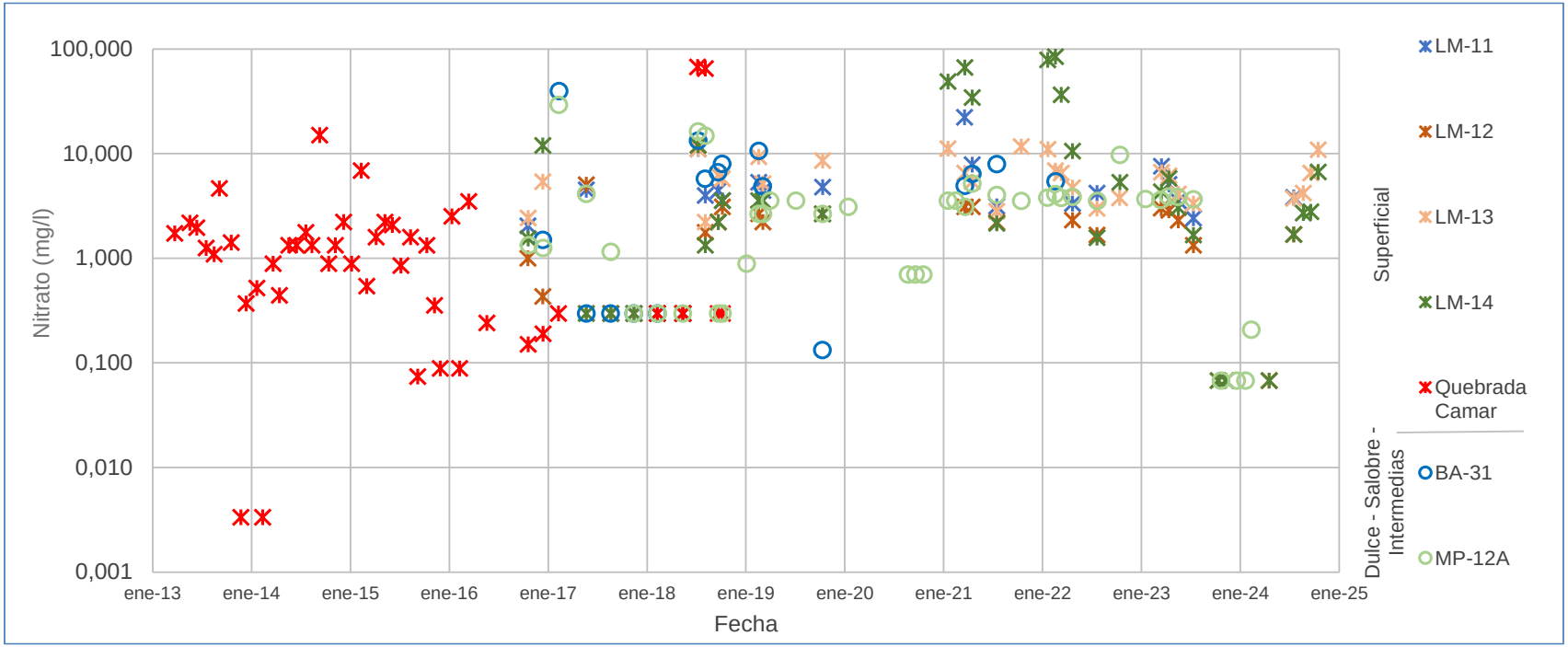
Figura 6-120 Variación Temporal: HCO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	36	36	46	17	41
Min	162	16	15	48	321	542	148
P25	610	554	464	404	498	680	240
Mediana	732	631	684	606	545	744	248
P75	1.068	709	1.260	774	596	895	261
Max	1.964	737	2.855	1.097	645	1.440	403
RQ	458	155	796	370	98	215	21

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

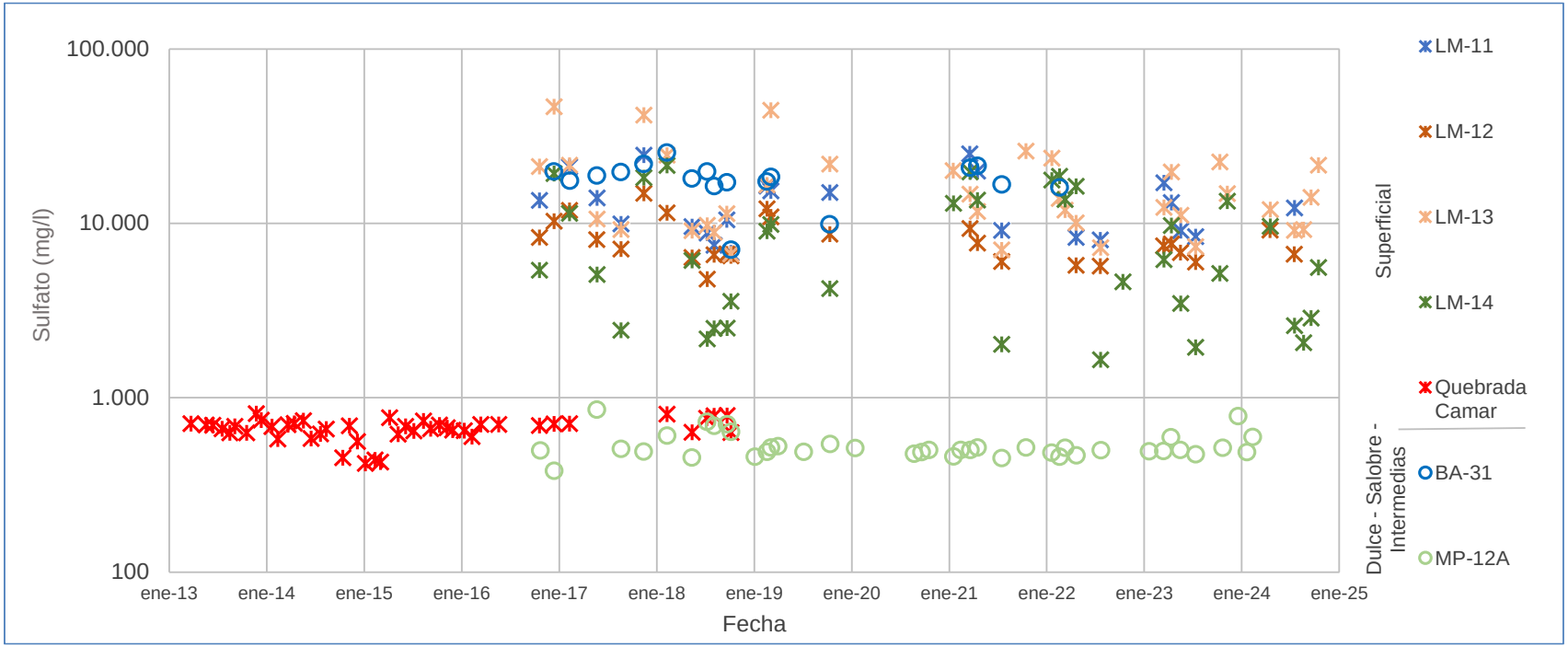
Figura 6-121 Variación Temporal: NO_3 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	22	25	35	35	46	17	43
Min	0,30	0,07	0,07	0,07	0,00	0,13	0,07
P25	2,95	0,72	2,43	1,33	0,30	0,30	0,70
Mediana	4,09	2,21	5,18	2,79	1,17	5,41	3,54
P75	5,13	2,93	6,65	10,56	1,99	7,96	3,85
Max	22,27	11,96	11,69	84,37	67,31	39,72	29,32
RQ	2,18	2,21	4,22	9,23	1,69	7,66	3,15

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

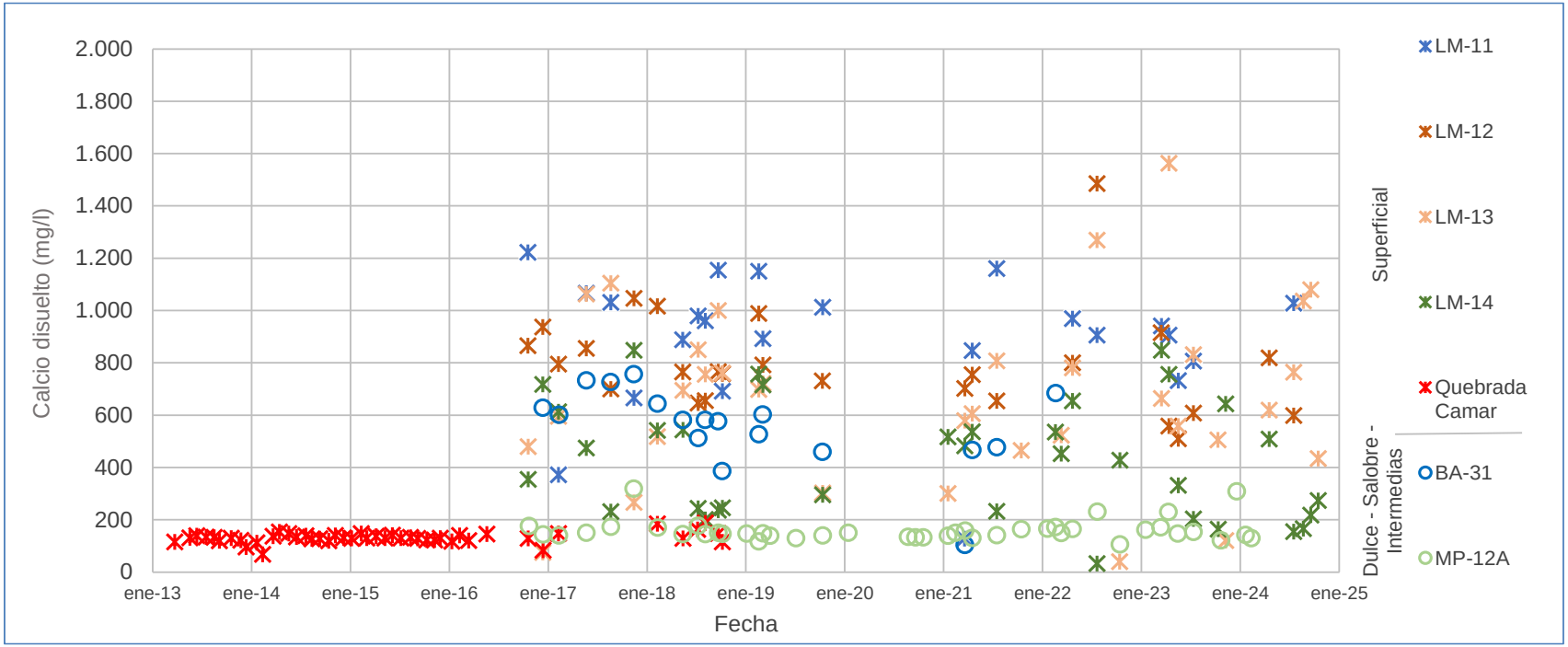
Figura 6-122 Variación Temporal: SO_4 en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	36	36	45	18	41
Min	6.775	4.787	6.674	1.651	420	7.067	382
P25	8.804	6.469	9.337	2.657	630	16.659	486
Mediana	12.240	7.515	13.107	5.856	684	18.269	502
P75	16.386	9.577	21.549	13.536	710	20.120	535
Max	25.039	14.883	46.609	21.495	811	25.515	854
RQ	7.582	3.108	12.212	10.879	80	3.461	49

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

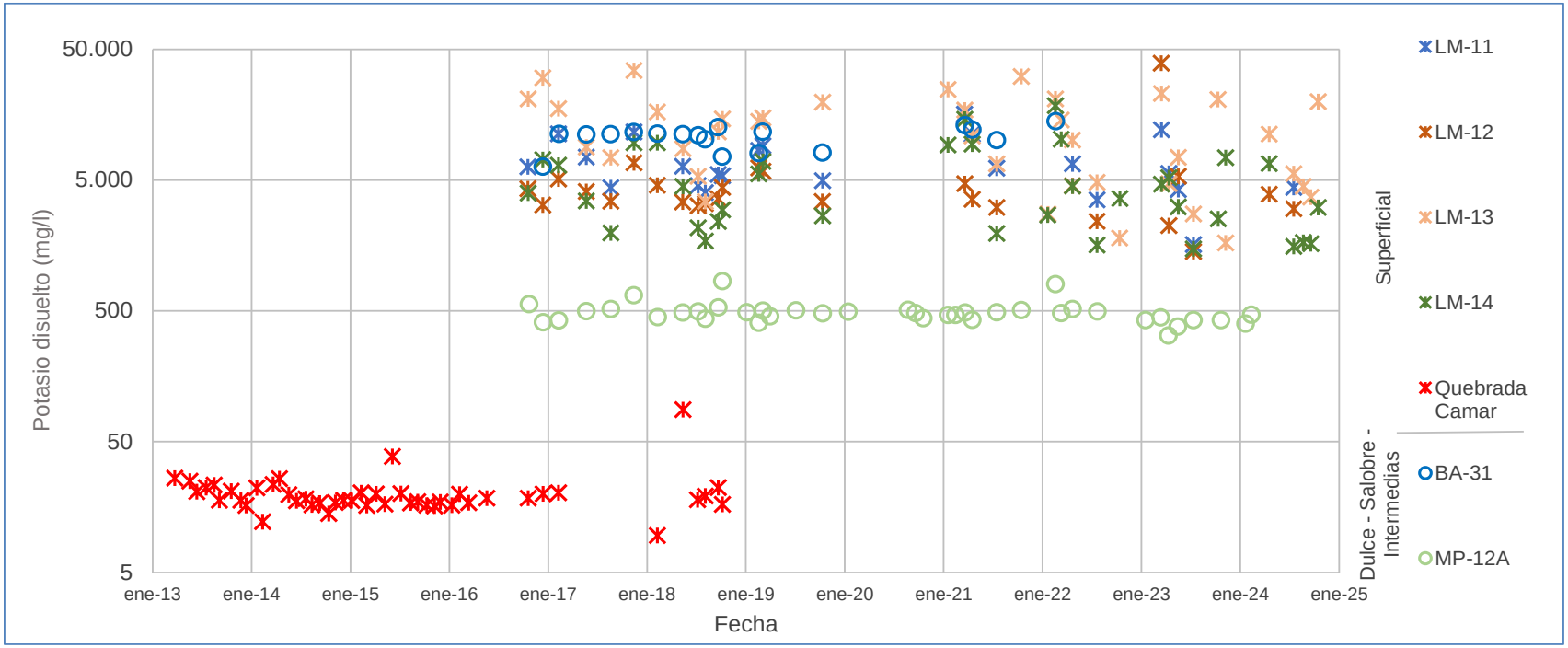
Figura 6-123 Variación Temporal: Ca disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	35	35	46	18	43
Min	128	509	40	33	68	104	106
P25	807	656	479	233	123	475	139
Mediana	941	766	664	453	130	582	149
P75	1.031	878	831	613	140	654	166
Max	1.222	1.486	1.563	848	188	757	319
RQ	224	222	352	380	17	179	27

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

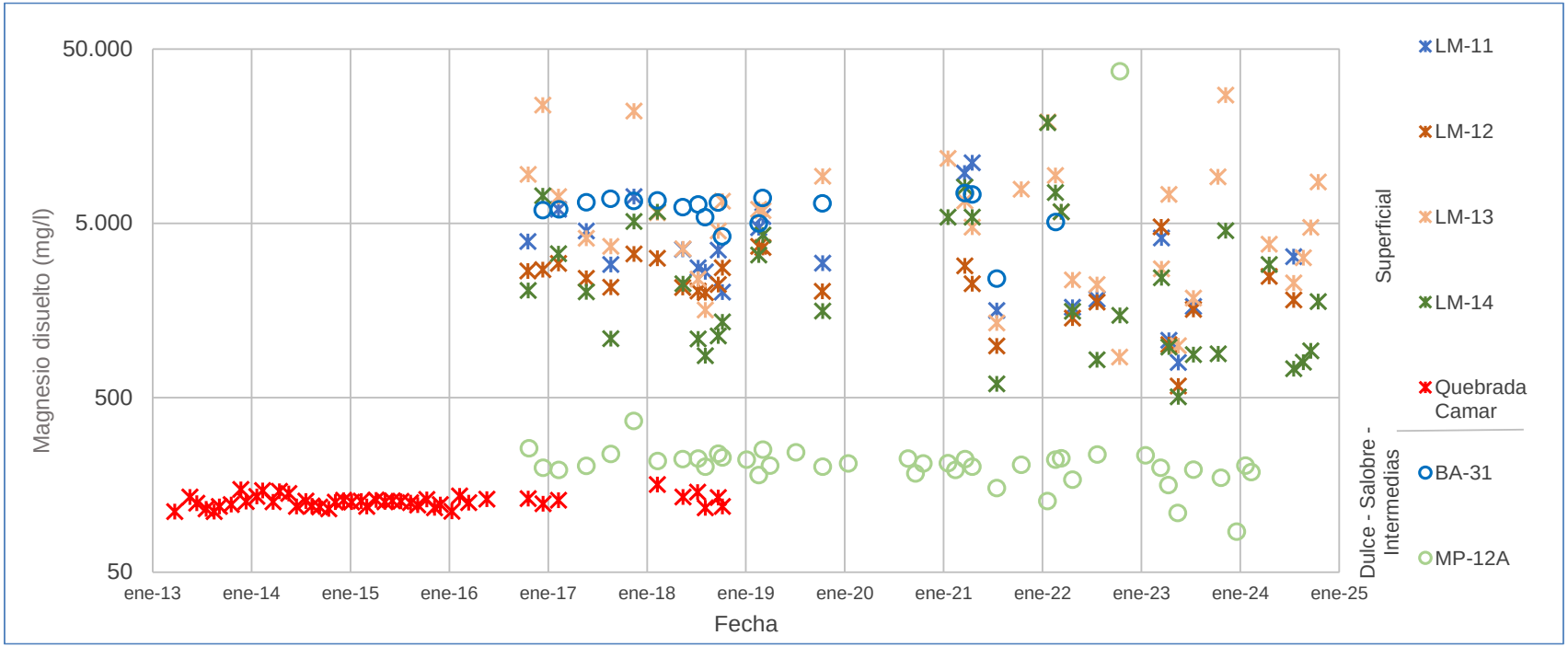
Figura 6-124 Variación Temporal: K disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	37	36	46	18	40
Min	1.605	1.418	1.657	1.487	10	6.335	324
P25	4.393	3.208	5.078	2.225	17	9.627	429
Mediana	6.150	3.750	11.253	3.791	18	11.235	481
P75	9.132	4.799	19.806	7.122	21	11.828	504
Max	15.970	39.167	34.360	18.518	88	14.142	846
RQ	4.739	1.591	14.728	4.897	4	2.201	75

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

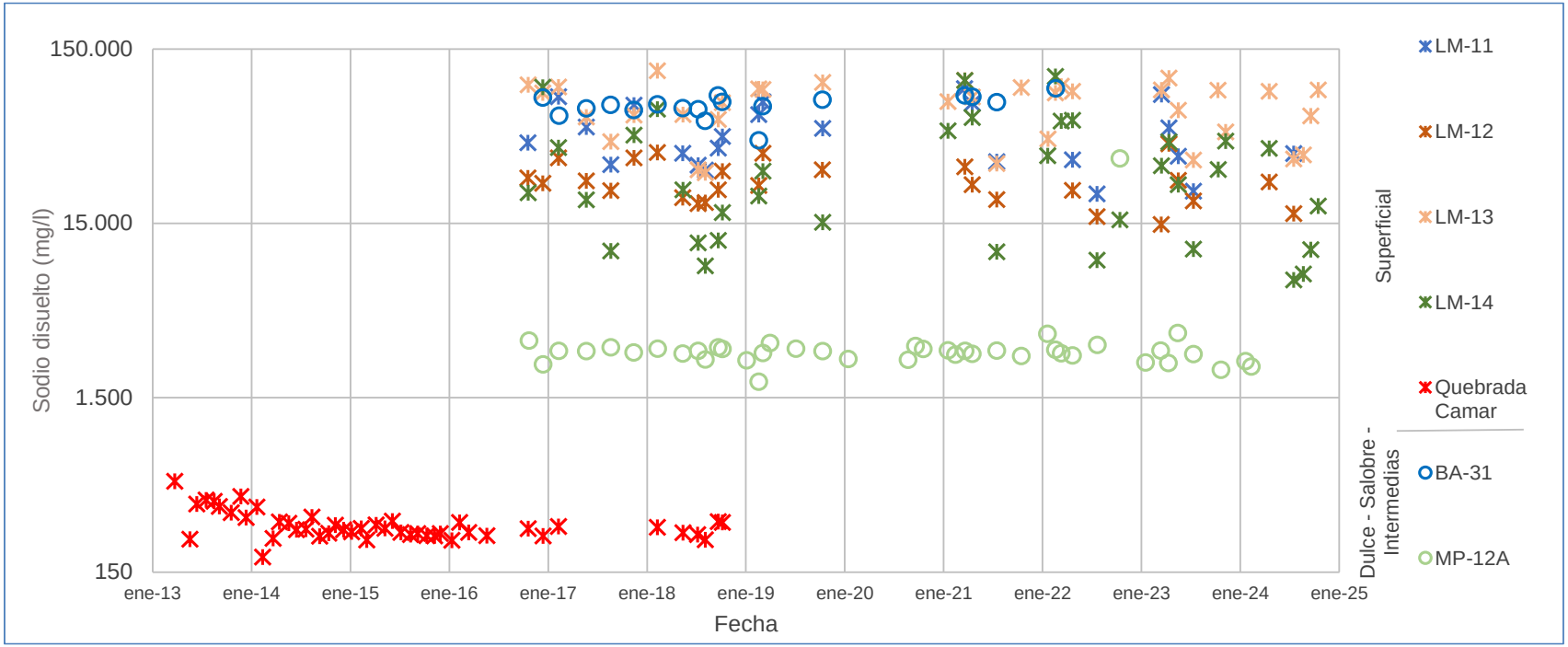
Figura 6-125 Variación Temporal: Mg disuelto en laboratorio histórico (mg/l), Sector Norte y Borde Este



	LM-11	LM-12	LM-13	LM-14	Quebrada Camar	BA-31	MP-12A
N° Datos	23	26	37	36	46	18	43
Min	795	585	856	507	111	2.414	85
P25	1.838	1.808	2.567	939	119	5.340	193
Mediana	3.218	2.240	5.743	1.901	126	6.472	206
P75	4.720	2.875	8.944	4.982	132	6.811	224
Max	11.130	4.763	27.188	18.878	159	7.458	37.250
RQ	2.882	1.067	6.377	4.043	13	1.471	31

Nota: Quebrada Camar no se mide desde 2019 por no contar con permiso de la comunidad.
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-126 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	23	26	35	36	46	18	42
Min	22.105	14.780	29.241	7.097	183	44.980	1.855
P25	33.923	20.431	50.250	11.698	245	67.485	2.497
Mediana	43.501	25.191	79.500	24.172	265	72.035	2.773
P75	71.470	30.714	88.665	47.203	293	79.103	2.867
Max	88.950	42.905	112.500	104.248	498	89.050	35.400
RQ	37.547	10.283	38.415	35.505	48	11.618	370

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 Nº 21/2016, resuelta mediante la R.E. Nº1.472 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.

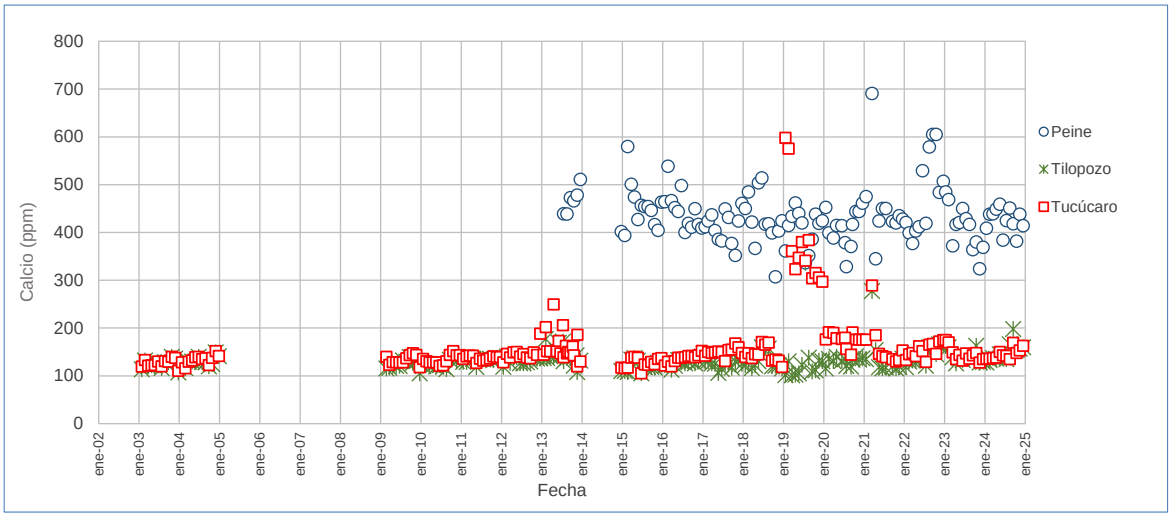
A saber, la Resolución indica textual que: *"[…] el alcance del PSAH, expuesto en el considerando 7 de la RCA respecto del componente ambiental "Físico Calidad del Agua", para el monitoreo "calidad química del agua superficial y subterránea" debe citar únicamente la Tabla 3-5, Tabla 3-6 y Tabla 3-7 del Anexo 3 de la Adenda Nº5"*. 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"*.

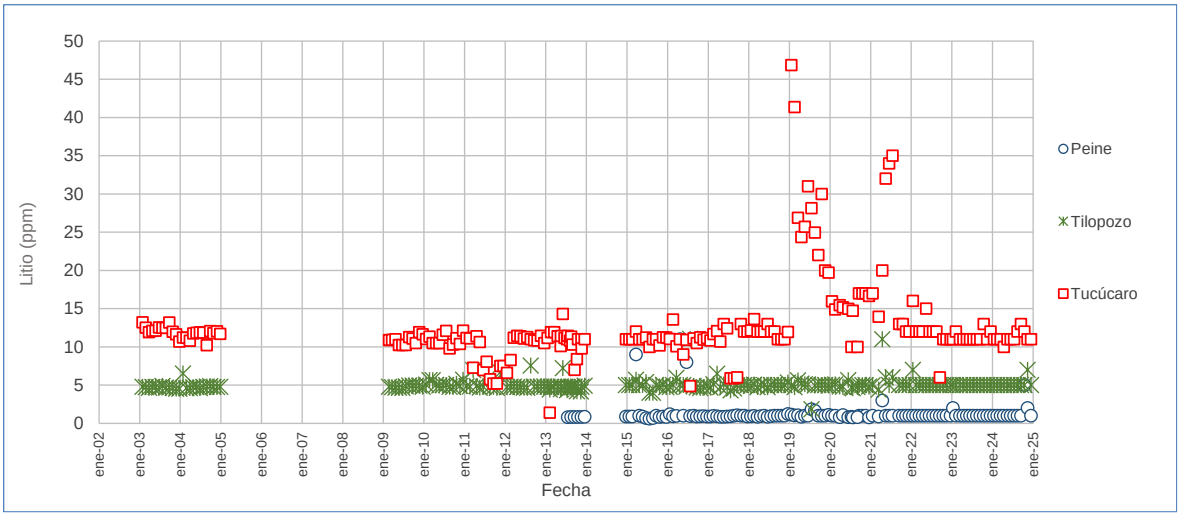
Sin perjuicio de lo anterior, se presentan los resultados de la química de los 3 puntos de extracción con derechos de aguas, punto superficial Vertiente Tilopozo y los pozos: Peine, y Tucúcaro, de los parámetros respectivos: calcio, litio, potasio, magnesio, sodio y sulfato, reportados en unidades de ppm (partes por millón).

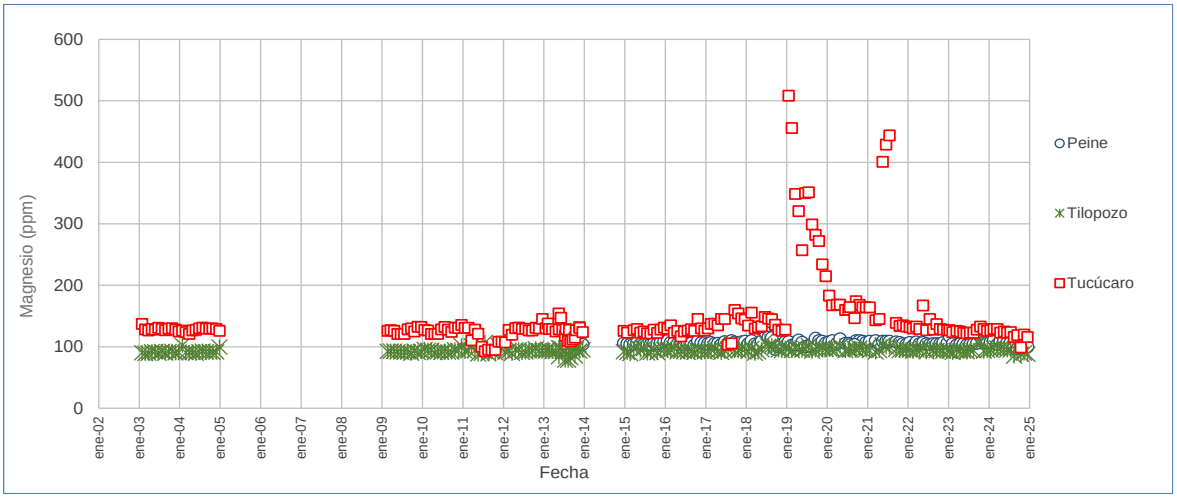
La Figura 6-127 presenta la gráfica histórica de la variación de calcio, litio y magnesio y la Figura 6-128 presenta la variación de potasio, sodio y sulfato para las captaciones pozo Peine, Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro. Cabe indicar que el pozo Peine comienza su bombeo más tarde que los demás, con registros desde Julio 2013.

En la Figura 6-127 y en la Figura 6-128 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 año 2023 concentraciones cercanas a las que ocurrían previo a este aumento, º. Estos aumentos en las concentraciones ocurren posteriores al evento de precipitaciones de 2019, lo cual pudo provocar disolución de sales que luego 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 2021 (además de enero de 2019) ocurren aumentos de litio, magnesio y sodio, y en menor medida potasio, en el pozo Tucúcaro.

Figura 6-127 Variación temporal de Calcio, Litio y Magnesio en Vertiente Tilopozo y los pozos Peine y Tucúcaro

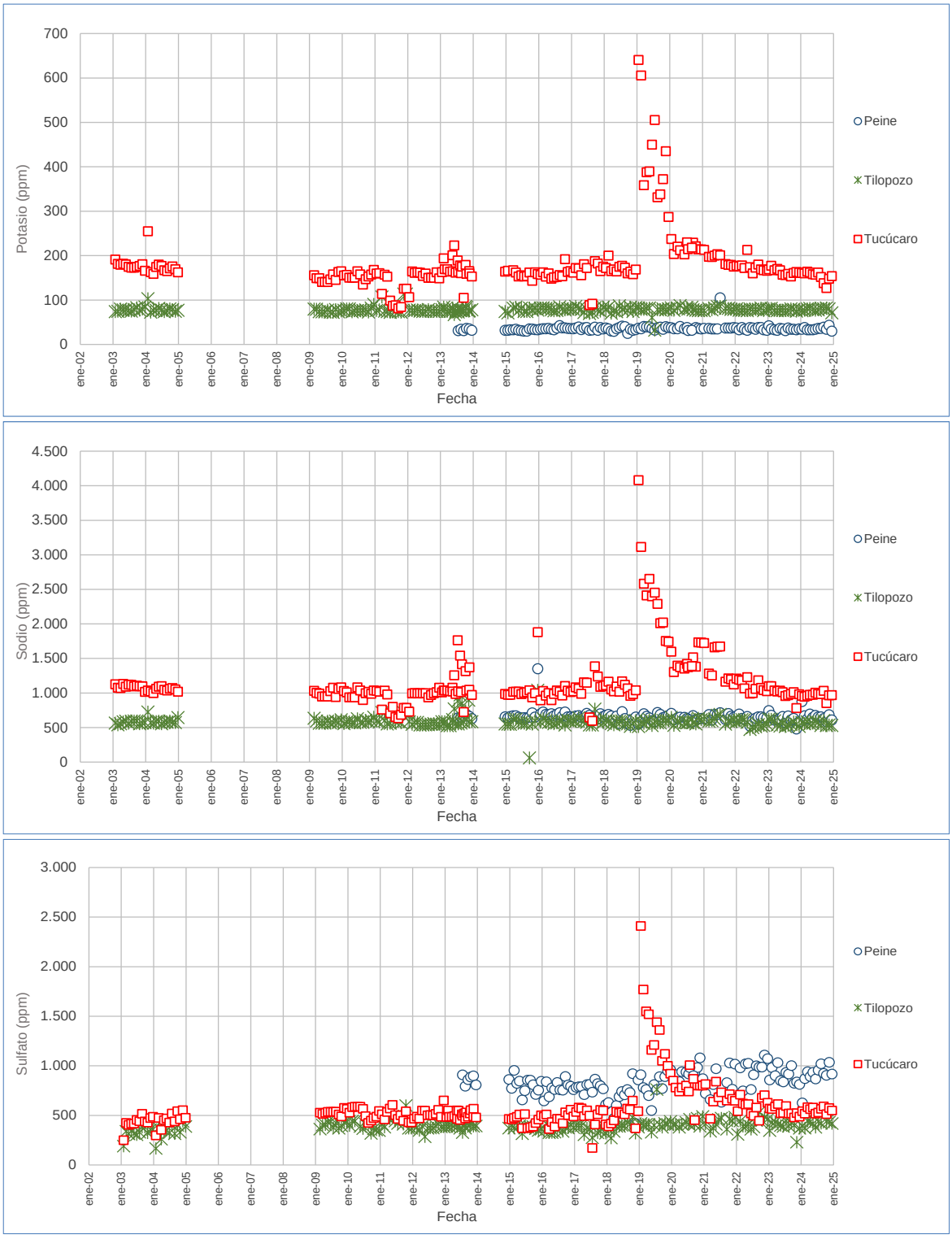






Fuente: Elaboración propia

Figura 6-128 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 2024 (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 2024 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 el año 2024, 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 esta sección se presentan los registros históricos de caudales de extracción de salmuera y de agua dulce-salobre hasta diciembre del 2024.

La extracción de salmuera se realiza desde los pozos ubicados en las áreas de extracción A1 y A2 (**Figura 5-102**), cuya dinámica de bombeo responde a razones operacionales que se ajustan al caudal de bombeo aprobado ambientalmente, siendo la cantidad de pozos en operación variable lo largo de los años. Mientras que la extracción de agua dulce-salobre se realiza desde la vertiente Tilopozo, pozo Tucúcaro y pozo Peine. En esta sección, además, se analizan los límites comprometidos para la variable caudal bombeado tanto de salmuera como de agua dulce-salobre.

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

En la RCA N°21/2016 se presenta la regla de extracción de salmuera aprobada para Albemarle, en donde se autoriza un aumento del caudal de extracción desde 142 l/s hasta 442 l/s (300 l/s adicionales, exclusivos desde el área de bombeo A1), como caudal medio anual. La Tabla 6-14 presenta la regla de extracción aprobada en la RCA N°21/2016.

Tabla 6-14 Regla de extracción aprobada, RCA N°21/2016

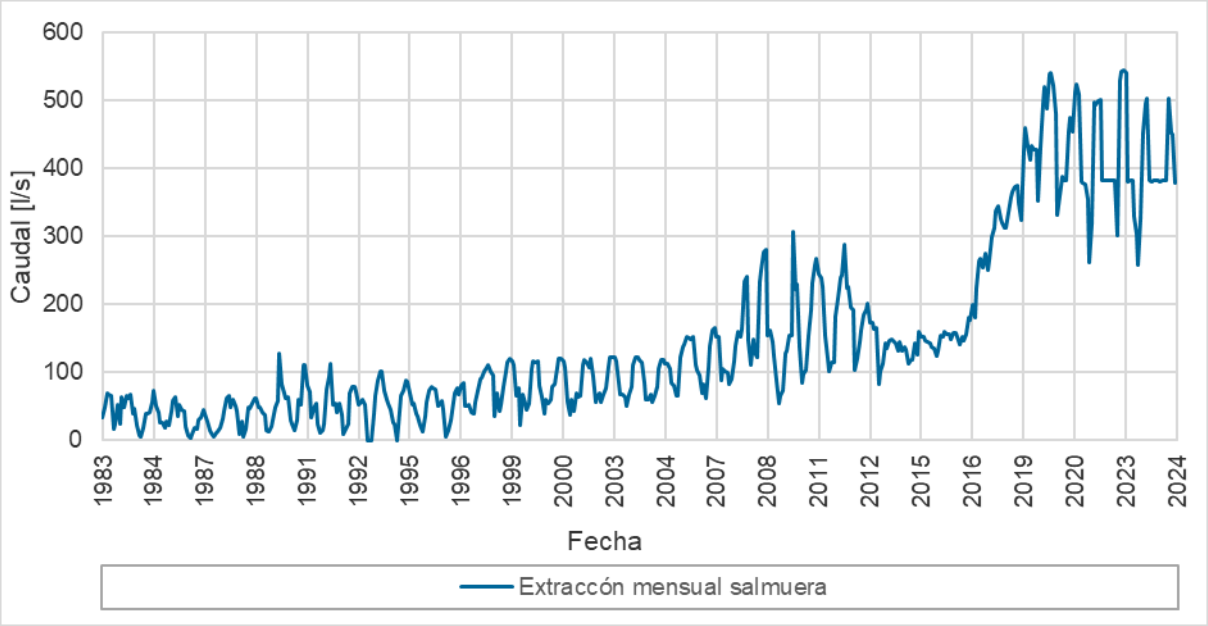
Área de Bombeo	Previo a RCA Nº21/2016	Inicio proyecto (28.09.16)	Inicio+6 meses (01.04.17)	Inicio+12 meses (01.10.17)	Inicio+18 meses (01.04.18)	Inicio+24 meses (01.10.18)
A1	60	120	180	240	300	360
A2	82	82	82	82	82	82
Aumento Extracción (l/s)	0	60	120	180	240	300
Extracción Total (l/s)	142	202	262	322	382	442

Fuente: Modificado de Tabla 5-17 Anexo 1, Adenda 5 y Tabla 1 RCA Nº21/2016.

El Proyecto inició su fase de operación el 28 de septiembre de 2016 por lo que, desde octubre de 2018 (cuando se cumplió el aumento de 60 l/s de cada escalón de bombeo), el límite de extracción total quedó fijado en 442 l/s, el cual sigue manteniendo a la fecha.

La extracción histórica mensual de salmuera del titular del proyecto entre 1983 y 2024 se muestra en la Figura 6-129. 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 6-129 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, periodo 1983-2024 (extracción total de zonas A1 y A2)

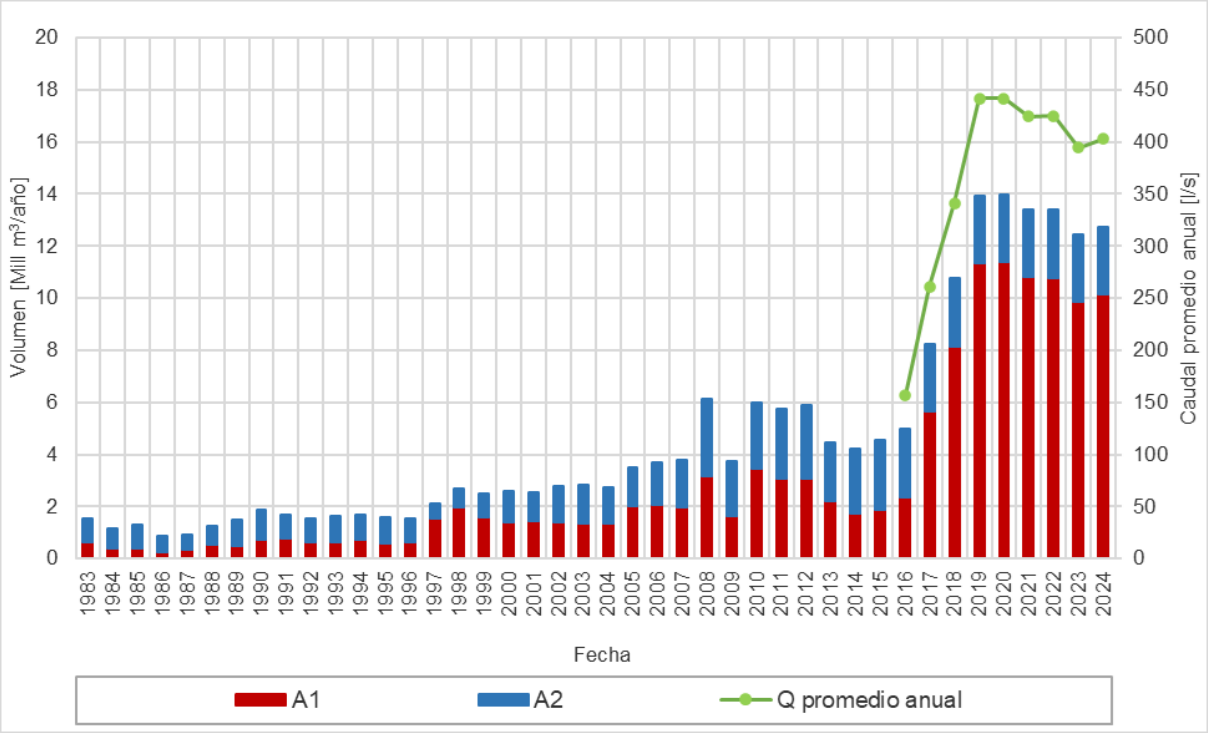


Fuente: Elaboración propia

El volumen de extracción de salmuera anual según año calendario en ambas áreas (A1 y A2) en el período 1983-2024 se presenta en la Figura 6-130. Se observa que el volumen máximo de extracción total del año calendario se alcanzó el 2020, con 13.975.851 m^3, lo que equivale a un caudal medio anual de 441,96 l/s, no obstante, este valor no representa el caudal medio anual máximo. El caudal medio anual máximo se alcanzó el año 2019, con un caudal de 441,98 l/s, si bien el volumen extraído en el año 2020 (13.975.851 m^3) fue mayor al extraído el año 2019 (13.938.128 m^3), el año 2020 fue un año bisiesto, por lo que al calcular el caudal medio anual da levemente inferior al del 2019. Posterior al año 2019 la tendencia es a disminuir el volumen anual bombeado: el año calendario 2024 se bombeó un volumen total de 12.745.803 m^3 (caudal medio anual de 403,06 l/s) el cual es levemente superior al volumen del año 2023 de 12.431.567 m^3 (caudal medio anual de 394,20 l/s).

Se observa en la Figura 6-130 (año calendario) que hasta octubre del 2016 ambas áreas de extracción (A1 y A2) bombeaban volúmenes similares, y a partir del 2017 (posterior a la RCA 21/2016) las mayores extracciones son del sector A1 con caudales mensuales medios entre 107,58 l/s (febrero del año 2017) y 438,40 l/s (diciembre del año 2022) durante el periodo 2017-2024. El sector A2 presenta bombeos menores, con caudales mensuales medios entre 10,05 l/s (diciembre del año 2018) y 114,14 l/s (octubre del año 2023) para el mismo periodo.

Figura 6-130 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2024

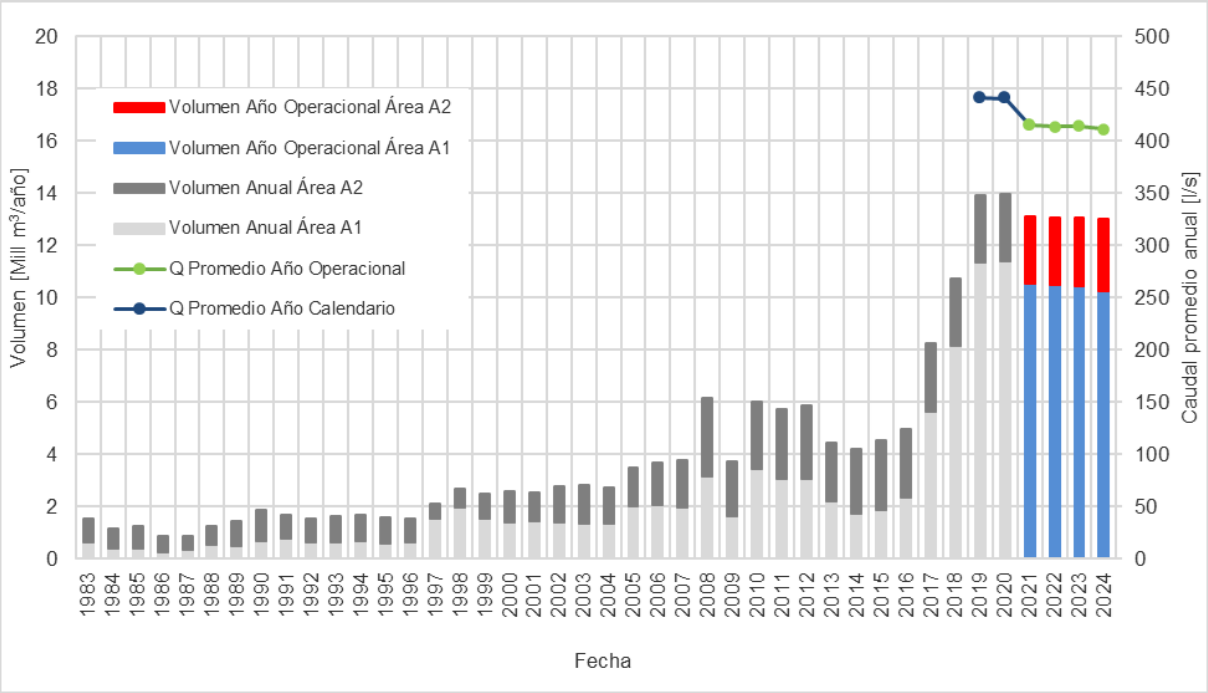


Fuente: Elaboración propia

Como se menciona en la sección 5.9.1, de acuerdo con lo planteado en la Res Ex N°427/2021 los cumplimientos de los compromisos ambientales se deben realizar en base a las extracciones por año operacional (octubre del año t a septiembre del año t+1). En este contexto la Figura 6-131, muestra el registro histórico de las extracciones considerando los años desde 1983 a 2020 como año calendario (según lo reportado previamente en versiones anteriores de este informe) y desde el año 2021 a 2024 se actualiza a año operacional (octubre año t a septiembre año t+1) posterior a las aclaraciones de la Res Ex N°427/2021.

En los últimos 4 años, se observa que el volumen del año operacional se ha mantenido prácticamente constante, con caudales de 415,72 l/s, 414,08 l/s, 414,13 l/s y 411,24 l/s para los años operacionales 2020-2021, 2021-2022, 2022-2023 y 2023-2024. El análisis de los límites comprometidos se presenta en la sección 6.1.9.1.1.

Figura 6-131 Volumen anual y caudal medio anual año calendario en salmuera de Albemarle, periodo 1983-2020 y año operacional periodo 2021-2024



Fuente: Elaboración propia

6.1.9.1.1 Limites comprometidos para caudales bombeados en Salmuera

El caudal bombeado de salmuera está sujeto a restricciones según las medidas asociados a las posibles activaciones del PAT (Plan de Alerta Temprana), el cual se describe en Anexo 3 de la Adenda 5 de la evaluación ambiental del proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”.

En caso de activarse el PAT en alguno de los sectores (sector Alerta Norte, sector Alerta Núcleo y/o sector Alerta Acuífero), el caudal de extracción se debe reducir según las medidas indicadas para cada uno. Estas medidas de reducción se presentan inicialmente en el Plan de Alerta Temprana (Anexo 3 de la Adenda 5), y luego son aclaradas en la Res Ex N°427/2021, Res Ex 1510/2021, Res Ex SMA N°724/2021, Res Ex N°842/2021 y el documento más reciente Res SEA 202499101370 de mayo de 2024 que Resuelve la Interpretación PAT.

En cuanto a las activaciones PAT para el año operacional 2023-2024 (octubre 2023 a septiembre 2024), el PAT sector Alerta Norte, se mantuvo activo en su fase II durante todo el año operacional 2023-2024; el PAT sector Alerta Núcleo se activó en su fase II en julio 2024 y se mantuvo activo por el resto del año operacional 2023-2024. Mientras que el PAT sector Alerta Acuífero (en su fase única) se activó desde diciembre 2023 hasta agosto 2024.

A continuación, se detallan las medidas preventivas de reducción en el caudal bombeado debido a las activaciones PAT por sector. Se debe tener en cuenta que para el año 2024 se activan de manera simultánea los 3 sectores de Alerta PAT, no obstante, se suman las medidas activadas por el sector Alerta Norte y Núcleo, lo que se explica más adelante.

Medidas de reducción para cada sector de Alerta

Activación Sector Alerta Norte: Las medidas de reducción de caudal en el caso de activarse el PAT sector Alerta Norte restringen el volumen anual que se puede extraer. La reducción de volumen se expresa como una reducción del caudal medio anual del año operacional correspondiente. Por lo tanto, Albemarle deberá disminuir su caudal de extracción de modo tal que, el caudal medio anual del año operacional no supere un *Nuevo Límite Anual*. Este nuevo límite anual aplica solamente para los días en que el PAT del Sector Alerta Norte se encuentra efectivamente activado.

En relación con el **caudal de reducción** se tiene que la activación del PAT de la Fase II sector Alerta Norte implicaba hasta el año operacional 2022-2023 aplicar una medida de reducción de un 6,3% del caudal autorizado para Albemarle (442 l/s) lo que se traduce en una reducción de 27,6 l/s en el límite anual máximo de bombeo (RCA 21/2016). Posteriormente, en la Res SEA 202499101370 de mayo de 2024, se actualiza el porcentaje de contribución de acuerdo con lo mencionado en el considerando 12.3, en el documento se menciona que el porcentaje de contribución de Albemarle no supera el 10%, luego en el considerando 12.7 se presenta la siguiente ecuación para el cálculo del Caudal de reducción:

$$Caudal\ de\ reducción = bombeo\ total\ \times\ \%\ de\ reducción\ del\ periodo\ \times\ \%\ de\ responsabilidad \qquad \text{(Ec.1)}$$

La cual Albemarle aplica de la siguiente manera:

- Bombeo total en el salar de atacama: 2.042 l/s
- Porcentaje de reducción: 6,3%
- Porcentaje de responsabilidad de Albemarle: 10%

El cálculo del caudal de reducción al aplicar la ecuación Ec.1. se muestra a continuación:

$$Caudal\ de\ reducción = 2.042\ l/s \times\ 6{,}3\%\ \times\ 10\% = 12{,}76$$

En relación con el **Límite Anual** en la Res SEA 202499101370 de mayo de 2024, se aclara en el considerando 9.8 que "*el periodo de tiempo puede ser tanto a escala mensual como diaria, mientras que el caudal permitido no cuenta con restricción a nivel mensual, pero si a*

nivel anual […]". En base a lo anterior, la ecuación del *Nuevo Límite Anual* indicada en la Resolución Exenta 1510/2021 puede ser planteada de la siguiente manera:

$$Nuevo\ límite\ Anual\ (L/s) = \frac{N°\ de\ días\ con\ medida\ activa\ (442 - monto\ de\ reducción) + N°\ de\ días\ \text{sin}\ medida\ activa * 442}{N°\ días\ del\ año\ operacional} \quad \text{(Ec.2)}$$

Por lo tanto, el caudal de reducción para el año operacional 2023-2024 es de 12,76 l/s. Luego, dado que la Fase II del PAT sector Alerta Norte se mantuvo activa durante los 12 meses del año operacional 2023-2024 se tiene que:

- N° de días con medida activa: 366 días
- N° de días sin medida activa: 0 días
- Monto de reducción: 12,76 l/s

Reemplazando en la Ec.2 se tiene lo siguiente:

$$Nuevo\ límite\ Anual = \frac{366\ días \times (442\ l/s - 12{,}76\ l/s)\ +\ 0\ \text{días} \times 442\ \text{l/s}}{366\ días} = 429{,}24\ l/s$$

Finalmente, el Nuevo Límite Anual sólo para el sector Alerta Norte es de 429,24 l/s para el año operacional 2023-2024, con un caudal de reducción ponderado de 12,76 l/s (442 l/s – 429,24 l/s=12,76 l/s).

Si bien, se calcula el límite Anual del sector Alerta Norte, se debe tener en cuenta que en el año operacional 2023-2024 se activa simultáneamente el PAT Alerta Norte Fase II y PAT Alerta Núcleo Fase II, para lo cual la Res SEA 202499101370 de mayo de 2024, en su considerando 11.2 indica que: *"esta Dirección Ejecutiva, considera que, en caso de activarse el PAT de más de un sector, los caudales de reducción se deben aplicar independientemente de que ya estuviera en ejecución la medida de reducción en un sector diferente, considerando los montos de reducción y mecanismos de cada caso de manera independiente. De este modo, en caso de que se active más de un sector de los PAT, y aplique una medida de reducción de caudales, éstos deberán ser sumados para actualizar el caudal permitido anual"*. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la medida para PAT sector Alerta Acuífero no implica una restricción sobre el volumen anual bombeado (como el PAT de los sectores Norte y Núcleo), sino sobre el volumen mensual durante los meses de activación a través de un caudal medio mensual máximo de 382 l/s (442 l/s menos 60 l/s).

Activación Sector Alerta Núcleo: Como se menciona anteriormente, durante el año operacional 2023-2024 se activó también el PAT sector Alerta Núcleo. En este sector, el PAT también considera una reducción del volumen anual máximo a bombear limitando el volumen equivalente a una **reducción** de **60 l/s** sobre el caudal medio anual. Por lo tanto, Albemarle

deberá disminuir su caudal de extracción de modo tal que, no supere un *Nuevo Límite Anual* calculado a partir de la Ec.2 mencionada más arriba

Dado que durante el año operacional 2023-2024 el PAT sector Alerta Núcleo se activa el día 22 de julio de 2024 y permanece activo hasta el 30 de septiembre de 2024, se tiene que:

- N° de días con medida activa: 71 días
- N° de días sin medida activa: a 295 días
- Monto de reducción: 60 l/s

Reemplazando en la Ec.1 se tiene lo siguiente:

$$Nuevo\ límite\ Anual = \frac{71\ días \times (442\ l/s - 60\ l/s)\ +\ 295\ \text{días} \times 442\ \text{l/s}}{366\ días} = 430{,}36\ l/s$$

Finalmente, el nuevo límite anual dada la activación del PAT sector Alerta Núcleo es de 430,36 l/s, mientras que el caudal de reducción ponderado es de 11,64 l/s (442 l/s - 430,36 l/s=11,64 l/s).

Activación Sector Alerta Acuífero: La activación del PAT sector Alerta Acuífero no afecta el volumen anual que se puede extraer sino que implica una reducción sobre el volumen a bombear durante los meses de activación (reducción sobre el caudal medio mensual). La activación implica una reducción en 60 l/s durante los meses de aplicación de las acciones preventivas según lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5. Para el año operacional 2023-2024 estas medidas se mantuvieron activas durante diciembre 2023 hasta agosto 2024 (Figura 6-132) lo que se traduce en una extracción máxima de salmuera de 382 l/s para dichos meses (este valor corresponde a la diferencia entre el caudal máximo aprobado en RCA de 442 l/s y la reducción de 60 l/s por activación del PAT Alerta Acuífero, (442 l/s -60 l/s=382 l/s). No obstante, lo anterior, en 2023 la tercera medida puntual bajo el umbral se presentó el 30 de noviembre, y se notificó vía email a la autoridad el 1 de diciembre del año 2023, a pesar de que Albemarle podía avisar hasta el 7 de diciembre (de acuerdo a lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5 existe un plazo de 5 día hábiles para notificar).

Activación simultanea PAT

Considerando la activación simultanea del PAT del sector Alerta Norte y Núcleo el año operacional 2023-2024, se tiene que la medida de reducción de alerta Norte corresponde a un caudal de reducción de **12,76** l/s y la de Alerta Núcleo a **11,64** l/s. De acuerdo a la interpretación de la SMA, tal como se mencionó anteriormente, la medida de reducción anual actualizada corresponde a la suma de las medidas de reducción de cada sector, por lo tanto,

el caudal de reducción actualizado es de 24,40 l/s y el Nuevo Límite Anual actualizado es de 417,60 l/s (ver Tabla 6-15).

Tabla 6-15 Cálculo del Nuevo Límite Anual para la activación simultánea PAT sector Alerta Norte y PAT sector Alerta Núcleo

Activación PAT	Caudal de reducción Anual por sector (l/s)	Caudal de Reducción Actualizado (l/s) (1)	Caudal Aprobado en RCA (l/s)	Nuevo Límite Anual (l/s) (2)
Sector Alerta Norte	12,76	24,40	442,0	417,60
Sector Alerta Núcleo	11,64			

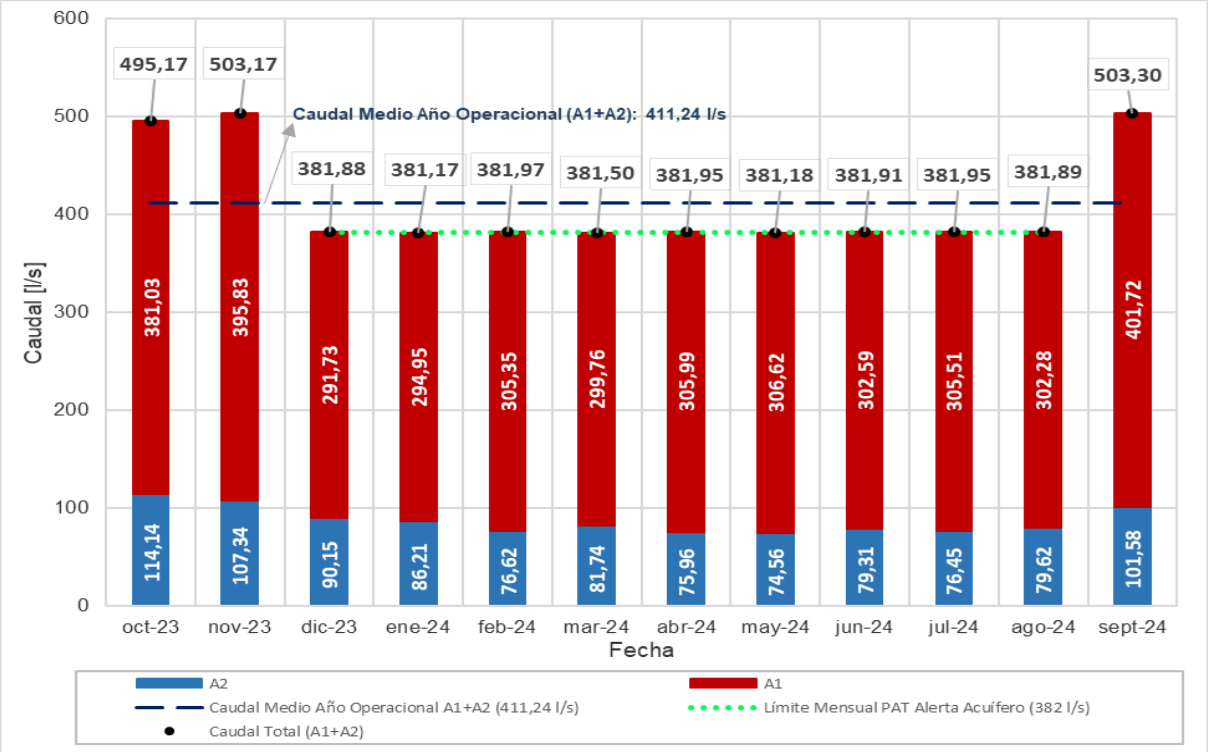
(1) Suma de Caudal de Reducción Alerta Norte y Caudal de Reducción Alerta Núcleo
(2) Diferencia entre Caudal aprobado en RCA y Caudal de Reducción Actualizado
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 6-132 se resume lo relevante expuesto en esta sección, muestra en un gráfico de columnas apiladas la extracción mensual de salmuera de las zonas A1 y A2 de Albemarle durante el año operacional 2023-2024, en donde la altura de la columna corresponde a la suma de caudal de ambas zonas.

El caudal medio del año operacional 2023-2024 fue de 411,24 l/s, el cual es inferior al Nuevo Límite Anual Actualizado de 417,60 l/s cumpliendo con el límite comprometido de caudal de salmuera debido a la activación simultánea del PAT sector Alerta Norte y PAT sector Alerta Núcleo (ambos en su Fase II). Además, en la Figura 6-132 se observa que los caudales mensuales durante los meses de activación PAT sector Alerta Acuífero (diciembre 2023 a agosto 2024) son inferiores a la extracción máxima de salmuera mensual de 382 l/s establecida como medida de reducción por la activación del PAT del sector Alerta Acuífero, cumpliendo con el límite comprometido para la variable de caudal mensual de salmuera.

Los datos de volúmenes y cálculos de caudales de los pozos mencionados para el año operacional 2023-2024 (octubre 2023 a septiembre 2024) y para el año calendario 2024 (enero a diciembre 2024) se encuentra disponible en el Anexo J.

Figura 6-132 Extracción mensual de salmuera de Albemarle, año operacional 2023-2024 (extracción total de zonas A1 y A2)

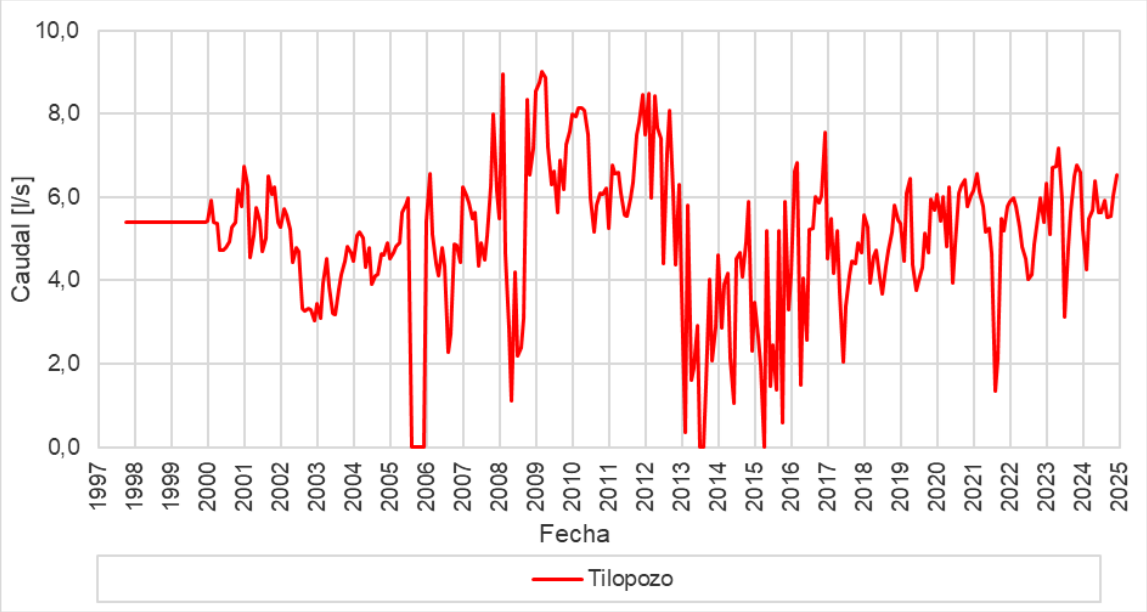


Nota: Los caudales totales se calculan, como corresponde, desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

6.1.9.2 Caudales bombeados en agua dulce-salobre

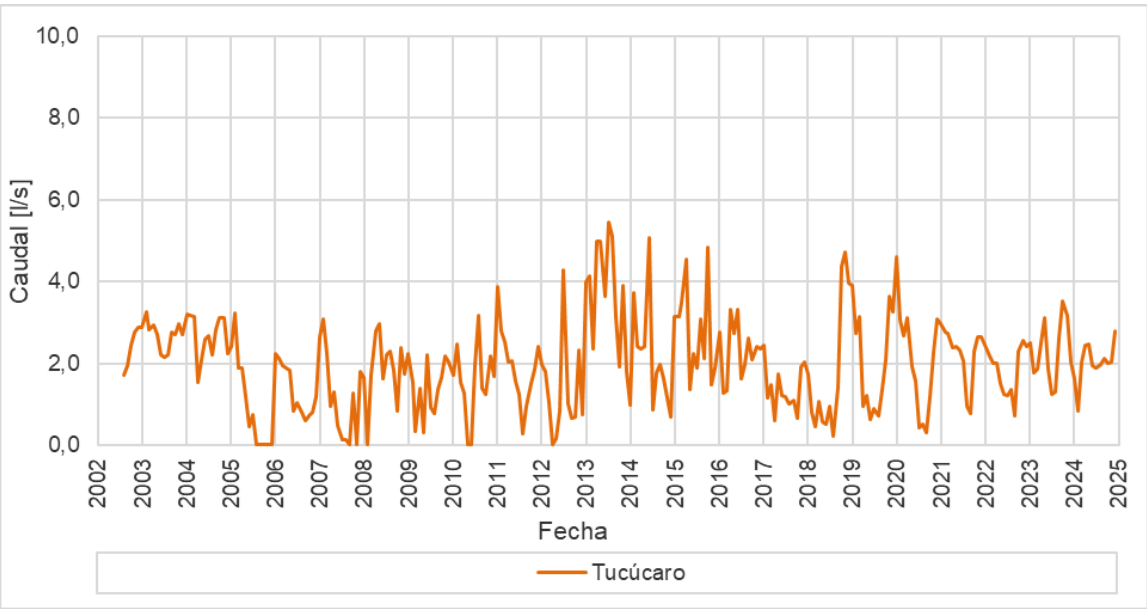
Los caudales históricos que han sido bombeados hasta diciembre 2024 en la vertiente Tilopozo, y los pozos Tucúcaro y Peine, se presentan en los gráficos de las Figura 6-133, Figura 6-134 y Figura 6-135 respectivamente.

Figura 6-133 Caudales mensuales históricos bombeados en Vertiente Tilopozo



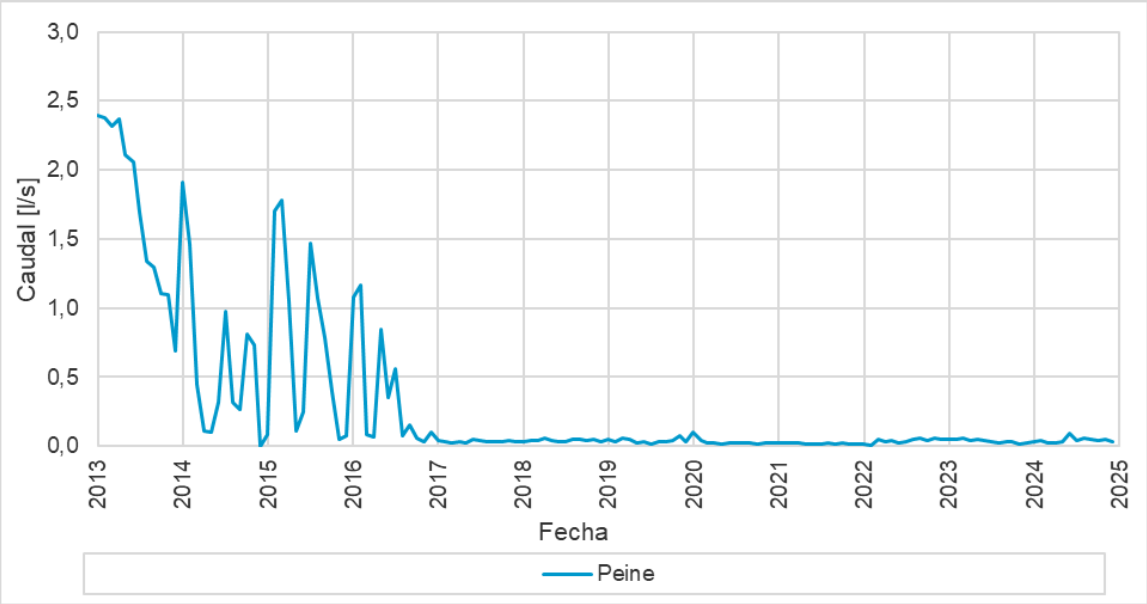
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-134 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Tucúcaro



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-135 Caudales mensuales históricos bombeados en pozo Peine



Fuente: Elaboración propia

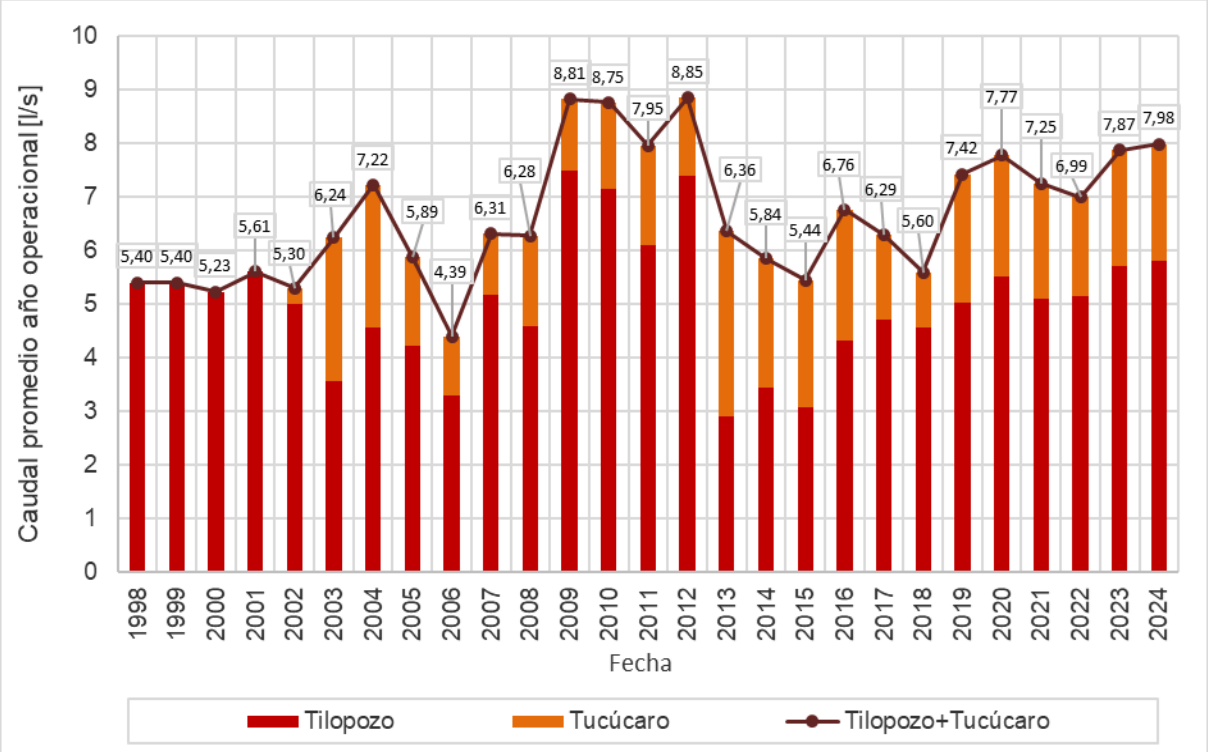
En el marco de la aprobación ambiental que establece un caudal máximo de 16,9 l/s entre Vertiente Tilopozo y Tucúcaro de forma simultánea. En la Figura 6-136 se presentan los caudales por año operacional hasta el año 2024 de vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro a través de un gráfico de columnas apiladas cuya altura total representa la suma de ambos caudales. Se observa que durante todo el periodo de registro los caudales se han mantenido bajo los límites autorizados tanto de forma individual por punto, como en su conjunto.

En relación a los bombeos de caudales y volúmenes históricos de los años operacionales, posterior a octubre 2016, se tiene que el caudal conjunto máximo (Vertiente Tilopozo y Tucúcaro) se registró en el año operacional 2023-2024, con un caudal promedio operacional de 7,98 l/s (ver Figura 6-136), y un volumen total extraído de 252.356 m^3, mientras que el mínimo caudal de extracción (posterior a octubre 2016) se registró en el año operacional 2017-2018, con un caudal promedio operacional de 5,60 l/s (ver Figura 6-136), y un volumen total operacional extraído de 176.529 m^3.

En relación a los bombeos de caudales y volúmenes históricos de los años calendario, posterior a octubre 2016, el caudal conjunto máximo (Vertiente Tilopozo y Tucúcaro), se registró en el año 2023 con un caudal promedio anual de 8,24 l/s, y un volumen total anual extraído de 259.734 m^3 mientras que el mínimo caudal de extracción, posterior a octubre 2016, se registró en el año calendario 2017, con un promedio anual de 5,63 l/s, y un volumen total

extraído de 177.505 m^3. Se debe tener en cuenta que existen restricciones al caudal bombeado de agua dulce salobre en caso de activarse el PAT en el sector Alerta Acuífero tal como se explica en la sección 6.1.9.2.1 siguiente.

Figura 6-136Caudales medio anual año operacional en Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro (1998-2024)



Nota: Los caudales totales se calculan como corresponde desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

6.1.9.2.1 Límites comprometidos para caudales bombeados en agua dulce salobre

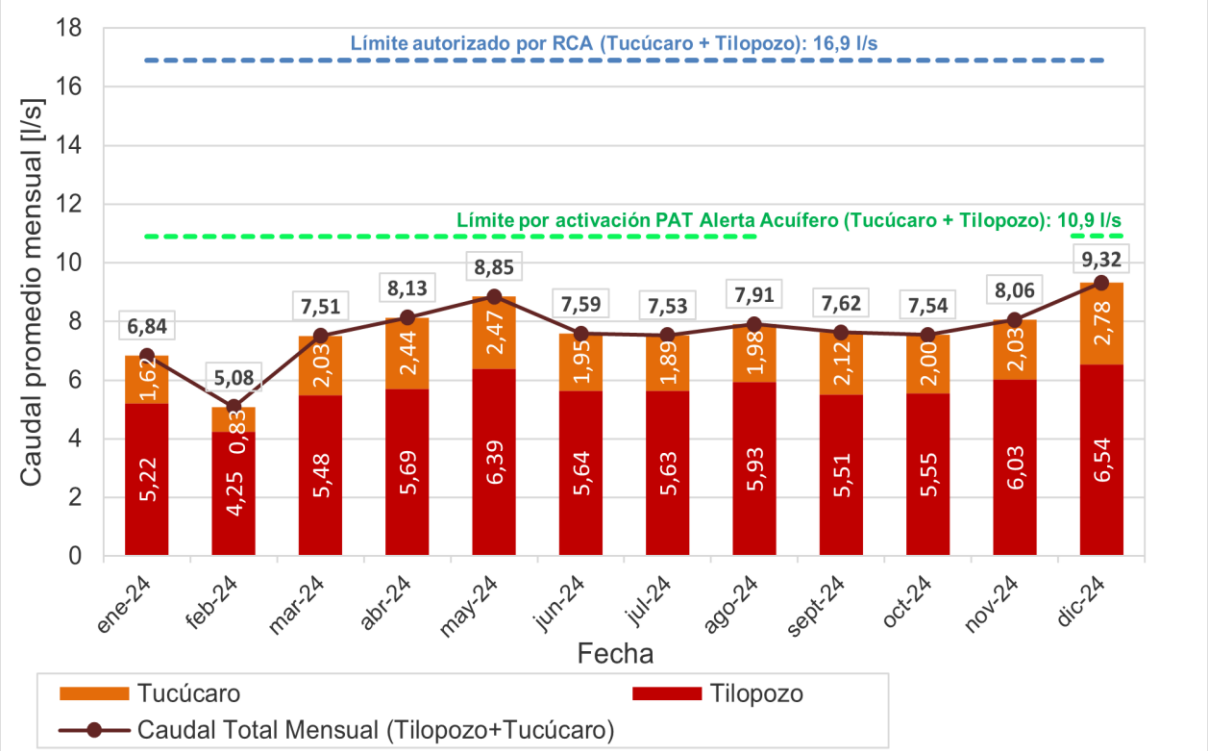
De acuerdo a la RCA N°21/2016, durante la activación del PAT en el sector Alerta Acuífero, el límite de extracción de agua dulce-salobre disminuye a 10,9 l/s se debe regir según las medidas, cuya reducción de la extracción de agua industrial adicional es de 6 l/s, lo que se traduce en un caudal de extracción máxima de 10,9 l/s y que aplica para el bombeo conjunto de los puntos Vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro. De forma paralela, se cuenta con la autorización de derechos de aprovechamiento de agua en el pozo Peine para extraer un caudal máximo de 5 l/s.

En el año operacional 2023-2024 se activó el PAT sector Alerta Acuífero entre diciembre 2023 y agosto 2024 (Figura 6-137) y para el año calendario 2024 se activó el PAT sector Alerta Acuífero entre enero y agosto y nuevamente en diciembre (Figura 6-138). En función de lo

anterior, para los meses mencionados se reduce el límite máximo de extracción de agua industrial en 6 l/s, es decir, pasando desde 16,9 l/s a 10,9 l/s para el bombeo conjunto de vertiente Tilopozo y pozo Tucúcaro.

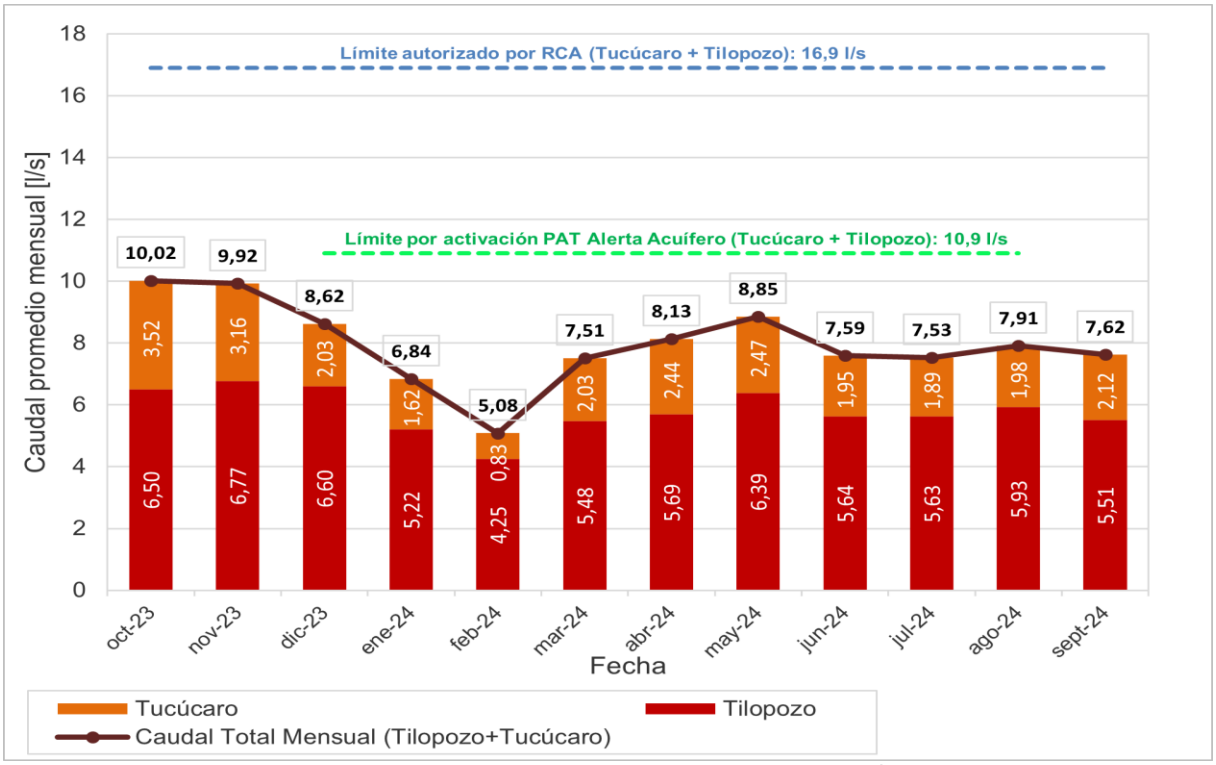
El caudal medio anual de agua dulce-salobre en conjunto de Tilopozo y pozo Tucúcaro es de 7,98 l/s para el año operacional 2023-2024 (ver Figura 6-137), y de 7,68 l/s para el año calendario 2024 (ver Figura 6-138). Ambos casos están por debajo del límite impuesto por la RCA N°21/2016 de 16,9 l/s, y también se mantiene por debajo del límite máximo mensual dada la activación PAT sector Alerta Acuífero (10,9 l/s). El caudal medio anual para el pozo Peine es de 0,04 l/s manteniéndose bajo el caudal máximo aprobado en la RCA N°21/2016 de 5 l/s. Por lo tanto, se cumple con los límites comprometidos en todos los pozos de extracción de agua dulce-salobre.

Figura 6-137 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año operacional 2023-2024



Nota: Los caudales totales se calculan como corresponde desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-138 Caudal extraído desde Vertiente Tilopozo y Tucúcaro durante año calendario 2024



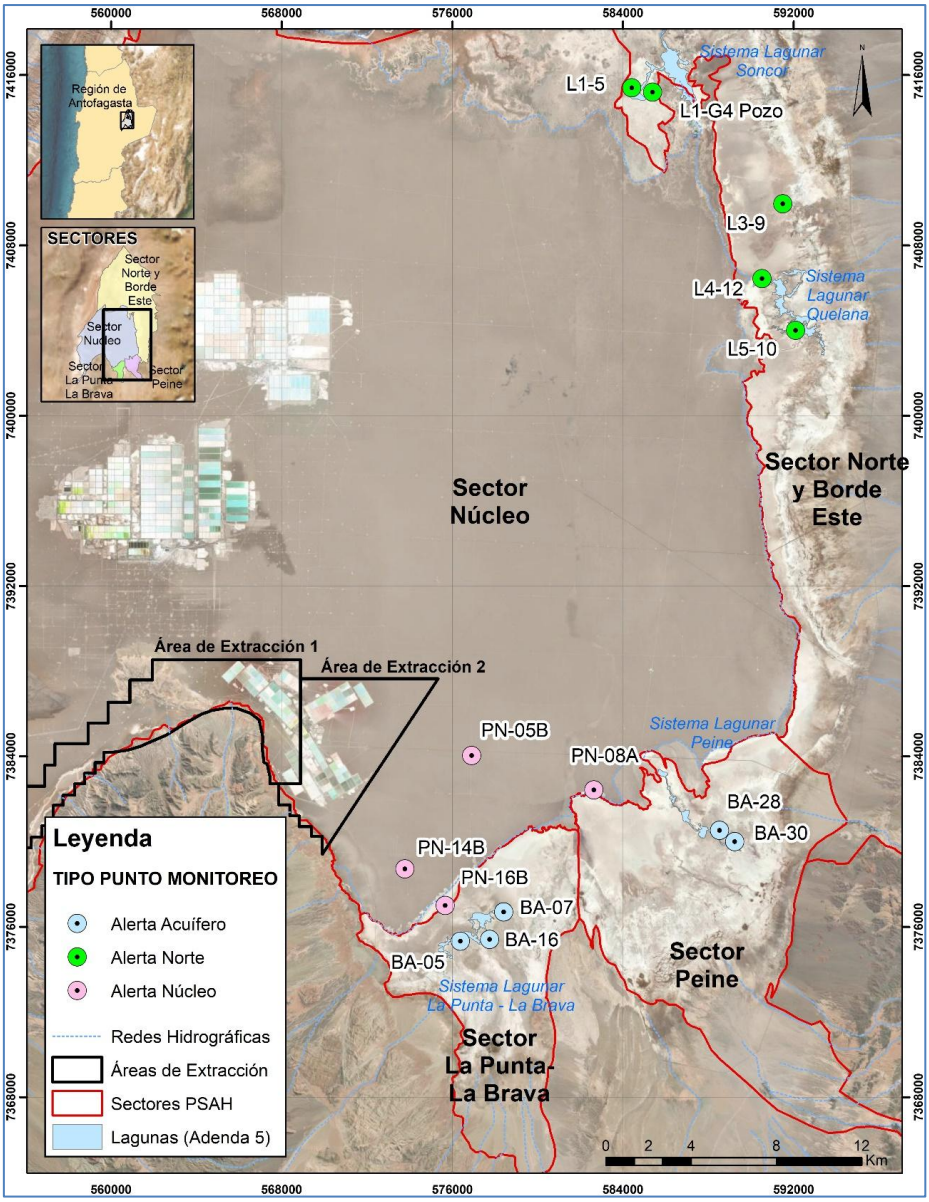
Nota: Los caudales totales se calculan como corresponde desde los volúmenes totales
Fuente: Elaboración propia

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) histórica y del año 2024, que incluye puntos que son parte del PSAH de ALB y del Plan de Contingencias/Seguimiento de SQM, considerando los tres sectores de alerta (Figura 6-39), comprometidos en el Anexo 3 de la Adenda 5, que son:

- Sector de Alerta Norte
- Sector de Alerta Núcleo
- Sector de Alerta Acuífero

Figura 6-139 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 los niveles freáticos aumenta de mensual a quincenal; además de aumentar en las variables de: calidad química y posición de la interfase salina, en la que

cambian su frecuencia de medición trimestral a mensual. Lo anterior, se debe mantener por 3 meses en todos los casos mencionados.

El detalle de los puntos y condiciones de activación PAT, fase asociada, fechas de superación de umbrales en el 2024, 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.

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.

En las Figura 6-140, Figura 6-141, Figura 6-142, Figura 6-143 y Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-144 se muestra la evolución de los niveles de monitoreo para los puntos de activación PAT junto con los umbrales del PAT sector Alerta Norte de Albemarle, 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).

En la Figura 6-140 y Figura 6-141, se observa el comportamiento histórico de los pozos L1-G4 y L1-5, entre el año 2007 y 2011-2012 se muestran niveles relativamente estables con oscilación estacional y sobre Fase I y Fase II, posterior al 2012 se observa un cambio de comportamiento en los niveles desde estacional a uno similar a los puntos del núcleo, marcado por descensos y ascensos abruptos de niveles asociados a los eventos de precipitación, destacando la precipitación del año 2019, en la cual aumentan sus niveles para volver a recupere el nivel previo, posterior al transcurso de 2 años. Durante el año 2024, han estado ambos activado en Fase II.

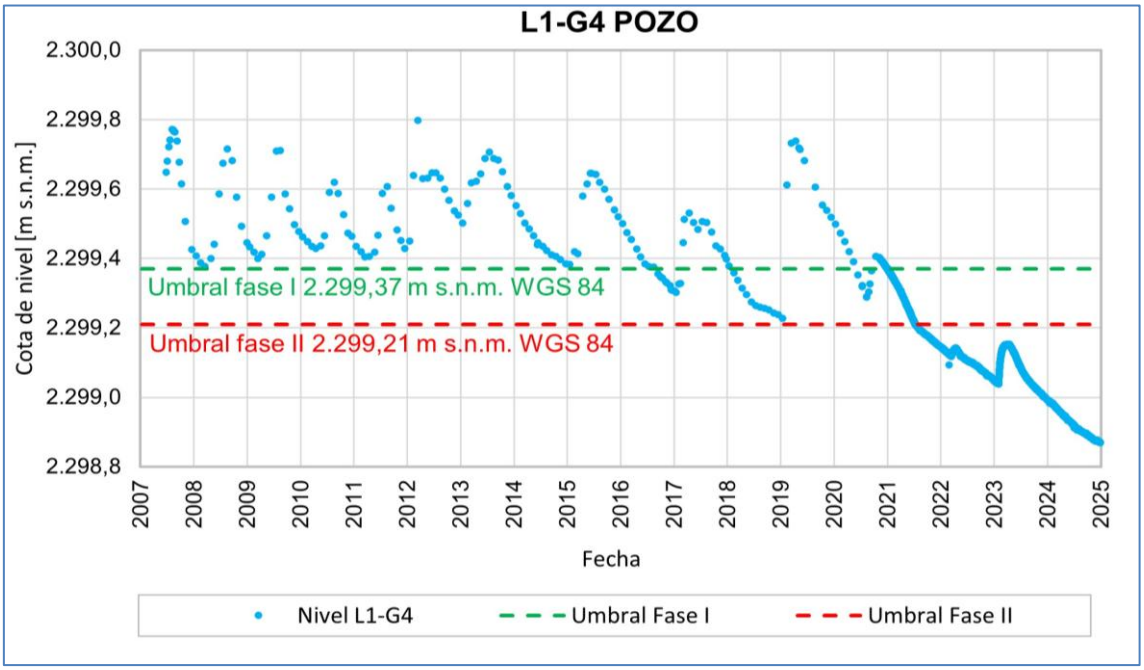
A diferencia de los dos puntos anteriores, en la Figura 6-142, se observa que los niveles medidos en el punto L3-9 se mantienen por encima de ambos umbrales de activación para todo el registro histórico. Para el año 2024 el punto L3-9, muestra menores cotas de nivel, pero se mantiene sobre ambas Fases de activación, como ya se mencionó.

Por otra parte, en la Figura 6-143 y Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.

Fuente: Elaboración propia

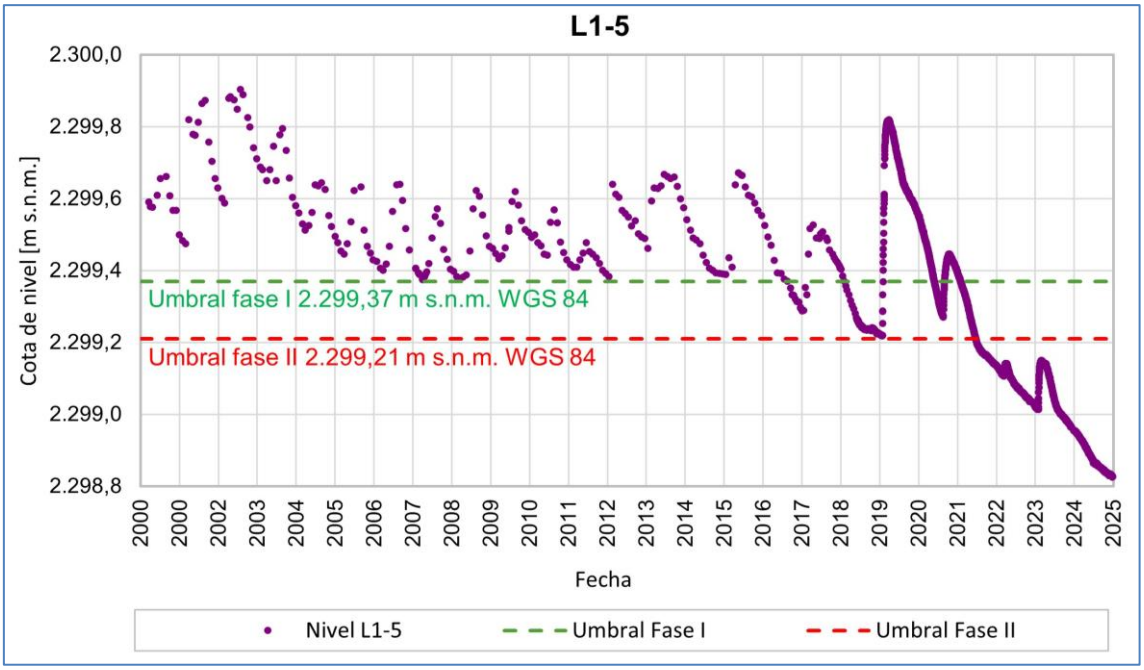
Figura 6-144, se observa en ambos puntos, L5-10 y L4-12, niveles relativamente estables del 2007 al 2015, y descensos entre el año 2016 y 2024. Con respuesta a precipitaciones intensas, por ejemplo, el año 2019. El punto L5-10 y L4-12, durante el año 2024, han estado activados en Fase II.

Figura 6-140 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-G4 Pozo



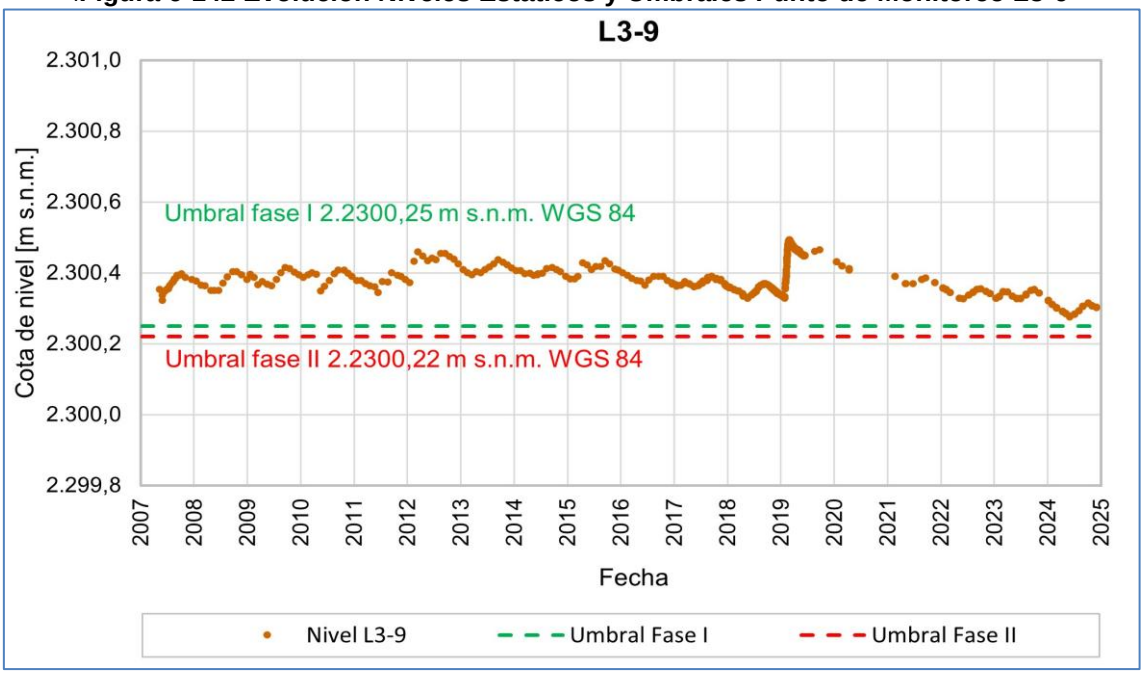
Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-141 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L1-5



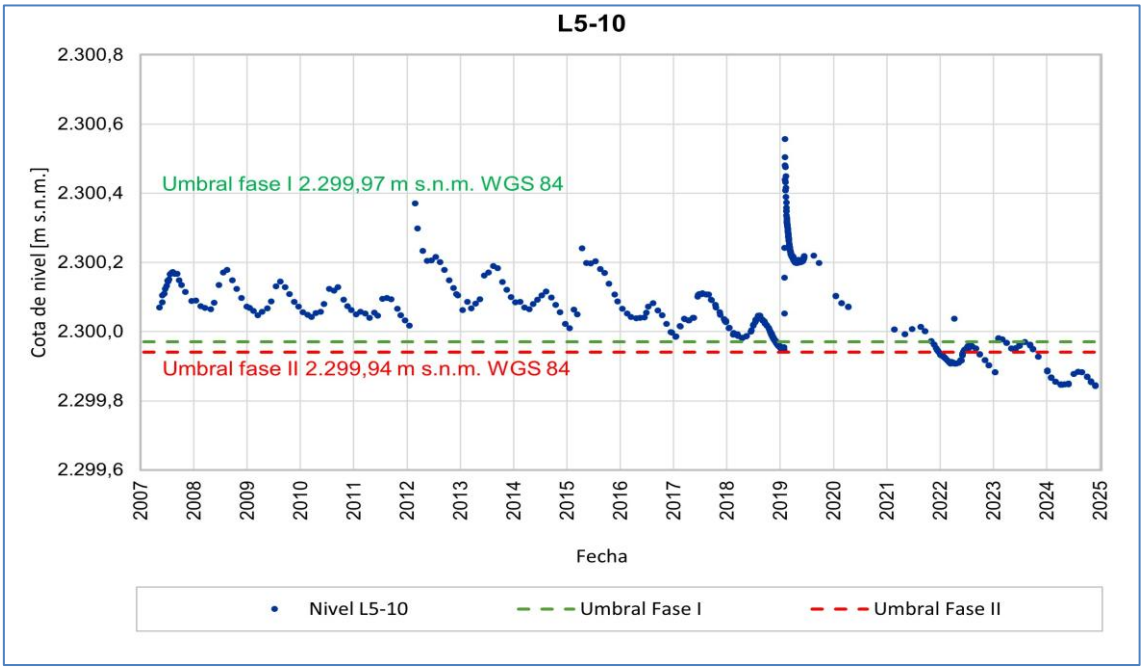
Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.
Fuente: Elaboración propia

.Figura 6-142 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L3-9



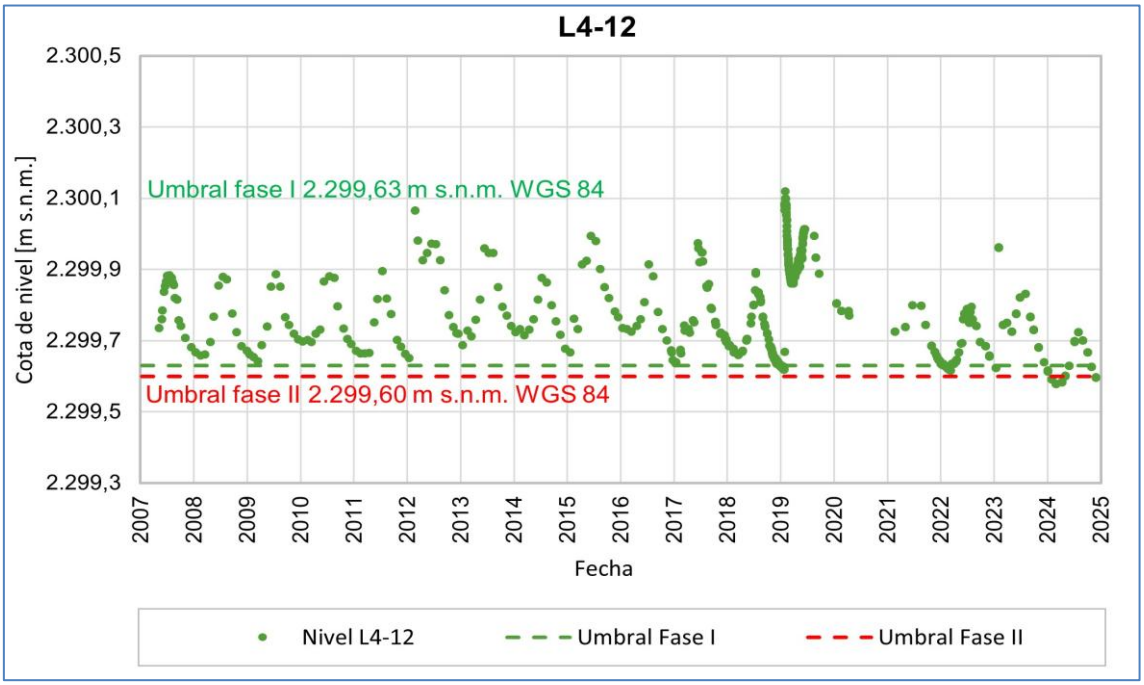
Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-143 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L5-10



Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-144 Evolución Niveles Estáticos y Umbrales Punto de Monitoreo L4-12



Nota: se actualiza para el periodo 2024 en base a información obtenida el 24 de febrero del 2025 desde la plataforma publica www.sqmsenlinea.com.
Fuente: Elaboración propia

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. 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 2024, tienen lugar parte de los años octavo y noveno del Proyecto, correspondientes a los años operacionales 2023-2024 y 2024-2025 (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 octavo y noveno año del Proyecto. La ubicación de los puntos se encuentra en la Figura 6-139.

En la Figura 6-145 a la Figura 6-148, se presentan los registros de niveles de cada pozo del PAT del sector Alerta Núcleo para el periodo 2014-2024, junto con los umbrales que les corresponde para cada Fase de Activación.

En la Figura 6-145, Figura 6-146 y Figura 6-148 se presenta el registro histórico de niveles para los punto PN-05B, PN-08A, PN-14B y PN-16B respectivamente, donde se muestra una respuesta inmediata a los eventos de precipitación, con aumentos abruptos de niveles, seguido de descensos progresivos en los registros de datos, no muestran variaciones estacionales.

Se observa, un comportamiento similar en los puntos PN-05B, PN-08A, PN-14B (Figura 6-145, Figura 6-146 y Figura 6-148) desde el año 2014 al 2018 se observan niveles relativamente

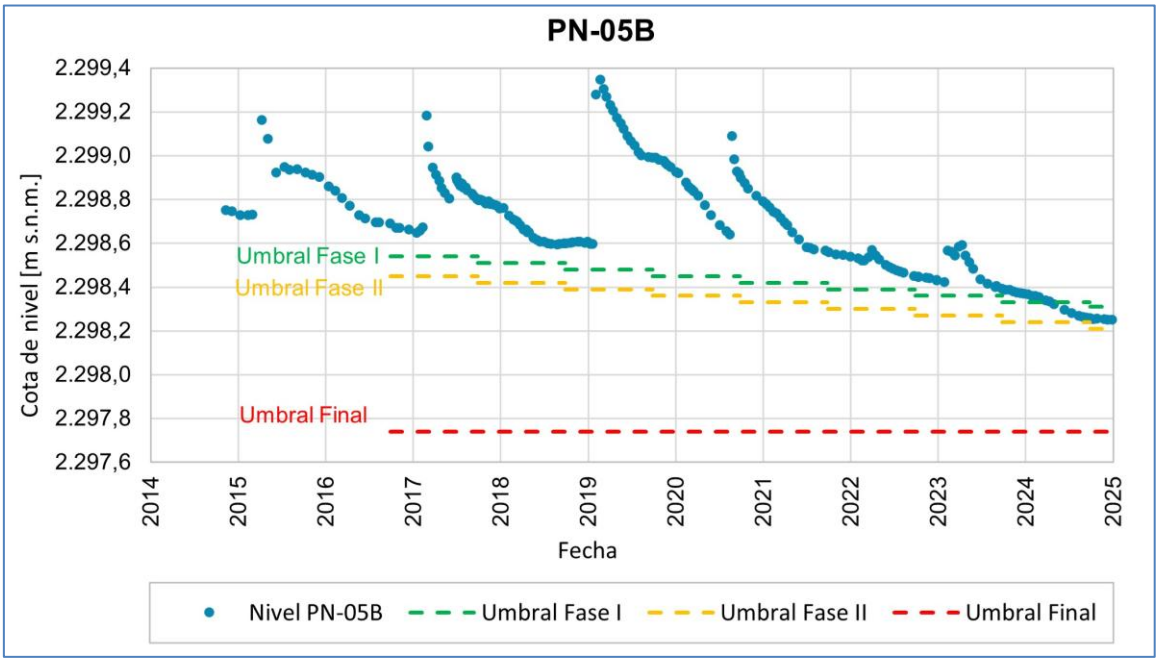
estables, con descensos entre 2019 y 2024, y con una tendencia general descendiente en los niveles, para todo el periodo (2014-2024). El punto PN-16B, muestra un comportamiento distinto, como ya se mencionó presenta un comportamiento atípico, con ascensos en sus niveles desde el año 2022-2023.

En la Figura 6-145 se muestra el registro de niveles para el punto PN-05B, se observa que en mayo del año 2024, se registra el primer valor en su registro histórico bajo el umbral de Fase I y muestra una tendencia general que continúa al descenso hasta septiembre 2024, desde octubre comienza a estabilizarse hasta el término del periodo 2024, sin registran mediciones bajo el umbral de fase II. Actualmente activado en Fase I.

Por otra parte, en la Figura 6-146 el punto PN-08A, con niveles bajo el umbral de Fase I de enero a abril 2024 (interrumpidas por un evento de precipitación) y el 15 de julio de 2024 se registra la primera medición bajo el umbral de Fase II en su registro histórico, esta condición se mantiene estable entorno a los 2298,20 m s.n.m., hasta el 30 de diciembre de 2024. En consecuencia, actualmente se encuentra activado en Fase II.

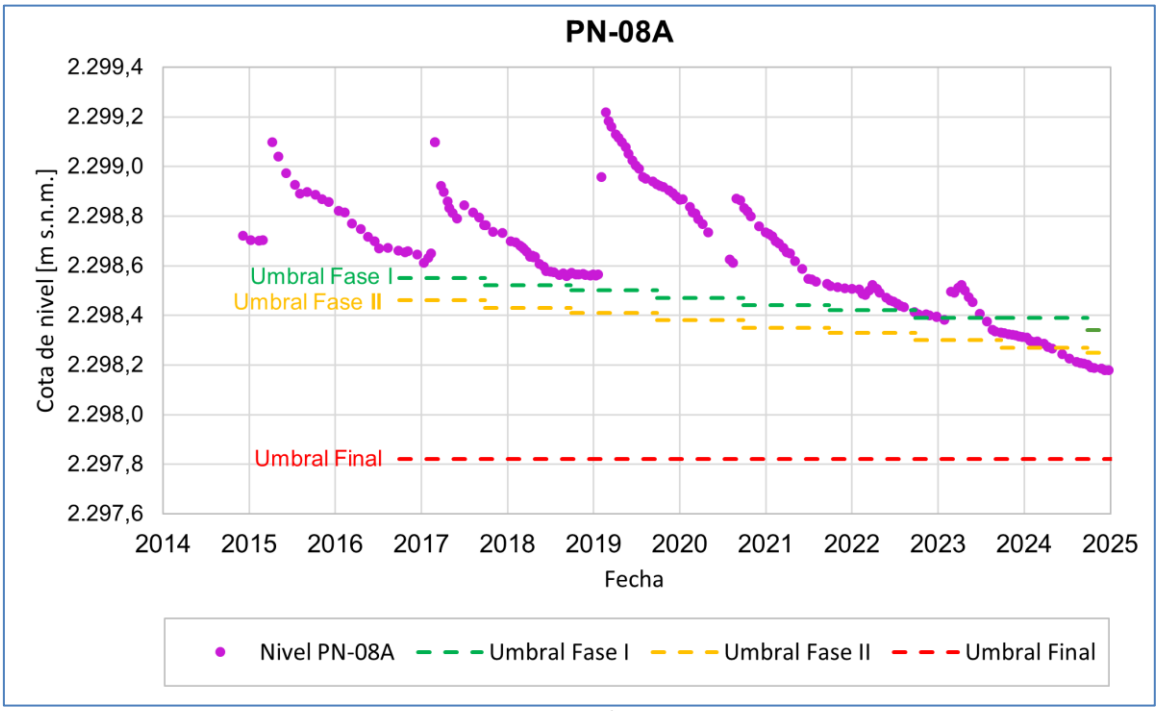
Durante el año 2024 los puntos PN-14B (Figura 6-147) y PN-16B (Figura 6-148) presentaron niveles por sobre el umbral de Fase I, así como para el total del periodo (2014-2024).

Figura 6-145 Niveles Punto de Monitoreo PN-05B



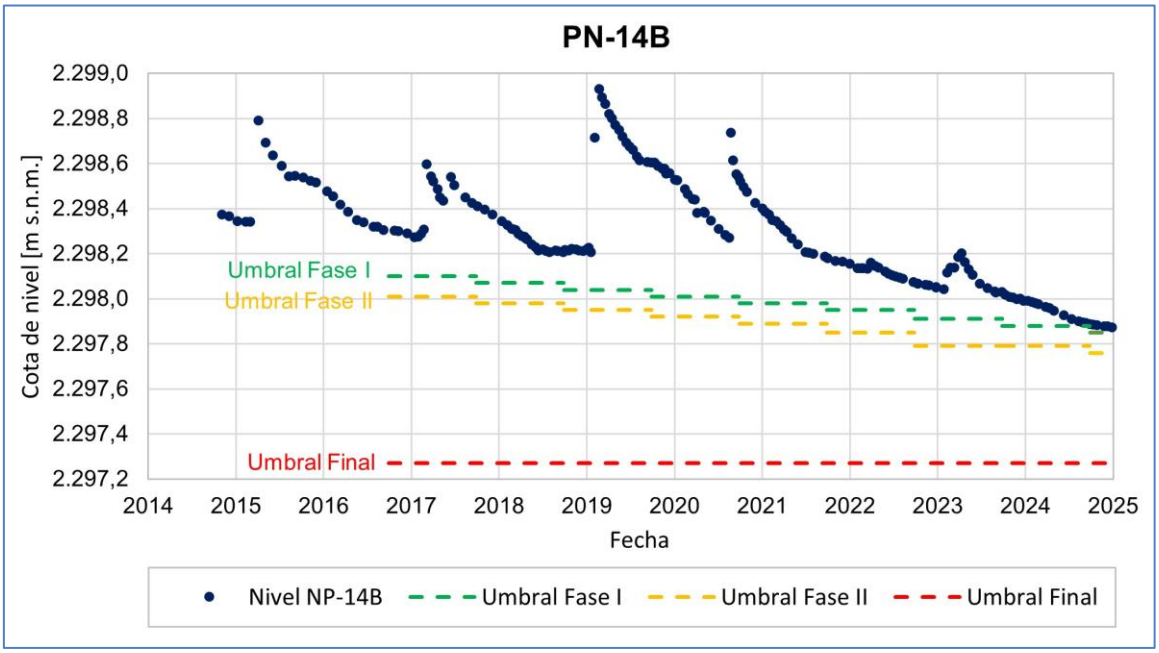
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-146 Niveles Punto de Monitoreo PN-08A



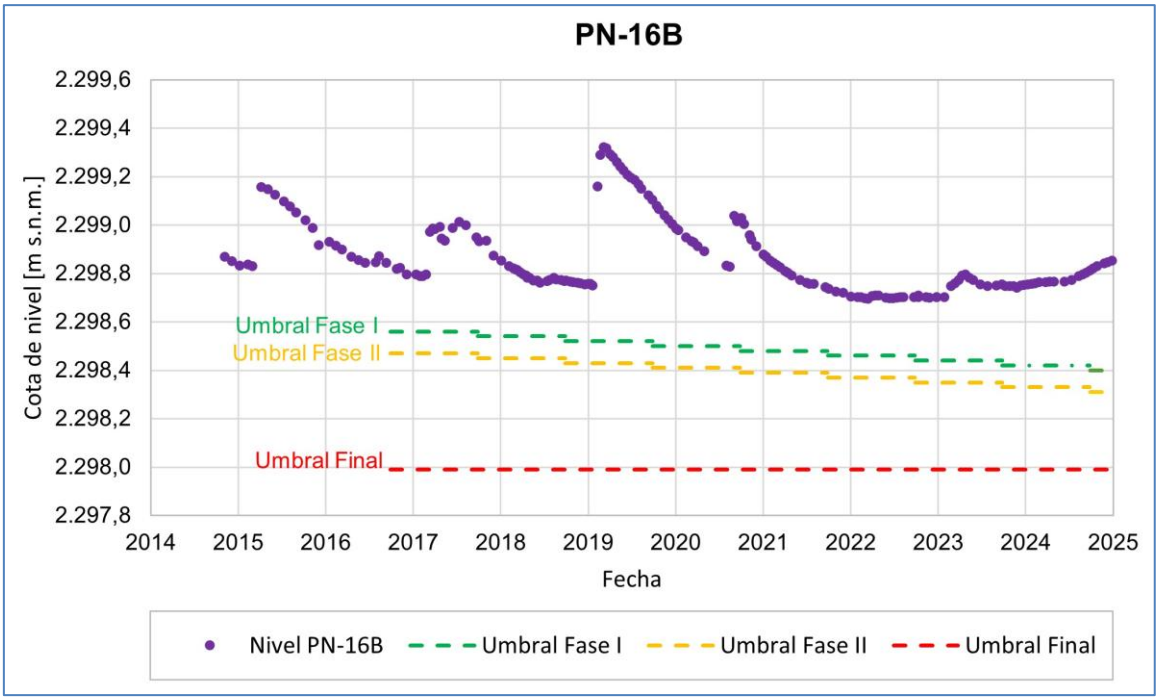
Nota: El punto PN-08A, presenta un incidente aplica actualización de cota de nivel de agua desde el 24 de agosto 2023 y durante todo el año 2024, sin embargo, se usan datos originales en el gráfico. Para mayor detalle revisar sección 4.4.2.
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-147 Niveles Punto de Monitoreo PN-14B



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-148 Niveles Punto de Monitoreo PN-16B



Nota: El punto PN-16B, presenta un hallazgo mayor detalle en sección 4.4.2 .
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 6-139) 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 5-33.

Se hace relevante mencionar, que se realizaron cambios con respecto al umbral establecido en los tres puntos PAT Alerta Acuífero ubicados en el sector La Punta-La Brava, estos umbrales fueron actualizados a partir del 20 de mayo 2024, los detalles se presentan en la sección en 5.10 del presente informe. Estos cambios son:

En el caso del piezómetro BA-05 se actualiza el umbral 2.300,11 a un umbral de 2.300,116 m s.n.m., para el punto BA-07 se actualiza el umbral 2.299,97 m s.n.m. a un umbral de 2.299,969 m s.n.m., y en el punto de monitoreo BA-16, se actualiza el umbral 2.300,80 m s.n.m. a un umbral de 2.300,824 m s.n.m. (ver umbrales en Tabla 5-31). Las tres actualizaciones fueron realizadas a partir del 20 de mayo 2024 de acuerdo al considerando 10.15 de la RCA N°21/2016. Esta actualización de umbral, se señalan en rojo oscuro en los gráficos de la Figura 6-145 a la Figura 6-151.

De la Figura 6-149 a la Figura 6-153 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 6-149, el punto de activación BA-05 muestra un comportamiento estable en sus niveles 2013-2018, para el año 2019 muestra disminución en el nivel manteniéndose relativamente estable entre 2019-2021, luego vuelve a descender niveles en el año 2022 manteniéndose estable en el periodo 2022 a 2024. El año 2024 presenta mediciones puntuales en enero y febrero, bajo el umbral en Fase Única. 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. Desde marzo en adelante, las mediciones se mantienen sobre el umbral, con variaciones estacionales, hasta el 30 de diciembre 2024, donde se registra la primera medición bajo umbral. (2300,109 m s.n.m).

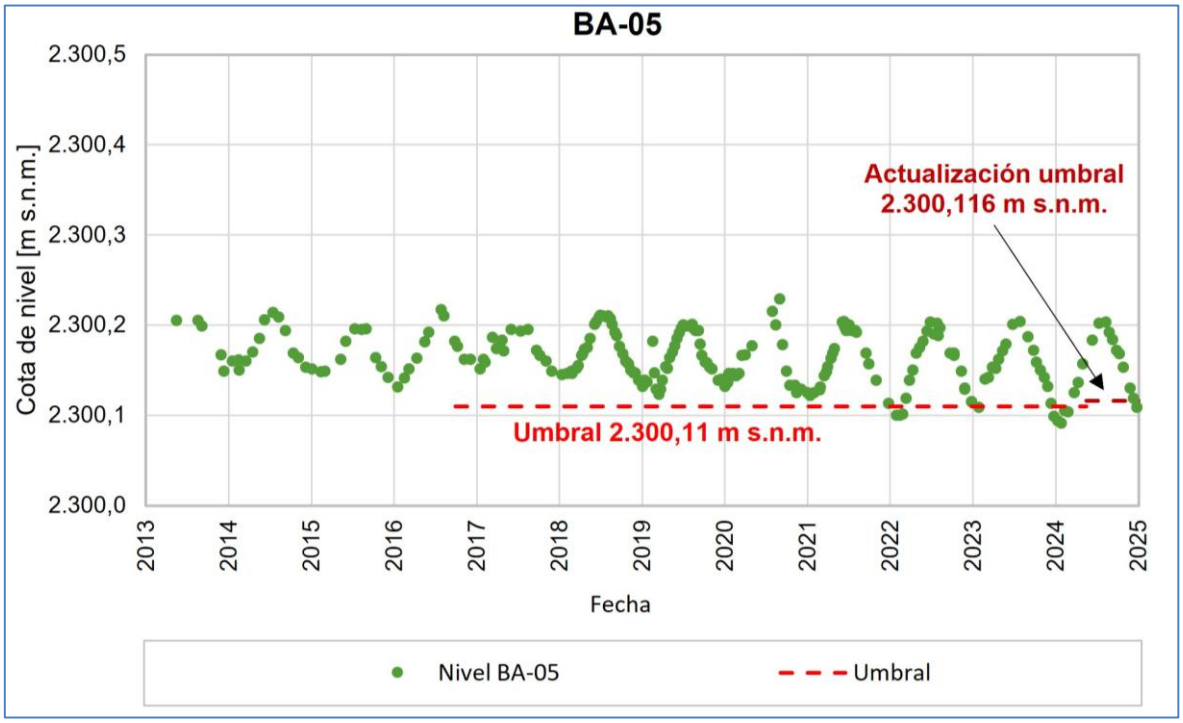
El registro histórico para el punto BA-07, en la Figura 6-12 muestra variaciones estacionales y una tendencia descendiente de sus niveles entre 2013 al 2018, interrumpida por el evento de precipitación de 2019, posterior a ellos desde 2019 al 2021 se observa una tendencia con descensos mayores y desde el 2022 al 2024, una tendencia más estable. Albemarle activa medidas preventivas asociadas al PAT y se informa a la autoridad el 1 de diciembre 2023 (carta ALB-GMA-2023-SMA-066, ver Anexo M), de la misma forma que para el 1 de diciembre 2024 (carta ALB-GMA-2024-SMA-070, ver Anexo M), en ambos casos después de registrar tres mediciones puntuales y consecutivas bajo el umbral (1 mes y medio de mediciones).

En el caso del punto de monitoreo BA-16, ver Figura 6-151, el registro histórico muestra variaciones estacionales con mediciones siempre sobre el umbral. Entre 2013 al 2018 el registro de niveles se mantiene estables, el nivel desciende el 2019 pero se mantiene nuevamente estable en el periodo 2019-2021, finalmente desde 2022 a 2024, se observan una leve tendencia al ascenso. Para el periodo 2024, como ya se menciona, todos los niveles medidos se mantienen sobre el umbral.

Con relación a los pozos BA-28 (Figura 6-152) y BA-30 (Figura 6-153), ubicados en el sistema lagunar de Peine, para el periodo 2024 se observan vacíos en las mediciones, estas se deben a las restricciones o prohibiciones de acceso debido a la época de reproducción de flamencos[41]. 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 2015-2024.

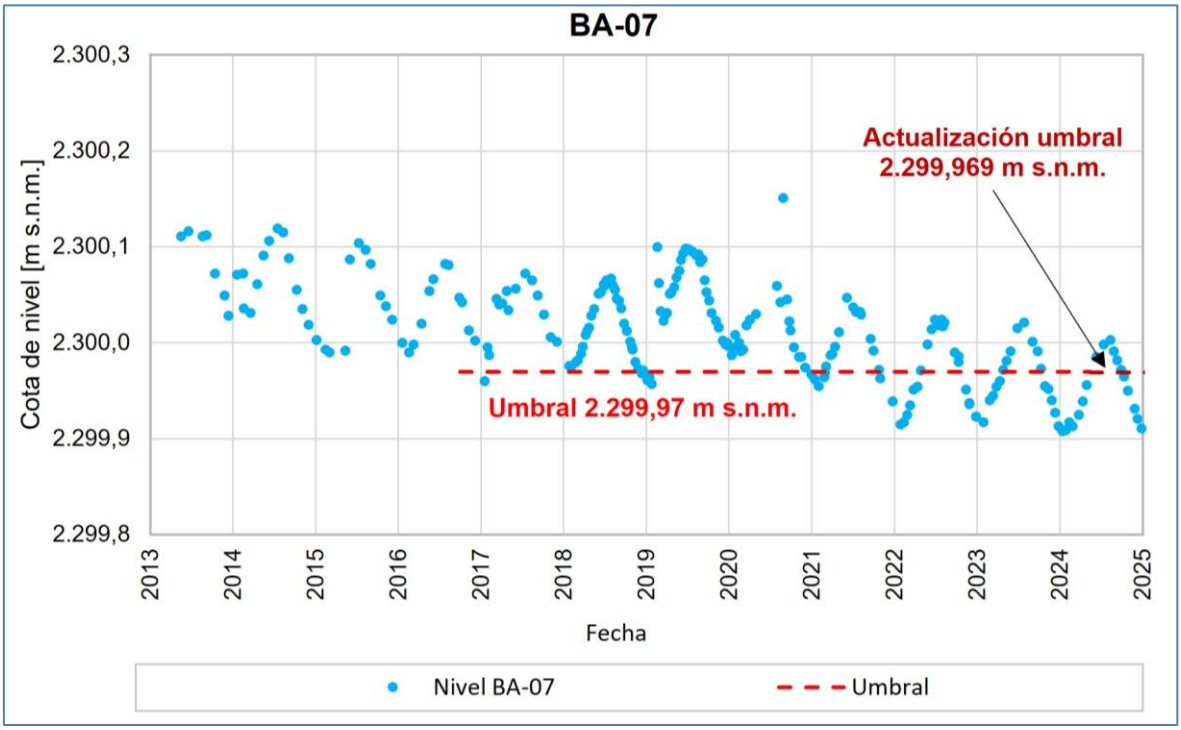
[41]Según información de CONAF, mediante la Carta Oficial N°18/2023, desde el 03 de Noviembre 2023 hasta la primera quincena de abril 2024, y mediante la Carta Oficial N°94/2024, desde el mes de noviembre 2024 hasta la segunda quincena de marzo 2025

Figura 6-149 Niveles Puntos de Monitoreo BA-05



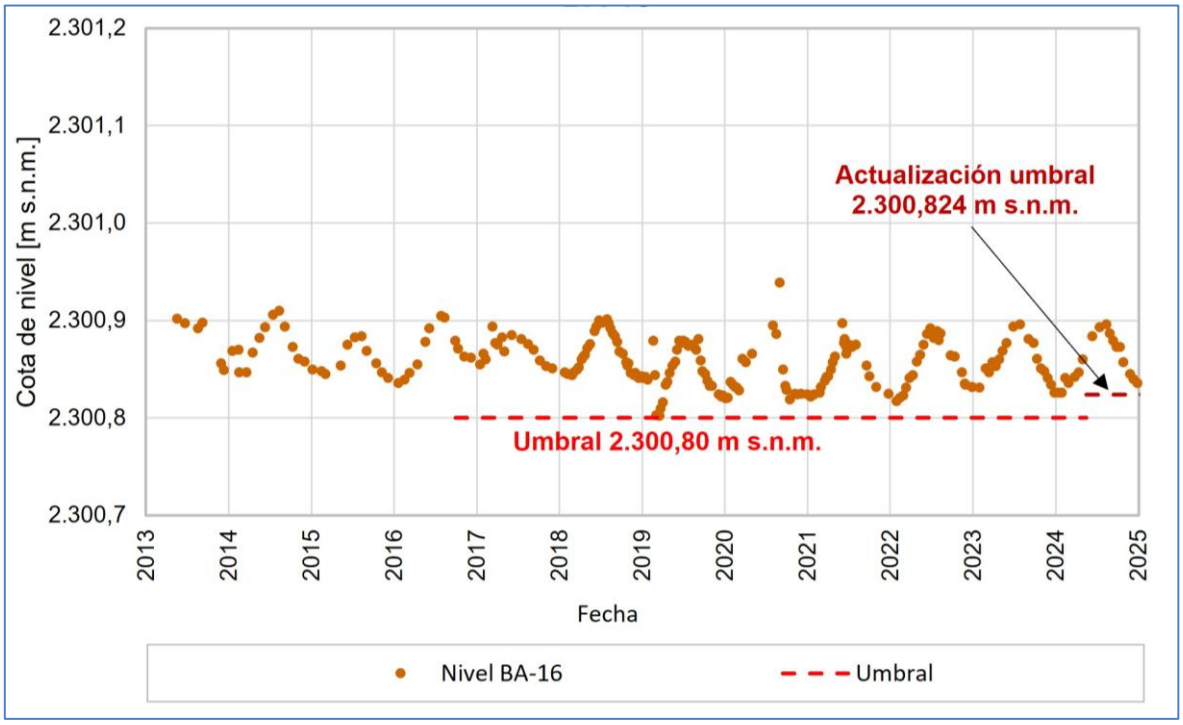
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-150 Niveles Punto de Monitoreo BA-07



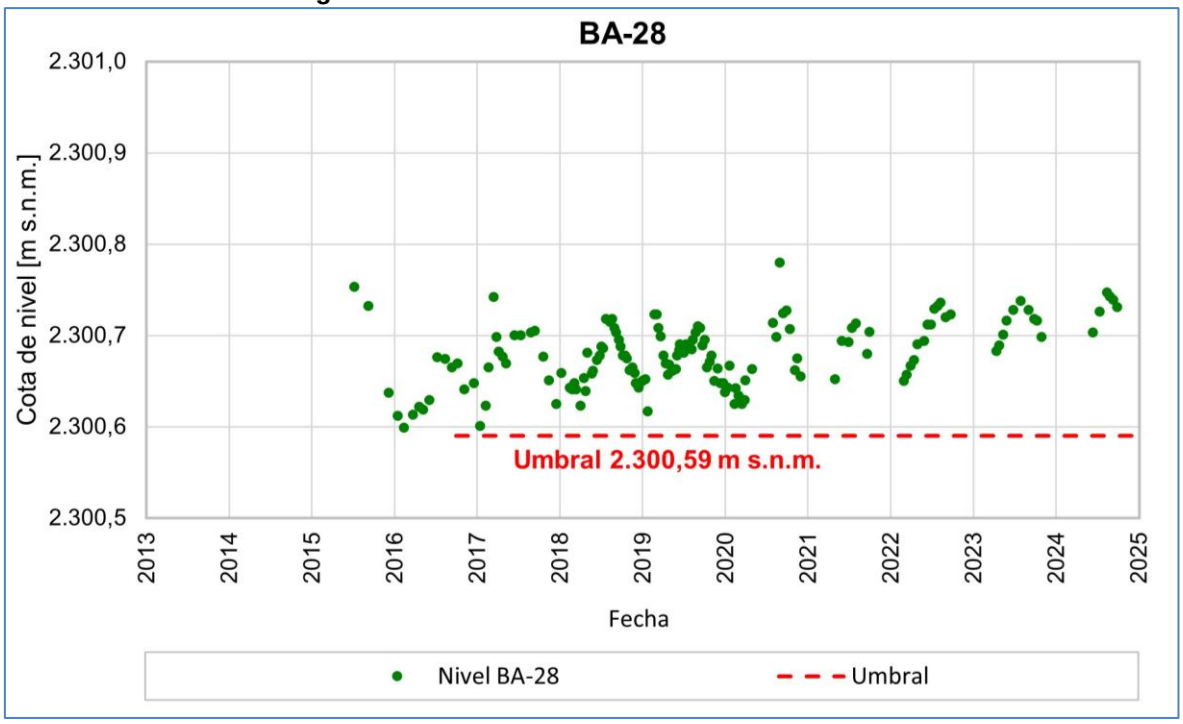
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-151 Niveles Punto de Monitoreo BA-16



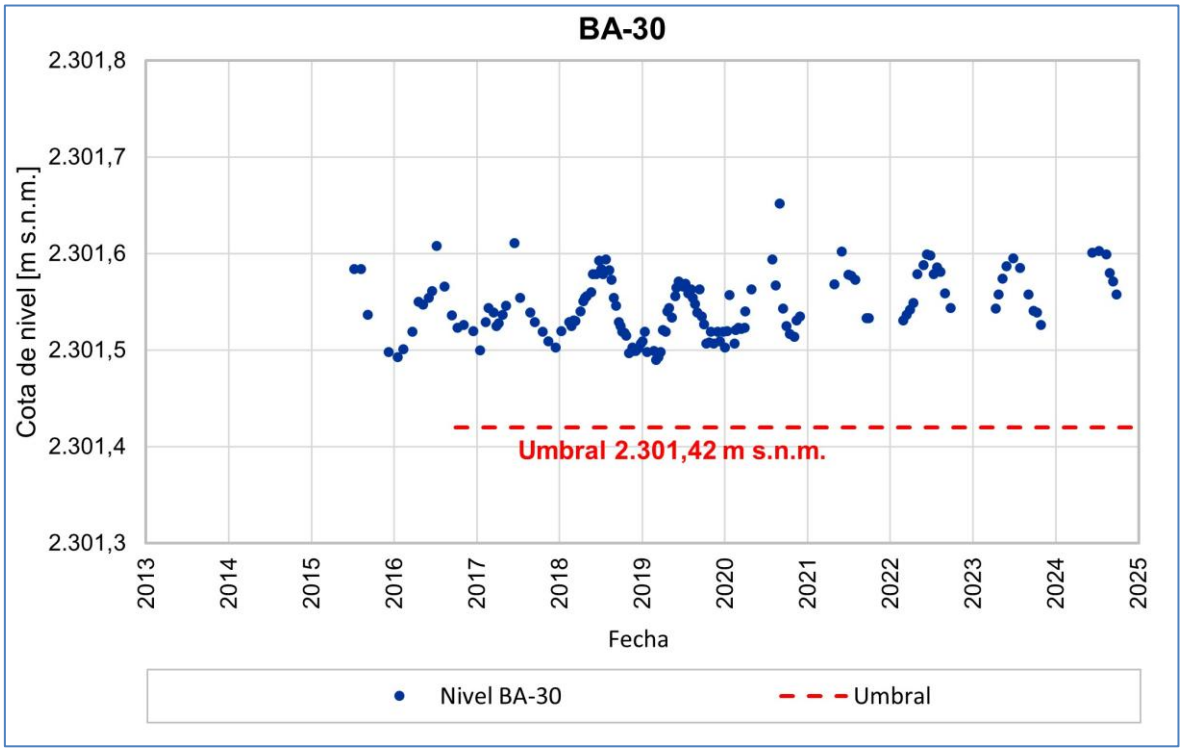
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-152 Niveles Punto de Monitoreo BA-28



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-153 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 2024.

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, el origen de las aguas de alimentación de las lagunas del Sistema La Punta y La Brava corresponde a aportes desde el norte y recarga del extremo sur de la cuenca, a mayor altura, que fluyen a través de acuíferos de Monturaqui y Negrillar (MNT), y luego del Callejón de Tilopozo. En todo este tramo no existe evidencia de un cauce activo que pudiese producir escorrentía superficial, la primera descarga del flujo subterráneo que proviene del acuífero de MNT, corresponde a las vegas de Tilopozo, donde se generan flujos ascendentes, de estos afloramientos una parte se evapora y la otra pasa a formar parte del acuífero somero, donde comienza a experimentar diferentes transformaciones fisicoquímicas, que involucran procesos de evaporación y de disolución de sales que aumentan la salinidad y el enriquecimiento isotópico.

En la Zona Marginal, en tramos donde el nivel es muy somero, y la tasa de evaporación no es capaz de mantener el agua bajo el terreno, se forman afloramientos, pozones y/o pequeños escurrimientos, cuyo caudal o expresión superficial varía de manera estacional, como consecuencia de la dinámica de la evaporación. En general, estas aguas evaporan en el entorno cercano a su afloramiento, sin generar cauces superficiales permanentes en el sector, lo que sólo se ha visto esporádicamente tras eventos de precipitación.

En el área de las lagunas LP-LB, es donde se produce el afloramiento del flujo subterráneo que da origen a las lagunas, debido a la presencia de la interfase salina debajo de la Zona Marginal, que se forma entre la salmuera del Núcleo y las aguas salobres del acuífero, estas últimas se ven forzadas a ascender, contribuyendo al aporte de flujo subterráneo a las lagunas.

En el modelo conceptual de la Adenda 5, la zona marginal intermedia estaba formada por salmuera y de manera esporádica frente a precipitaciones o periodos de baja evaporación podían existir rebalses subsuperficiales hasta los open pools. Actualmente se sabe que en la

zona intermedia de la Punta La Brava existen agua salobre en la parte superior de la columna de manera permanente y bajo ella se encuentra la salmuera.

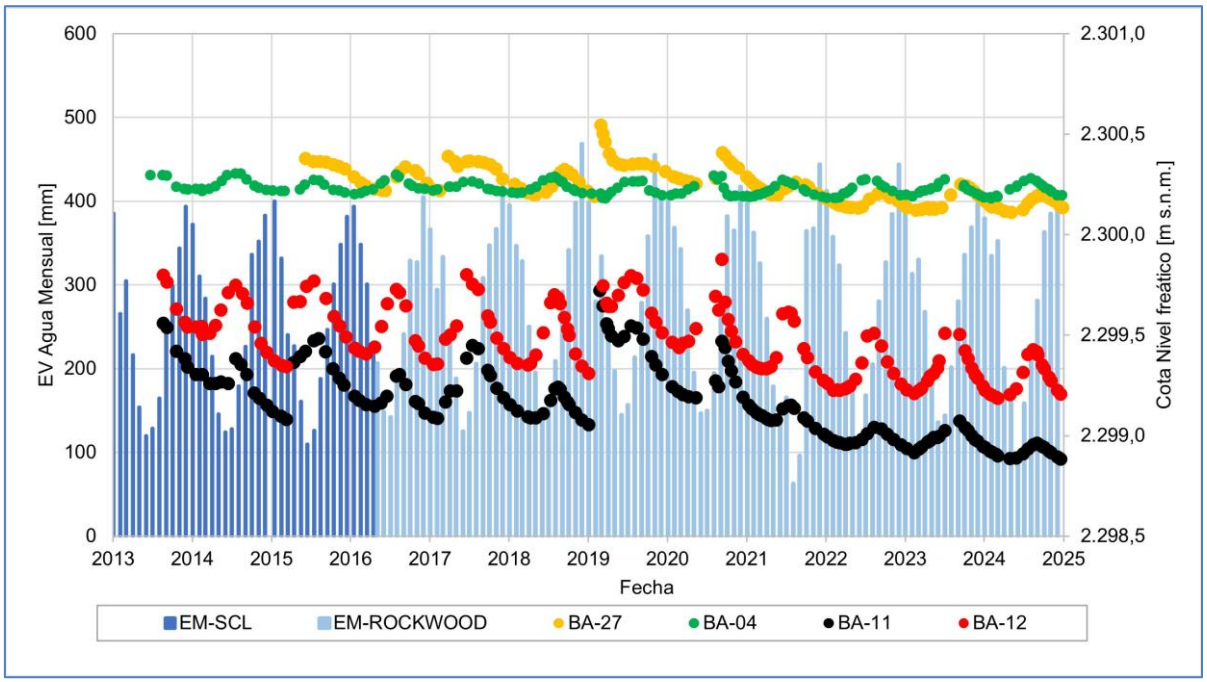
Además, este sistema recibe aportes laterales de la zona oeste (Cordón de Lila y desde el cono aluvial situado entre Tilopozo y Tucúcaro) y, en menor medida, por las precipitaciones. Estas últimas tienen un efecto inmediato, de muy corto plazo, en el nivel freático del entorno lagunar y en el nivel de las lagunas.

En este sector (La Punta-La Brava) se han definido 5 subsectores (Norte, Centro, Este, Sur y Borde Sur). Los subsectores 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 6-154 (el subsector Borde Sur, se desarrolla más adelante en esta misma sección).

En la Figura 6-154 se observa que existe una tendencia general al descenso en los niveles freáticos históricos del sector La Punta - La Brava, al comparar los puntos entre sí, se observa en el sur niveles relativamente estables (BA-04), con menores descensos en el este (BA-27) y el mayor descenso se observa en el norte de las lagunas (BA-11).

Además, en la figura (Figura 6-154), se observan oscilaciones estacionales del nivel, con ascensos durante la temporada de invierno y descensos durante los meses de verano debido principalmente a la evaporación, en el norte y este los mínimos y máximos se muestran principalmente en abril y septiembre respectivamente (Figura 6-154). Este comportamiento está explicado por las variaciones estacionales relacionadas con la evaporación, las cuales presentan un comportamiento inverso con respecto a la variación de los niveles. Durante el año 2024, al igual que en el año 2022 y año 2023, se observan desfases en los máximos alcanzados de nivel versus la evaporación mínima. Para el año 2024 los puntos del centro presentan mayores amplitudes con rangos entre 17 cm y 32 y las menores amplitudes se miden en los puntos del sur y norte, entre 3 y 21 cm para todos los puntos del sur, y entre 8 y 10 cm para los del norte, es decir, los puntos más cercanos a las lagunas son más sensibles a la evaporación. Se observa, en general, que a medida que se profundizan los niveles freáticos existe una menor influencia de la evaporación.

Figura 6-154 Evolución de nivel freático en relación con la evaporación en el Sistema La Punta-La Brava.

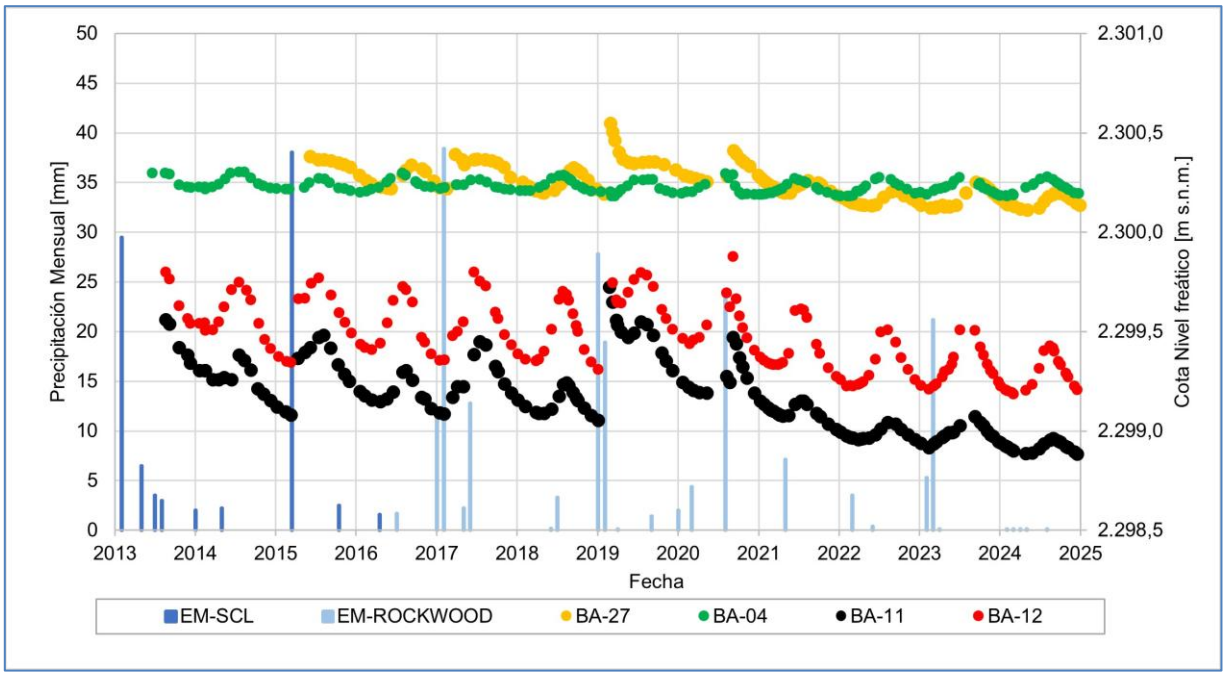


(*) La evaporación de agosto y septiembre 2021, no está considerado el mes completo.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-155, 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 6-155) ubicado al este de las lagunas, 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), no obstante, el punto BA-11, tiene un mayor incremento en su nivel luego de las precipitaciones mencionadas (alrededor de 67 cm), por ende, tienen una mayor respuesta que los puntos del centro y sur de las lagunas.

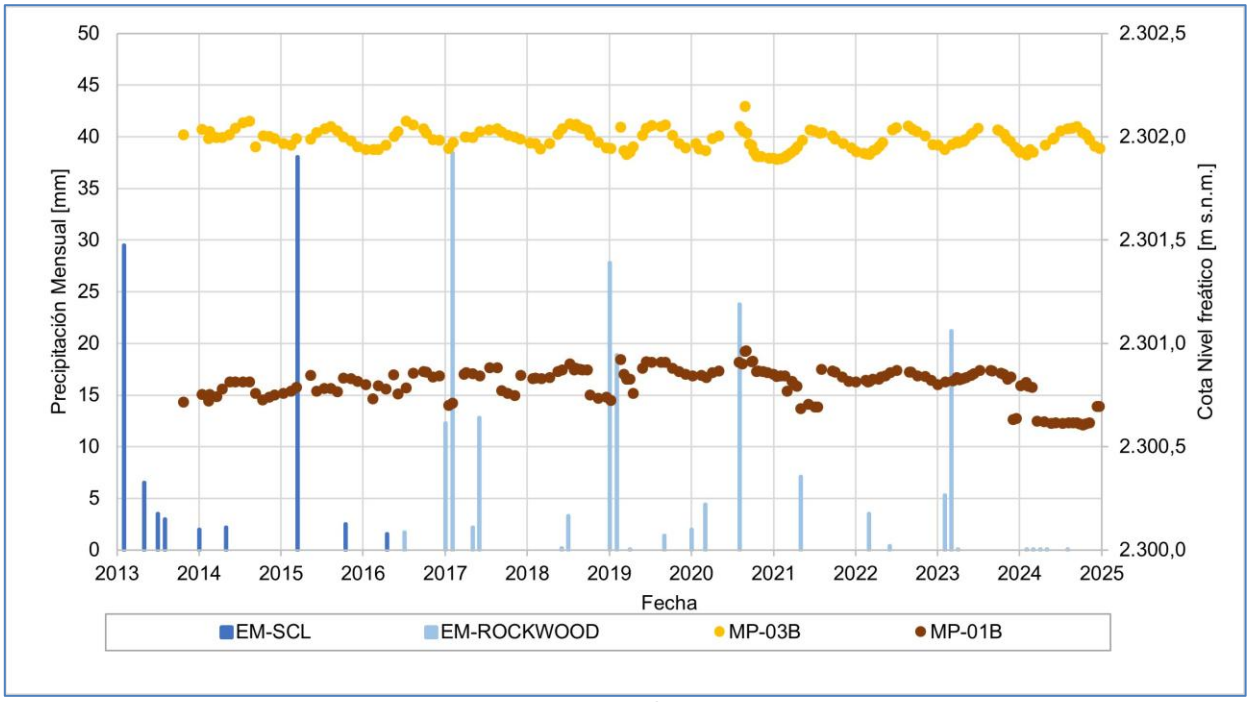
Figura 6-155 Evolución de nivel en relación con la precipitación en la zona de transición. Sistema La Punta-La Brava.



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 6-156). 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 2024, los multipiezómetros MP-01A y MP-01B, muestran surgencias 10 cm (agosto) y 1 cm (marzo y abril) por sobre el nivel del suelo, respectivamente. Durante el 2024 no hubo precipitaciones importantes y no se observan “saltos” en el nivel.

Figura 6-156 Evolución de nivel profundos en relación con la precipitación. Sistema La Punta-La Brava

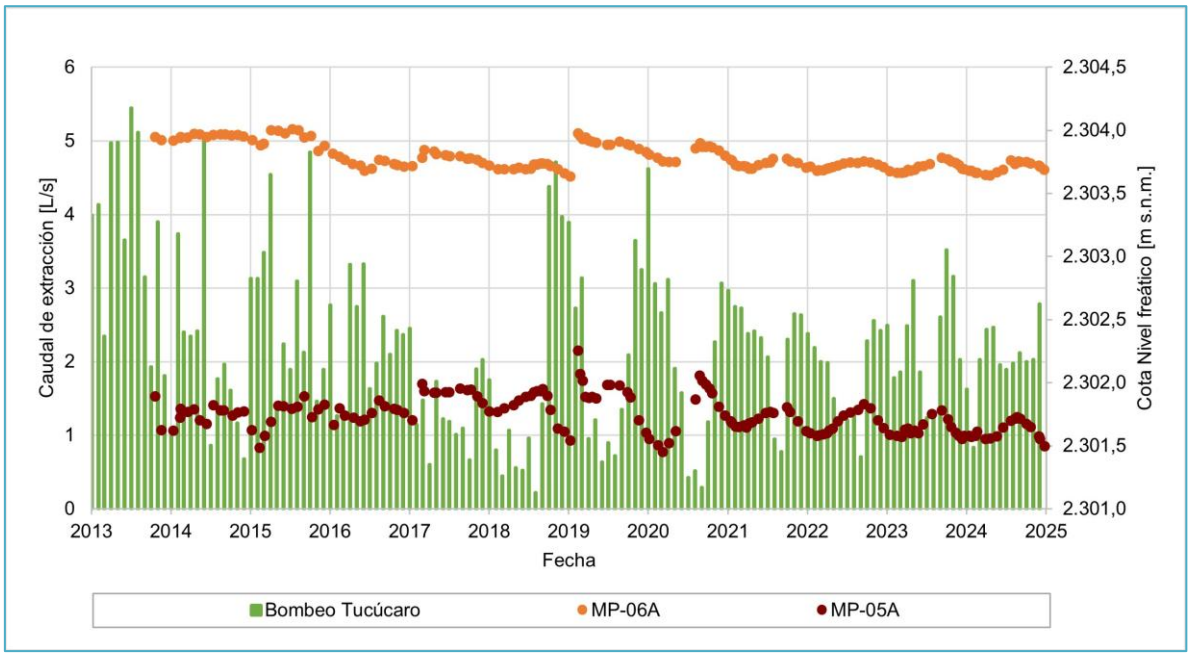


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-157 y Figura 6-158, 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 menores relacionados a eventos de precipitación, por ejemplo el punto MP-05A muestra un ascenso de 6 cm posterior al evento de marzo 2023 (ver Figura 6-52).

Respecto a los piezómetros MP-05A y MP-06A presentados en la Figura 6-157, da cuenta de una condición estable del nivel freático en el pozo MP-05A entre 2014 y 2019, con una 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, inclusive el punto MP-05A ha mostrado descenso desde los últimos 4 años, diferente al punto MP-06A donde se observa un leve descenso histórico (Figura 6-157).

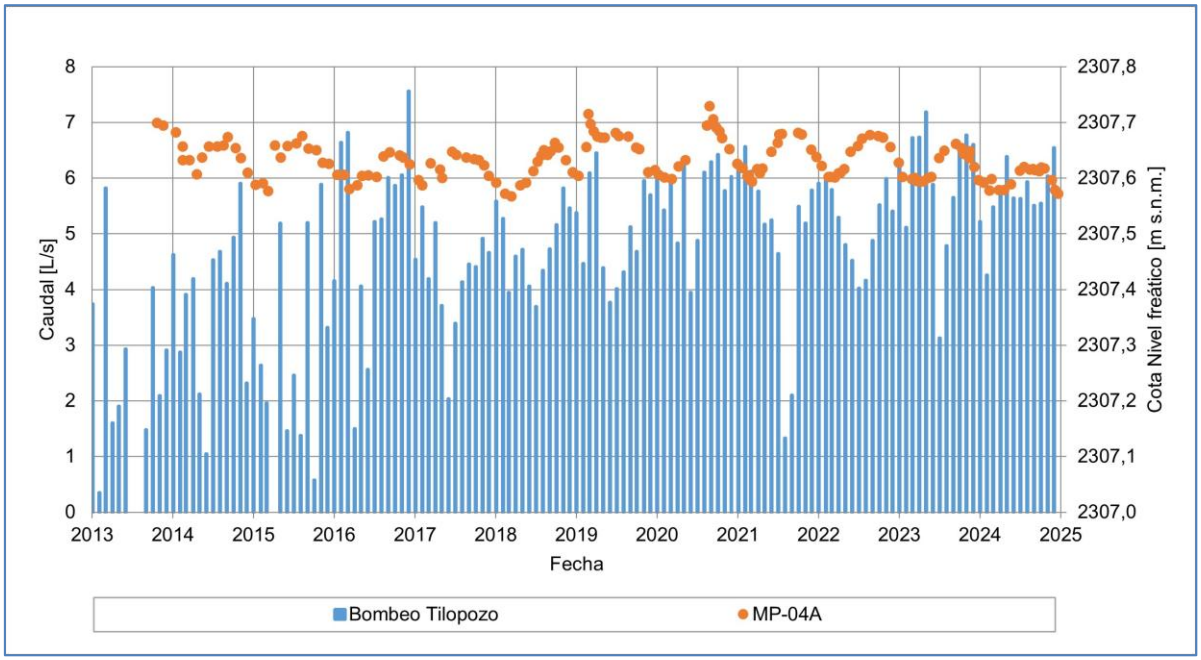
Figura 6-157 Evolución niveles piezómetros someros próximos a pozo Tucúcaro. Borde Oeste, Sistema La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

El pozo MP-04A (Figura 6-158), 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, con una tendencia más constante hasta 2022 en sus niveles, y mostrando descensos descenso los últimos años. No se observa una influencia directa del bombeo de la vertiente Tilopozo en este punto.

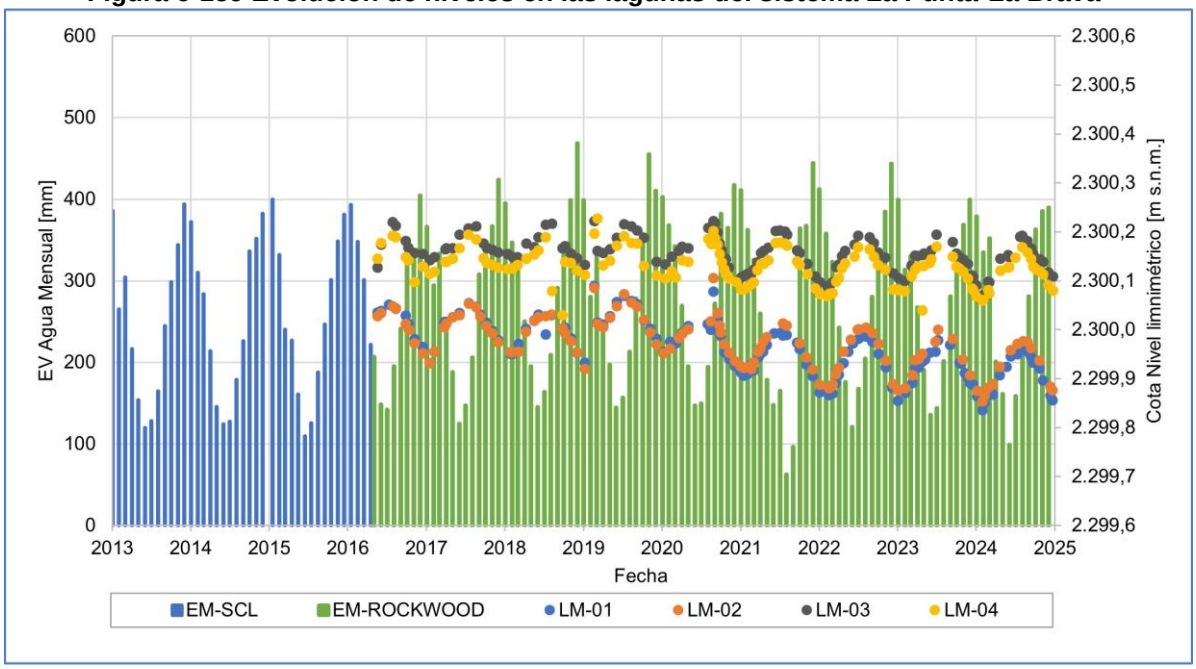
Figura 6-158 Evolución niveles piezómetro somero próximo a la vertiente Tilopozo. Borde Sur, Sistema La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

En relación con los niveles limnimétricos del sistema lagunar La Punta – La Brava (Figura 6-159) en sector La Punta (LM-01 y LM-02) y en sector La Brava (LM-03 y LM-4), estos muestran una tendencia al descenso relativamente estable desde el inicio del monitoreo hasta mediados del año 2018 (2016-2018), para luego descender hasta el año 2021, y mantenerse un poco más estable hasta el año 2024. Se observan variaciones estacionales con descensos de nivel en los meses de estaciones cálidas, recuperándose en los meses de estaciones frías, en línea con el comportamiento de la evaporación.

Figura 6-159 Evolución de niveles en las lagunas del sistema La Punta-La Brava

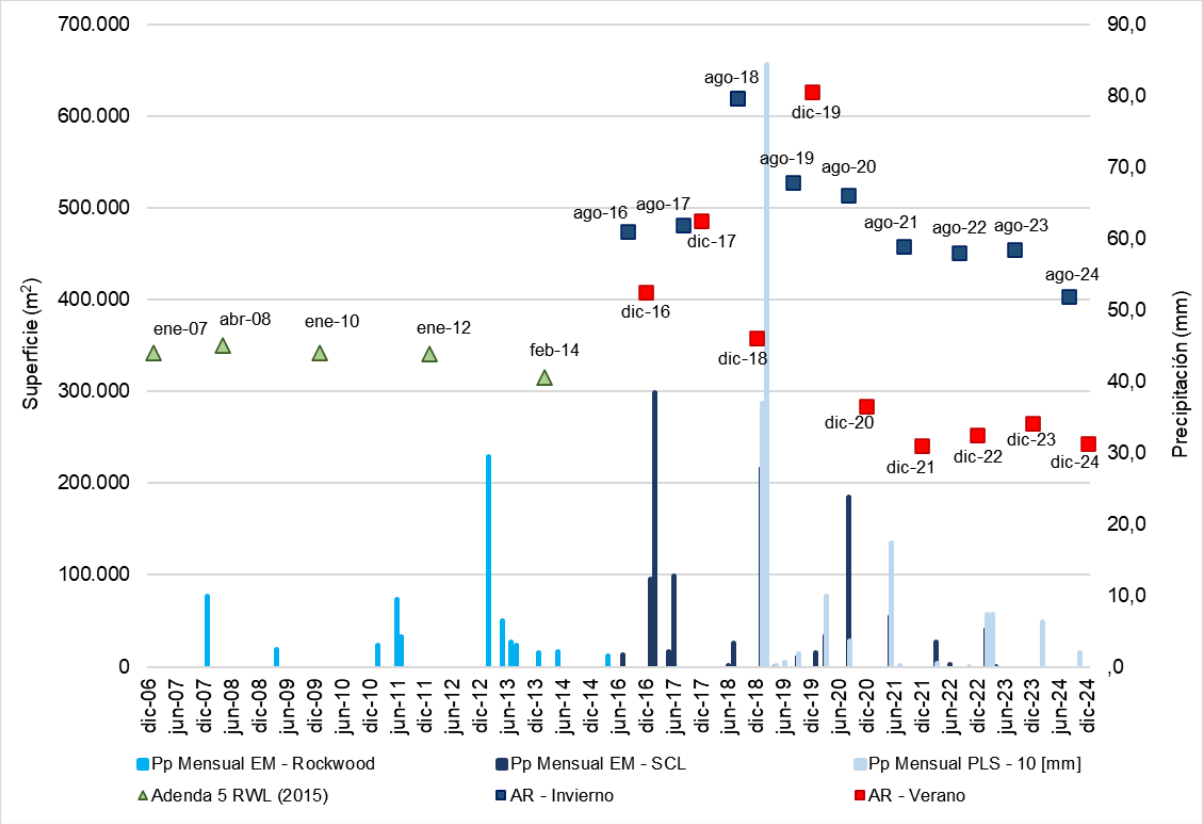


(*) La evaporación de agosto y septiembre 2021, no está considerado el mes completo.
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas** se observa en la Figura 6-160, muestra los 5 registros históricos disponibles de alta resolución de la Adenda 5 para el periodo 2007 a 2014, seguido de las mediciones periódicas en alta resolución entre los años 2016 y 2024 realizadas en el marco del PSAH (invierno – verano). De la figura (Figura 6-160) se observa un comportamiento estacional donde en general, las mayores superficies se registran durante los meses de invierno y las menores en verano, con excepción del año 2017, donde los registros de invierno y verano son prácticamente iguales, y en el año 2019, donde la situación se invierte (mayores superficies se registran durante los meses de verano y las menores en invierno. Entre los años 2016 a agosto 2020, se observa que las mediciones tanto de invierno como las de verano presentaron valores por sobre la superficie de referencia histórica de alta resolución (31,6 ha en febrero de 2014) (ver Sección 6.1.3). A partir de diciembre 2020 a diciembre de 2024, sólo las superficies medidas durante invierno han presentados valores sobre la superficie de referencia, mientras que aquellas medidas en verano se encuentran por debajo de dicho valor (detalles en sección 6.1.3.1).

Como se menciona en la sección 6.1.3 se hace relevante analizar los registros Landsat dado que se cuenta con un amplio periodo (años 1973 a 2014) y se ha obtenido desde un mayor número de imágenes satelitales de mediana resolución (68 imágenes entre los 4 sistemas, Figura 6-161).

Figura 6-160 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema La Punta - La Brava (imágenes alta resolución)



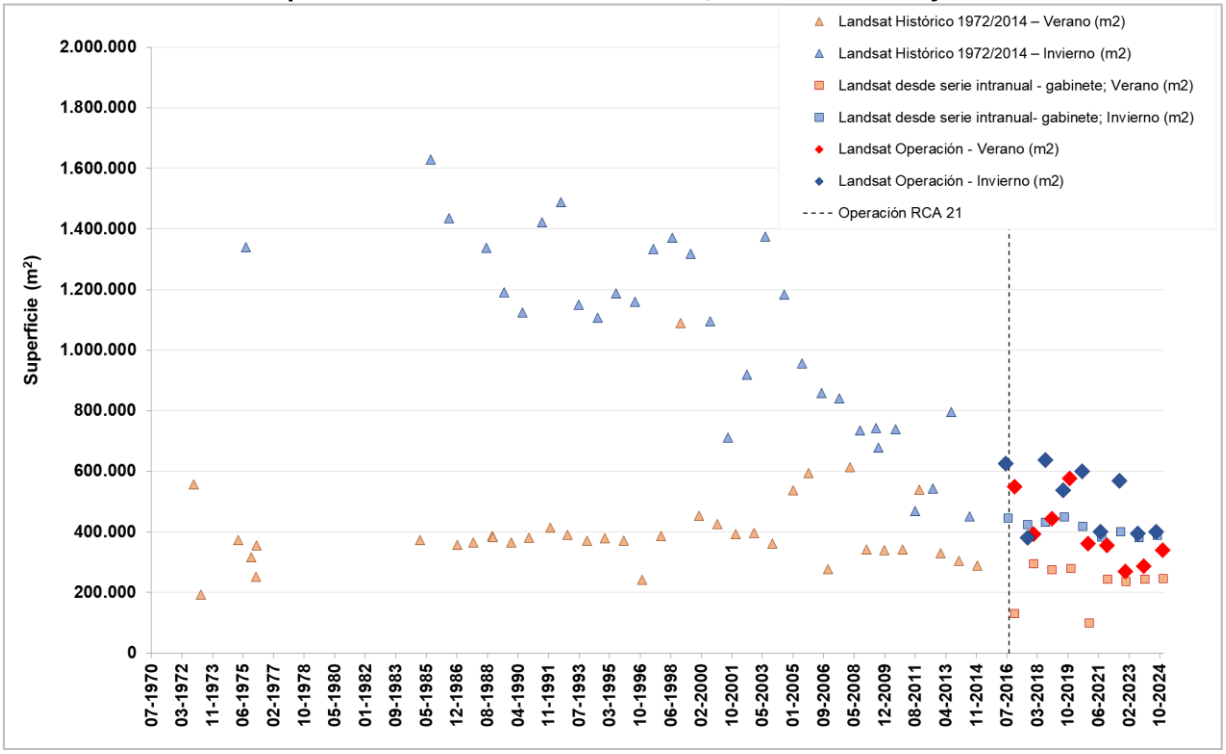
Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a las imágenes de **mediana resolución** de la serie "*Landsat 2016/2014*" intranual de la Figura 6-161 (información disponible en el Anexo C) es posible observar las variaciones 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.

Las máximas extensiones de las lagunas se producen durante los meses de invierno, mientras que las mínimas extensiones durante los meses de veranos (Figura 6-161). Se observa una tendencia histórica al descenso, que se presenta con mayor pendiente para las superficies medidas en invierno, y menor para las superficies de verano. Además, se observa que la diferencia de la superficie lagunar entre invierno y verano se ha ido reduciendo desde el año 2005 aproximadamente, logrando una variación entre invierno y verano con una diferencia que se mantiene relativamente constante entre 2016 y 2024.

En resumen, tanto las superficies lagunares de alta resolución, como las de media resolución, muestran una 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 6-161 Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector La Punta y la Brava.

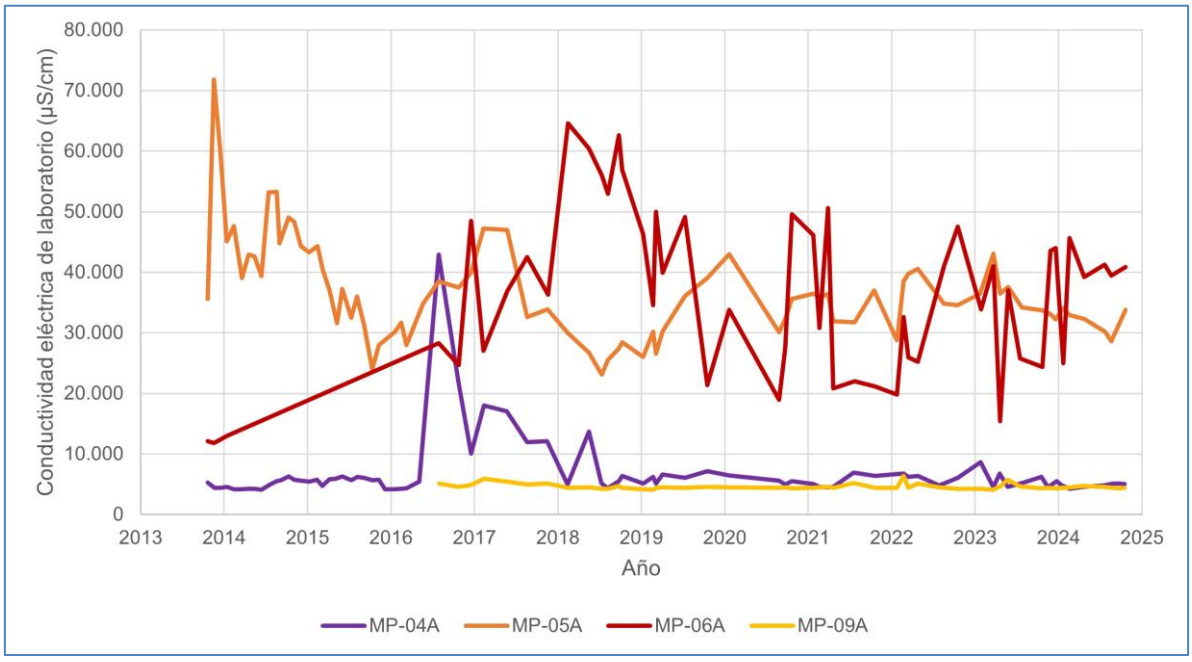


Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la **calidad química**, desde una perspectiva espacial, se observa que en las aguas subterráneas someras hay un aumento en la salinidad a medida que se avanza desde la Zona Marginal hacia las lagunas, siguiendo la dirección del flujo subterráneo. Esto se puede inferir a partir de los valores de conductividad eléctrica o de la 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 6-162. 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)[42] 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 6-162 Evolución de conductividad eléctrica en multipiezómetros del sistema La Punta-La Brava



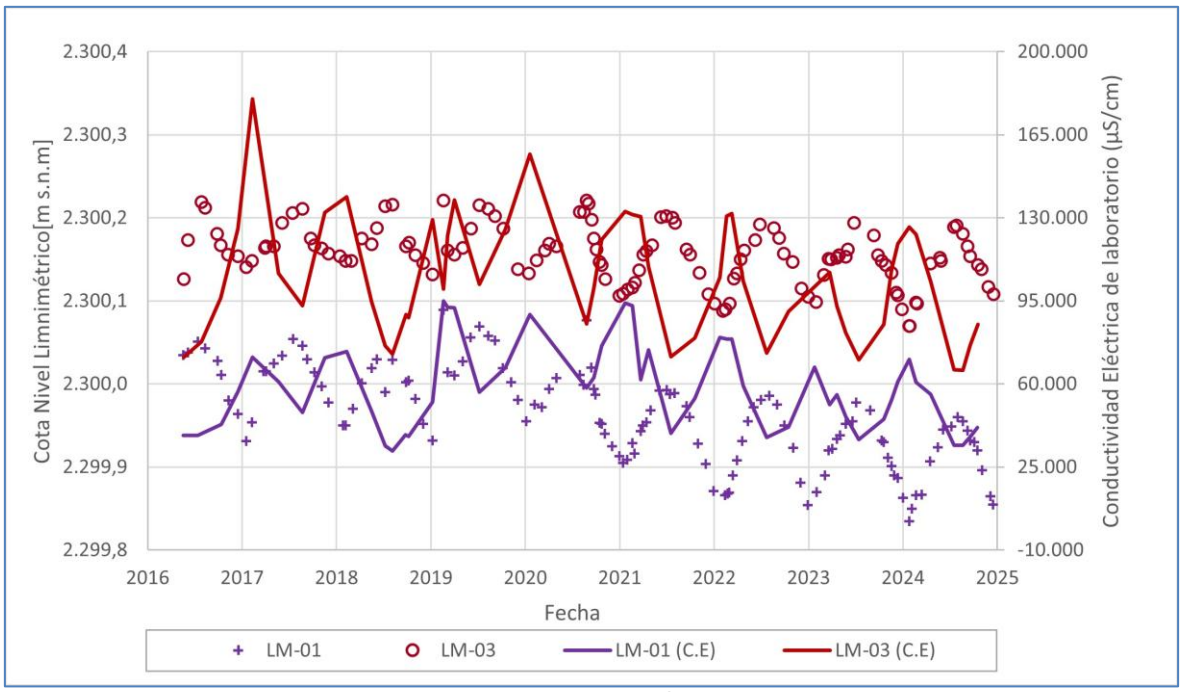
Fuente: Elaboración Propia

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-09A en Figura 6-162) hacia las lagunas (ver punto LM-01 y LM-02 en Figura 6-163) y a la

[42] Dato presuntamente outlier, dado que se muestreó con bailer un mes después de la perforación del pozo.

evaporación, que genera un aumento de las concentraciones de sales en el fluido. Este proceso se ilustra en la Figura 6-163, 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 la Punta (LM-01), la conductividad eléctrica es menor que en la Brava (LM-03), al igual que su cota respectiva de nivel limnimétrico.

Figura 6-163 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 2024 sin mostrar cambios importantes en los puntos monitoreados dentro del año y con respecto al registro histórico, con excepción del punto MP-01C que muestra una cierta profundización en la interfase, estable para los últimos periodos. Espacialmente, 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 han definido 4 subsectores (zona Laguna Interna, zona Media Lagunas, zona Inicio Laguna Salada, zona Borde Este y Sur de Peine), ubicadas alrededor del sistema

lagunar de Peine y parte del Núcleo, donde se encuentran las lagunas Salada, Saladita e Interna.

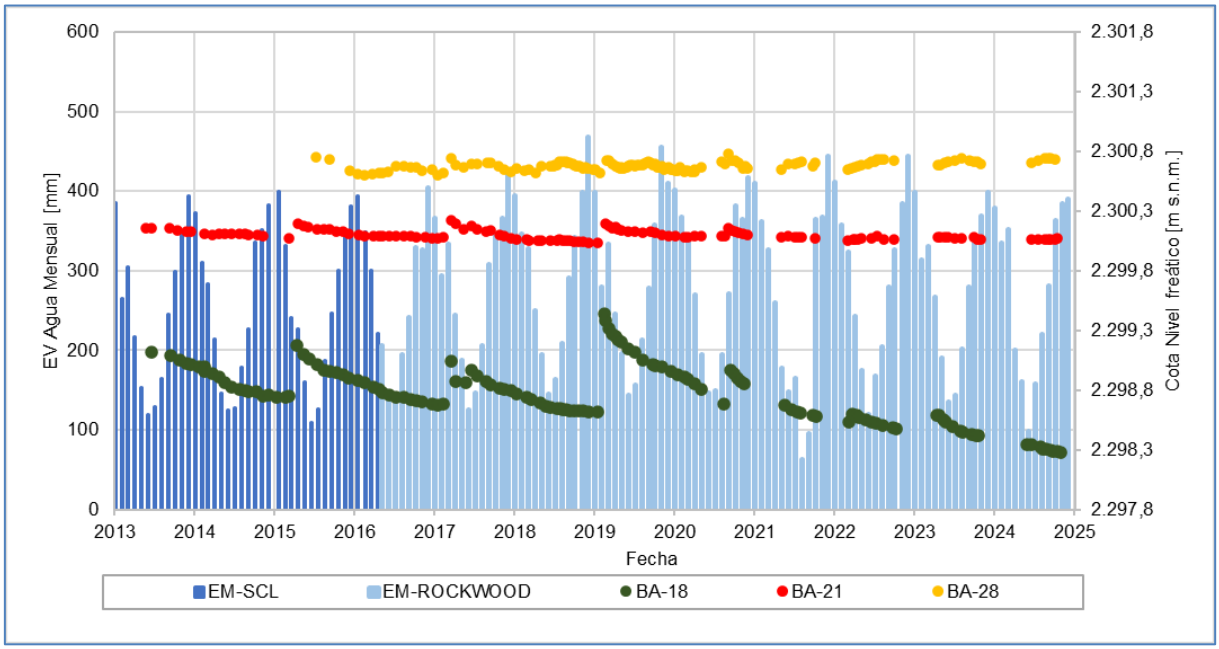
El funcionamiento del Sistema Peine consiste en que las aguas de las lagunas son alimentadas por agua subterránea procedente del sureste. En la zona donde el nivel freático del acuífero de agua salobre intercepta la superficie del terreno, se sitúan puntos de surgencia, que se disponen a lo largo de 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 2024, se debe considerar que, en Laguna Interna, Laguna Salda y Saladita e Inicio Laguna Salada, del sector Peine, muestran escasez de datos contando con 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 6-164 se observan que no hay relación entre la evaporación estacional y los niveles en los puntos BA-18 (característico de laguna Interna, ubicado en zona salmuera) y BA-21 (característico de zona media de lagunas, ubicado en zona intermedia).

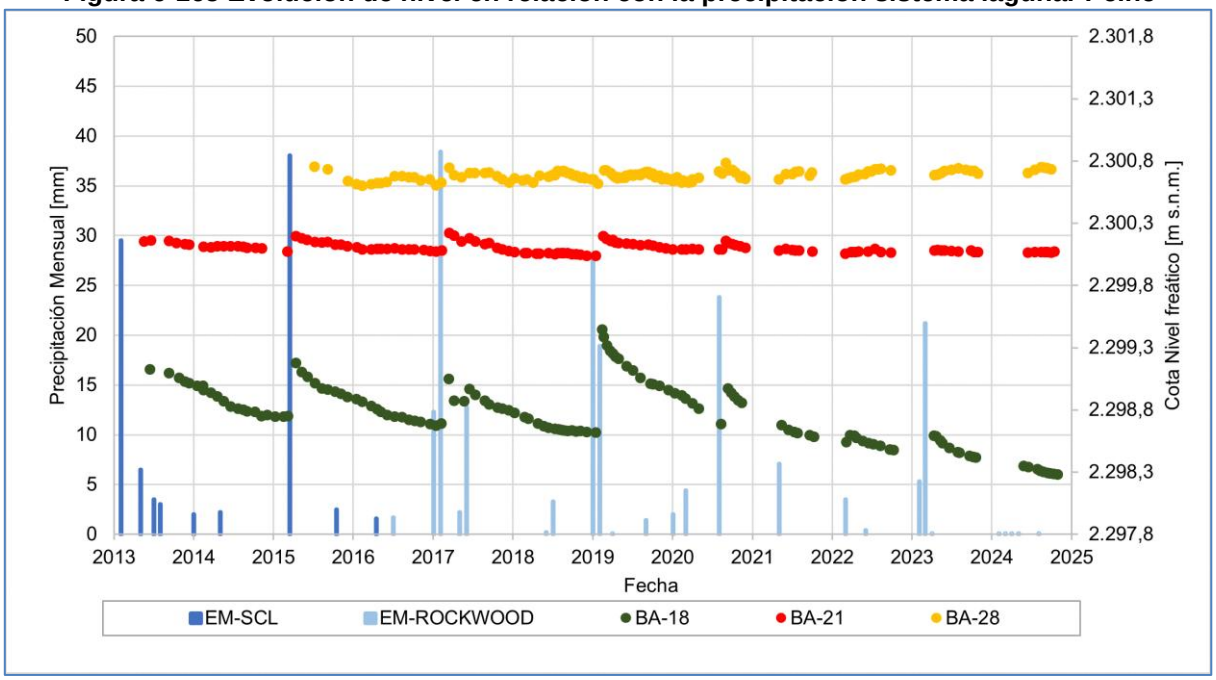
En la Figura 6-165, es posible observar una clara respuesta ante los eventos de precipitación a medida que los puntos son más cercanos al Núcleo (BA-18, por ejemplo, entre enero y febrero de 2019, ascendió 83 cm posterior a la lluvia). En los pozos ubicados hacia el sur, más alejados del Núcleo, también 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 en la zona intermedia, 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 6-166, 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 6-164 Evolución de nivel en relación con la evaporación Sistema Peine



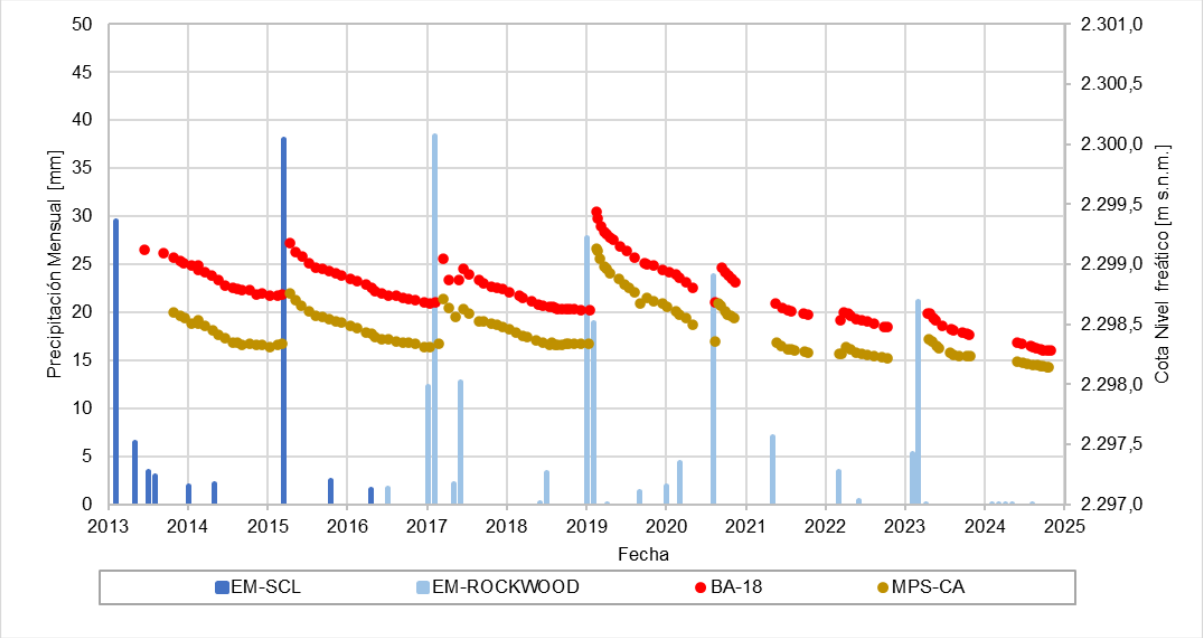
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-165 Evolución de nivel en relación con la precipitación sistema lagunar Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-166 Evolución de niveles en el sector de la laguna Interna. Sector Peine

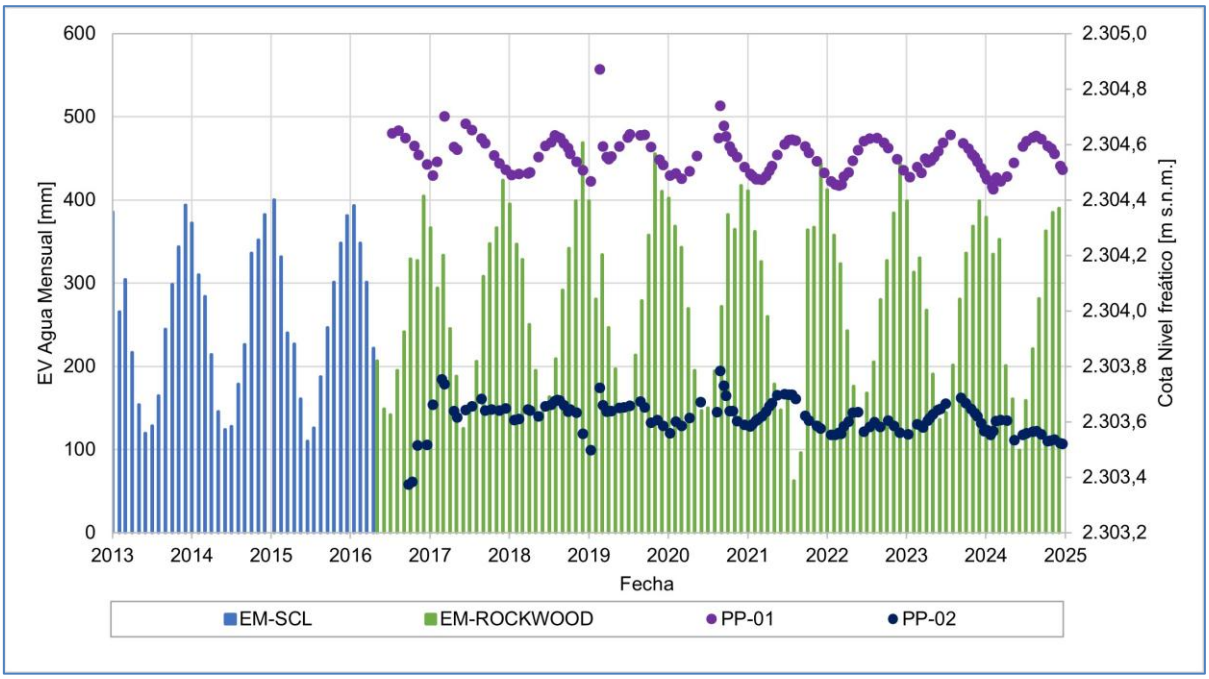


Fuente: Elaboración propia

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 2024 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 21 cm (calculados en el MP-07A entre febrero y agosto de 2024, Figura 6-167). 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.

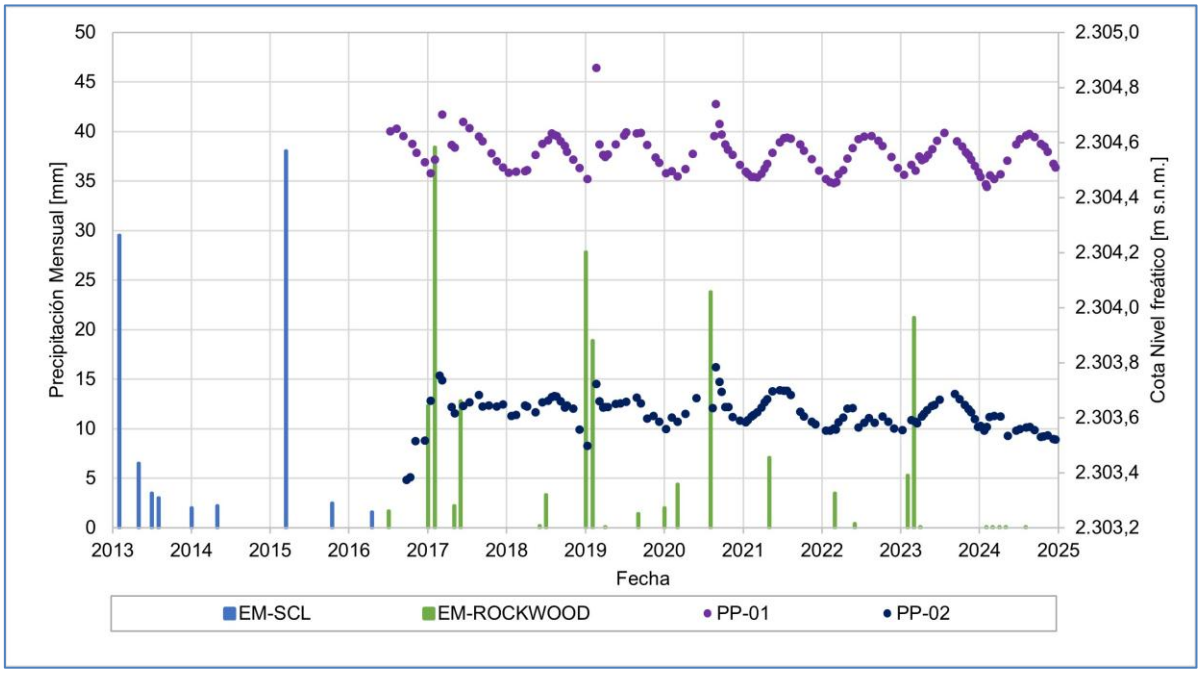
La evaporación posee un rol importante en el control del nivel freático de la zona. La Figura 6-167 muestra la relación inversa de la evaporación y el nivel freático en los pozos PP-01 y PP-02, con mayores descensos cuando la evaporación es mayor. En pozos ubicados más cerca del Núcleo la influencia de la evaporación es reducida, estando la dinámica de los niveles influenciada de mayor forma por los eventos de precipitación intensa descritos anteriormente.

Figura 6-167 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y evaporación en el borde Este. Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia

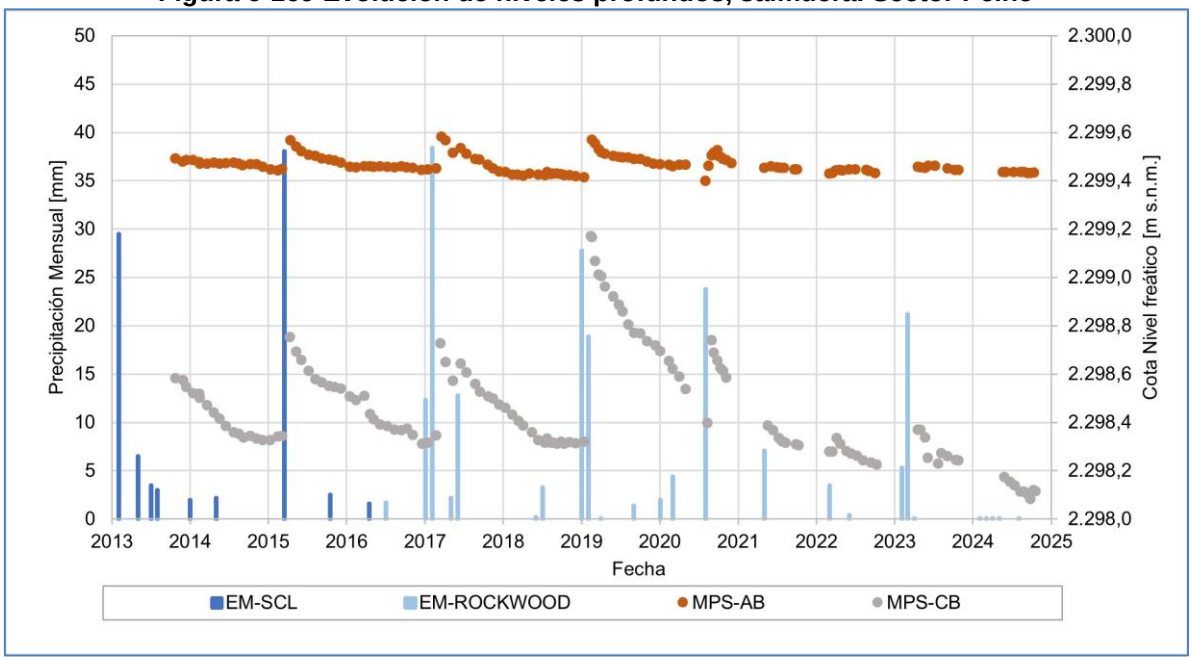
Figura 6-168 Evolución de niveles acuífero dulce-salobre y precipitaciones en el borde Este. Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia

Los pozos MPS-AB (Zona intermedia, en laguna media, a mayor distancia del Núcleo) y MPS-CB (límite zona intermedia y salmuera, Laguna Interna, a menor distancia del Núcleo), están habilitados en salmuera, el punto MPS-AB muestra un comportamiento estable de sus niveles en el tiempo (Figura 6-169) 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, se ha observado que mientras más alejados del Núcleo la oscilación estacional de los niveles freáticos se hace más importante.

Figura 6-169 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 6-170), lo que confirmaría la dirección de flujo de agua desde el sureste hacia el Noroeste a través los canales que las comunican. Como se ha descrito anteriormente para los niveles freáticos, el nivel limnimétrico 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 de laguna Salada y Saladita (LM-06 y LM-08), en que no se observa respuesta a las precipitaciones.

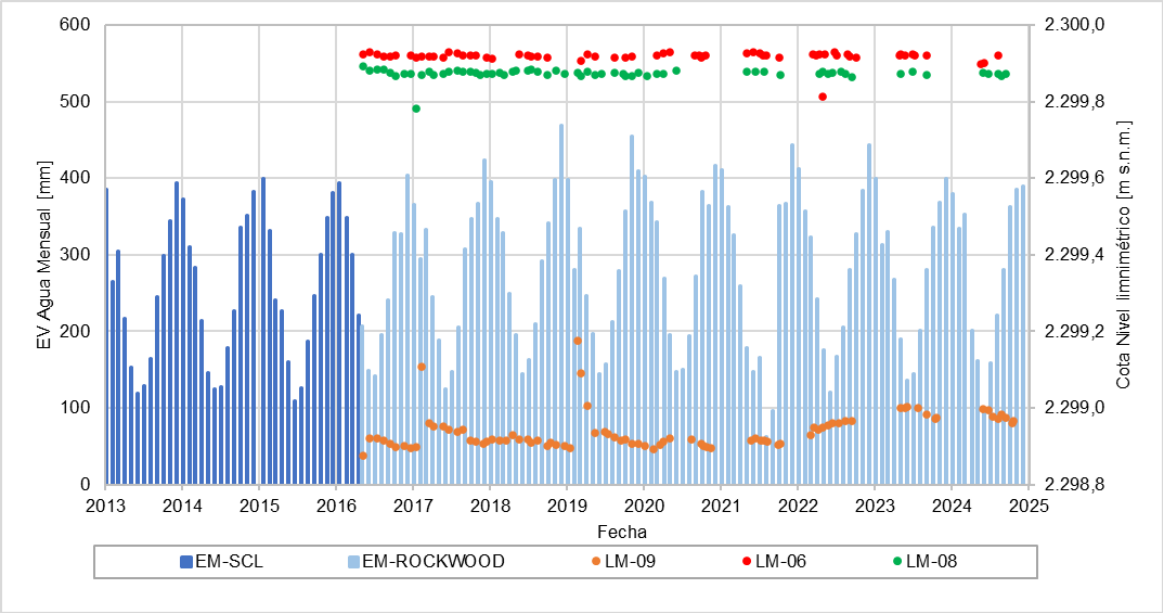
Respecto de la evaporación (Figura 6-171), se observa una menor amplitud de oscilación estacional, del orden de 2 cm o incluso imperceptible, en LM-06 y LM-08, en relación con los otros sistemas lagunares como La Punta La Brava y el Sector Norte y Borde Este, donde la amplitud estacional observada presenta valores de hasta 0,1 m. Dada la disponibilidad de datos no se puede observar amplitud desde mediados del año 2020, por lo que el análisis presenta sesgo.

Figura 6-170 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la precipitación



Fuente: Elaboración propia

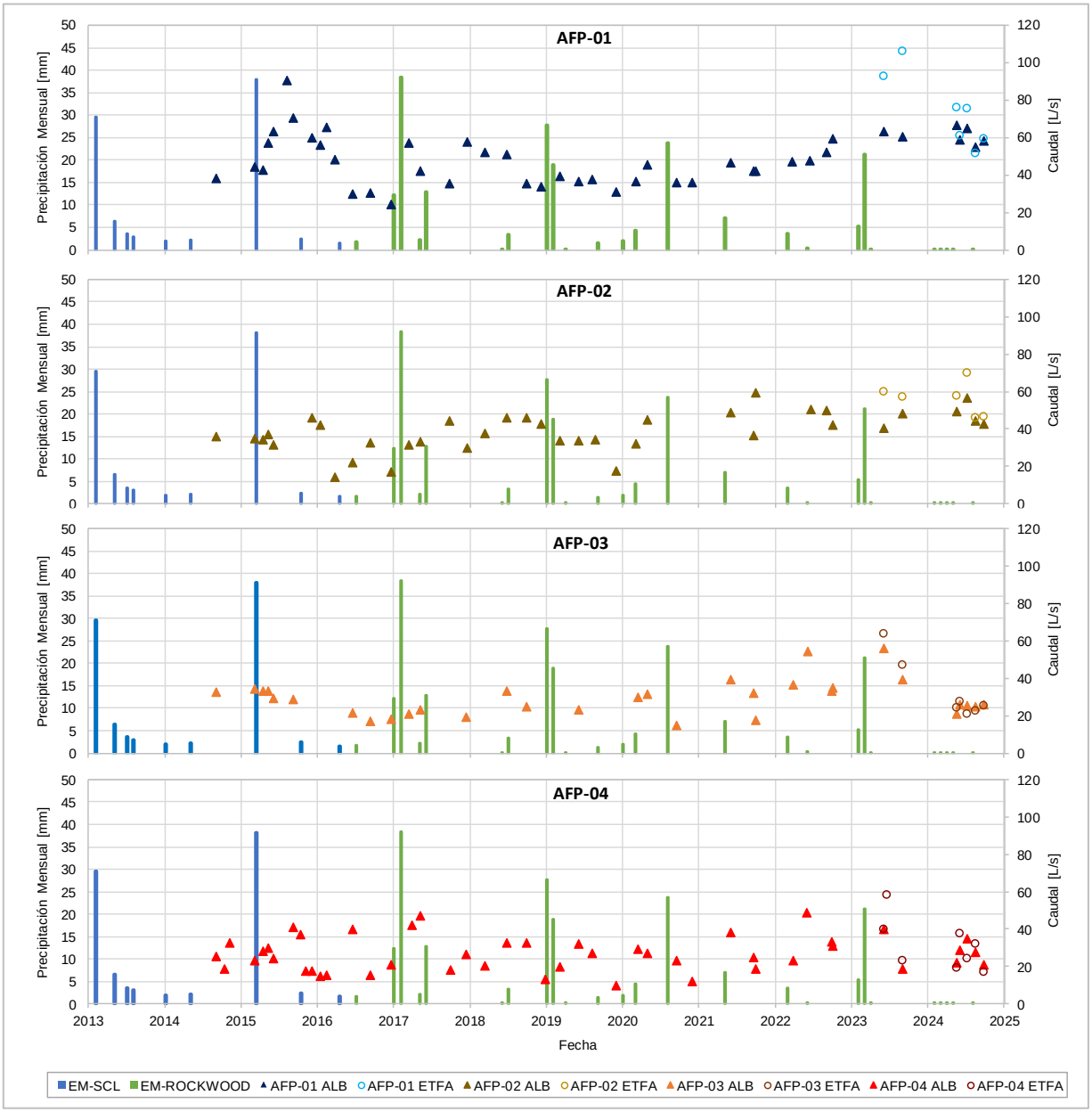
Figura 6-171 Evolución de niveles de lagunas en Sistema Peine respecto a la evaporación



(*) La evaporación de agosto y septiembre 2021, no está considerado el mes completo.
Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-172 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, luego en el año 2024 se mantienen estables en AFP-01 y AFP-02, y disminuyen en AFP-03 y AFP-04. Además, se observa sincronía en las mediciones realizadas por ETFA y las ejecutadas por Albemarle.

Figura 6-172 Evolución histórica de Caudales Aforados Sistema Peine

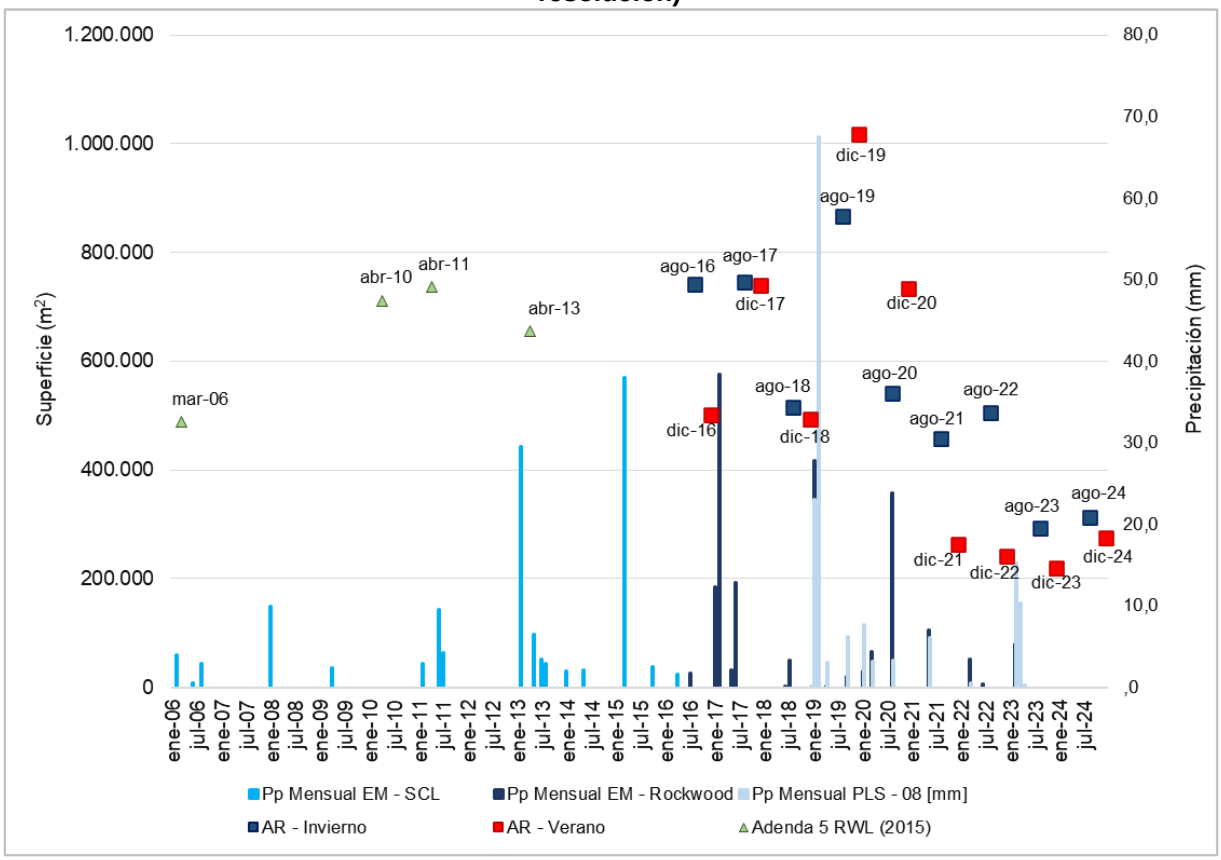


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas** (detalle en sección 6.1.3.2) la Figura 6-173 los registros determinados a partir de imágenes de alta resolución entre 2017 y 2020, 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), desde el 2021 al 2024 si se observa comportamiento estacional, menores superficies en verano y mayores superficies en invierno. Además se observa 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, para luego en 2024 aumentar dichas superficies. En relación a la superficie de referencia histórica, desde el año 2021 a 2024 se observa una disminución de las superficies tanto de invierno, como de verano, con valores por debajo de la referencia (48,9 ha en marzo de 2006) (ver Sección 6.1.3), con excepción de invierno de 2022 (50,5 ha).

Figura 6-173 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Peine (imágenes alta resolución)



Fuente: Elaboración propia

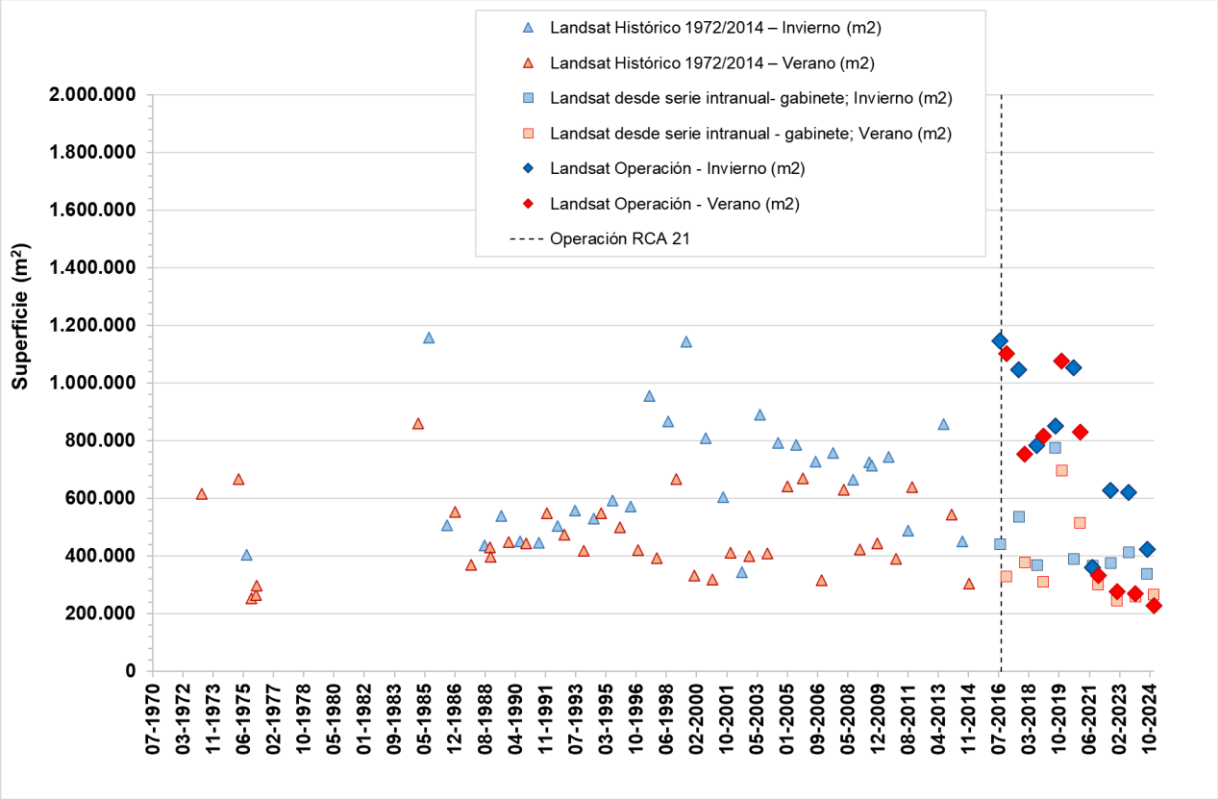
De acuerdo con los registros históricos presentados en la

Figura **6-174** (serie *Landsat Histórico 1972/2014)* el sistema lagunar presentó una dinámica estacional al menos entre los años 1997 y 2014, 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 intranual 2016/2024***", la superficie de verano de la mayoría de los años del período 2016-2024 ha sido similar a la de los años previos hasta el año 2021, para luego mostrarse bajo esta superficie. 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 con "*Landsat 2016/2024*" (sin validación en terreno). 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 una reducción de la superficie de verano e invierno, que coincide con años sin precipitaciones de gran magnitud.

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.

En resumen, las superficies lagunares de alta y mediana 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. Desde el año 2019 a la fecha las superficies lagunares AR desciende tanto en invierno como en verano (Ver Anexo C).

Figura 6-174 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)

En relación con la **calidad química**, en el sector Peine, se observa que las aguas subterráneas presentan un aumento en la conductividad eléctrica en dirección hacia el Núcleo del Salar. Así, las aguas menos mineralizadas se encuentran en la estación Anterepresa Tilomonte y en los piezómetros MP-07A y MP-08A, que están habilitados en aguas subterráneas someras, dulce – salobres y situados al sureste de las lagunas, donde tienen mayor influencia de las aguas de recarga del acuífero aluvial del Borde Este. Por otro lado, las aguas con mayor conductividad eléctrica se registran en los piezómetros profundos MPS-CB y MPS-AB, que presentan valores superiores a 200.000 µS/cm debido a su naturaleza salina, dado que miden salmuera.

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 2024 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 una tendencia de aumento de niveles hasta la mitad del 2020 y luego una tendencia al descenso hasta el año 2023, actualmente no se cuenta con suficientes datos para analizar el año 2024.

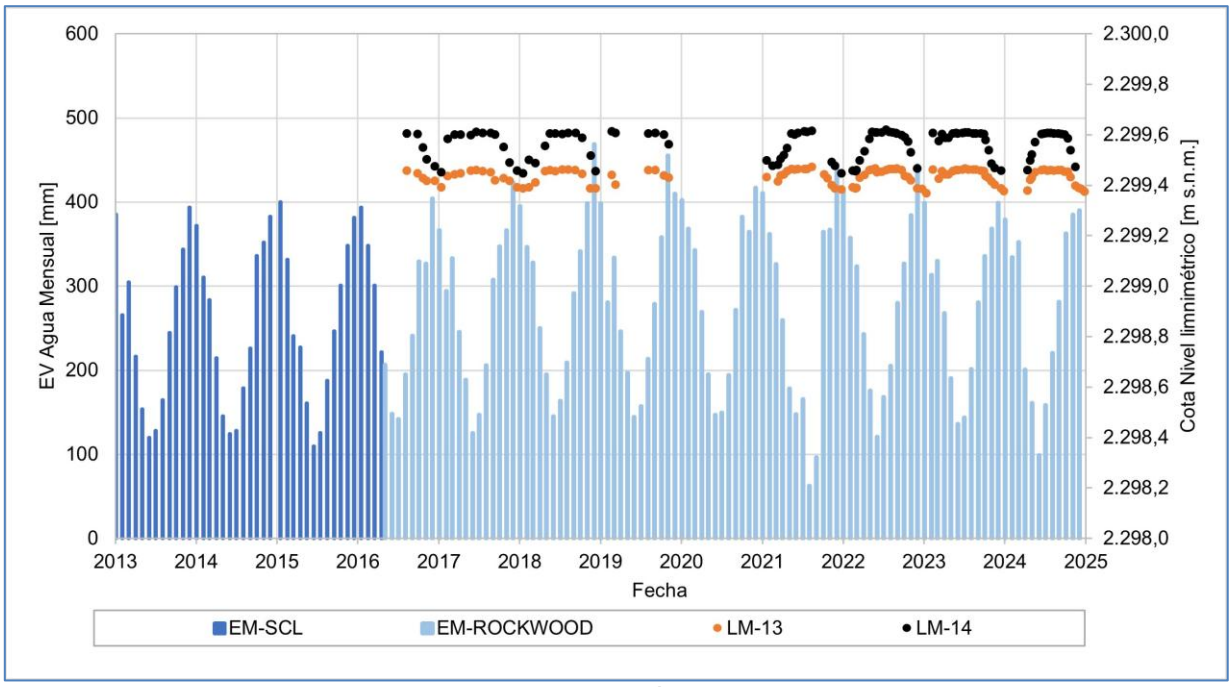
Los perfiles de conductividad eléctrica efectuados en el sector (piezómetro MP-12C), indica que la **Interfase Salina**, no ha presentado cambios en la ubicación en relación con los registros históricos durante el año 2024, no obstante, ha habido vacío de datos por la restricción de acceso.

Sistema Aguas de Quelana

En la Figura 6-175, se observa que los registros de nivel limnimétrico en 2024 muestran un comportamiento estacional sincrónico al igual que en los años anteriores 2016-2019, aunque con mayor amplitud en el punto LM-14 en relación con LM-13. 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.

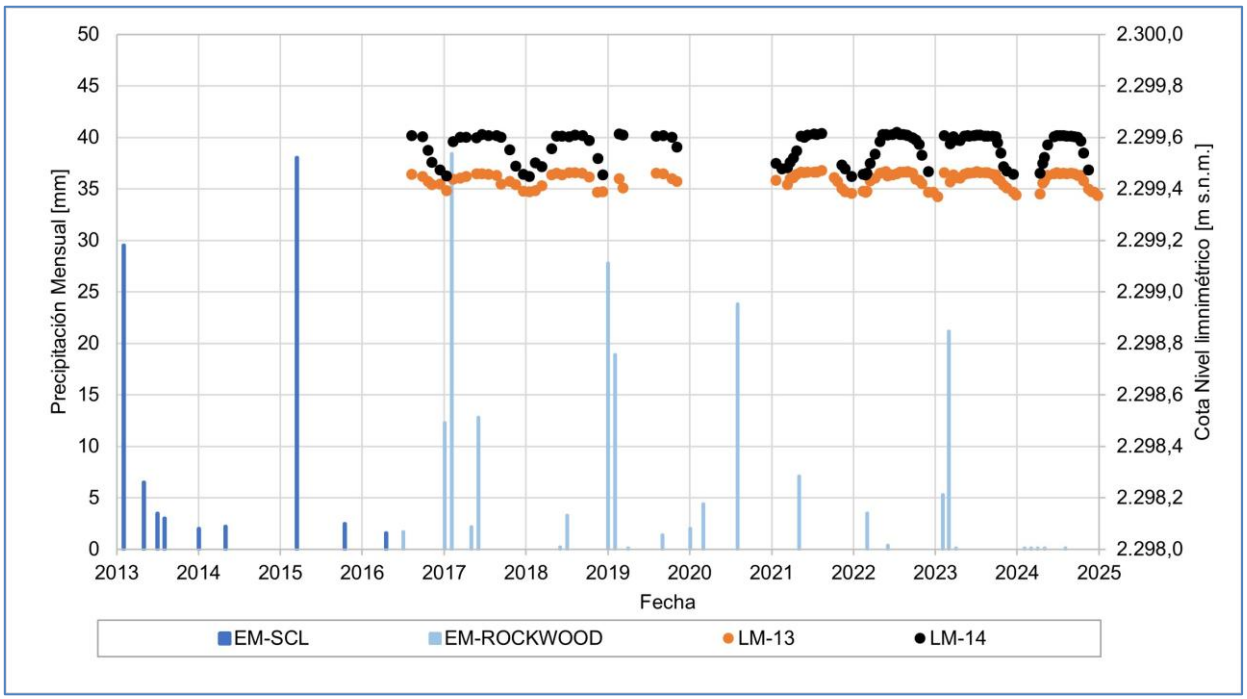
El comportamiento de oscilación estacional de los niveles muestra una correlación directa con la evaporación, tal como se puede observar en la Figura 6-175. Esta situación es consistente con lo observado en los otros sistemas lagunares analizados en la presente sección. En la Figura 6-176, se observa que los puntos no son sensibles a los eventos de precipitación.

Figura 6-175 Evolución de niveles de aguas superficiales versus evaporación. Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-176 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 al sistema lagunar de Aguas de Quelana no se cuenta con registro de niveles freáticos de salmuera en pozos, ya que Albemarle no tiene comprometidos de puntos de monitoreo de salmuera en esta área.

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas,** en la Figura 6-177 se presentan los 5 registros históricos disponibles durante la Adenda 5 de alta resolución (serie de 2007 a 2014) junto a las mediciones periódicas de seguimiento en alta resolución (serie de 2016 a 2024) realizadas en el marco del PSAH (invierno – verano) (detalle en sección 6.1.3.3).

La Zona Marginal Este recibe sus aguas desde las subcuencas laterales del borde este del Salar. Debido a la presencia de la salmuera del Núcleo y la interfase salina que se forma debajo del acuífero ubicado en la Zona Margina, las aguas subterráneas ven disminuida su sección de paso por lo que ascienden y emergen en superficie formando los cuerpos lagunares dispersos y quedando expuestas a la evaporación desde el terreno y en lámina libre los que varían en magnitud según la estación.

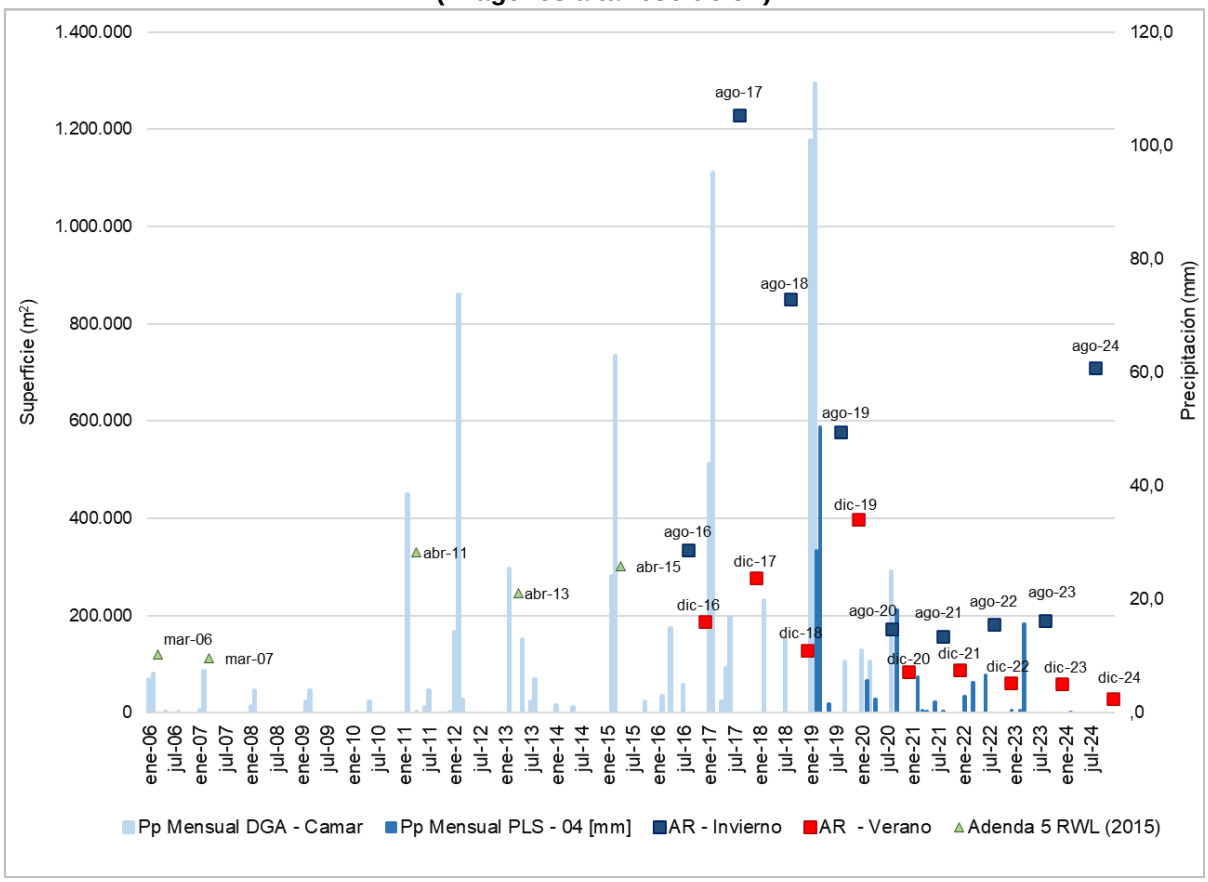
De esta manera, las lagunas de este sistema corresponden a una expresión del sistema subterráneo en superficie. Dada su ubicación, y de acuerdo con su composición química e isotópica, su descarga corresponde a las aguas subterráneas de la Zona Salobre, pero también a una mezcla de salmuera con agua de la zona Intermedia, que representa la expresión superficial de la Zona de Mezcla. En el sistema Aguas de Quelana no se observan desbordes superficiales permanentes hacia el Núcleo, por lo que la principal salida del sistema sería la evaporación.

Es importante destacar que en este sistema se observa la mayor variabilidad entre las superficies de invierno y verano, siendo en verano donde se producen las mayores disminuciones, pudiendo reducirse por ejemplo en un 96%, para las imágenes AR, en 2024.

En la Figura 6-177 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. Las superficies de verano, entre los años 2020 a 2024 se encuentran bajo el mínimo de las imágenes de alta resolución disponibles de la Adenda 5, (11,3 ha en marzo 2007), mientras que las superficies de invierno (años 2020 a 2024) se encuentran por sobre este valor, con un aumento importante de hasta 70,9 ha en invierno 2024.

Como se menciona en la sección 6.1.3 se hace relevante analizar los registros Landsat (años 1973 a 2014) obtenido desde un mayor número de imágenes satelitales de mediana resolución (68 imágenes entre los 4 sistemas, Figura 6-178).

Figura 6-177 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Aguas de Quelana (imágenes alta resolución)

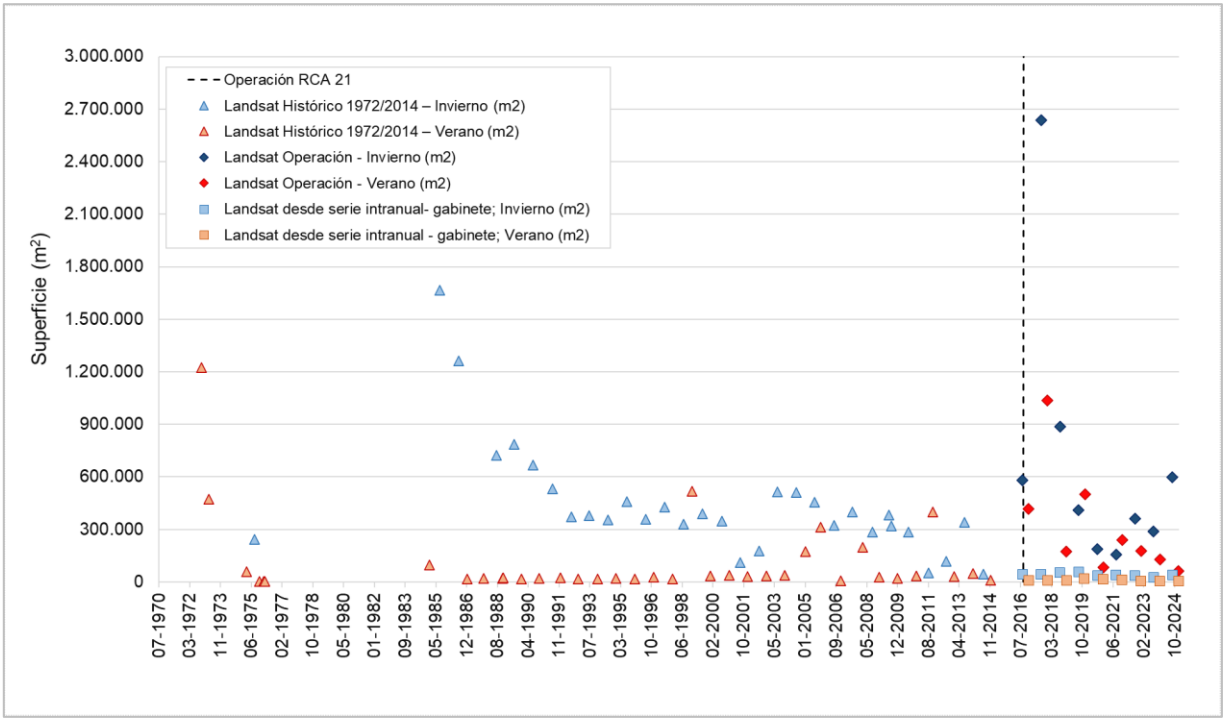


Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-178 presenta los registros de mediana resolución a partir de imágenes Landsat. de la serie Landsat Histórico *1972/2014*, proveniente de la Adenda 5, junto a la serie "Landsat 2016/2023", que corresponde a los valores semestrales de invierno y verano para dicho periodo. El detalle de estas series se encuentra en Anexo C de este Informe.

De la serie Landsat Histórico 1972/2014 (Figura 6-178) 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. Los valores más bajos de las estaciones de invierno se han concentrado desde julio de 2014 a la fecha. En la serie "Landsat 2016/2024" entre los años 2016 a 2019 se observan mayores superficies que los años 2020 a 2024, registrándose en verano de 2024 la menor superficie de la serie (6,2 ha), pero manteniéndose por sobre el mínimo histórico de mediana resolución (0,2 ha).

Figura 6-178 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)

En cuanto a la **calidad química** del Sistema Aguas de Quelana, se evidencia un incremento en la conductividad eléctrica. Esto se puede atribuir a la concentración de las aguas debido a la evaporación a medida que fluyen por el sistema lagunar. El punto LM-14, presenta valores más elevados, mientras que LM-13, presenta valores más dispersos.

Sistema Lagunar Soncor

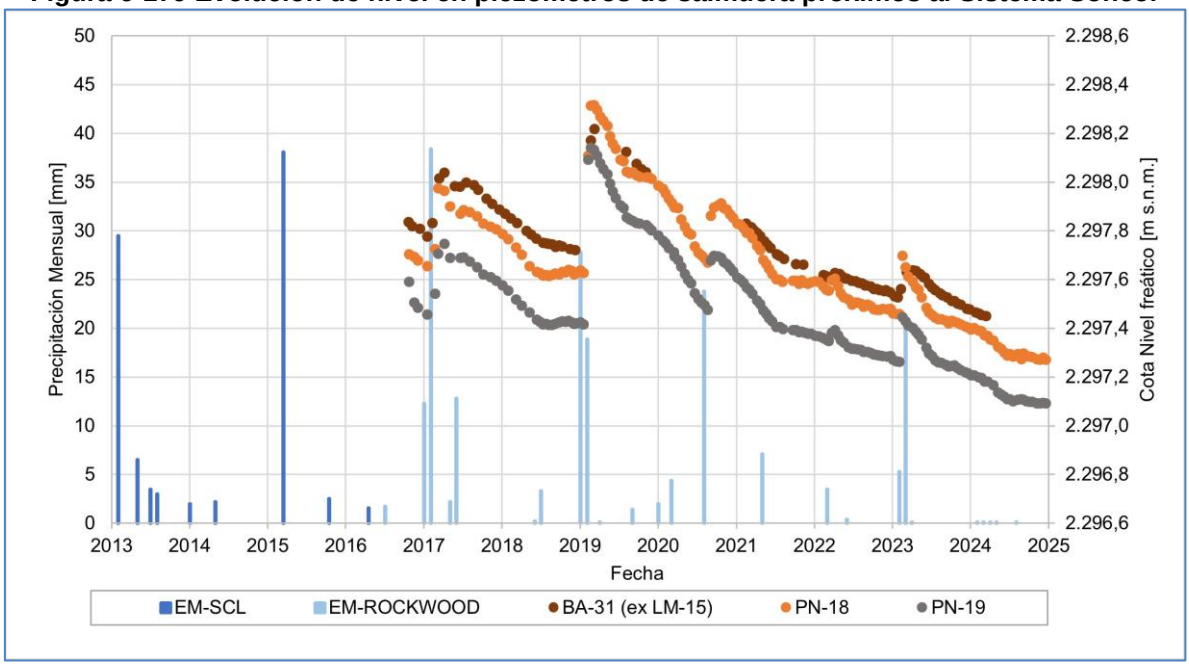
Este sector abarca el área de la Zona Marginal, alrededor del sistema lagunar Soncor y el área frente a las lagunas del Borde Este.

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 2023 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 6-179), durante 2024 el punto se encuentra seco.

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.

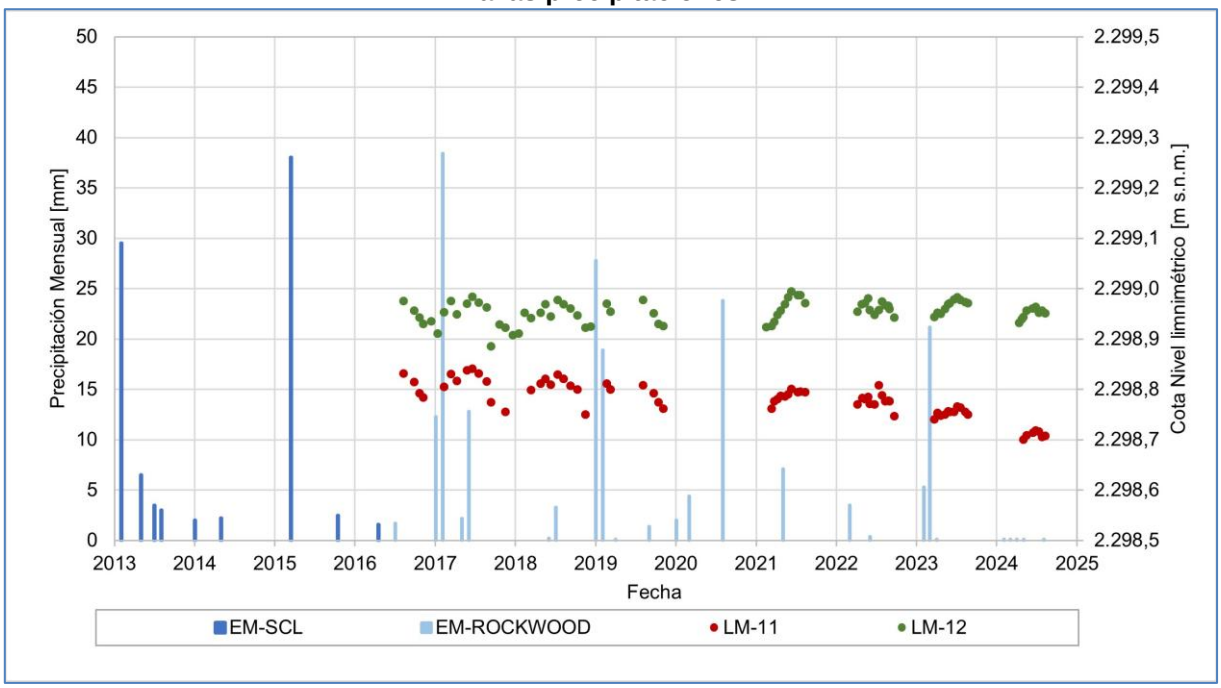
Figura 6-179 Evolución de nivel en piezómetros de salmuera próximos al Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia

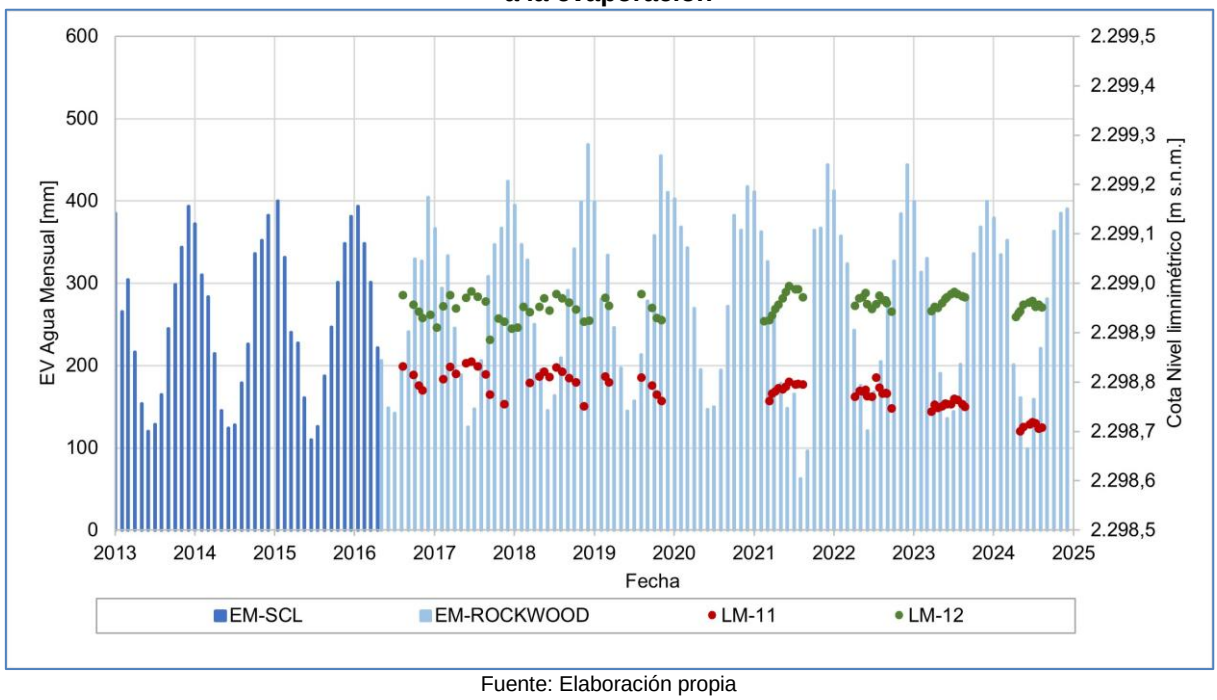
Tal y como se ha explicado en los otros sistemas lagunares, los niveles de las lagunas del Sistema Soncor, muestran un comportamiento estacional, con máximos en invierno y mínimos en verano, mostrando ascensos de nivel como respuesta a las precipitaciones (Figura 6-180) y una relación inversa con la evaporación (Figura 6-181).

Figura 6-180 Evolución de Nivel de Aguas superficiales en el Sistema lagunar Soncor respecto a las precipitaciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-181 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, que afloran en superficie en ciertos puntos, expresándose como pequeñas surgencias que escurren pocos metros y desaparecen, formando lagunas como el caso de la laguna Puilar, o generando cauces superficiales como el Canal de Burro Muerto que alimentan el sistema de Chaxa y Barros Negros

Efectivamente, en la zona donde la interfase salina intercepta con el terreno se producen afloramientos de aguas que confluyen hacia el canal de Burro Muerto, generando un flujo superficial permanente que desemboca a la laguna Chaxa. A medida que el agua fluye hacia el sur, esta está sujeta a procesos de evaporación. Luego desde la laguna Chaxa, se genera otro escurrimiento superficial, permanente, que conecta la laguna Chaxa con Barros Negros.

Hasta noviembre de 2012, este sistema lagunar tenía su salida por la zona de desbordamiento “Cola de Pez”, ubicada al sureste de esta laguna, donde parte de los flujos que pasaban hacia el Núcleo infiltraban (SQM, 2022). Esta infiltración generalmente tenía un carácter estacional, siendo mayor en invierno y mucho menor en verano. Esto demostraría que el sistema movía más agua en invierno, momento en que los caudales de entrada al sistema debían ser mayores producto de los niveles subterráneos más altos que alimentan el sistema. En cambio, en verano, cuando los niveles subterráneos someros son menores, producto de la evaporación, generan surgencias menores y por lo tanto entradas menores al sistema superficial. De la misma manera, las salidas por desbordes también eran estacionales.

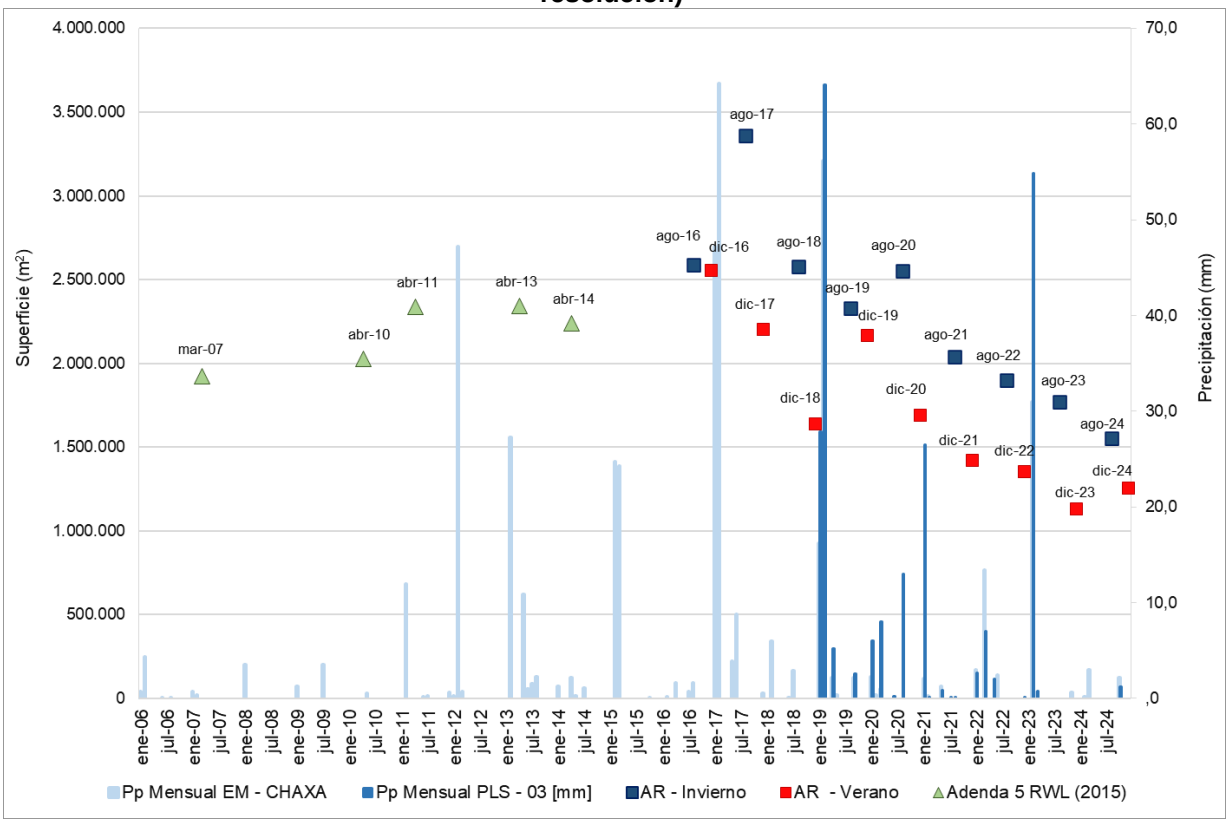
No obstante, esta dinámica mostró variaciones espaciales durante la última década. A partir de diciembre del año 2012 se observó un cambio en la dinámica de los desbordes del sistema lagunar, cuando estos empezaron a desarrollarse preferentemente hacia el sur de la laguna Barros Negros (Desborde Sur).

En cuanto a la **superficie cubierta por lagunas** en el sistema Soncor, la Figura 6-182 presenta de forma gráfica los 5 registros históricos disponibles de la Adenda 5 de la cobertura de cuerpos de agua de imágenes de alta resolución presentados en la Adenda 5 (serie 2006 a 2014), junto con las coberturas provenientes de las imágenes semestrales (invierno y verano) de alta resolución del período 2016 – 2024, evaluadas en el contexto del PSAH.

En la Figura 6-182, a partir de la serie 2016 a 2024, se observa la variabilidad estacional, con superficies mayores en invierno y menores en verano. La comparación entre las mediciones de verano del PSAH, con los registros históricos de la Adenda 5 muestran que desde diciembre del año 2020 a diciembre 2024, las superficies han sido inferiores a los menores valores

referencia histórica disponible de la Adenda 5 (192,4 ha, marzo 2007)). Se observa, además, desde 2016 a 2024 una tendencia a la baja de la extensión de la superficie lagunar (tanto en invierno como en verano), llegando en diciembre de 2023 al valor mínimo de todo el registro de alta resolución (112,9 ha).

Figura 6-182 Variación semestral de la superficie lagunar del sistema Soncor (imágenes alta resolución)



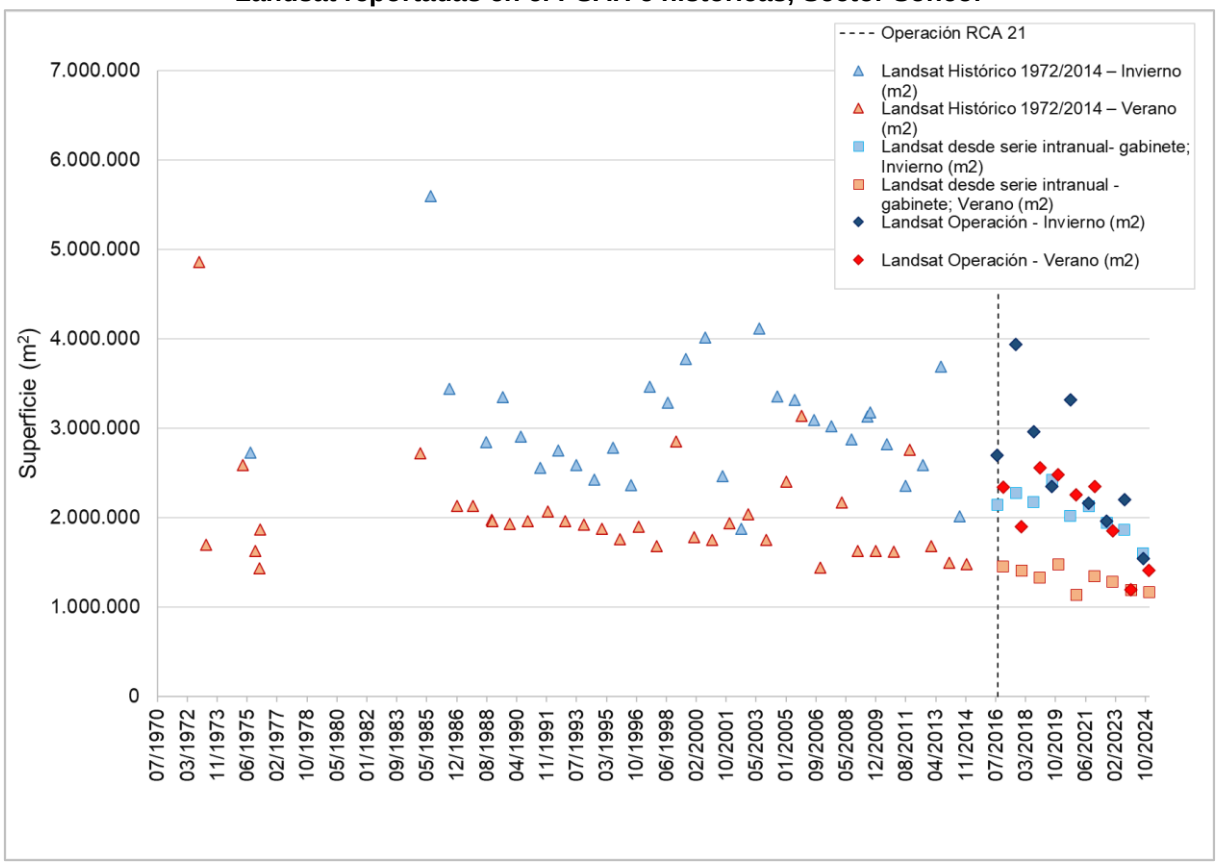
Fuente: Elaboración propia

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 6-183 los registros históricos de media resolución de la serie "Landsat Histórico 1972/2014" (*provenientes del Anexo 1 de la Adenda 5*), junto con la serie "Landsat 2016/2024", que corresponde a los valores de superficie semestral (verano e invierno). Todo el detalle de estas series se encuentra en Anexo C de este Informe.

De la serie *"Landsat Histórico 1972/2014"* (Figura 6-183)**,** 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 2016/2024"***,** se observa que la superficie lagunar de invierno se ha reducido de manera paulatina desde el año 2005, hasta 2024. En relación con las mismas dos series, pero de la condición de verano, se puede observar en general una tendencia histórica al descenso, que comenzó en el verano del año 1987 aproximadamente y que se mantiene en la misma línea de tendencia a diciembre 2024. Cabe destacar que estos registros coinciden con años sin precipitaciones de gran magnitud (Ver Figura 6-182).

Al considerar tanto las series de invierno y verano de las series *"Landsat Histórico 1972/2014"* y *"Landsat 2016/2024"*, es posible evidenciar la existencia de estacionalidad en la extensión superficial del sistema lagunar en Soncor, representando los registros de verano cerca de un 60% de los valores de invierno (Anexo C).

Figura 6-183 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)

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 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.

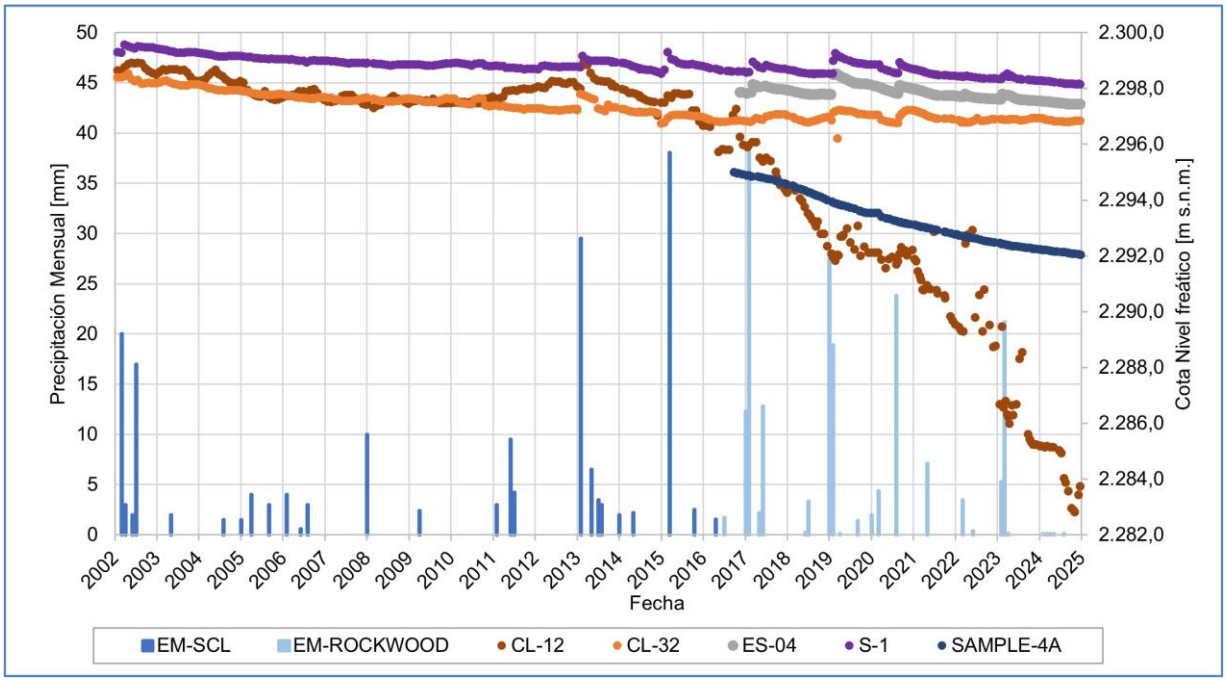
En cuanto al monitoreo de la **posición de interfase salina**, se hace la observación de que en el Sector de Soncor Albemarle no tiene el compromiso de monitorearla. El punto más cercano en el que se monitorea esta variable es el MP-12C, en el borde Este del Salar.

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 6-184 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 de la zona de producción ni oeste, debido a que los niveles son más profundos.

Figura 6-184 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo



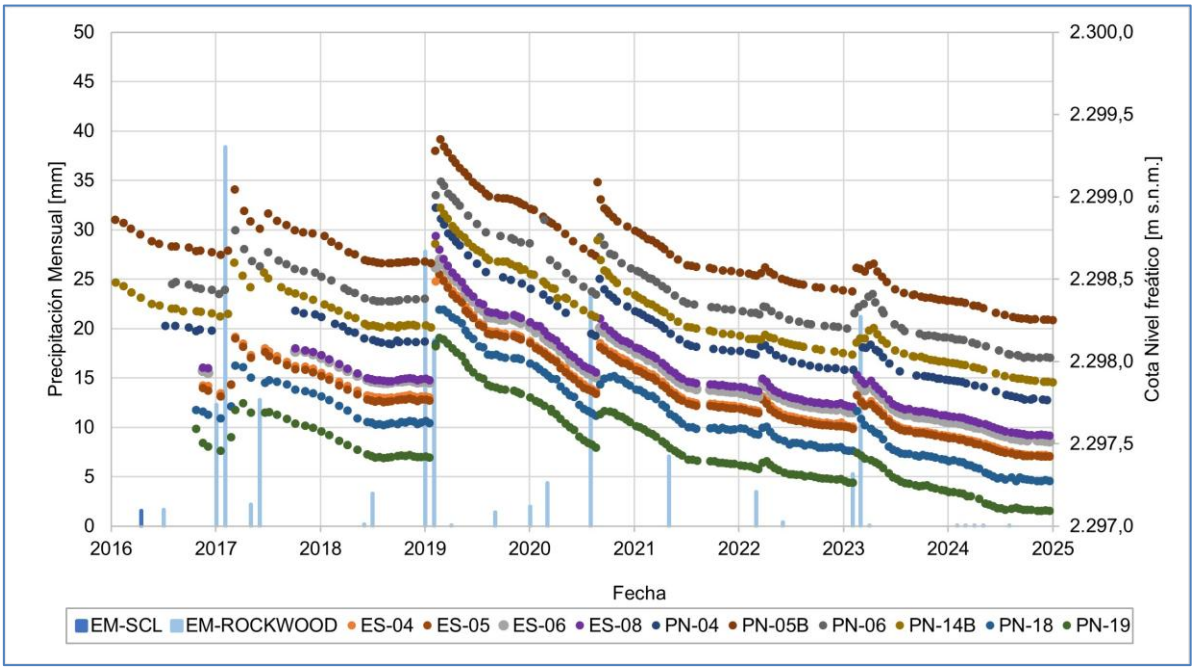
Fuente: Elaboración propia

En el año 2024 se observa (Figura 6-184) 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 una estabilización los últimos dos años.

En cambio, los piezómetros CL-12 (zona de producción) y Sample-4A (Núcleo Oeste) mantienen su tendencia de descenso hasta fines de 2024, 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).

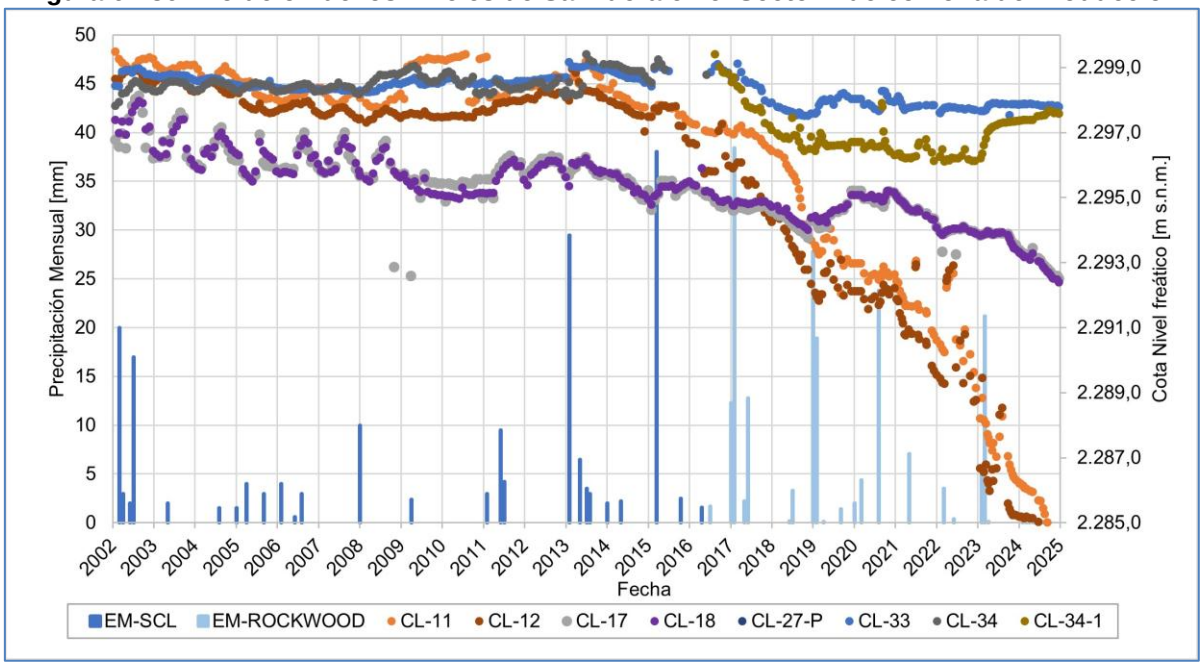
El rol de recarga directa de las precipitaciones se observa claramente en el sector norte y este del Núcleo (Figura 6-185), todos los pozos presentan un comportamiento similar y sincrónico, con aumentos de nivel asociados a eventos intensos de precipitaciones. Por otra parte, los pozos de la zona de producción no 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 6-186).

Figura 6-185 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Norte y Este



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-186 Evolución de los niveles de Salmuera en el Sector Núcleo Zona de Producción



Fuente: Elaboración propia

6.3 Compromisos y Reportabilidad con la Autoridad durante 2024

El Informe del Plan de Seguimiento Ambiental (PSAH) da cumplimiento a lo establecido en: el Considerando Nº 7 de la RCA Nº21/2016 en lo relacionado con la componente hídrica (agua); al Considerando Nº 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 Nº10 de condiciones o exigencias específicas de la RCA Nº21/2016. Relacionado con lo anterior, y con las variables del PSAH, se adjunta toda la información de respaldo de las entregas a la SMA durante el año 2024 (ver Anexo M) 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 2024 (ver Anexo M):

- Con fecha de 31 de enero de 2024 se hace entrega del “Reporte Semestral de Verano de Superficie Lagunar, Diciembre 2023”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-009 (Comprobante SMA N°1041988).
- Con fecha de 28 de marzo 2024 se hace entrega del “Cuarto Reporte Trimestral 2023”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-019 (Comprobante SMA N°1045607).
- Con fecha de 28 de marzo 2024, Comprobante SMA N°1045612, se hace entrega del “Informe Anual N°8 del Plan de Seguimiento Ambiental de las variables hídricas”. En carta se indica que la entrega es parcial, sin embargo, el día 28 de marzo se entrega la totalidad de la información asociada al informe anual del PSAH, cumpliendo así con el compromiso.
- Con fecha de 27 de junio 2024 se hace entrega del “Primer Reporte Trimestral del año 2024”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-044, Comprobante SMA N°1050936.

- Con fecha de 30 de septiembre 2024 se hace entrega del “Segundo Reporte Trimestral del año 2024”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-056, Comprobante SMA N°1056465.

- Con fecha de 8 de octubre 2024 se hace entrega del “Reporte Semestral de Invierno de Superficie Lagunar realizado en el mes de agosto 2024”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-059, Comprobante SMA N°1056989.

- Con fecha de 31 de diciembre 2024 se hace entrega del “Tercer Reporte Trimestral del año 2024”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-078. Comprobante SMA N°1062206

- Con fecha de 18 de marzo 2025 se hace entrega del “Cuarto Reporte Trimestral del año 2024”, esto queda registrado en la carta ALB-GMA-2025-SMA-025. Comprobante SMA N°1062206

6.3.2 En relación con la conexión en línea y reporte electrónico para el monitoreo del componente hídrico, la Res. Ex. SMA Nº 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 Nº21/2016.

A la fecha de entrega de este informe, en febrero de 2025 se recibió por parte de la SMA, el ORD N°437, donde se remite el pronunciamiento técnico sobre modificación de seguimiento

ambiental, e indica: *"la propuesta no alteraría el objeto fijado en la evaluación ambiental, ni tampoco constituiría una desviación del seguimiento ambiental establecido en la RCA del proyecto".* Además, recomienda determinar la porosidad efectiva que interviene en el cálculo de la evaporación a partir de los lisímetros de carga variable con la mayor certidumbre posible.

Finalmente, la SMA indica que: *"este oficio no constituye un pronunciamiento que autorice la modificación de las obligaciones de seguimiento ambiental establecidas en la RCA N°21/2016, sino que, únicamente, constituye un pronunciamiento técnico en cuanto a si la modificación propuesta permite o no cumplir con el objetivo fijado en la evaluación ambiental"*

De acuerdo con lo anterior, Albemarle se encuentra trabajando en el desarrollo de abordar lo indicado por la autoridad.

6.3.4 En relación con Modelo Hidrogeológico, Considerando 10.7 de RCA Nº21/2016

- Con fecha de 13 de noviembre de 2024, la SMA, a través de la Resolución Exenta N°2146, informa sobre el pronunciamiento de la DGA con relación a la "Tercera Actualización del Modelo de Flujo de Agua Subterránea en el Salar de Atacama RCA 21/2016" (ALB-VAIGS, 2023), notificando que esta actualización se encuentra validada mediante misma resolución y el Oficio DGA Ord. N° 52/2024 (Anexo M).

6.3.5 En relación con la cota topográfica de referencia, considerando 10.10 de la RCA Nº21/2016.

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"*

- Dado que el titular Albemarle, da cumplimiento con lo establecido referente a las cotas topográficas de referencia, con fecha de 31 de julio del año 2023 lo que se notifica a la autoridad a través de la carta ALB-GMA-2023-SMA-041 (Anexo M, no existe compromiso para el año 2024 en relación a esto.

6.3.6 En relación con las activaciones de los PAT

A continuación, se presentan las medidas de activación asociadas al PAT, que conllevan a entregas de informes, datos y reportabilidad.

6.3.6.1 Medidas activadas asociadas al PAT

Respecto a las activaciones del PAT ocurridas durante el 2024 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.

6.3.6.1.1 PAT Alerta Norte

Respecto a las medidas relacionadas con la activación del PAT Alerta Norte en Fases I y II, durante 2024 se ejecutó lo siguiente:

En Fase I (Fase activada desde 2021 en carta ALB-GMA-2021-SMA-002, a la fecha, ver Anexo M)

- Se siguen entregando en forma mensual los reportes de monitoreo tomados en el mes anterior, lo que se viene realizando desde el año 2021, esta información es reportada a la SMA en su plataforma de reporte.

- Con fecha 22 de noviembre 2024, se informa mediante la carta ALB-GMA-2024-066 (Anexo M) que la última medición observada en plataforma www.sqmenlinea.com se encuentra bajo el umbral de Fase I en el punto L4-12. No obstante, es importante mencionar que Albemarle ya se encontraba activado en Fase II en dicho sector y que, por tanto, no corresponde tomar medidas adicionales a las que ya se están ejecutando para cumplir con los compromisos actuales del Plan de Alerta Temprana.

- Con fecha 02 de enero de 2024 mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-002, se informa la medición bajo el umbral de Fase I en el punto L4-12, dado que este punto forma parte del Plan de Alerta Temprana del sector de Alerta Norte para Albemarle (Anexo M). No obstante, es importante mencionar que Albemarle ya se encontraba activado en Fase II en dicho sector y que, por tanto, no corresponde tomar medidas adicionales a las que ya se están ejecutando para cumplir con los compromisos actuales del Plan de Alerta Temprana.

- Se entregan los reportes en forma mensual asociados a la activación del PAT en el sector de Alerta Norte, debido a la superación del umbral de Fase I registrada el 6 de enero 2021. Dado que el PAT continúa activo, se presenta el registro de la entrega de este reporte en sus versiones N°37 (carta ALB-GMA-2024-SMA-014), N°38 (carta ALB-GMA-2024-SMA-020), N°39 (carta ALB-GMA-2024-SMA-027), N°40 (carta ALB-GMA-2024-SMA-034), N°41 (carta ALB-GMA-2024-SMA-041), N°42 (carta ALB-GMA-2024-SMA-048), N°43 (carta ALB-GMA-2024-SMA-052), N°44 (carta ALB-GMA-2024-SMA-

057), N°45 (carta ALB-GMA-2024-SMA-060), N°46 (carta ALB-GMA-2024-SMA-068), N°47 (carta ALB-GMA-2024-SMA-076), N°48 (carta ALB-GMA-2025-SMA-010) correspondientes al reporte mensual de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre 2024 respectivamente. Ver reportes en Anexo M

En Fase II (Fase activada desde 2021, carta ALB-GMA-2021-SMA-038)

Se siguen entregando en forma mensual los reportes de monitoreo tomados en el mes anterior, lo que se viene realizando desde el año 2021, esta información es reportada a la SMA en su plataforma de reporte.

- Se entregan los reportes mensuales asociados a la activación del PAT en el sector de Alerta Norte, debido a la superación del umbral de Fase II registrada el 28 de junio 2021. Dado que el PAT continúa activo, se presenta el registro de la entrega de este reporte en sus versiones N°31 (carta ALB-GMA-2024-SMA-014), N°32 (carta ALB-GMA-2024-SMA-020), N°33 (carta ALB-GMA-2024-SMA-027), N°34 (carta ALB-GMA-2024-SMA-034), N°35 (carta ALB-GMA-2024-SMA-041), N°36 (carta ALB-GMA-2024-SMA-048), N°37 (carta ALB-GMA-2024-SMA-052), N°38 (carta ALB-GMA-2024-SMA-057), N°39 (carta ALB-GMA-2024-SMA-060), N°40 (carta ALB-GMA-2024-SMA-068), N°41 (carta ALB-GMA-2024-SMA-076), N°42 (carta ALB-GMA-2025-SMA-010) correspondientes al reporte mensual de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre 2024 respectivamente. Ver reportes en Anexo M.

- En junio de 2024 según lo informado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-045 se hace entrega de los resultados del Tercer Informe de la Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de Salmuera. Además, a través de carta ALB-GMA-2024-046 se hace entrega de su complemento, cumpliendo así con el compromiso establecido en el Anexo 3 de la Adenda 5 del Proyecto aprobado por la RCA 021/2016.
- Con fecha de 15 de febrero 2024, mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-012 (Anexo M), se informa superación de umbral de Fase II en el punto PAT L4-12. No obstante, Albemarle ya se encontraba activado en Fase II en dicho sector y, por tanto, no corresponde tomar medidas adicionales a las que ya se están ejecutando para cumplir con los compromisos actuales del Plan de Alerta Temprana.

- Con fecha de 06 de diciembre de 2024 mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-071 (Anexo M, se informa (nuevamente) la superación de umbral de Fase II en punto PAT

L4-12. No obstante, es importante mencionar que Albemarle ya se encontraba activado en Fase II en dicho sector y que, por tanto, no corresponde tomar medidas adicionales a las que ya se están ejecutando para cumplir con los compromisos actuales del Plan de Alerta Temprana.

- Para el año 2024 se mantuvo activa la Fase II del PAT sector Alerta Norte durante los 12 meses del año operacional 2024, lo que se traduce en una reducción en la extracción de salmuera, de 12,76 l/s por ende, el límite de la extracción para el año operacional 2024 (octubre 2023 – septiembre 2024) correspondería a 429,24 l/s (ver 6.1.9.1.1).

6.3.6.1.2 PAT Alerta Núcleo

Respecto a las medidas relacionadas con la activación del PAT Alerta Núcleo en Fases I y II, durante 2024 se ejecutó lo siguiente:

En fase I (activado por el punto PN-08A) desde 29 de septiembre 2023 en la carta ALB-GMA-2023-SMA-051)

En relación con las medidas consideradas en el PAT en activación del sector Alerta Núcleo Fase I durante el año 2024 se realizó lo siguiente:

- Se entregan los reportes en forma mensual asociados a la activación del PAT en el sector de Alerta Núcleo. Dado que el PAT continúa activo, se presenta el registro de la entrega de los informes de monitoreo: N°4 (carta ALB-GMA-2024-SMA-015), N°5 (carta ALB-GMA-2024-SMA-021), N°6 (carta ALB-GMA-2024-SMA-028), N°7 (carta ALB-GMA-2024-SMA-035), N°8 (carta ALB-GMA-2024-SMA-042), N°9 (carta ALB-GMA-2024-SMA-049), N°10 (carta ALB-GMA-2024-SMA-053), N°11 (carta ALB-GMA-2024-SMA-058), N°12 (carta ALB-GMA-2024-SMA-061), N°13 (carta ALB-GMA-2024-SMA-069), N°14 (carta ALB-GMA-2024-SMA-077), N°15 (carta ALB-GMA-2025-SMA-011) correspondientes al reporte mensual de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2024, respectivamente. Ver cartas en Anexo M.

En Fase II (activado por el punto PN-08A) desde el 15 de julio 2024, en la carta ALB-GMA-2024-SMA-048)

- Se informa a la autoridad que el día 15 de julio mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-048 (Anexo M), se registró la tercera medida bajo el umbral de Fase II, **en el punto PAT PN-08A** sector Alerta Núcleo, por lo que se activan medidas preventivas comprometidas en dicho PAT.

- Dado la activación del PAT en activación del sector Alerta Núcleo Fase II, se aumenta la frecuencia de monitoreo por 3 meses desde agosto a octubre de 2024.

- Para dar cumplimiento con las medidas comprometidas en el Plan de Alerta Temprana sector Núcleo, asociadas a la fase II, se entrega el Informe de monitoreo: N°01 (carta ALB-GMA-2024-SMA-058), N°02 (carta ALB-GMA-2024-SMA-061), N°03 (carta ALB-GMA-2024-SMA-069), N°04 (carta ALB-GMA-2024-SMA-077), N°05 (carta ALB-GMA-2025-SMA-011) correspondientes al reporte mensual de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2024, respectivamente. Ver reportes en Anexo M.

- En relación con la reducción de caudal bombeado, se tiene que la reducción corresponde a 60 l/s, no obstante, por estar activa la Fase II en sector Alerta Núcleo, desde el 22 de julio 2024 y permanece activo hasta el 30 de septiembre del año operacional 2024, el caudal límite del año operacional y considerando la activación del PAT Norte durante todo el año operacional, este corresponde a un promedio de 417,60 l/s (ver 6.1.9.1.1).

6.3.6.1.3 PAT Alerta Acuífero

Respecto a las medidas consideradas en el PAT de activación sector Alerta Acuífero Fase Única, durante el año 2024 se ejecutó lo siguiente:

- Albemarle toma acciones preventivas desde el 01 de diciembre 2023 por el punto BA-07 (informado en carta ALB-GMA-2023-SMA-066), aumentando la frecuencia de monitoreo según los compromisos de activación, y otras medidas estipuladas en el Anexo 3 de la Adenda 5 de la RCA 21/2016. En este contexto se entrega a la autoridad los informes de monitoreo activación PAT sector Alerta Acuífero: N°1 (carta ALB-GMA-2024-SMA-010), N°2 (carta ALB-GMA-2024-SMA-016), N°3 (carta ALB-GMA-2024-SMA-022), N°4 (carta ALB-GMA-2024-SMA-029), aumento de frecuencia en relación a este PAT, comenzó en diciembre 2023 y finalizó en febrero 2024.. En este contexto se entrega a la autoridad los informes de monitoreo activación PAT sector Alerta Acuífero: N°1 (carta ALB-GMA-2024-SMA-010), N°2 (carta ALB-GMA-2024-SMA-016), N°3

(carta ALB-GMA-2024-SMA-022), N°4 (carta ALB-GMA-2024-SMA-029), El aumento de frecuencia en relación a este PAT, comenzó en diciembre 2023 y finalizó en febrero 2024.

- Por otro lado, dentro de los compromisos ambientales se encuentra el de seguir reportando en forma mensual a la autoridad ambiental mientras el PAT se encuentra activado, por esto, se entregan a la autoridad los informes de monitoreo de activación PAT sector Alerta Acuífero: N°5 (carta ALB-GMA-2024-SMA-036), N°6 (carta 2024 06 26 ALB-GMA-2024-SMA-043), N°7 (carta ALB-GMA-2024-SMA-050), N°8 (carta ALB-GMA-2024-SMA-054) (las cartas se encuentran en Anexo M), correspondientes al reporte mensual de abril, mayo, junio y julio 2024, respectivamente.

- Con fecha 06 de diciembre 2024, se informó a la autoridad mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-070 (en Anexo M), que se registró la tercera medida puntual con fecha de 29 de noviembre 2024, bajo el umbral en el punto PAT BA-07 del sector Alerta Acuífero. Albemarle toma acciones preventivas, aumentando la frecuencia de monitoreo según los compromisos de activación, y otras medidas estipuladas en el Anexo 3 de la Adenda 5 de la RCA 21/2016. En este contexto, se entrega a la autoridad el Informe de monitoreo activación PAT sector Alerta Acuífero: N°1 (carta ALB-GMA-2025-SMA-012), correspondientes al reporte mensual de diciembre 2024 y N°2, a través de ALB-GMA-2025-SMA-021 (enero 2025). Mientras no se desactive el PAT, la información se entrega en forma mensual a la autoridad.

- También, producto de lo anterior, en cuanto al límite de extracción de salmuera durante el año operacional 2024 los meses de diciembre 2023 y enero a agosto 2024, se aplicó la restricción del bombeo, para dichos meses con límite de 382 l/s; y el de agua dulce-salobre a 10,9 l/s en forma mensual en puntos Tucúcaro + Tilopozo según lo indicado en el Anexo 3 de la Adenda 5, más detalles en sección 6.1.9.

6.3.6.2 Entrega informe Investigación de causas

- Con fecha de 29 de mayo de 2024, 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 (PAT), en el sector de alerta Acuífero”., a través de la carta ALB-GMA-2024-SMA-033 (en Anexo M y entregado a la SMA comprobante N°1049249.

6.3.6.3 Entrega informe Efectividad de la medida

- Con fecha de 28 de junio de 2024, según lo informado en la carta ALB-GMA-2024-SMA-045 (Anexo M), se hace entrega del informe “Tercer Informe de la Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de Salmuera”. (Comprobante SMA N°1050981).

- Con fecha de 25 de julio 2024 y se hace entrega del complemento del “Tercer Informe de la Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de Salmuera”, mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-046 (en Anexo M). , cumpliendo así, con el compromiso establecido en el Anexo 3 de la Adenda 5 del Proyecto aprobado por la RCA 021/2016 (SMA comprobante N°1052473).

6.3.6.4 Entrega informe Verificación Efecto Sinérgico.

- Con fecha 28 de marzo de 2024 mediante la carta ALB-GMA-2024-SMA-024 (Anexo M, se hace entrega del "Informe de resultados de la herramienta de verificación del efecto sinérgico" en el marco de la activación de la de Fase I. del PAT sector Alerta Núcleo. (Comprobante SMA N°1045606).

- A la fecha de entrega de este informe, se hace entrega del “Informe de resultados de la herramienta de efecto sinérgico” (por la Fase II) a modo de analizar el impacto acumulativo de todas las variables asociadas a las actividades de Albemarle, el cual es entregado a la autoridad el día 22 enero de 2025, mediante carta ALB-GMA-2025-SMA-006 (Comprobante SMA N°1063651)

7 CONCLUSIONES

El presente informe 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 Nº 7, 10.18 y 10.19 de la RCA Nº21/2016, 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 del presente informe, que es presentar los resultados de muestreo, medición, análisis y/o control de los parámetros, de forma gráfica y numérica y a partir de aquello analizar la evolución y comportamiento del sistema, observando la data histórica con énfasis en los datos del año 2024 (enero-diciembre). Por último, tal como detalla la Res. Ex. N°223/2015, la cual indica "*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*". Dado lo anterior, a continuación, se concluye respecto a ello, comenzando por las generales o aquellas variables transversales y luego por Sector.

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 en 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 precitaciones con un promedio anual de 142,7 mm/año (periodo 2000-2024), 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 tan sólo 10,7 mm/año (periodo 2000-2024).

En la estación Rockwood, los registros del año 2024 muestran las menores precipitaciones (0,5 mm/año), desde el año 2013. Además, las tres estaciones: Rockwood, Chaxa y KCL, continúan mostrando una tendencia al descenso desde el año 2017. La estación meteorológica EM-Rockwood para el año 2024, en relación con las probabilidades de excedencia, se clasifica como un año normal cercano a seco (Probabilidad de excedencia 83,3%).

Respecto a las temperaturas, las máximas se registran principalmente en las estaciones de primavera y verano (octubre a marzo), y las temperaturas mínimas se registran en otoño e invierno (abril a septiembre). Los registros de presión atmosférica muestran variaciones de

origen estacional, registrándose los valores máximos en las estaciones frías (abril a septiembre) y los valores mínimos en las estaciones cálidas (octubre a 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.

Los resultados de las tasas de EVT, muestran valores máximos en estaciones más cálidas y valores mínimos para las estaciones más frías. Estos parámetros mencionados no tienen límites comprometidos.

Respecto a las superficies lagunares, y tal como se ha explicado en la sección 6.1.3, los análisis no pueden ser utilizados para definir un valor de superficie mínima histórica ya que no tienen representatividad estadística adecuada. No obstante, se mencionan las comparaciones de las superficies lagunares para el periodo histórico y mínimas de referencia que estuvieron disponibles para la Adenda 5 del proyecto para las imágenes de alta resolución (AR) y se complementa con comparaciones para las imágenes de mediana resolución (MR) (mayor detalle en sección 6.1.3).

Al analizar las imágenes de media resolución (Landsat históricas) de las superficies cubiertas por lagunas en invierno (Sección 6.2), se evidencia un descenso histórico previo al inicio del proyecto en año 2016 (RCA21/2016). Al considerar las imágenes tanto de alta resolución (Pleiades) como de mediana resolución (Landsat) se observa una variabilidad entre los años 2016 hasta agosto 2020. Respecto de los sectores de la Punta La Brava y Peine (Sección 6.2), se tiene que las precipitaciones de enero y febrero 2019 marcan un hito importante provocando aumentos considerables en las superficies lagunares de invierno (2018-2019) de los sistemas, con el posterior descenso en las superficies, volviendo a su tendencia anterior luego de los años 2020-2021, mostrando un invierno 2023 con superficies mínimas dentro del registro.

En el caso de los veranos (Landsat históricas), se observa una tendencia histórica relativamente más estable, pero también con leve descenso en Peine y Soncor (1985-2020). De las imágenes de Alta Resolución y Landsat (2016-2024), se observa que en el año 2023 se muestra el menor valor de los registros de superficies de verano en Peine y Soncor, sin embargo, mostrando en el 2024 una leve recuperación o similitud en relación con el verano del año anterior. Al observar la evolución de los 4 sistemas lagunares a través de las superficies Landsat, es posible concluir la dinámica estacional que poseen, con máximos en invierno y mínimas superficies en verano, mostrando los últimos 4 años dentro de un periodo de pseudoestabilización o equilibrio, excepto Aguas de Quelana que presenta un valor mínimo en diciembre 2024.

Sector La Punta – La Brava

Para el sector de La Punta - La Brava, las estimaciones de la superficie calculada en este sistema revela patrones cíclicos entre invierno y verano. En los registros de invierno entre 2016 e invierno de 2024, se evidencia una variación, pero dentro de cierta estabilidad hasta el invierno 2020. Se observa una ligera estabilización durante los tres inviernos siguientes (AR), observándose 2024 menor a los años previos.

Para la condición de verano en el período 2016 a 2024, se tiene que entre los veranos de 2016 y 2019, se observa cierta estabilidad, sin embargo, desde el verano de 2020 hasta la fecha se observa una superficie menor, con registros menores en comparación con los veranos de 2016 a 2019. El registro del verano 2024 se mantiene similar a lo que se viene observando desde el año 2020 (Landsat). El seguimiento de verano de 2019 (diciembre) exhibe la máxima cobertura lagunar (Landsat y AR) registrada hasta la fecha para esa temporada. La diferencia marcada entre 2019 y 2021 se puede atribuir al aumento de precipitaciones en enero y febrero de 2019, agosto de 2020 y mayo de 2021 expandiendo los límites naturales de lagunas y canales con el respectivo descenso posterior. Se observa estabilización en los últimos veranos entre 2020-2024.

Para todo el periodo desde 1972 a 2024, en las imágenes Landsat (MR), se observa la variabilidad estacional regulada por la evaporación, y los efectos puntuales de la precipitación, lo que tienen un rol secundario con aumentos localizados, que se traduce tanto en una variabilidad intranual como interanual.

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 en la zona de vegas de Tilopozo (LM-16), muestra una tendencia a mantener los niveles relativamente estables durante todo el periodo del seguimiento (2016 a 2024). Por otra parte, los puntos de Laguna La Punta (LM-01 y LM-02), y Laguna La Brava (LM-03 y LM-04), muestran tendencia general al descenso de los niveles limnimétricos para todo el periodo (2016-2024). A partir del año 2022 es posible observar que la tasa de descenso, tanto de los inviernos como de los de veranos se hace más pequeña, mostrando una leve estabilidad en los máximos y mínimos en la laguna La Brava.

Respecto a los niveles freáticos en el sector La Punta-La Brava, en términos generales, se observa oscilación estacional, con mayores descensos y amplitudes en el norte de las lagunas, y menores descensos de nivel y amplitudes en el sur de las lagunas. En el año 2024, los niveles freáticos tanto de la zona norte como del este, centro y sur no mostraron aumentos

abruptos lo que es consistente con las escasas precipitaciones (EM-Rockwood de 0,5 mm y 8,4 mm en PLLS-10). En relación con las precipitaciones históricas, el sector norte de las lagunas LP-LB se ha mostrado más sensible a los eventos de precipitación importantes, comparados con los puntos del sur de estas. Se observa desde 2022-2024 niveles más estables que años previos, en la mayor parte de los puntos, con excepción de los puntos ubicados al norte de las lagunas. De los puntos de monitoreo del subsector Tucúcaro, se observa en el período analizado (2013-2024) variaciones en el tiempo y tendencia de mediano plazo estables. La excepción es el punto MP-06B que muestra un comportamiento irregular hasta mediados del 2017, y luego muestra un ascenso y posterior comportamiento estable hasta la fecha. En el subsector de Las Vegas de Tilopozo, alrededor de las vegas se observan puntos con tendencia general al descenso, y en el punto Tilopozo esta tendencia es muy leve con variaciones y tendencia ascendente.

La composición química del agua y salmuera se mantiene dentro de la variabilidad histórica. Las aguas superficiales (lagunas) son básicas, las aguas dulce – salobres son neutras a básicas y las salmueras son acidas. En cuanto a las conductividades eléctricas, las salmueras presentan los valores más altos, seguidas por las aguas lagunares, lo que se debe a los procesos de evaporación, y finalmente están las aguas salobres y de vertiente. De acuerdo con su clasificación, las aguas se mantienen siendo cloruradas-sódicas.

Por otro lado,, la interfase salina se mantiene estable durante el año 2024, en línea con lo observado históricamente en los puntos de medición, exceptuando el punto MP-01C que ha presentado una leve profundización del nivel de salmuera, sin embargo, se muestra prácticamente estable desde 2022

En relación con 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 calendario 2024 fue de 7,68 l/s, respetando el caudal máximo para extracción conjunta de 16,9 l/s y 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 el sector Peine, en relación con la superficie lagunar calculada mediante imágenes satelitales de alta resolución y media resolución, entre las principales diferencias de registros de invierno, se tiene que se observan mayores superficies de invierno en 2016 y 2017 respecto del 2018. En el invierno de 2019, se registra un aumento (AR y Landsat), el que se infiere fue debido a las precipitaciones de ese año. A partir de 2020, se observa a través de las superficies

de Alta Resolución, una disminución en las superficies de invierno, que continuó hasta 2021. Aunque se presenta una recuperación en el invierno de 2022, en 2023 se experimenta una nueva disminución, manteniéndose similar en 2024.

Para los veranos entre 2021 a 2024, 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 en las áreas de laguna Interna y Saladita, desde el verano de 2021, debido a variaciones en la inundación, y también en los canales de conexión de Salada y Saladita, situación que se mantiene similar hasta el año 2024. La superficie de verano completa del sector, al igual que para el sector de La Punta-La Brava, se observa una estabilización en los últimos veranos entre 2020-2024.

En relación a la evolución histórica de lagunas en este sector (1985-2024), las superficies lagunares de media resolución dan cuenta de un 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 el sector Peine los niveles históricos limnimétricos de la Laguna Salada y Laguna Saladita y Laguna Interna muestran tendencias de ascensos y descensos leves, los que responden a variaciones estacionales. La ausencia de datos, impide analizar la evolución completa, pero para la zona media de lagunas, donde se cuenta con mayor cantidad de datos (6 meses) se puede indicar que mantienen los niveles dentro de los rangos de oscilación natural y desde el año 2022, se observa en general un ascenso de nivel en todos los puntos.

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. Desde Laguna Salada y Saladita, la variación de niveles freáticos se presenta en general estable en el tiempo con descensos menores en algunos de los puntos, y aumentos de nivel al Inicio de Laguna Salada y al este de la misma. Hacia la zona de Laguna interna y su desborde, se presenta una tendencia general al descenso en los puntos más cercanos al núcleo. En general, los datos de caudales superficiales de las campañas de monitoreo del año 2024 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. En cuanto a la evolución histórica, se puede señalar que los caudales aforados, muestran un comportamiento variable

entre los años 2014 y 2024, sin una tendencia al descenso, con valores máximos aforados durante el año 2023.

La composición química del agua y de la salmuera se mantiene dentro de la variabilidad histórica. Las aguas superficiales (lagunares) son básicas, las aguas dulce – salobres son neutras y las salmueras son ácidas. En cuanto a las conductividades eléctricas, las salmueras presentan los valores más altos, mientras que las aguas dulce – salobres y superficiales (exceptuando el punto LM-17, debido a su ubicación en el avance de la Laguna Interna) muestran rangos similares de conductividad eléctrica, siendo ligeramente más elevados los valores en las lagunas. De acuerdo con su clasificación, las aguas se mantienen en el tipo cloruradas sódicas, salvo las de Vertiente Peine, donde la clasificación es clorurada sódico-cálcica.

Por otro lado, la interfase salina se mantiene estable durante el año 2024, en concordancia con lo observado históricamente en 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 calendario 2024 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 estimadas desde imágenes de alta resolución (AR invierno y AR verano) en el sector Aguas de Quelana, para el año 2024 se observa un aumento en la cobertura de invierno en relación con los años anteriores entre 2019 a 2023, sin embargo, en verano 2024 se observan las menores superficies históricas tanto para las imágenes obtenidas por alta y media resolución.

Entre las principales diferencias entre registros de invierno y verano, se observa la disminución de los pequeños cuerpos de agua que se reparten en faja central del sector Aguas de Quelana, que muestran una reducción en su extensión y número, y que están asociadas principalmente con vegetación ribereña. Además, se evidencia una contracción de zonas de inundación que surgen de la interconexión de estos pequeños cuerpos 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 AR se comportan según la estacionalidad esperada para todo el período, observando una reducción de la extensión de superficie de invierno y verano durante los últimos años (2016-2024). Las superficies desde diciembre del año 2021 hasta diciembre del año 2023 son menores en relación con el periodo previo, sin embargo, el verano 2024 muestra una leve recuperación en relación con el verano del año anterior 2023

En relación con la evolución de las superficies, serie Landsat 1972-2024, es posible observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente en invierno, y las menores extensiones se observan en verano. En el periodo de seguimiento, para la serie Landsat, al igual que para las imágenes satelitales de AR, se observa una leve reducción de la extensión de superficie de invierno y verano. 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 y de plazo inmediato.

En el sector Norte y Borde Este, durante el año 2024, para el Sistema Soncor al igual que para el sector de Peine, no se cuenta con todas las mediciones limnimétricas, principalmente, por restricción de acceso. En relación con el nivel freático se tiene que en el sistema Soncor responde a las precipitaciones (similar a lo observado en los puntos de la zona Laguna Interna del sector Peine), y muestra una tendencia histórica del nivel al descenso (BA-31).

En el sector Norte y Borde Este, la composición química del agua y de la salmuera se mantiene dentro de la variabilidad histórica. Todas las aguas de este sector son ligeramente básicas. En cuanto a las conductividades eléctricas, las aguas lagunares presentan una gran amplitud en su oscilación estacional, alcanzando valores elevados durante el verano. Por otro lado, los puntos de agua subterránea muestran diferencias significativas: el punto BA-31 tiene conductividades eléctricas típicas de salmuera, mientras que el MP-12A presenta las conductividades más bajas del sector. A su vez, la interfase salina se mantiene estable durante el año 2024, en línea con lo observado históricamente en los puntos de medición.

Sector Núcleo

Los niveles en el núcleo presentan en general una tendencia al descenso, consistente con la evolución proyectada para el proyecto. Respecto los limites comprometidos (ver sección

6.1.6.5), se tiene que los puntos del PAT (PN-05B, PN-08A[43], PN-14B y PN-16B[1]) siguen la tendencia de lo modelado en relación con la tercera actualización (ALBEMARLE-VAI, 2023), y presentado para el año 2024 valores sobre el escenarios de caso base con Proyecto (Esc1-CP) y escenario de recarga reducida (Esc2-CP).

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 0,1 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 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 2024 ocurren precipitaciones menores, coincidentes a que los niveles no muestran “saltos” de nivel en este año.

El volumen de extracción de salmuera total sumados de las áreas A1 y A2 para el año operacional 2023-2024 fue de 13.004.415 m^3, lo que equivale a un caudal medio anual de 411,24 l/s, que cumple con el caudal medio anual establecido en la evaluación ambiental de 442 l/s y cumple también con el límite anual actualizado para el año operacional 2023-2024,

[43] El punto PN-08 A y PN-16 B presentan un incidente que se detalla en la sección 4.4.2

de 417,60 l/s, derivado de la activación simultánea del PAT Fase II de Alerta Norte (todo el año 2024) y PAT Fase II Alerta Núcleo (Res SEA 202499101370 de mayo de 2024).

Por otra parte, debido a las medidas preventivas adoptadas por Albemarle en el marco de la activación del sector de Alerta Acuífero, entre diciembre 2023 hasta agosto 2024, cumplió con extraer un caudal medio mensual de bombeo máximo de 382 l/s, límite autorizado para este sector, debido a la activación del PAT por el punto BA-07.

En cuanto al Plan de Alerta Temprana, en relación con el objetivo (Res. Ex. N°223/2015) de: "*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.*", 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 Nº 10.18 de la RCA Nº21/2016, 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 2024, en el sector de Alerta Norte, se mantuvo activado en Fase II durante todo el año 2024, debido a la activación de esta fase por el punto L1-5 en junio del 2021. Por otra parte, el sector de Alerta Núcleo se activa en Fase I desde septiembre 2023 en el punto PN-08A, para luego en el mes de julio de 2024, activarse en Fase II, en el mismo punto, lo que se mantiene a lo largo de todo el año 2024. Y finalmente, en el sector de Alerta Acuífero, en enero 2024 se activó el PAT en su Fase Única debido a la superación del umbral del pozo BA-07, no obstante, Albemarle ya se había activado de forma preventiva en diciembre del 2023 misma situación ocurre en diciembre de 2024.

En relación con las medidas preventivas comprometidas y adoptadas por Albemarle durante el año 2024, y de acuerdo a las activaciones de los PAT, se tiene que por la activación del sector de Alerta Norte, se hace entrega mensual a la autoridad de los datos de monitoreo en formato digital, desde 2021 hasta la fecha, y como compromiso anual, en junio y julio 2024 se realiza la entrega del Tercer "Informe de Evaluación Técnica de la Efectividad de la Medida de Reducción de la Extracción de salmuera", y su complemento, esto debido a que continua activa la Fase II del PAT Alerta Norte.

Debido a la activación del sector de Alerta Núcleo Fase I se entrega mensualmente a la autoridad los datos de monitoreo en formato digital, y el "Informe de resultados de la herramienta de verificación del efecto sinérgico" en marzo 2024. Y debido a la activación del sector de Alerta Núcleo Fase II, se aumentó la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas (agosto a octubre 2024), además, se entrega mensualmente a la autoridad los datos

de monitoreo en formato digital, y por último, se entrega "Informe de resultados de la herramienta de verificación del efecto sinérgico" en enero 2025.

Por otra parte, debido a la activación del sector de Alerta Acuífero se aumentó la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas (diciembre 2023 y enero, febrero y diciembre 2024), 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 10,9 l/s.

Además, se entregó de forma mensual a la autoridad los datos de monitoreo en formato digital. Y, por último, se entregó el “Informe Investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del PAT” el que fue entregado a la SMA, con fecha mayo 2024, en el que incluye la revisión extraordinaria de los resultados y del seguimiento del Plan de Manejo Biótico.

8 REFERENCIAS

ALBEMARLE-VAI, 2020. “Informe Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH) Nº5, 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) Nº7, periodo Enero-Diciembre 2022. Entregado a SMA marzo 2023.

DGA. 1998. Taller de Hidrología aplicada a la resolución de solicitudes de Derechos de Aprovechamiento de aguas superficiales. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

SQM, 2014. Informe Nº15 del PSAH del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, 2014.

SQM, 2016. Informe Nº17 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.