



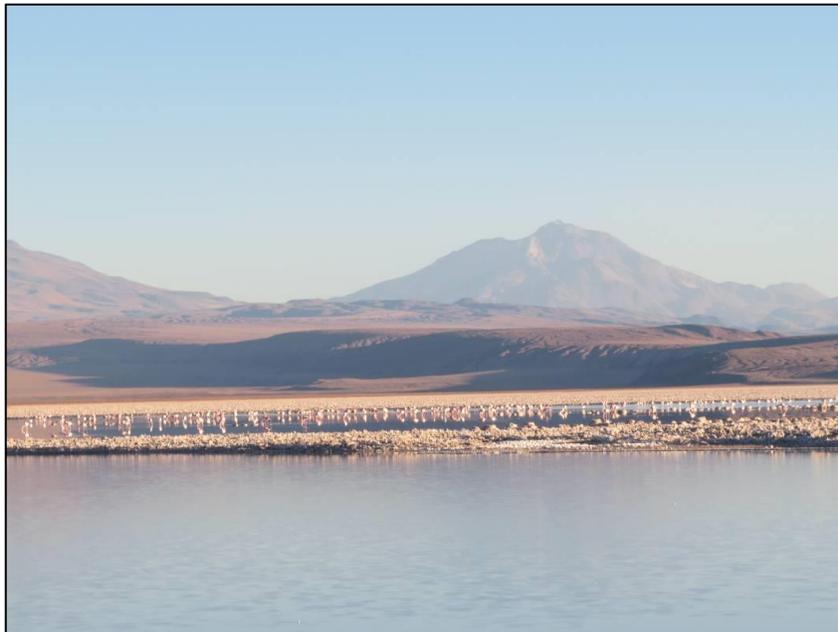
## **Plan de Manejo Biótico**

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

**(RCA N°21/2016)”**

**Monitoreo Invierno 2023 – Verano 2023-2024**

**Informe Anual N°8**



**Región de Antofagasta**

**Septiembre de 2024**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>GLOSARIO</b> .....	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>FLORA Y VEGETACIÓN</b> .....	<b>21</b>
6.1	MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
6.1.1	<i>Cobertura y Vegetación (COT)</i> .....	22
6.1.2	<i>Flora y Vegetación (Transectas)</i> .....	40
6.1.3	<i>Distribución y Cobertura de la Vegetación Azonal – Uso de Imágenes Satelitales - NDVI</i> 58	
6.2	RESULTADOS .....	68
6.2.1	<i>Resultados cobertura y vegetacion (COT)</i> .....	68
6.2.2	<i>Resultados Flora y Vegetación (Transectas)</i> .....	102
6.2.3	<i>Resultados de Distribucion y Cobertura de la Vegetación Azonal - NDVI</i> .....	138
6.2.4	<i>Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación</i> .....	142
<b>7</b>	<b>FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES</b> .....	<b>143</b>
7.1	INTRODUCCIÓN.....	143
7.2	MATERIALES Y MÉTODOS .....	144
7.2.1	<i>Descripción del área de estudio</i> .....	144
7.2.2	<i>Ubicación de puntos muestreo</i> .....	146
7.2.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i> .....	154
7.2.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i> .....	154
7.2.5	<i>Materiales y equipos utilizados</i> .....	166
7.2.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i> .....	166
7.3	RESULTADOS .....	167
7.3.1	<i>Resultados del monitoreo campaña de invierno 2023</i> .....	167
7.3.2	<i>Resultados del monitoreo campaña de verano 2024</i> .....	186
7.3.3	<i>Límites considerados en la evaluación</i> .....	207
<b>8</b>	<b>TAPETES MICROBIANOS</b> .....	<b>207</b>
8.1	MATERIALES Y MÉTODOS .....	209
8.1.1	<i>Descripción del Área de Estudio</i> .....	209
8.1.2	<i>Estaciones de Monitoreo</i> .....	210
8.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i> .....	211
8.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i> .....	212
8.1.5	<i>Materiales y Equipos Utilizados</i> .....	215
8.1.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i> .....	216

<b>8.2</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>216</b>
8.2.1	<i>Resultados Campaña Invierno tardío 2023</i>	216
8.2.2	<i>Resultados Campaña Verano 2024</i>	247
8.2.3	<i>Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos</i>	281
<b>9</b>	<b>SUELO O SUSTRATO</b>	<b>281</b>
9.1	MATERIALES Y MÉTODOS	282
9.1.1	<i>Área de estudio</i>	282
9.1.2	<i>Ubicación de puntos de muestreo</i>	282
9.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i>	284
9.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i>	285
9.1.5	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i>	288
9.2	RESULTADOS	289
9.2.1	<i>Resultados campaña de invierno 2023 (M15)</i>	289
9.2.2	<i>Resultados campaña de verano 2024 (M16)</i>	300
9.2.3	<i>Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato</i>	311
<b>10</b>	<b>LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)</b>	<b>312</b>
10.1	MATERIALES Y MÉTODOS	312
10.1.1	<i>Descripción del área de estudio</i>	312
10.1.2	<i>Ubicación de puntos muestreo</i>	313
10.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i>	316
10.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i>	317
10.1.5	<i>Materiales y equipos utilizados</i>	323
10.1.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i>	323
10.2	RESULTADOS	325
10.2.1	<i>Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2023 y verano 2024</i>	325
10.2.2	<i>Resultados del muestreo campaña de invierno 2023 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)</i>	334
10.2.3	<i>Resultados del muestreo campaña de verano 2024 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)</i>	357
10.2.4	<i>Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)</i>	380
<b>11</b>	<b>AREA DE LAGUNAS</b>	<b>382</b>
11.1	MATERIALES Y MÉTODOS	385
11.1.1	<i>Descripción del área de estudio</i>	385
11.1.2	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua</i>	388
11.1.3	<i>Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua</i>	388
11.1.4	<i>Materiales y equipos utilizados</i>	390
11.1.5	<i>Metodología de muestreo y/o medición</i>	390
11.1.6	<i>Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua</i>	406
11.1.7	<i>Fechas de medición</i>	407
11.2	RESULTADOS	408

11.2.1	<i>Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....</i>	408
11.2.2	<i>Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar.....</i>	411
11.2.3	<i>Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua .....</i>	418
<b>12</b>	<b>NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS.....</b>	<b>419</b>
12.1	MATERIALES Y MÉTODOS .....	420
12.1.1	<i>Área de Estudio.....</i>	420
12.1.2	<i>Ubicación de Puntos de Monitoreo.....</i>	422
12.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables.....</i>	423
12.1.4	<i>Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.....</i>	423
12.1.5	<i>Materiales y Equipos utilizados .....</i>	424
12.1.6	<i>Fechas de medición, muestreo y/o análisis.....</i>	425
12.2	RESULTADOS .....	426
12.2.1	<i>Resultados período abril 2023 a marzo 2024 .....</i>	426
12.2.2	<i>Límites considerados en la evaluación .....</i>	430
<b>13</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>431</b>
13.1	En relación con Flora y Vegetación.....	431
13.1.1	<i>Análisis Vegetación (COT).....</i>	431
13.1.2	<i>Análisis Flora y Vegetación (Transectas).....</i>	435
13.1.3	<i>Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI 448</i>	
13.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres .....	452
13.2.1	<i>Representatividad del muestreo.....</i>	452
13.2.2	<i>Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres.....</i>	453
13.2.3	<i>Análisis por clase.....</i>	461
13.2.4	<i>Composición por ambiente.....</i>	463
13.2.5	<i>Similitud .....</i>	466
13.2.6	<i>Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas).....</i>	468
13.2.7	<i>Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas).....</i>	475
13.2.8	<i>Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres .....</i>	480
13.3	En relación con Tapetes Microbianos .....	508
13.3.1	<i>Aspectos generales.....</i>	508
13.3.2	<i>Análisis evolución inviernos 2016 a 2023 .....</i>	509
13.3.3	<i>Análisis evolución veranos 2017 a 2024.....</i>	527
13.3.4	<i>Evolución de Parámetros Físicos y Químicos (2016-2024).....</i>	547
13.4	En relación con Suelo o Substrato .....	554
13.4.1	<i>Análisis de evolución de resultados Sector La Punta - La Brava .....</i>	555
13.4.2	<i>Análisis de evolución de resultados Sector Peine (veranos).....</i>	573
13.4.3	<i>Análisis de evolución de resultados Sector Tilopozo (veranos).....</i>	593
13.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos) .....	612
13.5.1	<i>Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo).....</i>	616
13.6	En relación con Área de Lagunas .....	675
13.6.1	<i>Comparación de monitoreos con registros históricos .....</i>	675
13.6.2	<b><i>Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....</i></b>	<b>707</b>

13.7	En relación con Nivel Freático en Lagunas.....	709
13.7.1	<i>Análisis comparativo invierno 2023 y verano 2024</i> .....	709
13.7.2	<i>Análisis comparativo con valores históricos</i> .....	710
13.8	En relación con el Estado Ecológico del Sistema .....	717
<b>14</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>719</b>
14.1	En relación con Flora y Vegetación.....	719
14.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres .....	724
14.3	En relación con Tapetes Microbianos .....	727
14.4	En relación con Suelo o Sustrato .....	730
14.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos).....	734
14.6	En relación con Área de Lagunas .....	738
14.7	En relación con Nivel Freático en Lagunas.....	740
<b>15</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>741</b>
15.1	Flora y Vegetación.....	741
15.2	Fauna Vertebrados Terrestres .....	744
15.3	Tapetes Microbianos .....	750
15.4	Suelo o Sustrato .....	752
15.5	Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos).....	753
15.6	Área de Lagunas .....	757
15.7	Nivel Freático en Lagunas.....	762
<b>16</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>763</b>

## FIGURAS

Figura N° 2-1.	Delimitación de las Áreas de Estudio del Plan de Manejo Biótico .....	3
Figura N° 2-2.	Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal).....	13
Figura N° 2-3.	Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo .....	14
Figura N° 6-1.	Área de estudio Vegetación y Flora .....	24
Figura N° 6-2.	Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.....	45
Figura N° 6-3.	Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama .....	46
Figura N° 6-4.	Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama .....	47

<b>Figura N° 6-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura N° 6-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura N° 6-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura N° 6-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura N° 6-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2023 en el Salar de Atacama .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura N° 6-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2022 .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura N° 6-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Invierno de 2022 .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura N° 6-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2022 .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura N° 6-13. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2023 .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura N° 6-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Verano de 2023 .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura N° 6-15. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2023 .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en el sector Peine .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Tilopozo .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector La Punta y La Brava .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura N° 6-19. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Aguas de Quelana .....</b>	<b>113</b>

<b>Figura N° 6-20. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 13 (invierno 2022) .....</b>	<b>118</b>
<b>Figura N° 6-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en el sector Peine .....</b>	<b>127</b>
<b>Figura N° 6-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Tilopozo .....</b>	<b>128</b>
<b>Figura N° 6-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector La Punta y La Brava .....</b>	<b>129</b>
<b>Figura N° 6-24. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Aguas de Quelana .....</b>	<b>130</b>
<b>Figura N° 6-25. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 14 (verano 2023).....</b>	<b>136</b>
<b>Figura N° 7-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).....</b>	<b>145</b>
<b>Figura N° 7-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio. ....</b>	<b>152</b>
<b>Figura N° 7-3. Categorías de conservación de la UICN.....</b>	<b>162</b>
<b>Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2023... 182</b>	
<b>Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2024. .... 203</b>	
<b>Figura N° 8-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos. ....</b>	<b>211</b>
<b>Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.....</b>	<b>214</b>
<b>Figura N° 8-3. Número de capas (<math>\bar{x}</math>) y distribución de tapetes microbianos. ....</b>	<b>218</b>
<b>Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos (<math>\bar{x}</math>)......</b>	<b>219</b>
<b>Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava.....</b>	<b>220</b>
<b>Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava. Invierno tardío 2023. ....</b>	<b>221</b>
<b>Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>242</b>
<b>Figura N° 8-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>243</b>

---

<b>Figura N° 8-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>244</b>
<b>Figura N° 8-10. Número de capas (<math>\bar{x}</math>) y distribución de tapetes microbianos. ....</b>	<b>249</b>
<b>Figura N° 8-11. Espesor de tapetes microbianos (<math>\bar{x}</math>). Verano 2024.....</b>	<b>250</b>
<b>Figura N° 8-12. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava. Verano 2024.....</b>	<b>251</b>
<b>Figura N° 8-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2024. ....</b>	<b>252</b>
<b>Figura N° 8-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.....</b>	<b>276</b>
<b>Figura N° 8-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.....</b>	<b>277</b>
<b>Figura N° 8-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.....</b>	<b>278</b>
<b>Figura N° 9-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama. ....</b>	<b>284</b>
<b>Figura N° 9-2. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>291</b>
<b>Figura N° 9-3. Resultados Salinidad, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>291</b>
<b>Figura N° 9-4. Resultados pH, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>292</b>
<b>Figura N° 9-5. Resultados Materia Orgánica, Campaña Invierno M15.....</b>	<b>294</b>
<b>Figura N° 9-6. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Invierno M15.....</b>	<b>294</b>
<b>Figura N° 9-7. Resultados Potasio disponible, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>296</b>
<b>Figura N° 9-8. Resultados Fósforo disponible, Campaña Invierno M15.....</b>	<b>296</b>
<b>Figura N° 9-9. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>298</b>
<b>Figura N° 9-10. Resultados Humedad, Campaña Invierno M15.....</b>	<b>299</b>
<b>Figura N° 9-11. Resultados Clase textural, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>299</b>
<b>Figura N° 9-12. Resultados Nivel Freático, Campaña Invierno M15. ....</b>	<b>300</b>
<b>Figura N° 9-13. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Verano M16.....</b>	<b>302</b>
<b>Figura N° 9-14. Resultados Salinidad, Campaña Verano M16.....</b>	<b>302</b>

---

<b>Figura N° 9-15. Resultados pH, Campaña Verano M16. ....</b>	<b>303</b>
<b>Figura N° 9-16. Resultados Materia Orgánica, Campaña Verano M16.....</b>	<b>305</b>
<b>Figura N° 9-17. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Verano M16.....</b>	<b>305</b>
<b>Figura N° 9-18. Resultados Potasio disponible, Campaña Verano M16.....</b>	<b>307</b>
<b>Figura N° 9-19. Resultados Fósforo disponible, Campaña Verano M16. ....</b>	<b>307</b>
<b>Figura N° 9-20. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Verano M16.....</b>	<b>309</b>
<b>Figura N° 9-21. Resultados Humedad, Campaña Verano M16.....</b>	<b>310</b>
<b>Figura N° 9-22. Resultados Clase textural, Campaña Verano M16. ....</b>	<b>310</b>
<b>Figura N° 9-23. Resultados Nivel Freático, Campaña Verano M16. ....</b>	<b>311</b>
<b>Figura N° 10-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.....</b>	<b>315</b>
<b>Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).....</b>	<b>341</b>
<b>Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2023).....</b>	<b>343</b>
<b>Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).....</b>	<b>345</b>
<b>Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2023). ....</b>	<b>346</b>
<b>Figura N° 10-6. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).....</b>	<b>349</b>
<b>Figura N° 10-7. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2023).....</b>	<b>350</b>
<b>Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2023).....</b>	<b>352</b>
<b>Figura N° 10-9. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2023). ....</b>	<b>354</b>
<b>Figura N° 10-10. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).....</b>	<b>365</b>
<b>Figura N° 10-11. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2024).....</b>	<b>366</b>
<b>Figura N° 10-12. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).....</b>	<b>369</b>
<b>Figura N° 10-13. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2024)..</b>	<b>370</b>

<b>Figura N° 10-14. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2024).</b> .....	<b>372</b>
<b>Figura N° 10-15. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Tilopozo (verano 2024).</b> .....	<b>374</b>
<b>Figura N° 10-16. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2024).</b> .....	<b>376</b>
<b>Figura N° 10-17. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2024).</b> .....	<b>377</b>
<b>Figura N°11-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama (PMB)</b> .....	<b>387</b>
<b>Figura N°11-2. Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector La Punta y La Brava, verano (diciembre 2023).</b> .....	<b>392</b>
<b>Figura N°11-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades - 1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2023.</b> .....	<b>394</b>
<b>Figura N°11-4. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades - 1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano (diciembre 2023).</b> .....	<b>395</b>
<b>Figura N°11-5. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2023 (izquierda – RGB) y verano 2023/2024 (derecha - RGB).</b> .....	<b>396</b>
<b>Figura N°11-6. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.</b> .....	<b>398</b>
<b>Figura N°11-7. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (<i>raster</i>) a polígonos (<i>shape</i>).</b> .....	<b>406</b>
<b>Figura N°11-8. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava.</b> .....	<b>412</b>
<b>Figura N°11-9. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2023 – diciembre 2023.</b> .....	<b>414</b>
<b>Figura N°11-10. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.</b> .....	<b>415</b>
<b>Figura N°11-11. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2023.</b> .....	<b>417</b>

<b>Figura N° 13-1. Cobertura promedio de vegetación, rastrojo, otros recubrimientos y riqueza por sector .....</b>	<b>442</b>
<b>Figura N° 13-2. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Peine .....</b>	<b>444</b>
<b>Figura N° 13-3. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Tilopozo.....</b>	<b>445</b>
<b>Figura N° 13-4. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector La Punta y La Brava .....</b>	<b>446</b>
<b>Figura N° 13-5. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Aguas de Quelana.....</b>	<b>447</b>
<b>Figura N° 13-6. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2024).....</b>	<b>467</b>
<b>Figura N° 13-7. Abundancia (A) y Frecuencia (B) de los reptiles registrados en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2024), en toda el área de estudio.....</b>	<b>470</b>
<b>Figura N° 13-8. Abundancia (A) y Frecuencia relativas para las aves registradas en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2024) en toda el área de estudio. Se muestran sólo las tres especies más abundantes y frecuentes. ....</b>	<b>472</b>
<b>Figura N° 13-9. Frecuencia relativa de las tres especies más frecuentes de megamamíferos en el periodo de monitoreo (invierno 2016 a verano 2024), en toda el área de estudio. ....</b>	<b>474</b>
<b>Figura N° 13-10. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.....</b>	<b>493</b>
<b>Figura N° 13-11. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.....</b>	<b>497</b>
<b>Figura N° 13-12. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.....</b>	<b>502</b>
<b>Figura N° 13-13. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....</b>	<b>503</b>

<b>Figura N° 13-14. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.....</b>	<b>504</b>
<b>Figura N° 13-15. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....</b>	<b>505</b>
<b>Figura N° 13-16. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de reptiles registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares contabilizados en 25 transectos para cada especie. ....</b>	<b>506</b>
<b>Figura N° 13-17. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de micromamíferos registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares capturados en 9 puntos de muestreo (con un total de 180 trampas por 3 noches). ....</b>	<b>507</b>
<b>Figura N° 13-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Invierno 2016 a 2023. ....</b>	<b>511</b>
<b>Figura N° 13-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Invierno 2016 a 2023. ....</b>	<b>512</b>
<b>Figura N° 13-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava. Campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.....</b>	<b>514</b>
<b>Figura N° 13-21. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2024.....</b>	<b>529</b>
<b>Figura N° 13-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2024.....</b>	<b>530</b>
<b>Figura N° 13-23. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, Verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024. ....</b>	<b>532</b>
<b>Figura N° 13-24. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>547</b>
<b>Figura N° 13-25. Variación promedio de la conductividad (µS/cm) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>548</b>
<b>Figura N° 13-26. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>549</b>
<b>Figura N° 13-27. Variación promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>550</b>
<b>Figura N° 13-28. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>551</b>

---

<b>Figura N° 13-29. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO<sub>3</sub>_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>552</b>
<b>Figura N° 13-30. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>553</b>
<b>Figura N° 13-31. Variación promedio de potencial redox (mV) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024. ....</b>	<b>554</b>
<b>Figura N° 13-32. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>556</b>
<b>Figura N° 13-33. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>557</b>
<b>Figura N° 13-34. Resultados pH Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>558</b>
<b>Figura N° 13-35. Resultados pH Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>559</b>
<b>Figura N° 13-36. Materia Orgánica Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>560</b>
<b>Figura N° 13-37. Materia Orgánica Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>561</b>
<b>Figura N° 13-38. Nitrógeno disponible Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>562</b>
<b>Figura N° 13-39. Nitrógeno disponible Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>563</b>
<b>Figura N° 13-40. Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>564</b>
<b>Figura N° 13-41. Fósforo disponible Campañas Verano Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>565</b>
<b>Figura N° 13-42. Potasio disponible Campañas Invierno Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>566</b>
<b>Figura N° 13-43. Potasio disponible Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>566</b>
<b>Figura N° 13-44. Cond. Hidráulica Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>567</b>
<b>Figura N° 13-45. Cond. Hidráulica Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>568</b>
<b>Figura N° 13-46. Textura Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>569</b>
<b>Figura N° 13-47. Textura Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.....</b>	<b>569</b>
<b>Figura N° 13-48. Humedad Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>570</b>
<b>Figura N° 13-49. Humedad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>571</b>
<b>Figura N° 13-50. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>572</b>
<b>Figura N° 13-51. Nivel Freático Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. ....</b>	<b>573</b>
<b>Figura N° 13-52. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Invierno, Sector Peine. ...</b>	<b>575</b>

---

<b>Figura N° 13-53. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Peine. ....</b>	<b>576</b>
<b>Figura N° 13-54. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Peine. ....</b>	<b>577</b>
<b>Figura N° 13-55. Resultados pH Campañas Verano, Sector Peine. ....</b>	<b>578</b>
<b>Figura N° 13-56. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Peine .....</b>	<b>579</b>
<b>Figura N° 13-57. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Peine.....</b>	<b>580</b>
<b>Figura N° 13-58. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Invierno, Sector Peine. ....</b>	<b>581</b>
<b>Figura N° 13-59. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Verano, Sector Peine.....</b>	<b>582</b>
<b>Figura N° 13-60. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Peine.....</b>	<b>583</b>
<b>Figura N° 13-61. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Peine.....</b>	<b>584</b>
<b>Figura N° 13-62. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Peine. ....</b>	<b>585</b>
<b>Figura N° 13-63. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Peine.....</b>	<b>586</b>
<b>Figura N° 13-64. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Peine. ....</b>	<b>587</b>
<b>Figura N° 13-65. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Peine. ....</b>	<b>587</b>
<b>Figura N° 13-66. Textura Campañas Invierno, Sector Peine.....</b>	<b>588</b>
<b>Figura N° 13-67. Textura Campañas Verano, Sector Peine.....</b>	<b>589</b>
<b>Figura N° 13-68. Humedad Campañas Invierno, Sector Peine. ....</b>	<b>590</b>
<b>Figura N° 13-69. Humedad Campañas Verano, Sector Peine. ....</b>	<b>591</b>
<b>Figura N° 13-70. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Peine. ....</b>	<b>592</b>
<b>Figura N° 13-71. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Peine.....</b>	<b>592</b>
<b>Figura N° 13-72. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Inverno, Sector Tilopozo.</b>	<b>594</b>
<b>Figura N° 13-73. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Tilopozo.</b>	<b>595</b>
<b>Figura N° 13-74. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>596</b>
<b>Figura N° 13-75. Resultados pH Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>597</b>
<b>Figura N° 13-76. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Tilopozo.....</b>	<b>598</b>
<b>Figura N° 13-77. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Tilopozo.....</b>	<b>599</b>
<b>Figura N° 13-78. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Invierno, Sector Tilopozo.....</b>	<b>600</b>
<b>Figura N° 13-79. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>601</b>

<b>Figura N° 13-80. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>602</b>
<b>Figura N° 13-81. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>603</b>
<b>Figura N° 13-82. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>604</b>
<b>Figura N° 13-83. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>605</b>
<b>Figura N° 13-84. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>606</b>
<b>Figura N° 13-85. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>607</b>
<b>Figura N° 13-86. Textura Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>608</b>
<b>Figura N° 13-87. Textura Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>608</b>
<b>Figura N° 13-88. Humedad Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>610</b>
<b>Figura N° 13-89. Humedad Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>610</b>
<b>Figura N° 13-90. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>611</b>
<b>Figura N° 13-91. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Tilopozo. ....</b>	<b>612</b>
<b>Figura N° 13-92. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>619</b>
<b>Figura N° 13-93. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>620</b>
<b>Figura N° 13-94. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila “a” en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>621</b>
<b>Figura N° 13-95. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>623</b>
<b>Figura N° 13-96. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>624</b>
<b>Figura N° 13-97. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila “a” en el Sector Vegas de Tilopozo. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>625</b>
<b>Figura N° 13-98. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>628</b>

---

<b>Figura N° 13-99. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>629</b>
<b>Figura N° 13-100. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila “a” en el Sector Peine. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>630</b>
<b>Figura N° 13-101. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>632</b>
<b>Figura N° 13-102. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>634</b>
<b>Figura N° 13-103. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>636</b>
<b>Figura N° 13-104. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>639</b>
<b>Figura N° 13-105. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>642</b>
<b>Figura N° 13-106. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>645</b>
<b>Figura N° 13-107. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>648</b>
<b>Figura N° 13-108. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>651</b>
<b>Figura N° 13-109. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>653</b>
<b>Figura N° 13-110. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>655</b>
<b>Figura N° 13-111. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>657</b>
<b>Figura N° 13-112. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>659</b>
<b>Figura N° 13-113. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>661</b>
<b>Figura N° 13-114. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....</b>	<b>663</b>

<b>Figura N° 13-115. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>665</b>
<b>Figura N° 13-116. Rango de variación temporal por estación de monitoreo y LB, de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>668</b>
<b>Figura N° 13-117. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano... </b>	<b>670</b>
<b>Figura N° 13-118. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....</b>	<b>674</b>
<b>Figura N°13-119. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava. ....</b>	<b>681</b>
<b>Figura N°13-120. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector La Punta - La Brava.....</b>	<b>682</b>
<b>Figura N°13-121. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.....</b>	<b>684</b>
<b>Figura N°13-122. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2023). ....</b>	<b>686</b>
<b>Figura N°13-123. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava. ....</b>	<b>687</b>
<b>Figura N°13-124. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A. ....</b>	<b>689</b>
<b>Figura N°13-125. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. ....</b>	<b>690</b>
<b>Figura N°13-126. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A. ....</b>	<b>691</b>
<b>Figura N°13-127. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.....</b>	<b>692</b>
<b>Figura N°13-128. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine. ....</b>	<b>694</b>
<b>Figura N°13-129. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector Peine. ....</b>	<b>696</b>
<b>Figura N°13-130. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine. ....</b>	<b>697</b>

<b>Figura N°13-131. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2023)...</b>	<b>699</b>
<b>Figura N°13-132. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine. ....</b>	<b>701</b>
<b>Figura N°13-133. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A. ....</b>	<b>703</b>
<b>Figura N°13-134. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. ....</b>	<b>704</b>
<b>Figura N°13-135. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A. ....</b>	<b>705</b>
<b>Figura N°13-136. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. ....</b>	<b>706</b>

## TABLAS

<b>Tabla N° 2-1. Fechas de intento inicial de Campañas PMB Invierno 2023, señalando restricciones de acceso al territorio Peine y fechas finales de ejecución de campañas por componente. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla N° 2-2. Fechas de intento inicial de Campañas PMB Verano 2024, señalando restricciones de acceso al territorio Peine, esfuerzos de reprogramación y fechas finales de ejecución de campañas por componente. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas. ....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla N° 2-3. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo con el Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016. ....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla N° 2-4. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla N° 2-5. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2022 y verano 2023 .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla N° 6-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes ...</b>	<b>28</b>
<b>Tabla N° 6-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla N° 6-4. Rango de valores para la cobertura vegetal.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla N° 6-5. Categorías de posición topográfica .....</b>	<b>29</b>

---

<b>Tabla N° 6-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla N° 6-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla N° 6-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla N° 6-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla N° 6-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV) .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla N° 6-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla N° 6-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla N° 6-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes).....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla N° 6-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla N° 6-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla N° 6-16. Contenido de humedad del suelo .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla N° 6-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A-1B.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla N° 6-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2022 .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2022.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla N° 6-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2023 .....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla N° 6-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2023.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla N° 6-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla N° 6-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 13 (invierno 2022), en cada subsector .....</b>	<b>104</b>

---

<b>Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 13 (invierno 2022)</b> .....	<b>119</b>
<b>Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 13 (invierno 2022)</b> .....	<b>120</b>
<b>Tabla N° 6-27. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla N° 6-28. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 14 (verano 2023), en cada subsector .....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla N° 6-29. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 14 (verano 2023)</b> .....	<b>137</b>
<b>Tabla N° 6-30. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 14 (verano 2023).....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla N° 6-31. Superficies de vegetación activa (NDVI) en base a la COT de verano 2023, por sector. ....</b>	<b>139</b>
<b>Tabla N° 7-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19. ....</b>	<b>148</b>
<b>Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2023. Se indica presencia (X) en cada sector.....</b>	<b>169</b>
<b>Tabla N° 7-3. Especies de fauna registradas por ambiente (invierno 2023). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.....</b>	<b>180</b>
<b>Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2023). .....</b>	<b>184</b>
<b>Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. (invierno 2023).....</b>	<b>186</b>
<b>Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo sexta campaña de monitoreo (verano 2024). Se indica además, la presencia (X) en cada sector. .....</b>	<b>188</b>
<b>Tabla N° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo sexta campaña de monitoreo (verano 2024). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector. .....</b>	<b>201</b>
<b>Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Décimo sexta campaña de monitoreo (verano 2024). ....</b>	<b>205</b>
<b>Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2024). ....</b>	<b>207</b>
<b>Tabla N° 8-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB. ....</b>	<b>210</b>

---

<b>Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. ....</b>	<b>217</b>
<b>Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos. ....</b>	<b>222</b>
<b>Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>225</b>
<b>Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos embebidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>231</b>
<b>Tabla N° 8-8. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>231</b>
<b>Tabla N° 8-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>233</b>
<b>Tabla N° 8-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>234</b>
<b>Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>236</b>
<b>Tabla N° 8-12. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>237</b>
<b>Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno tardío 2023. ....</b>	<b>238</b>
<b>Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno tardío 2023. ....</b>	<b>238</b>
<b>Tabla N° 8-15. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña invierno tardío 2023. ....</b>	<b>239</b>
<b>Tabla N° 8-16. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>246</b>
<b>Tabla N° 8-17. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>246</b>
<b>Tabla N° 8-18. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. ....</b>	<b>248</b>
<b>Tabla N° 8-19. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos. ....</b>	<b>253</b>

---

<b>Tabla N° 8-20. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>256</b>
<b>Tabla N° 8-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>259</b>
<b>Tabla N° 8-22. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>259</b>
<b>Tabla N° 8-23. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>262</b>
<b>Tabla N° 8-24. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>263</b>
<b>Tabla N° 8-25. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>265</b>
<b>Tabla N° 8-26. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>266</b>
<b>Tabla N° 8-27. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>268</b>
<b>Tabla N° 8-28. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....</b>	<b>268</b>
<b>Tabla N° 8-29. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2024.....</b>	<b>270</b>
<b>Tabla N° 8-30. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2024.....</b>	<b>271</b>
<b>Tabla N° 8-31. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2024.....</b>	<b>272</b>
<b>Tabla N° 8-32. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2024.....</b>	<b>273</b>
<b>Tabla N° 8-33. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.....</b>	<b>280</b>
<b>Tabla N° 8-34. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.....</b>	<b>280</b>
<b>Tabla N° 9-1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S). Puntos de muestreo suelo. ..</b>	<b>283</b>
<b>Tabla N° 9-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo. ....</b>	<b>284</b>

---

<b>Tabla N° 9-3. Parámetros evaluados y método de análisis para monitoreos M15 y M16. Componente Suelo.....</b>	<b>286</b>
<b>Tabla N° 9-4. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Invierno 2023.....</b>	<b>289</b>
<b>Tabla N° 9-5. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Invierno 2023 (M15).....</b>	<b>292</b>
<b>Tabla N° 9-6. Potasio y Fósforo disponibles. Invierno 2023 (M15).....</b>	<b>295</b>
<b>Tabla N° 9-7. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Invierno 2023. ....</b>	<b>297</b>
<b>Tabla N° 9-8. Código textura. ....</b>	<b>298</b>
<b>Tabla N° 9-9. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Verano 2024.....</b>	<b>301</b>
<b>Tabla N° 9-10. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Verano 2024.....</b>	<b>303</b>
<b>Tabla N° 9-11. Potasio y Fósforo disponibles. Verano 2024.....</b>	<b>306</b>
<b>Tabla N° 9-12. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Verano 2024. ....</b>	<b>308</b>
<b>Tabla N° 9-13. Código textura. ....</b>	<b>309</b>
<b>Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2023 y verano 2024.....</b>	<b>314</b>
<b>Tabla N° 10-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua. ....</b>	<b>318</b>
<b>Tabla N° 10-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos. ....</b>	<b>319</b>
<b>Tabla N° 10-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).....</b>	<b>319</b>
<b>Tabla N° 10-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos. ....</b>	<b>320</b>
<b>Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición <i>in situ</i> de parámetros del agua .....</b>	<b>323</b>
<b>Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática. ....</b>	<b>323</b>
<b>Tabla N° 10-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables evaluadas en las campañas de invierno 2023 y verano 2024.....</b>	<b>324</b>
<b>Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>335</b>
<b>Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023. ....</b>	<b>337</b>

---

<b>Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023. ....</b>	<b>338</b>
<b>Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023. ....</b>	<b>339</b>
<b>Tabla N° 10-13. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023). ....</b>	<b>340</b>
<b>Tabla N° 10-14. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2023). ....</b>	<b>342</b>
<b>Tabla N° 10-15. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023). ....</b>	<b>344</b>
<b>Tabla N° 10-16. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2023).....</b>	<b>346</b>
<b>Tabla N° 10-17. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023. ....</b>	<b>348</b>
<b>Tabla N° 10-18. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023.....</b>	<b>350</b>
<b>Tabla N° 10-19. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023. ....</b>	<b>352</b>
<b>Tabla N° 10-20. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023. ....</b>	<b>353</b>
<b>Tabla N° 10-21. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2023). ....</b>	<b>355</b>
<b>Tabla N° 10-22. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2023).....</b>	<b>356</b>
<b>Tabla N° 10-23. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.....</b>	<b>358</b>
<b>Tabla N° 10-24. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024. ....</b>	<b>359</b>
<b>Tabla N° 10-25. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024. ....</b>	<b>361</b>
<b>Tabla N° 10-26: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024. ....</b>	<b>361</b>
<b>Tabla N° 10-27. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024. ....</b>	<b>362</b>

<b>Tabla N° 10-28: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.</b>	<b>362</b>
<b>Tabla N° 10-29. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).</b>	<b>364</b>
<b>Tabla N° 10-30. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2024).</b>	<b>366</b>
<b>Tabla N° 10-31. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).</b>	<b>368</b>
<b>Tabla N° 10-32. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2024).</b>	<b>370</b>
<b>Tabla N° 10-33. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.</b>	<b>372</b>
<b>Tabla N° 10-34. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.</b>	<b>373</b>
<b>Tabla N° 10-35. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.</b>	<b>375</b>
<b>Tabla N° 10-36. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.</b>	<b>377</b>
<b>Tabla N° 10-37. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2024).</b>	<b>378</b>
<b>Tabla N° 10-38. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 2024).</b>	<b>379</b>
<b>Tabla N°11-1. Resumen de Componentes y Variables</b>	<b>383</b>
<b>Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.</b>	<b>384</b>
<b>Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2023, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.</b>	<b>389</b>
<b>Tabla N°11-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2023/2024, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.</b>	<b>390</b>
<b>Tabla N°11-5. Características técnicas del sensor Pleiades - 1A.</b>	<b>393</b>

<b>Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8.</b>	<b>396</b>
<b>Tabla N°11-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades - 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2023.</b>	<b>403</b>
<b>Tabla N°11-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2023.</b>	<b>409</b>
<b>Tabla N°11-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2023.</b>	<b>410</b>
<b>Tabla N°11-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre, 2023.</b>	<b>410</b>
<b>Tabla N°11-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre, 2023.</b>	<b>411</b>
<b>Tabla N°11-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2023 (invierno y verano).</b>	<b>411</b>
<b>Tabla N°11-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2023 (invierno y verano).</b>	<b>412</b>
<b>Tabla N° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por monitoreo</b>	<b>431</b>
<b>Tabla N° 13-2. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de verano de 2024.</b>	<b>432</b>
<b>Tabla N° 13-3. Superficies de vegetación activa (NDVI) con relación a los registros históricos Alta Resolución, por sector.</b>	<b>449</b>
<b>Tabla N° 13-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de <i>Schoenoplectus californicus</i>, con relación a los registros históricos de alta resolución.</b>	<b>450</b>
<b>Tabla N° 13-5. Lista Sistemática Acumulada de especies de fauna registradas a lo largo de las 16 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2024). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector.</b>	<b>455</b>
<b>Tabla N° 13-6. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2024.</b>	<b>464</b>

---

<b>Tabla N° 13-7. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 16 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2024).....</b>	<b>476</b>
<b>Tabla N° 13-8. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2024. ....</b>	<b>478</b>
<b>Tabla N° 13-9. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, verano e invierno 2022, verano e invierno 2023 y verano 2024. (En toda el área de estudio).....</b>	<b>482</b>
<b>Tabla N° 13-10. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas del PMB (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2024). ....</b>	<b>485</b>
<b>Tabla N° 13-11. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas del PMB (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2024). ....</b>	<b>488</b>
<b>Tabla N° 13-12. Comparación de la abundancia de aves en los sistemas lagunares (La Punta-La Brava y Peine), para los periodos de Línea de Base y monitoreo. ....</b>	<b>490</b>
<b>Tabla N° 13-13. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo. ....</b>	<b>495</b>
<b>Tabla N° 13-14. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo. ....</b>	<b>499</b>
<b>Tabla N° 13-15. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>515</b>
<b>Tabla N° 13-16. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>516</b>
<b>Tabla N° 13-17. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>517</b>
<b>Tabla N° 13-18. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>518</b>
<b>Tabla N° 13-19. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>519</b>
<b>Tabla N° 13-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>521</b>
<b>Tabla N° 13-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2023. ....</b>	<b>522</b>

---

<b>Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2023.....</b>	<b>523</b>
<b>Tabla N° 13-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo. Campaña invierno, 2016 a 2023. (S/C: sin capas pigmentadas). .....</b>	<b>524</b>
<b>Tabla N° 13-24. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023. ....</b>	<b>526</b>
<b>Tabla N° 13-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2024.....</b>	<b>533</b>
<b>Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2024.....</b>	<b>534</b>
<b>Tabla N° 13-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2024. ....</b>	<b>536</b>
<b>Tabla N° 13-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2024. ....</b>	<b>537</b>
<b>Tabla N° 13-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2024. ....</b>	<b>538</b>
<b>Tabla N° 13-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2024.....</b>	<b>540</b>
<b>Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2024.....</b>	<b>541</b>
<b>Tabla N° 13-32. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2024.....</b>	<b>542</b>
<b>Tabla N° 13-33. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024. ....</b>	<b>546</b>
<b>Tabla N° 13-34. Resumen de especies detectadas en los sectores La Punta, La Brava, vegas de Tilopozo y Peine, en campañas de línea de base y monitoreo. ....</b>	<b>666</b>
<b>Tabla N°13-35. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales y datos obtenidos en el monitoreo 2023 (invierno y verano), respecto de los registros históricos (Adenda 5 RWL, 2015). ....</b>	<b>675</b>
<b>Tabla N°13-36. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8.....</b>	<b>708</b>

## FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 6-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar .....	53
Fotografía N° 6-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastrojos .....	55
Fotografía N° 6-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación .....	56
Fotografía N° 6-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2022.....	77
Fotografía N° 6-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2022.....	82
Fotografía N° 6-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio .....	84
Fotografía N° 6-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.....	84
Fotografía N° 6-8. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2023.....	95
Fotografía N° 6-9. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2023.....	100
Fotografía N° 6-10. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio .....	101
Fotografía N° 6-11. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.....	102
Fotografía N° 6-12. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en invierno 2022, en distintas transectas de estudio.....	106
Fotografía N° 6-13. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	106
Fotografía N° 6-14. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	107
Fotografía N° 6-15. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	107
Fotografía N° 6-16. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> * en invierno 2022, en transectas de estudio.....	108
Fotografía N° 6-17. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	108
Fotografía N° 6-18. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en verano 2023, en distintas transectas de estudio.....	124

<b>Fotografía N° 6-19. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....</b>	<b>124</b>
<b>Fotografía N° 6-20. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....</b>	<b>125</b>
<b>Fotografía N° 6-21. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....</b>	<b>125</b>
<b>Fotografía N° 6-22. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....</b>	<b>125</b>
<b>Fotografía N° 6-23. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....</b>	<b>126</b>
<b>Fotografía N° 7-1. Ambientes del área de estudio. A) humedal salar (arriba; izquierda); B) humedal pajonal (arriba, derecha); C) herbazal (centro, izquierda); D) matorral (centro, derecha); E) quebrada (abajo, izquierda) y F) área desprovista de vegetación costra salar (abajo, derecha).....</b>	<b>153</b>
<b>Fotografía N° 7-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo. ....</b>	<b>159</b>
<b>Fotografía N° 7-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.....</b>	<b>159</b>
<b>Fotografía N° 7-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (<i>Liolaemus fabiani</i>, arriba) y lagartija de Constanza (<i>L. constanzae</i>, abajo).....</b>	<b>173</b>
<b>Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: Parina grande (superior, izquierda), Playero de Baird (superior, derecha), Chorlo de la puna (inferior, izquierda) y Caití (inferior, derecha).....</b>	<b>175</b>
<b>Fotografía N° 7-6. Macromamíferos en el área de estudio: guanaco (arriba) y zorro culpeo (abajo).....</b>	<b>177</b>
<b>Fotografía N° 7-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejudo amarillo (izquierda) y ratón andino (derecha).....</b>	<b>178</b>
<b>Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).....</b>	<b>194</b>
<b>Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: parina grande (superior, izquierda), cernícalo (superior, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y caití (inferior, derecha).....</b>	<b>196</b>
<b>Fotografía N° 7-10. Macromamíferos en el área de estudio: zorro chilla (arriba) y zorro culpeo (abajo).....</b>	<b>198</b>
<b>Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón orejudo amarillento (arriba, izquierda), ratón andino (arriba, derecha) y yaca del norte (abajo).....</b>	<b>199</b>

<b>Fotografía N° 8-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.....</b>	<b>215</b>
<b>Fotografía N° 8-2. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, invierno tardío 2023.....</b>	<b>224</b>
<b>Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, invierno tardío 2023. ....</b>	<b>226</b>
<b>Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, invierno tardío 2023.....</b>	<b>229</b>
<b>Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno tardío 2023.....</b>	<b>232</b>
<b>Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimentos. Laguna La Brava, invierno tardío 2023. ....</b>	<b>235</b>
<b>Fotografía N° 8-7. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, verano 2024.....</b>	<b>255</b>
<b>Fotografía N° 8-8. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Muestra de sedimento; f. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, verano 2024.....</b>	<b>257</b>
<b>Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, verano 2024. .</b>	<b>260</b>
<b>Fotografía N° 8-10. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; Muestra de sedimento. Laguna La Brava, verano 2024.....</b>	<b>264</b>
<b>Fotografía N° 8-11. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2024. ....</b>	<b>267</b>
<b>Fotografía N° 10-1. Ubicación de las estaciones TB-1 (izquierda) y TB-2 (derecha) de acuerdo al Plan de Manejo Biótico (PMB, 2015), sin presencia de cuerpos de agua..</b>	<b>316</b>

---

<b>Fotografía N° 10-2. Estación LB-1. Campaña Invierno 2023. a. y b. Vista panorámica de la estación y Campaña Verano 2024 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas ni helófitas. ....</b>	<b>326</b>
<b>Fotografía N° 10-3. Estación LB-2. Campaña Invierno 2023 y Verano 2024. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófitas: <i>Triglochin concinna</i>).....</b>	<b>327</b>
<b>Fotografía N° 10-4. Estación LB-3. Campaña Invierno 2023. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófitas. Campaña Verano 2024. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófitas. ....</b>	<b>328</b>
<b>Fotografía N° 10-5. Estación LP-23. Campaña Invierno 2023. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche <i>Sarcocornia fruticosa</i> (helófitas). Campaña Verano 2024. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófitas (<i>Ruppia</i>).....</b>	<b>329</b>
<b>Fotografía N° 10-6. Estación LP-24. Campaña Invierno 2023 y Verano 2024. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas.....</b>	<b>330</b>
<b>Fotografía N° 10-7. Estación TB-1. Campaña Invierno 2023 y Verano 2024 a y c. Vista panorámica de la estación b y d. Parche <i>Zannichellia palustris</i> (hidrófitas) con lamas de microalgas bajo el agua. ....</b>	<b>331</b>
<b>Fotografía N° 10-8. Estación TB-2. Campaña Invierno 2023. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófitas <i>Schoenoplectus californicus</i>. Campaña Verano 2024. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de <i>S. californicus</i> y d. Escurrimiento al costado de la estación de monitoreo. ....</b>	<b>332</b>
<b>Fotografía N° 10-9. Estación TB-3. Campaña Invierno 2023 a. Vista panorámica de la estación y b. presencia de lamas microalgales dentro de la poza y helófitas en la línea de costa y Campaña Verano 2024 c. Vista panorámica de la estación, presencia de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis linearis</i> en línea de costa. y d. Interior de la poza.....</b>	<b>333</b>

## 1 RESUMEN

El presente informe corresponde al Octavo Informe Anual de Monitoreo o Seguimiento **Plan de Manejo Biótico (en adelante PMB)**, comprometido en el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta**” de Albemarle Limitada<sup>1</sup> (en adelante Albemarle o ALB), aprobado por Resolución de Calificación Ambiental (RCA) mediante **RCA N° 21 de fecha 20 de enero del 2016**.

En este documento se analizan las variables y los parámetros monitoreados o medidos en el marco del Plan de Seguimiento Biótico, a las componentes y subcomponentes definidas en el PMB (Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto).

El presente Informe Anual N°8 da cuenta de las campañas de invierno 2023 (tardío) y verano 2023-2024, las cuales se desarrollaron respectivamente durante el mes de agosto, octubre y noviembre del 2023 (**campaña invierno tardío – M15**); en el mes de diciembre del 2023 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-mayo del 2024 (**campaña verano – M16**). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2023 a marzo 2024.

Las variables comprometidas corresponden a: Flora y Vegetación; Fauna Vertebrados Terrestres; Tapetes microbianos; Suelo o Sustrato; Limnología, Calidad de Aguas y Sedimento; Área de Lagunas; y Nivel Freático en Lagunas. El monitoreo para la mayoría de las variables es de frecuencia semestral y anual (vegetación NDVI) y mensual en el caso de niveles freáticos en lagunas.

Para efecto de entregar un contexto inicial, se debe señalar que para la campaña correspondiente a **Invierno 2023 (Monitoreo M15)**, no fue posible llevar a cabo la totalidad de las actividades semestrales de monitoreo PMB en estacionalidad de invierno, cuya programación estaba considerada inicialmente para el mes de agosto 2023, debido a que hubo restricción de acceso al territorio parte de Comunidad de Peine. Lo anterior, fue informado a la autoridad, mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-043 y ALB-GMA-SMA-2023-048 fechadas los días 1 de septiembre de 2023 y 14 de septiembre de 2023 respectivamente (Ver detalles de lo anterior, en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Tal como se señala, la campaña de monitoreo de Invierno 2024 (M15) estaba programada originalmente para iniciar el **08 de agosto 2023 (área de lagunas) y entre el 15 y 30 de agosto 2023 el resto de las componentes bióticas**. La campaña fue reprogramada para septiembre y octubre, sin embargo, la restricción de acceso al territorio se mantuvo. Finalmente, solo pudiendo llevarse a cabo las actividades de monitoreo recién a fines de

---

<sup>1</sup> Rockwood Litio Limitada a partir del día 01 de noviembre de 2017 modificó su razón social a “Albemarle Limitada”.

octubre y durante el mes de noviembre 2023 (**Ver Cartas y Registros en Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Cabe indicar que al menos, los monitoreos programados y autorizados para agosto 2023 en la Reserva Nacional Los Flamencos (sector Soncor y Aguas de Quelana) por parte de CONAF, se realizaron sin inconvenientes, ya sea acompañados de personal de CONAF y/o veedores de la Comunidad de Toconao. Estas fechas corresponden a la actividad de validación *in situ* de Área de Lagunas, los días 10 y 11 de agosto 2023, y monitoreo de Vegetación y Flora (COT-Transectas) el día 23 de agosto 2023.

Señalado lo anterior, se indica a continuación las fechas efectivas de monitoreo en las que cada componente pudo llevar a cabo actividades, y cuya información se reporta en el presente informe de seguimiento. Se indican en cada caso, aquellas restricciones o dificultades particulares ocurridas para cada componente en el marco de sus campañas de monitoreo.

Por una parte, la primera fase inició con el componente de **Área de Lagunas** cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días **08 al 11 de agosto de 2023**. La segunda fase, consideró la solicitud de reprogramación del componente vegetación y flora entre el **25 al 29 de septiembre** y de biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento) entre el **08 al 13 de octubre**, las que no pudieron ser llevadas a cabo por restricción de acceso por parte de la comunidad de Peine. En esta fase solo pudo llevarse a cabo las actividades de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres y suelos o sustrato** cuya campaña pudo ser llevada a cabo entre el **24 al 28 de octubre de 2023**. La tercera a fase correspondió a la reprogramación de la campaña de monitoreo de **biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento)** la que fue realizada entre el **07 y 09 de noviembre de 2023**. Finalmente, la cuarta fase, consideró al componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, cuya campaña que se había iniciado en agosto 2023 (solo sector CONAF) pudo ser culminada entre los días **22 y 26 de noviembre de 2023**, cubriendo el sector sur que no pudo ser levantado en agosto 2023 (Sector Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo). En cuanto al componente **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde abril a septiembre de 2023.

Respecto de las restricciones puntuales para cada componente, se puede comentar que en la campaña de invierno (agosto 2023) del componente **Superficie o Área de Lagunas**, no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector de lagunas de Peine y sector La Punta y La Brava debido a que la comunidad de Peine restringió el acceso a estos sectores, reduciendo las posibilidades de validación a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose como ya se indicó previamente realizar validación en terreno en la Reserva Nacional Los Flamencos (Soncor – Quelana), dado que no presentaba restricciones de acceso (**ver Anexo Área de Lagunas**).

Por su parte para la campaña semestral Invierno 2023 (tardía), respecto al componente **fauna terrestre**, debido a restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine (por época de reproducción de flamencos), no se pudo acceder a los puntos S5 y FS1, correspondientes a la laguna Salada, por lo que se efectuaron solo 23 de los 25 puntos totales (Ver registro en **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**). **Lo anterior es muy relevante puesto que afectan la posibilidad de análisis de la evolución de las especies de aves acuáticas, sobre todo para el sistema Peine, que es el que aporta los mayores valores de abundancia de aves en el salar, sobre todo para el seguimiento de las poblaciones de flamencos.**

**Para los componentes limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por cierre debido a época de reproducción de flamencos (**ver en Anexo Cartas, Actas y Programaciones Carta por cierre de lagunas en noviembre 2023**). Por esta razón, para esta campaña Invierno 2023, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Por otra parte, el componente **Vegetación y Flora**, por restricciones de acceso *in situ* por parte de la comunidad de Peine, debido a la presencia de aves en las lagunas, quedaron sin muestreo en esta campaña de invierno tardío (noviembre) dos transectas del sector de La Punta (T11 y T12) (ver registro en **Anexo Vegetación y Flora**).

Finalmente, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, durante el mes de agosto no se tuvo acceso para el registro de niveles en ninguno de los puntos de monitoreo, puesto que la Comunidad Atacameña de Peine no permitió realizar actividades de monitoreo incluidas en los planes de seguimiento comprometidos en la RCA N°21/2021 del “Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación en el Salar de Atacama” (**Ver Cartas y Registros en Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Para el caso de la **Campaña Semestral Verano 2024 (M16)** de monitoreo de componentes bióticas, esta fue realizada en 4 fases. Por una parte, la primera fase considera el componente de **Área de Lagunas** cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días **12 al 15 de diciembre de 2023**. La segunda fase, corresponde a la campaña de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres, biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento) y suelos o sustrato**, la que se desarrolló en terreno entre el **12 y 15 de marzo de 2024**, en estacionalidad de verano. Por otra parte, la tercera y cuarta fase considerando el componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, fue llevada a cabo el día **12 de abril de 2024** para los puntos de monitoreo ubicados en el área de la Reserva Nacional Los Flamencos (Soncor y Aguas de Quelana), y entre los días **02 y 06 de mayo 2024** para los puntos ubicados en territorio Peine, ambas fechas considerables dentro de temporada de

post-lluvias de verano tardío para el área de estudio. En cuanto a **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde octubre 2023 a marzo 2024.

Al respecto, cabe comentar que para el caso del monitoreo de vegetación y flora, el monitoreo estaba programado originalmente para realizarse entre el **09 al 15 de abril 2024**. Sin embargo, esta debió llevarse a cabo en dos campañas de terreno, debido que la comunidad de Peine suspende temporalmente la actividad en su territorio (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

De acuerdo con lo anterior, el muestreo de verano de vegetación y flora se tuvo que realizar particionado, restringiéndose a un día efectivo de muestreo el día **12 de abril de 2024**, realizando el levantamiento de las transectas de flora y validación COT únicamente en el sector de la Reserva Nacional Los Flamencos de CONAF (Soncor y Aguas de Quelana).

Posteriormente se solicitan fechas para reprogramación entre el **23 al 29 abril**, pero la comunidad de Peine argumenta que no tiene disponibilidad para apoyar el monitoreo de vegetación y flora en esas fechas (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Se logra finalmente una segunda campaña de verano post-lluvia en etapa tardía, para poder completar el levantamiento de vegetación y flora en los sectores de la zona sur del área de estudio (Peine, La Punta y La Brava y Tilopozo), la que fue realizada entre los días **02 al 06 de mayo de 2024** con apoyo de la comunidad de Peine.

Cabe indicar que para esta campaña semestral Verano 2024, respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por indicación de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Por esta razón, para esta campaña Verano 2024, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Respecto a la campaña de monitoreo del componente **Área de Lagunas**, cabe señalar igualmente que no fue posible realizar actividades de validación *in situ* en el sistema lagunar de Peine (lagunas Salada, Saladita e Interna), por las mismas razones indicadas previamente. Por su parte los cuerpos de agua del sector La Punta – La Brava pudieron ser completamente validados *in situ* mediante la toma de puntos de monitoreo con receptor GNSS/GPS y por levantamiento aerofotogramétrico del área para posterior fointerpretación de imagen dron UVA.

Por el mismo motivo, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a lagunas de Peine a partir de noviembre de 2023 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta marzo 2024. Esto implica que se cuenta con sólo

medición en octubre para el análisis de niveles en esos barrenos (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Cabe complementar a lo anterior, a modo de recordatorio, que el Monitoreo N°8 de verano 2020, no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales establecidas por la autoridad de salud, en el marco del inicio de la Pandemia Covid-19. Por este motivo, en los análisis comparativos de estaciones de verano del presente informe semestral, no figura información para dicha campaña estival, con excepción de las componentes Área de Lagunas (que se hace a través de imágenes satelitales); Nivel Freático en Lagunas; y para la variable Superficie de Vegetación Activa NDVI del componente Vegetación y Flora.

Por otra parte, desde el año 2021 a la fecha, las campañas de verano en el sector de lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), se encuentran incompletas debido a las restricciones de acceso por las mismas razones antes señaladas, situación que afecta significativamente los resultados del monitoreo PMB y los propios objetivos de seguimiento ambiental en este sector, debido a que la carencia estacional de datos redundante en que no sea posible comparar entre la condición de Línea de Base y la evolución de las componentes afectadas, debido al sesgo temporal cada vez mayor en la información levantada en los monitoreos respecto de sus parámetros de referencia, este caso especialmente para veranos.

Por otro lado, respecto de la componente Área de Lagunas, cabe indicar que es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, el cual quedó establecido a realizarse en julio y diciembre, con un mes de desfase, por lo que también se cumple con el compromiso semestral de la misma en el PMB. Es importante destacar, que éste fue reportado de manera independiente el día 25 de octubre de 2023 y su complemento el 31 de enero de 2024<sup>2</sup>.

A modo de contexto, la primera campaña del PMB del proyecto, en agosto del 2016, se realizó en etapa de Construcción, previo al inicio de operaciones<sup>3</sup>. En cambio, desde diciembre 2016 a abril 2023, se realizan las campañas en el marco de la etapa de Operación del proyecto.

Los resultados entregados en cada componente y subcomponente fueron evaluados y comparados con énfasis en este octavo año de seguimiento y su evolución temporal, en relación a los registros de línea base del proyecto u otros registros para el área, en caso de existir, y en aquellas variables que no presentan antecedentes previos de línea de base (i.e. suelos y tapetes microbianos), éstos son analizados en la medida del avance obtenido en

<sup>2</sup> Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 25 de octubre de 2023 y 31 de enero de 2024. División de Fiscalización SMA. Cod: 1036015 y 1041988.

<sup>3</sup> Rockwood Lithium (Actualmente Albemarle Limitada) dio inicio formal a la etapa de operación del proyecto el 28 de septiembre 2016, mediante carta a la Superintendencia de Medio Ambiente una semana antes, fechada el 21 de septiembre de 2016.

el tiempo de las campañas de monitoreo y de acuerdo con la evolución de sus resultados. Todo lo anterior es analizado con mayor detalle en el capítulo de discusión de este documento.

En términos generales, los componentes evaluados son Biota, Suelo y Agua, pero se presentan para cada una de las **subcomponentes monitoreadas** un capítulo correspondiente a cada una de ellas, incorporando capítulo con el Análisis de Estado Ecológico del Sistema, en el que se evaluarán las variables denominadas de “estado”, definidas a partir del Modelo Ecológico Funcional, con el fin de detectar cambios en el estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonales) y acuáticos. Las variables seleccionadas corresponden a la *i) Vegetación azonal, ii) Superficies de las lagunas, y iii) Niveles freáticos*, dado que presentan la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio.

De acuerdo con lo anterior, y en función de lo señalado por el Plan de Manejo Biótico (Anexo 2, Adenda 5), la evaluación de la condición de cambio de las variables de estado señaladas se realizará por sector de manera independiente (Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo), mediante un análisis de tendencia, cuyos contenidos son incorporados en el Capítulo Estado Ecológico del Sistema del presente informe. Estos cambios de estado ecológico son evaluados principalmente analizando su tendencia promedio en los 3 últimos años de seguimiento (2021 – 2024) y comparando dicha evolución de las variables de estado versus su comportamiento previo (línea de base y registros históricos) junto con la mirada completa de todos los monitoreos realizados hasta la fecha.

A continuación se presentan los principales y más relevantes resultados, análisis y conclusiones del Informe Anual N°8 del Plan de Manejo Biótico - PMB, según estas subcomponentes o variables monitoreadas:

#### **En relación con Flora y Vegetación:**

El área de monitoreo de flora y vegetación corresponde a sectores del Salar que concentran las características representativas para el seguimiento de los subcomponentes señalados, éstos son: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de homologar la sectorización de todas las metodologías utilizadas para el seguimiento, respecto de lo establecido por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana.

**En relación con el monitoreo y caracterización de la flora y vegetación del área de estudio**, el presente informe se enmarca entre los monitoreos realizados en el octavo año del plan de seguimiento, correspondiente al monitoreo de invierno tardío 2023 (M15) y verano 2024 (M16), para el seguimiento de la vegetación (COT) y flora (composición y cobertura a través de transectas) y el análisis de la cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI), realizado durante la temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo

posterior a las precipitaciones estivales, de acuerdo a los objetivos planteados en el Plan de Manejo Biótico.

En cada subsector se realiza el monitoreo del subcomponente flora, a través de la medición del parámetro de composición y cobertura de especies, en base al método “Intercepto de Puntos”. La definición de puntos de transectas se realizó en levantamiento inicial 2016, denominado en adelante “Monitoreo Base 0 – MB0” (RWL-Cedrem Julio 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016, según lo establecido por el informe de “Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”, que define las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

Esta metodología se aplica en las 31 transectas establecidas, georreferenciadas y estacadas en terreno. Paralelamente, se realiza el monitoreo del subcomponente vegetación, a través de la medición del parámetro de distribución y cobertura de la vegetación azonal, en base a dos métodos, el primero con periodicidad semestral, que corresponde al método de Carta de Ocupación de Tierras (COT), y el segundo, con periodicidad anual, correspondiente a la cobertura vegetal activa derivada del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) a partir de imágenes satelitales de alta resolución.

**En relación con el monitoreo COT**, al octavo año de monitoreo anual se observa una estabilidad general en las formaciones vegetales caracterizadas en términos de su estructura y composición, además de la distribución de éstas en el área de estudio. En este año de monitoreo se describen 36 en invierno 2023 (M15) y 35 formaciones vegetales en verano 2024 (M16), y en general, se tiene que la cantidad de formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido similar. Los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales azonales mixtos y Vegas. Las variaciones observadas se asocian principalmente a la cobertura y composición de especies dentro de las formaciones dado el ajuste de límites en algunas unidades y al cambio en la dominancia de especies en otras, originadas principalmente por ajustes metodológicos, y que reorganizan la configuración de las unidades en estudio, como el caso de matorrales hídricos-vegas que cambian a matorrales hídricos o de matorrales a matorral-vega.

En la COT de **invierno 2023 (M15)**, se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo, entre los cuales destaca la “superficie sin vegetación” representada por un 78,1% de superficie del área de estudio. En cuanto a “superficie con vegetación” (21,9%), se observa una representatividad de 9,1% con vegetación zonal y un 12,8% con vegetación azonal. A partir de lo anterior, se describieron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia; seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies; y tres tipos formaciones azonales mixtas, con

dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y cinco de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies.

Entre las formaciones más representativas, destacan los matorrales zonales con dominancia de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.748,2 hectáreas (5,3%) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine. Por otra parte, en la vegetación azonal son más representativas las formaciones de vega con dominancia de *Distichlis spicata* con 1.103,6 hectáreas (3,3%) y las vegas de *Juncus balticus* con 124,7 hectáreas (0,4%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo.

La formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (47 unidades) y a su vez, las unidades de esta formación presentan una variación de cobertura vegetal, de muy escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a densa (5% a 90%) en su estrato herbáceo. En contraste, el matorral de *Atriplex imbricata*, la vega con dominancia de *Triglochin concinna*, la vega de *Phragmites australis* y *Distichlis spicata*, el matorral hídrico – vega con dominancia de *D. spicata* y el matorral hídrico – vega con dominancia de *T. concinna*, están representados por una unidad cartográfica en el área de estudio.

Descrito lo anterior, el monitoreo semestral de invierno 2023 describe 36 formaciones vegetales y que incluye el seguimiento de las formaciones comprometidas en el PMB (33 en línea de base 2015), manteniéndose similar con los otros monitoreos, aunque con un aumento en la cantidad de formaciones descritas en los monitoreos de invierno 2020 (33 formaciones) y verano 2024 con 35 formaciones, ya que en el verano 2022 (M12) se realizaron nuevos puntos de actualización COT, involucrando ajustes adicionales a la mejora continua de la cartografía de vegetación, describiendo 37 formaciones vegetales.

En la COT de **verano 2024 (M16)**, se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo, entre los cuales destaca la “superficie sin vegetación” representada por un 78,1% de superficie del área de estudio, similar a la condición inicial (línea base 2015) que registraba un 78,3%. En cuanto a “superficie con vegetación”, se observa una representatividad de 8,7% con vegetación zonal y un 13,2% con vegetación azonal. A partir de lo anterior, se describieron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia (ocho formaciones vegetales en total); seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies (14 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y cinco de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies (13 formaciones en total).

Entre las formaciones más representativas, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.625,1 hectáreas (4,9%) y los matorrales de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector

de Peine. Por otra parte, en la vegetación azonal son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 906,8 hectáreas (2,7%) y las vegas de *Juncus balticus* con 190,4 hectáreas (0,6%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo; y los matorrales – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* con 1.840,3 hectáreas (5,6%), distribuidos de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y por último, el matorral hídrico con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 503,0 ha (1,5%), distribuida solo en el sector Aguas de Quelana.

La formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (46 unidades) y a su vez, las unidades de esta formación presentan una variación de cobertura vegetal, de escasa a densa (5% a 90%). En contraste, el matorral de *Atriplex imbricata*, la vega con dominancia de *Triglochin concinna*, el matorral hídrico - vega con dominancia de *Distichlis spicata*, el matorral hídrico - vega con dominancia de *Triglochin concinna* y la vega de *Phragmites australis*, *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*, están representados por una unidad cartográfica en el área de estudio.

Particularmente en Soncor, durante el proceso de actualización de la COT, se realizó la delimitación de la vegetación según este método, dado que durante la línea base (Adenda 5 RWL, 2015) este sector se reportó como “Área Soncor”. A partir de esto, en el sector destaca la principal ocupación de áreas desprovistas de vegetación con 4.993,5 hectáreas (99,5% del sector), mientras que en la superficie restante existen formaciones vegetales azonales (0,5%; 24,8 hectáreas) que se encuentran en el borde Este del polígono del sector, alejados del sistema de cuerpos lagunares del área, con cinco unidades de vega y una unidad de matorral-vega.

Descrito lo anterior, el monitoreo semestral de verano 2024 describe 35 formaciones vegetales, similar a las formaciones descritas inicialmente (33 en línea de base 2015); cambios que se observan principalmente en el tipo de formación en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales mixtos azonales y Vegas, donde la dominancia de especies herbáceas en algunos casos es mayor para algunas transectas, o al contrario en algunas unidades algunas especies arbustivas (como el caso de *Lycium humile*) se ha detectado con mayor cobertura, caso en el cual las vegas se transforman en formaciones mixtas de matorral hídrico - vega.

**En cuanto a las formaciones vegetales, el análisis de flora y vegetación a través del método de transectas**, indican en términos generales que las comunidades con mayor contenido de humedad del suelo son las que continúan presentando mayor cobertura vegetal, correspondiendo a las formaciones de *Schoenoplectus californicus* y algunas transectas con formaciones de herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Triglochin concinna* y matorral de *Sarcocornia fruticosa*, además de algunas transectas localizadas en cercanías a cuerpos de agua, en los sectores La Punta y Aguas de Quelana.

Con respecto a variaciones en las coberturas, se registra un descenso general de las coberturas vegetales al octavo año, con excepciones y fluctuaciones en algunas transectas. Por una parte, destaca en el verano (M16) el aumento de cobertura absoluta en las transectas T02, T18, T31, T20, T22, T27 y T24 respecto al primer monitoreo de verano (M2), pero al observar los registros del primer periodo de seguimiento (MB0-M1 y M2) solo las transectas T20, T21 y T27 en Tilopozo presentan mayor cobertura promedio anual en el Año 8 (M15-M16). Por otro lado, se observa en general, una riqueza similar de especies registradas entre monitoreos para todos los sectores, destacando un registro adicional en M10 que se mantuvo hasta M13 en Tilopozo (*Eleocharis* sp.), además de un registro en M12, M13 y M15 en Peine con una especie que no se registraba desde M7 en La Punta y La Brava (*Puccinellia frigida*).

Referente a la **composición y coberturas** registradas en el último año (M15 y M16), se observa que el herbazal de *Schoenoplectus californicus* sigue presentando las mayores coberturas vegetales del área de estudio (cercanas o sobre el 100%), pero en menos transectas que lo registrado en años anteriores (T01 y T03 de Peine, en ambos monitoreos y T02 en M16). En el caso de Tilopozo, esta formación registra una disminución importante de la cobertura vegetal de las transectas T19 y T29, sobre todo en T29 en el caso de M16 (12,0%) y en T19 aumenta la cobertura en el último año (51-60%) después del mayor descenso registrado en M13 y M14 (36-44%), con una alta cobertura muerta en los dos últimos años y con signos de perturbación por pisoteo y ramoneo de ganado. En La Punta y La Brava se observa en general una cobertura vegetal con tendencia al descenso al observar todo el periodo de seguimiento, destacando un leve aumento de la cobertura en las tres formaciones para el Año 7, principalmente en el matorral de *S. fruticosa* en M13, aunque con un descenso mayor el último año (M16). Por su parte, en Aguas de Quelana, tomando de base la variación en M2 (verano 2017) donde ya habían disminuido sus coberturas respecto MB0 y M1, muestran una tendencia leve al descenso en el tiempo, pero con el menor registro en último invierno (M15) y considerando que entre los monitoreos de verano las coberturas promedio se observan en un rango menos variable, y destacando el aumento de cobertura para la transecta T15 en el último verano (M16), a diferencia de T16 donde se registró con el menor registro de cobertura en M16 y mayor descenso en el tiempo. **Cabe señalar que la comparación respecto a MB0 como condición basal es solo referencial, ya que este monitoreo fue realizado en invierno 2016.**

En relación con la evolución desde MB0 a M16, en general, al analizar la **cobertura promedio de la vegetación**, se observa una tendencia a la disminución. En Peine, sector con mayor cobertura vegetal y variaciones dinámicas entre monitoreos, con una cobertura vegetal promedio estable en su evolución en los primeros 7 años, alertando una disminución en este último periodo (M15 y M16), asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (en transectas T02 y T04). En Tilopozo, se observa una variación entre monitoreos, donde presentaba hasta el quinto año de seguimiento (verano 2021-M10) una estabilidad en su cobertura vegetal y

posteriormente un descenso leve en el verano 2022 (M12), y una mayor disminución en el séptimo año (M13 y M14), recuperándose levemente en el último verano (M16), sumado a un aumento del rastrojo a causa del deterioro de la cobertura vegetal observado en los herbazales de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29). Si bien se observa un descenso general de la cobertura desde MB0 a M16, pronunciada en el último periodo, no se puede establecer una tendencia, ya que se han observado fluctuaciones de la cobertura vegetal entre monitoreos y las mayores diferencias apuntan a un lugar específico del sector, el cual debe seguir en monitoreo para evaluar si el efecto del pastoreo sobre el herbazal de *S. californicus* está influyendo en el deterioro, ya que en zonas aledañas que mantienen mayor humedad (suelos sobresaturados) se observan con mayor cobertura y vigor.

En La Punta y La Brava, la evolución de la cobertura promedio de vegetación presenta una disminución paulatina al sexto año de seguimiento, recuperándose levemente en el séptimo año (M13 y M14) y en invierno 2023 (M15) el descenso observado es solo referencial ya que el muestreo fue incompleto para el sector (dos de cuatro transectas) debido a restricciones de acceso por presencia de flamencos (**Anexo Cartas, Actas y Programaciones**), y en verano 2024 (M16), se observa una menor cobertura promedio respecto al año anterior. Desde la campaña MB0 de referencia (invierno 2016), varía desde 39,1% (MB0) a 24,5% en verano 2019 (M6), con un aumento leve en invierno 2019 (M7; 26,4%) y presentando valores estables entre invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10) (24% aproximadamente) y llegando a un mayor descenso en verano 2022 (M12; 17,9%), aunque recuperándose levemente en M13 y M14 (21% aproximadamente), y en verano 2024 (M16; 18,4%), se observa una menor cobertura promedio respecto al año anterior.

En Aguas de Quelana, se observa una leve variación en la cobertura, con la mayor variación desde MB0 (40,5%) hasta M4 (30,6%), aunque con un aumento leve en M5, y en M7 y M10 con registros similares de 35,0% y 32,3% aunque en M12 y M14 se presenta igualmente una mayor disminución de la cobertura promedio (29,9% y 26,5%, respectivamente) y en el último año se observa un descenso, donde el último invierno 2023 (M15) registra la menor cobertura promedio del seguimiento (13,8%).

Al relacionar la cobertura promedio de rastrojos o cobertura muerta en los sectores, esta presenta un aumento moderado para todos los sectores según lo registrado en M15 y M16, respecto de su evolución en los monitoreos, a excepción de T27 en Tilopozo que disminuye levemente la cobertura del rastrojo en M16.

Los mayores registros de cobertura muerta por sector se encuentran en Peine en M15 (35,4%) y en M16 una cobertura similar en Peine y Tilopozo (29,5% y 29,9%, respectivamente), ambos registros influenciados por el deterioro de la cobertura vegetal en herbazales de *S. californicus*. Para los sectores La Punta y La Brava y Aguas de Quelana los valores de rastrojo son similares en ambos monitoreos del último año, entre 11 y 12%

aproximadamente, mostrando un leve aumento desde los últimos monitoreos en ambos sectores.

Es importante mencionar, que la cobertura de rastrojos no necesariamente implica una cobertura muerta, respecto de lo que se registraba activo en monitoreos anteriores, hay variaciones de su origen, como los rastrojos observados por quemas durante los monitoreos y que en Peine especialmente, éstos fueron registrados por más tiempo a pesar de la recuperación de la cobertura vegetal, o bien, hay variaciones estacionales donde las especies más efímeras tienden a secarse y después desaparecen.

En relación con la categoría “otros recubrimientos”, todos los sectores presentan una alta cobertura sin vegetación en todos los monitoreos, siendo la costra salina el tipo de recubrimiento más importante por su mayor presencia en todos los sectores. Entre monitoreos, las diferencias en la costra salina se relacionan en los niveles de saturación, principalmente en los sectores La Punta y La Brava y Aguas de Quelana, o en la terrosidad de la costra salina observada en los sectores de Peine y Tilopozo. Por otro lado, el recubrimiento de agua superficial es característico de los sectores La Punta y La Brava y en parte del sector Aguas de Quelana, donde en el primero no se observan variaciones importantes, aunque diferencias en la transecta T12 con presencia fluctuante entre monitoreos, a diferencia de Aguas de Quelana donde la cobertura de agua se registra mayoritariamente en monitoreos de invierno, y en el último invierno M15 se registra agua superficial en la transecta T15, la cual no se registraba desde M7 (invierno 2019).

Con respecto a las variaciones estacionales los matorrales presentan una mayor influencia, presentando una mayor cobertura en invierno que en verano, con algunas variaciones significativas al comparar ambos periodos (T23 y T25 en matorrales de *Tessaria absinthioides* en Tilopozo y en matorrales de *Sarcocornia fruticosa* las transectas T12 en subsector La Punta y T17 en Aguas de Quelana), a diferencia de los herbazales que solo registró una variación significativa en un herbazal de *Juncus balticus*, T13 en La Punta. Por otro lado, en algunas formaciones también se presenta mayor variabilidad de coberturas al considerar solo los inviernos, estrechándose el rango de cobertura entre los monitoreos de verano.

**Considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el NDVI de imágenes de alta resolución, y considerando todas las áreas de los 4 sectores analizados (La Punta-La Brava, Peine, Tilopozo, Soncor y Quelana),** la superficie de vegetación activa para los sectores de Tilopozo - La Punta - La Brava y Peine se encuentran dentro del rango de los registros históricos (obtenidos desde Landsat), tanto para el monitoreo de verano de 2017, como el de verano de 2018 a 2024. Cabe señalar que los sectores Soncor y Aguas de Quelana no cuentan con registros históricos Landsat de cobertura de vegetación activa.

En cuanto a los resultados de alta resolución, la superficie de vegetación activa para los sectores Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine superan los valores mínimos históricos en los ocho monitoreos de verano. En cuanto al sector Soncor, en verano 2024 el resultado de superficie de vegetación activa con NDVI (9,7 ha), resulta en el mismo rango de valores de los veranos anteriores con un aumento leve, pero al igual que todos los años del seguimiento resulta menor a la superficie mínima histórica (21,2 ha). Cabe recordar que estas diferencias se deben al mayor detalle definido por la COT en las campañas del PMB, de verano 2017 a verano 2024, además del mejoramiento en el algoritmo de corrección de imágenes, lo que permitió detectar con mayor precisión la reflectancia del vigor de la vegetación en función de su cobertura.

En comparación con el monitoreo del verano de 2023, se observa un ligero aumento en la superficie activa en todos los sectores en el verano de 2024, posiblemente relacionado con la variabilidad natural del sistema o un aumento puntual debido a las precipitaciones. En general, las superficies de vegetación activa se mantienen dentro de los rangos establecidos en el (PMB) entre 2017 y 2024.

En particular, en cuanto a las superficies de vegetación activa (NDVI) para las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus* en el sector de Tilopozo – La Punta y La Brava en verano 2024, se supera la superficie mínima de los valores históricos (LB 2015) y se encuentra bajo del rango de los registros históricos en los ocho periodos monitoreados (2017-2024). El sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico, y más bajo con relación a las superficies anteriores, con este resultado no se puede asegurar aún una tendencia a la baja de la actividad vegetal de la formación en el sector.

#### **En relación con Fauna Vertebrados Terrestres:**

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este componente y que son objeto de seguimiento, corresponden a la composición, la riqueza y la abundancia, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto. Los parámetros utilizados son a) número e identidad de especies, para la riqueza y composición, y b) número de ejemplares, para la abundancia (absoluta y relativa) y frecuencia (absoluta y relativa). Los parámetros se expresan además para cada tipo de ambiente predefinido y estandarizados por el número de puntos o transectos realizados por cada ambiente.

Dentro de la componente de Fauna, se evalúan los grupos de las aves acuáticas, las aves terrestres, los mamíferos, los reptiles y los anfibios.

Importante destacar que, para efectuar el presente monitoreo descrito a continuación, se cuenta con el permiso sectorial de captura de animales de especies protegidas de fauna silvestre, a través de la Resolución Exenta N°420/2017 y su correspondiente ampliación en

la Resolución Exenta N° 338/2023 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta (ver acápite 1.1 **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

La décimo quinta campaña de monitoreo, invierno 2023 (en adelante M15), se realizó entre el 22 al 28 de octubre de 2023, con un equipo integrado por seis especialistas, divididos en tres grupos. Se muestrearon 23 de 25 puntos de muestreo, debido al cierre de las lagunas de Peine (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones de Acceso**), con la metodología de transectos (en los 23 puntos) y muestreos complementarios: trampeos de micromamíferos (en nueve puntos), 11 estaciones con trampas cámara, cinco muestreos de aves nocturnas y dos muestreos nocturnos de anfibios. Cabe mencionar que, debido a las restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine, el muestreo se pudo realizar recién en octubre (primavera), para las fechas programadas para agosto 2023.

En invierno 2023 se registró una riqueza total de 25 especies, identificándose: dos especies de reptiles, 15 especies de aves y ocho especies de mamíferos. Del total, 15 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, siete se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a dos especies de reptiles, cinco especies de aves y cinco especies de mamíferos. En esta campaña de invierno 2023, no se registraron especies nuevas para el monitoreo.

En relación con la riqueza por sector, se registraron 16 especies en el sector Tilopozo, 15 especies en Peine y 12 especies en La Punta y La Brava, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la composición por ambientes, se destaca que el ambiente de humedal pajonal en Tilopozo posee la mayor riqueza con 15 especies (un reptil, siete aves y siete mamíferos); le siguen con 12 especies los ambientes de: humedal salar en La Punta y la Brava y humedal salar en Peine (con 10).

La décimo sexta campaña de monitoreo semestral de fauna vertebrada terrestre, verano 2024 (en adelante M16), se realizó entre el 10 y 16 de marzo de 2024 (campaña efectiva entre el 12 al 15 de marzo), con un equipo integrado por 6 especialistas, divididos en 3 grupos. Se realizaron 20 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, debido al cierre de las lagunas de Peine (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones de Acceso**), limitando por quinta vez (campaña) en el marco del PMB, el acceso parcial al sector de lagunas de Peine en época estival, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva en dicha estación del año. Lo anterior afecta significativamente los resultados, sobre todo en lo que respecta al análisis de la evolución de la abundancia de aves acuáticas (y en particular, de los flamencos) en los sistemas lagunares, lo que dificulta la comparación con la serie histórica del monitoreo.

Dentro de la componente de Fauna, se evalúan los grupos de las aves acuáticas, las aves terrestres, los mamíferos, los reptiles y los anfibios.

Se registró una riqueza total de 29 especies, identificándose: dos especies de reptiles, 17 especies de aves y 10 especies de mamíferos. Del total, 13 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, siete se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a dos especies de reptiles, cinco especies de aves y seis especies de mamíferos.

En esta campaña de verano 2024 se registraron cinco especies (el chorlo de campo, la tórtola cordillerana, la tagua andina, el cernícalo y el perro), siendo nuevas para todo el periodo de monitoreo de verano, aunque el cernícalo y el chorlo de campo sí habían sido registradas en la Línea de Base anterior al PMB (2015), mientras que la tórtola cordillerana, la tagua andina y el perro son especies no observadas históricamente en el PMB.

En relación a la riqueza por sector, se registraron 17 especies en el sector Tilopozo, 10 especies en La Punta y La Brava y seis especies en Peine, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la composición por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), con 11 especies en el humedal pajonal de Tilopozo, al igual que el humedal salar de La Punta y La Brava.

En el área de estudio, y en relación con la riqueza acumulada en las 16 campañas de monitoreo, ésta asciende a un total de 68 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 49 especies de aves y 16 especies de mamíferos.

En relación con la evolución de la fauna, en el caso de la única especie de anfibio, ésta fue registrada sólo en verano 2018, con un ejemplar detectado en un punto de muestreo (FT01, en el ambiente humedal pajonal del sector de Tilopozo).

Además de la caracterización de fauna, y en relación a las abundancias y frecuencias, las dos especies de reptiles registradas presentan abundancias y frecuencias notoriamente diferentes, siendo mayor en las campañas de invierno 2020, y menor en invierno 2022. En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza, a excepción de verano 2022 e invierno 2023, en el cual no se pudieron completar los muestreos de salares por restricciones de acceso. En relación a las aves, la abundancia fue mayor en invierno 2021 y menor en verano 2023, destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas, excepto en los veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024, en que no tuvieron muestreos completos de los sistemas lagunares, debido a las restricciones totales (2021, 2023 y 2024) y parciales (2022 e invierno 2023) para acceder a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), para no interferir con la época reproductiva de los flamencos. Este impedimento de

los muestreos de verano no permite analizar adecuadamente la evolución de la fauna, ya que en dichos sectores es donde se presenta la mayor riqueza y abundancia de aves en general, y de flamencos en particular.

Comparando las 16 campañas realizadas, y en cuanto a la abundancia relativa por ambiente (estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentan la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal, seguido por el humedal salar, la quebrada, el herbazal y el matorral.

En el caso de las aves, y para todas las campañas, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, seguido por el matorral, el humedal pajonal y la quebrada. Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal y el área desprovista de vegetación costra salar.

En el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió entre 0,8% a 13,3%. En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% a un 21,7%.

En una primera escala gruesa de comparación con la Línea de Base, las 68 especies registradas en total para las 16 campañas de monitoreo (de 2016 a 2024<sup>4</sup>) sobrepasan la riqueza acumulada de 62 especies observadas en varias campañas estacionales y de varios años (línea base del proyecto desde 2006 a verano 2015), detalladas en el PMB (2015, presentado en el Anexo 2, Adenda 5). Además, hay 22 especies nuevas (principalmente aves) que se han ido incorporando al registro dentro del monitoreo, que no se habían registrado en la Línea de Base.

Comparando con los valores y criterios especificados en el Plan de Manejo Biótico (PMB), en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones con la línea de base (campañas previas), las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en: la riqueza, la composición y sobre todo, la abundancia de fauna, se concluye para la evolución y seguimiento para este año N°8 que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base). En particular, para las aves (y excepto en veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024, junto con invierno 2023, con menor monitoreo, debido a las restricciones de acceso a lagunas de Peine), los parámetros son mayores en el

---

<sup>4</sup> A la fecha se han ejecutado 6 campañas estivales efectivas de terreno, que corresponden a 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023. La campaña verano 2020 no pudo efectuarse por COVID, sin embargo, para efectos de generalizar las campañas del PMB se consideran 6 campañas en verano (además de las 7 de invierno), dado que sí se logró hacer otras componentes.

Monitoreo del PMB que en la Línea de Base, como por ejemplo, mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos, con amplias variaciones estacionales naturales, las cuales se explican fundamentalmente por el comportamiento natural “móvil” en algunas especies esporádico y sobre todo, migratorio de las especies de aves, como la de los flamencos y pollito de mar.

En general, para todos los monitoreos desde 2016 a 2024, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene. Esto se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema lagunar Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). Analizando el sistema lagunar de La Punta y La Brava, con menor abundancia absoluta de aves, con algunas decenas de ejemplares, si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: esto es, que son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base, pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos en La Punta y La Brava, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base, lo que está dado particularmente por la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*).

Cabe recalcar que, de las 16 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia Covid-19 y en los veranos 2021, 2022, 2023 y 2024, además de invierno 2023 se efectuaron entre 20 y 22 de los 25 puntos de muestreo (faltando todos o parte de los puntos de monitoreo de las lagunas de Peine), por lo que las comparaciones que se obtienen de la evolución y comportamiento de la fauna en el tiempo, deben considerarse con dichas restricciones (sobre todo, para aves acuáticas en general, y flamencos en particular).

Comparando con los valores y criterios especificados en el Plan de Manejo Biótico (PMB), en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones con la línea de base (campañas previas), las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en la riqueza, composición y sobre todo, abundancia de fauna, se concluye que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base).

### **En relación con Tapetes microbianos:**

El presente Informe Anual N°8 correspondiente a las estaciones de invierno tardío 2023 y verano 2024, caracteriza las comunidades microbianas extremófilas de los sistemas lagunares ubicados en el Sector Peine, conformado por laguna Salada, laguna Saladita y laguna Interna; y en el Sector La Punta-La Brava conformado por las laguna La Brava, laguna La Punta; y Sector Tilopozo. Para ello, se realizaron campañas de monitoreo en invierno tardío 2023 (07, 08 y 09 de noviembre de 2023) y verano 2024 (12, 13 y 14 de

marzo de 2024), que corresponde al octavo informe de monitoreo anual del subcomponente tapetes microbianos. Durante invierno tardío 2023 y verano 2024, el Sector Peine conformado por la laguna Salada, laguna Saladita y laguna Interna, no logró ser muestreado por la imposibilidad de acceder a dicho sector por el cierre de las lagunas (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Asimismo, cabe recordar que no se cuenta con información de la campaña verano 2020 para ningún sector, debido a que no pudo ser realizada por inicio de la contingencia COVID19. Tampoco de la campaña verano 2021, para el Sector Peine, debido a la imposibilidad de muestrear el área; parcialmente para verano 2022, donde algunas estaciones de las lagunas Salada (S-9) y Saladita (SA-25), también correspondientes al Sector Peine tampoco pudieron ser muestreadas; así como verano 2023 para la totalidad del sector mencionado debido al cierre de acceso a las lagunas debido a la fase reproductiva de flamencos.

De las 16 estaciones de monitoreo, se analizaron muestras *in situ* de 8 puntos en invierno tardío 2023 y de 8 puntos en verano 2023, distribuidos en los sistemas lagunares del Sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo. Los resultados del monitoreo tanto para invierno tardío 2023 como verano 2024, indican la presencia de tapetes microbianos en 5 de las 8 estaciones monitoreadas (62,5%) en los Sectores de La Punta-La Brava y Tilopozo. Cabe destacar, que considerando el total de 16 estaciones de monitoreo y el muestreo llevado a cabo, el 31,3% de las estaciones presentaron tapetes microbianos.

Las características macroscópicas de los tapetes microbianos analizados durante invierno tardío 2023 exhibieron estructuras de pigmentación en la que se distinguen tres macrozonas (Tipología 1) y con sólo una macro-zona (Tipología 3), mientras que no se observaron tapetes con pigmentación conformada por dos macro-zonas (Tipología 2). Por otro lado, en verano 2024, se observaron tapetes con estructura de pigmentación en la que se distinguieron tres macrozonas (Tipología 1), tapetes con pigmentación conformada por dos macro-zonas (Tipología 2), y con sólo una macro-zona (Tipología 3). En ambas campañas, la Tipología 1 fue predominante. Los tapetes presentaron en la macrozona Subsuperficial, capas comunes de tonalidad verde y naranja. Respecto a las capas de la macrozona Intermedia, generalmente presentaron tonalidades color púrpura y/o rosada. Las capas siguientes, en la macrozona Profunda, presentaron pigmentación de tonalidad predominantemente marrón.

Respecto al espesor máximo obtenido en los tapetes, el mayor valor de invierno 2023 fue registrado en Laguna La Brava (LB-2), con 22 mm, mientras que en verano 2024, el mayor espesor se observó en Laguna La Punta (LP-23) con 17,7 mm.

El sector Tilopozo en las campañas invierno tardío 2023 y verano 2024, nuevamente y por octavo año consecutivo no registró presencia de tapetes microbianos. Cabe resaltar, que sólo se hallaron tapetes microbianos en la campaña Invierno 2016.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno tardío 2023 y verano 2024, presencia de microbialitos en el Sector La Punta-La Brava (LP-23, LB-1) y de evaporitas (LP-24). No se observan este tipo de estructuras en el sector Tilopozo, al igual que en todas las campañas anteriores.

***En relación con la evolución de los cambios observados en las campañas de monitoreo*** de invierno 2016, verano e invierno 2017, verano e invierno 2018, verano e invierno 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, verano e invierno 2022 y verano e invierno tardío 2023 y verano 2024, se destacan los siguientes aspectos:

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos, se observó la presencia de tapetes Tipología 1 en las quince campañas semestrales en el Sector Peine (cuando pudo ser muestreado) y Sector La Punta-La Brava. Los tapetes de Tipología 1 predominaron en 2016, 2017, 2018, sin embargo, disminuyeron desde invierno 2019 hasta verano 2021, a razón de una mayor detección de tapetes Tipología 2. No obstante, a partir de invierno 2021 y hasta la última campaña realizada (verano 2024), la Tipología 1 volvió a ser predominante.

En general, los tapetes Tipología 1 durante las quince campañas de monitoreo se caracterizaron por presentar en la macrozona Subsuperficial capas de tonalidad verde y naranja, en la macrozona Intermedia capas de tonalidad rosado y/o púrpura. Respecto a la macrozona Profunda, se observó variación en las capas pigmentadas según sector (Peine, La Punta-La Brava) y entre puntos de monitoreo de un mismo sector, siendo las capas más comunes correspondientes a tonalidades marrón y en menor medida, negro y/o verde claro, entre otras.

Se destaca en el Sector Peine, la variabilidad de la presencia de tapetes microbianos sumergidos en SA-25, los cuales se han registrado principalmente en verano 2017, invierno 2017, verano 2018. Sin embargo, este sector no se ha podido volver a evaluar, debido a razones anteriormente expuestas.

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector Peine (I-11) y La Punta - La Brava (LB-1, LP-23) en las quince campañas de monitoreo (excepto en los casos donde Peine no pudo ser muestreado). Respecto a las evaporitas, se sugiere la presencia de estas estructuras en invierno 2017, e invierno 2018 para el Sector Peine en Laguna Interna (I-11). En relación con el Sector La

Punta-La Brava, en Laguna La Punta (LP-24) estas estructuras se observaron en invierno 2017, verano e invierno 2018, verano 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, verano e invierno 2022, verano e invierno tardío 2023 y verano 2024.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 1 en los tapetes microbianos, se podrían atribuir a las fluctuaciones de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Otras variables de importancia que podrían estar modulando la presencia de tipologías corresponden a la alcalinidad, el potencial redox, y el nivel y la disponibilidad de agua en las lagunas.

Para el caso del Sector Tilopozo, pese a que el PMB no lo solicita, la variable Tapetes Microbianos fue incorporada con 3 puntos de monitoreo adicionales por parte del Titular, a fin de robustecer la caracterización de las zonas. A la fecha, sólo se ha observado presencia de tapetes en la campaña inicial de invierno 2016, durante las campañas siguientes, no se han detectado tapetes en este sector.

#### **En relación Suelo o Sustrato:**

El presente informe indica las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2023 (M15) y verano 2024 (M16), para el subcomponente ambiental suelo – sustrato. Además, se presenta la evolución de los parámetros estudiados entre los monitoreos de verano precedentes<sup>5</sup>: 2017 (M2), 2018 (M4), 2019 (M6), 2021 (M10), 2022 (M12), 2023 (M14) y el actual monitoreo estival 2024 (M16) y los respectivos monitoreos de invierno: 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5), 2019 (M7), 2020 (M9), 2022 (M13) y el actual monitoreo invernal 2023 (M15).

El área de estudio comprende los sectores de **La Punta-La Brava** y **Peine**, con cuatro puntos de muestreo cada sector (dos muestras por cada punto de muestreo) y el sector de **Tilopozo** con seis puntos de muestreo (dos muestras por punto), lo que se traduce en un total de 28 muestras desde los 14 puntos de muestreo.

Los parámetros que se reportan son: conductividad eléctrica (CE), salinidad, pH, materia orgánica, nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), conductividad hidráulica, textura, humedad y nivel freático.

Cabe señalar que, para la última campaña de verano 2024 (M16), se produjo un atraso en la entrega de resultados de análisis de parámetros de suelos por parte del laboratorio encargado (ALS Life Sciences Chile S.A), que redundó en un retraso en la etapa de análisis, que en consecuencia impidió la presentación de estos en el informe semestral del PMB. En

---

<sup>5</sup> La campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para el componente debido a las restricciones impuestas por la situación sanitaria a nivel nacional (COVID-19), al igual que la campaña invernal 2021 (M11), cancelada por razones de seguridad de Albemarle.

el presente Informe Anual N°8 se incluye la información de la componente “suelos” de la campaña invierno 2024. En Anexo Cartas y Prohibiciones de este informe Anual N°8 se incluye carta justificación de laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A.

Respecto a los laboratorios encargados de los análisis de las muestras de suelo, es necesario señalar que hasta verano 2019 (M6), SGS estaba a cargo de los análisis de materia orgánica, humedad, fósforo, nitrógeno y potasio, A partir de invierno 2019 (M7), el laboratorio ANAM se hace cargo de la determinación de materia orgánica y humedad hasta verano 2022 (M12), los que son realizados desde invierno 2022 (M13) hasta la fecha por el laboratorio ALS.

Desde invierno 2019 (M7) el laboratorio encargado de la determinación de los macronutrientes (NPK) fue AGROLAB hasta la fecha, excepto fósforo y potasio que desde verano 2023 (M14) quedó a cargo de ALS.

Para salinidad y conductividad eléctrica, tanto para el monitoreo de invierno (M15) como para verano (M16), en general, los valores de se presentan dentro de los rangos de variación histórica de anteriores monitoreos para cada muestra. Se detallan como casos excepcionales los resultados que se presentan sobre los máximos históricos en los tres sectores.

Respecto del pH, la mayor parte de los suelos en todos los sectores se clasifican como moderadamente básico a ligeramente alcalino, registrándose variaciones muy menores en los niveles de pH, con la mayor parte de los resultados dentro de la variación histórica de los monitoreos de invierno y de verano.

En general, para materia orgánica se presenta una gran dispersión de datos, tanto entre diferentes monitoreos como entre puntos. Los mayores contenidos de materia orgánica para M15 y M16 se presentan en los puntos S 7 y S 8 en Tilopozo, lo que coincide con coberturas vegetacionales mucho mayores que el resto de los puntos y con importantes acumulaciones de raíces en estados intermedios de descomposición en el perfil de suelo analizado. Otros sectores asociados a coberturas vegetales densas del tipo “vega” en el sector de Peine, como S 11, también presenta los mayores niveles de materia orgánica dentro de su sector, tanto en M15 como en M16. En el sector de La Punta – La Brava, los mayores niveles se presentan en la muestra S 5-2 y S 3-1, donde no es posible establecer una relación directa entre cobertura vegetal en superficie y niveles de materia orgánica como ocurre muy claramente en los otros sectores, pero si describe presencia de restos vegetales y acumulación orgánica en los perfiles muestreados, lo que se puede correlacionar con los resultados obtenidos. Además, en todos los sectores se presenta variabilidad en los resultados de los parámetros analizados para los perfiles muestreados. Esta variabilidad se explica parcialmente por la heterogeneidad natural del material parental de los suelos monitoreados. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un cambio tendencial en Materia orgánica, lo que permitiría proponer causas adicionales a

estas variaciones como el retransporte de material parental, con contenidos diferenciales de materia orgánica, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

En el monitoreo de Nitrógeno disponible, en el sector de La Punta – La Brava, en M15 se presentan valores por sobre los máximos registrados a la fecha, y en las dos restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En el sector de Peine, en M15, también se presentan valores por sobre los máximos históricos (en 2 de las 8 muestras), y en las restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En Tilopozo, se presentan valores por sobre los máximos históricos en 4 de las 12 muestras, y en las restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En todos los sectores, para M16, los valores se presentan dentro del rango de variación histórica, en la parte media de dichos registros. Los valores de Nitrógeno disponible para M15 son mayores que en M16 en todos los puntos de muestreo, verificándose algunos casos donde dichas variaciones son extremadamente altas, las cuales se explican sólo parcialmente desde la variabilidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Con la información a la fecha, los valores fuera del rango histórico de invierno 2023 (M15) se consideran anómalos. Otras causas potenciales de variación en el nivel de nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas verde-azules), fijación simbiótica de nitrógeno (dependiente de la relación entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno), y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

En el monitoreo de Fósforo disponible, en el sector de La Punta – La Brava, en verano 2024 (M16) en general, presenta valores por sobre los máximos históricos registrados, también en los sectores de Peine y de Tilopozo. El aumento de nivel en algunas muestras en M16 puede considerarse una variación anómala en la serie histórica de datos para el periodo de monitoreo. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como dicha tendencia de aumento en el contenido de Fósforo disponible se confirma en el tiempo. El monitoreo de Fósforo disponible realizado en invierno 2023 (M15), presenta valores que mayoritariamente están dentro del rango de variación histórica. Sin embargo, es posible apreciar un aumento tendencial importante en los niveles de fósforo a partir de M15, lo que se explica sólo parcialmente desde la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados.

Los niveles de Fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental

con contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

Los resultados para Potasio disponible en el sector de La Punta – La Brava, sector de Peine y sector de Tilopozo indican que, para todas las muestras, los valores de invierno 2023 (M15) son mayores que los máximos históricos para todos los monitoreos para la gran mayoría de los datos. La excepción la constituye una sola muestra en el sector de Tilopozo, que de todas formas presenta un elevado valor muy similar al máximo para dicho registro. En el monitoreo de verano (M16), los valores se presentan en el rango alto de la tendencia histórica. Con la información a la fecha, los valores fuera del rango histórico de invierno 2023 (M15) se consideran anómalos. Los elevados niveles de potasio disponible que se presentan en M15 se encuentran muy por sobre la tendencia histórica de los datos para todos los monitoreos, con aumentos desde 0,5 a 5 veces los anteriores máximos históricos. Estas variaciones se explican parcialmente por la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados.

Los tipos de arcillas condicionan la disponibilidad del potasio en el suelo, por lo que variaciones en el material parental, pueden provocar cambios significativos en la disponibilidad de este nutriente. Niveles altos de humedad y de materia orgánica se relacionan con mayores niveles de disponibilidad de potasio en el suelo. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Potasio disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de potasio desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

Los resultados de conductividad hidráulica para los monitoreos de invierno y verano muestran una gran dispersión de datos, tanto dentro de cada muestra, como entre diferentes puntos y muestras. En general, los valores de M15 se presentan en el rango alto de la serie de datos histórica, y con mayores valores que M16. A pesar de las diferencias en los valores absolutos registrados, en el sector de La Punta – La Brava, en dos muestras se pasa de la categoría “muy alta” en M15 a “alta” en M16, y en una muestra se pasa desde “alta” a “muy alta” en el mismo periodo. En el sector de Peine solo una muestra cambia de categoría desde “muy alta” en M15 a “alta” en M16 y en el sector de Tilopozo se producen cambios de categorías entre M15 y M16 en cuatro casos, con una muestra que sube desde “alta” a “muy alta” y tres que bajan, dos muestras desde “muy alta” a “moderadamente alta” y una muestra desde “muy alta” a “alta”. Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

En los resultados de clases texturales registrados, en todos los sectores se aprecia en el monitoreo de invierno M15 un cambio hacia texturas más finas, y luego en el monitoreo de verano M16, un cambio hacia texturas más gruesas. Los valores de M16 se acercan a la media histórica registrada a la fecha, en el rango de texturas francas (medias). Las variaciones de clase textural registrada en un monitoreo y otro, asociados a cortos períodos de tiempo (menos de un año), se explican sólo parcialmente desde la heterogeneidad natural del material parental de los perfiles de suelo muestreados. Es necesario complementar más datos a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el retransporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

En la serie de datos temporales de humedad para el sector La Punta – La Brava se aprecia que, en general, los resultados de los monitoreos de invierno y de verano se presentan dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro, con una gran consistencia de resultados al interior de cada muestra. En el sector de Peine también se presenta una gran consistencia de resultados con la tendencia histórica de cada muestra, pero se aprecia una gran variabilidad entre muestras, con los mayores valores en el punto S11, asociado a veces con gran crecimiento vegetacional (densa cobertura vegetal), y el punto S 14, pero en el segundo horizonte. En Tilopozo, los puntos S 7, S 8, y S 9 presentan los mayores niveles de humedad, lo que coincide con la descripción de nivel freático y ubicación geográfica de sectores con alta cobertura vegetacional (vegas). En los puntos S 1 y S 2 presentan los menores niveles de humedad en el mismo sector, lo que se asocia a su ubicación geográfica (alejadas de zonas con vegetación y cerca de borde núcleo) y ausencia de nivel freático. En los monitoreos durante el periodo de seguimiento, se mantienen las diferencias indicadas entre las muestras al interior de cada sector para M15 y M16, pero con una baja variabilidad de datos dentro de los registros para cada muestra.

En la variación de nivel freático, que corresponde al nivel que es posible evaluar al momento de excavar para la toma de muestra de suelo (en caso contrario el nivel de agua está a mayor profundidad) tanto para el monitoreo de invierno como de verano, en el sector de La Punta – La Brava, todos los puntos monitoreados presentan nivel freático medible. En el sector de Peine tres de cuatro puntos presentan nivel freático medible (en uno de los puntos el nivel freático está por debajo del piso de la calicata excavada). En el sector de Tilopozo, en M15, cuatro puntos presentan nivel freático medible. En M16, fue posible medir nivel freático en tres de los puntos monitoreados. En M16 no fue posible medir nivel freático en el punto S 13, mientras que en M15, para el mismo punto, el parámetro si fue medido. En general, las profundidades de los niveles freáticos registrados se encuentran dentro de la variación registrada en la serie de datos históricos. Los niveles freáticos de los puntos de muestreo tienen relación con su cercanía relativa a cuerpos lagunares.

En general, para todos los parámetros registrados en la componente suelos en este período anual, para un mismo punto de muestreo se registraron valores principalmente dentro de su rango de variación histórica en los anteriores monitoreos, lo que en algunos casos generan cambios de categoría para el parámetro monitoreado. Es esperable que los resultados de los parámetros analizados muestren variaciones entre monitoreos. Muchos de estos cambios están asociados a la variabilidad natural que presentan los suelos analizados, sin embargo, en algunos casos, la magnitud de dichas variaciones, y lo inusual o aisladas de las mismas, abren la posibilidad de considerarlas como variaciones anómalas dentro de la serie de datos del periodo de seguimiento. Es necesario complementar con más datos la serie temporal del monitoreo para confirmar causas complementarias que expliquen estas variaciones. Entre las causas adicionales a explorar está el retransporte de material parental desde terrenos ubicados en cotas superiores a las de los sectores monitoreados, erosionados por la ocurrencia de lluvias intensas.

#### **En relación con Limnología:**

El presente informe consolidado da cuenta del monitoreo del octavo año de la componente de biota acuática, calidad de aguas y sedimento, es decir Limnología, y su relación con la Línea de Base del Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar – SDA Minera Albemarle – Planta Salar, presentada en el documento Plan de Manejo Biótico (PMB) y el monitoreo posterior a las etapas de construcción y operación de las obras de emplazamiento de Minera Albemarle. El Plan de Manejo Biótico, corresponde a la línea base del Proyecto y constituye la referencia con la cual comparar los resultados obtenidos en el Monitoreo.

A la fecha de este informe, el monitoreo de Limnología cuenta con 16 campañas semestrales en las cuales se evalúan los subcomponentes biota acuática, calidad de aguas y sedimentos, realizadas en los periodos de agosto-noviembre de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 correspondiente a la época de invierno, y marzo-abril de 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024, correspondientes a la época de verano post lluvias. Cabe señalar que la campaña verano 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Para el sector de Peine en particular, tampoco se cuenta de las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, verano e invierno 2023 y verano 2024, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

El área estudiada se encuentra dividida en tres sectores: Sector La Punta-La Brava, que consta de cinco estaciones; Sector Tilopozo que presenta tres estaciones; y Sector Peine, que consta de seis estaciones. Las variables del subcomponente calidad de agua y sedimento, fueron evaluadas *in situ* y por un laboratorio de análisis ambientales, a través

de la toma de una muestra en cada estación. Mientras que, para la biota acuática, se tomó muestras de las distintas comunidades a evaluar y se identificó y cuantificó los *taxa in situ* o por un laboratorio de análisis taxonómico, según el subcomponente biótico.

- Calidad de Agua

En este octavo informe consolidado, los resultados del componente agua de las campañas de monitoreo de invierno 2023 y verano 2024, presentan la temporalidad de los parámetros, así como algunas diferencias respecto a su evolución en el tiempo y comparación con el registro del Línea de Base, las cuales se resumen a continuación.

La calidad de agua en el sector La Punta y La Brava en ambas campañas, presentó una alta salinidad y conductividad, asociadas a las altas concentraciones de cloruro y sulfato, junto con un pH moderadamente alcalino relacionado con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total. En laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 presentaron las mayores conductividades ( $>103.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) y en la estación LB-3, se registran los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades altas, pero menores que en LB-1 y LB-2. Las temperaturas en general fueron altas, acorde con la baja profundidad de los cuerpos de agua, registrándose los mayores valores en LB-2 y LB-3 ( $>30^\circ\text{C}$ ). Históricamente se distinguen las estaciones LB-1 y LB-2 con comportamiento distinto a los demás puntos del sector, con mayores fluctuaciones principalmente en invierno, con mayores valores para la conductividad eléctrica, el cloruro y sulfato del sector en invierno 2019 y el último invierno 2023, mientras que, los menores registros fueron detectados en invierno 2020 e invierno 2022. En laguna La Punta las variaciones en invierno han sido menores y en los veranos solo en verano 2019 se registraron altos valores referidos a sales, para posteriormente mostrar fluctuaciones moderadas. En LB-3 después del año 2021 se ha observado una disminución de las concentraciones, tanto en invierno como en verano, pero dentro de los límites de la LB.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema con menor conductividad (entre  $3.336$  y  $4.733 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad y sulfato en comparación con los otros sectores de estudio, además de un pH de neutro a moderadamente alcalino, condición esperable dada las características propias de un sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. Históricamente, los valores registrados en las estaciones TB-1 y TB-2 han sido estables, tanto en invierno como en verano, a diferencia de TB-2 que tuvo un registro más variable. Si bien las estaciones del sector se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares en TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación con la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con

que TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial con condiciones estables y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial.

Con los resultados obtenidos al octavo año de monitoreo, se puede señalar que respecto de esta variable no existen cambios en los parámetros evaluados que puedan ser asociados al proyecto. Si bien, hubo diferencias en algunos parámetros respecto a los registros de LB, tales diferencias pueden deberse a cambios propios de la variación natural de estos sistemas acuáticos salinos, dados tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar.

- Calidad de Sedimentos

La calidad de sedimentos contó con sólo una campaña de LB previa de referencia (verano 2015) para los sectores de Peine y La Punta y La Brava; mientras que para el sector de Tilopozo no hubo registros de LB respecto a la calidad de sedimentos, por lo que se cuenta con los monitoreos de verano del PMB (2017 a 2024). Estos muestran sedimentos relativamente ricos en carbono orgánico total y materia orgánica, siendo esta última aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica, además de concentraciones de fósforo variables, sin una tendencia clara de aumentar o disminuir los valores de estos parámetros, tanto temporal como espacialmente dentro de cada sector, aunque Tilopozo mostró las mayores concentraciones de fósforo. El potencial redox presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos, exceptuando en la campaña de verano 2023 en La Punta y La Brava, donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas. Las diferencias entre el actual registro y la LB estarían sujetos a la variación natural de los sistemas acuáticos que contienen sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos y yeso.

- Biota Acuática

Respecto de las variables de riqueza y abundancia de las componentes de biota acuática estas en general se encontraron dentro del rango establecido por la Línea de Base del Plan de Manejo Biótico o a la comparación entre campañas de monitoreo, exceptuando por algunos casos puntuales que se comentan a continuación. Como se mencionó el Sector Peine, no fue monitoreado en invierno 2023, ni en verano 2024, ya que, no fue posible acceder al sector, debido al cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.

Cabe destacar que en invierno 2023 y verano 2024 se observó diferencias en la abundancia, presentando altas abundancias para el fitobentos en periodo de verano e invierno las que han ido aumentando desde el verano 2021, obteniendo en invierno 2023 y verano 2024 los mayores registros a la fecha en todas las estaciones de monitoreo. Mientras que, para fitoplancton se detectaron, abundancias bajas en ambas campañas en comparación con el fitobentos, incluso con valores por debajo del límite mínimo consignado previamente en la LB, dichos registros en general fueron observados en todas las estaciones de La Brava. Por otra parte, para la riqueza en invierno 2023 en el sector La Punta y La Brava tanto para fitobentos como para fitoplancton, se registraron riquezas similares y dentro del rango de variación de la LB del PMB. En verano 2024, en tanto, las microalgas fitobentónicas registraron riquezas dentro del rango de variación de la LB, en cambio, para fitoplancton se detectaron riquezas por debajo del límite mínimo de la LB.

Para las vegas de Tilopozo, la abundancia del fitobentos desde la campaña de invierno 2020, ha ido en aumento en todas las estaciones de monitoreo y campañas, obteniendo en invierno 2023 y verano 2024 los mayores registros a la fecha. Para fitoplancton, la abundancia se ha mantenido dentro del rango de variación en relación con los monitoreos de invierno y verano anteriores.

En general, para los dos sistemas La Punta y La Brava y vegas de Tilopozo entre periodos invierno y verano se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitobentos y el fitoplancton de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), seguido de Cyanobacteria (Cyanophyceae). Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2023 y verano 2024, para ambos componentes, correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Cocconeis*, todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes hipersalinos (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009). Cabe mencionar la presencia de cianófitas en el presente monitoreo anual el cual estuvo representado principalmente por los géneros *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Chroococcus*, entre otras. Los que son cosmopolitas, y han sido determinados para el Salar de Atacama, estos *taxa* pueden colonizar variados ambientes entre ellos los halófilos, además de estar en estrecha relación con los denominados tapetes microbianos (Mirande & Tracanna 2015).

Respecto al zooplancton encontrado, en general se han registrado bajas riquezas en los sistemas monitoreados (históricamente de 0 a 6 *taxa*) y en general valores de abundancia total dentro del rango establecido por la línea base del PMB, aunque en las campañas de verano 2021, 2023 y 2024, se registraron las menores abundancias totales dentro del Plan de Manejo Biótico, tanto en la laguna La Punta y como en La Brava. En este sector, tanto en invierno como en verano han dominado los copépodos del género *Boeckella* y *Tigriopus*,

junto con *Artemia franciscana*. Los copépodos *Boeckella poopoensis* se encontraron mayoritariamente en laguna La Punta y *Artemia franciscana* en La Brava, lo que se relaciona con su nivel de tolerancia a la salinidad. En Tilopozo se observaron en general bajas abundancias totales, registrándose principalmente copépodos ciclopoideos durante invierno y dípteros quironómidos en verano. En los últimos monitoreos desde verano 2023 en adelante, si bien se registraron bajas abundancias, el zooplancton registrado en el sector de Tilopozo, correspondió a fauna compuesta principalmente por organismos bentónicos, entre ellos *Heleobia atacamensis*.

El zoobentos tanto en invierno 2023 como en verano 2024, mostró en general bajas riquezas (entre 0 y 6 *taxa*), con abundancias variables entre invierno y verano y entre los distintos sistemas. Históricamente, tanto en Peine como en La Punta y La Brava, dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros (varias familias), siendo en distintas oportunidades dominantes los dípteros Ceratopogonidae, los copépodos Harpacticoidea, los ostrácodos Cyprididae y el gasterópodo *Heleobia* sp. En el sector de Tilopozo dominó ampliamente el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano, en las estaciones que corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial. En el pajonal hídrico de baja profundidad dominaron los dípteros y *Heleobia atacamensis*. La presencia de Cochliopidae, representado por *Heleobia atacamensis* es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA), y se presume que *Heleobia* sp. corresponde a esta especie, ya que ha sido descrita en literatura para el sector de Tilopozo de forma específica (Collado et al., 2011) y registrada históricamente durante el PMB.

Respecto de las plantas vasculares acuáticas, en los dos sectores evaluados en las campañas de invierno 2023 y verano 2024, fueron detectadas 9 especies, las que correspondieron a *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa*, las gramíneas *Puccinellia frigida* y *Distichlis spicata*, *Triglochin concinna* y *Baccharis linearis*. En relación con el origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación. Las especies *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófitas *Patosia clandestina* sólo han sido reportadas en campañas de línea de base de invierno.

En invierno 2023 y verano 2024, los sectores de La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza. Cabe destacar que, en esta ocasión Peine no fue monitoreado en invierno 2023, ni en verano 2024, ya que, no fue posible acceder al sector. Históricamente, se ha observado en los sectores de Peine y La Punta - La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en porcentajes intermedios. Solo en las orillas de la laguna La Punta se reportó la presencia de la helófitas emergente *S. fruticosa*, además de

*P. frigida*, mientras que, *T. concinna* ha sido reportada desde verano 2018 a la fecha en las lagunas La Punta (LP-23) y La Brava (LB-2).

En términos temporales inviernos y veranos, el Sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* en altos porcentajes de cobertura. Otras especies detectadas en inviernos y veranos correspondieron a las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus*, *Baccharis linearis*, *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*. Cabe destacar que, *Z. palustris* durante invierno y verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las estaciones ubicadas en las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura, además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces.

Por último, cabe señalar, que las plantas vasculares acuáticas se mantuvieron más bien estables en el tiempo (periodos invierno y verano), en cuanto a riqueza y abundancias. Además, las plantas vasculares acuáticas reportadas en los sectores estudiados (Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo), correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria.

### **En relación con Área de las Lagunas:**

Este análisis se desarrolla en cumplimiento a los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en marco del Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016 que aprueba el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta – Rockwood Lithium**” (en adelante Albemarle o ALB), para el monitoreo de “Superficie Cubierta por Lagunas”.

El propósito es realizar el seguimiento de la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio de los Sistemas Lagunares: (1) La Punta - La Brava y (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes de alta resolución del sensor Pleiades - 1A y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8, obtenidas en invierno y verano, correspondientes a los meses de agosto y diciembre 2023.

Las etapas metodológicas empleadas durante la campaña y análisis correspondieron a: i) trabajo de revalidación estacional (*in situ* o fotointerpretativas) de puntos de monitoreo registrados en la campaña de invierno 2023 y verano de 2023/2024, y anteriores, clasificando el recubrimiento de suelo en dichos puntos como “*cuerpos de agua*” u “*otros*”

*recubrimientos*”; ii) obtención y procesamiento de las imágenes satelitales en forma paralela a las campañas de terreno; iii) desarrollo y validación del modelo de clasificación supervisada, para determinar umbrales de clasificación de los parámetros espectrales NDWI, NDVI, NIR, Transformación *Tasseled Cap* “*Wetness*” y Algebra de bandas espectrales en alta resolución; seguido por una depuración cartográfica, obteniendo de esta forma las coberturas de lagunas por sector.

**Los valores de ajuste se obtuvieron mediante el índice *Kappa*<sup>6</sup>**, este índice tuvo una variación entre 0,56 y 0,52 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,75 y 0,41 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2023. Respecto de diciembre de 2023, este índice tuvo una variación entre 0,62 y 0,46 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,72 y 0,57 para imágenes de resolución media Landsat 8. Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a considerable*<sup>7</sup>.

**Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución**, en invierno de 2023 correspondieron a: (1) 45,5 ha en La Punta - La Brava, (2) 29,4 ha en Peine; y para verano de 2023/2024 las superficies son: (1) 26,6 ha en La Punta - La Brava, (2) 22,0 ha en Peine.

**Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de media resolución**, en invierno de 2023 correspondieron a: (1) 39,4 ha en La Punta - La Brava, (2) 62,2 ha en Peine; y para verano de 2023/2024 las superficies son: (1) 28,8 ha en La Punta - La Brava, (2) 26,9 ha en Peine.

**En relación con el análisis comparativo entre las imágenes satelitales**, La correlación entre las superficies calculadas a partir de imágenes de alta resolución (Pleiades 1-A) y de media resolución (Landsat), evaluada mediante el coeficiente de correlación de Pearson, revela una relación positiva en los sectores. Los valores de *p* indican que hay evidencia estadística significativa de la asociación entre las superficies asociadas a Pleiades y Landsat. Este análisis indica que en los sectores existe una conexión entre los resultados obtenidos de imágenes de alta resolución y media resolución. Las principales disparidades se atribuyen a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, estas generan modelos con bordes menos definidos en comparación con los modelos de alta resolución,

<sup>6</sup> El Índice *Kappa* corresponde a una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas). Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

<sup>7</sup> Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

que presentan una mayor nitidez en los contornos de los recubrimientos debido a la mejora del contraste y la respuesta espectral. A pesar de las diferencias en la magnitud de los valores, se observa una relación directa, es decir, valores altos en una variable se corresponden con valores altos en la otra, y viceversa para valores bajos.

**En relación con la evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie semestral PSAH), superficies históricas serie Adenda 5 RWL (1972 – 2014) y serie complementaria 2016 – 2023, se tiene que** las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2023, como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, en los sectores de estudio, tanto en las superficies de invierno y verano. En todos los sectores de estudio se observa que la máxima extensión de la superficie de los cuerpos de agua se presenta en los meses de invierno, con registros más bajos en verano. En general, se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies en la condición de invierno, donde por ejemplo en el sistema La Punta – La Brava, las diferencias entre superficies de inviernos y veranos ha disminuido y se ven acortadas hasta la fecha actual.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados obtenidos en los informes semestrales también con imágenes de media resolución Landsat, en el contexto del PMB se atribuyen a diversos factores, entre ellos se pueden mencionar: el fortalecimiento de la metodología de procesamiento de imágenes; la incorporación de otros índices espectrales para abordar zonas con combinación de recubrimientos, como la intersección entre vegetación y agua; la validación en terreno; a la calibración efectiva del modelo de clasificación, basándose en las observaciones de campo; y al análisis visual, que sin duda desempeña un papel importante al contribuir a la depuración precisa de los límites de los cuerpos de agua.

En particular, la validación en terreno implementada en el marco del PMB ha permitido, por ejemplo, mejorar la delimitación en el subsector Laguna Interna, un proceso que no fue considerado en la metodología NDWI-Landsat histórica. Esto explica la detección de áreas de transición que no son captadas en su totalidad por la metodología NDWI-Landsat, generando diferencias en la estimación de las superficies entre ambos métodos.

**En relación con la evolución y variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución,** se observan cambios importantes en las superficies lagunares para el sector La Punta – La Brava, especialmente durante los meses de verano, donde hasta diciembre de 2019, las superficies superaron los valores históricos, pero a partir de 2020, se han situado por debajo. La relación entre precipitaciones y superficies no es del todo directa, y la variabilidad intranual juega un papel importante. En Peine, se observa variabilidad estacional en las superficies lagunares, con diferencias entre áreas de invierno

y verano. Las precipitaciones no siempre se correlacionan con variaciones en las superficies, y la evapotranspiración influye en la respuesta del sistema.

En general, la variabilidad estacional de las lagunas se ve influida por múltiples factores, y la relación entre precipitaciones y superficies no es directa en los sectores. La evapotranspiración emerge como un factor importante en la dinámica de estos sistemas lagunares.

### **En relación con Nivel Freático en Lagunas:**

Se realizó la medición del nivel freático en los cinco (5) puntos distribuidos en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava (3) y Peine (2), que conforman el monitoreo de niveles del PMB, con una frecuencia de medición mensual, para el periodo comprendido entre los meses de **abril 2023 a marzo 2024**.

La metodología continúa siendo la misma descrita en los informes anuales previos: en cada punto de monitoreo se mide la profundidad del agua manualmente, utilizando un pozómetro. La medición se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro somero (barrenos BA), que corresponde al collar del brocal de este. La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro se obtiene restando la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

Si bien, la frecuencia regular de medición de los puntos de monitoreo es mensual, durante el periodo abril 2023 a marzo 2024, esta se desarrolló de manera quincenal en ciertos períodos. Lo anterior se verificó durante los meses de abril y mayo de 2023, debido al aumento de frecuencia producto de la activación del PAT del Sector Alerta Acuífero en enero de 2023, correspondiente al Seguimiento Ambiental Hidrico (PSAH). Adicionalmente, el monitoreo presentó frecuencia quincenal entre septiembre de 2023 y febrero de 2024. En el caso del mayor número de registros de medición durante septiembre, esto se debió a que la Comunidad Atacameña de Peine no permitió desarrollar el monitoreo del mes de agosto, por lo que durante los primeros días del mes de septiembre se desarrolló un monitoreo para caracterizar la condición del mes previo. Respecto a la mayor frecuencia de medición entre octubre de 2023 y febrero de 2024, esta fue consecuencia de la activación de la Fase 1 del PAT Núcleo y del PAT Sector Alerta Acuífero en este periodo. Cabe señalar que la medición con frecuencia quincenal asociada a esta última comenzó, de manera preventiva, antes de la activación del PAT.

Todos los casos de activación de PAT antes mencionados fueron informados a la Autoridad mediante las cartas **ALB-GMA-2023-SMA-007**, **ALB-GMA-2023-SMA-051**, **ALB-GMA-2023-SMA-066** y **ALB-GMA-2023-SMA-008**, las cuales son presentadas en el Anexo Cartas, Actas y Programaciones del presente Informe.

Como se indicó de manera previa, es importante destacar que durante el mes de agosto de 2023 no se tuvo acceso para el registro de niveles en ninguno de los puntos de monitoreo, puesto que la Comunidad Atacameña de Peine no permitió realizar actividades de monitoreo incluidas en los planes de seguimiento comprometidos en la RCA N°21/2021. Lo anterior se encuentra respaldado en las cartas ALB-GMA-2023-SMA-043 y ALB-GMA-2023-SMA-048, fechadas los días 1 de septiembre de 2023 y 14 de septiembre de 2023, las cuales se adjuntan en el Anexo Cartas, Actas y Programaciones de este Informe.

Adicionalmente, en el caso del monitoreo del Sistema Peine (pozos BA-21 y BA-22), no fue posible medir entre noviembre de 2023 y marzo de 2024 (ambas fechas inclusive), debido a que la Comunidad de Peine cerró el ingreso a las lagunas, dada la época de reproducción de flamencos. Esto se encuentra respaldado mediante carta enviada por la Presidenta del Directorio de la Comunidad Atacameña de Peine, fechada el 2 de noviembre de 2023 (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Adicionalmente,

Respecto a los resultados obtenidos del análisis de la variación del nivel freático en los pozos del **Sistema La Punta - La Brava**, los tres (3) pozos evaluados (BA-05, BA-07 y BA-16) presentan una dinámica coincidente, mostrando variación estacional, con registros máximos en invierno y mínimos en verano, y una tendencia al descenso al considerar todo el período con información (2013 – 2024). Si bien la tasa de profundización del nivel freático se ha reducido en los últimos años en los pozos BA-05 y BA-07, en ambos se registraron durante enero de 2024 los valores mínimos de todo el período con información. En el caso del pozo BA-16, los registros fueron similares a los de los últimos años, y si bien el mínimo anual del período de verano fue inferior (más profundo) que el del año anterior, fue superior a los medidos en los años previos, desde 2019 en adelante.

Para el **Sistema Peine**, no se cuenta con información para el período de evaluación anual, debido a que entre noviembre de 2023 y marzo de 2024 no hubo autorización por parte de la Comunidad de Peine para ingresar a realizar mediciones en los pozos del sector (BA-21 y BA-22). Esto limita el análisis temporal, en particular de la variabilidad de los registros del período de verano (para los que no se cuenta con información desde el año 2021), el que debe ser realizado con los registros obtenidos entre abril y octubre de 2023. Sin perjuicio de la falta de información, cabe destacar que los escasos datos medidos en el período se encuentran dentro del rango de variación de los registros históricos previos, con la excepción del pozo BA-21, el valor mínimo de abril - octubre de 2023 fue inferior al registro mínimo del período previo al inicio del Proyecto.

Finalmente, es importante tener en consideración que el período con registros previos al inicio del Proyecto se extiende por solamente 3 años (mayo 2013 – marzo 2016), en dos de los cuales se presentaron eventos de alta intensidad de precipitación (2013 y 2015). De este modo, el nivel freático de dicho período, considerado como referencia, está influenciado y podría ser representativos de dichas condiciones particulares.

## 2 INTRODUCCION

El presente informe corresponde al Octavo Informe Anual de Monitoreo o Seguimiento del **Plan de Manejo Biótico (PMB)**, comprometido en el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta**” de Albemarle, aprobado por Resolución de Calificación Ambiental (RCA) mediante **RCA N° 21 de fecha 20 de enero del 2016**.

El proyecto, se encuentra ubicado en Región de Antofagasta, Provincia de El Loa, comuna de San Pedro de Atacama, en el borde sur del Salar de Atacama, a 27 kilómetros al oriente de la localidad de Peine, a una altura geográfica aproximada de 2.300 m s.n.m. en el área denominada Núcleo del Salar, la cual corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales. Esta es el área de estudio para el seguimiento de las componentes Biota, Agua y Suelo declaradas en la RCA 21/2026.

Albemarle inició sus campañas del PMB en agosto de 2016, en etapa de Construcción, previo al inicio de operaciones<sup>8</sup>. A partir de diciembre 2016, se realizan las campañas semestrales en etapa de operación del proyecto, las cuales se continúan ejecutando a la fecha. El objetivo de este Informe es entregar los resultados del Monitoreo Biótico Anual N°8, para cada una de las variables o subcomponentes que involucra el PMB, en su frecuencia y métodos correspondientes de medición, para con ello realizar el análisis de este seguimiento de cada una de las variables bióticas involucradas. Junto con lo anterior, como objetivo también está el detectar tempranamente cualquier cambio en su estado ecológico, como consecuencia de fenómenos locales, regionales y/o globales.

El área de estudio del PMB se presenta en la **Figura N° 2-1** se incluye para todas las variables, los sectores de:

- 1) Sistema La Punta y La Brava, conformado por las lagunas La Punta y La Brava.
- 2) Sistema Peine, constituido por las lagunas Salada, Saladita e Interna, y
- 3) Sistema Tilopozo, constituido por las vegas de Tilopozo.

Sólo para la componente vegetación y flora, abarca además de los anteriores, otros 2 sectores ubicados en la zona Norte y Este del Salar (sectores de Soncor y Quelana):

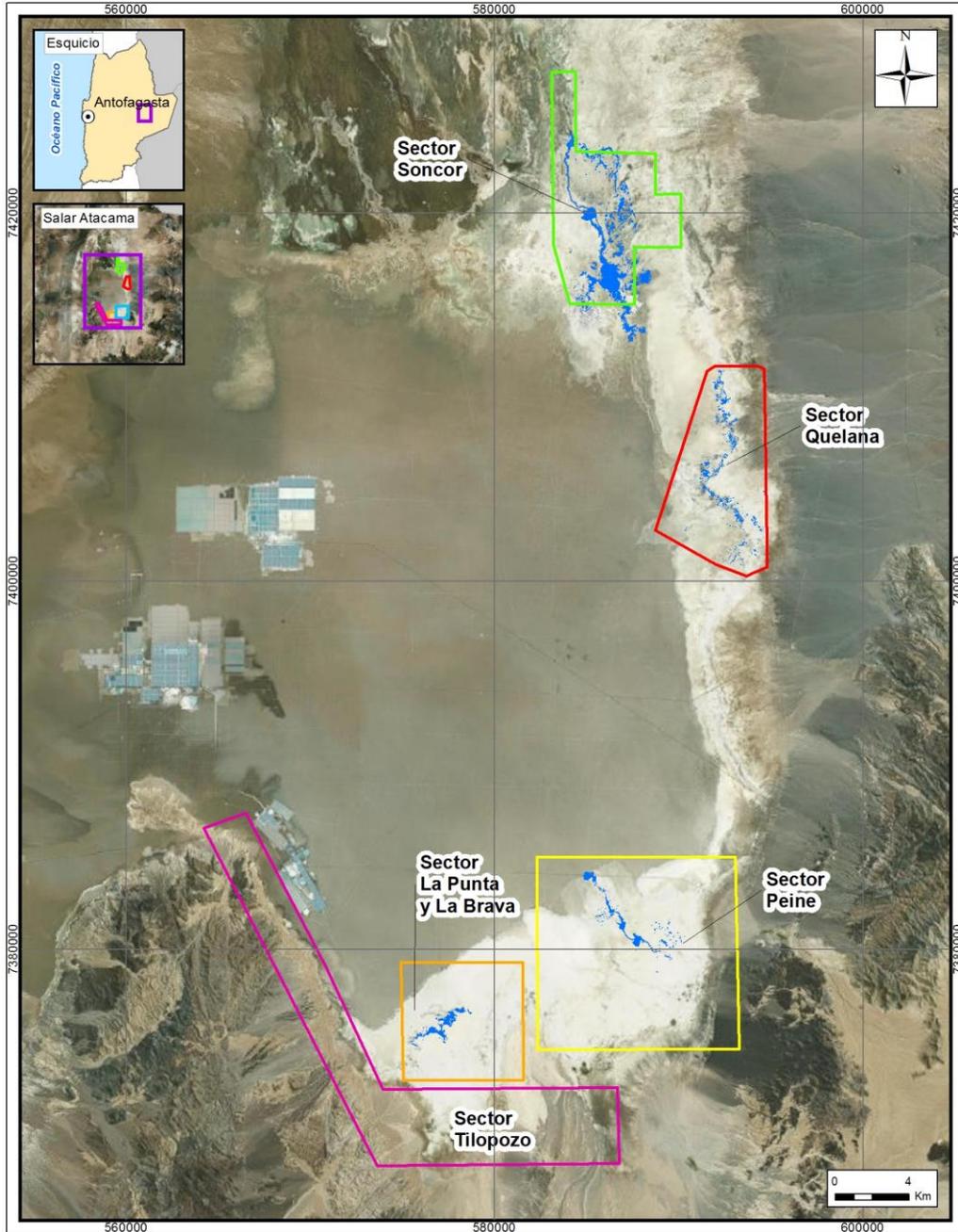
- 4) Sistema Soncor (\*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
- 5) Quelana (\*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

(\*) Los sectores de Soncor y Quelana, obedecen a lo indicado en el informe de Monitoreo de Vegetación, “Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016”, aprobado a través de Ord. SAG

<sup>8</sup> Rockwood Lithium (Actualmente Albemarle Limitada) dió inicio formal a la etapa de operación del proyecto el 28 de septiembre 2016, mediante carta a la Superintendencia de Medio Ambiente una semana antes, fechada el 21 de septiembre de 2016.

N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

**Figura N° 2-1. Delimitación de las Áreas de Estudio del Plan de Manejo Biótico**



Fuente: Elaboración Propia

En este documento se analizan las variables y los parámetros monitoreados o medidos en el marco del Plan de Seguimiento Biótico, a las componentes y subcomponentes definidas en el PMB (Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto).

El presente Informe Anual N°8 da cuenta de las campañas de invierno 2023 (tardío) y verano 2023-2024, las cuales se desarrollaron respectivamente durante el mes de agosto, octubre y noviembre del 2023 (**campana invierno tardío – M15**); en el mes de diciembre del 2023 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-mayo del 2024 (**campana verano – M16**). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2023 a marzo 2024.

Las variables comprometidas corresponden a: Flora y Vegetación; Fauna Vertebrados Terrestres; Tapetes microbianos; Suelo o Sustrato; Limnología, Calidad de Aguas y Sedimento; Área de Lagunas; y Nivel Freático en Lagunas. El monitoreo para la mayoría de las variables es de frecuencia semestral y anual (vegetación NDVI) y mensual en el caso de niveles freáticos en lagunas.

Para efecto de entregar un contexto inicial, se debe señalar que para la campaña correspondiente a **Invierno 2023 (Monitoreo M15)** no fue posible realizar la totalidad de las actividades semestrales de monitoreo PMB en estacionalidad de invierno programadas para el mes de agosto 2023, debido a que hubo restricción de acceso al territorio parte de Comunidad de Peine. Lo anterior, fue informado a la autoridad, mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-043 y ALB-GMA-SMA-2023-048 fechadas los días 1 de septiembre de 2023 y 14 de septiembre de 2023 (Ver detalles de lo anterior, en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

La campaña de monitoreo estaba programada originalmente para iniciar el **08 de agosto 2023 (área de lagunas) y entre el 15 y 30 de agosto 2023 el resto de las componentes bióticas**. La campaña fue reprogramada para septiembre y octubre, sin embargo, la restricción de acceso al territorio se mantuvo. Finalmente, se pudo llevar a cabo las actividades de monitoreo recién a fines de octubre y durante el mes de noviembre 2023 (**Ver Cartas y Registros en Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). En la **Tabla N° 2-1** se presenta un resumen de las fechas de intento de campaña y fecha final ejecutada en cada una de las variables.

Cabe indicar que al menos, los monitoreos programados y autorizados para agosto 2023 en la Reserva Nacional Los Flamencos (sector Soncor y Aguas de Quelana) por parte de CONAF, se realizaron sin inconvenientes, ya sea acompañados de personal de CONAF y/o veedores de la Comunidad de Toconao. Estas fechas corresponden a la actividad de validación *in situ* de Área de Lagunas, los días 10 y 11 de agosto 2023, y monitoreo de Vegetación y Flora (COT-Transectas) el día 23 de agosto 2023.

**Tabla N° 2-1. Fechas de intento inicial de Campañas PMB Invierno 2023, señalando restricciones de acceso al territorio Peine y fechas finales de ejecución de campañas por componente. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas.**

Componentes /	1era fase	2da fase			3era fase	4ta fase
Terrenos	08/11 ago	25/29sept	08/13 oct	24/28 oct	07/09 Nov	22/26 nov
Superficie Lagunas	✓ (Con restricción de acceso a sector La Punta – La Brava y Peine)	-	-	-	-	-
Fauna de Vertebrados Terrestres	<u>Restricción</u>	-	-	✓ (Con restricción a laguna Salada de Peine)	-	-
Suelos o sustrato	<u>Restricción</u>	-	-	✓	-	-
Biota acuática (limnología, calidad de aguas y sedimento)	<u>Restricción</u>	-	<u>Restricción</u>	<u>Restricción</u>	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-
Tapetes microbianos	<u>Restricción</u>	-	<u>Restricción</u>	<u>Restricción</u>	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-
Vegetación (COT-NDVI) y flora (Transectas)	✓ (Ingreso solo a sector CONAF; Con restricción de acceso a sector Peine)	Restricción	-	<u>Restricción</u>	<u>Restricción</u>	✓ (Con restricción de acceso a sector La Punta) (No se logra realizar transectas T11 y T12)
Niveles Freáticos en Lagunas	<u>Restricción</u>	-	-	-	-	-

En cuanto a las fechas (Tabla N° 2-1), por una parte, la primera fase inició con el componente de **Área de Lagunas** cuya campaña de validación en terreno se realizó entre

los días **08 al 11 de agosto de 2023**. La segunda fase, consideró la solicitud de reprogramación del componente vegetación y flora entre el **25 al 29 de septiembre** y de biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento) entre el **08 al 13 de octubre**, las que no pudieron ser llevadas a cabo por restricción de acceso por parte de la comunidad de Peine. En esta fase solo pudo llevarse a cabo las actividades de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres y suelos o sustrato** cuya campaña pudo ser llevada a cabo entre el **24 al 28 de octubre de 2023**. La tercera fase correspondió a la reprogramación de la campaña de monitoreo de **biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento)** la que fue realizada entre el **07 y 09 de noviembre de 2023**. Finalmente, la cuarta fase, consideró al componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, cuya campaña que se había iniciado en agosto 2023 (solo sector CONAF) pudo ser culminada entre los días **22 y 26 de noviembre de 2023**, cubriendo el sector sur que no pudo ser levantado en agosto 2023 (Sector Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo). En cuanto al componente **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde abril a septiembre de 2023.

Tal como se observa de la **Tabla N° 2-1**, existieron restricciones puntuales para cada componente. Se puede comentar que para la campaña de invierno (agosto 2023) del componente **Superficie o Área de Lagunas**, no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector de lagunas de Peine y sector La Punta y La Brava debido a las restricciones de acceso a estos sectores, reduciendo las posibilidades de validación a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose como ya se indicó previamente realizar validación en terreno en la Reserva Nacional Los Flamencos (Soncor – Quelana), dado que no presentaba restricciones de acceso (**ver Anexo Área de Lagunas**).

Por su parte para esta campaña semestral Invierno 2023 (tardía), respecto al componente **fauna terrestre**, debido a restricciones de acceso (por época de reproducción de flamencos), no se pudo acceder a los puntos S5 y FS1, correspondientes a la laguna Salada, por lo que se efectuaron solo 23 de los 25 puntos totales (Ver registro en **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**). **Con respecto a lo anterior se pone en evidencia que la restricción de acceso a las lagunas de Peine, afectan los alcances para los análisis de la evolución de las especies de aves acuáticas, sobre todo para el sistema Peine, que es el que aporta los mayores valores de abundancia de aves en el salar, sobre todo para el seguimiento de las poblaciones de flamencos.**

**Para los componentes limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas (por época de reproducción de flamencos), argumentando, por parte de la Comunidad de Peine, como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos

presentes en estos cuerpos de agua (**Ver en Anexo Cartas, Actas y Programaciones Carta por cierre de lagunas en noviembre**).

Por esta razón, para esta campaña Invierno 2023, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Por otra parte, el componente **Vegetación y Flora**, por restricciones de acceso antes mencionado, debido a la presencia de aves en las lagunas, quedaron sin muestreo en esta campaña de invierno tardío (noviembre) dos transectas del sector de La Punta (T11 y T12) (ver registro en **Anexo Vegetación y Flora**).

Finalmente, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, durante el mes de agosto no se tuvo acceso para el registro de niveles en ninguno de los puntos de monitoreo, puesto que la Comunidad Atacameña de Peine no permitió realizar actividades de monitoreo incluidas en los planes de seguimiento comprometidos en la RCA N°21/2021 del “Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación en el Salar de Atacama” **Ver Cartas y Registros en Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

**En relación con lo anteriormente señalado, es muy relevante destacar que la imposibilidad de acceso a los sectores establecidos por RCA21/2016 para el monitoreo del PMB, afectan la posibilidad de análisis de la evolución de las especies al imprimir un sesgo en los resultados producto de la falta de información. Se considera muy importante poder contar con el acceso a todas las zonas del área de estudio, por un lado, para poder realizar todos los puntos comprometidos, y por otro, para poder hacer seguimiento de manera adecuada a la evolución de las componentes bióticas en el tiempo.**

Para el caso de la **Campaña Semestral Verano 2024 (M16)** de monitoreo de componentes bióticas, esta fue realizada en 4 fases. Por una parte, la primera fase considera el componente de **Área de Lagunas** cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días **12 al 15 de diciembre de 2023**. La segunda fase, corresponde a la campaña de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres, biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento) y suelos o sustrato**, la que se desarrolló en terreno entre el **12 y 15 de marzo de 2024**, en estacionalidad de verano. Por otra parte, la tercera y cuarta fase considerando el componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, fue llevada a cabo el día **12 de abril de 2024** para los puntos de monitoreo ubicados en el área de la Reserva Nacional Los Flamencos (Soncor y Aguas de Quelana), y entre los días **02 y 06 de mayo 2024** para los puntos ubicados en territorio Peine, ambas fechas considerables dentro de temporada de post-lluvias de verano tardío para el área de estudio.

Al respecto, cabe comentar que para el caso del monitoreo de vegetación y flora, el monitoreo estaba programado originalmente para realizarse entre el **09 al 15 de abril 2024**.

Sin embargo, esta debió llevarse a cabo en dos campañas de terreno, debido que la comunidad de Peine suspende temporalmente la actividad en su territorio (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

De acuerdo con lo anterior, el muestreo de verano de vegetación y flora se tuvo que realizar particionado, restringiéndose a un día efectivo de muestreo el día **12 de abril de 2024**, realizando el levantamiento de las transectas de flora y validación COT únicamente en el sector de la Reserva Nacional Los Flamencos de CONAF (Soncor y Aguas de Quelana).

Posteriormente se solicitan fechas para reprogramación entre el **23 al 29 abril**, pero la comunidad de Peine argumenta que no tiene disponibilidad para apoyar el monitoreo de vegetación y flora en esas fechas (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Se logra finalmente una segunda campaña de verano post-lluvia en etapa tardía, para poder completar el levantamiento de vegetación y flora en los sectores de la zona sur del área de estudio (Peine, La Punta y La Brava y Tilopozo), la que fue realizada entre los días **02 al 06 de mayo de 2024** con apoyo de la comunidad de Peine.

En la **Tabla N° 2-2** se presenta un resumen de las fechas de intento de reprogramación de la Campañas PMB Verano 2024 y fecha final ejecutada en cada una de las variables.

**Tabla N° 2-2. Fechas de intento inicial de Campañas PMB Verano 2024, señalando restricciones de acceso al territorio Peine, esfuerzos de reprogramación y fechas finales de ejecución de campañas por componente. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas.**

Componentes /	1era fase	2da fase	3era fase	4ta fase	
	12/15 dic 2023	12/15 mar 2024	09/15 abr 2024	23/29 abril 2024 (Reprogramación)	02/06 mayo 2024
<b>Superficie Lagunas</b>	✓ (Con restricción de acceso a lagunas Peine)	-	-	-	-
<b>Fauna de Vertebrados Terrestres</b>	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine y suspensión de muestreos nocturnos)	-	-	-
<b>Biota acuática (limnología, calidad de aguas y sedimento)</b>	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine) ✓	-	-	-

Componentes /	1era fase	2da fase	3era fase	4ta fase	
	12/15 dic 2023	12/15 mar 2024	09/15 abr 2024	23/29 abril 2024 (Reprogramación)	02/06 mayo 2024
<b>Tapetes microbianos</b>	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-	-	-
<b>Suelos o sustrato</b>	-	✓	-	-	-
<b>Niveles Freáticos en Lagunas</b>	✓ (Con restricción a lagunas de Peine periodo nov 2023 – mar 2024; sólo con datos para el mes de octubre 2023 en Sector Peine)	-	-	-	-
<b>Vegetación (COT-NDVI) y flora (Transectas)</b>	-	-	✓ (Con restricción a territorio Peine; sólo se logra monitorear en sector CONAF el 12 de abril; se solicita reprogramación entre el 23 al 29 de abril)	Se mantiene restricción de acceso a territorio Peine	✓

En cuanto a **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde octubre 2023 a marzo 2024.

Cabe indicar que para esta campaña semestral Verano 2024, respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por indicación de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Por esta razón, para esta campaña Verano 2024, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Respecto a la campaña de monitoreo del componente **Área de Lagunas**, cabe señalar igualmente que no fue posible realizar actividades de validación *in situ* en el sistema lagunar

de Peine (lagunas Salada, Saladita e Interna), ya que se presentaron por parte de la Comunidad de Peine, medidas de restricción de acceso que no permitieron el ingreso a las lagunas (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Por su parte los cuerpos de agua del sector La Punta – La Brava pudieron ser completamente validados *in situ* mediante la toma de puntos de monitoreo con receptor GNSS/GPS y por levantamiento aerofotogramétrico del área para posterior fotointerpretación de imagen dron UVA.

Por el mismo motivo, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a lagunas de Peine a partir de noviembre de 2023 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta marzo 2024. Esto implica que se cuenta sólo con datos para el mes de octubre 2023 este semestre para el análisis de niveles en esos barrenos (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Cabe complementar a lo anterior, a modo de recordatorio, que el Monitoreo N°8 de verano 2020, no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales establecidas por la autoridad de salud, en el marco del inicio de la Pandemia Covid-19. Por este motivo, en los análisis comparativos de estaciones de verano del presente informe semestral, no figura información para dicha campaña estival, con excepción de las componentes Área de Lagunas (que se hace a través de imágenes satelitales); Nivel Freático en Lagunas; y para la variable Superficie de Vegetación Activa NDVI del componente Vegetación y Flora.

Por otra parte, desde el año 2021 a la fecha, las campañas de verano en el sector de lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), se encuentran incompletas debido a las restricciones de acceso establecidas por la Comunidad de Peine al área, situación que afecta significativamente los resultados del monitoreo PMB y los propios objetivos de seguimiento ambiental en este sector, debido a que la carencia estacional de datos redundante en que no sea posible comparar entre la condición de Línea de Base y la evolución de las componentes afectadas, debido al sesgo temporal cada vez mayor en la información levantada en los monitoreos respecto de sus parámetros de referencia, este caso especialmente para veranos.

**En relación con lo anteriormente señalado, es muy relevante destacar que la imposibilidad de acceso a los sectores establecidos por RCA21/2016 para el monitoreo del PMB, afectan la posibilidad de análisis de la evolución de las variables evaluadas a nivel de especies al contribuir con un sesgo en los resultados producto de la falta de información. Se considera muy importante poder contar con el acceso a todas las zonas del área de estudio, por un lado, para poder realizar todos los puntos comprometidos, y por otro, para poder justamente hacer seguimiento de manera adecuada de la evolución de las componentes bióticas en el tiempo.**

El PMB definido en el Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, establece para las componentes de Biota, Suelo y Agua el seguimiento de: flora y vegetación terrestre, flora y fauna acuática, calidad de agua, fauna terrestre, lagunas, entre otros, siguiendo los criterios establecidos

en la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA-SAG-DGA, 2011).

La **Tabla N° 2-3** presenta resumidamente todos los componentes y subcomponentes de las variables comprometidas, así como frecuencia y estaciones a monitorear en cada campaña, de acuerdo con lo establecido en el PMB y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto de fecha 20 de enero del 2016, RCA 21/2016.

**Tabla N° 2-3. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo con el Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016.**

Componente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Número Estaciones PMB	Estaciones adicionales	Número de Estaciones Totales
Biota	Flora terrestre	Semestral	Composición y cobertura de especies	31*	-	31*
	Vegetación terrestre	Semestral/ Anual	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	59**	9**	68**
	Fauna Terrestre	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia	16	9	25
	Flora y Fauna acuática (**Limn)	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	12	2	14
	Tapetes microbianos	Semestral	Caracterización de tapetes / Presencia evaporitas y microbialitos	10	6	16
Suelo	Sustrato	Semestral	Físicas y Químicas	14	-	14
	Sedimento (****Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
Agua	Calidad de agua (**Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
	Lagunas	Mensual	Nivel freático lagunas	5	-	5
	Lagunas	Semestral	Superficie cuerpos de agua	No aplica	No aplica	No aplica

\*: Definición de puntos de transectas en levantamiento inicial de Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016. Modifica código, cantidad y ubicación de puntos de monitoreo establecidos originalmente para componentes vegetación-suelos en PMB (2015).

\*\* : Estos 68 puntos de monitoreo corresponden a puntos de validación semestral de la COT del área de estudio en campaña Verano 2024 . El número efectivo de puntos de monitoreo para validación COT corresponde al total de 59 puntos de monitoreo COT previamente definidos en campañas anteriores, más 9 puntos adicionales de monitoreo COT (un punto adicional que se levantó en el monitoreo M7 en invierno de 2019; y ocho puntos adicionales incorporados a partir del monitoreo M12 de Verano 2022 para actualizar la cartografía de vegetación, los que se han replicado en el seguimiento de la vegetación hasta el monitoreo Verano 2024).

\*\*\* Limn = variables que se reportan dentro de capítulo de Limnología. Flora y fauna acuática, aun cuando corresponden a la componente Biota se reportan dentro del capítulo de Limnología, que abarca tanto la biota acuática, como calidad de agua y sedimentos.

\*\*\*\*: Sedimentos si bien pertenece al componente Suelo, éste se reporta en capítulo de Limnología, que abarca tanto la biota acuática, como calidad de agua y sedimentos.

Dentro de las variables establecidas en el PMB, algunas de éstas fueron definidas durante la evaluación del proyecto como variables de estado, esto es, elementos indicadores de cambio del estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonal) y acuáticos.

Estos sistemas están constituidos por lagunas; en dichos sistemas, ciertas condiciones de humedad en el área circundante permiten el desarrollo de ecosistemas de vegas. Por tanto, las lagunas y los ecosistemas azonales, cuya estructura está determinada principalmente por el desarrollo de vegetación azonal dependiente de los niveles de humedad y salinidad del suelo, son el foco de seguimiento de este Plan de Manejo Biótico, por su condición de dependencia de los niveles de agua de los acuíferos, constituyendo así, elementos importantes de dar seguimiento para detectar tempranamente cualquier cambio.

El estado ecológico, de acuerdo con lo establecido en el PMB, se evalúa en términos de tres variables de estado: (1) nivel freático, (2) vegetación azonal<sup>9</sup>, y (3) superficie de las lagunas, las cuales se analizan en el **capítulo 13.8** de este informe.

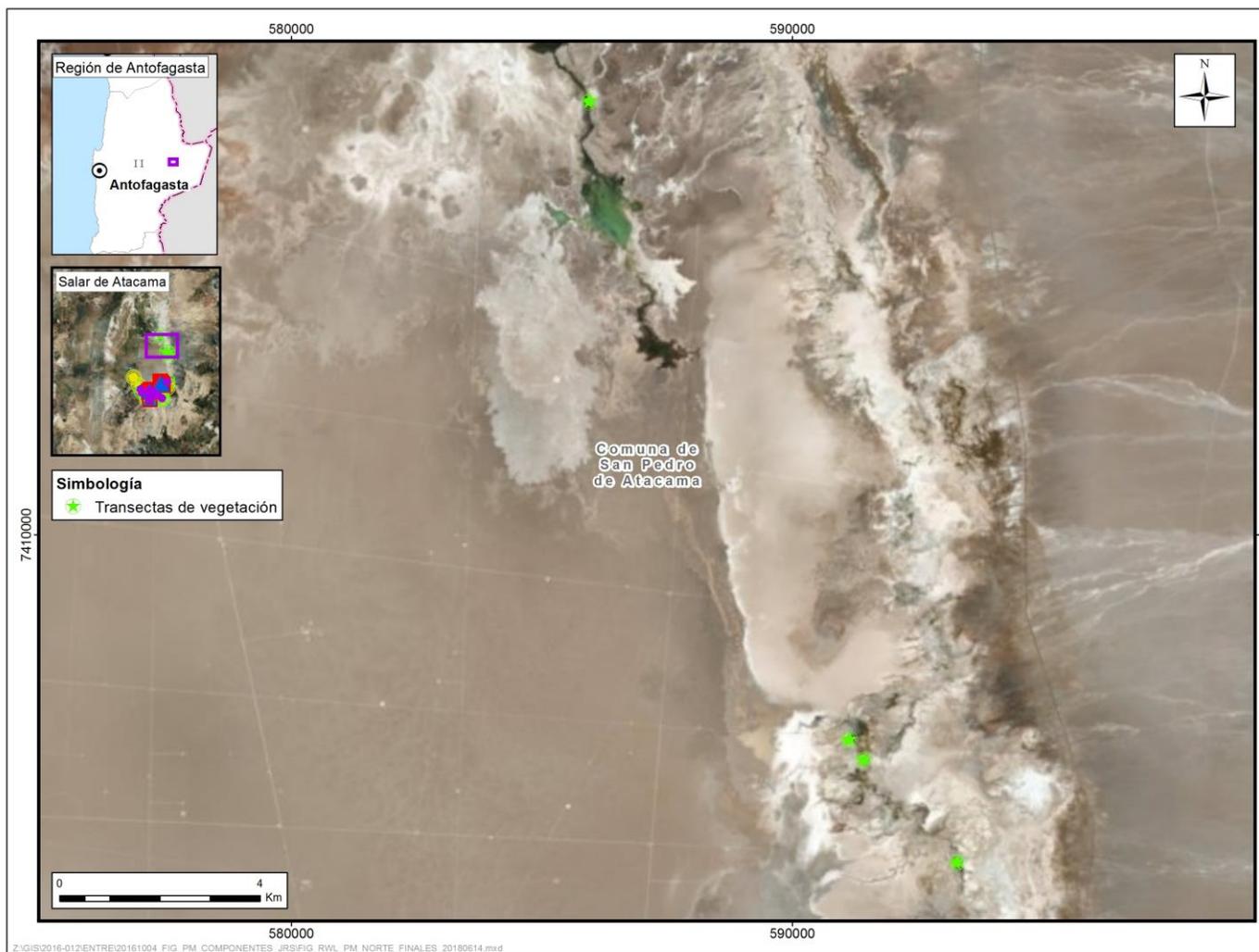
Adicionalmente a lo establecido en el PMB y en la RCA, y con el objetivo de dar cumplimiento a cabalidad a la detección temprana de algún potencial cambio en las distintas variables del seguimiento, **se han sumado al monitoreo del PMB voluntariamente nuevas estaciones que permitan mejorar la representatividad**, por ejemplo, de hábitats. Dichas incorporaciones han sido realizadas por el equipo experto que apoya la ejecución de estas campañas de seguimiento y ya han sido reportadas e informadas previamente desde el Informe Anual N°1 del PMB en adelante (**Tabla N° 2-3**, campo estaciones voluntarias).

En la **Figura N° 2-2** y **Figura N° 2-3**, se puede observar la distribución final de los puntos de monitoreo por cada subcomponente en el área de estudio.

---

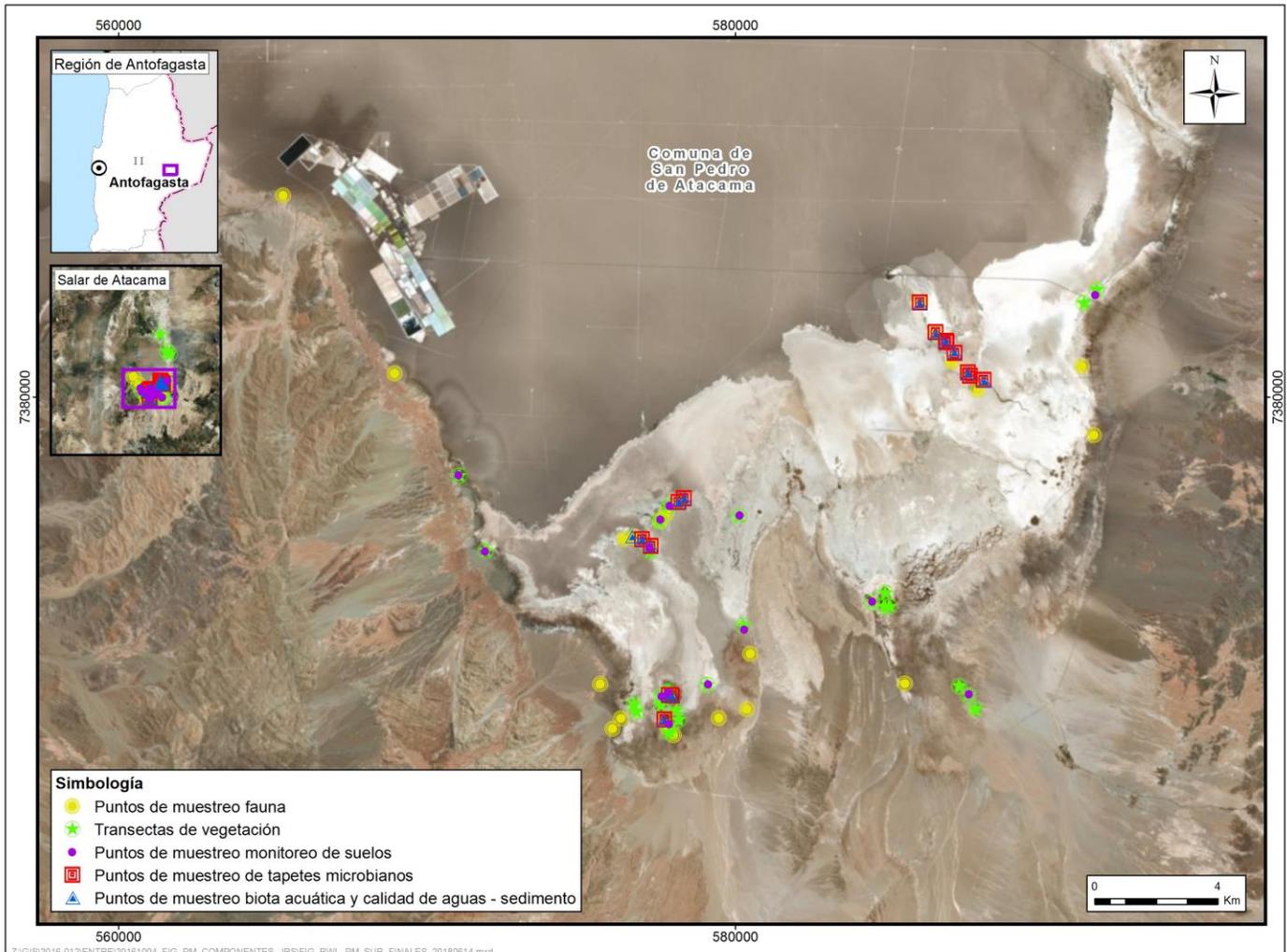
<sup>9</sup> La definición de puntos de transectas de vegetación azonal, para la subcomponente de flora terrestre, se realiza en levantamiento previo realizado en terreno en el mes de julio de 2016, denominado en adelante "Monitoreo Base 0 – MBO" (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016, según lo establecido por el informe de "Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado por el SAG a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL.

**Figura N° 2-2. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal)**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 2-3. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio.  
 Área Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo**



Fuente: Elaboración Propia

Es importante indicar que, como estructura de informe, **cada subcomponente con sus variables se presenta en un capítulo específico**, reportando las fechas de campaña, el área de estudio particular, estaciones, parámetros de evaluación, entre otros, siguiendo el formato establecido en la **Resolución Exenta 223/2015** de la Superintendencia de Medio Ambiente.

En la **Tabla N° 2-4** se identifican los responsables y ejecutores de las mediciones, muestreo y/o análisis realizados en las campañas de invierno 2023 y verano 2023-2024 reportadas en el presente informe consolidado anual, de acuerdo con las variables y/o parámetros

correspondientes. En **Anexo Responsables y Participantes de las actividades de muestreo** se presenta los responsables de cada componente.

**Tabla N° 2-4. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis**

Subcomponente	Variable	Medición	Muestreo	Análisis
Flora terrestre	Composición y cobertura de especies	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Vegetación terrestre	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Fauna terrestre	Composición, Riqueza y Abundancia	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Flora y fauna acuática	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Limnológica Estudios Ambientales EIRL
Tapetes microbianos	Caracterización de tapetes	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Limnológica Estudios Ambientales EIRL
Sustrato	Físicas y químicas	Cedrem Consultores / ANAM S.A.	Cedrem Consultores / ANAM S.A.	Laboratorios acreditados como ETFA: ALS Life Sciences Chile S.A. Laboratorio AGROLAB y; Laboratorio de Física de Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile
Sedimentos	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)
Calidad de agua	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)
Lagunas	Nivel de agua	Albemarle, SGS Chile y ANAM S.A.	No aplica	No aplica
	Superficie	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 2-5** se transcriben los Considerandos de la RCA que dan origen al presente Informe semestral.

**Tabla N° 2-5. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas.**

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
21/2016	7.- BIÓTICO Flora (pág.56)	Monitoreo: Composición y Cobertura de Especies, en 14 puntos. Parámetros: Composición y cobertura de especies. Procedimiento de medición: Point Cuadrat, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos: mantención dentro de su variación histórica.
	7.- BIÓTICO Vegetación (pág.56, 57)	Monitoreo: Distribución y cobertura de la vegetación azonal, en 14 puntos. Procedimiento: método de imágenes satelitales y método de Carta de Ocupación de Tierras (COT). ambas de frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos: mantención dentro de su variación histórica.
	7.- FÍSICO Sustrato (pág. 57)	Parámetros fisicoquímicos del suelo, en 14 puntos. Procedimiento de medición: de parámetros <i>in situ</i> y análisis en laboratorio, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos: mantención dentro de su variación histórica.
	7.- BIÓTICO Fauna Vertebrados Terrestres (pág. 57, 58)	Composición, Riqueza y Abundancia de Flamencos y Aves acuáticas, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Puntos censales.  Composición, Riqueza y Abundancia de Aves terrestres, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas.  Composición, Riqueza y Abundancia de mamíferos, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas, Trampas cámaras, Trampas Sherman.  Composición, Riqueza y Abundancia de Reptiles, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas.  Composición, Riqueza y Abundancia de Anfibios, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas. Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.
	7.- FÍSICO Parámetros fisicoquímicos del agua (pág. 58, 59)	Columna de agua en 12 puntos.  Con procedimiento de medición de análisis en laboratorio, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.
	7.- FÍSICO parámetros fisicoquímicos del sedimento (pág. 59)	Sedimento en 12 puntos.  Con procedimiento de medición de análisis en laboratorio, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual.

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
		Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.
	7.- BIÓTICO, Biota acuática (pág. 59)	<p>Estructura comunitaria de macrófitas en 12 puntos. Con procedimiento de medición de muestras cualitativas.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de especies planctónicas (fitoplancton y zooplancton) en 12 puntos. Con procedimiento de medición de agua colectada y fijada, enviada al laboratorio.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas (fitobentos y zoobentos) en 12 puntos. Con procedimiento de medición de sedimentos colectados y fijados, enviados al laboratorio.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual.                      Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	7.- Componentes Especiales (pág. 60)	<p>Tapetes microbianos en 10 puntos, con procedimiento de medición de Puntos de descripción de la estratificación.</p> <p>Microbialitos en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual.                      Evaporitas en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual.                      Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
Adenda 5, Anexo 2	<p>4.2.4. Niveles Freáticos</p> <p>Lagunas</p>	<p><u>Niveles de freáticos en 5 puntos,</u>                      Numeral 4.2.4 (Anexo 2) Ubicación de Estaciones de Monitoreo (Pág. 401)  <i>“5 Puntos de Niveles freáticos, 3 en La Punta-La Brava los que coinciden con los puntos de monitoreo de niveles del Plan de Alerta Temprana del proyecto en el sector de Alerta Acuífero, más 2 puntos en Peine, en los cuales se cuenta con mayor información histórica.”</i>                      Procedimiento de medición manual, con frecuencia mensual.</p> <p><u>Superficie de lagunas en La Punta-La Brava y Peine,</u> con procedimiento de medición de imágenes satelitales de alta resolución, con frecuencia semestral. (Tabla 4.2-6)</p>

Fuente: Elaboración propia, datos RCA 21/2016 y Adendas

### 3 OBJETIVO

El objetivo de este Informe es presentar los resultados del monitoreo correspondiente al **Informe Anual N°8** del Plan de Manejo Biótico del proyecto RWL, comprometido en la RCA 21/2016, los que involucran las componentes y variables de medición de frecuencia Semestral, correspondientes a la temporada de invierno 2023 y a la estación de verano 2023-2024, de tal manera de poder verificar tempranamente el comportamiento de las variables y cualquier cambio en su estado ecológico.

### 4 ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME

Para cada subcomponente o agrupación de éstas se presenta un capítulo específico, indicando las fechas específicas de muestreo, medición o análisis de la campaña, el área de estudio, ubicación de los puntos de muestreo, metodologías específicas, materiales y métodos, parámetros de evaluación, los resultados de las campañas y límites considerados en la evaluación, siguiendo para cada una de estas variables el formato establecido en la **Resolución Exenta SMA N°223/2015 de la Superintendencia de Medio Ambiente**.

Para las subcomponentes de calidad de aguas y niveles, este informe entrega como Anexos, adicionales a todos los Anexos que se entregan, las planillas Excel con la información histórica del monitoreo (M1 – M16), en los formatos establecidos en la **Resolución Exenta SMA 894 del 24.06.19** que Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Agua.

Igualmente para los subcomponentes Flora y Vegetación, Fauna y Limnología (microbiota acuática, fauna íctica y plantas macrófitas) se hace entrega de las planillas Excel con la información histórica de seguimiento del PMB (M1 – M16) de las componentes de Biodiversidad requeridas en el marco de la **Resolución N°343/20221 de la SMA**, que dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Ambiental Biodiversidad para los Proyectos que Cuentan con Resolución de Calificación Ambiental.

Para cada capítulo, como bien señala la resolución citada en el párrafo anterior, se indican los límites comprometidos por el Plan de Seguimiento, a saber: Mantención dentro de su variación histórica (numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016), por tanto, cada variable es analizada con los registros establecidos en el Anexo 2 de la Adenda 5, línea de base y además con el monitoreo MB0 para Flora y Vegetación.

No obstante, a la particularidad y profundización de los resultados de cada capítulo en su temática, al final del presente informe, en el Capítulo Discusión se desarrolla una evaluación

integral de las componentes monitoreadas para dar cuenta de la evolución que se pudiera haber percibido en este tercer año de mediciones.

Igualmente, en el Capítulo Discusión, se evalúa la evolución de las variables de estado definidas por el PMB (i.e. nivel freático, vegetación azonal, y superficie de las lagunas), como elementos indicadores de cambio del estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonal) y acuáticos, cuya relevancia radica en que son variables que tienen la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio.

De acuerdo con lo señalado por el Plan de Manejo Biótico (Anexo 2, Adenda 5), la evaluación de la condición de cambio de las variables de estado señaladas se realizará por sector de manera independiente (Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo), mediante un análisis de tendencia, cuyos contenidos son incorporados en el Capítulo Estado Ecológico del Sistema del presente informe. Estos cambios de estado ecológico son evaluados principalmente analizando su tendencia promedio en los 3 últimos años (2021 – 2024) y comparando dicha evolución de las variables de estado versus su comportamiento previo (línea de base y registros históricos) junto con la mirada completa de todos los monitoreos realizados hasta la fecha. A partir del numeral siguiente, se presenta el detalle de cada componente, como un capítulo específico con los lineamientos establecidos en la Resolución de SMA 223/2015.

## 5 GLOSARIO

- PMB: Plan de Manejo Biótico Albemarle correspondiente al plan de monitoreo de variables bióticas comprometidas en la RCA 21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta” de Albemarle Limitada.
- PSAH: Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos comprometido en la RCA 21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta” de Albemarle Limitada.
- MB0: Monitoreo Base 0 de Transectas de Vegetación Azonal. Campaña realizada en Invierno 2016.
- M1: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2016.
- M2: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2017.
- M3: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2017.
- M4: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2018.

- 
- M5: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2018.
  - M6: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2019.
  - M7: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2019.
  - M8: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2020. Campaña sin actividades de terreno por inicio de pandemia Covid-19.
  - M9: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2020.
  - M10: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2021. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.
  - M11: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2021. Campaña con información faltante de monitoreo para los componentes Vegetación y Flora y Suelos, debido a suspensión de campaña por razones de seguridad (Cortes de caminos por ocurrencia de huelga en Planta Salar Albemarle).
  - M12: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2022. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.
  - M13: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2022. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Administración CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos (Sector Soncor – Quelana).
  - M14: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2023. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.
  - M15: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2023. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.
  - M16: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2024. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

## 6 FLORA Y VEGETACIÓN

En el presente informe anual de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos correspondiente a invierno 2022 y verano post lluvias 2023, de frecuencia semestral y anual, para el subcomponente ambiental Flora y Vegetación. Asimismo, se entrega un análisis de tendencias con la evolución histórica de los resultados de este componente en los siete años de monitoreo, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE-N°21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama” de la empresa actual Albemarle, ubicado en la Región de Antofagasta, en adelante el Proyecto.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a las formaciones vegetales azonales del área de estudio, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto.

El periodo reportado en el presente informe consolidado anual se enmarca entre los días 12 al 17 de abril de 2023, fechas en que se realizó la campaña estacional de verano de 2023 (Monitoreo 14 o M14). En cuanto al monitoreo semestral de invierno 2022, llamado en adelante Monitoreo 13 (M13), se enmarca entre los días 22 al 29 de agosto de 2022. El monitoreo para el seguimiento de la vegetación activa NDVI, se desarrolló durante la temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales (invierno altiplánico o andino) tal como quedase establecido en el PMB.

El objetivo del seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” es monitorear y caracterizar la situación de la flora y vegetación azonal en el área de estudio, a través de las metodologías establecidas en la RCA 0021/2016, éstas son: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos en base a la metodología *point quadrat* y seguimiento de la vegetación activa a través del índice NDVI a partir de imágenes satelitales, con el fin de contrastar los resultados del monitoreo con la situación pre operacional del proyecto y de línea base y su evolución en el tiempo.

Los objetivos específicos del presente informe anual de vegetación y flora son:

- Monitorear la distribución y la cobertura de la vegetación (zonal y azonal), en su estructura comunitaria horizontal y vertical, en resultados semestrales a través del método de carta de ocupación de tierras (COT).
- Determinar la cobertura, riqueza, abundancia, y composición vegetal en las transectas de vegetación azonal, en resultados de los monitoreos de frecuencia semestral (invierno y verano).

- Determinar la cobertura de vegetación activa (según la estimación del índice NDVI), priorizando aquellas áreas donde existan formaciones vegetales sensibles a la alteración del suministro hídrico (hidrófilas y/o halófitas), de frecuencia anual en estación de verano post lluvias.
- Comparar los valores de vegetación activa de cada sector, obtenidos a partir del índice NDVI en temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales año 2023, con los registros históricos de la línea de base y el monitoreo realizado en verano 2022, verano 2021, verano 2020, verano 2019, verano 2018 y en verano 2017.
- Comparar en la discusión la cobertura y composición vegetal actual (Monitoreo 13 y Monitoreo 14) con la variación o evolución de los monitoreos anteriores y como referencia con el monitoreo inicial (MB0), realizado en la etapa preoperacional del proyecto.

## 6.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1.1 Cobertura y Vegetación (COT)

#### 6.1.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, II Región de Antofagasta. Se encuentra a 280 kilómetros al oriente de Antofagasta, y a 27 kilómetros al oriente de Peine, a una altura geográfica aproximada de 2.300 m.s.n.m. El área coincide con el denominado Núcleo del Salar, que corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales.

Específicamente, el área de estudio corresponde a aquellos sectores del Salar que, con relación a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), concentran la vegetación: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de mantener la sectorización establecida por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava<sup>10</sup>, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana<sup>11</sup> (**Figura N° 6-1**).

**Sólo para la componente Flora y Vegetación**, se incorporaron posteriormente a la RCA 21/2016 que aprobó el proyecto, los sectores de Soncor y Quelana, según lo indicado en el

<sup>10</sup> Con el fin de homologar la sectorización a la establecida por el PMB, se decidió seccionar el área de Tilopozo en dos subsectores: *La Punta y La Brava*, y *Tilopozo*.

<sup>11</sup> En Quelana, el área de estudio de la COT se extendió con el fin de lograr describir de forma integral este ecosistema y por lo mismo, los límites del estudio se asimilaron a los contemplados en el monitoreo de cuerpos de agua en este sector.

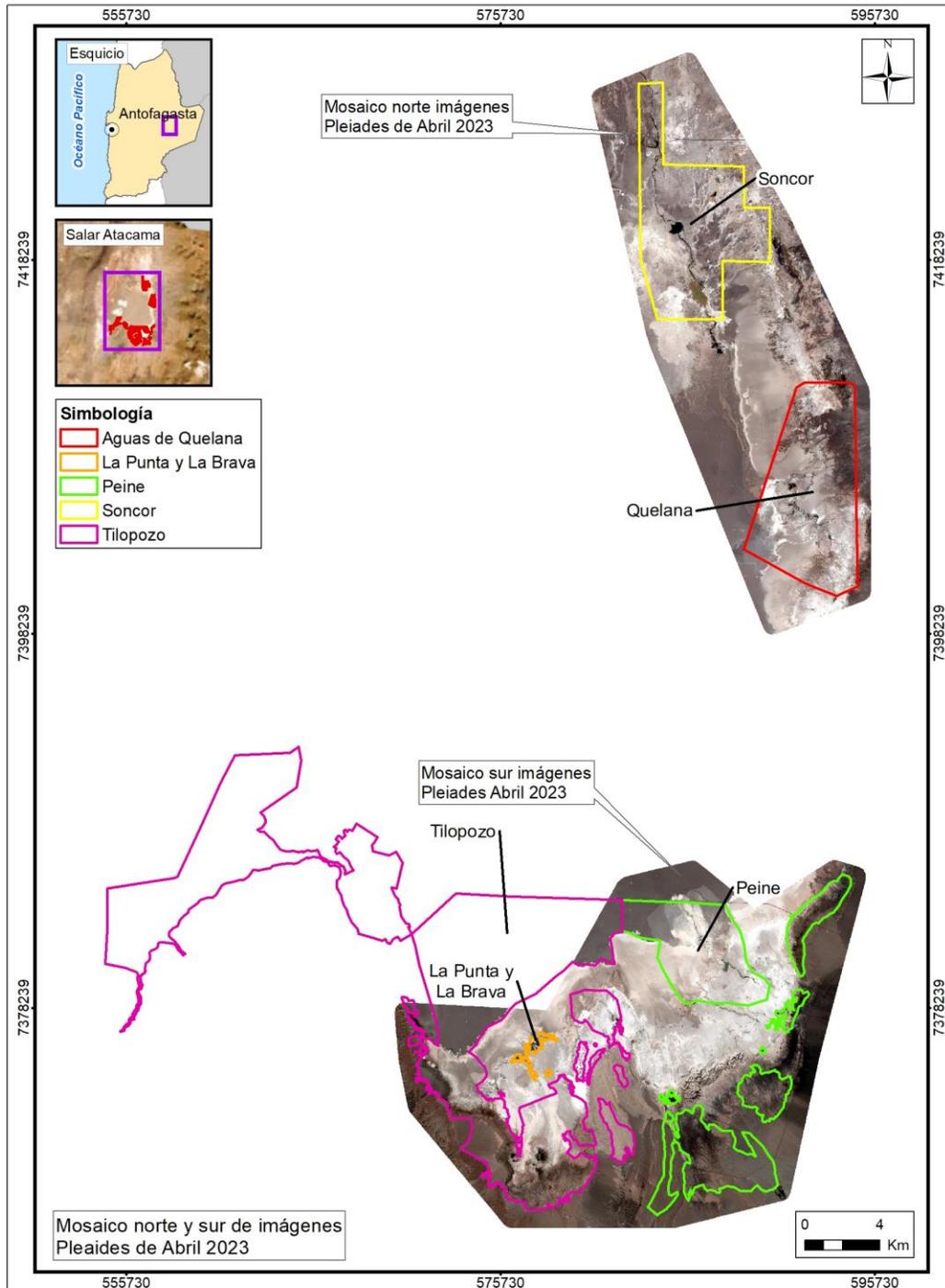
informe de Monitoreo de Vegetación, “Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016, aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016”, “Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”; y en la cual se determinaron las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales del Plan de Seguimiento Biótico del Proyecto (PMB).

En consecuencia, aquellos sectores del Salar que, con relación a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), concentran la vegetación son: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de mantener la sectorización establecida por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana (**Figura N° 6-1**). Es importante mencionar que para la transecta localizada en Soncor (T14), no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo, principalmente por daños en el camino de acceso vehicular, e inundaciones en el acceso a la transecta, siendo validada a distancia en los monitoreos que se ha accedido a la Reserva.

En cuanto a la vegetación del Salar, según lo descrito por Gajardo (1993), el territorio se encuentra inserto en la Región del Desierto, específicamente en el área que corresponde a la formación del Desierto del Salar de Atacama. Esta formación abarca la cuenca completa del Salar de Atacama, la que exhibe un paisaje muy homogéneo. Presenta grandes extensiones carentes de vegetación, salvo en los bordes Este y hacia el Sur, en que se encuentran algunas comunidades esteparias desarrolladas. Estas comunidades son: de *Atriplex atacamensis* – *Tessaria absinthioides* (Cachiyuyo – Brea), de *Acantholippia punensis* – *Franseria meyeniana*, de *Atriplex atacamensis* – *Acantholippia trifida* y la de *Prosopis chilensis* – *Geoffroea decorticans*.

Por otro lado, considerando los pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2017), el área del Salar se encuentra ubicada en el llamado Matorral Desértico Tropical Interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides*: se manifiesta como un matorral alto, freatófilo, dominado por los arbustos *Atriplex atacamensis*, *Tessaria absinthioides* y la gramínea *Distichlis spicata*. Su presencia asociada a los salares, estaría determinada por la existencia de una napa freática que proporciona la humedad suficiente para compensar el déficit hídrico provocado por la escasez de precipitaciones, a pesar de lo cual se ha considerado como una unidad independiente. Ocasionalmente es posible observar la presencia de los árboles espinosos *Prosopis alba* y *Geoffroea decorticans*. Debido a estar edáficamente condicionada no es posible reconocer comunidades zonales e intrazonales.

**Figura N° 6-1. Área de estudio Vegetación y Flora**



Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.1.2 Ubicación de puntos muestreo

La **Figura N° 6-1** muestra la ubicación de los puntos de muestreo de esta componente. Cabe señalar que, para el seguimiento de la COT, no se contaba previamente en el marco del PMB con puntos de muestreo establecidos para su seguimiento semestral en terreno, por lo que se definieron a partir del monitoreo base MB0 en julio de 2016. Para dicha definición, se consideraron como primera referencia los puntos de inicio de las transectas (**ver sección 6.1.2.1**), a los cuales se les aplicó la metodología COT de manera de poder obtener una cobertura más robusta y representativa del sistema a caracterizar. Todos estos puntos originales y adicionales ya han sido informados y analizados en el Informe Anual N°1 (2016-2017), en el informe Anual N°2 (2017-2018), en el informe Anual N°3 (2018-2019), en el informe Anual N°4 (2019-2020), en el informe Anual N°5 (2020-2021), en el informe Anual N°6 (2021-2022) y también en los Informes Semestrales.

Para este monitoreo, correspondiente al séptimo año de seguimiento, se levantó información de 61 puntos de monitoreo en invierno 2022<sup>12</sup> y 68 puntos de monitoreo en verano 2023, correspondientes a cada polígono sujeto a seguimiento definido en la COT y comprometidos para el seguimiento. Estos puntos COT corresponden a los 59 puntos de monitoreo previamente definidos en campañas anteriores, un punto adicional que se levantó en el monitoreo M7 en invierno de 2019, más ocho puntos adicionales realizados en verano 2022 (M12). El punto agregado en M7 fue con el objetivo de reforzar el seguimiento con NDVI en el sector de Peine, en zonas expuestas a quema con escasa regeneración evidenciada en dicha campaña, mientras que los puntos adicionales en M12 fueron con el objetivo de actualizar la cartografía de vegetación en polígonos no monitoreados anteriormente (**Figura N° 6-1 y Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (Invierno 2022-Verano 2023)**).

Es importante señalar que los puntos monitoreados son representativos de polígonos de las formaciones vegetales comprometidas en el Anexo 2, Adenda 5 RWL: Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, Herbazal de *Juncus balticus*, Herbazal de *Distichlis spicata*, Matorral de *Sarcocornia fruticosa*, donde se incorporó el polígono con codominancia de *Nitrophila atacamensis* (Formaciones Azonales); y el Matorral de *Tessaria absinthioides* (Formación Zonal); y que los puntos seleccionados hayan sido muestreados anteriormente en las campañas de validación COT (trazabilidad).

Considerando la extensión del área de estudio, se realizó el recorrido en vehículo y en forma pedestre, las unidades cartográficas designadas para el monitoreo, que incluye el criterio de accesibilidad a los distintos subsectores.

<sup>12</sup> En tres transectas del sector Soncor y Quelana (T15, T16 y T17) y en cuatro puntos de vegetación en el sector de Soncor y Quelana (RPV015, CAC032, CAC034 y CAC036) no se realizó la validación del monitoreo COT por falta de autorización de la Administración CONAF para el ingreso al área de la Reserva Nacional Los Flamencos.

**Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2022 y verano 2023**

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
Peine	PE003	T03	584870	7373199
	PE004	T04	584450	7373358
	PE007	T07	587538	7370322
	PE008	T08	591329	7383068
	PE009	T09	591730	7383499
	PE010	CAC024	587738	7371289
	PE014	CAC028	591508	7378099
	PE015	CAC029	592690	7383248
	PE016	CAC030	591901	7383155
	PE017	CAC031	591476	7383136
	PE020	JLS023	585013	7373509
	PE022	JLS025	585727	7372392
	PE024	VPR003	585149	7373376
	PE025	T02	584864	7373653
	PE026	T01	584979	7373198
	PE027	T05	587784	7369847
	PE028	T06	587249	7370627
	PE029	RPV026	591440	7383173
	PE030	MPC001	584847	7373158
	La Brava	LB003	T10	577230
LB004**		TA33	576411	7375393
La Punta	LP001	T11	577546	7375994
	LP002	T12	577872	7376446
	TL059	T13	580099	7376130
Tilopozo	TL001	T18	576735	7370058
	TL003	T20	577581	7370304
	TL004	T21	579122	7370660
	TL005	T22	578107	7369841
	TL006	T23	578198	7369527
	TL009	T26	571909	7375029
	TL010	T27	571081	7377447
	TL011	T28	580249	7372583
	TL012	T29	577865	7370468
	TL013	T30	577602	7369977
	TL014	T31	576807	7369755
	TL015	CAC001	575683	7372556
	TL016	CAC002	574559	7372618

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
	TL022	CAC008	571517	7376668
	TL024	CAC010	576632	7370652
	TL025	CAC011	576303	7370302
	TL027	CAC013	576506	7370061
	TL029	CAC015	577770	7369319
	TL033	CAC021	579309	7373995
	TL036	JLS001	575742	7371469
	TL039	JLS004	572401	7374900
	TL044	JLS009	577604	7370528
	TL047	JLS012	577553	7369903
	TL051	JLS016	579936	7369678
	TL052	JLS020	580977	7375826
	TL054	VPR001	575790	7371575
	TL055	VPR002	577758	7370522
	TL056	T19	577853	7370416
	TL057	T24	577922	7369310
	TL058	T25	577901	7369109
	TL060**	TA40	573523	7373535
	TL061**	TA41	578122	7370461
	TL062**	TA42	573384	7373565
	TL063**	TA43	577800	7369498
	TL064**	TA44	577761	7369861
	TL065**	TA45	577773	7369621
	TL066**	TA46	577733	7369710
<b>Aguas de Quelana</b>	QE001*	T15	593317	7403472
	QE002*	T16	591112	7405899
	QE003*	T17	591450	7405511
	QE005*	CAC032	594640	7401839
	QE006*	CAC034	594624	7402441
	QE008*	CAC036	594578	7403454
<b>Soncor</b>	SO001*	RPV015	585849	7418685

\*: Transectas y puntos COT de los subsectores Soncor y Aguas de Quelana sin muestreo estacional en Monitoreo de invierno-M13 por restricciones de acceso al área de la Reserva Nacional los Flamencos.

\*\* Puntos COT nuevos, levantados en Monitoreo M12 para actualizar la cartografía de vegetación y repetidos en M13 y M14.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

El parámetro de seguimiento utilizado en el análisis de vegetación en cumplimiento a lo dispuesto por la RCA corresponde a la **distribución y cobertura de vegetación azonal**, a través del método de carta de ocupación de tierras (en adelante COT) y los parámetros de **composición, riqueza y cobertura**, orientado a la **caracterización florística** de cada una de las transectas y por sector. Los parámetros analizados equivalen a la condición semestral estimada por sector, en base al seguimiento en invierno 2022 y verano 2023.

El levantamiento de la información y la clasificación de las formaciones vegetales, a través de la COT, describe la vegetación desde una perspectiva fisionómica, para lo cual se determinaron los siguientes elementos: especies dominantes, estratificación de especies según su altura, cobertura total de la formación y de especies dominantes, la posición topográfica y el grado de alteración de la vegetación, en cada punto COT relevado.

Para la estratificación se usan los cuatro tipos biológicos definidos por Godron *et al.* (1968) como base (herbáceo, leñoso bajo, leñoso alto y suculento) y sobre éstos se suma la información de las especies dominantes, las cuales se codificaron de acuerdo con la metodología de COT, como muestra la **Tabla N° 6-2**, la cual sintetiza el modo de codificación de los tipos biológicos detectados en terreno.

**Tabla N° 6-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes**

TIPO BIOLÓGICO	GÉNERO	ESPECIE	EJEMPLO
Herbáceo	Minúscula	Minúscula	<i>Baccharis juncea</i> : bj
Leñoso Bajo	Mayúscula	Minúscula	<i>Tessaria absinthioides</i> : Tb
Leñoso Alto	Mayúscula	Mayúscula	<i>Polylepis tarapacana</i> : PT
Suculento	Minúscula	Mayúscula	<i>Maihueniopsis boliviana</i> : mB

Fuente: Elaboración en base a Etienne & Prado (1982)

La altura de los estratos se codificó de acuerdo con los valores señalados en la **Tabla N° 6-3**.

**Tabla N° 6-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación**

TIPO BIOLÓGICO	RANGO DE ALTURA (M)	CÓDIGO
Suculentas (S) Herbáceas (H) Arbustos (Leñoso Bajo: LB)	0 – 0,05	1
	0,05-0,25	2
	0,25 -0,50	3
	0,5 – 1	4
	1 - 2	5
	> 2	6
Árboles (Leñoso Alto: LA)	< 2	5

TIPO BIOLÓGICO	RANGO DE ALTURA (M)	CÓDIGO
	2 - 4	6
	4 - 8	7
	8 - 12	8
	12 - 20	9
	20 - 32	10
	> 32	11

Fuente: Elaboración en base a Etienne & Prado (1982)

La cobertura de las especies se estima visualmente en terreno. Para cada unidad vegetal se registran las especies dominantes, la **Tabla N° 6-4** resume la codificación de las medidas de cobertura de acuerdo con la metodología empleada.

**Tabla N° 6-4. Rango de valores para la cobertura vegetal**

COBERTURA %	DENSIDAD	CÓDIGO	ÍNDICE
1 – 5	Muy escasa	me	1
5 – 10	Escasa	e	2
10 – 25	Muy clara	mc	3
25 – 50	Clara	c	4
50 – 75	Poco densa	pc	5
75 – 90	Densa	d	6
90 – 100	Muy densa	md	7

Fuente: Etienne & Prado (1982).

La caracterización de la posición topográfica de la vegetación se efectúa siguiendo el procedimiento utilizado para la generación del Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile (CONAF – CONAMA –BIRF, 1999). La **Tabla N° 6-5** presenta las diferentes categorías de posición topográfica utilizadas para los sectores monitoreados.

**Tabla N° 6-5. Categorías de posición topográfica**

CÓDIGO	POSICIÓN TOPOGRÁFICA
1	Terreno plano
2	Terraza
3	Cumbre escarpada
4	Cumbre redondeada
5	Alto ladera
6	Media ladera
7	Bajo ladera
8	Ladera escarpada
9	Depresión abierta
10	Depresión cerrada
11	Ladera
12	Lomajes
13	Dunas

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF (1999).

El grado de alteración de las formaciones vegetales, se determina visualmente en terreno de acuerdo con los criterios semicuantitativos establecidos en la **Tabla N° 6-6**.

**Tabla N° 6-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales**

GRADO DE ALTERACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO
Vegetación en estado natural	Estructura primaria no modificada. Composición florística autóctona y con individuos mayoritariamente sin daños por agentes bióticos o abióticos. Sin signos evidentes de intervención antrópica.	1
Vegetación alterada	Estructura primaria modificada. Composición florística principalmente autóctona. La vegetación puede presentar daños en los individuos (bióticos, abióticos y/o antrópicos) o evidencias de intervención antrópica hasta en un 30% de su cobertura. (Ej.: Explotación, corta, descepado; movimientos de tierra, presencia de caminos u otras interrupciones en la continuidad de las formaciones vegetales).	2
Vegetación deteriorada	Estructura primaria y composición florística modificada, con probable presencia de especies de origen alóctono. La vegetación puede presentar daños en los individuos (bióticos, abióticos y/o antrópicos) o evidencias de intervención antrópica, en más de un 30% de su cobertura.	3
Vegetación muerta	Sectores donde la cobertura vegetal ( $\geq 50\%$ ) se encuentra muerta (deterioro importante de los tejidos que impide una recuperación de los individuos), por lo que existe una pérdida de las características propias de la formación vegetal original.	4

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.1.1.4 Materiales y equipos utilizados

Los implementos utilizados para el muestreo de vegetación son:

- Un navegador Garmin 20X ETREX en invierno y Garmin GPSMAP 65 (GPS) en verano, para localizar los puntos de muestreo en el área de estudio. Además, se georreferenciaron con este GPS las coordenadas en UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum WGS 84 19S, de cada formación descrita.
- Un formulario tipo y cartografía de terreno.
- Cámara fotográfica. Se realizó un registro fotográfico de la formación vegetal, sistematizando la toma fotográfica con cuatro fotografías orientadas según los puntos cardinales.
- Imágenes satelitales. Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades-1A y 1B, y en su conjunto conforman dos mosaicos, el primero en el sector norte que comprenden los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana, y el segundo en el sector sur que corresponde a los sistemas de Tilopozo, La Punta y La Brava, y Peine. En el caso del monitoreo de invierno 2022 se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución del sensor Pleiades-1A y 1B de agosto de 2022 y para el monitoreo de verano las imágenes son de abril 2023.

### **6.1.1.5 Metodología de muestreo**

#### 6.1.1.5.1 Diseño y tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado corresponde al diseño estratificado-dirigido. Los estratos corresponden a los tipos de formaciones vegetales definidos por la COT. En estos estratos se localizaron los puntos de muestreo, cuya distribución espacial se realizó de manera dirigida por el especialista a cargo, de acuerdo a sus conocimientos y los criterios descritos continuación.

En primer término, los puntos de muestreos se distribuyeron de modo de abarcar la mayor diversidad vegetal del área, intentando interpretar, con al menos un muestreo, la mayor proporción de las unidades (polígonos) vegetales descritos en la línea de base del proyecto, con prioridad en las unidades azonales objeto de seguimiento.

#### 6.1.1.5.2 Trabajo en terreno

El trabajo de terreno tiene como propósito ejecutar el diseño de muestreo preparado en gabinete para recabar los registros de vegetación en los sectores de estudio.

El relevamiento, según este método considera el siguiente procedimiento para el catastro de información:

- Validación en terreno de la delimitación de unidades cartográficas (realizada mediante fotointerpretación en gabinete, sobre los polígonos descritos en la COT de este periodo);
- En cada unidad cartográfica, estratificación de la comunidad vegetal según tipo biológico y determinación en cada estrato de las especies dominantes, definidas como aquellas especies que presentan el mayor porcentaje de cobertura (Etienne & Prado 1982);
- Caracterización en términos estructurales de cada unidad cartográfica con vegetación: registro de la cobertura por tipo biológico y, para las especies dominantes, de su altura y cobertura vegetal;
- Reconocimiento de la composición florística de cada unidad descrita;
- Determinación cualitativa del relieve y la topografía de la unidad.
- Reconocimiento de los atributos que describen el estado de la vegetación, orientado a determinar su grado de alteración en cada unidad cartográfica.

Considerando la extensión del área de estudio, se recorrieron en vehículo y en forma pedestre, las unidades cartográficas más representativas de las formaciones vegetales presentes en el área de estudio, que estuvieran ubicadas en lugares accesibles y/o libres de peligros.

### 6.1.1.5.3 Delimitación y atribución de formaciones vegetales

Para fines del monitoreo, desde la información COT se ajusta la escala de trabajo de línea de base, a una escala con mayor nivel de detalle, necesaria para el seguimiento del subcomponente, de manera de percibir adecuadamente la variabilidad ambiental a lo largo del monitoreo.

Este proceso de aumento en el detalle de la COT incluye la delimitación de las unidades homogéneas de vegetación (polígonos) mediante fotointerpretación a la escala de trabajo 1:2.000. Esta escala permite reconocer con mayor precisión los límites naturales disminuyendo cortes abruptos en el análisis cartográfico. Luego se realiza la clasificación/atribución de dichas unidades, según los tipos de recubrimiento de suelo, los que se subdividen a su vez de acuerdo con el tipo de formación vegetal según se listan en la **Tabla N° 6-7**.

El proceso inicial de fotointerpretación se realiza a través de la plataforma SIG, en el software ArcGIS versión 10.8, usando imágenes multiespectrales de alta resolución, las cuales provienen del satélite Pleiades-1A y 1B (píxel de 2 metros).

Los polígonos resultantes son atributados según la nomenclatura que se define en la **Tabla N° 6-7** y **Tabla N° 6-8**, para obtener una caracterización acorde al análisis de la vegetación azonal hídrica. Esta nomenclatura, se basa en la metodología de la COT (Etienne & Prado 1982).

En relación a la atribución de las unidades cartográficas de la COT a continuación, se describen los distintos niveles de análisis, los cuales se utilizan para las clasificaciones de recubrimiento de suelo y sus tipos de vegetación:

- I. **Unidad cartográfica (UC):** corresponde a un polígono de la cartografía COT. Su código identificador es único.
- II. **Unidad vegetal (UV):** conjunto de unidades cartográficas que tienen atributos comunes en términos de la COT, referido al tipo de formación vegetal u otro recubrimiento del suelo, coberturas por tipo biológico y especies dominantes.
- III. **Formación vegetal:** conjunto de plantas, de una o varias especies, que comparten características de forma y comportamiento (Godron, Daget & Emberger, 1968; Etienne & Prado, 1982). Estas características incluyen aspectos estructurales de abundancia, estratificación y cobertura, es decir, es la expresión de la flora en un área determinada, más la dimensión de abundancia, estratificación y dominancia, entre otras. Este enfoque, de tipo fisonómico, está basado en los conceptos de estratificación (referido a la disposición vertical de la vegetación) y cobertura, lo cual permite dar una imagen de la disposición vertical y horizontal de las especies en terreno (*in situ*).

- IV. **Tipo de formación vegetal:** conjunto de formaciones vegetales reunidas en base a la representatividad de sus tipos biológicos en términos de dominancia. Esta clasificación se realiza con el fin de hacer un análisis con enfoque ecológico a la vegetación y se diseñó a partir de las categorías del uso de suelo definidas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF 1999) y de la clasificación de la vegetación de Chile según distintos autores (Gajardo 1994; Luebert & Pliscoff 2017). La **Tabla N° 6-7** lista los tipos de formaciones utilizados.
- V. **Recubrimiento de suelo:** zonificación de los tipos de formaciones vegetales y otras coberturas de la superficie terrestre. Esta clasificación fue realizada a partir de las categorías de uso de suelo<sup>13</sup> definidas para el Catastro y Evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF 1999). La **Tabla N° 6-8** lista las categorías usadas en el presente estudio.
- VI. **Tipo de recubrimiento de suelo:** conjunto de tipos de recubrimientos de suelo clasificados como vegetación u otros recubrimientos. Además, para los tipos “con vegetación”, ésta se divide en dos tipos según sus patrones de distribución:
- a) *vegetación zonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución espacial que responde a elementos característicos de la zona, donde las condiciones climáticas regionales están plenamente expresadas.
  - b) *vegetación azonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución local y/o particular, independiente de las condiciones climáticas regionales, ya que responden a elementos específicos del sitio, como el tipo de suelo, sustrato o humedad (Luebert & Pliscoff 2006; Font-Quer 1965). Esta cobertura de vegetación está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, los que las hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

En “otros recubrimientos”, se distinguen tres recubrimientos de suelo que no presentan vegetación, ya sea por causas naturales (áreas desprovistas de vegetación) o por causas antrópicas (áreas industriales), y en el caso de los cuerpos de agua que corresponden a lagunas dentro del salar.

---

<sup>13</sup> Uso de suelo: Categorías en base a la planificación, estado y regulaciones del uso de la tierra en Chile, que comprenden Áreas urbanas e industriales, Terrenos agrícolas, Bosques, Humedales, Áreas desprovistas de vegetación, Nieves y glaciares, Aguas continentales y Áreas no reconocidas (CONAF 1999).

**Tabla N° 6-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno**

RECUBRIMIENTO			TIPO DE FORMACIÓN O RECUBRIMIENTO	Código
Tipo de vegetación o recubrimiento	Línea de Base	Homologación en Monitoreo/ Seguimiento		
<b>VEGETACIÓN ZONAL</b>	Formación matorral	Matorrales	Matorral	4.1
<b>VEGETACIÓN AZONAL</b>	Formación herbazal	Humedales	Vega	5.1
	Formación matorral	Matorral - humedal	Matorral hídrico	6.1
			Matorral hídrico - Vega	6.2
			Matorral - Vega	6.3
<b>OTROS RECUBRIMIENTOS</b>	Misceláneos	Áreas industriales	Centros industriales	1.1
	Humedales	Cuerpos de agua	Suelos removidos	1.2
			Lagunas, Lagos, Embalses	2.1
			Salares	3.1
Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas denudadas	3.2	

Dónde: Código es con el que se identifican los tipos de formación por recubrimiento de suelo en formularios de terreno y cartografía COT.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 6-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio**

CATEGORÍAS	DEFINICIÓN
<b>RECUBRIMIENTOS DE SUELO</b>	
<i>Áreas industriales</i> <sup>1</sup>	Sectores ocupados por instalaciones industriales, caminos y/o suelos removidos por maquinaria pesada. Pueden desarrollarse especies nativas en estas áreas, pero sus coberturas son inferiores a un 5%, con una distribución heterogénea en las unidades.
<i>Áreas desprovistas de vegetación</i> <sup>1</sup>	Sectores donde la cubierta vegetal es nula o se limita a individuos aislados, que en conjunto no superan el 5% de cobertura. Se encuentran en esta categoría salares y áreas denudadas por efectos de erosión natural. Es importante considerar, que en estas unidades se puede presentar una cobertura vegetal (muy escasa), pero que no llega a conformar vegetación, tanto por la baja cobertura y por su distribución heterogénea dentro de la unidad.
<i>Cuerpos de agua</i> <sup>1</sup>	Es el curso o volumen de agua natural o artificial, saladas o dulces, oceánicas o continentales superficiales, móviles o estancadas, que cubre parte del territorio, individualizable por sus características naturales, sus usos o por sus límites administrativos. Dentro de esta categoría se encuentran lagos, lagunas o embalses y ríos.
<i>Matorrales</i> <sup>4 y 7</sup>	Superficies cubiertas con vegetación donde predomina el tipo biológico arbustivo. Se incluyen distintos tipos de formaciones dependiendo de la dominancia que tenga el estrato arbustivo y los otros estratos acompañantes y/u otras características ecológicas particulares.

CATEGORÍAS	DEFINICIÓN
<b>RECUBRIMIENTOS DE SUELO</b>	
<i>Humedales<sup>6</sup></i>	Superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, y con desarrollo de vegetación, en la que domina el tipo biológico herbáceo con coberturas que pueden alcanzar el 100%. Se incluyen vegas, matorrales hídricos o formaciones mixtas que incluyen combinaciones de las formaciones anteriores.
<i>Matorral – Humedal<sup>6</sup></i>	Superficies cubiertas por vegetación mixta entre formaciones de los recubrimientos matorral y humedal, donde la cobertura del tipo biológico arbustivo y del tipo herbáceo es similar, y están asociadas a disponibilidad superficial de agua de manera permanente o estacional, o donde la cobertura del tipo biológico arbustivo es dominante en superficies asociadas a disponibilidad superficial de agua de manera permanente o estacional. Se identifica el tipo Matorral hídrico y podría presentarse la formación mixta Matorral - Vega.
<b>TIPOS DE FORMACIONES</b>	
<i>Matorral<sup>1,2, 3 y 4</sup></i>	Formación vegetal donde predominan especies arbustivas o arbóreas, el tipo biológico arbóreo constituyendo una cobertura de copa menor al requerido en la definición legal de bosque nativo. El tipo biológico arbustivo es dominante y puede variar entre 5 a más del 75% de cobertura; y el tipo biológico herbáceo puede estar entre 0 y 100%.
<i>Matorral hídrico<sup>5</sup></i>	Formación vegetal donde el tipo biológico arbóreo es menor al 5%, el arbustivo es dominante y puede variar entre 5 a más del 75%; y el tipo biológico herbáceo puede estar presente, entre 0 y 100%. Corresponde a formaciones asociadas a disponibilidad superficial de agua de manera permanente o estacional.
<i>Vega<sup>6</sup></i>	Formación vegetal donde predomina la cobertura del tipo biológico herbáceo, que puede variar entre 5 a más del 90% de cobertura; y el tipo biológico arbustivo puede estar presente bajo un 5 % de cobertura. Se caracteriza por presentar plantas rizomatosas dominantes con un crecimiento <40 cm de altura, en sustratos con acumulación muy variable de materia orgánica y un contenido de humedad variable alcanzando al menos su capacidad de campo en periodo estival, o con baja saturación a completamente saturados en vegas salinas.

Dónde: (1): CONAF, CONAMA y BIRF (1999); (2): Luebert y Pliscoff (2006); (3): Etienne y Prado (1982); (4) CONAF (2014), Guía de Evaluación Ambiental; (5) Faúndez (2013); (6) Definición simplificada por Cedrem Consultores en base a las referencias Ahumada y Faúndez (2009), CONAF, CONAMA y BIRF (1999) y Documento informativo Ramsar No.1 (1971); (7): Cedrem Consultores.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.1.6 Metodología de cálculo y análisis

#### 6.1.1.6.1 Análisis de vegetación

Toda la información recogida en el muestreo es ordenada y almacenada digitalmente en una base de datos de consulta, sobre la información ya recogida para el componente en la línea de base del proyecto.

Posteriormente, se desarrolla un trabajo de revisión y sistematización de la información, comparando la información proveniente de los formularios con los registros de COT y de flora para las especies dominantes con nombres científicos verificados, y las fotografías de terreno. Esto, en conjunto con las observaciones provenientes de terreno, permitió validar o reclasificar las distintas unidades homogéneas catastradas en los tipos de recubrimiento de suelo y los tipos de formaciones vegetales, señalados anteriormente en la **Tabla N° 6-7**.

A partir de los registros relevados en las unidades cartográficas, se construye una base de datos y una cobertura digital en formato *shape* de la cartografía COT. De esta manera, se caracterizó la vegetación (u otro recubrimiento si correspondiese), incluyendo los siguientes aspectos y atributos:

- *Información de referencia:* código punto de muestreo, coordenadas UTM y altitud, sector del proyecto;
- *Atributos de caracterización de la vegetación:* recubrimiento del suelo, tipo de formación, formación vegetal, especies dominantes y rango de cobertura por tipo biológico; rangos de altura y cobertura por especie dominante;
- *Atributos topográficos de sitio:* altitud, posición topográfica, exposición y pendiente;
- *Atributos ambientales:* grado de alteración.

A continuación, se describen los procesos llevados a cabo para analizar la información en gabinete, y así describir en los sectores de muestreo, los atributos de la vegetación recientemente listados:

#### a) Codificación de las unidades vegetales y cartográficas

La Unidad Vegetal (UV) corresponde al conjunto de unidades cartográficas homogéneas, que comparten los mismos atributos de recubrimiento de suelo, tipo de formación, estructura y composición según nomenclatura COT. En formaciones vegetales, específicamente comparten valores de coberturas por tipo biológico y especies dominantes.

La codificación UV corresponde a un código mixto de letras y números: las primeras letras aluden al proyecto (ALB) las que además, van acompañadas por un número identificador de la UV (ver ejemplos en la **Tabla N° 6-9**).

El segundo codificador identifica, con un código único, a cada una de las Unidades Cartográficas (UC) que componen una UV. Este código se encuentra en función del código UV al que pertenecen, acompañado de un número correlativo asociado al número de polígonos presentes en cada sector (ver ejemplos en la **Tabla N° 6-9**).

**Tabla N° 6-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT**

Ejemplo	Recubrimiento de Suelo	Tipo Formación	Atributos COT		Ejemplo Codificación	
			Tipo biológico / Cobertura	Especies dominantes	UV	UC
1	Humedales	Vega	H2	sca	ALB-031	ALB-031-163
2	Humedales	Vega	H2	dp	ALB-030	ALB-031-161
3	Humedales	Vega	H2	dp		ALB-031-162
4	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB3 H5	Tb dp	ALB-055	ALB-055-113
5	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB4 H3	Tb dp	ALB-046	ALB-046-90

Dónde: COT: Carta de Ocupación de Tierras; Tipos biológicos: (LB): Leñoso bajo, (H): Herbáceo, (S) Suculento.  
 Coberturas: (3): muy clara (10-25 %), (6): densa (75-90 %), (7) muy densa (90-100 %). Especies dominantes: sca: *Schoenoplectus californicus*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*.

Fuente: Elaboración propia

b) Denominación de las formaciones vegetales

De las distintas UV identificadas, fueron agrupadas aquellas homogéneas en cuanto a la cobertura por tipo biológico y a las especies dominantes. Estas agrupaciones corresponden a las diferentes formaciones vegetales en el área de estudio, determinadas así por la representatividad del tipo biológico y las especies dominantes en cada estrato. En la **Tabla N° 6-10**, se observan algunos ejemplos de cómo se denominan finalmente las formaciones vegetales, siguiendo los ejemplos de codificación de la UV que fueron presentados en la **Tabla N° 6-9**.

**Tabla N° 6-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV)**

Ejemplo	Código UV	Descripción UV	Formación Vegetal
1	ALB-033	Vega muy clara	Vega de <i>Juncus balticus</i>
2	ALB-020	Vega clara	
3	ALB-021		
4	ALB-052	Matorral escaso -Vega muy claro	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>
5	ALB-056	Matorral muy claro -Vega claro	

Fuente: Elaboración propia

Se consideró esta denominación con el objeto de facilitar la comprensión de los análisis e interpretación de los resultados, por lo que sólo se traduce en una adaptación de la

propuesta metodológica original de la COT, ya que establece la denominación de la formación por el uso del tipo biológico dominante seguido por su estratificación y cobertura (ej. formación leñosa alta muy escasa), de manera que su comprensión es más directa, y facilita la interpretación para fines del seguimiento de las formaciones vegetales. En la **Tabla N° 6-11** se muestran algunos ejemplos comparativos.

**Tabla N° 6-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT**

Ejemplo		Definición
1	Nomenclatura COT	Formación herbácea muy clara (H3).
	Nomenclatura Proyecto	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (H3)
2	Nomenclatura COT	Formación leñosa baja muy clara (LB3) - Formación herbácea baja muy clara (H3).
	Nomenclatura Proyecto	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i> (LB3 H3)

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se definió una segunda categoría denominada “agrupación”, la cual asocia algunas formaciones vegetales identificadas en el área de estudio en función de sus especies dominantes. Esta agrupación se relaciona a lo comúnmente llamado comunidad vegetal en descripciones bibliográficas. El objetivo de esta clasificación es simplificar la descripción al lector y revisor del componente, ya que formaciones vegetales similares tienden a dividirse en muchas unidades debido a características específicas de su composición florística, a la escala de trabajo de la fotointerpretación y a la delimitación de las unidades homogéneas de la vegetación del sector.

En la **Tabla N° 6-12** presentan ejemplos referenciales para entender a qué se refiere esta agrupación de formaciones vegetales. Cabe señalar, que siempre que estas formaciones se encuentren dentro de una agrupación, las mismas se nombran “con dominancia de” para diferenciarlas de aquellas no incluidas en esta categoría.

**Tabla N° 6-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales**

Nombre de la agrupación	Nombre de la Formación vegetal
Matorral -Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> , y <i>Schoenoplectus californicus</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> , y <i>Distichlis spicata</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Schoenoplectus californicus</i> , y <i>Juncus balticus</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> , y <i>Baccharis juncea</i>

Fuente: Elaboración propia

c) Interpretación de las alturas y coberturas por tipo biológico

Sobre las denominaciones y descripciones de la vegetación, es importante recordar que cada formación vegetal o agrupación de formaciones vegetales está constituida de una a varias unidades cartográficas. Es por esto, que una formación vegetal o agrupación, presenta generalmente una variabilidad en la cobertura de las especies dominantes que componen un tipo biológico y/o de las alturas para los estratos por tipo biológico.

Atendiendo a esto, para la presentación de los resultados COT en la descripción de la vegetación se entrega el rango de altura y de cobertura identificado para todas las unidades descritas en una formación vegetal, así como la mediana dentro de este rango para identificar los valores más recurrentes para tales características.

Por ejemplo, una formación vegetal dominada por un estrato arbustivo (*Matorral de Ephedra breana*) puede presentar una altura variable del estrato arbustivo entre 5 y 50 cm de altura, pero una mediana entre 25 y 50 cm. Y para la cobertura, se puede dar el caso que presente una variabilidad entre 10 y 75% de cobertura vegetal en el estrato arbustivo, pero con valor recurrente (mediana) de entre 25 y 50%, que correspondería a una cobertura clara. En la **Tabla N° 6-13** se describen algunos ejemplos de cómo se presentan los resultados COT.

**Tabla N° 6-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes)**

<i>Formación vegetal</i>	<b>Especies dominantes</b>	<b>Altura Vegetal Mediana (Rango)*</b>		<b>Cobertura Vegetal Mediana (Rango)*</b>	
		<b>LB</b>	<b>H</b>	<b>LB</b>	<b>H</b>
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>	Ad Aa Ai cis cid	4(2-5)	2(1-2)	3	4
<i>Matorral de Ai</i>	Ai cid	3	3	3	2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	Eb dp	4(2-5)	2	2(2-3)	2

\*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.  
 Fuente: Elaboración propia

**6.1.1.7 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro**

El Monitoreo 13 (M13) de invierno 2022 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 22 y 29 de agosto de 2022, para el levantamiento y validación COT.

El Monitoreo 14 (M14) de verano se realizó con trabajo efectivo durante el período tardío de verano (post-lluvias), entre los días 12 y 17 de abril de 2023.

## 6.1.2 Flora y Vegetación (Transectas)

### 6.1.2.1 Ubicación de puntos muestreo

Para el presente informe, se consideraron las 31 transectas establecidas durante el Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016) del subcomponente Flora y Vegetación del proyecto y que fueron ubicadas atendiendo a las transectas propuestas en cumplimiento de la Resolución de Calificación Ambiental (Res Ext N° 0021/2016) que aprobó el proyecto “Estudio de Impacto Ambiental: Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”.

Específicamente en marco del “Informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016)”, éste fue aprobado a través del Ord. SAG N°315/2016. “Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”, el cual determina el número y ubicación de las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

Cabe recordar, que el programa de monitoreo mencionado en el párrafo anterior, para el subcomponente de flora y vegetación propuestos en el Plan de Manejo Biótico (RCA y Adenda 5), incluía 24 estaciones o puntos de monitoreo, con 10 puntos en el sector de Peine y 14 puntos en el sector La Punta - La Brava, sector que incluye los subsectores de La Punta, La Brava y Tilopozo. Posteriormente, y que se incluyeron siete puntos como áreas de control de la vegetación en sectores de laguna. Éstas son parte del Plan de Manejo Biótico y fueron propuestas por Albemarle (ex.Rockwood) a la autoridad ambiental competente, a través de Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016 aprobado en Ord. SAG N°315/2016. Los 7 puntos que se mencionan se traducen en transectas que corresponden a los puntos de monitoreo T10 (La Brava), T11 y T12 (La Punta), T14 (Soncor) y T15, T16 y T17 (Aguas de Quelana), ver **Tabla N° 6-14**. Cabe destacar que la transecta T14 en Soncor no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo, principalmente por daños en el camino de acceso vehicular, e inundaciones en el acceso a la transecta, siendo validada a distancia en el monitoreo de verano, con un punto de monitoreo COT, corroborando su fisionomía de área desprovista de vegetación (salar) y sin registros florísticos.

Las 31 transectas se encuentran ubicadas en áreas con presencia de formaciones vegetales sensibles a la alteración del suministro hídrico; en el área de estudio existen tanto formaciones vegetales hidrófilas sensibles a la alteración del suministro hídrico (herbazales de *Schoenoplectus californicus* y de *Juncus balticus*), como grandes extensiones de formaciones de especies halófitas (herbazal de *Distichlis spicata* y de *Sarcocornia fruticosa*). Se distribuyen en seis subsectores dentro del área de seguimiento propuesta por el proyecto. En relación con su distribución 14 de ellas se encuentran en el subsector Tilopozo, nueve en el sector de Peine, tres en el subsector La Punta, una en el subsector La Brava, tres en el sector Aguas de Quelana y una en el sector Soncor (**Figura N° 6-2**).

---

En la **Tabla N° 6-14** se presentan las coordenadas de las transectas realizadas para el monitoreo biológico del subcomponente flora y vegetación, considerando además la asociación con los puntos originales propuestos en el Plan de Manejo Biótico (RCA y Adenda 5) y en **Figura N° 6-3, Figura N° 6-4, Figura N° 6-5, Figura N° 6-6 y Figura N° 6-7** se indica la localización de las transectas por subsector.

**Tabla N° 6-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio**

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
Peine	VB01	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T01	T01i	584979	7373198	2.307	SE
				T01f	585029	7373195		
			T02	T02i	584864	7373653	2.311	SE
				T02f	584886	7373611		
			T03	T03i	584870	7373199	2.312	NO
				T03f	584822	7373214		
			T04	T04i	584450	7373358	2.307	SO
				T04f	584440	7373310		
	VB02	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T05	T05i	587784	7369847	2.329	NE
				T05f	587787	7369896		
			T06	T06i	587249	7370627	2.324	SE
				T06f	587291	7370598		
T07			T07i	587538	7370322	2.323	SE	
			T07f	587589	7370321			
VB03	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T08	T08i	591329	7383068	2.304	SO	
			T08f	591304	7383026			
		T09	T09i	591730	7383499	2.301	SE	
			T09f	591734	7383449			
La Brava	VLB2	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	T10	T10i	577230	7374967	2.302	NE
				T10f	577264	7375004		
La Punta	VLP1	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	T11	T11i	577546	7375994	2.298	SE
				T11f	577557	7375945		
	VLP2	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T12	T12i	577872	7376446	2.305	NO
				T12f	577827	7376471		

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA		
			Número	Código	Este	Norte				
	VLP3	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T13	T13i	580099	7376130	2.304	NE		
				T13f	580149	7376130				
Soncor	VS*	Área desprovista de vegetación	T14	T14i	585970	7418664	2.300	SO		
		T14f		585937	7418624					
Quelana**	VS*	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T15	T15i	593317	7403472	2.301	SO		
				T15f	593279	7403439				
	VQ*	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T16	T16i	591112	7405899	2.296	NE		
				T16f	591159	7405919				
			T17	T17i	591450	7405511	2.299	SO		
				T17f	591402	7405498				
Tilopozo	VT1	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T18	T18i	576735	7370058	2.306	SO		
				T18f	576733	7370008				
	VT2	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T19	T19i	577853	7370416	2.307	SO		
				T19f	577828	7370372				
			Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T20	T20i	577581	7370304	2.307	SE	
					T20f	577629	7370300			
	VT3	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T21	T21i	579122	7370660	2.305	SO		
				T21f	579074	7370655				
	VT4	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T22	T22i	578107	7369841	2.306	SO	
					T22f	578068	7369811			
					T23	T23i	578198	7369527	2.307	SO
						T23f	578153	7369506		
					T24	T24i	577922	7369310	2.310	SO
T24f						577879	7369283			
T25	T25i	577901	7369109	2.311	SO					
	T25f	577851	7369103							
VT5	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T26	T26i	571909	7375029	2.303	SE			

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
				T26f	571931	7374985		
	VT6	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T27	T27i	571081	7377447	2.304	NO
				T27f	571031	7377448		
	VTM1*	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>		T28	T28i	580249		
			T28f		580295	7372564		
	VT2	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T29	T29i	577865	7370468	2.308	SO
				T29f	577823	7370437		
	VT1	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T30	T30i	577602	7369977	2.309	NE
				T30f	577604	7370026		
			T31	T31i	576807	7369755	2.310	NE
		T31f	576807	7369807				

Dónde: Punto Asociado\*: Puntos propuestos para monitoreo en el Plan de Manejo Biótico;

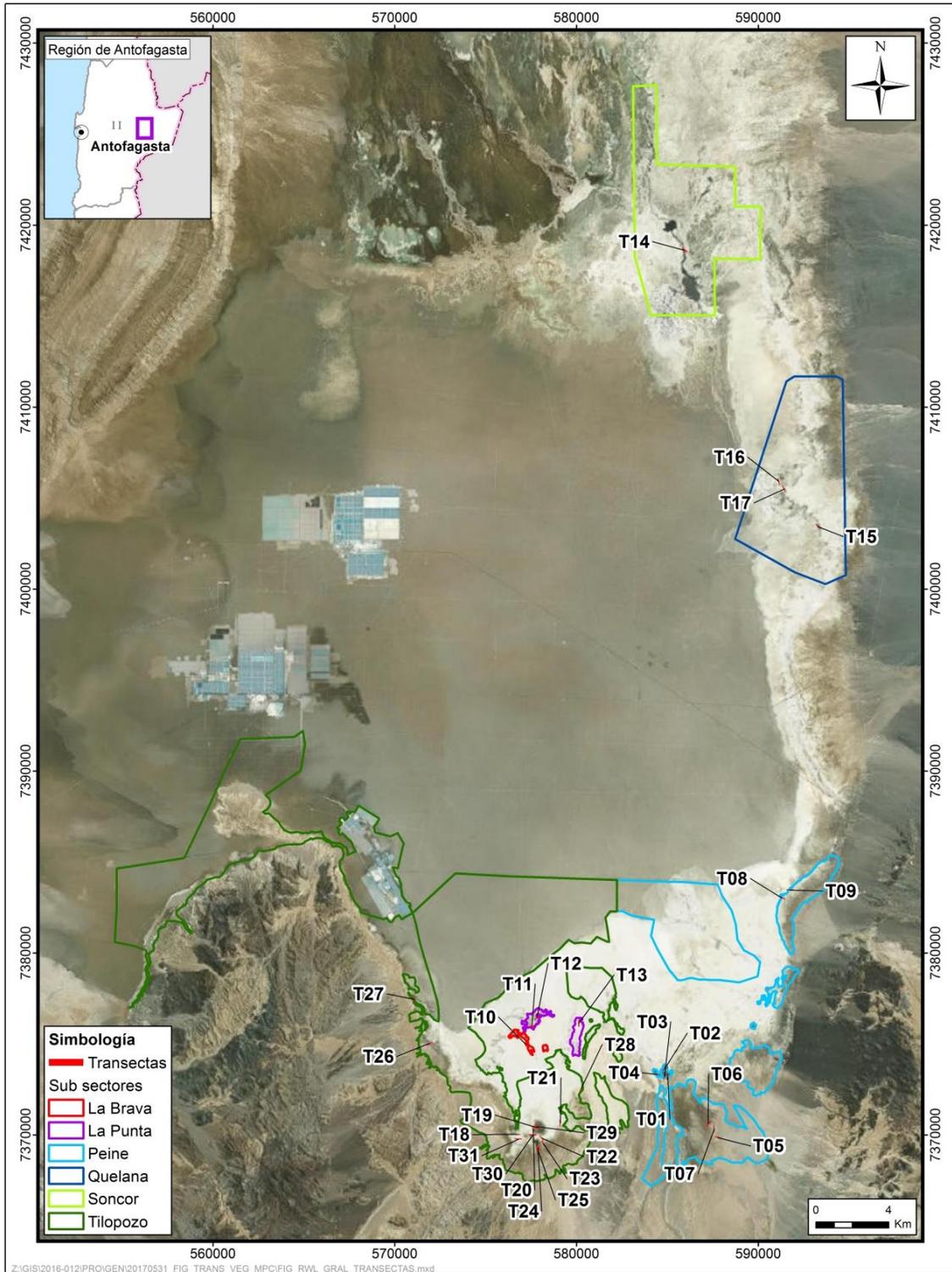
**VTM1\***: Cabe señalar que en Plan de Manejo Biótico (PMB 2015) esta transecta fue identificada para el sector Peine, la cual se muestra en el sector de Tilopozo para efectos del Seguimiento, por mayor cercanía a este sector, identificando la transecta T28 al sector Tilopozo;

**VQ\*** y **VS\***: Puntos asociados al Sector Soncor y Quelana en el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación transectos de Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

**\*\***: Subsector Aguas de Quelana sin muestreo estacional en Monitoreo de invierno-M13 por falta de autorización para el ingreso al área de CONAF; y subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 13 y 14 debido a restricciones de acceso y malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

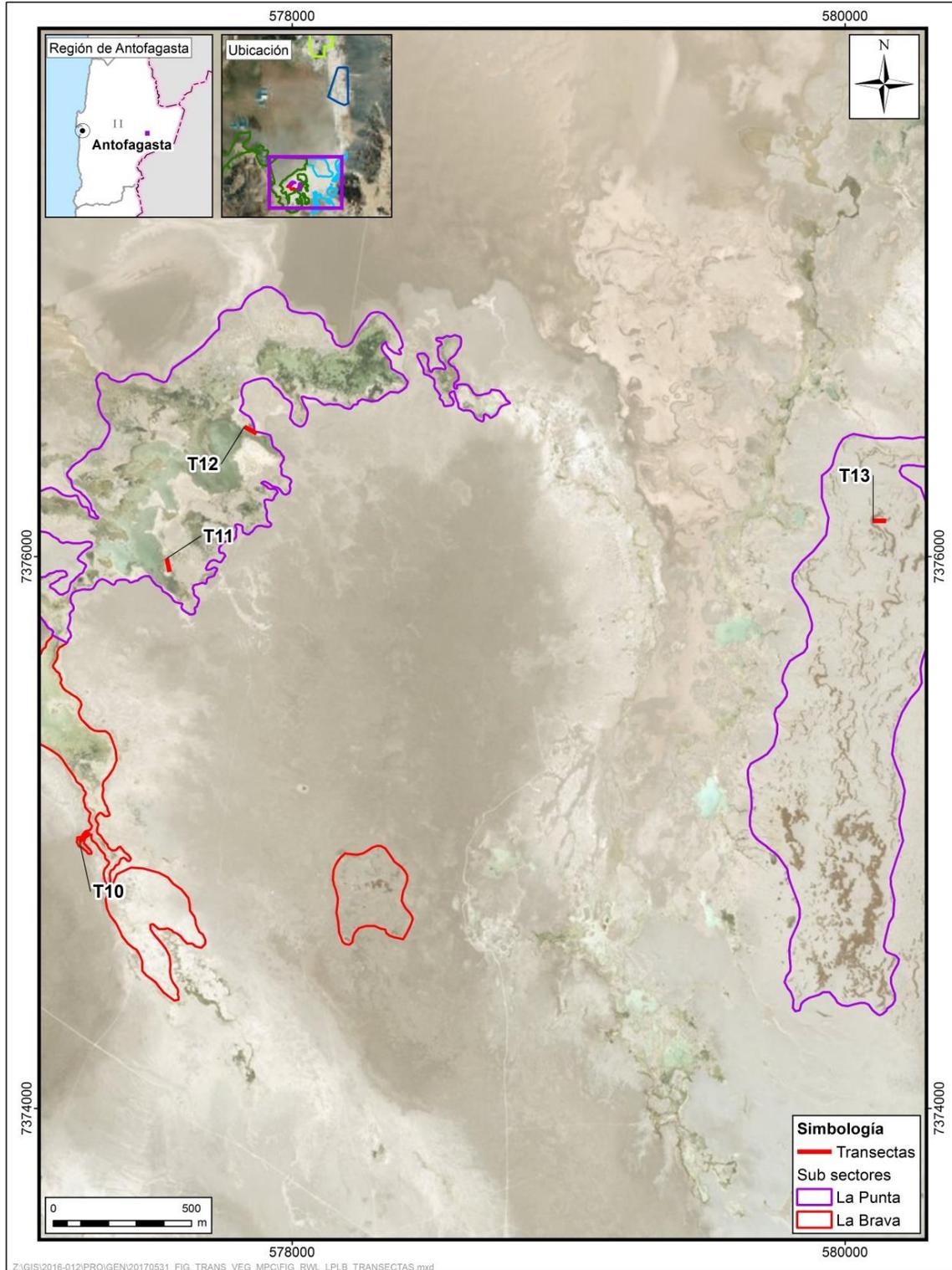
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama**



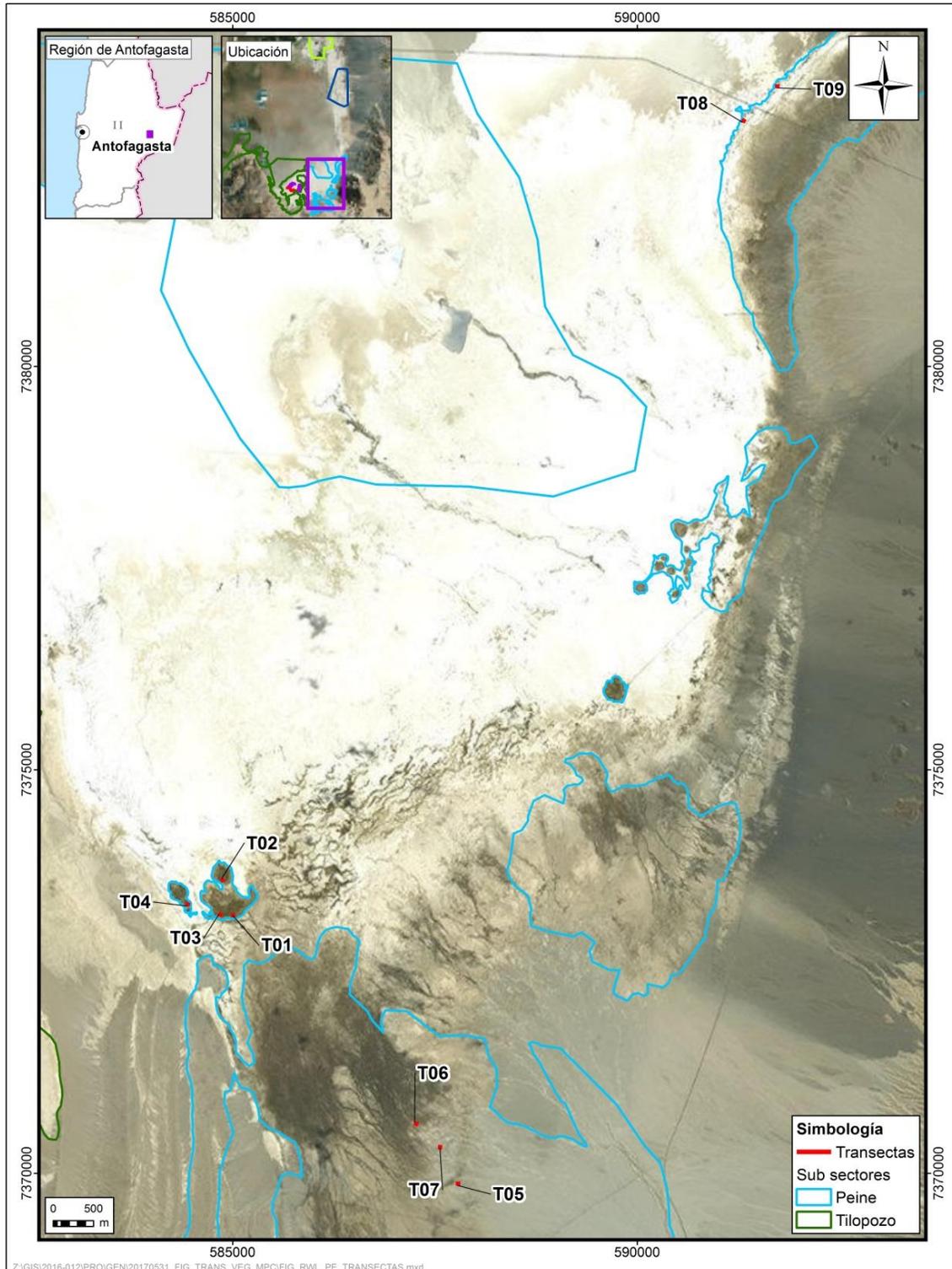
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama**



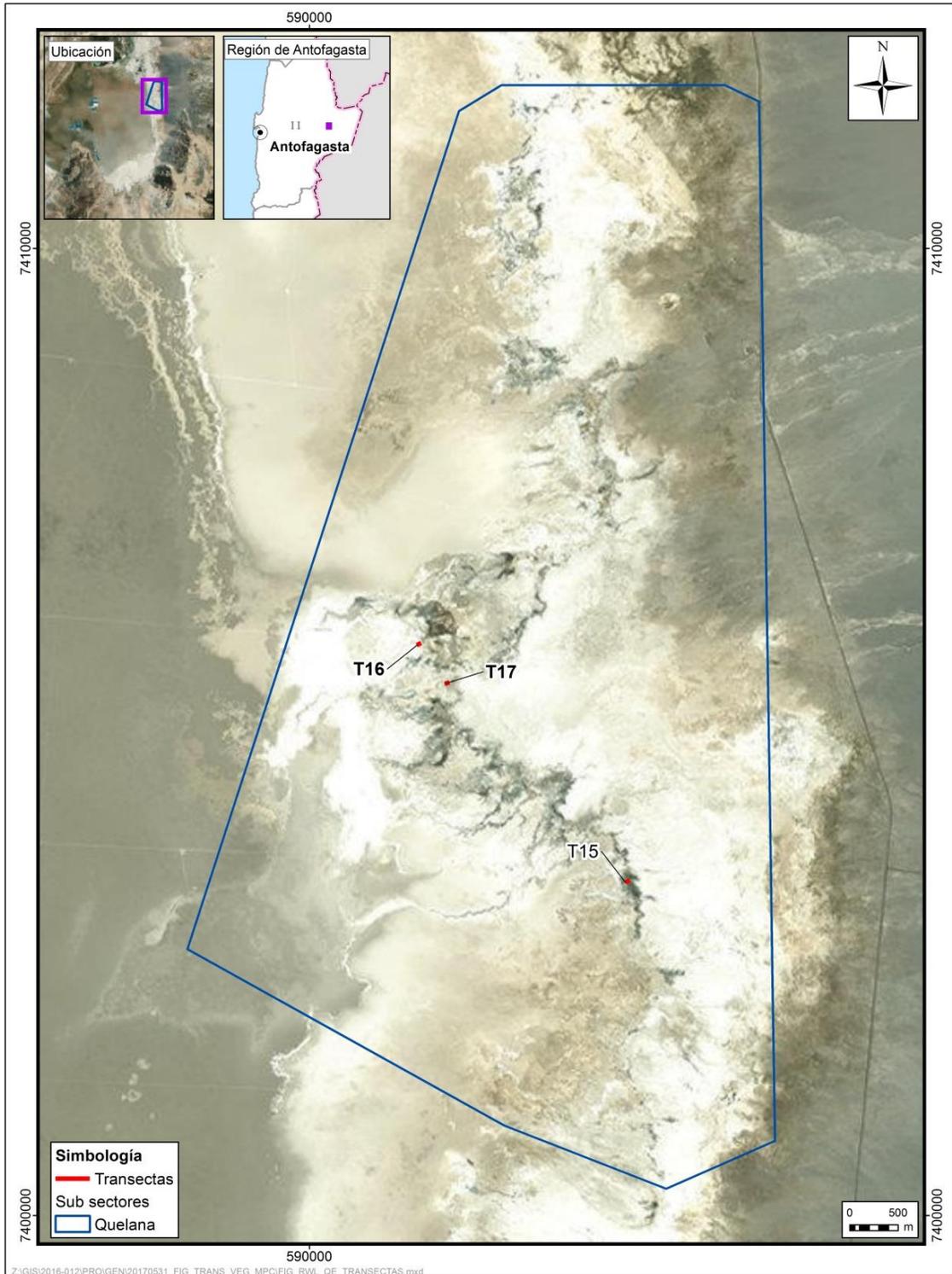
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama**



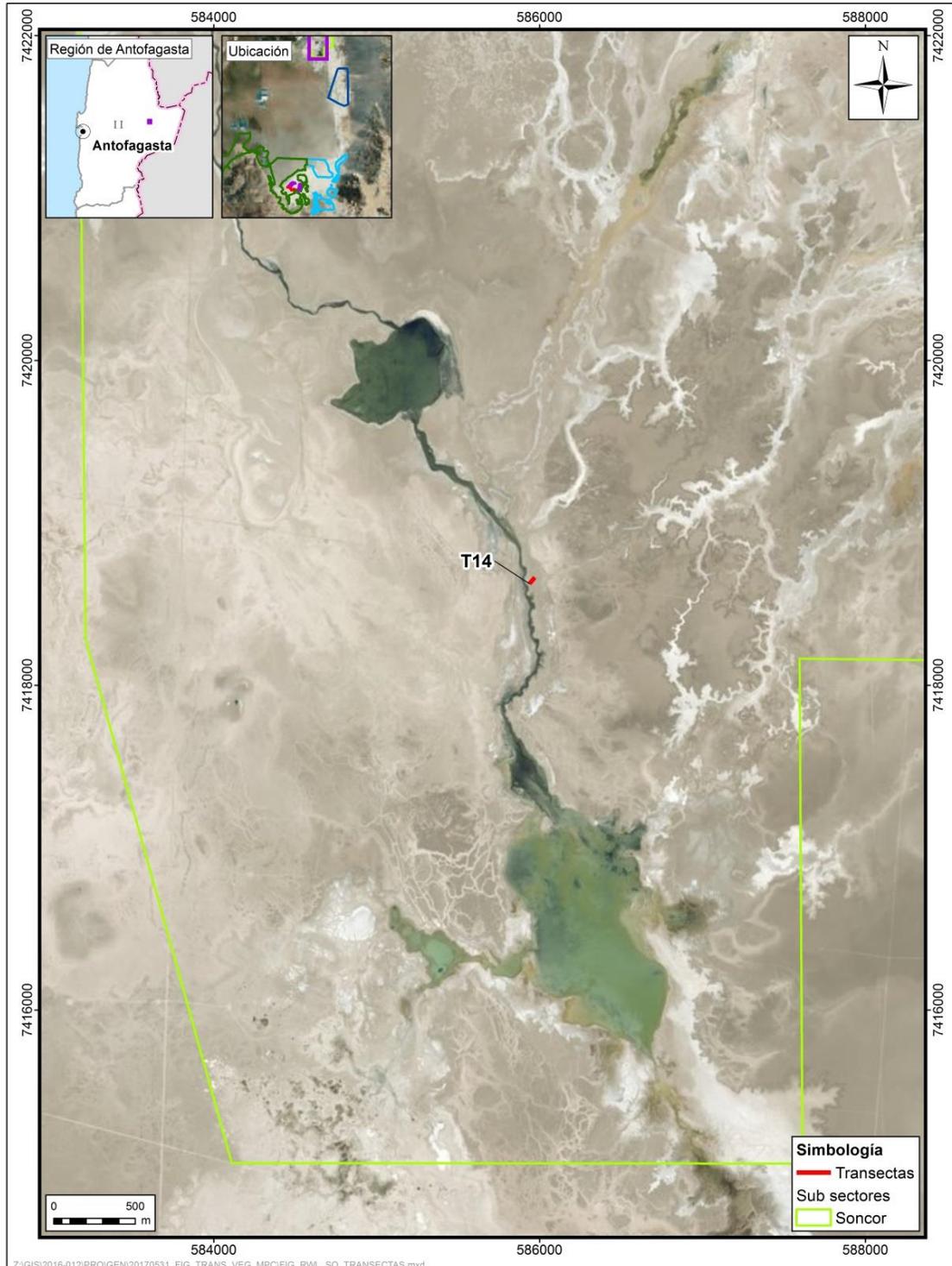
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama**



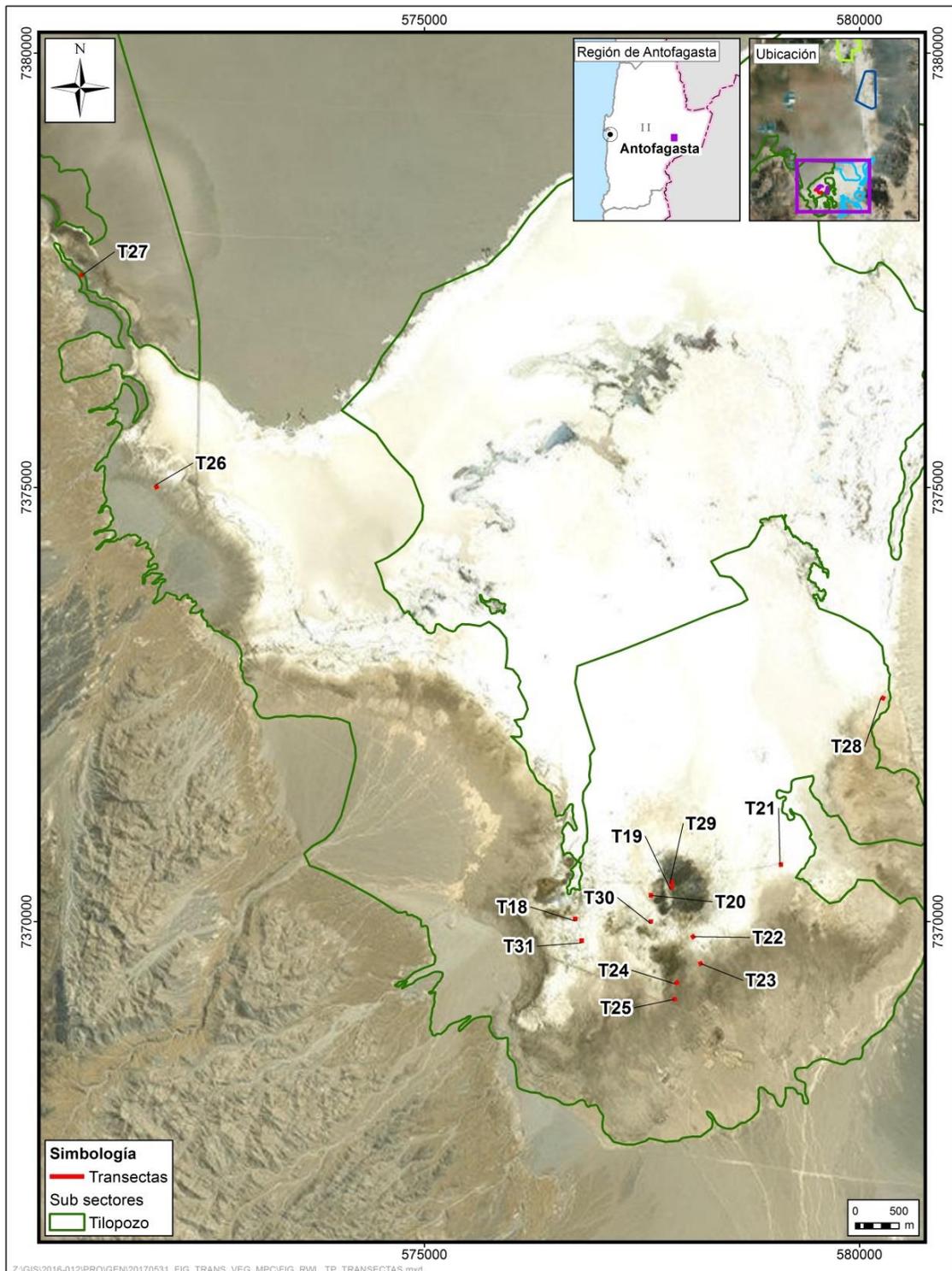
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama**



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo establecido en el Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016), en el área de estudio existen tanto formaciones vegetales hidrófilas sensibles a la alteración del suministro hídrico (herbazales de *Schoenoplectus californicus* y de *Juncus balticus*), como grandes extensiones de formaciones de especies halófitas (herbazal de *Distichlis spicata* y de *Sarcocornia fruticosa*). En la **Tabla N° 6-15**, se detallan el número de transectas definidas por sector y tipo de formación vegetal.

**Tabla N° 6-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector**

SECTOR	SUB-SECTOR	FORMACIÓN VEGETAL	No DE TRANSECTAS	
La Punta-La Brava	Tilopozo	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	6	
		Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	3	
		Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	2	
		Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	3	
	<b>Total en subsector Tilopozo</b>			<b>14</b>
	La Brava	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	1	
	<b>Total en subsector La Brava</b>			<b>1*</b>
	La Punta		Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	1
			Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	1*
			Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	1*
<b>Total en subsector La Punta</b>			<b>3</b>	
Peine	Peine	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	2	
		Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	4	
		Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	3	
	<b>Total en subsector Peine</b>			<b>9</b>
Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	3	
	<b>Total en sector Aguas de Quelana</b>			<b>3*</b>
Soncor	Soncor	Área desprovista de vegetación	1	
	<b>Total en subsector Soncor</b>			<b>1*</b>
<b>Total</b>			<b>31</b>	

\* Transectas de control de la vegetación en sectores de lagunas, identificando su formación vegetal de acuerdo con validación de vegetación realizada en el monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2.2 **Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales**

En cumplimiento de lo dispuesto por la RCA que aprueba el proyecto, el análisis de datos del presente estudio estuvo orientado a la caracterización florística de cada una de las transectas y por sector, en cuanto a parámetros de: composición, riqueza y cobertura, respectivamente.

Además de la caracterización florística en las transectas, se analizaron parámetros de seguimiento complementarios, los cuales corresponden a: i) la condición de sustrato salino y/o agua, ii) la vegetación muerta (rastroy).

### 6.1.2.3 *Materiales y equipos utilizados*

Los implementos utilizados por los especialistas para el muestreo en cada transecta son:

- Un navegador Garmin 20X ETREX en invierno y Garmin GPSMAP 65 (GPS) en verano. Para localizar cada transecta en el área de estudio. Además, se georreferenció con este GPS las coordenadas de inicio y fin en UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum WGS 84 19S, con el fin de confirmar su ubicación.
- Huincha de medir de 50 metros de longitud. Para ubicar los puntos de intercepción a lo largo de la transecta, cada 0,1 m.
- Un formulario para el registro de los componentes de muestreo predichos.
- Cámara fotográfica. Se realizó un registro fotográfico de la formación vegetal, sistematizando la toma fotográfica con tres fotografías en las secciones inicial y final, y cuatro fotografías en la sección central, en cada transecta.

### 6.1.2.4 *Metodología de muestreo*

#### 6.1.2.4.1 Aspectos generales

El método utilizado para el muestreo de la vegetación se basa en el **método de Carta de Ocupación de Tierras, en adelante COT**. Esta metodología se utiliza para validar la caracterización de la vegetación, estacionalmente, en los puntos de muestreo de las transectas, con respecto a la caracterización que se realiza a nivel general en el área de estudio con el muestreo de vegetación COT (ver en sección 6.1.1.5).

En cuanto a la caracterización de la flora, el **método utilizado fue el de “Intercepto de Puntos”** (ver ficha de terreno tipo en **Anexo I Vegetación y Flora**), según lo establecido por el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

El método de intercepto de puntos en transectos, entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, para la misma cantidad de puntos muestreados (Blackman, 1935; Goodall, 1952; Greg- Smith, 1983). Por lo anterior, el método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat”, en este caso corresponde al catastro florístico en puntos separados cada 0,1 metros, a través de transectas lineales de 50 metros de longitud, asumiendo que la probabilidad en que un taxa intercepte la huincha

es función de la cobertura (Mueller-Dumbois y ElleMBERG 1974). A partir de este método, se pueden calcular parámetros de riqueza y cobertura de especies en cada transecta.

#### 6.1.2.4.2 Trabajo en terreno

El levantamiento de información se realizó en una campaña de terreno, donde se visitó y registró la información de las 31 transectas de monitoreo, de 50 metros de longitud, ubicadas y marcadas durante el Monitoreo Base 0 realizado en etapa de pre-operación del proyecto (RWL-Cedrem agosto 2016) **ver Fotografía N° 6-1.**

#### **Fotografía N° 6-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar**



Fuente: Elaboración propia

El relevamiento de información en las transectas se realiza en cada campaña estacional, y se divide en tres fases: i) validación de la formación vegetal, ii) registro de características físicas del terreno y iii) la caracterización de la flora.

En primer lugar, se verifica la formación vegetal de la transecta en base a la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT) modificada de Etienne & Prado (1982), en base a la caracterización de la vegetación realizada para toda el área de estudio según lo presentado en los resultados de vegetación (COT). En este proceso, se observaron y registraron los siguientes parámetros:

- El estrato biológico dominante (tipo de formación), permitiendo distinguir y clasificar los tipos biológicos presentes en la formación vegetal.
- Las especies dominantes, definidas como aquellas especies que presentan el mayor porcentaje de cobertura,
- La cobertura total de la transecta, que representa la proporción del terreno que es ocupada por la vegetación o por su proyección horizontal, y

- El grado de alteración de la vegetación, a través de un índice, en relación con su condición inicial o natural, y/o de su grado de intervención antrópica. Este grado se determinó visualmente en terreno de acuerdo con los criterios semi-cuantitativos señalados en la **Tabla N° 6-6**.

Paso seguido, se registran las siguientes características físicas del terreno correspondientes a:

- Altitud,
- Orientación de la transecta,
- Fisiografía correspondiente al tipo de sustrato y textura, tales como arcilla, arena, costra salina, terroso, entre otras,
- Contenido de humedad del suelo, según clasificación presentada en la **Tabla N° 6-16**, y
- Porcentaje de afloramiento salino.

**Tabla N° 6-16. Contenido de humedad del suelo**

CONTENIDO HUMEDAD DEL SUELO	CARACTERÍSTICAS
No saturado	Cuando el suelo no se encuentra en su límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo
Saturado	Cuando el suelo se encuentra en su límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo
Sobresaturado	Cuando el suelo sobrepasa su límite superior de almacenamiento de agua o su capacidad de campo, por lo tanto, se observa un suelo anegado

Fuente: Elaboración propia

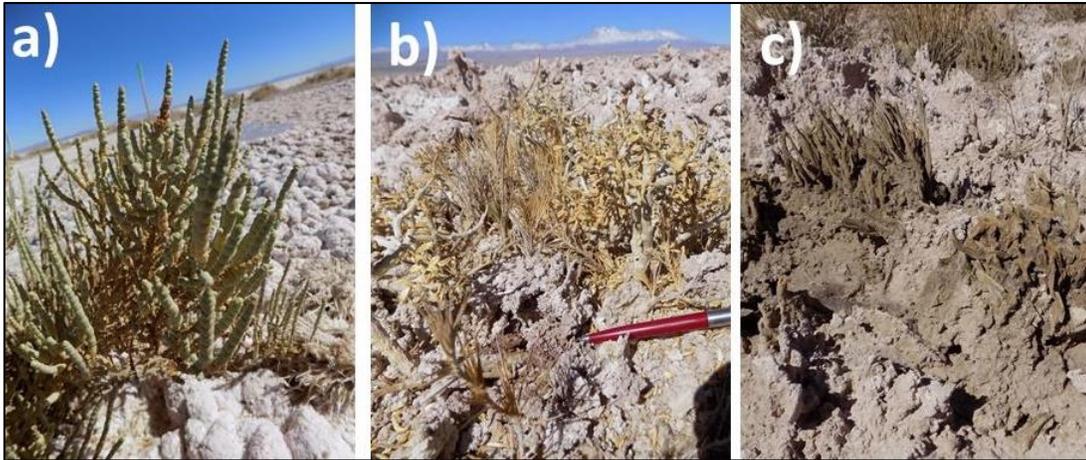
Para el levantamiento de la información, las transectas se marcan utilizando una huincha métrica (**Fotografía N° 6-1**). Seguidamente, se visita cada punto de muestreo y se proyecta una línea perpendicular al suelo, para registrar todos los taxa que se interceptan con esta vertical.

Durante el muestreo de los taxa en cada punto de muestreo, se considera una subdivisión de las especies de flora en relación con su estado fenológico y condición sanitaria, según las siguientes definiciones (**Fotografía N° 6-2**):

- **Vegetación viva:** corresponde a una planta vascular en buen estado, de forma tal que los atributos que la caracterizan como especie son fácilmente apreciables. Cabe señalar que se consideraron también como individuos vivos, a aquellos que se encontraron en estado fenológico latente, es decir secos y con signos que sugirieron la posibilidad de rebrote durante la siguiente estación húmeda.

- **Rastrojo:** restos de una planta vascular (que debido a sus características pueden permitir o no su identificación), que se encuentran secos o en malas condiciones sanitarias y que aparentemente corresponden a un individuo muerto o en descomposición (materia orgánica).

#### Fotografía N° 6-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastrojos



Dónde: a) Vegetación viva en buen estado; b) vegetación viva en estado latente; c) rastrojo.

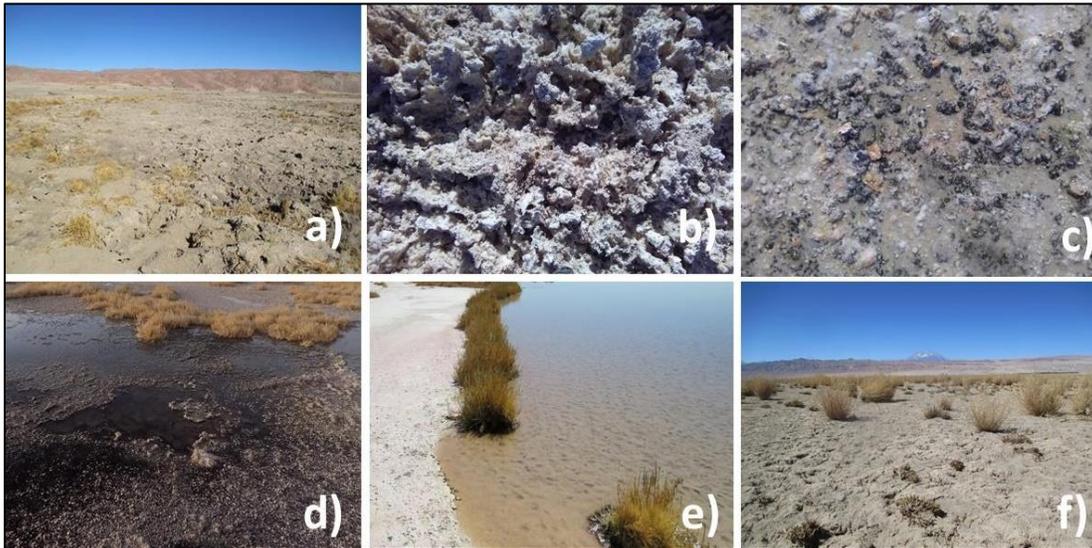
Fuente: Elaboración propia

Además, en caso de que un punto de muestreo presentase áreas desprovistas de vegetación, se procede a registrar aspectos relacionados con la condición de sustrato (**Fotografía N° 6-3**), como elemento clave para detectar posibles cambios futuros en la unidad vegetal. Se identifican como “otros recubrimientos” para el seguimiento de sus coberturas, correspondientes a las siguientes clases:

- **Costra salina:** corresponde al recubrimiento de suelo con alto contenido salino y que puede identificarse visualmente como afloramiento salino.
- **Costra salina terrosa:** costra salina y con presencia de recubrimiento de suelo el cual presenta textura terrosa.
- **Costra salina saturada:** costra salina con un contenido de humedad que se encuentra en el límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo.
- **Costra salina sobresaturada:** costra salina con un contenido de humedad el cual sobrepasa su límite superior de almacenamiento de agua o su capacidad de campo, por lo tanto, se observa un suelo anegado.
- **Agua superficial:** corresponde al sustrato cuyo contenido de humedad supera su capacidad de almacenamiento, generándose una película de agua sobre la superficie del suelo. Dependiendo de la cantidad de agua, y de la morfología del terreno puede observarse como un cuerpo de agua.

- **Sustrato terroso:** corresponde a sustrato de suelo desnudo en cuya textura se observa un bajo contenido salino y predomina la apariencia de suelo de textura terrosa.

**Fotografía N° 6-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación**



Dónde: a) costra salina terrosa; b) costra salina; c) costra salina saturada; d) costra salina sobresaturada; e) agua superficial o cuerpo de agua; f) sustrato terroso.

Fuente: Elaboración propia.

En cada transecta se georreferencia con GPS sus coordenadas<sup>14</sup> de inicio y fin en Datum WGS 84 Huso 19S y se mantiene un registro fotográfico de la formación vegetal.

#### **6.1.2.5 Metodología de cálculo y análisis**

Toda la información recogida en el muestreo es ordenada y almacenada digitalmente en una base de datos de consulta. Dado que el análisis es dependiente de la identificación florística, se realiza una revisión de las muestras botánicas colectadas y de las especies registradas y fotografiadas, para asegurar su identificación taxonómica.

Posteriormente, se desarrolló un trabajo de revisión y sistematización de la información (**Anexo Vegetación y Flora**), comparando la información proveniente de los formularios, con los registros preexistentes de las formaciones vegetales y de la flora con nombres científicos verificados, y las fotografías de terreno. Esto, en conjunto con las observaciones provenientes de terreno, permite validar o reclasificar cuando fue necesario, las distintas formaciones vegetales y composición florística de cada transecta.

<sup>14</sup> UTM (Universal Transversal de Mercator)

Para el análisis de coberturas de la vegetación y flora en su condición estacional, se realizan distintos cálculos para obtener la cobertura absoluta de las especies por transecta, el promedio de la cobertura absoluta en las transectas y el promedio de la cobertura absoluta en los sectores.

El cálculo del porcentaje de cobertura absoluta de las especies se realiza asumiendo que la probabilidad que un taxa intercepte la recta proyectada en los puntos a lo largo de la transecta, es en función de su cobertura (Mueller-Dumbois y ElleMBERG 1974). En consideración de esto, se determinan los siguientes parámetros:

- **Porcentaje de cobertura absoluta de una especie de la transecta (Casp)**

$$Casp = \frac{n_{sp} \times 100}{N_{pi}} = \frac{n_{sp} \times 100}{500}$$

Donde:

$n_{sp}$  = Representa el número total de veces que una misma especie intercepta la huincha en los puntos establecidos en una transecta.

$N_{pi}$  = Representa el número de puntos de intercepción establecidos a lo largo de la transecta.

- **Porcentaje de cobertura absoluta de las especies de la transecta (Cat)**

$$Cat = \sum Casp$$

Es decir, corresponde a la suma de las coberturas absolutas de cada una de las especies presentes en una transecta.

- **Promedio de la cobertura absoluta de la transecta ( $\overline{Cat}$ )**

$$\overline{Cat} = \frac{Cat}{S_T} = \frac{\sum Casp}{S_T}$$

Donde:  $S_T$  = Riqueza de especies de la transecta. Representa el número total de especies que interceptan la transecta en los puntos establecidos.

- **Promedio de la cobertura absoluta del subsector (CaSEC)**

$$CaSEC = \frac{\sum Cat}{NT}$$

Donde:

$\sum Cat$  = Representa la suma de los porcentajes de cobertura absoluta de todas las transectas de un subsector.

$NT$  = Corresponde al número de transectas realizadas en el subsector.

#### **6.1.2.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro**

El Monitoreo 13 (M13) de invierno 2022 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 22 y 29 de agosto de 2022, para el levantamiento y validación COT.

El Monitoreo 14 (M14) de verano se realizó durante el período tardío de verano (post-lluvias), entre los días 12 y 17 de abril de 2023.

#### **6.1.3 Distribución y Cobertura de la Vegetación Azonal – Uso de Imágenes Satelitales - NDVI**

Para el seguimiento de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, se utilizan imágenes satelitales de alta resolución espacial, según lo establecido en la Adenda 5 RWL (2015), Apéndice B, para monitorear las coberturas vegetacionales, en base a la vegetación activa de cada formación determinada en la COT, y su grado de vigorosidad, durante la temporada de crecimiento de la vegetación, esto se refiere idealmente al periodo posterior a las precipitaciones estivales (marzo – abril).

La superficie de la cobertura vegetal activa se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés), siendo éste el establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, y siendo éste el índice más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

##### **6.1.3.1 Descripción del área de estudio**

Para el seguimiento de la “distribución y cobertura de la vegetación azonal – NDVI” se utilizan imágenes satelitales de alta resolución espacial, según lo establece el Anexo 2, Adenda 5 RWL (2015), para monitorear las coberturas vegetacionales en base a su vegetación activa y su grado de vigorosidad; esto se lleva a cabo durante la temporada de crecimiento de la vegetación, periodo posterior a las precipitaciones estivales. La distribución y superficie de las formaciones sujetas a seguimiento está determinada por la carta de ocupación de tierras (COT), en su última actualización disponible para el área. En este caso particular, se considera como marco para la determinación de la vegetación activa, la COT correspondiente a abril 2023, siendo la versión actualizada del mapeo de vegetación del área de estudio, en cuanto a distribución y superficie de las formaciones vegetales.

Es necesario recordar, que la COT en términos generales se ha estabilizado campaña a campaña, respecto de cómo se posicionan espacialmente las superficies y distribución de las formaciones vegetales en seguimiento, y es este dato el que se usa. En este sentido, las coberturas y variaciones que se puedan dar por estacionalidad no determinan, el análisis

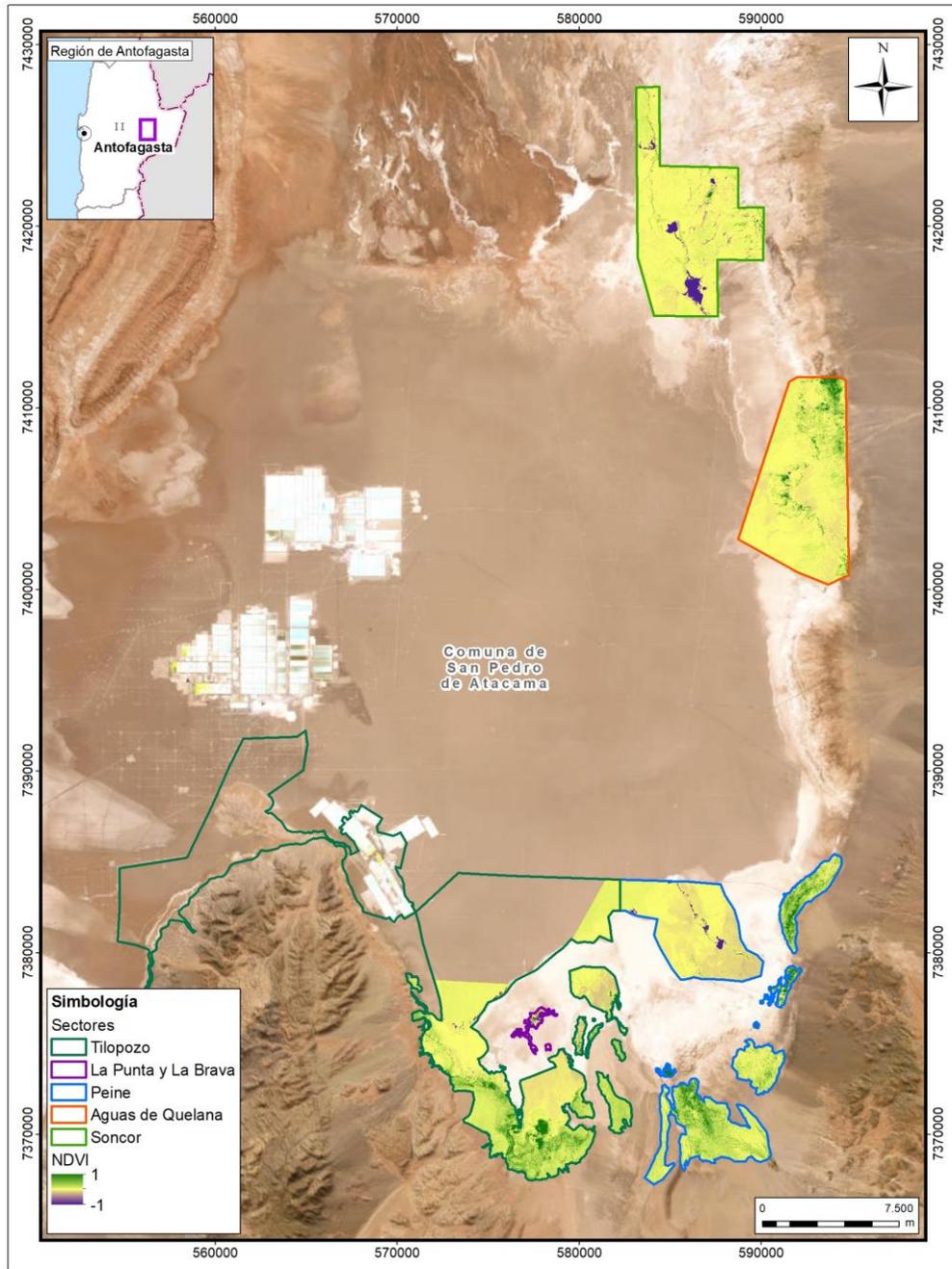
NDVI, dado que para este efecto la COT usada solo nos señala ubicación y superficie de una determinada formación vegetal.

La superficie de la cobertura vegetal activa se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés), siendo éste el establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, y siendo éste el índice más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

#### **6.1.3.2 Ubicación de sectores para la medición**

La obtención de los valores de NDVI se realiza en un área congruente con la superficie de la Carta de Ocupación de Tierras (COT – abril 2023; Ver **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (verano 2023)**) del Proyecto, que representa la vegetación zonal y azonal en cinco sectores del Salar en la campaña de verano de 2021: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Aguas de Quelana y (v) Soncor (**Figura N° 6-8**). Para fines de seguimiento en terreno y de comparación con la COT, el sector “Tilopozo” indicado en el Apéndice B (Adenda 5 RWL, 2015), se desagrupó en “Tilopozo – La Punta y La Brava”.

**Figura N° 6-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama**



Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3.3 *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales*

El seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a las **superficies de vegetación activa según el índice NDVI**, estimadas por sector a través de imágenes satelitales de alta resolución. Esto en cumplimiento a lo dispuesto en la Adenda 5 y la RCA que aprueba al proyecto.

En consideración de lo mencionado recientemente, el análisis comparativo se realiza con las *superficies de vegetación activa por sector de estudio* y tomando las variaciones en relación a los valores mínimos y máximos históricos de la línea de base, que para el componente corresponden al PMB (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015).

La cobertura de vegetación activa se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado (NDVI por su sigla en inglés)**, siendo éste el más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

El NDVI se calcula mediante la comparación de las bandas espectrales Roja (R) e Infrarroja cercana (NIR) de las imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución, usando la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

**NIR** Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (Banda 4), y

**R** Reflectancia en el rojo (Banda 3).

El NDVI entrega una estimación de la densidad y vigor de la vegetación verde a una resolución equivalente a la del píxel de la imagen que se esté utilizando. Los valores del índice varían en un rango de entre -1 y 1, detectando la cobertura vegetal en los valores positivos. Mayor NDVI estima proporcionalmente mayor fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes y/o mayor biomasa.

### 6.1.3.4 *Materiales y equipos utilizados*

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades-1A y 1B, compuesto de un mosaico del sector sur, correspondiente a sector Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo y un mosaico del sector norte, correspondiente a los sectores Aguas de Quelana y Soncor (**Figura N° 6-9**).

La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada, y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m).

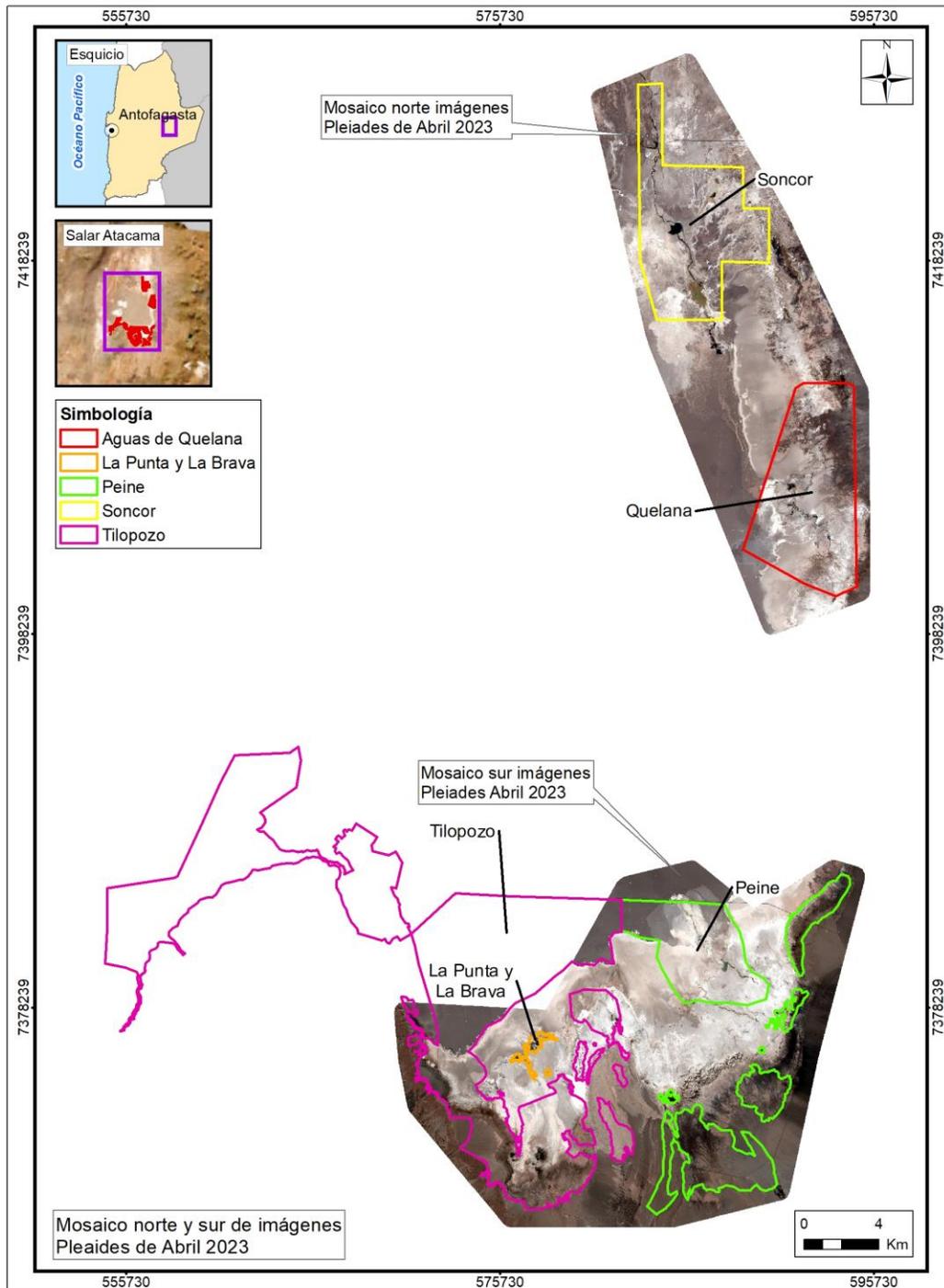
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales con resolución de 2 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la **Tabla N° 6-17** y en el **Anexo Vegetación y Flora** de las imágenes analizadas.

**Tabla N° 6-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A-1B**

CARACTERÍSTICAS	DETALLE	
Órbita	Altitud: 695 km	
	Tipo: Tipo sincrónica con el sol	
Bandas Sensor	Pancromáticas: 480 - 830 nm	
	Multiespectrales	
	Azul: 430 - 550 nm	Rojo: 600 - 720 nm
	Verde: 490 - 610 nm	Infrarrojo: 750 - 950 nm
Resolución del sensor	Pancromática: 50cm	
	Multiespectral: 2 m	

Fuente: <http://www.satimagingcorp.com>

**Figura N° 6-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2023 en el Salar de Atacama**



Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3.5 Metodología de cálculo y análisis

En una primera fase de este proceso, las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y 1B, fueron sometidas a procesamiento digital de correcciones radiométricas y atmosféricas, con el fin de reducir errores provenientes de interferencias, las cuales pueden ser producto del ángulo de captura y alteraciones en el movimiento del satélite, o bien el efecto de las partículas presentes en la atmósfera, entre otros.

Inicialmente, a cada imagen se le realizó una corrección radiométrica, la cual consiste en la conversión de los valores de pixeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ( $W / (m^2 * sr * \mu m)$ )<sup>15</sup>. Este proceso se utiliza como medio de calibración para disminuir la falta de uniformidad en los valores digitales debido a efectos producidos por errores sistemáticos en el sensor, tales como la contaminación de partículas en su plano focal, las que pueden manifestarse en forma de manchas y bandas en las imágenes. Esta conversión proporciona una base para la comparación de datos en una sola escena o entre imágenes adquiridas en fechas diferentes o por diferentes sensores (Chander *et al.*, 2009).

Posteriormente, se realizó la corrección atmosférica de cada imagen. Esta corrección busca reducir el efecto de la interacción de las moléculas y partículas de la atmósfera (vapor de agua, polvo en suspensión, entre otras) en la radiación electromagnética captada por los sensores de un satélite. La eliminación de los efectos atmosféricos y del terreno, recuperan los parámetros físicos de la superficie incluyendo la reflectancia, visibilidad del suelo y temperatura. Para este fin, se utilizó el módulo ATCOR (por su sigla en inglés, Atmospheric & Topographic Correction).

El módulo de corrección atmosférica ATCOR permite ejecutar correcciones de reflectancia provenientes de la parte alta de la atmósfera, la eliminación de neblina y el enmascaramiento de nubes, así como correcciones atmosféricas de la reflectancia del suelo y las correcciones atmosféricas de la temperatura superficial.

El algoritmo ATCOR trabaja con una base de datos de funciones de corrección atmosféricas almacenados en tablas de búsqueda, para diferentes perfiles de altitud de presión, la humedad, y el tipo de aerosol. El método calcula la reflectancia del suelo para cada píxel, en cada banda espectral; posteriormente se puede utilizar para análisis de índices espectrales o para comparar los valores de reflectancia entre imágenes satelitales.

A continuación, las imágenes son ortorrectificadas a modo de eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, las imágenes fueron unidas conformando tres mosaicos dentro del área de estudio (polígono norte y polígonos sur en **Figura N° 6-9**).

En la segunda fase, durante el post - procesamiento de las imágenes satelitales, se calcula el índice NDVI (ver detalles de este índice espectral en la **sección 6.1.3.3** y luego se

<sup>15</sup> Dónde: W: Watts; m<sup>2</sup>: metro cuadrado; sr: estereorradián; μm: micrómetro.

establecen los valores del umbral de NDVI a partir del cual se determina la vigorosidad de la vegetación al interior de cada formación vegetal, por lo que se considerará o no “activa”.

La definición de los umbrales del NDVI se realizó para cada una de las formaciones vegetales descritas por la COT y su cobertura vegetal, para lograr representar el patrón de distribución espacial de la vegetación activa.

Siguiendo dicho patrón de distribución, los umbrales se calculan en consideración del método de clasificación de datos “Quebres naturales” o “Natural breaks”<sup>16</sup>, para cada formación vegetal (polígonos) definidas en la COT, considerando la cobertura más actual existente (verano 2023). Este método de clasificación de datos permite visualmente agrupar valores similares, y bajo ese análisis determinar cuál es la agrupación de datos (desde que valor o umbral) se expresa con mejor ajuste la vegetación activa/no activa.

**Tabla N° 6-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo**

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA		
				NDVI 2021	NDVI 2022	NDVI 2023
Tilopozo - La Punta y La Brava	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Ephedra breana</i> (T)	>0,100	>0,094	>0,102
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (T)	>0,128	>0,126	>0,123
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (LPLB)	>0,107	>0,099	>0,093
			Vega de <i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,154	>0,150	>0,251
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,107	>0,104	>0,093
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i> (T)	>0,107	>0,106	>0,218
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Juncus balticus</i> (T)	>0,115	>0,134	>0,194
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	-	-	>0,172
			Vega de <i>Juncus balticus</i> (T)	>0,104	>0,097	>0,084
			Vega de <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,107	>0,096	>0,103
			Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,107	>0,104	>0,054
			Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i> (LPLB)	>0,051	>0,053	>0,057
			Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,099	>0,108	>0,093
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,134	>0,135	>0,229
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,122	>0,127	>0,204
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,154	>0,124	>0,219

<sup>16</sup> Método basado en la naturaleza de los datos, donde los límites entre clases quedan establecidos por diferencias considerables entre los valores éstos (Smith, Goodchild & Longley, 2015).

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA					
				NDVI 2021	NDVI 2022	NDVI 2023			
			Vega de <i>Triglochin concinna</i> (T)	>0,092	>0,084	>0,057			
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,103	>0,103	>0,11			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,111	>0,106	>0,078			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i> (T)	>0,102	>0,097	>0,083			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,145	>0,138	>0,124			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,126	>0,116	>0,075			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,144	>0,129	>0,133			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,097	>0,098	>0,146			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Triglochin concinna</i> (LPLB)	>0,110	>0,096	>0,076			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i> (T)	-	-	>0,109			
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,114	>0,092	>0,065			
			Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i> (T)	>0,094	>0,097	>0,075			
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i> (LPLB)	>0,100	>0,125	>0,083			
			Peine	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	>0,089	>0,086	>0,078
						Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	>0,088	>0,085	>0,074
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,077	>0,079				>0,065			
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,080	>0,083				>0,099			
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,126	>0,123				>0,123			
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,106	>0,101				>0,093			
Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>		>0,128	>0,111	>0,093			
		Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>		>0,115	>0,152	>0,218			
		Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>		>0,157	>0,201	>0,3			
		Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>		>0,177	>0,177	>0,219			
	Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>		>0,114	>0,114	>0,11			
		Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>		>0,169	>0,169	>0,146			

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA		
				NDVI 2021	NDVI 2022	NDVI 2023
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,085	>0,080	>0,079
Aguas de Quelana	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,073	>0,076	>0,099
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	>0,086	>0,085	>0,095
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,086	>0,082	>0,096
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,109	>0,111	>0,126
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	>0,081	>0,096	>0,092
			Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,087	>0,088	>0,083
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	>0,113	>0,116	>0,092			
Soncor	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,130	>0,133	>0,096
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,146	>0,144	>0,126

Fuente: Elaboración propia. Umbrales de corte del parámetro NDVI, para determinación de vegetación activa/no activa y su relación con valor de umbral de seguimiento verano 2021. Método de clasificación basado en "Quebres Naturales".

### 6.1.3.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro

La captura de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A/B se realizó con fecha 13 de abril de 2023 (en detalle **metadata imágenes satelitales en Anexo Vegetación y Flora**).

## 6.2 RESULTADOS

### 6.2.1 Resultados cobertura y vegetación (COT)

#### 6.2.1.1 Resultados del muestreo campaña de invierno de 2022

##### 6.2.1.1.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo con lo observado en invierno 2022 (M13), no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación al monitoreo de verano de 2017 en adelante (post ajuste metodológico), dando como resultado superficies similares en los distintos tipos de recubrimiento, con una estabilidad principalmente en las formaciones vegetales. Lo anterior, se traduce en una validación de la COT.

En el monitoreo de invierno 2022 (**Tabla N° 6-19**), se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, los mismos identificados en campañas anteriores, entre los cuales destaca la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) equivalente a un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal con una superficie de 7.238,0 hectáreas, equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,7% por vegetación zonal y en un 13,2% por vegetación azonal. Dentro de los tipos de formaciones, se identificaron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia; seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo con la dominancia de sus especies; y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y seis de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 6-12**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 914,3 hectáreas (2,8%) y las vegas de *Juncus balticus* con 124,7 hectáreas (0,4%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 6-11**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.139,3 (6,5%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y el matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 522,7 ha (1,6%), distribuida en el sector Aguas de Quelana (**Figura N° 6-10**). En la **Tabla N° 6-19** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

De acuerdo con el proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 6-20**, se presenta un resumen de las coberturas y especies dominantes por formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 6-19**, la formación que presenta mayor cantidad de unidades cartográficas corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (46 unidades), las cuales presentan en general una cobertura muy escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a muy densa (5% a 100%) en su estrato herbáceo (**Tabla N° 6-20**). En contraste, seis formaciones vegetales están representadas por solo una unidad cartográfica.

Particularmente en Soncor, durante el proceso de actualización de la COT, se realizó la delimitación de la vegetación según este método, dado que durante la línea base (Adenda 5 RWL, 2015) este sector se reportó como “Área Soncor”. A partir de esto, en el sector destaca la principal ocupación de áreas desprovistas de vegetación con 4.762,0 hectáreas (94,9% del sector), mientras que en la superficie restante existen formaciones vegetales azonales (24,8 hectáreas).

Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de invierno 2022, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2022)**.

**Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2022**

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
<b>OTROS RECUBRIMIENTOS</b>	<b>14.408,0</b>	<b>59,2</b>	<b>2.936,0</b>	<b>3.435,4</b>	<b>4.993,5</b>	<b>94</b>	<b>25.832,1</b>	<b>78,1</b>
<b>ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN</b>	<b>13.088,6</b>	<b>19,4</b>	<b>2.832,6</b>	<b>3.410,1</b>	<b>4.762,0</b>	<b>51</b>	<b>24.112,7</b>	<b>72,9</b>
Salares	12.474,0	19,4	2.675,6	3.410,1	4.762,0	34	23.341,1	70,6
Áreas denudadas	614,5		157,0			17	771,5	2,3
<b>AREAS INDUSTRIALES</b>	<b>1.245,2</b>					<b>4</b>	<b>1.245,2</b>	<b>3,8</b>
Centros industriales	1.198,1					1	1.198,1	3,6
Suelos removidos	47,1					3	47,1	0,1
<b>CUERPOS DE AGUA</b>	<b>74,2</b>	<b>39,8</b>	<b>103,4</b>	<b>25,4</b>	<b>231,5</b>	<b>39</b>	<b>474,2</b>	<b>1,4</b>
Lagunas	74,2	39,8	103,4	25,4	231,5	39	474,2	1,4
<b>VEGETACIÓN ZONAL</b>	<b>583,0</b>		<b>2.181,0</b>	<b>114,8</b>		<b>28</b>	<b>2.878,7</b>	<b>8,7</b>
<b>MATORRALES</b>	<b>583,0</b>		<b>2.181,0</b>	<b>114,8</b>		<b>28</b>	<b>2.878,7</b>	<b>8,7</b>
<i>Matorral con dominancia de Aa</i>			542,8			2	542,8	1,6
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>			69,5			2	69,5	0,2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	491,1					9	491,1	1,5
<i>Matorral con dominancia de Tb</i>	91,8		1.420,2	114,8		14	1.626,8	4,9
<i>Matorral de Ai</i>			148,5			1	148,5	0,4
<b>VEGETACIÓN AZONAL</b>	<b>2.063,2</b>	<b>59,3</b>	<b>808,0</b>	<b>1.404,0</b>	<b>24,8</b>	<b>108</b>	<b>4.359,3</b>	<b>13,2</b>
<b>HUMEDALES</b>	<b>880,9</b>	<b>4,6</b>	<b>108,3</b>	<b>203,9</b>	<b>16,9</b>	<b>68</b>	<b>1.214,7</b>	<b>3,7</b>
<i>Vega con dominancia de dp</i>	600,6	2,3	90,6	203,9	16,9	46	914,3	2,8
<i>Vega con dominancia de jb</i>	124,7					4	124,7	0,4
<i>Vega con dominancia de nia</i>	27,0	2,4				3	29,4	0,09
<i>Vega con dominancia de sca</i>	62,6		17,7			13	80,2	0,2
<i>Vega con dominancia de tc</i>	23,5					1	23,5	0,1

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
Tipo de formación o recubrimiento								
<i>Formación vegetal</i>								
<i>Vega de ph dp sca</i>	42,5					1	42,5	0,1
<b>MATORRAL - HUMEDAL</b>	<b>1.182,3</b>	<b>54,7</b>	<b>699,7</b>	<b>1.200,1</b>	<b>7,8</b>	<b>40</b>	<b>3.144,6</b>	<b>9,5</b>
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de dp</i>	45,5					1	45,5	0,1
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb</i>	97,5					3	97,5	0,3
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc</i>		13,6				1	13,6	0,04
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	164,6		3,4			9	168,0	0,5
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	18,2	41,1	8,9	21,6		6	89,8	0,3
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>				18,6		1	18,6	0,1
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>	49,6					3	49,6	0,2
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>				522,7		7	522,7	1,6
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>	806,8		687,4	637,3	7,8	9	2.139,3	6,5
<b>Total general (ha)</b>	<b>17.054,1</b>	<b>118,5</b>	<b>5.925,0</b>	<b>4.954,2</b>	<b>5.018,2</b>	<b>230</b>	<b>33.070,1</b>	<b>100</b>
<b>Total general (%)</b>	<b>51,6</b>	<b>0,4</b>	<b>17,9</b>	<b>15,0</b>	<b>15,2</b>	<b>100</b>		

Donde: Códigos especies arbustivas: Aa: *Atriplex atacamensis*, Ad: *Aloysia desérticola*, Ai: *Atriplex imbricata*, Eb: *Ephedra breana*, Lh: *Lycium humile*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Tb: *Tessaria absinthioides*; Especies herbáceas: bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus*, ph: *Phragmites australis*, nia: *Nitrophila atacamensis*, sca: *Schoenoplectus californicus*, tr: *Triglochin concinna*. UC: Unidades Cartográficas.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2022**

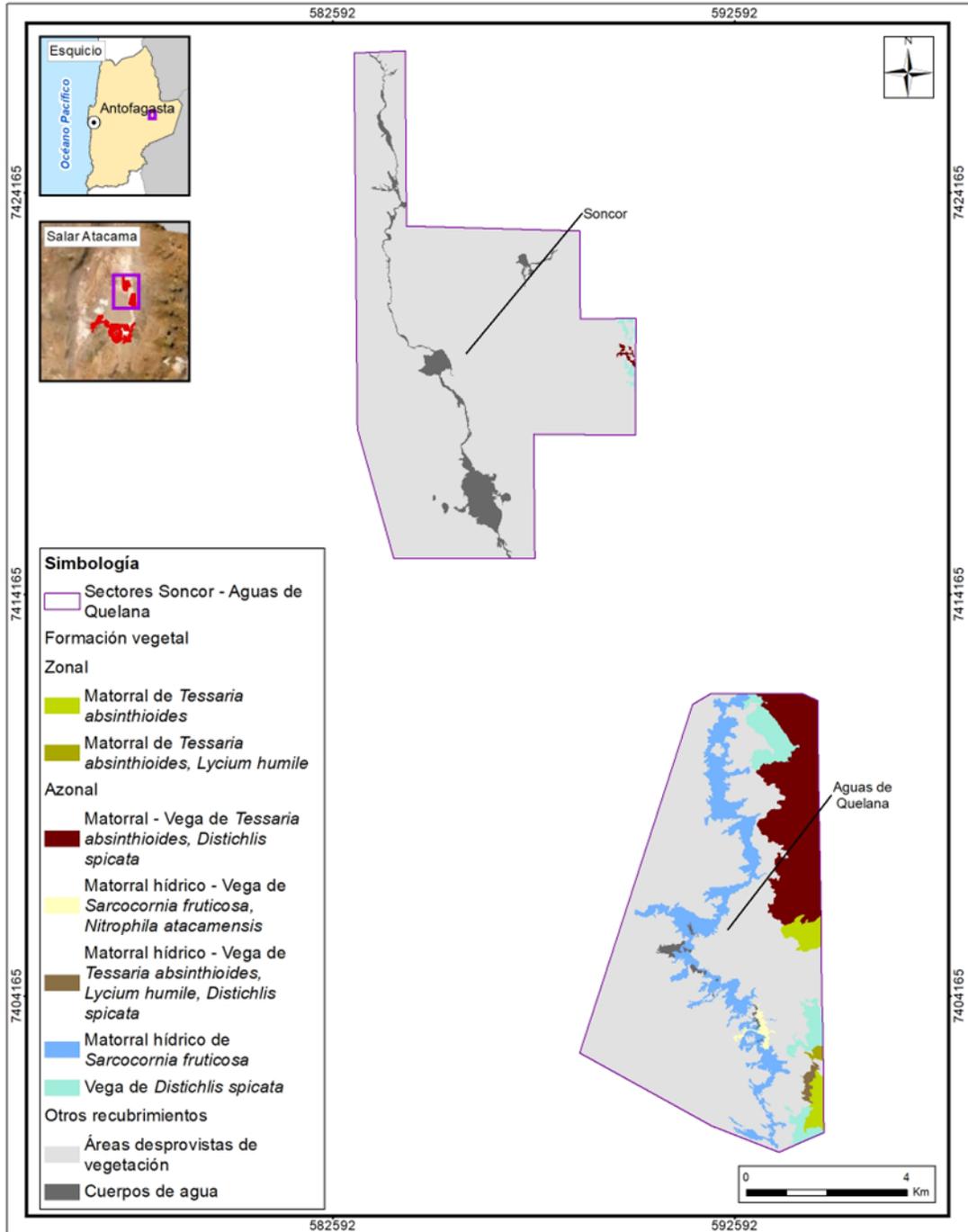
RECUBRIMIENTO DE SUELO <i>Formación vegetal</i>	Especies dominantes	Cobertura vegetal	
		LB	H
<b>VEGETACIÓN ZONAL</b>			
<b>MATORRALES</b>			
<i>Matorral con dominancia de Aa</i>	Aa cid Tt	4(3-4)	4
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>	Ad Aa Ai cis cid	3	4
<i>Matorral de Ai</i>	Ai cid	3	2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	Eb dp	2(2-3)	2
<i>Matorral con dominancia de Tb</i>	Tb Aa Lh	4(2-5)	1
<b>VEGETACIÓN AZONAL</b>			
<b>HUMEDALES</b>			
<i>Vega de ph dp sca</i>	ph dp sca		4
<i>Vega con dominancia de dp</i>	dp bj jb	1	3(2-7)
<i>Vega con dominancia de jb</i>	jb dp	1	3(3-4)
<i>Vega con dominancia de nia</i>	nia tc dp Sf	1	2(2-3)
<i>Vega con dominancia de sca</i>	sca bj dp		7(2-7)
<i>Vega con dominancia de tc</i>	tc		3
<b>MATORRAL - HUMEDAL</b>			
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>	Tb dp	3(3-4)	3(2-5)
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>	Lh	3	
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>	Sf	3(2-4)	
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de dp</i>	Lh dp	2	2
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb</i>	Lh jb dp	2(2-3)	2(2-4)
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc</i>	Sf tc	2	3
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	Lh dp sca jb bj	3(2-4)	3(3-4)
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	Sf dp nia pu tc	3(2-4)	2(2-4)
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>	Tb Lh dp	3	2
<b>Total Unidades cartográficas con cobertura vegetal</b>			

\*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado. Dónde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Cobertura vegetal (%)		Códigos de especies	Herbáceas (H):
<b>1</b>	muy escasa (1-5)	<b>Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):</b>	bj <i>Baccharis juncea</i>
<b>2</b>	escasa (5-10)	Aa	cid <i>Cistanthe densiflora</i>
<b>3</b>	muy clara (10-25)	Ad	cis <i>Cistanthe salsoloides</i>
<b>4</b>	clara (25-50)	Ai	dp <i>Distichlis spicata</i>
<b>5</b>	poco densa (50-75)	Eb	jb <i>Juncus balticus</i>
<b>6</b>	densa (75-90)	Lh	nia <i>Nitrophila atacamensis</i>
<b>7</b>	muy densa (>90)	Sf	ph <i>Phragmites australis</i>
		Tb	pu <i>Puccinellia frigida</i>
		Tt	sca <i>Schoenoplectus californicus</i>
			tc <i>Triglochin concinna</i>

Fuente: Elaboración propia.

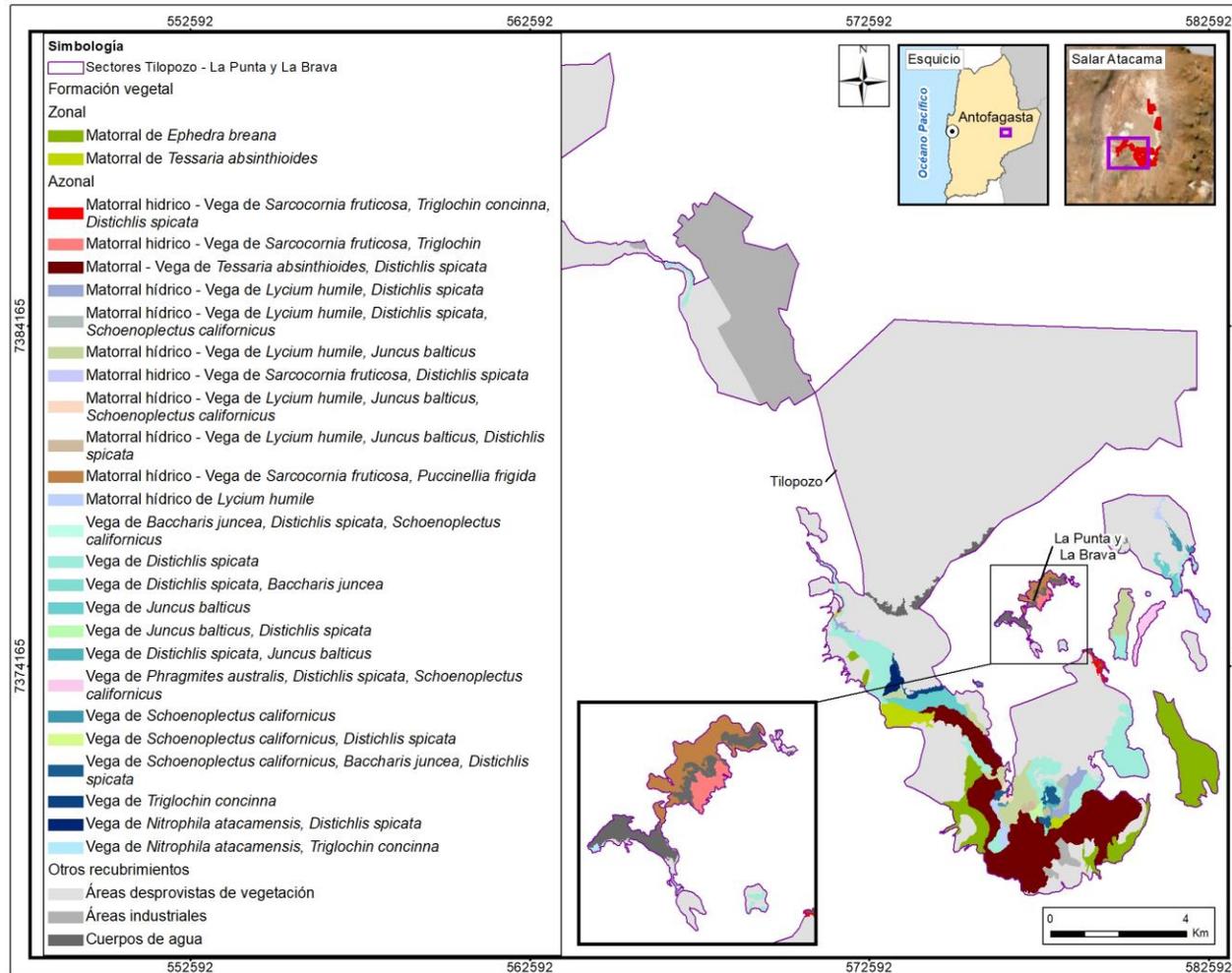
**Figura N° 6-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio<sup>17</sup>. Invierno de 2022**



Fuente: Elaboración propia.

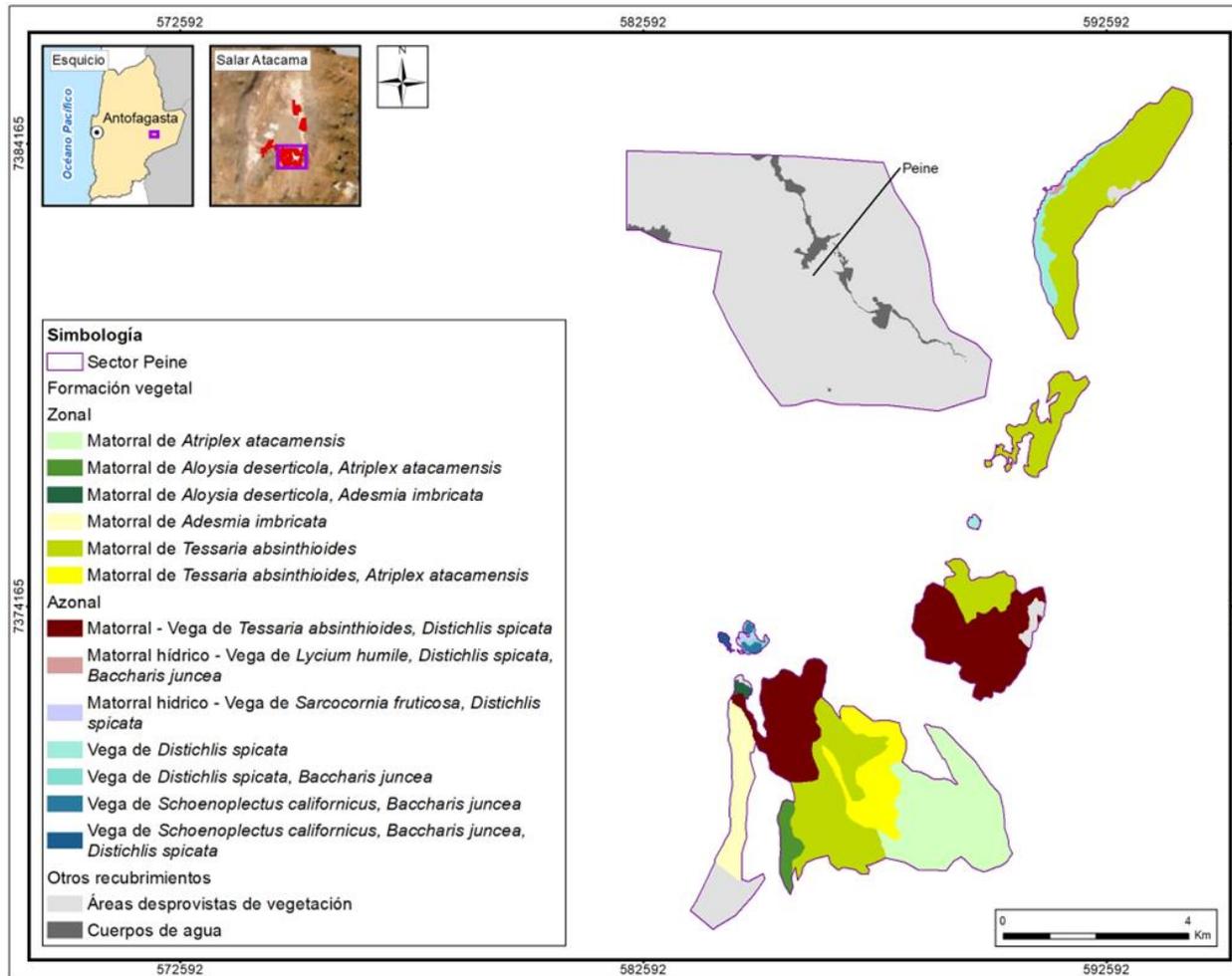
<sup>17</sup> Esta área norte, si bien no fue muestreada en este monitoreo de invierno 2022, fue revisado con las imágenes satelitales para verificar la delimitación de las unidades, sin encontrar cambios cartografiados.

**Figura N° 6-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Invierno de 2022**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2022**



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.2.1.1.2 Formaciones vegetales - invierno 2022

Como resultado de la campaña de invierno 2022; a continuación, se describe la vegetación de acuerdo con sus patrones de distribución zonal y azonal, junto con una descripción general para las unidades correspondientes a otros recubrimientos dentro del área de estudio. En las figuras previas presentadas, **Figura N° 6-10**, **Figura N° 6-11** y **Figura N° 6-12**, se muestra la distribución de las formaciones vegetales según la COT, en la zona norte (Soncor y Quelana) y sur (Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine) del área de estudio. Los resultados de la cartografía para el monitoreo de invierno de 2022 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de invierno 2022, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2022)**.

##### a) Vegetación Zonal

- *Matorral con dominancia de Atriplex atacamensis*

Esta formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por el arbusto *Atriplex atacamensis*, “cachiyuyo”, donde destacan otras especies acompañantes como *Tiquilia atacamensis* y la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal arbustiva varía entre muy clara y clara (10 a 50%), y clara (25-50%) para el estrato herbáceo (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación se observa en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 542,8 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral con dominancia de Aloysia deserticola*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie *Aloysia deserticola* “rica-rica”, donde destacan otras especies acompañantes como *Atriplex atacamensis*, *Atriplex imbricata* y las herbáceas *Cistanthe densiflora* y *Cistanthe salsoloides*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa como muy clara (10 a 25%), mientras que para el estrato herbáceo se observa como clara (25-50%) (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación está presente en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 69,5 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral de Atriplex imbricata*

Esta formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Atriplex imbricata* “ojalar”, donde destaca como especie

acompañante la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal es muy clara (10 a 25%) para el estrato arbustivo y escasa (5-10%) para el herbáceo (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada en el sector de Peine, abarcando una superficie de 148,5 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral con dominancia de Ephedra breana*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por el arbusto *Ephedra breana* “pingo-pingo”, acompañada de la herbácea *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo varía entre escasa y muy clara (5 a 25%), y una cobertura herbácea escasa (5-10%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación está presente en nueve unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 491,1 hectáreas, que representa un 1,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral con dominancia de Tessaria absinthioides*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Tessaria absinthioides* “brea”, donde destacan los arbustos *Atriplex atacamensis* y *Lycium humile* como especies acompañantes en la formación. La cobertura vegetal está representada por un estrato arbustivo que varía de escaso a poco denso (5 a 75%), y un estrato herbáceo presente muy escaso (1-5%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación está representada en 14 unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana. Es la formación zonal más representativa, abarcando una superficie de 1.626,8 hectáreas, que representa un 4,9% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

#### Fotografía N° 6-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2022



Donde a: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Tilopozo y b: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Peine. Fuente: Elaboración propia.

## b) Vegetación Azonal

- *Vega de Phragmites australis, Distichlis spicata y Schoenoplectus californicus*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Phragmites australis* “carrizo”, *Distichlis spicata* “grama salada” y *Schoenoplectus californicus* “junco”. La cobertura vegetal observada es clara (25 a 50%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación está representada por una unidad cartográfica en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 42,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Vega con dominancia de Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”, siendo acompañada por la especie *Baccharis juncea* en algunas unidades, y en otra unidad por la especie *Juncus balticus*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa muy escasa (1-5%), mientras que el estrato herbáceo varía de escaso a muy denso (5 a 100%) entre sus unidades (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación se observa en 46 unidades cartográficas ubicadas en todos los sectores del área de estudio. Es la formación azonal más representativa, abarcando una superficie de 914,3 hectáreas, que representa un 2,8% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Vega con dominancia de Juncus balticus*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Juncus balticus* “junquillo”, siendo acompañado en una unidad por la especie *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal varía de muy clara a clara (10 a 50%) entre sus unidades, existiendo además, un estrato arbustivo de cobertura muy escasa (1 a 5%) en una unidad (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación se presenta en cuatro unidades cartográficas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 124,7 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Vega con dominancia de Nitrophila atacamensis*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Nitrophila atacamensis*, acompañada de las especies *Triglochin concinna* y *Distichlis spicata* en el estrato herbáceo y *Sarcocornia fruticosa* en el estrato arbustivo. La cobertura vegetal herbácea varía de escasa a muy clara (5 a 25%) y en una unidad se presenta un estrato arbusto de cobertura muy escasos (1-5%), ver (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación está representada por tres unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y en La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 29,4 hectáreas, que representa un 0,09% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Vega con dominancia de Schoenoplectus californicus*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Schoenoplectus californicus* “junco”, y como especies acompañantes *Baccharis juncea* y *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal varía de escasa a muy densa (5 a 100%) entre sus unidades, ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación está representada en 13 unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 80,2 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Vega con dominancia de Triglochin concinna*

Esta formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal herbácea presente es muy clara (10 a 25%) (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación se observa en una unidad cartográfica ubicada en los sectores de Tilopozo, abarcando una superficie de 23,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral - Vega de Tessaria absinthioides y Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega, en la cual domina el arbusto *Tessaria absinthioides* “brea”, junto a un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía entre muy clara y clara (10 a 50%), y la del estrato herbáceo varía entre escasa y poco densa (5 a 75%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación se observó en nueve unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine, Aguas de Quelana y Soncor, abarcando una superficie de 2.139,3 hectáreas, que representa un 6,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico con dominancia de Lycium humile*

La formación presenta una fisonomía de matorral dominado por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume”, lo que le da la caracterización de matorral hídrico. La cobertura vegetal arbustiva es muy clara (10 – 25%), (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 49,6 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico con dominancia de Sarcocornia fruticosa*

La formación presenta una fisonomía de matorral distribuida en bordes de lagunas, lo cual le da la caracterización de formación azonal hídrica. Está dominada por la especie arbustiva *Sarcocornia fruticosa* “sosa”, especie halófila que se desarrolla especialmente sobre costras salinas, alcanzando una cobertura vegetal entre escasa y clara (5 a 50%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación se presenta en siete unidades cartográficas ubicadas en el sector Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 522,7 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega representada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” en el estrato arbustivo y un estrato herbáceo dominado por la especie *Juncus balticus* “junquillo”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo y del herbáceo es escasa (5 a 10%), ver **Tabla N° 6-20**

Esta formación se observó en una unidad cartográfica ubicada en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 45,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Juncus balticus*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” y un estrato herbáceo representado por las especies *Juncus balticus* “junquillo” y *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo es escasa a muy clara (5 a 25%) y la del estrato herbáceo es muy clara a clara (10 a 50%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 97,5 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega representada por la especie arbustiva *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal del estrato leñoso es escasa (5 a 10%) y la del estrato herbáceo muy clara (10 a 25%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación se observó en una unidad cartográfica ubicada en el sector de La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 13,6 hectáreas, que representa un 0,04% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de *Lycium humile**

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Schoenoplectus californicus* “junco”, *Juncus balticus* “junquillo” y *Baccharis juncea*. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía de escasa a clara (5 y 50%) y la del estrato herbáceo entre muy clara y clara (10 a 50%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación está representada por nueve unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 168,0 hectáreas, que representa un 0,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa**

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por el arbusto *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Nitrophila atacamensis*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal observada para ambos estratos es de escasa a clara (5 – 50%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación se presenta en seis unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 89,8 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

- *Matorral hídrico - Vega de *Tessaria absinthioides*, *Lycium humile* y *Distichlis spicata**

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral - vega representado por los arbustos *Tessaria absinthioides* “brea” y *Lycium humile* “jume”, junto a un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo corresponde a muy clara (10 y 25%) y la del estrato herbáceo alcanza una cobertura vegetal escasa (5 a 10%) (**Tabla N° 6-20**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada al sureste del sector de Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 18,6 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-19**).

**Fotografía N° 6-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2022**

Donde a: *Vega de Schoenoplectus californicus* en Tilopozo; b y c: *Vega de Distichlis spicata*, en Tilopozo y Peine, respectivamente; d: Matorral hídrico – vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata*, en Peine.

Fuente: Elaboración propia.

**c) Otros recubrimientos**

- Áreas desprovistas de vegetación

En el área de estudio, se identificaron dos tipos de recubrimientos relacionados a áreas naturales (no intervenidas) sin vegetación, correspondientes a las superficies cubiertas de sal, el salar propiamente tal y áreas desnudas que corresponderían a formaciones sin desarrollo de suelo ni vegetación, por efectos de erosión natural localizadas en los bordes del salar.

Este recubrimiento presenta una superficie de 24.112,7 hectáreas, lo que representa la mayor superficie del área de estudio con un 72,9%, distribuido en todos los sectores en 51 unidades cartográficas (**Tabla N° 6-19**).

- Áreas industriales

Las áreas industriales están representadas por dos tipos de recubrimiento, donde una unidad está caracterizada como centro industrial, la cual correspondería a las instalaciones de Albemarle, y por otro lado, tres unidades se encuentran identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas identificadas dentro del área de estudio.

---

Este recubrimiento abarca una superficie de 1.245,2 hectáreas, lo que representa un 3,8% del área de estudio, con las cuatro unidades localizadas en el sector Tilopozo (**Tabla N° 6-19**).

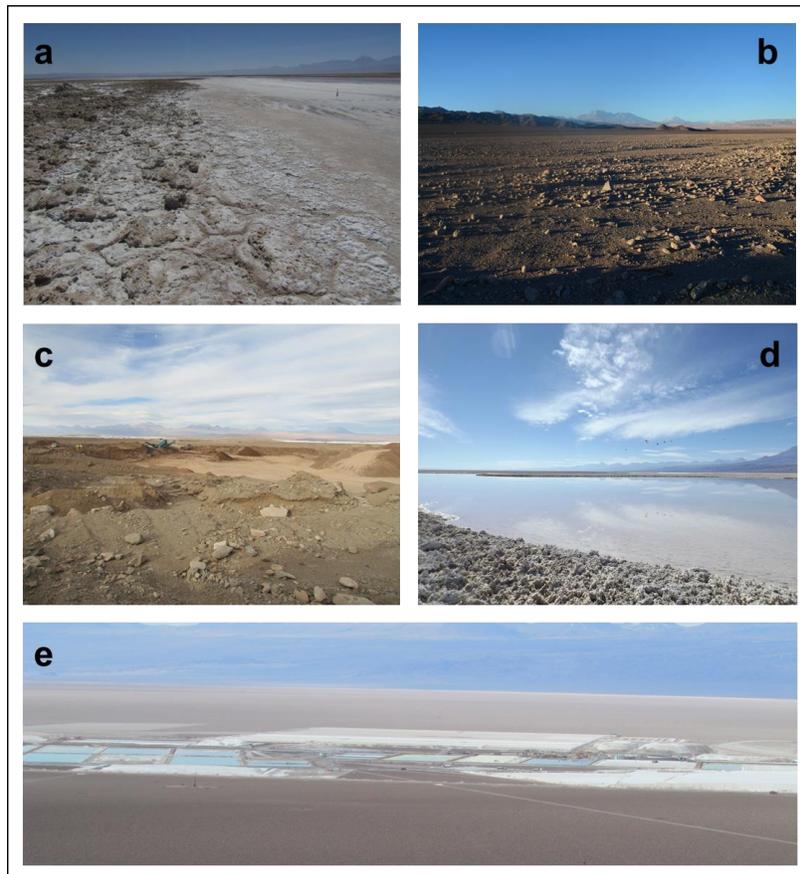
- Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua corresponden a lagunas de distintas superficies distribuidas en todos los sectores del área de estudio. Abarcan una superficie de 474,2 hectáreas, lo que representa un 1,4% del área de estudio. Particularmente en el sector Soncor, destaca la mayor concentración de la superficie de lagunas con 231,5 hectáreas<sup>18</sup> (48,8% del total; **Tabla N° 6-19**) y en la parte norte, la presencia notable de vegetación acuática al interior de éstas (**Fotografía N° 6-7**).

---

<sup>18</sup> Superficie que proviene de fotointerpretación COT, por lo que no es comparable con el valor proveniente del modelo calculado para el monitoreo de áreas lagunares (NDWI).

**Fotografía N° 6-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio**



Donde: a) Salares, b) Áreas denudadas, c) Suelos removidos, d) Lagunas, e) Centros industriales  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor**



Fuente: Descarga desde Google Earth en coordenada: E: 584470 y N: 7424369, de fecha 15 de marzo de 2011, propiedad de Barbosa ©.

### 6.2.1.2 Resultados del muestreo campaña de verano de 2023

#### 6.2.1.2.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo con lo observado en verano 2023, no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación con el primer monitoreo, realizado en verano de 2017 en adelante (post ajuste metodológico), dando como resultado superficies similares en los distintos tipos de recubrimiento, con una estabilidad principalmente en las formaciones vegetales que fueron visitadas en este monitoreo, actualizando límites y/o algunas caracterizaciones. Lo anterior, se traduce en una validación de la COT.

En el monitoreo de verano 2023 (**Tabla N° 6-21**), se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, entre los cuales destaca la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) equivalente a un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal se extiende, así, en una superficie de 7.238,0 hectáreas equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,7% por vegetación zonal y en un 13,2% por vegetación azonal. Dentro de los tipos de formaciones, se identificaron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia (ocho formaciones vegetales en total); seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies (15 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y seis de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies (16 formaciones en total). El total de formaciones vegetales indicadas se puede observar en detalle en el Anexo de **Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2023)**.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.625,1 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 6-15**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 914,5 hectáreas (2,8%) y las vegas de *Juncus balticus* con 124,7 hectáreas (0,4%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 6-14**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.141,1 (6,5%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y el matorral hídrico con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 522,7 ha (1,6%), distribuida solo en el sector Aguas de Quelana (**Figura N° 6-13**). En la **Tabla N° 6-21** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

De acuerdo al proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 6-22**, se presenta un resumen de las coberturas y alturas de los estratos vegetales y las especies dominantes para cada formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 6-21**, la formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (47 unidades), las cuales presentan una cobertura muy escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a densa (5% a 90%) en su estrato herbáceo (**Tabla N° 6-22**). En contraste, seis formaciones vegetales están representadas por solo una unidad cartográfica.

Particularmente en Soncor, durante el proceso de actualización de la COT, se realizó la delimitación de la vegetación según este método, dado que durante la línea base (Adenda 5 RWL, 2015) este sector se reportó como “Área Soncor”. A partir de esto, en el sector destaca la principal ocupación de áreas desprovistas de vegetación con 4.993,5 hectáreas (99,5% del sector), mientras que en la superficie restante existen formaciones vegetales azonales (0,5%; 24,8 hectáreas) que se encuentran en el borde Este del polígono del sector, alejados del sistema de cuerpos lagunares del área, con cinco unidades de vega y una unidad de matorral-vega. Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de verano 2023, en Anexo **Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2023)**.

**Tabla N° 6-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2023**

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
<b>OTROS RECUBRIMIENTOS</b>	<b>14.408,0</b>	<b>59,2</b>	<b>2.936,0</b>	<b>3.435,4</b>	<b>4.993,5</b>	<b>94</b>	<b>25.832,1</b>	<b>78,1</b>
<b>ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN</b>	<b>13.088,6</b>	<b>19,4</b>	<b>2.832,6</b>	<b>3.410,1</b>	<b>4.762,0</b>	<b>51</b>	<b>24.112,7</b>	<b>72,9</b>
<i>Salares</i>	12.474,0	19,4	2.675,6	3.410,1	4.762,0	34	23.341,1	70,6
<i>Áreas denudadas</i>	614,5		157,0			17	771,5	2,3
<b>ÁREAS INDUSTRIALES</b>	<b>1.245,2</b>					<b>4</b>	<b>1.245,2</b>	<b>3,8</b>
<i>Centros industriales</i>	1.198,1					1	1.198,1	3,6
<i>Suelos removidos</i>	47,1					3	47,1	0,1
<b>CUERPOS DE AGUA</b>	<b>74,2</b>	<b>39,8</b>	<b>103,4</b>	<b>25,4</b>	<b>231,5</b>	<b>39</b>	<b>474,2</b>	<b>1,4</b>
<i>Lagunas</i>	74,2	39,8	103,4	25,4	231,5	39	474,2	1,4
<b>VEGETACIÓN ZONAL</b>	<b>581,2</b>		<b>2.181,0</b>	<b>114,8</b>		<b>28</b>	<b>2.876,9</b>	<b>8,7</b>
<b>Matorrales</b>	581,2		2.181,0	114,8		28	2.876,9	8,7
<i>Matorral con dominancia de Aa</i>			542,8			2	542,8	1,6
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>			69,5			2	69,5	0,2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	491,1					9	491,1	1,5
<i>Matorral con dominancia de Tb</i>	90,1		1.420,2	114,8		14	1.625,1	4,9
<i>Matorral de Ai</i>			148,5			1	148,5	0,4
<b>VEGETACIÓN AZONAL</b>	<b>2.064,9</b>	<b>59,3</b>	<b>808,0</b>	<b>1.404,0</b>	<b>24,8</b>	<b>112</b>	<b>4.361,1</b>	<b>13,2</b>
<b>Humedales</b>	<b>880,9</b>	<b>4,6</b>	<b>108,3</b>	<b>203,9</b>	<b>16,9</b>	<b>71</b>	<b>1.214,7</b>	<b>3,7</b>
<i>Vega con dominancia de dp</i>	600,8	2,3	90,6	203,9	16,9	47	914,5	2,8
<i>Vega con dominancia de jb</i>	124,7					4	124,7	0,4
<i>Vega con dominancia de nia</i>	27,0	2,4				3	29,4	0,1
<i>Vega con dominancia de sca</i>	62,4		17,7			15	80,1	0,2
<i>Vega con dominancia de tc</i>	23,5					1	23,5	0,1

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>								
<i>Vega de ph dp</i>	42,5					1	42,5	0,1
<b><i>Matorral - Humedal</i></b>	<b>1.184,1</b>	<b>54,7</b>	<b>699,7</b>	<b>1.200,1</b>	<b>7,8</b>	<b>41</b>	<b>3.146,4</b>	<b>9,5</b>
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>	808,6		687,4	637,3	7,8	10	2.141,1	6,5
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de dp</i>	45,5					1	45,5	0,1
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb</i>	97,5					3	97,5	0,3
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	164,6		3,4			9	168,0	0,5
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	18,2	41,1	8,9	21,6		6	89,8	0,3
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc</i>		13,6				1	13,6	0,04
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>				18,6		1	18,6	0,1
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>	49,6					3	49,6	0,2
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>				522,7		7	522,7	1,6
<b>Total general (ha)</b>	<b>17.054,1</b>	<b>118,5</b>	<b>5.925,0</b>	<b>4.954,2</b>	<b>5.018,2</b>	<b>234</b>	<b>33.070,1</b>	<b>100,0</b>
<b>Total general (%)</b>	<b>51,6</b>	<b>0,4</b>	<b>17,9</b>	<b>15,0</b>	<b>15,2</b>	<b>100,0</b>		

Donde: Códigos especies arbustivas: Aa: *Atriplex atacamensis*, Ad: *Aloysia deserticola*, Ai: *Atriplex imbricata*, Eb: *Ephedra breana*, Lh: *Lycium humile*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Tb: *Tessaria absinthioides*; Especies herbáceas: bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus*, ph: *Phragmites australis*, nia: *Nitrophila atacamensis*, sca: *Schoenoplectus californicus*, tc: *Triglochin concinna*. UC: Unidades Cartográficas.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 6-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2023**

RECUBRIMIENTO DE SUELO		Especies dominantes	Altura vegetal*		Cobertura vegetal*	
Formación vegetal			LB	H	LB	H
<b>VEGETACIÓN ZONAL</b>						
<b>MATORRALES</b>						
Matorral con dominancia de Aa		Aa cid Tt	(2-5)	2	(3-4)	4
Matorral con dominancia de Ad		Ad Aa Ai cis cid	4(4-5)	1(1-2)	3(3-4)	4
Matorral con dominancia de Eb		Eb dp	4(3-5)	2	2(2-3)	2
Matorral con dominancia de Tb		Tb Aa Lh	3(2-5)	2	3(2-5)	1
Matorral de Ai		Ai cid	3	3	3	2
<b>VEGETACIÓN AZONAL</b>						
<b>HUMEDALES</b>						
Vega con dominancia de dp		dp bj jb sca	2	2(2-5)	1	3(2-6)
Vega con dominancia de jb		jb dp	2	3(2-4)	1	3(3-4)
Vega con dominancia de nia		nia dp tc Sf	3(3-4)	1(1-4)	1	2(1-3)
Vega con dominancia de sca		sca dp bj	-	4(2-5)	-	(2-7)
Vega con dominancia de tc		tc	-	1	-	3
Vega de ph dp		ph dp	2	5(2-5)	1	3
<b>MATORRAL - HUMEDAL</b>						
Matorral - Vega de Tb dp		Tb dp	4(2-5)	2(1-4)	3(2-4)	3(2-5)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de dp		dp Lh	2(1-3)	2	2	3
Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb		jb dp Lh	2(1-2)	3(2-3)	2	3(3-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh		Lh bj dp jb sca	2	3(2-3)	2(2-4)	2(2-3)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf		Sf dp bj tc pu nia	3	2(1-4)	3(2-5)	2(2-3)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc		tc Sf	3	1(1-3)	2	4
Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp		Tb Lh dp	3(2-4)	2	2	2
Matorral hídrico con dominancia de Lh		Lh	2(2-3)	-	3	-
Matorral hídrico con dominancia de Sf		Sf	3(1-4)	2	3(2-4)	1(1-2)

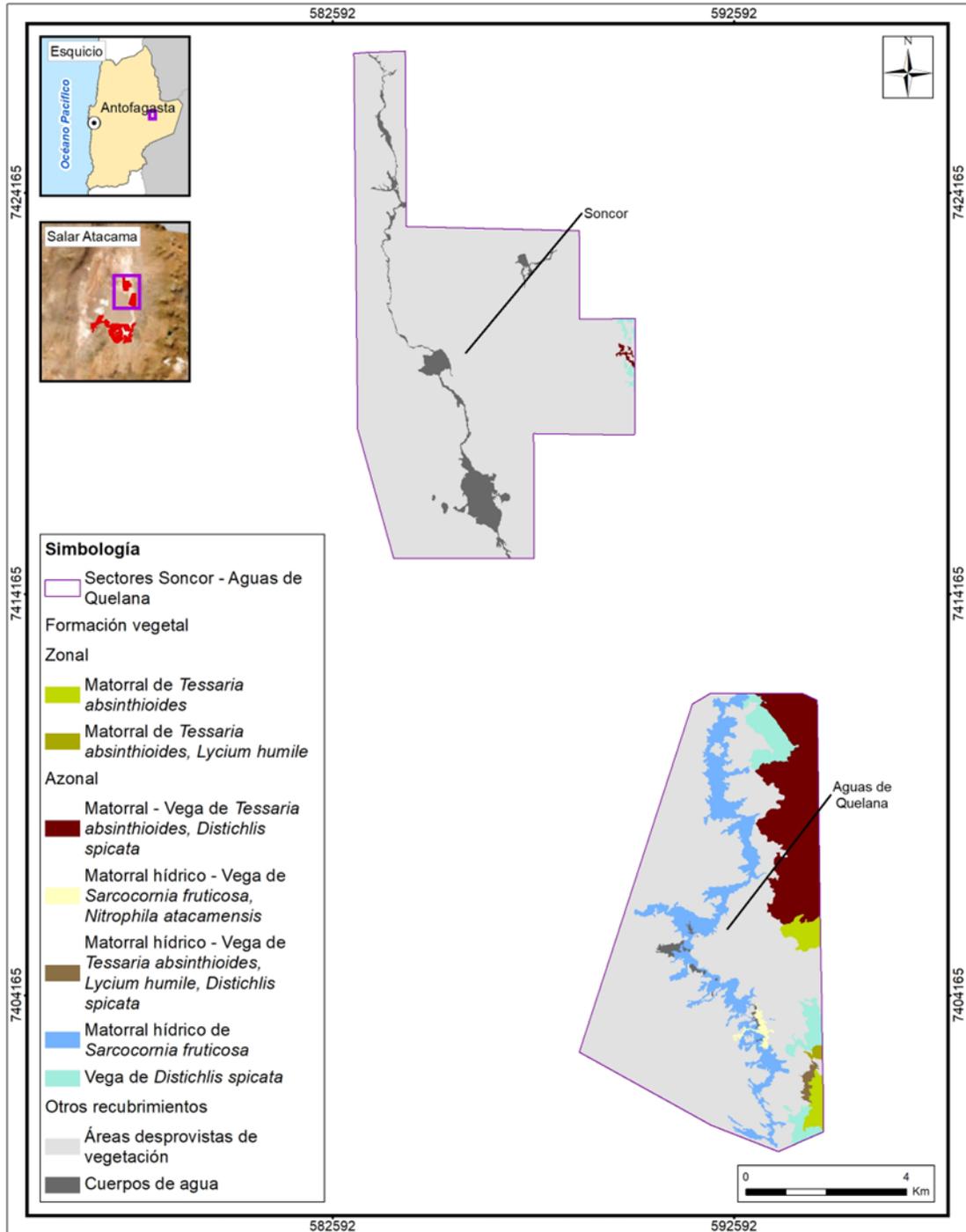
\*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Cobertura vegetal (%)	Altura vegetal	Códigos de especies	Herbáceas (H):
1 muy escasa (1-5)	1 < 5 cm	<b>Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):</b>	bj <i>Baccharis juncea</i>
2 escasa (5-10)	2 5 - 25 cm	Aa <i>Atriplex atacamensis</i>	cid <i>Cistanthe densiflora</i>
3 muy clara (10-25)	3 25 - 50 cm	Ad <i>Aloysia deserticola</i>	cis <i>Cistanthe salsoloides</i>
4 clara (25-50)	4 50 - 100 cm	Ai <i>Atriplex imbricata</i>	dp <i>Distichlis spicata</i>
5 poco densa (50-75)	5 100 - 200 cm	Eb <i>Ephedra breana</i>	jb <i>Juncus balticus</i>
6 densa (75-90)	6 > 200 cm	Lh <i>Lycium humile</i>	nia <i>Nitrophila atacamensis</i>
7 muy densa (>90)		Sf <i>Sarcocornia fruticosa</i>	ph <i>Phragmites australis</i>
		Tb <i>Tessaria absinthioides</i>	pu <i>Puccinellia frigida</i>
		Tt <i>Tiquilia atacamensis</i>	sca <i>Schoenoplectus californicus</i>
			tc <i>Triglochin concinna</i>

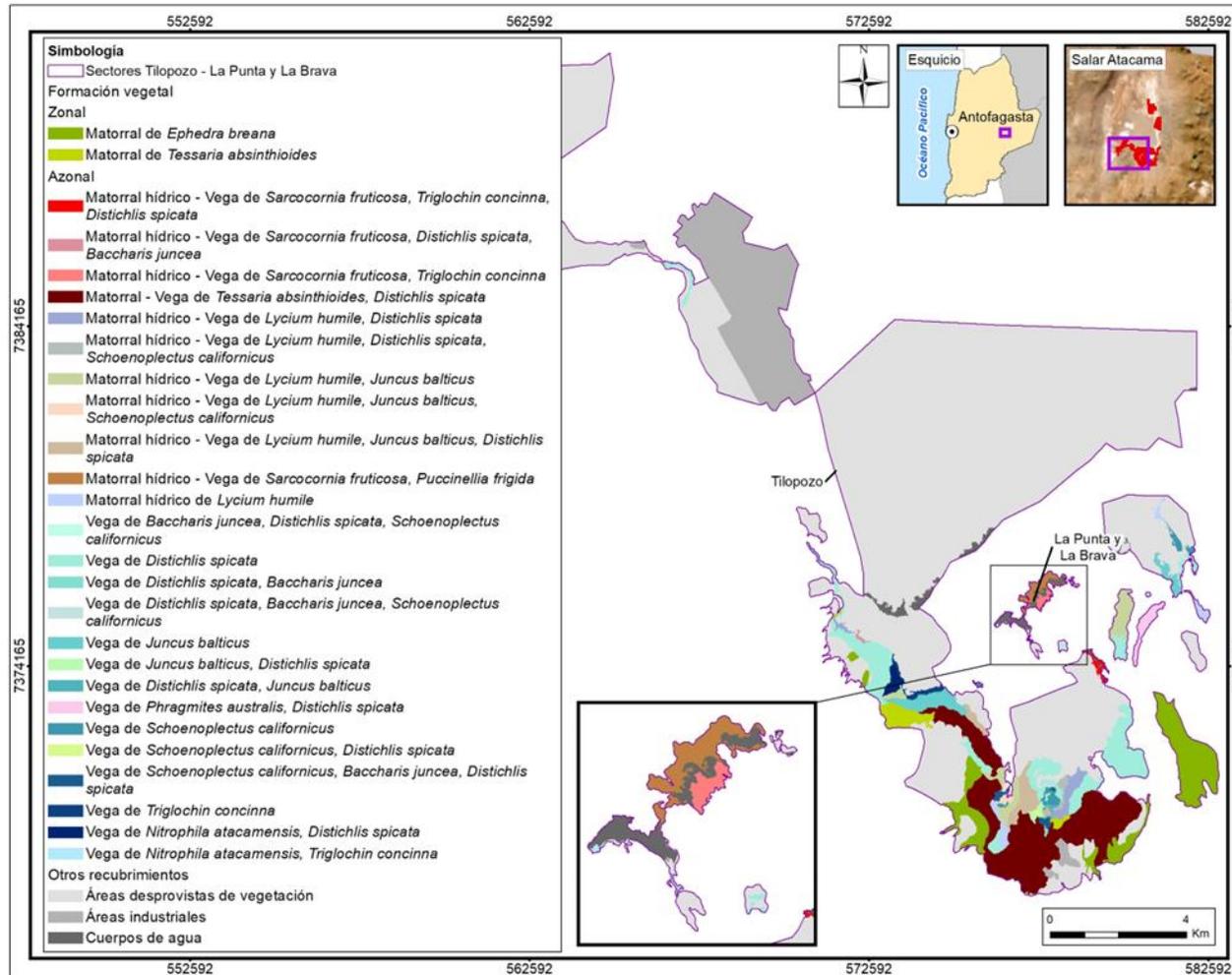
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-13. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2023**



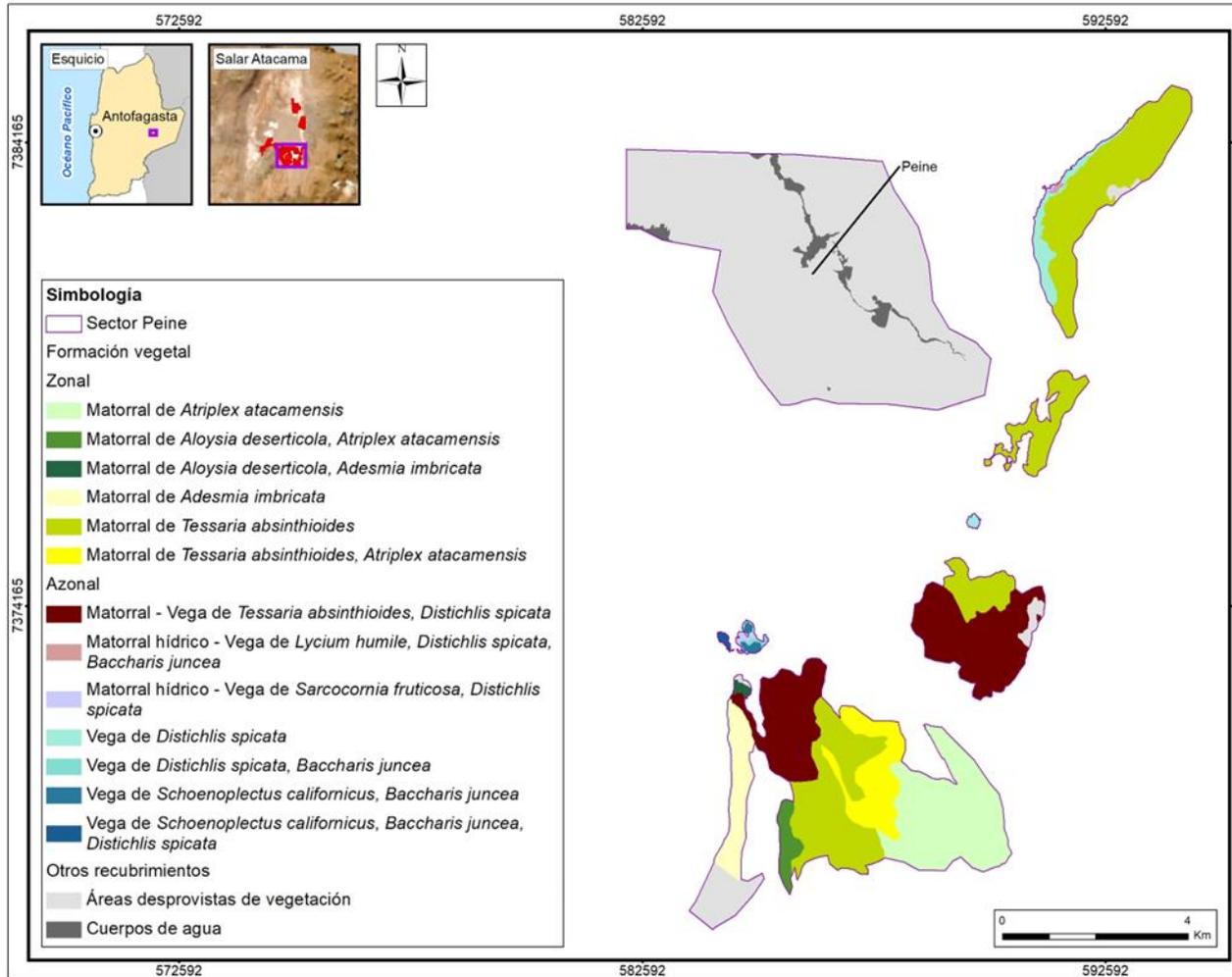
Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Verano de 2023**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-15. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2023**



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.2.1.2.2 Formaciones vegetales - verano 2023

Como resultado de la campaña de verano 2023, a continuación, se describe la vegetación de acuerdo a sus patrones de distribución zonal y azonal, junto con una descripción general para las unidades correspondientes a otros recubrimientos dentro del área de estudio. En las figuras previas presentadas, **Figura N° 6-13**, **Figura N° 6-14** y **Figura N° 6-15**, se muestra la distribución de las formaciones vegetales según la COT, en la zona norte (Soncor y Quelana) y sur (Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine) del área de estudio. Los resultados de la cartografía para el monitoreo de verano de 2023 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de verano 2023, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2023)**.

- a) Vegetación Zonal
  - *Matorral con dominancia de Atriplex atacamensis*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Atriplex atacamensis*, “cachiyuyo”, donde destacan otras especies acompañantes como *Tiquilia atacamensis* y la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal arbustiva varía entre muy clara y clara (10 a 50%), y clara (25-50%) para el estrato herbáceo. La altura de la estrata arbustiva varía entre 5 a 200 cm y para la estrata herbácea entre 5 a 25 cm (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación se observó en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 542,8 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral con dominancia de Aloysia deserticola*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Aloysia deserticola* “rica-rica”, donde destacan otras especies acompañantes como *Atriplex atacamensis*, *Atriplex imbricata* y las herbáceas *Cistanthe densiflora* y *Cistanthe salsoloides*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa como muy clara (10 a 25%) a clara (25 a 50%), mientras que para el estrato herbáceo se observa como clara (25-50%). La altura para el estrato arbustivo varía entre 50 a 200 cm y para la estrata herbácea entre <5 a 25 cm (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación se observó en dos unidades cartográficas ubicadas principalmente en el sector de Peine, abarcando una superficie de 69,5 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral de Atriplex imbricata*

Esta formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Atriplex imbricata* “ojalar”, donde destaca como especie acompañante la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal es muy clara (10 a 25%) para el estrato arbustivo y escasa (5-10%) para el herbáceo. La altura para el estrato arbustivo se encuentra entre 25 a 50 cm y para la estrata herbácea entre 25 a 50 cm (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada en el sector de Peine, abarcando una superficie de 148,5 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral con dominancia de Ephedra breana*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por el arbusto *Ephedra breana* “pingo-pingo”, acompañada de la herbácea *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo varía entre escasa y muy clara (5 a 25%), y para el estrato herbáceo presenta una cobertura herbácea escasa (5-10%). La altura para el estrato arbustivo fluctúa entre 25 a 200 cm y para el estrato herbáceo entre 5 a 25 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en nueve unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 491,1 hectáreas, que representa un 1,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral con dominancia de Tessaria absinthioides*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Tessaria absinthioides* “brea”, donde destacan los arbustos *Atriplex atacamensis* y *Lycium humile* como especies acompañantes en la formación. La cobertura vegetal está representada por un estrato arbustivo que varía de escaso a poco denso (5 a 75%), y un estrato herbáceo presente muy escaso (1-5%). En el caso de las alturas, estas presentan para el estrato arbustivo entre 5 a 200 cm y para el estrato herbáceo alturas entre 5 a 25 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación está representada en 14 unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana. Es la formación zonal más representativa, abarcando una superficie de 1.625,1 hectáreas, que representa un 4,9% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

**Fotografía N° 6-8. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2023**

Donde a: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Tilopozo y b: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Peine.

Fuente: Elaboración propia

b) Vegetación Azonal

- *Vega de Phragmites australis y Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Phragmites australis* “carrizo” y *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal observada para el estrato herbáceo es muy clara (10 a 25%) y la altura considera valores entre 5 a 200 cm, el estrato arbustivo presenta una cobertura muy escasa (1 a 5%) y alturas entre 25 a 50 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación está representada por una unidad cartográfica en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 42,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Vega con dominancia de Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”, siendo acompañada por la especie *Baccharis juncea* y *Schoenoplectus californicus* en algunas unidades, y en otra unidad por la especie *Juncus balticus*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa muy escasa (1-5%), mientras que el estrato herbáceo varía de escaso a denso (5 a 90%) entre sus unidades. Las alturas del estrato arbustivo se encuentran entre 5 a 25 cm, mientras que el estrato herbáceo presenta alturas entre 5 a 200 cm. (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación se observó en 47 unidades cartográficas ubicadas en todos los sectores del área de estudio, Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor. Es la formación azonal más representativa, abarcando una superficie de 914,5 hectáreas, que representa un 2,8% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Vega con dominancia de Juncus balticus*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Juncus balticus* “junquillo”, siendo acompañado en una unidad por la especie *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal herbácea varía de muy clara a clara (10 a 50%) entre sus unidades, además presenta alturas entre 5 a 100 cm; existiendo además un estrato arbustivo de cobertura muy escasa (1 a 5%) y altura entre 5 a 25 cm en una unidad (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación se observó en cuatro unidades cartográficas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 124,7 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Vega con dominancia de Nitrophila atacamensis*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Nitrophila atacamensis*, acompañada de las especies *Triglochin concinna* y *Distichlis spicata* en el estrato herbáceo y *Sarcocornia fruticosa* en el estrato arbustivo. La cobertura vegetal herbácea varía de muy escasa a muy clara (1 a 25%) y en una unidad se presenta un estrato arbustivo de cobertura muy escasos (1-5%). La altura de la estrata herbácea se observa entre <5 a 100 cm y para la estrata arbustiva varía entre 25 a 100 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación está representada por tres unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y en La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 29,4 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Vega con dominancia de Schoenoplectus californicus*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Schoenoplectus californicus* “junco”, y como especies acompañantes *Baccharis juncea* y *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal varía de escasa a muy densa (5 a 100%) entre sus unidades y las alturas entre 5 a 200 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en 15 unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 80,1 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Vega con dominancia de Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal herbácea es muy clara (10 a 25%) y la altura para el estrato es menor a 5 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en una unidad cartográfica ubicada en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 23,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral - Vega de Tessaria absinthioides y Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega representada por el arbusto *Tessaria absinthioides* “brea”, junto a un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía entre escasa y clara (5 a 50%), y la del estrato herbáceo varía entre escasa y poco densa (5 a 75%). La altura para el estrato arbustivo se encuentra entre 5 a 100 cm y para el estrato herbáceo varía entre menor a 5 a 100 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en 10 unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine, Aguas de Quelana y Soncor, abarcando una superficie de 2.141,1 hectáreas, que representa un 6,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico con dominancia de Lycium humile*

La formación presenta una fisonomía de matorral dominado por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume”, lo que le da la caracterización de matorral hídrico. La cobertura vegetal arbustiva es muy clara (10 – 25%) y la altura para la estrata se encuentra entre 5 a 50 cm, **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 49,6 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico con dominancia de Sarcocornia fruticosa*

La formación presenta una fisonomía de matorral distribuida en bordes de lagunas, lo cual le da la caracterización de formación azonal hídrica. Está dominada por la especie arbustiva *Sarcocornia fruticosa* “sosa”, especie halófito que se desarrolla especialmente sobre costras salinas, alcanzando una cobertura vegetal entre escasa y clara (5 a 50%) entre sus unidades y una altura entre menor a 5 a 100 cm. Existe una estrata herbácea acompañante que presenta coberturas entre muy escasa a escasa (1 a 10%) y altura entre 5 a 25 cm (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación se observó en siete unidades cartográficas ubicadas en el sector Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 522,7 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega representada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” en el estrato arbustivo y un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo es escasa (5 a 10%) y del herbáceo es muy clara (10 a 25%). Las alturas para el estrato arbustivo varían entre menor a 5 a 50 cm y para el estrato herbáceo fluctúa entre 5 a 25 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en una unidad cartográfica ubicada en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 45,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Juncus balticus*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” y un estrato herbáceo representado por las especies *Juncus balticus* “junquillo” y *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo es escasa (5 a 10%) y la del estrato herbáceo es muy clara a clara (10 a 50%). La altura para el estrato arbustivo se encuentra entre menor a 5 a 25 cm y para el estrato herbáceo entre 5 a 50 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 97,5 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega representada por la especie arbustiva *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal del estrato leñoso es escasa (5 a 10%) y la del estrato herbáceo clara (25 a 50%). La altura del estrato arbustivo se encuentra entre 25 a 50 cm y para el estrato herbáceo fluctúa entre menor a 5 hasta 50 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en una unidad cartográfica ubicada en el sector de La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 13,6 hectáreas, que representa un 0,04% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lycium humile*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Schoenoplectus californicus* “junco”, *Juncus balticus* “junquillo” y *Baccharis juncea*. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía de escasa a poco densa (5 y 75%) y la del estrato herbáceo entre escasa y muy clara (5 a 25%). En

el caso de las alturas, el estrato arbustivo presenta rangos entre 5 a 25 cm y para el estrato herbáceo rangos entre 5 a 50 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

Esta formación se observó en nueve unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 168,0 hectáreas, que representa un 0,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sarcocornia fruticosa*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega, dominado por el arbusto *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Nitrophila atacamensis*, *Baccharis juncea*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal observada para el estrato arbustivo se encuentra entre escasa a poco densa (5 a 75%), para el estrato herbáceo entre escasa a muy clara (5 a 25%). La altura observada en el estrato arbustivo se encuentra entre 25 a 50 cm, mientras que para el estrato herbáceo se encuentra entre menor a 5 a 100 cm, ver **Tabla N° 6-22**.

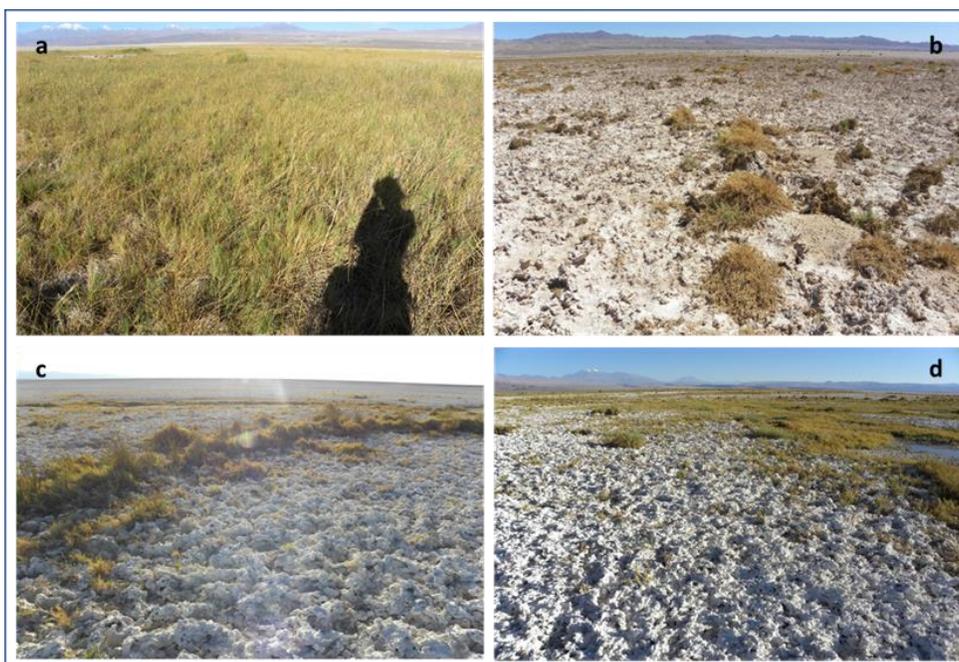
Esta formación se observó en seis unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 89,8 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *Matorral hídrico - Vega de Tessaria absinthioides, Lycium humile y Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega, representado por los arbustos *Tessaria absinthioides* “brea” y *Lycium humile* “jume”, junto a un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo y la del estrato herbáceo alcanza una cobertura vegetal escasa (5 a 10%). La altura del estrato arbustivo presenta rangos entre 5 a 100 cm y para el estrato herbáceo entre 5 a 25 cm, ver (**Tabla N° 6-22**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada al sureste del sector de Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 18,6 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

### Fotografía N° 6-9. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2023



Donde a: Vega de *Schoenoplectus californicus* en Tilopozo; b y c: Vega de *Distichlis spicata*, en Tilopozo y Peine, respectivamente; d: Matorral hídrico – vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata*, en Peine.

Fuente: Elaboración propia.

#### c) Otros recubrimientos

- Áreas desprovistas de vegetación

En el área de estudio, se identificaron dos tipos de formaciones relacionadas a áreas naturales (no intervenidas) sin vegetación, correspondientes a las superficies cubiertas de sal, el salar propiamente tal y áreas desnudas que corresponderían a formaciones sin desarrollo de suelo ni vegetación, por efectos de erosión natural localizadas en los bordes del salar.

Este recubrimiento presenta una superficie de 24.112,7 hectáreas, lo que representa la mayor superficie del área de estudio con un 72,9%, distribuido en todos los sectores en 51 unidades cartográficas (**Tabla N° 6-21**).

- Áreas industriales

El recubrimiento de áreas industriales está representado por una unidad caracterizada como centro industrial que correspondería a las instalaciones de Albemarle y se añaden tres unidades identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas identificadas dentro del área de estudio. Este recubrimiento abarca una superficie de

1.245,2 hectáreas, lo que representa un 3,8% del área de estudio, con las cuatro unidades localizadas en el sector Tilopozo (**Tabla N° 6-21**).

- Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua corresponden a lagunas de distintas superficies distribuidas en todos los sectores del área de estudio. Abarcan una superficie de 474,2 hectáreas, lo que representa un 1,4% del área de estudio. Particularmente en el sector Soncor, destaca la mayor concentración de la superficie de lagunas con 231,5 hectáreas<sup>19</sup> (48,8% del total; **Tabla N° 6-21**) y en la parte norte, la presencia notable de vegetación acuática al interior de éstas (**Fotografía N° 6-11**).

#### **Fotografía N° 6-10. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio**



Donde: a) Salares, b) Áreas denudadas, c) Suelos removidos, d) Lagunas, e) Centros industriales

Fuente: Elaboración propia.

<sup>19</sup> Superficie que proviene de fotointerpretación COT, por lo que no es comparable con el valor proveniente del modelo calculado para el monitoreo de áreas lagunares (NDWI).

### Fotografía N° 6-11. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor



Fuente: Descarga desde Google Earth en coordenada: E: 584470 y N: 7424369, de fecha 15 de marzo de 2011, propiedad de Barbosa ©

## 6.2.2 Resultados Flora y Vegetación (Transectas)

### 6.2.2.1 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de invierno de 2022

#### 6.2.2.1.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 6-23**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de invierno 2022.

Cabe destacar que, por restricciones de acceso por parte de la Administración CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos al sector Soncor y Aguas de Quelana, no fue posible registrar la transecta T14, T15, T16 y T17, recordando que la transecta T14 no se ha realizado desde el primer monitoreo por deficiencias en las condiciones del camino de acceso, y siempre que se ha sido posible aproximarse al área, se valida a distancia mediante un punto COT, ya que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros). Es importante recordar que a esta zona se ingresa con apoyo del guardaparque de CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos.

Cabe indicar que para la campaña semestral Invierno 2022, respecto del componente **vegetación y flora**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector Soncor y Quelana, pudieron ser muestreados parcialmente debido a la restricción de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos por ausencia del permiso de ingreso por parte de la Administración CONAF del área protegida. Para esta campaña quedó sin registro la formación de matorral

de *Sarcocornia fruticosa* en el sector Aguas de Quelana debido a las restricciones de acceso a la Reserva de CONAF quedando sin muestreo las transectas T15, T16 y T17.

**Tabla N° 6-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo**

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS	SECTOR
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	<i>Baccharis juncea</i> , <i>Lycium humile</i>	T08; T09; T20; T21; T22; T26; T27; T28	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	<i>Distichlis spicata</i> , <i>Lycium humile</i>	T13; T18; T30; T31	La Punta La Brava y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T01; T02; T03; T04; T19; T29	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	<i>Nitrophila atacamensis</i>	T10; T11	La Punta La Brava
Matorral	Azonal	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	<i>Nitrophila atacamensis</i> , <i>Puccinellia frigida</i>	T12; T15*; T16*; T17*	La Punta La Brava y Aguas de Quelana
Matorral	Zonal	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Distichlis spicata</i>	T05; T06; T07; T23; T24; T25	Peine y Tilopozo
Sin vegetación/Salar		Área desprovista de vegetación	-	T14*	Soncor

Dónde: \*: Transectas control vegetación, las cuales no fueron muestreadas en esta campaña de monitoreo invierno 2022.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la descripción de las formaciones vegetales, en la **Tabla N° 6-24**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de invierno 2022, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado de alteración) como de las condiciones físicas del terreno (humedad del suelo y salinidad). La fisonomía de las formaciones vegetales y del área desprovista de vegetación en Soncor se pueden observar en las siguientes fotografías **Fotografía N° 6-12**, **Fotografía N° 6-13**, **Fotografía N° 6-14**, **Fotografía N° 6-15**, **Fotografía N° 6-16**, y **Fotografía N° 6-17**.

**Tabla N° 6-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 13 (invierno 2022), en cada subsector**

Sub sector	Formación vegetal	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
Peine	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T08	H4	dp	No saturado	>80%	1	2
		T09	H4	dp	No saturado	>80%	1	1
	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T01	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	5
		T02	H7	sca bj	No saturado	<10%	2	3
		T03	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	3
		T04	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	2	4
	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T05	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1
		T06	LB4 H1	Tb Aa	No saturado	10-30%	1	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	10-30%	1	1
	<b>Riqueza total en Peine</b>							
Tilopozo	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T20	H5	dp	No saturado	50-80%	2	1
		T21	H3	dp	No saturado	>80%	2	2
		T22	LB2 H2	dp Lh	No saturado	>80%	1	4
		T26	H2	dp	No saturado	30-50%	1	1
		T27	H3	dp	No saturado	30-50%	1	1
	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T28	H4	dp	No saturado	30-50%	1	1
		T18	LB3 H3	jb Lh	No saturado	>80%	1	2
		T30	LB1 H3	jb dp	No saturado	50-80%	1	3
	Herbazal de S. <i>californicus</i>	T31	LB2 H2	jb Lh	No saturado	>80%	1	2
		T19	H5	sca	No saturado	<10%	3	3
	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T29	H5	sca bj dp	Saturado	<10%	3	4
		T23	LB4	Tb	No saturado	50-80%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	10-30%	2	2
	T25	LB4 H3	Tb dp	No saturado	30-50%	2	2	
<b>Riqueza total en Tilopozo</b>								<b>7</b>
La Punta y La Brava	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T13	LB3 H3	jb Lh	No saturado	>80%	1	2
	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	T10	H2	nia tc	Saturado	>80%	1	2
		T11	LB2 H3	tc Sf	Sobresaturado	>80%	1	2
	Matorral de S. <i>fruticosa</i>	T12	LB3 H2	Sf pu	Saturado	50-80%	1	1

Sub sector	Formación vegetal	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
<b>Riqueza total en La Punta y La Brava</b>								<b>5</b>
Aguas de Quelana*	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T15	LB3 H2	Sf nia	s/i	s/i	s/i	s/i
		T16	LB3	Sf	s/i	s/i	s/i	s/i
		T17	LB4	Sf	s/i	s/i	s/i	s/i
<b>Riqueza total en Aguas de Quelana</b>								<b>s/i</b>
Soncor*	Área desprovista de vegetación	T14	ADV	-	-	-	-	-

\* Subsector Aguas de Quelana y Soncor sin muestreo en Monitoreo 13 debido a restricciones de acceso a la Reserva por indicaciones de CONAF.

Donde:

<b>COT: Carta Ocupación de Tierras</b>		
<b>Coberturas (%):</b>	<b>Tipo Biológico:</b>	<b>Especies:</b>
1 muy escasa (<5)	LB: Leñoso Bajo (arbustivo)	Aa: <i>Atriplex atacamensis</i> tc: <i>Triglochin concinna</i>
2 escasa (5-10)	H: Herbáceo	bj: <i>Baccharis juncea</i> pu: <i>Puccinellia frigida</i>
3 muy clara (10-25)	<b>Otras coberturas COT:</b>	dp: <i>Distichlis spicata</i> Sf: <i>Sarcocornia fruticosa</i>
4 clara (25-50)	ADV: Áreas desprovistas de vegetación	jb: <i>Juncus balticus</i> Tb: <i>Tessaria absinthioides</i>
5 poco densa (50-75)	<b>Grado de Alteración:</b>	Lh: <i>Lycium humile</i>
6 densa (75-90)	1 Vegetación en estado natural	nia: <i>Nitrophila atacamensis</i>
7 muy densa (>90)	2 Vegetación alterada	sca: <i>Schoenoplectus americanus</i>

Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-12. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en invierno 2022, en distintas transectas de estudio**



Donde: T08 en sector Peine y T20 en sector Tilopozo.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-13. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2022, en transectas de estudio**



Donde: T02 y T04 en sector Peine y T19, T29 en sector Tilopozo.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-14. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en invierno 2022, en transectas de estudio**



Donde: T13 en subsector La Punta y T31 en sector Tilopozo.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-15. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en invierno 2022, en transectas de estudio**



Donde: T10 en subsector La Brava y T11 en subsector La Punta.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-16. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa*\* en invierno 2022, en transectas de estudio**



\* El matorral de *S. fruticosa* no fue muestreado en sector Aguas de Quelana, solo se muestran fotografías de la formación en subsector La Punta (T12).

Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-17. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en invierno 2022, en transectas de estudio**



Donde: T05 y T07 en sector Peine y T24, T25 en sector Tilopozo.

Fuente: Elaboración propia.

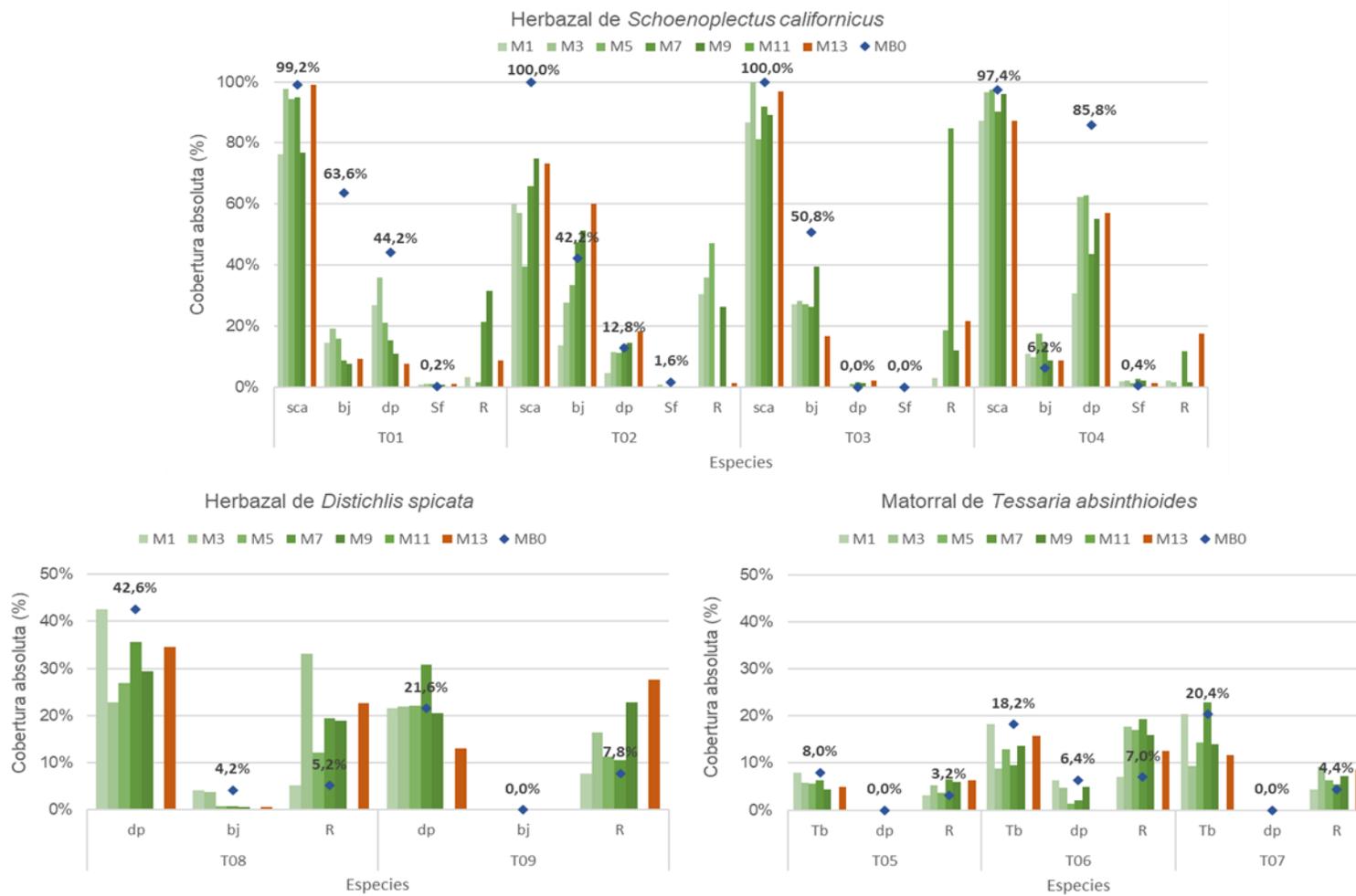
## 6.2.2.1.2 Composición y cobertura

### 6.2.2.1.2.1 Cobertura absoluta de especies

La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 13 (M13; invierno 2022), se presenta por transecta en las siguientes figuras ordenadas por sector junto a las coberturas de vegetación y rastrojos registradas en todos los monitoreos de invierno, Monitoreo 1 (M1; 2016), Monitoreo 3 (M3; 2017) Monitoreo 5 (M5; 2018) Monitoreo 7 (M7; 2019) Monitoreo 9 (M9; 2020) y Monitoreo 11 (M11; invierno 2021 no realizado por restricciones de acceso a la zona a causa de movilizaciones sociales). Cabe señalar que para esta campaña de invierno 2022 (M13), no hay registros para la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en el sector Aguas de Quelana debido a las restricciones de acceso a la Reserva de CONAF quedando sin muestreo las transectas T15, T16 y T17 (**Figura N° 6-16, Figura N° 6-17, Figura N° 6-18 y Figura N° 6-19**).

En **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta** se presentan los valores de cobertura absoluta del Monitoreo 13 en mayor detalle.

Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en el sector Peine



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*; R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

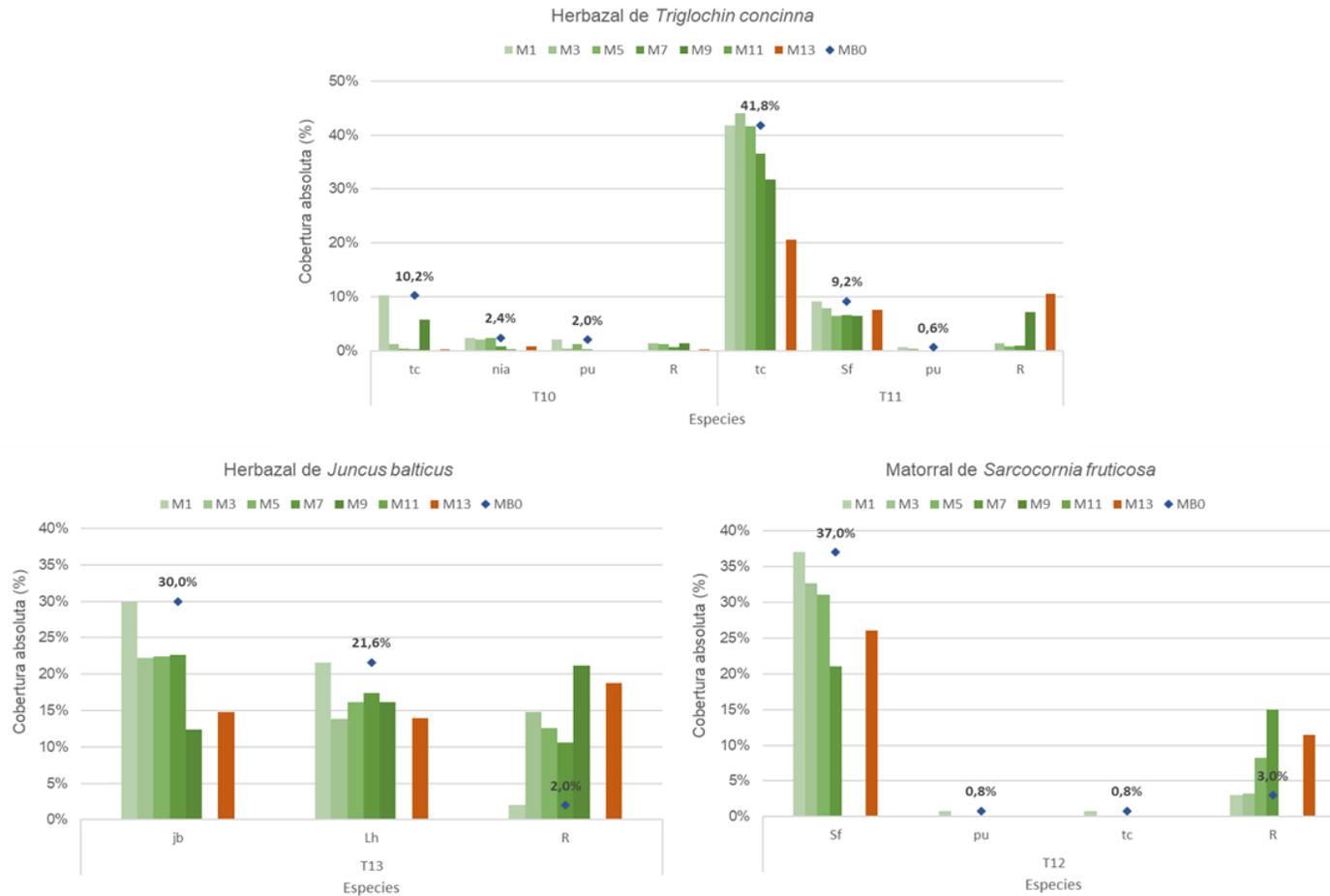
**Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Tilopocho**



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus* Tb: *Tessaria absinthioides*, Lh: *Lycium humile*; R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

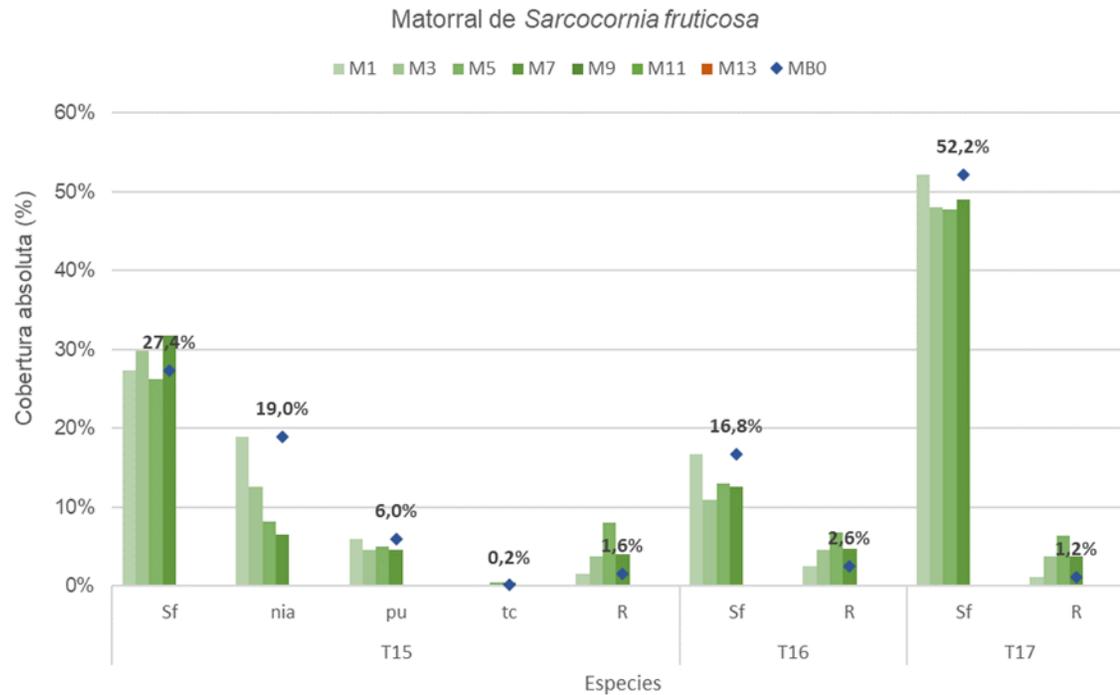
Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector La Punta y La Brava



Donde: Especies: jb: *Juncus balticus*, nia: *Nitrophila atacamensis*, pu: *Puccinellia frigida*, tc: *Triglochin concinna*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Lh: *Lycium humile*; R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 9- Transecta T12 en subsector La Punta sin muestreo de transecta por restricciones de acercamiento por resguardo de fauna (nidificación de aves); Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 6-19. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Aguas de Quelana**



Donde: Especies: nia: *Nitrophila atacamensis*, pu: *Puccinellia frigida*, tc: *Triglochin concinna*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, R: rastrojo (cobertura muerta);  
 Monitoreo 9 (M9): sin muestreo de transectas por restricciones de acceso a Aguas de Quelana según indicaciones de CONAF regional por seguridad sanitaria.

Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona.

Monitoreo 13 (M13): sin muestreo de transectas en sector Aguas de Quelana por restricciones de acceso según indicaciones de CONAF.

Fuente: Elaboración propia.

El **sector Peine** presenta las mayores coberturas vegetales en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en todos los monitoreos de invierno, registrando en M13 una cobertura absoluta dominante para esta especie sobre un 70% en las cuatro transectas (T01, T02, T03 y T04). En la **Figura N° 6-24** se observa que la cobertura de *S. californicus* se mantiene alta en todos los inviernos, si bien algo menor que la cobertura registrada en MB0, en M13 presenta coberturas superiores en T01, T02 y T03 con respecto a algunos monitoreos de invierno anteriores, además, en esta formación destaca el aumento en M13 de la cobertura de *Baccharis juncea* y *Distichlis spicata* en T02 (60,2% y 18,4%, respectivamente) superiores a MB0. La cobertura de rastrojo se muestra variable en el tiempo, en general con menores coberturas en M13 respecto a inviernos anteriores, exceptuando T04 que registra un aumento a 17,6% y una disminución notoria en T02 (1,2%) que presentaba las mayores coberturas de rastrojo en los primeros monitoreos de invierno (M1 a M5; 30,4% a 47,2%).

En el mismo sector, las coberturas vegetales en las formaciones de *D. spicata* y *T. absinthioides* reflejan una variabilidad menor entre monitoreos, destacando la recuperación de cobertura en M13 en las transectas T08 (*D. spicata* 34,6%) y T06 (*T. absinthioides* 15,8%) respecto al invierno anterior (M9), asimismo un aumento del rastrojo en las transectas T08 y T09 en M13 (**Figura N° 6-16**).

El **sector Tilopozo** presenta más variedad de formaciones y transectas en el monitoreo, registrando a su vez, variabilidad de coberturas y composición (especies) entre un mismo tipo de formación (**Figura N° 6-17**). En el herbazal de *D. spicata*, solo una transecta presenta más de un 20% de cobertura absoluta para esta especie (T20), desde MB0 y con un 25,4% en M13, asimismo en tres transectas se registra menos de un 10% de cobertura absoluta para *D. spicata*, desde MB0 a M13 (T21, T26 y T27). Destacando igualmente, que en todas las transectas se presenta una proporción importante de rastrojo con relación a la cobertura de las especies, siendo mayor y representativo el rastrojo (R) en las transectas T21, T26, T27 y T28, destacando el aumento de éste en M13 en T21 (8,0%), T27 (9,0%) y T28 (26,0%).

El herbazal de *S. californicus* presenta las mayores diferencias al observar los registros de M13 en el sector Tilopozo (**Figura N° 6-17**). Las transectas T19 y T29 disminuyen notoriamente la cobertura vegetal de la especie *S. californicus* (21,8% en T19; 6,8% en T29) y *Baccharis juncea* (1,6% en T19; 1,8% en T29), directamente relacionado al aumento del rastrojo observado en M13 (84,2% en T19; 86,8% en T29), y cabe destacar que en M9 la transecta T19 ya había reflejado un aumento importante de esta cobertura (95,8%).

Por su parte, el herbazal de *J. balticus* registra los valores de cobertura absoluta más bajos en M13 para su especie dominante (0,8% en T18 y T31; 4,4% en T30), así como el aumento de cobertura de la especie *Lycium humile* en M13 en T18 (5,0%) y T31 (3,4%). Adicionalmente, *D. spicata* mantiene una codominancia en T30 aumentando su cobertura con respecto a M9. En relación al rastrojo en esta formación, en general se observa el

aumento con respecto a monitoreos anteriores y MB0, aunque en M13 se registra menor cobertura que M9 en las tres transectas.

El matorral de *T. absinthioides* en el sector Tilopozo refleja una variabilidad de coberturas entre monitoreos (**Figura N° 6-17**), aunque en M13, destaca el menor registro de cobertura absoluta presenciado para la especie *T. absinthioides* en T23 (7,6%) y T24 (12,8%), asimismo, un aumento del rastrojo en M13 en la transecta T24 (33,4%).

En el **sector La Punta y La Brava** se presentan tres tipos de formaciones, con variabilidad de cobertura y composición entre ellas y sus transectas (**Figura N° 6-18**). Las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* tienen una estructura distinta en su cobertura horizontal, aunque en ambas destaca una disminución más notoria de la cobertura absoluta para su especie dominante en M13 (0,2% en T10; 20,6% en T11). La cobertura de *N. atacamensis* en T10 es marginal en M13 (0,8%) y *P. frigida* no se registra en M13 en ambas transectas, mientras que *S. fruticosa* aumenta su cobertura a 7,6% en M13, respecto a inviernos anteriores en T11 y el rastrojo en esta transecta aumenta a un 10,6% en M13.

Por su parte, en este sector las formaciones de herbazal de *J. balticus* y matorral de *S. fruticosa* (**Figura N° 6-18**), las especies dominantes aumentan su cobertura absoluta en M13, respecto de la disminución en inviernos anteriores, registrando para la especie *J. balticus* un 14,8% (T13) y *S. fruticosa* un 26,0% (T12), asimismo, en ambas transectas destaca la disminución de la cobertura de rastrojo en M13 (18,8% en T13 y 11,4% en T12) después del aumento registrado en M9 (21,2% en T13) y en M7 (15,0% en T12).

El **sector Aguas de Quelana** no presenta valores en M13, dada la restricción de acceso al sector de la Reserva según indicaciones de CONAF. Igualmente, en la **Figura N° 6-19** se presentan los valores de cobertura de las especies presentes en las transectas T15, T16 y T17 desde MB0 y monitoreos de inviernos anteriores (M1, M3, M5 y M7).

#### 6.2.2.1.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Figura N° 6-20** se presentan las coberturas absolutas y promedio de la vegetación, la cobertura de rastrojo y de otros recubrimientos, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de invierno 2022 (Monitoreo 13), ordenadas por sector de estudio.

En **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta** se presentan los valores de cobertura absoluta y promedio de M13 y todos los registros desde MB0 a M13. En el mencionado Anexo, también se presentan figuras representativas de la evolución de estas coberturas (vegetación, rastrojo y otros recubrimientos) y riqueza por transecta, ordenadas por formación vegetal de cada sector de estudio desde MB0 a M14: Peine (**Figura N°1-1, Figura N°1-2 y Figura N°1-3**), Tilopozo (**Figura N°1-4, Figura N°1-5, Figura N°1-6 y Figura N°1-7**), La Punta y La Brava (**Figura N°1-8, Figura N°1-9 y Figura N°1-10**) y Aguas de Quelana (**Figura N°1-11**).

En **sector Peine** se observa la mayor cobertura absoluta por transectas en los herbazales de *S. californicus*, en M13 (sobre un 100%), a diferencia de la cobertura promedio (bajo un 60%) dada la riqueza de especies que presenta esta formación (3 a 5 especies), indicando que hay superposición de cobertura entre ellas y representando una formación de alta cobertura vegetal sin registro de otros recubrimientos (**Figura N° 6-20**). En el herbazal de *D. spicata* y matorral de *T. absinthioides* la mayor cobertura por transecta está representada por “otros recubrimientos”, donde T09 y las tres transectas del matorral registran coberturas vegetales bajo un 20%. En relación con la cobertura de rastrojos, esta es variable entre las transectas (bajo un 30%) destacando el mayor registro en T09 (27,6%) y el menor registro en T02 (1,2%).

La riqueza de especies varía entre 1 a 5 especies en las transectas del sector Peine. El herbazal de *S. californicus* registra la mayor riqueza con un máximo en T01 con 5 especies (**Figura N° 6-20**). La cobertura de otros recubrimientos en el sector de Peine está representada por costra salina en los herbazales de *D. spicata* (T08 y T09) mientras que en el matorral de *T. absinthioides* esta cobertura está representada principalmente por costra salina terrosa en todas las transectas y en T05 y T07 también se registra suelo terroso (ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**).

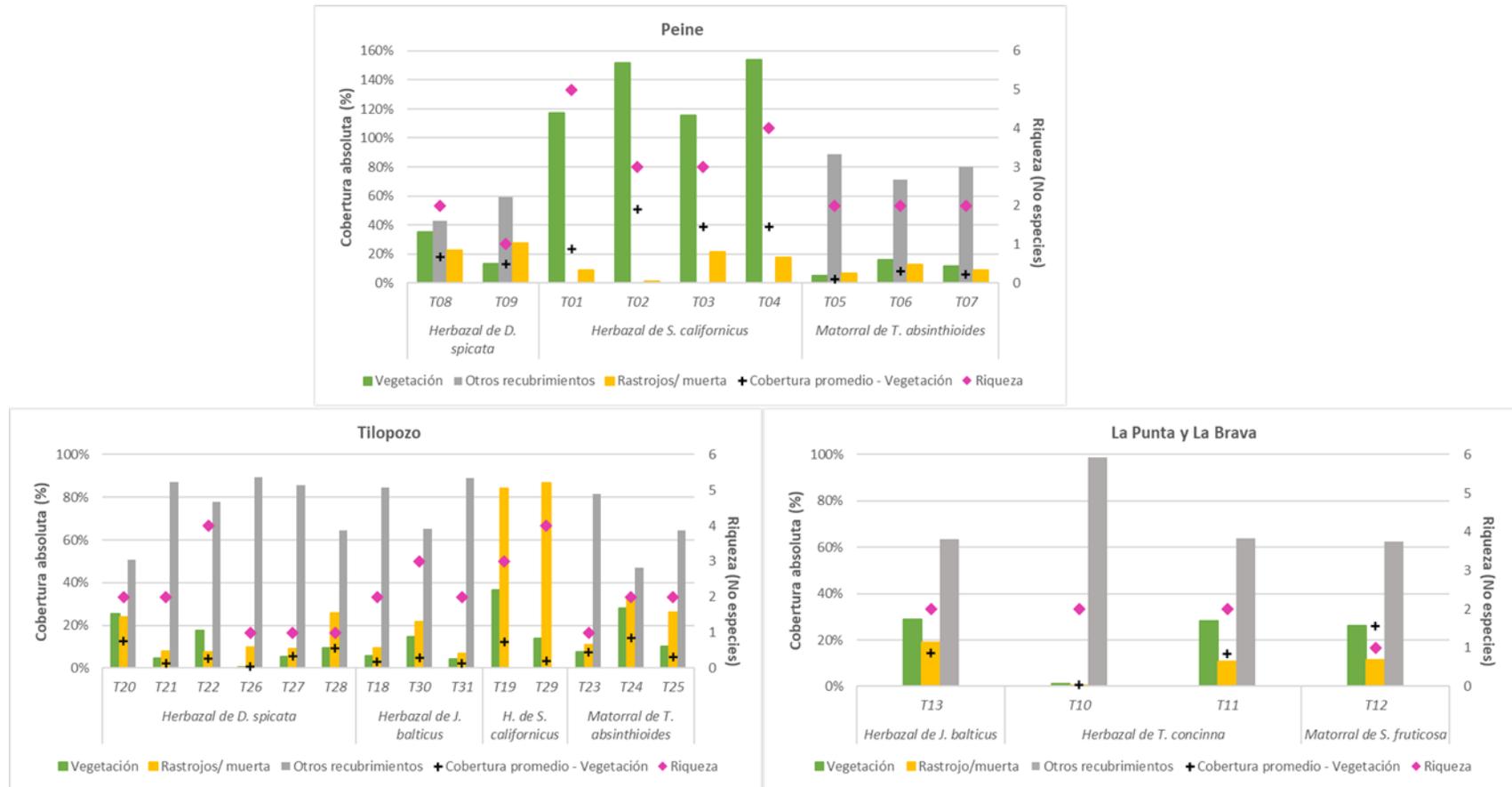
En el **sector Tilopozo** se observa una mayor representatividad de otros recubrimientos por sobre la cobertura vegetal, exceptuando las transectas del herbazal de *S. californicus* (**Figura N° 6-20**). En el herbazal de *D. spicata* solo una transecta muestra una cobertura vegetal sobre el 20% en M13 (T20; 35,2%) en contraste con T21 y T26 que registran menos de un 5% de cobertura absoluta (4,8% en T21 y 0,6% en T26) y más cobertura de rastrojo que de vegetación, al igual que las transectas T27 y T28. Asimismo, en M13 destaca esta diferencia de mayor rastrojo que cobertura de vegetación en todas las transectas del herbazal de *J. balticus* (T18, T30 y T31), de *S. californicus* (T19 y T29) y en el matorral de *T. absinthioides* (T23, T24 y T25). Por su parte, resalta el mayor registro de rastrojo en T19 (84,2%) y T29 (86,8%), observando una cobertura mayormente volteada, seca y con abundantes y evidentes huellas de pastoreo sobre la formación, aunque es importante considerar que en invierno este tipo de formaciones se encuentran inactivas.

La riqueza de especies es variable entre transectas, entre 1 a 4 especies en Tilopozo. En T22 (herbazal de *D. spicata*) y T29 (herbazal de *S. californicus*) se registra la mayor riqueza con 4 especies (**Figura N° 6-20**). La cobertura de otros recubrimientos en el sector está representada principalmente por costra salina, en los herbazales de *J. balticus* y de *D. spicata*, exceptuando a T27 representada por costra salina terrosa y en T20 se presenta una baja cobertura de suelo terroso (1,6%). En el matorral de *T. absinthioides* esta cobertura está representada principalmente por costra salina terrosa y en menor cobertura se registra costra salina en T23 (ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**).

En el **sector de La Punta y La Brava** también se observa mayor representatividad de otros recubrimientos, presentando coberturas vegetales menores al 30% en las cuatro transectas

del sector (**Figura N° 6-20**), destacando la transecta T10 en un herbazal de *Triglochin concinna*, en el subsector La Brava, una menor cobertura absoluta de un 1,0% y baja cobertura muerta (0,2%). La cobertura de rastrojo en las otras transectas es bajo un 20%, y siempre menor a la cobertura vegetal. La riqueza en el sector es baja, entre 1 a 2 especies por transecta. En relación con los otros recubrimientos, este sector presenta mayor variabilidad en los tipos de cobertura, aunque la mayor representatividad es la costra salina en todas las transectas, adicionalmente se registra costra salina saturada (T11 y T12) y sobresaturada (T11), destacando además la presencia de agua superficial en las transectas T10 (52,0%) y T11 (19,4%), ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**.

Figura N° 6-20. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 13 (invierno 2022)



Donde: sector Aguas de Quelana sin muestreo estacional en Monitoreo 13 por restricciones de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2.1.2.3 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 6-25** se observan los valores promedios del Monitoreo M13 (invierno 2022) de cobertura por sector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura de vegetación (68,8%).

Los subsectores Aguas de Quelana y Soncor no tuvieron muestreo en este Monitoreo 13, aunque cabe destacar que Soncor nunca ha presentado cobertura vegetal, ya que se encuentra sobre una costra salina y corresponde a un área desprovista de vegetación. Por otra parte, el sector Tilopozo presenta la menor cobertura promedio por sector (13,2%), a pesar de que tiene algunas transectas de mayor cobertura (mayor al 25%; T19, T20 y T24), pero a su vez presenta varias transectas con las menores coberturas vegetales del área de estudio (menor al 10%; T18, T31, T21, T26, T27, T28 y T23). Por su parte, La Punta y La Brava tiene una baja cobertura promedio (21,0%), representando formaciones con vegetación parchosa correspondientes a herbazales de *Triglochin concinna* que se desarrollan en bordes de lagunas (**Tabla N° 6-25**).

Por otro lado, la cobertura promedio de la vegetación muerta registra un valor máximo de 26,0% en Tilopozo, el cual presenta un mayor promedio de rastrojos por el registro de una mayor cobertura muerta en las transectas T19 y T29 puntualmente, mientras que Peine y La Punta y La Brava presentan valores de 14% y 10% aproximadamente (**Tabla N° 6-29**)

Finalmente, la riqueza de especies se observa entre cinco y siete especies de flora vascular por sector (**Tabla N° 6-25**). La **Tabla N° 6-30**, muestra la riqueza y composición de las especies presentes por subsector.

**Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 13 (invierno 2022)**

Subsector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por sector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Punta y La Brava	4	21,0%	10,3%	5
Peine	9	68,8%	14,1%	6
Aguas de Quelana*	0	s/i	s/i	s/i
Soncor*	0	-	-	-
Tilopozo	14	13,2%	26,0%	7

Donde: \* Transectas en sector Aguas de Quelana y Soncor sin muestreo estacional en Monitoreo 13 por restricciones de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 13 (invierno 2022)**

Especie	Sub-sector Área de estudio			
	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
<i>Baccharis juncea</i> (Cass.) Desf.		X		X
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene		X		X
<i>Eleocharis sp.</i>				X
<i>Juncus balticus</i> Willd.	X			X
<i>Lycium humile</i> Phil.	X			X
<i>Nitrophila atacamensis</i> (Phil.) Hieron. ex Ulbr.	X			
<i>Puccinellia frigida</i> (Phil.) I.M. Johnst.		X		
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	X	X		
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják		X		X
<i>Tessaria absinthioides</i> (Hook. & Arn.) DC.		X		X
<i>Triglochin concinna</i> Burtt Davy	X			
<b>Riqueza total por subsector</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>s/i</b>	<b>7</b>

Donde: \* Transectas en sector Aguas de Quelana y Soncor sin muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2.2 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de verano de 2023

#### 6.2.2.2.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 6-27**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de verano 2023.

Cabe destacar que, por problemas de accesibilidad, no fue posible registrar la transecta T14 que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros). Es importante recordar que a esta zona se ingresa con apoyo del guardaparque de CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos, e igualmente se valida a distancia mediante un punto COT (RPV015).

**Tabla N° 6-27. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.**

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS	SECTOR
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	<i>Baccharis juncea</i> , <i>Lycium humile</i>	T08; T09; T20; T21; T22; T26; T27; T28	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	<i>Distichlis spicata</i> , <i>Lycium humile</i>	T13; T18; T30; T31	La Punta La Brava y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T01; T02; T03; T04; T19; T29	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	<i>Nitrophila atacamensis</i>	T10*; T11*	La Punta La Brava
Matorral	Azonal	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	<i>Nitrophila atacamensis</i> , <i>Puccinellia frigida</i>	T12*; T15*; T16*; T17*	La Punta La Brava y Aguas de Quelana
Matorral	Zonal	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Distichlis spicata</i>	T05; T06; T07; T23; T24; T25	Peine y Tilopozo
Sin vegetación/Salar		Área desprovista de vegetación	-	T14*	Soncor

Dónde: \*: Transectas control vegetación.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la descripción de las formaciones vegetales, en la **Tabla N° 6-28**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de verano 2023, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado de alteración) como de las condiciones físicas del terreno (humedad del suelo y salinidad). La fisonomía de las formaciones vegetales y del área desprovista de vegetación en Soncor se pueden observar en las siguientes **Fotografía N° 6-18, Fotografía N° 6-19, Fotografía N° 6-20, Fotografía N° 6-21, Fotografía N° 6-22y Fotografía N° 6-23**.

**Tabla N° 6-28. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 14 (verano 2023), en cada subsector**

Subsector	Formación vegetal	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
Peine	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T08	H3	dp bj	Saturado	>80%	2	2
		T09	H4	dp	No saturado	>80%	1	1
	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T01	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	4
		T02	H7	sca bj	Saturado	<10%	2	3
		T03	H7	sca bj	Saturado	<10%	2	3
		T04	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	2	4
	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T05	LB4	Tb Aa	No saturado	10-30%	2	1
		T06	LB4	Tb Aa	No saturado	50-80%	1	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	30-50%	1	1
	<b>Riqueza total en Peine</b>							
Tilopozo	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T20	H5	dp	No saturado	>80%	2	1
		T21	LB1 H2	dp	No saturado	>80%	2	1
		T22	LB2 H3	dp Lh	No saturado	>80%	1	3
		T26	H2	dp	No saturado	<10%	2	1
		T27	H2	dp	No saturado	<10%	2	1
		T28	H4	dp	No saturado	>80%	1	1
	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T18	LB2 H3	jb Lh	No saturado	>80%	1	2
		T30	LB1 H4	jb dp	No saturado	>80%	2	3
		T31	LB2 H3	jb dp Lh	No saturado	>80%	1	3
	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T19	H2	sca dp	No saturado	<10%	3	3
		T29	H7	sca	No saturado	<10%	2	3
	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T23	LB4	Tb	No saturado	>80%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	>80%	2	2
		T25	LB3 H3	Tb dp	No saturado	>80%	2	2
<b>Riqueza total en Tilopozo</b>								<b>6</b>

Subsector	Formación vegetal	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
La Punta y La Brava	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T13	LB2 H2	jb Lh	Saturado	>80%	1	2
	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	T10	H1	nia tc	Saturado	>80%	1	2
		T11	LB2 H4	tc Sf	Sobresaturado	>80%	2	2
	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T12	LB3 H2	Sf pu	Saturado	>80%	1	1
<b>Riqueza total en La Punta y La Brava</b>								<b>5</b>
Aguas de Quelana	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T15	LB3 H2	Sf nia	Saturado	>80%	1	3
		T16	LB3 H2	Sf	No saturado	>80%	1	1
		T17	LB4 H1	Sf	Saturado	>80%	1	1
<b>Riqueza total en Aguas de Quelana</b>								<b>3</b>
Soncor*	Área desprovista de vegetación	T14	ADV	-	-	-	-	-

\*Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 14 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Coberturas (%):		Tipo Biológico:	Especies:
1	muy escasa (<5)	LB: Leñoso Bajo (arbustivo)	Aa: <i>Atriplex atacamensis</i> tc: <i>Triglochin concinna</i>
2	escasa (5-10)	H: Herbáceo	bj: <i>Baccharis juncea</i> pu: <i>Puccinellia frigida</i>
3	muy clara (10-25)	<b>Otras coberturas COT:</b>	dp: <i>Distichlis spicata</i> Sf: <i>Sarcocornia fruticosa</i>
4	clara (25-50)	ADV: Áreas desprovistas de vegetación	jb: <i>Juncus balticus</i> Tb: <i>Tessaria absinthioides</i>
5	poco densa (50-75)	<b>Grado de Alteración:</b>	Lh: <i>Lycium humile</i>
6	densa (75-90)	1 Vegetación en estado natural	nia: <i>Nitrophila atacamensis</i>
7	muy densa (>90)	2 Vegetación alterada	sca: <i>Schoenoplectus americanus</i>
		3 Vegetación deteriorada	

Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-18. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en verano 2023, en distintas transectas de estudio**



Donde: T08 en sector Peine y T20 en sector Tilopozo.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-19. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en verano 2023, en transectas de estudio**



Donde: T02 y T04 en sector Peine y T19, T29 en sector Tilopozo.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-20. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en verano 2023, en transectas de estudio**

Donde: T13 en subsector La Punta y T31 en sector Tilopozo.  
Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-21. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en verano 2023, en transectas de estudio**

Donde: T10 en subsector La Brava y T11 en subsector La Punta.  
Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-22. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en verano 2023, en transectas de estudio**

Donde: T12 en subsector La Punta y T15 en subsector Aguas de Quelana. Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 6-23. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en verano 2023, en transectas de estudio**

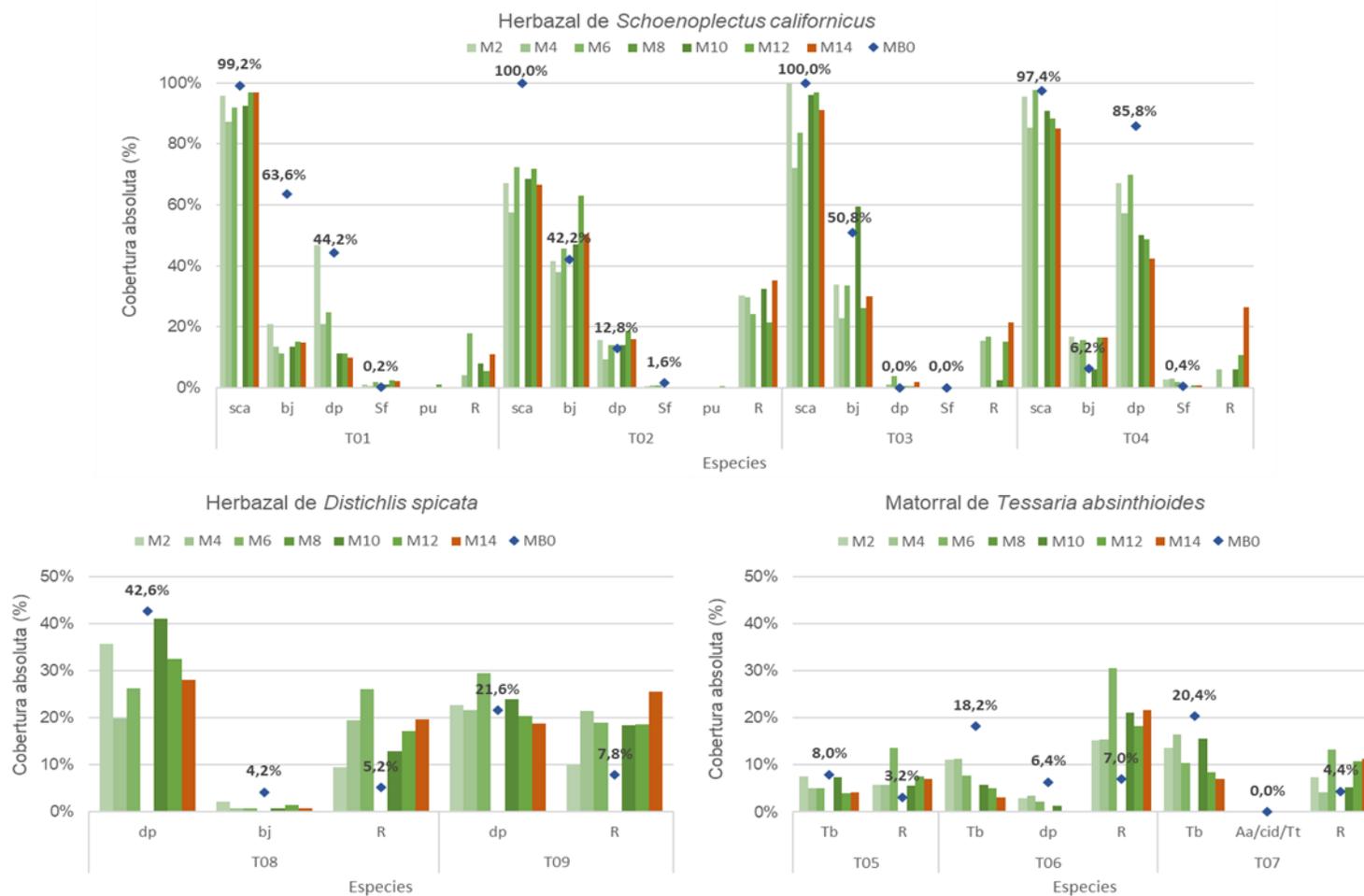
Donde: T05 y T07 en sector Peine y T24, T25 en sector Tilopozo.  
Fuente: Elaboración propia.

**6.2.2.2.2 Composición y cobertura****6.2.2.2.2.1 Cobertura absoluta de especies**

La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 14 (M14; verano 2023), se presenta por transecta en las siguientes figuras ordenadas por sector junto a las coberturas de vegetación y rastrojos registradas en todos los monitoreos de verano, Monitoreo 2 (M2; 2017), Monitoreo 4 (M4; 2018), Monitoreo 6 (M6; 2019), Monitoreo 10 (M10; 2021) y Monitoreo 12 (M12; 2022), observando a su vez, la composición comunitaria que presenta cada formación vegetal, ver **Figura N° 6-21**, **Figura N° 6-22**, **Figura N° 6-23** y **Figura N° 6-24**. Cabe recordar que el Monitoreo 8 (verano 2020) no fue realizado por temas de seguridad, a raíz de la pandemia COVID-19.

En **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta** se presentan los valores de cobertura absoluta del Monitoreo 14 en mayor detalle.

Figura N° 6-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en el sector Peine



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, pu: *Puccinellia frigida*, cid: *Cistanthe densiflora*, Tb: *Tessaria absinthioides*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Aa: *Atriplex atacamensis*, Tt: *Tiquilia atacamensis*, R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

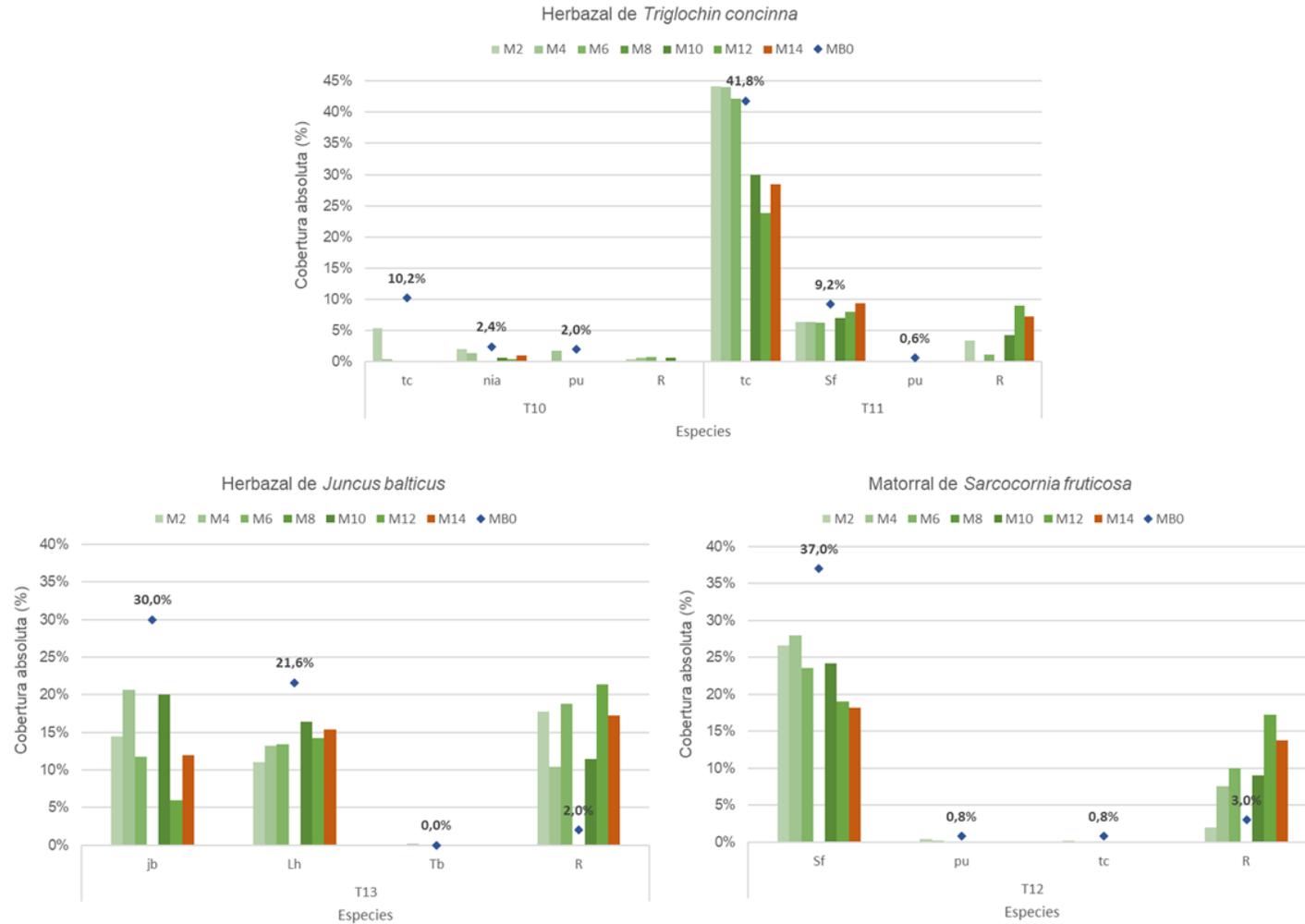
Figura N° 6-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Tilopozo



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus* nia: *Nitrophila atacamensis*, esp: *Eleocharis* sp., Tb: *Tessaria absinthioides*, Lh: *Lycium humile*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*; R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

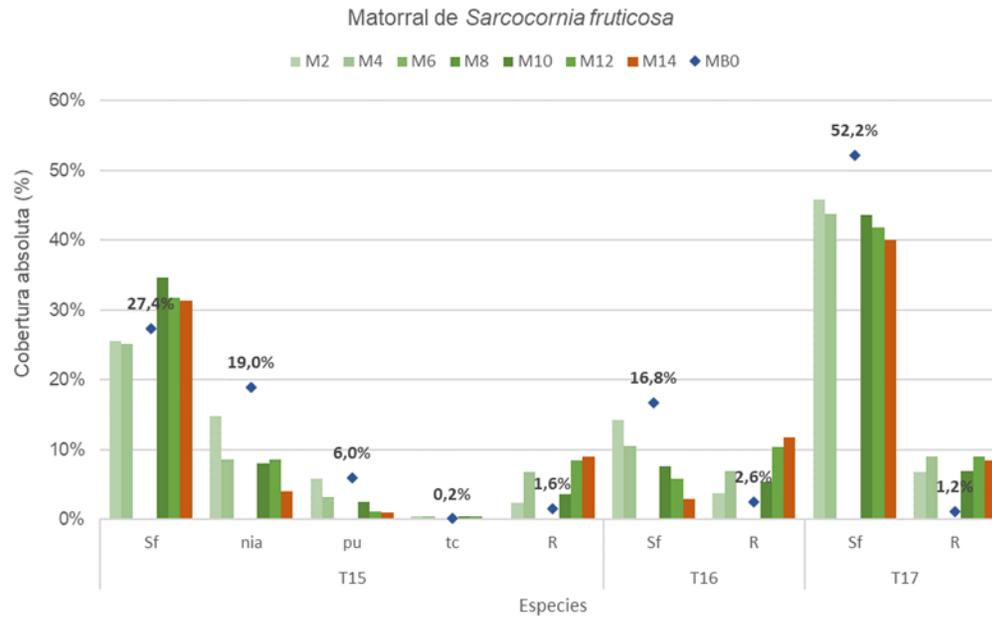
Figura N° 6-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector La Punta y La Brava



Donde: Especies: jb: *Juncus balticus*, nia: *Nitrophila atacamensis*, pu: *Puccinellia frigida*, tc: *Triglochin concinna*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Lh: *Lycium humile*, Tb: *Tessaria absinthioides*; R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 6-24. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Aguas de Quelana



Donde: Especies: nia: *Nitrophila atacamensis*, pu: *Puccinellia frigida*, tc: *Triglochin concinna*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, R: rastrojo (cobertura muerta);  
 Monitoreo 6 (M6): sin muestreo de transectas por restricciones de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos, según indicaciones de CONAF regional.  
 Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.  
 Fuente: Elaboración propia.

El **sector Peine** presenta las mayores coberturas vegetales en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en todos los monitoreos de verano, registrando en M14 una cobertura absoluta dominante para esta especie sobre un 85% en tres de las cuatro transectas (T01, T03 y T04), registrando igualmente una alta cobertura en T02 (66,6%) para esta especie. En la **Figura N° 6-21** se observa que la cobertura de *S. californicus* se mantiene alta en todos los veranos, si bien algo menor que la cobertura registrada en MB0, en M14 presenta coberturas superiores en T01, T02 y T03 con respecto a algunos monitoreos de verano anteriores, principalmente por la disminución observada en M4 (verano 2018). Las especies acompañantes en esta formación presentan variabilidad de coberturas entre formaciones y monitoreos, registrando en general una cobertura menor en M14 respecto a la cobertura referencial de MB0 (invierno), y con coberturas similares o superiores al comparar solo las coberturas de los veranos entre M2 y M14. Por otro lado, la cobertura de rastrojo también se muestra variable en el tiempo, registrando en M14 para este sector la mayor cobertura muerta desde MB0 y veranos anteriores en tres transectas, alcanzando un 35,2% en T02, 21,4% en T03 y 26,4% en T04, en la transecta T01 el rastrojo disminuye en M14 respecto al mayor valor registrado en el verano de 2019 (M6; 18,0%).

En el mismo sector, las coberturas vegetales en las formaciones de *D. spicata* se observan variables en el tiempo, donde la especie dominante *D. spicata* muestra un descenso de su cobertura en M14, aunque en T08 sigue siendo mayor la cobertura actual que la registrada en los veranos de 2018 (M4) y 2019 (M6). Asimismo, destaca el aumento de la cobertura muerta, sobre todo en la transecta T09, donde en M14 el rastrojo (25,6%) supera los registros anteriores y el de la cobertura vegetal (18,8%), ver **Figura N° 6-21**.

En los matorrales de *T. absinthioides* del sector Peine, se observa una disminución de las coberturas en el tiempo, registrando en M14 la menor cobertura vegetal para la especie dominante en las transectas T06 (3,2%) y T07 (7,0%). En la transecta T05 la cobertura es muy similar a la registrada en el verano anterior (M12; 4,0%) que también es la menor en comparación a veranos anteriores (**Figura N° 6-21**). La cobertura muerta en esta formación se observa más estable en los últimos monitoreos de verano (M10 a M14), sin alcanzar la mayor cobertura registrada en el verano de 2019 (M6) en las tres transectas.

Respecto a la composición comunitaria en el sector de Peine, ésta se observa estable entre monitoreos, albergando en similar proporción a las especies dominantes y acompañantes en cada una de las transectas monitoreadas, aunque con algunas variaciones menores en especies que presentan una mínima cobertura vegetal (<5%) como es el caso de *Sarcocornia fruticosa* y *Puccinellia frigida* que disminuyen o aumentan sus coberturas en algunos monitoreos en los herbazales de *S. californicus* (T01, T02, T03 y T04), y en esta misma formación destaca la presencia de *Baccharis juncea* como especie co-dominante en las transectas T02 y T03, donde se alcanzan coberturas mayores al 50% en algunos monitoreos. Por último, destaca la presencia de las especies *Atriplex atacamensis*, *Cistanthe densiflora* y *Tiquilia atacamensis* en la transecta T07 en un matorral de *T. absinthioides*, registradas únicamente en el monitoreo M6 (verano 2019) con menos de un 1% de cobertura absoluta.

El sector **Tilopozo** presenta más variedad de formaciones y transectas en el monitoreo, registrando a su vez, variabilidad de coberturas y composición (especies) entre un mismo tipo de formación (**Figura N° 6-22**). En el herbazal de *D. spicata*, solo una transecta presenta más de un 20% de cobertura absoluta para esta especie (T20), desde MB0 y con un 33,4% en M14. Asimismo, en tres transectas se registra menos de un 10% de cobertura absoluta para *D. spicata*, en los monitoreos de verano y MB0 (T21, T26 y T27). Se destaca igualmente, que varias transectas presentan una proporción importante de rastrojo en relación con la cobertura de las especies, siendo mayor el rastrojo (R) en las transectas T26, T27 y T28 que la cobertura vegetal en M14. y la transecta T28 registra la mayor disminución de cobertura vegetal desde M2 (21,8%) a un 4,4% en M14 y un máximo de cobertura muerta (21,0%) en este monitoreo. Por otro lado, cabe mencionar que en la transecta T20, en los últimos tres veranos (M10 a M14) la cobertura de la especie dominante, *D. spicata*, se ha mantenido igual (33,4%), en la transecta T27 la cobertura de esta especie también se ha mantenido entre M12 y M14 (4,2%) y en las transectas T21 y T22 las coberturas de *D. spicata* se observan estables en el tiempo, destacando en T22 que la cobertura de la especie acompañante *Lycium humile* ha ido aumentando, registrando la mayor cobertura en M14 (9,8%). Asimismo, se muestran otras variaciones en la composición comunitaria en estos herbazales, aunque en especies que no presentan más de un 5% de cobertura entre los monitoreos de verano, como *Nitrophila atacamensis* en T20, *Lycium humile* en T21, *Juncus balticus* en T22 y *Sarcocornia fruticosa* en T28.

El herbazal de *S. californicus* presenta las mayores diferencias entre monitoreos, al observar los registros de M14 en el sector Tilopozo (**Figura N° 6-22**). Las transectas T19 y T29 disminuyen notoriamente la cobertura vegetal de la especie *S. californicus* (20,8% en T19; 50,2% en T29) y *Baccharis juncea* (5,2% en T19; 7,6% en T29), directamente relacionado al aumento del rastrojo observado en M14 (83,0% en T19; 67,6% en T29). Cabe destacar que en el verano anterior solo T29 mostraba similar cobertura de *S. californicus* junto a mayor cobertura de Rastrojo, aunque con más cobertura de especies acompañantes en la transecta, no obstante, como se observa en la **Tabla N° 6-28**, esta transecta (T29) sigue presentando alta cobertura vegetal en su fisonomía general (H7), ya que presenta abundante regeneración, a diferencia de la transecta T19 que registra mayormente cobertura muerta o rastrojo (H2). Cabe destacar que en este sector se observaron signos de perturbación por pisoteo de ganado. Respecto a la composición comunitaria en esta formación, destaca la variación observada para la especie *Eleocharis* sp. que aparece en el monitoreo M10 con una cobertura de 7,8% y se mantiene con una cobertura similar en M12, no obstante, en el último monitoreo no se registra su presencia.

Por su parte, el herbazal de *J. balticus* en Tilopozo muestra un descenso de las coberturas con respecto a la cobertura referencial de MB0 (invierno), aunque variable entre los monitoreos de verano (**Figura N° 6-22**), destacando la transecta T22 que registra en este verano una de las coberturas vegetales más bajas para la especie dominante (4,6%) en M14, junto a un aumento del rastrojo (16,4%). Sin embargo, en T18 y T31, si bien las coberturas de *J. balticus* son bajas en M14, aumentaron respecto a los últimos veranos. Adicionalmente, las especies acompañantes en esta formación registran aumentos y

disminuciones entre monitoreos, registrando una composición comunitaria estable dentro de sus rangos de cobertura. En relación con el rastrojo en esta formación, en general se observa el aumento con respecto a monitoreos anteriores y MB0, registrando en M14 la mayor cobertura muerta en T18 (9,6%) y T30 (16,4%).

El matorral de *T. absinthioides* en el sector Tilopozo refleja una variabilidad de coberturas entre monitoreos (**Figura N° 6-21**), aunque en M14, destaca el menor registro de cobertura absoluta presenciado para la especie *T. absinthioides* en T24 (8,0%) y T25 (2,8%). El rastrojo en esta formación es variable, alcanzando los mayores valores en el monitoreo de verano de 2019 (M6) en las tres transectas.

En el **sector La Punta y La Brava** se presentan tres tipos de formaciones, con variabilidad de cobertura y composición entre ellas y sus transectas (**Figura N° 6-23**). Las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* tienen una estructura distinta en su cobertura horizontal, aunque en ambas destaca una disminución de la cobertura absoluta para su especie dominante en M14 (0,2% en T10; 28,4% en T11), respecto a la cobertura referencial de MB0 (invierno), aunque en T10, la cobertura de *T. concinna* se ha mantenido igual entre M6 y M14 con un 0,2% y en T11 destaca el aumento de la cobertura de *S. fruticosa* en M14 (9,4%). La cobertura de *N. atacamensis* en T10 es marginal en M14 (1,0%) y en general ha mostrado variabilidad entre monitoreos y *P. frigida* no se registra en los últimos monitoreos de verano en ambas transectas, reflejando cambios en la composición comunitaria para especies acompañantes que no superan registros de un 2,0% de cobertura absoluta.

Por su parte, la especie dominante en las formaciones de herbazal de *J. balticus* de La Punta y La Brava (**Figura N° 6-23**), aumenta su cobertura absoluta en M14, respecto de la disminución observada en M12, alcanzando una cobertura similar a la registrada en el primer verano (M2; 2017). En el matorral de *S. fruticosa* del sector, en M14 la cobertura de la especie dominante es la menor registrada (18,2%), aunque disminuye igualmente la cobertura de rastrojo en M14 (13,8%), respecto al verano anterior (17,2%).

El **sector Aguas de Quelana** presenta tres transectas de matorral de *Sarcocornia fruticosa*, aunque de distinta composición y cobertura vegetal entre ellas (**Figura N° 6-24**). La transecta T15 presenta mayor variedad de especies y en el tiempo ha presentado estabilidad en sus coberturas vegetales, destacando un aumento de su cobertura en el verano de 2021 (M10), que se ha mantenido hasta el 2023 (M14), aunque con un leve aumento en el rastrojo. La transecta T17, presenta una disminución de la cobertura vegetal en su especie dominante desde el monitoreo base MB0, cobertura referencial de invierno, aunque se observa estable al comparar solo los veranos desde un 45,8% en M2 a un 40,0% en M14. En la transecta T16 se observan los principales cambios, con una disminución paulatina de la cobertura vegetal en el tiempo, presentando en M14 la menor cobertura para *S. fruticosa* (3,0%) y el mayor registro de cobertura muerta (11,8%). La composición comunitaria en estas formaciones es estable entre los monitoreos de verano, observando únicamente las variaciones de cobertura mencionadas.

#### 6.2.2.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Figura N° 6-25** se presentan las coberturas absolutas y promedio de la vegetación, la cobertura de rastrojo y de otros recubrimientos, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de verano 2023 (Monitoreo 14), ordenadas por sector de estudio.

En **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta** se presentan los valores de cobertura absoluta y promedio de M14 y todos los registros de verano (M2 a M14) incluido MB0. En el mencionado Anexo, también se presentan figuras representativas de la evolución de estas coberturas (vegetación, rastrojo y otros recubrimientos) y riqueza por transecta, ordenadas por formación vegetal de cada sector de estudio desde MB0 a M14: Peine (**Figura N°1-1, Figura N°1-2 y Figura N°1-3**), Tilopozo (**Figura N°1-4, Figura N°1-5, Figura N°1-6 y Figura N°1-7**), La Punta y La Brava (**Figura N°1-8, Figura N°1-9 y Figura N°1-10**) y Aguas de Quelana (**Figura N°1-11**).

En **sector Peine** se observa la mayor cobertura absoluta por transectas en los herbazales de *S. californicus*, en M14 (sobre un 100% en las cuatro transectas), a diferencia de la cobertura promedio (bajo un 50%) dada la riqueza de especies que presenta esta formación (3 a 4 especies), indicando que hay superposición de cobertura entre ellas y representando una formación de alta cobertura vegetal sin registro de otros recubrimientos (**Figura N° 6-25**). En el herbazal de *D. spicata* y matorral de *T. absinthioides* la mayor cobertura por transecta está representada por “otros recubrimientos”, donde T09 y las tres transectas del matorral registran coberturas vegetales bajo un 20%. Respecto a la cobertura de rastrojos, esta es variable entre las transectas, en general bajo un 30%, exceptuando a T02 (herbazal de *S. californicus*) con un 35,2% de cobertura muerta, destacando por otro lado, el menor registro en T05 (matorral de *T. absinthioides*; 7,0%).

Con relación a la composición comunitaria, la riqueza de especies varía entre 1 a 4 especies en las transectas del sector Peine. El herbazal de *S. californicus* registra la mayor riqueza con un máximo en T01 y T04 con 4 especies (**Figura N° 6-25**). La cobertura de otros recubrimientos en el sector de Peine está representada por costra salina en los herbazales de *D. spicata* (T08 y T09) mientras que en el matorral de *T. absinthioides* esta cobertura es variable, representada por costra salina en T06, por costra salina terrosa en T05 y por sustrato terroso en T07 (ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**).

En el **sector Tilopozo** se observa una mayor representatividad de otros recubrimientos por sobre la cobertura vegetal, exceptuando las transectas del herbazal de *S. californicus* (**Figura N° 6-25**). En el herbazal de *D. spicata* solo dos transectas muestran una cobertura vegetal sobre el 20% en M14 (33,4% en T20 y 21,6% en T22) en contraste con T21, T26, T27 y T28 que registran menos de un 5% de cobertura absoluta, destacando a T26 con la menor cobertura vegetal (0,6% en M14), asimismo una mayor cobertura de rastrojo que de vegetación en T26, T27 y T28. En cuanto a las transectas del herbazal de *J. balticus*, T31

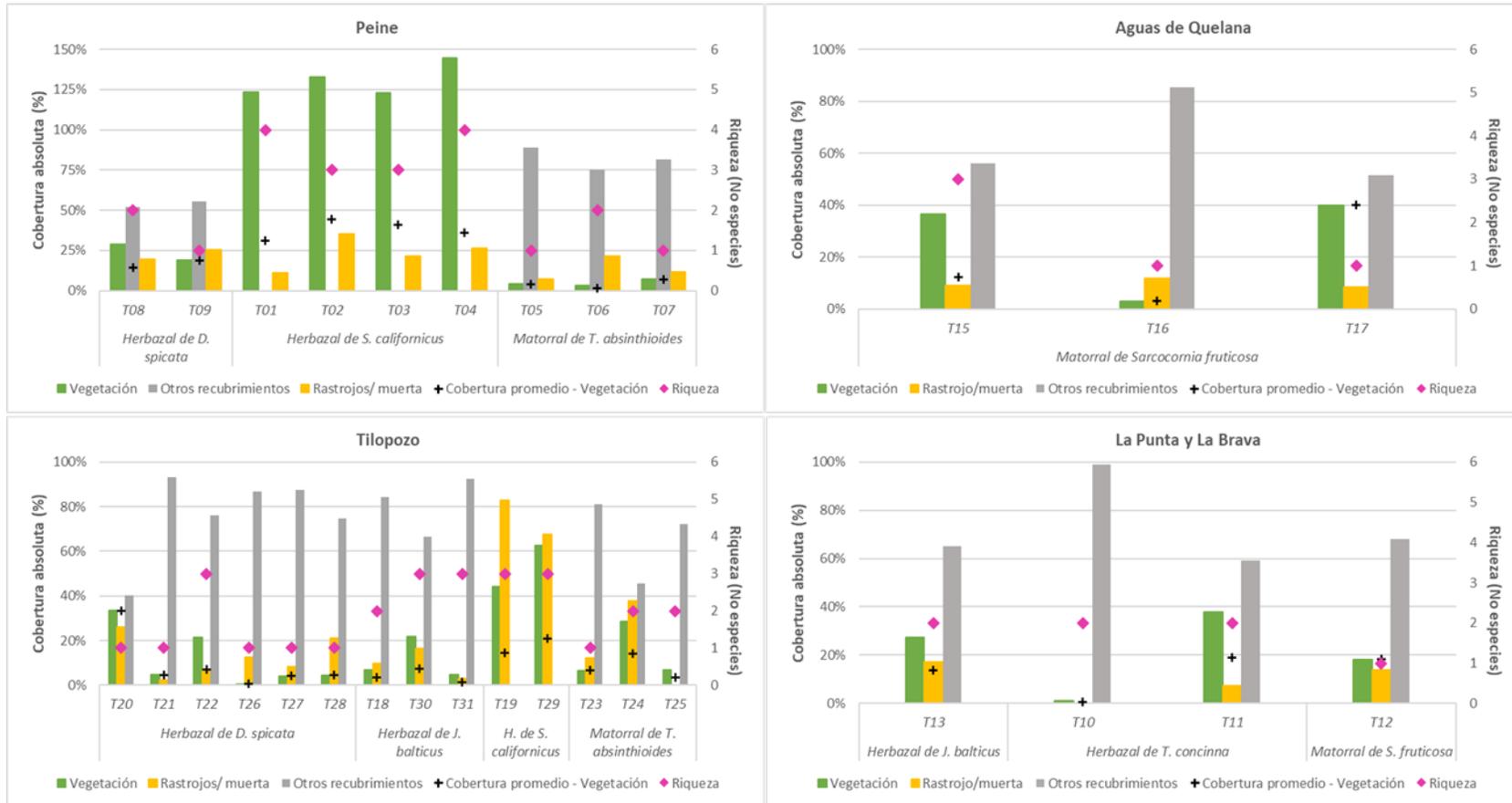
registra la mayor cobertura en M14 (21,8%), en contraste a T18 y T31 que registran menos de un 10% de cobertura vegetal, similar a las transectas en el matorral de *T. absinthioides*, donde T24 registra un 28,4%, y las transectas T23 y T25 menos de un 10% de cobertura vegetal. Por su parte, resalta el mayor registro de rastrojo en T19 (83,0%) y T29 (67,6%), observando, en el caso de T29 una cobertura mayormente volteada, seca y con abundantes y evidentes huellas de pastoreo sobre la formación, mientras que en y alrededor de la transecta T29 se observa abundante regeneración sobre el rastrojo, alcanzando una cobertura vegetal de 62,8% en este verano.

La composición comunitaria en el sector Tilopozo presenta una riqueza de especies variable entre transectas, entre 1 a 3 especies en las transectas en M14. En T22 (herbazal de *D. spicata*), T30-T31 (herbazal de *J. balticus*) y T19-T29 (herbazal de *S. californicus*) se registra la mayor riqueza con 3 especies (**Figura N° 6-25**). La cobertura de otros recubrimientos en el sector está representada principalmente por costra salina, en los herbazales de *J. balticus* y de *D. spicata* y en el matorral de *T. absinthioides*, exceptuando a T26 representada por costra salina terrosa y en T27 que se observa principalmente sobre un sustrato terroso (ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**).

En el **sector de La Punta y La Brava** también se observa mayor representatividad de otros recubrimientos, presentando coberturas vegetales menores al 30% en tres de las cuatro transectas del sector, exceptuando a T11 que registra un 37,8% de cobertura vegetal en M14 (**Figura N° 6-25**), en contraste a la transecta T10 en un herbazal de *Triglochin concinna*, en el subsector La Brava, con la menor cobertura absoluta de un 1,2% y sin presencia de rastrojo. La cobertura de rastrojo en las otras transectas es bajo un 20%, y siempre menor a la cobertura vegetal. La composición comunitaria del sector muestra una baja riqueza, entre 1 a 2 especies por transecta. En relación a los otros recubrimientos, este sector presenta mayor variabilidad en los tipos de cobertura, aunque la mayor representatividad es la costra salina en todas las transectas, adicionalmente se registra costra salina sobresaturada en T11 y costra salina saturada en T10, T11 y T12, destacando además la presencia de agua superficial en la transecta T10 (46,8%), ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**.

En el **sector Aguas de Quelana** también se observa mayor representatividad de otros recubrimientos (sobre un 50%) en M14, presentando en dos transectas coberturas vegetales entre 30 y 40% (36,4% en T15 y 40,0% en T17), en contraste a la transecta T16 con un 3,0% de cobertura vegetal. En cuanto a la cobertura muerta, en T15 y T17 se registra menos de un 10% de rastrojo en M14, mientras que en T16 se registra un 11,8%, siendo mayor a la cobertura vegetal (**Figura N° 6-25**). La composición comunitaria del sector muestra una baja riqueza, entre 1 a 3 especies por transecta. Respecto a los otros recubrimientos, en este sector se observa mayor representatividad de costra salina en todas las transectas, registrando adicionalmente en T17 una menor proporción de costra salina saturada (11,4%), ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**.

Figura N° 6-25. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 14 (verano 2023)



Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2.2.3 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 6-29** se observan los valores promedios del Monitoreo M14 (verano 2023) de cobertura por sector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura promedio de vegetación (65,2%).

Seguidamente, el subsector Aguas de Quelana presenta una cobertura vegetal promedio de 26,5%, a diferencia del subsector Soncor, que se encuentra aledaño a éste y, que nunca ha presentado cobertura vegetal, ya que su transecta de monitoreo (T14) se encuentra sobre una costra salina y el sector corresponde mayoritariamente a un área desprovista de vegetación (salar). Por otra parte, La Punta y La Brava tiene una baja cobertura promedio (21,2%), representando formaciones con vegetación parchosa correspondientes a herbazales de *Triglochin concinna* que se desarrollan en bordes de lagunas y, por último, el sector Tilopozo presenta la menor cobertura promedio por sector (17,9%), y a su vez, la mayor cobertura de rastrojo con un promedio de 23,4% (**Tabla N° 6-29**).

En referencia a la cobertura promedio de la vegetación muerta, el subsector de Peine registra un 19,9%, seguido de La Punta y La Brava y Aguas de Quelana con menos de un 10% de rastrojo en M14 (**Tabla N° 6-29**).

Finalmente, la riqueza de especies se observa entre cinco y seis especies de flora vascular por sector (**Tabla N° 6-29**). La **Tabla N° 6-30**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

**Tabla N° 6-29. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 14 (verano 2023)**

Subsector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por sector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Punta y La Brava	4	21,2%	9,6%	5
Peine	9	65,2%	19,9%	5
Aguas de Quelana	3	26,5%	9,7%	3
Soncor*	0	-	-	0
Tilopozo	14	17,9%	23,4%	6

Donde: \* Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M14 debido a restricciones de acceso y malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 6-30. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 14 (verano 2023)**

Especie	Sub-sector Área de estudio*			
	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
<i>Baccharis juncea</i> (Cass.) Desf.		X		X
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene		X		X
<i>Juncus balticus</i> Willd.	X			X
<i>Lycium humile</i> Phil.	X			X
<i>Nitrophila atacamensis</i> (Phil.) Hieron. ex Ulbr.	X		X	
<i>Puccinellia frigida</i> (Phil.) I.M. Johnst.			X	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	X	X	X	
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják		X		X
<i>Tessaria absinthioides</i> (Hook. & Arn.) DC.		X		X
<i>Triglochin concinna</i> Burt Davy	X			
<b>Riqueza total por subsector</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>

Donde: \*Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M14 debido a restricciones de acceso y malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.3 Resultados de Distribución y Cobertura de la Vegetación Azonal - NDVI

De acuerdo con el Anexo N°2, Adenda 5 RWL (2015), en este acápite se presentan los resultados obtenidos a partir del método NVDI - imágenes satelitales, que representan la cobertura vegetal y su grado de vigorosidad, es decir, vegetación activa para verano de 2023, dada la frecuencia anual de medición a través de este método.

Es importante recordar que, la extracción de los valores de NDVI se realiza en el área correspondiente a la superficie de la Carta de Ocupación de Tierras (COT), que representa la vegetación zonal, azonal y otros recubrimientos en cuatro sectores del Salar en la campaña de verano de 2023: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Soncor y (v) Aguas de Quelana.

Según los valores obtenidos en base a la metodología descrita en la **sección 6.1.3.5**, los resultados de la superficie de vegetación activa por formación vegetal correspondiente a cada sector se detallan en la **Tabla N° 6-31** y se grafican en los archivos cartográficos presentados en el **Anexo I de Vegetación y Flora** de este Informe Anual.

**Tabla N° 6-31. Superficies de vegetación activa (NDVI) en base a la COT de verano 2023, por sector.**

SECTOR	SUPERFICIES 2022 (ha)		SUPERFICIES 2023 (ha)		%VAR (*)
	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT	
<b>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</b>					
<b>Formación vegetal</b>					
<b>Peine</b>	<b>601,1</b>	<b>5.925,00</b>	<b>529,8</b>	<b>5.925,00</b>	<b>-11,90%</b>
Área desprovista de vegetación	0	2.936,00	0	2.936,00	-
<b>Zonal</b>	<b>385,7</b>	<b>2.181,00</b>	<b>338,6</b>	<b>2.181,00</b>	<b>-12,20%</b>
Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	7,1	148,5	9,6	148,5	35,80%
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	1,8	9,3	1,6	9,3	-8,50%
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	7,0	60,1	16,4	60,1	133,40%
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	80,1	542,8	29,9	542,8	-62,70%
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	256,3	1.193,70	240,3	1.193,70	-6,30%
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	33,3	226,5	40,8	226,5	22,50%
<b>Azonal</b>	<b>215,4</b>	<b>808</b>	<b>191,2</b>	<b>808</b>	<b>-11,30%</b>
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	159,8	687,4	128,3	687,4	-19,70%
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	6,0	8,9	6,5	8,9	6,70%
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	1,1	3,4	0,8	3,4	-21,40%
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	26,8	85,3	36,8	85,3	37,30%
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,1	5,3	4,3	5,3	-16,10%
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,1	11,6	9,6	11,6	-13,40%
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	6,1	4,9	6,1	-11,50%
<b>La Punta y La Brava</b>	<b>9,6</b>	<b>118,5</b>	<b>11,5</b>	<b>118,5</b>	<b>20,00%</b>
Área desprovista de vegetación	0	59,2	0	59,2	-
<b>Azonal</b>	<b>9,6</b>	<b>59,3</b>	<b>11,5</b>	<b>59,3</b>	<b>20,00%</b>
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Triglochin concinna</i>	1,2	13,6	2,3	13,6	90,00%
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	7,5	41,1	8,6	41,1	14,10%
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	0,3	2,3	0,2	2,3	-9,10%
Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	0,6	2,4	0,3	2,4	-40,60%
<b>Aguas de Quelana</b>	<b>258,6</b>	<b>4.954,20</b>	<b>320,7</b>	<b>4.954,20</b>	<b>24,00%</b>
Área desprovista de vegetación	0	3.435,40	0	3.435,40	-
<b>Zonal</b>	<b>37,4</b>	<b>114,8</b>	<b>22,1</b>	<b>114,8</b>	<b>-41,00%</b>
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	34,6	104,9	19,6	104,9	-43,20%

SECTOR	SUPERFICIES 2022 (ha)		SUPERFICIES 2023 (ha)		%VAR (*)
	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT	
<i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i>					
<b>Formación vegetal</b>					
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	2,8	9,8	2,4	9,8	-12,50%
<b>Azonal</b>	<b>221,2</b>	<b>1.404,00</b>	<b>298,6</b>	<b>1.404,00</b>	<b>35,00%</b>
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	96,3	637,3	130,7	637,3	35,70%
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	2,5	21,6	4,6	21,6	83,20%
Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,8	18,6	4,2	18,6	9,50%
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	56,4	522,7	109,2	522,7	93,70%
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	62,2	203,9	49,9	203,9	-19,70%
<b>Soncor</b>	<b>7,7</b>	<b>5.018,20</b>	<b>8</b>	<b>5.018,20</b>	<b>4,00%</b>
Área desprovista de vegetación	<b>0</b>	<b>4.993,50</b>	<b>0</b>	<b>4.993,50</b>	-
<b>Azonal</b>	<b>7,7</b>	<b>24,8</b>	<b>8</b>	<b>24,8</b>	<b>4,00%</b>
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,6	7,8	3,3	7,8	-6,50%
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	4,2	16,9	4,7	16,9	13,00%
<b>Tilopozo</b>	<b>727,2</b>	<b>17.054,10</b>	<b>535,8</b>	<b>17.054,10</b>	<b>-26,30%</b>
Área desprovista de vegetación	<b>0</b>	<b>14.408,00</b>	<b>0</b>	<b>14.408,00</b>	-
<b>Zonal</b>	<b>58,1</b>	<b>583</b>	<b>23,8</b>	<b>581,2</b>	<b>-59,00%</b>
Matorral de <i>Ephedra breana</i>	45,1	491,1	11,8	491,1	-73,90%
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	13,1	91,8	12,1	90,1	-
<b>Azonal</b>	<b>669,1</b>	<b>2.063,20</b>	<b>512</b>	<b>2.064,90</b>	<b>-23,50%</b>
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	409,6	806,8	232	808,6	-43,40%
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	54,1	10,9	54,1	97,90%
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	32	188,4	32,1	129,9	-
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	3,8	16,5	4,3	16,5	13,40%
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	6,2	34,4	19,1	92,8	-
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	4,1	14,3	3,4	14,3	-16,30%
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i> **	1,8	4,4	0,9	4,4	-48,50%
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,3	13,8	1,8	13,8	45,40%
Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i>	4,1	49,6	13,8	49,6	234,90%

SECTOR	SUPERFICIES 2022 (ha)		SUPERFICIES 2023 (ha)		%VAR (*)
	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT	
<b>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</b>					
<b>Formación vegetal</b>					
Vega de <i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	1,1	1,1	0,8	1,1	-27,50%
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	105,3	586,8	99	587	-6,00%
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	6,3	6,6	2,4	2,7	-62,80%
Vega de <i>Distichlis spicata</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	-	-	3,2	3,9	-
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Juncus balticus</i>	6,5	7,2	3,9	7,2	-40,50%
Vega de <i>Juncus balticus</i>	20,1	113,5	22,8	113,5	13,40%
Vega de <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,7	11,2	2,8	11,2	-25,10%
Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Distichlis spicata</i>	0,3	27	5,3	27	1.530,50%
Vega de <i>Phragmites australis</i> y <i>Distichlis spicata</i> **	10,1	42,5	11,3	42,5	11,90%
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8,8	22,5	22,9	40,4	-
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,9	2,3	1,8	3	-
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	36,1	36,7	13,8	17,9	-
Vega de <i>Triglochin concinna</i>	0,5	23,5	3,6	23,5	582,40%
<b>Total general</b>	<b>1.604,30</b>	<b>33.070,10</b>	<b>1.405,90</b>	<b>33.070,10</b>	<b>-12,40%</b>

Donde: \*Porcentaje de variación con respecto a la entrega 2022, de no señalarse corresponde a variaciones en superficie o cobertura que no permite comparar las formaciones descritas; \*\* Diferencias en nombres de formaciones: COT 2023 es Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa*, *Distichlis spicata* y *Baccharis juncea* y COT 2022 es Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata*; COT 2023 es Vega de *Phragmites australis* y *Distichlis spicata* y COT 2022 es Vega de *Phragmites australis*, *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*.

Fuente: Elaboración propia.

La vegetación activa calculada a partir del NDVI, corresponde a 1.405,9 ha, superficie que representa un 4,3% de la superficie total de la COT (33.070,1 ha), incluyendo áreas desprovistas de vegetación (**Tabla N° 6-31**). En tanto, la superficie con vegetación de la COT es de 7.238,0 ha, donde la vegetación activa representa un 19,4% (1.405,9 ha). Esta diferencia de superficie se debe a que el índice NDVI responde a múltiples factores, donde su principal aporte es generar una idea del estado general de la vegetación, principalmente de la vigorosidad o actividad de la vegetación que ocupa un área.

En **Tabla N° 6-31** se observa igualmente el porcentaje (%) de variación de la vegetación activa (NDVI 2023), respecto a la superficie de vegetación activa del verano anterior (2022). Los sectores Peine y Tilopozo disminuyen su superficie de cobertura activa en este monitoreo en un -11,9% y -26,3%, respectivamente. A diferencia de los sectores Aguas de Quelana, Soncor y La Punta y La Brava que aumentaron su superficie de NDVI en el 2023

(24,0%, 4,0% y 20,0%, respectivamente). En términos generales, se observa que las formaciones azonales con matorral hídrico o mixtas con matorral hídrico tuvieron una tendencia al aumento de la superficie activa en el 2023 en algunas zonas, por ejemplo, el Matorral hídrico - Vega de *S. fruticosa* y *T. concinna* en La Punta y La Brava con una variación a favor de un 90,0%, el Matorral hídrico de *S. fruticosa* en Aguas de Quelana con una variación de 93,7% y el Matorral hídrico de *Lycium humile* en Tilopozo con una variación de 234,9%.

Entre las variables que se relacionan con el NDVI, se pueden describir: índice de área foliar, contenido de agua en la hoja, flujo neto de CO<sub>2</sub>, radiación fotosintética activa absorbida por la planta, productividad neta de la vegetación, cantidad de lluvia recibida por la vegetación, dinámica fenológica, evapotranspiración potencial (Gonzaga, 2014); todo lo anterior se suma a la discriminación de los datos en base a los umbrales determinados y la cobertura de cada formación determinada por la COT.

#### **6.2.4 Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación**

Según lo dispuesto en la Adenda 5 y la RCA que aprueba al proyecto, Considerando 7 del Plan de Seguimiento Biótico, respecto a la variable “*Flora y Vegetación*”, se indica respecto de los límites comprometidos “*Mantenimiento dentro de su variación histórica (Ver Anexo 2)*”

El Anexo 2 corresponde al Plan de Seguimiento Biótico o Plan de Manejo Biótico (PMB), y la variable “*Flora y Vegetación*” se enmarca en el estado ecológico del sistema, el cual se analiza anualmente. Si bien no quedaron establecidos límites a considerar para las campañas estacionales, esta variable es parte de un análisis integral del sistema. Asimismo, posterior al análisis de los resultados de este informe semestral, correspondiente al monitoreo estival post-lluvias del séptimo año de medición, se procederá a realizar el análisis de la evolución de este componente, a informarse en el Informe Consolidado Anual N°7, la que se verá en conjunto con las otras dos variables de estado comprometidas en la evaluación del estado ecológico.

## 7 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES

### 7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos semestrales de invierno 2023 y verano 2024 para el componente ambiental biota, subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE N°21/2016 del Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama de la empresa Albemarle Ltda., ubicado en la Región de Antofagasta.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este componente y que son objeto de seguimiento, corresponden a: composición, riqueza y abundancia, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto.

Los períodos reportados en el presente informe se enmarcan entre los días 22 al 28 de octubre de 2023, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno (aunque en rigor, corresponde a primavera), y entre los días 10 al 16 de marzo de 2024, correspondiente al monitoreo semestral de verano.

En la campaña de invierno 2023 (realizada recién en octubre), se efectuaron 23 de los 25 puntos de muestreo, mientras que en la campaña de verano 2024 se realizaron 20 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, debido al cierre de las lagunas de Peine (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones de Acceso**), limitando en verano por cuarta vez y por quinta vez en total, en el marco del PMB, respectivamente, el acceso completo al sector de lagunas de Peine, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva. Lo anterior afecta significativamente el análisis y la comparación de los resultados, sobre todo en lo que respecta a la abundancia de aves acuáticas (y en particular, de los flamencos) en los sistemas lagunares. Para efectuar la campaña de monitoreo de fauna, se contó con el permiso de captura de animales de especies protegidas de fauna silvestre, a través de RE-338/2023 (Servicio Agrícola y Ganadero) el cual corresponde a la ampliación del permiso de captura inicial N°420/2017 (**Ver Acápite 1.1 del Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

El presente informe de monitoreo anual corresponde a la décimo quinta y décimo sexta campaña de seguimiento semestral del Plan de Manejo Biótico del Proyecto (Anexo 2 Adenda 5 EIA), llevadas a cabo por Cedrem Consultores Limitada, por encargo del Titular del Proyecto.

Los objetivos del informe de seguimiento ambiental al subcomponente fauna terrestre, son los siguientes:

- Caracterizar la fauna presente y su distribución en el área de estudio, a escala general y en los distintos ambientes de fauna identificados, en cuanto a su taxonomía, origen geográfico y estado de conservación en conformidad a lo señalado en el artículo 37 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente.
- Describir la riqueza, composición, abundancia, frecuencia y similitud de la fauna de vertebrados terrestres (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) presentes para los distintos ambientes del área de estudio.
- Comparar, a distintas escalas (cualitativa y cuantitativamente) los resultados de las variables y parámetros de riqueza, composición y abundancia de la fauna registrada en estas campañas semestrales de invierno de 2023 y verano de 2024, con los resultados de monitoreo y/o línea de base previos, para establecer posibles desviaciones y evolución de éstos en el tiempo.

## 7.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.2.1 Descripción del área de estudio

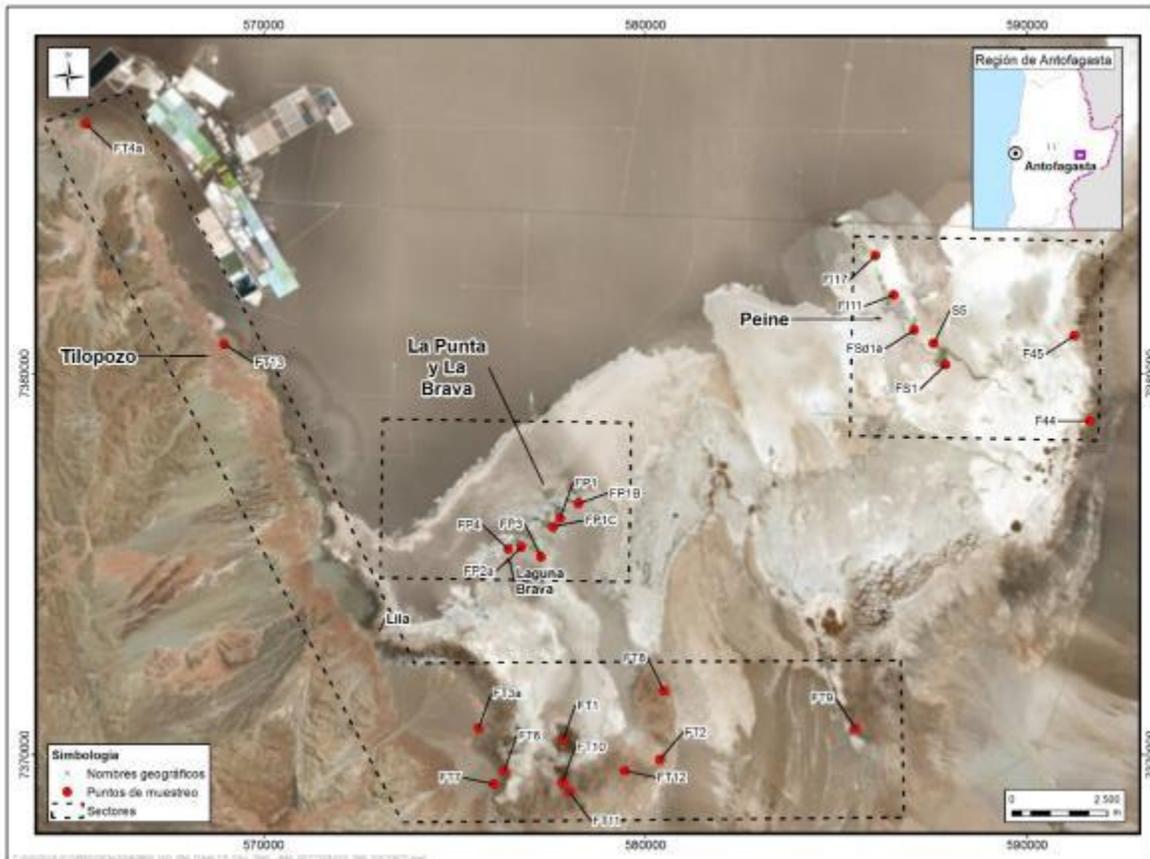
El área de estudio se ubica en el borde sur del Salar de Atacama, donde operativamente, siguiendo la línea del PMB (Adenda 5), se dividieron los muestreos en tres sectores: a) La Punta y La Brava; b) Peine (incluyendo las lagunas Salada, Saladita e Interna, y dos puntos con ambiente terrestre), y c) Tilopozo (**Figura N° 7-1**). Los dos primeros sectores corresponden principalmente a borde de salar (lagunas), mientras que Tilopozo incluye pozas de agua dulce, pero mayoritariamente son ambientes terrestres. Toda el área se localiza en un sector plano, variando entre las cotas de 2.304 m s.n.m. a los 2.312 m s.n.m.

Para el área específica de estudio, y analizando los datos de muestreos de línea base (PMB, 2015), los que se resumen en varias campañas (desde los años 2006 a 2015), se ha registrado una riqueza acumulada de 62 especies de vertebrados, de las cuales 49 corresponden a aves (79%), 10 especies a mamíferos (16,1%), dos a reptiles (3,2%) y una a anfibios (1,6%). Del total, y considerando las actualizaciones de los procesos de clasificación (19 procesos oficiales a la fecha), 16 de dichas especies se encuentran en alguna categoría de conservación: una especie En Peligro (*Liolaemus fabiani*); seis clasificadas como Vulnerables (*Recurvirostra andina*, *Phoenicoparrus andinus*, *P. jamesi*, *Rhea pennata tarapacensis*, *Lama guanicoe* y *Vicugna vicugna*); tres categorizadas como Casi amenazadas (*Vultur gryphus*, *Phoenicopterus chilensis* y *Pleurodema thaul*) y seis catalogadas como de Preocupación menor (*Chroicocephalus serranus*, *Falco peregrinus*, *Liolaemus constanzae*, *Ctenomys fulvus*, *Lycalopex culpaeus* y *L. griseus*). Hay una alta proporción de especies nativas, siendo *Liolaemus constanzae* y *Liolaemus fabiani* representantes de las especies endémicas del área.

Respecto a la distribución de las especies en los distintos hábitats, se observó que la mayor representación de riqueza y abundancia estuvo presente en las lagunas, con ocho especies de vertebrados, principalmente aves asociadas a cuerpos de agua. Le sigue el hábitat de matorral, con ocho especies de vertebrados, y el herbazal, con seis especies.

De las especies más sensibles, destacan las tres especies de flamencos, presentes en los sectores de a) La Punta y La Brava, y b) Peine (considerando sólo las lagunas Salada, Saladita e Interna), y que en campañas donde se efectuó estimación de abundancia (septiembre 2013, abril y julio 2014, y febrero 2015), fueron las especies de aves acuáticas más abundantes en los sistemas lacustres. De las restantes especies de vertebrados, destacan especialistas de hábitat como la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), presente en el borde de las lagunas de salares, y el tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), roedor fosorial de Chile, y que se encuentra en ambientes de matorral y herbazal, en sustratos arenosos.

**Figura N° 7-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).**



Fuente: Elaboración Propia.

### 7.2.2 Ubicación de puntos muestreo

En ambas campañas de monitoreo, se consideraron 25 puntos de muestreo, de los cuales 16 son los establecidos en la RCA, correspondientes a los considerados en campañas previas (PMB 2015), y otros nueve puntos son adicionales, ya incorporados y reportados en las campañas anteriores del PMB, desde el Informe Anual N°1. Al respecto, es importante señalar que dicha complementación de los puntos de monitoreo tuvo y tiene como objetivo aumentar la representatividad del muestreo, lo que es especialmente importante dada la extensión del área de seguimiento; además busca mejorar el estudio de hábitats específicos como humedales donde se concentra la fauna local (lagunas y surgencias de agua), y en definitiva representar todos los tipos de ambientes presentes en el área de estudio. Durante la evaluación ambiental se puso más énfasis en Tilopozo, y tal como se puede ver de los puntos complementados, se agregaron puntos en las demás zonas de monitoreo (LP y LB y Peine).

Por otra parte, para mejorar la representación de ambientes, desde la campaña N°1 (M1) a la fecha (M16), se procedió a reubicar seis (6) puntos de muestreo desde las coordenadas originales indicadas en el Anexo 2 del Plan de Manejo Biótico. Estos cambios se llevaron a cabo con el fin de ajustar la ubicación en el terreno para cumplir con los objetivos específicos establecidos para el seguimiento de la fauna terrestre. Estas adaptaciones, basadas en criterios como mejorar la visibilidad de cuerpos de agua, dirigir los transectos por los tipos de hábitats muestreados y asegurar la representación de todos los ambientes en el área de estudio, contribuyen a una mayor efectividad y representatividad en la recolección de datos de seguimiento de fauna. Esto ha reforzado la propuesta inicial (PMB, 2015), sin considerar modificaciones posteriores a este ajuste, por ende, estos puntos son los que se efectúan desde la campaña N°1 de monitoreo hasta la fecha.

Es importante reconocer que la fauna es inherentemente móvil y que su comportamiento de desplazamiento puede variar significativamente entre especies. En el contexto de un seguimiento de fauna en un punto específico, es fundamental entender que este enfoque se centra en el muestreo de especies de baja movilidad, es decir, en especies o individuos que tienden a permanecer dentro o en las cercanías del punto de muestreo; por lo tanto verificar donde debe posicionarse el punto de muestreo es fundamental para acceder al registro de este tipo de especies. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las especies de alta movilidad tienen la capacidad de desplazarse considerablemente y pueden encontrarse en múltiples lugares dentro o fuera del área de muestreo designada. Por lo tanto, los recorridos exhaustivos y los muestreos complementarios en ambientes disimiles, aseguran mejores registros.

La ubicación detallada de los puntos (en coordenadas UTM, datum WGS84, Huso19), fue presentada e informada en el Informe N°1 del PMB, e igualmente se presentan en la **Tabla N° 7-1** y **Figura N° 7-1** (ver también **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

Cabe mencionar que en la campaña de invierno 2023, por inconvenientes de permiso, no se accedió a dos de los 25 puntos (se efectuaron 23 de los 25 puntos), mientras que en verano 2024, no se pudo acceder a cinco de los 25 puntos (lagunas de Peine: Salada, Saladita e Interna) por lo que el muestreo se efectuó en 20 de los 25 puntos (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**) (detalle en **Tabla N° 7-1**).

En relación con el esfuerzo de muestreo, en invierno 2023 se efectuaron 23 transectos (uno en cada punto de muestreo), 11 estaciones con trampas cámara, cinco muestreos de aves nocturnas y dos muestreos nocturnos de anfibios. En verano 2024, se efectuaron 20 transectos, ocho estaciones de trampeo de micromamíferos y 11 estaciones con trampas cámara, y no se realizaron muestreos nocturnos.

**Tabla N° 7-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19.**

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Adicional
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				Anf	Rep	Aves	Mam	
S5	-	-	587.551	7.380.785	Peine	Salada	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X (*)
FS1	587.869	7.380.233	587.869	7.380.233	Peine	Salada	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	- (*)
FSd1a	587.090	7.381.075	587.043	7.381.143	Peine	Saladita	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	- (*)
FI11	-	-	586.512	7.382.060	Peine	Interna	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FI17	-	-	586.032	7.383.098	Peine	Interna	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
F44	591.636	7.378.759	591.638	7.378.759	Peine	Peine terrestre	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-
F45	591.246	7.380.993	591.248	7.380.993	Peine	Peine terrestre	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Adicional
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				Anf	Rep	Aves	Mam	
FP1	577.768	7.376.209	577.768	7.376.209	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	-
FP1B	-	-	578.241	7.376.584	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP1C	-	-	577.574	7.375.983	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP2a	576.955	7.375.401	576.748	7.375.448	La Punta y la Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	-
FP3	-	-	577.271	7.375.175	La Punta y La Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP4	-	-	576.403	7.375.395	La Punta y la Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FT10	577.822	7.369.282	577.822	7.369.282	Tilopozo	Tilopozo	Humedal pajonal	Si	Si	Si	Si	-
FT1a	577.841	7.370.458	577.830	7.370.368	Tilopozo	Tilopozo	Humedal pajonal	Si	Si	Si	Si	-
FT11	578.010	7.369.030	578.010	7.369.030	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Adicional
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				Anf	Rep	Aves	Mam	
FT2	580.379	7.369.871	580.379	7.369.871	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-
FT3a	575.689	7.371.561	575.626	7.370.684	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Ephedra</i>	No	Si	Si	Si	-
FT6	576.296	7.369.572	576.296	7.369.572	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-
FT7	576.027	7.369.223	576.027	7.369.223	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Ephedra</i>	No	Si	Si	Si	-
FT8a	580.508	7.371.630	580.492	7.371.669	Tilopozo	Tilopozo	Herbazal <i>Distichlis</i>	No	Si	Si	Si	-
FT12	-	-	579.466	7.369.580	Tilopozo	Tilopozo	Herbazal <i>Distichlis</i>	No	Si	Si	Si	X
FT9	585.499	7.370.694	585.499	7.370.694	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-
FT13	-	-	568.962	7.380.770	Tilopozo	Tilopozo	Quebrada	No	Si	Si	Si	X
FT4a	565.572	7.386.532	565.347	7.386.540	Tilopozo	Tilopozo	ADV (Costra salar)	No	Si	Si	Si	-

**Nota:** Las estaciones que presentan una letra a minúscula, representa una adecuación de la estación original, en cuanto a la ubicación exacta (ej. FT4a corresponde a la estación original FT4, que se cambió de lugar, manteniendo el ambiente). \*: los puntos resaltados en negrita y con asterisco no fueron muestreados en la campaña de verano 2024, por razones indicadas de limitaciones de acceso por activación del periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos.

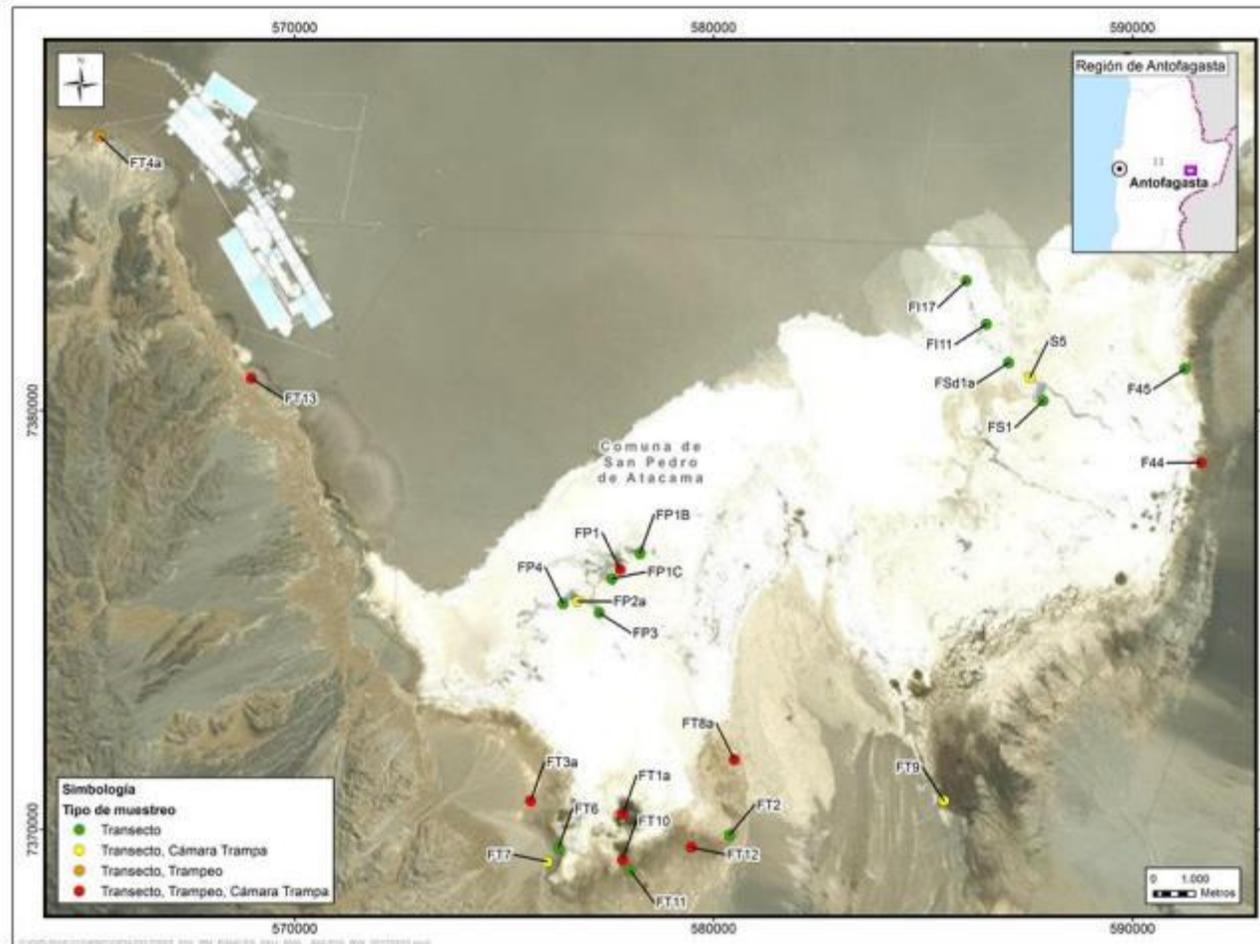
**LB:** Línea de Base; **PMB:** Plan de Manejo Biótico.

Fuente: Elaboración Propia.

---

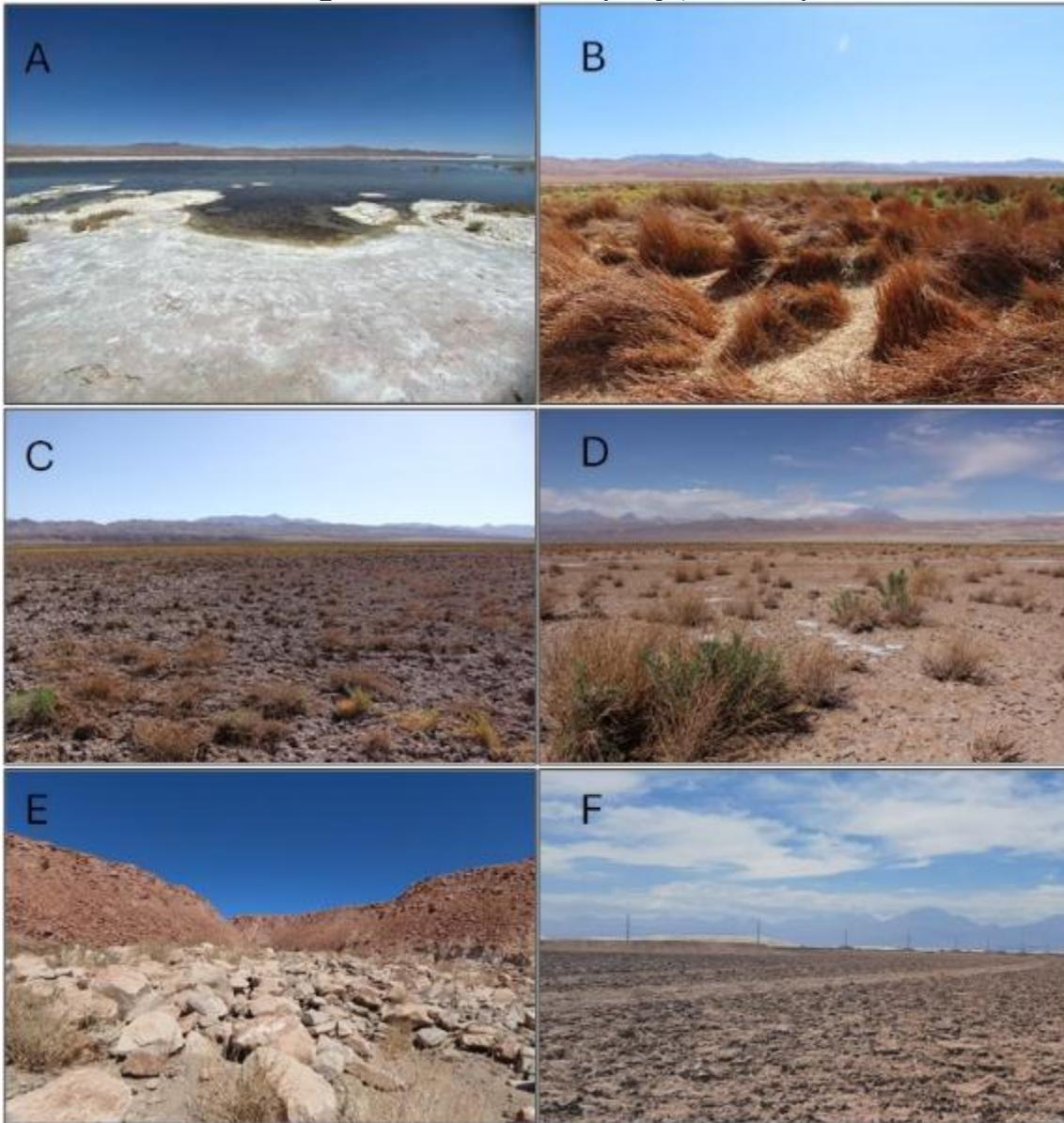
Los puntos de muestreo se agruparon en tres sectores: a) La Punta y La Brava (con 6 puntos); b) Peine, en las lagunas Salada, Saladita e Interna (con 5 puntos), además de 2 puntos en ambiente terrestre (7 puntos en total) y c) Tilopozo (12 puntos; **Figura N° 7-1**). Los dos primeros son sectores caracterizados por ambientes de borde de salar (humedal salar) y matorral (para Peine), mientras que en el sector Tilopozo, la gran mayoría de los ambientes (10 puntos) son matorrales (de *Tessaria sp.* y *Ephedra sp.*), herbazales (la mayoría de *Distichlis sp.*), quebradas y costras salinas en ambientes terrestres, a excepción de 2 estaciones de muestreo ubicados en humedales dulceacuícolas (pozas) de Tilopozo (**Figura N° 7-1; Fotografía N° 7-1**; ver también **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**). La disposición de los trampeos y muestreos nocturnos es representativa de todos los ambientes acuáticos y terrestres presentes en el área de estudio.

**Figura N° 7-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Fotografía N° 7-1. Ambientes del área de estudio. A) humedal salar (arriba; izquierda); B) humedal pajonal (arriba, derecha); C) herbazal (centro, izquierda); D) matorral (centro, derecha); E) quebrada (abajo, izquierda) y F) área desprovista de vegetación costra salar (abajo, derecha).**



Fuente: Elaboración Propia.

### **7.2.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales**

En el caso de la fauna de vertebrados, para las variables riqueza, composición y abundancia, los parámetros utilizados son a) número e identidad de especies, para la riqueza y composición, y b) número de ejemplares, para la abundancia (absoluta y relativa) y frecuencia (absoluta y relativa). Los parámetros se expresan además para cada tipo de ambiente predefinido y estandarizados por el número de puntos o transectos realizados por cada ambiente.

### **7.2.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control**

#### **7.2.4.1 Tipos de muestreo**

El presente estudio consideró cuatro tipos de muestreo para relevar la fauna vertebrada terrestre de acuerdo a lo establecido en el Plan de Seguimiento de la RCA (**Figura N° 7-2**). El principal tipo corresponde al transecto, al que se sumaron muestreos complementarios, los cuales están dirigidos a maximizar la detección de determinadas taxa de fauna vertebrada silvestre. Estos muestreos complementarios corresponden a: trapeo de roedores y marsupiales, muestreo nocturno de aves y anfibios, y cámara trampa con atrayente olfativo.

Las definiciones de los tipos de muestreo son las siguientes:

- Transecto (T): Caminata a partir de un punto, para detectar evidencias directas e indirectas de fauna vertebrada terrestre.
- Trapeo de roedores y marsupiales (TR): Captura viva de especies de pequeños mamíferos.
- Muestreos Nocturnos (MN): Muestreo indirecto por playback de aves nocturnas y anfibios.
- Cámara trampa con atrayente olfativo (CT): Se instalan cámaras trampa con atrayente olfativo para detectar visualmente especies de carnívoros.

#### **7.2.4.2 Diseño de muestreo**

El diseño de muestreo consistió en la georreferenciación, en gabinete, de las unidades de muestreo que fueron posteriormente analizadas en terreno (puntos de muestreo). Una vez que se obtiene la cobertura de ambientes, y tras definir los taxa a muestrear por campaña de terreno (por ende, los tipos de muestreo a implementar), se eligen las unidades de muestreo por tipo de ambiente y para cada uno de los sectores en el área de estudio.

El diseño de muestreo utilizado fue del tipo estratificado-dirigido: estratificado, ya que los estratos correspondieron a los tipos de ambientes de fauna previamente delimitados; y dirigido, dado que el equipo de especialistas encargado utilizó los criterios de experto para localizar de manera efectiva los puntos de muestreo por taxón y/o tipo de muestreo.

Los criterios de experto usados para localizar/dirigir los transectos de muestreo, son:

- Representatividad y homogeneidad espacial del ambiente a caracterizar, muestreando un promedio del ambiente.
- Accesibilidad y condiciones de seguridad.
- Minimización de sobreposición de puntos de muestreo.

En el caso de muestreos complementarios, los criterios para establecer los puntos de muestreo específicos según la especie a detectar son:

- Trampeo de roedores y marsupiales: Según la disponibilidad de refugios y rastros (huellas y fecas).
- Playback de aves nocturnas: Según la disponibilidad de recursos para las aves y disponibilidad de distintos ambientes.
- Playback de anfibios: Según el tipo de hábitat (cursos de agua o humedales).
- Cámaras trampa con atrayente olfativo: Según la presencia de rastros (huellas o fecas) y/o según morfología del hábitat como puede ser la detección de cuevas (refugios) o quebradas (corredores).

#### **7.2.4.3 Muestreo de terreno**

A fin de caracterizar el componente fauna, describiendo su riqueza, composición y abundancia en el área de estudio y los sectores que la conforman, se ha consultado la Guía para Evaluación de Línea Base Componente Fauna Silvestre (SAG, 2012; SAG, 2016), complementado con la Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres del SEA (2015).

En terreno, cada punto de muestreo fue georreferenciado utilizando GPS navegador en sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), Datum WGS 84 y Huso 19 sur.

Posteriormente, el equipo de especialistas procedió a la validación de los ambientes previamente descritos (en estudios anteriores). Luego, se realizó el registro fotográfico en los cuatro puntos cardinales en el ambiente. Se definieron seis ambientes: humedal salar (con 11 puntos de muestreo, ubicados en el sector de La Punta y La Brava, y en las lagunas Salada, Saladita e Interna, de Peine), humedal pajonal (dos puntos, en Tilopozo), área desprovista de vegetación costra salina (un punto, en Tilopozo), herbazal (dos puntos, en

Tilopozo), matorral (con ocho puntos, seis en el sector de Tilopozo y dos en el sector de Peine) y quebrada (un punto, en Tilopozo; detalles en **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

Tras describir el ambiente en cada punto de muestreo, el equipo de especialistas procedió a implementar las metodologías de muestreo pertinentes a cada taxón objetivo, caracterizando la fauna mediante evidencias directas (visuales y/o auditivas) e indirectas (fecas, huellas, plumas, egagrópilas, cuevas, pelos, etc.). De ser posible, se fotografiaron los individuos avistados, además de las evidencias indirectas de especial interés, como restos óseos, egagrópilas, fecas y huellas.

Para la recolección de datos en terreno y su correcta sistematización en gabinete, se utilizaron formularios de datos específicos para cada tipo de muestreo.

#### **7.2.4.4 Procedimiento de muestreo por taxón**

Para las cuatro taxa muestreadas, la información recopilada fue registrada en formularios diseñados para cada actividad (monitoreo en transectos, trampeo, trampa cámara, muestreo nocturno).

##### **7.2.4.4.1 Muestreo de Anfibios**

Se estableció la composición, riqueza y abundancia de anfibios a través de transectos en las estaciones de muestreo (en las dos estaciones donde es posible su presencia, como las pozas de Tilopozo), removiendo piedras y costra salina, en la medida de lo posible. Se determinaron las especies con registros directos (auditivo, visual, larvas), dejando registro fotográfico de respaldo. Igualmente, se realizaron muestreos crepusculares-nocturnos con sistema de playback. En este caso, la reproducción del audio se efectuó por un minuto máximo con espera de respuesta (auditiva y/o visual) por cinco minutos. El orden de reproducción fue de menor a mayor tamaño de especie. El playback se realizó media hora después del crepúsculo o durante la noche, y se efectuaron tres repeticiones de cada especie (inicialmente, se reprodujeron dos especies potenciales: *Pleurodema thaul* y *Rhinella spinulosa*).

##### **7.2.4.4.2 Muestreo de Reptiles**

Se estableció la composición, riqueza, abundancia relativa y frecuencia a través de transectos de largo de 200 metros por 10 metros de ancho (a cada lado del eje), en los cuales se registraron los individuos presentes en ambos lados de la línea de proyección. Los muestreos se realizaron en los horarios de mayor actividad de este grupo; esto es,

entre las 09:00 y las 13:00; y entre las 16:00 y 18:00 horas. Se estableció un transecto por cada punto de muestreo.

#### 7.2.4.4.3 Muestreo de Aves

Se establecieron puntos censales para la estimación de la composición, riqueza, abundancia relativa y la frecuencia de aves (acuáticas y terrestres). En cada punto de muestreo (terrestre), se efectuaron transectos de 200 metros de largo por 100 metros de ancho (a cada lado del eje), en los cuales se registraron los individuos presentes a ambos lados de la línea de proyección, o en estaciones de punto fijo (en los 11 puntos de humedal salar, en las lagunas), en que se registraron las especies observadas y/o escuchadas, en un lapso de aproximadamente 10 minutos (con radio de observación variable). Se utilizaron binoculares 10 x 50. Se buscó además evidencias indirectas de este grupo de fauna (nidos, cuevas, plumas, fecas, restos óseos, egagrópilas). En el caso de los sistemas acuáticos, se incluyeron los sistemas hidrológicos: La Punta-La Brava, Lagunas Salada, Saladita e Interna y sistema Tilopozo (pozas). Adicionalmente, para las especies de flamencos, su descripción se realizó mediante censos en puntos de observación incluyendo los siguientes sistemas hidrológicos: La Punta-La Brava y Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), registrando la actividad reproductiva (si existiese, como baile nupcial, nidificación, parejas echadas, etc.).

En forma complementaria, para aves nocturnas, se establecieron puntos fijos (representativos de los distintos ambientes) para la estimación de la composición, riqueza y abundancia de aves de hábito nocturno (rapaces nocturnas y especies crepusculares), a través de un muestreo crepuscular-nocturno con sistema de playback (respuesta a grabaciones). La reproducción fue por 30 segundos con espera de respuesta por 30 a 60 segundos, de las cinco especies posibles (lechuza, tucúquere, pequén, chuncho y gallina ciega), y se efectuaron al menos tres repeticiones sucesivas.

#### 7.2.4.4.4 Muestreo de Mamíferos

Se establecieron diferentes métodos de muestreo para la estimación de la composición, riqueza, abundancia relativa y la frecuencia de mamíferos. Para meso y macromamíferos, se realizaron transectos de largo de 200 metros por 100 metros de ancho (a cada lado del eje), en los cuales se registraron los individuos presentes en ambos lados de la línea de proyección para la detección directa de individuos presentes y de evidencias indirectas (huellas, osamentas, restos de pelaje, fecas, cuevas, etc.), observados a ojo desnudo o con binoculares 10 x 50. Para este estudio se consideró a los lagomorfos, edentados<sup>20</sup> y a la familia chinchillidae del orden de los roedores como una categoría intermedia (mesomamíferos) y se consideraron como macromamíferos a los carnívoros, artiodáctilos

<sup>20</sup>Si bien no han sido registrados dentro del área de estudio son parte del listado potencial (Iriarte, 2008).

(camélidos y venados) y perisodáctilos (equinos). En los transectos se incluyen registros de cuevas activas de roedores fosoriales (ej. *Ctenomys fulvus*).

Como complemento para macromamíferos (y especialmente carnívoros), se utilizaron cámaras trampa, utilizando atractores olfativos. Las cámaras trampa se ubicaron en lugares estratégicos cercanos a las lagunas y en los distintos ambientes (**Fotografía N° 7-2**).

Para la detección de micromamíferos se realizaron trapeos nocturnos, utilizando trampas de captura viva (Sherman). Éstas fueron cebadas con una mezcla de avena, frutos secos y esencia de vainilla, ubicándolas en las estaciones de muestreos propuestas en el seguimiento (representativa de los distintos ambientes, **Fotografía N° 7-3**). Estas trampas fueron revisadas a primera hora del día siguiente durante tres noches consecutivas. Las trampas fueron dispuestas de manera lineal separadas entre cinco a 10 metros entre sí, abarcando un largo aproximado de 100 metros (con 20 trampas por punto). Para evitar el conteo repetido de individuos, los ejemplares capturados fueron fotografiados y marcados (marca de plumón no tóxico en la oreja del ejemplar). Con respecto a los micromamíferos presentes en Chile, éstos corresponden a: marsupiales, quirópteros (murciélagos) y roedores (excepto integrantes de la familia Chinchillidae). Sin embargo, de este grupo, los quirópteros no están considerados en el muestreo específico.

La captura de micromamíferos (reptiles y anfibios) fue autorizada por el Servicio Agrícola y Ganadero Región de Antofagasta, a través de Resolución Exenta N°420 del 07 de agosto de 2017 y su correspondiente ampliación en la Resolución Exenta N°222/2021 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta, que se adjunta en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**.

**Fotografía N° 7-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Fotografía N° 7-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 7.2.4.5 Trabajo en gabinete post terreno

#### 7.2.4.5.1 Traspaso y procesamiento de datos

Los datos en bruto obtenidos de los distintos tipos de formularios llenados en terreno fueron traspasados a una base digital en gabinete, junto con el traspaso de las fotografías.

#### 7.2.4.5.2 Análisis de datos

A continuación, se detalla la metodología del análisis de datos realizada en gabinete, a *posteriori* del trabajo de terreno de Cedrem Consultores.

#### 7.2.4.5.3 Riqueza y composición

La riqueza se estimó en base al número total de especies detectadas, ya sea por evidencias directas e indirectas, en cada transecto (incluyendo muestreos complementarios) ejecutado para un mismo ambiente por sector. Así:

$$\text{Riqueza de especies} = \sum_{i=1}^n sp_i$$

En algunos casos, se estimó la riqueza media, en función del esfuerzo de muestreo de transectos, de modo de estandarizar los datos y hacerlos más comparables.

La composición se analiza en base a la identidad de las especies registradas.

#### 7.2.4.5.4 Caracterización de los taxa

Las especies detectadas en terreno fueron descritas considerando su clasificación taxonómica, origen geográfico, grado de movilidad, estatus de residencia, estado de conservación y, de corresponder, su condición de especialista de hábitat, condición de monumento natural, o bien si cumple con algún criterio de protección (BSE)<sup>21</sup>. Esta información fue extraída del listado de fauna potencial realizado previo al terreno y complementada, cuando fuese necesario, mediante la misma metodología.

El detalle de caracterización se indica a continuación:

##### a) Origen geográfico

La asignación del origen geográfico se basó principalmente en lo descrito por el Ministerio del Medio Ambiente, el que incluye las siguientes categorías:

---

<sup>21</sup> BSE = criterios de protección definidos como especies beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), con densidades poblacionales reducidas (S) y/o benéficas para el equilibrio de los ecosistemas (E).

- **Nativas**: son aquellas especies originarias del lugar en donde habitan (MMA, 2016).
- **Endémicas**: especies nativas con una distribución natural restringida al territorio nacional (Chile), pudiendo incluso estar restringida a una región política administrativa, una región biogeográfica, una isla o una zona particular del país (SEA, 2015).
- **Introducidas o exóticas**: son aquellas especies foráneas que han sido introducidas fuera de su distribución natural, de igual modo, una especie exótica es aquella que, aunque sea nativa del mismo país, ha sido introducida en una zona del país donde no tiene distribución natural (MMA, 2016).

b) Estados de conservación y otros criterios de protección

El proceso de revisión de antecedentes incluyó para cada una de las especies, la determinación de las categorías de conservación, los criterios de protección nacionales y otras categorías de protección internacionales, tal como el estatus de migración de aves según la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres [CMS] (1971).

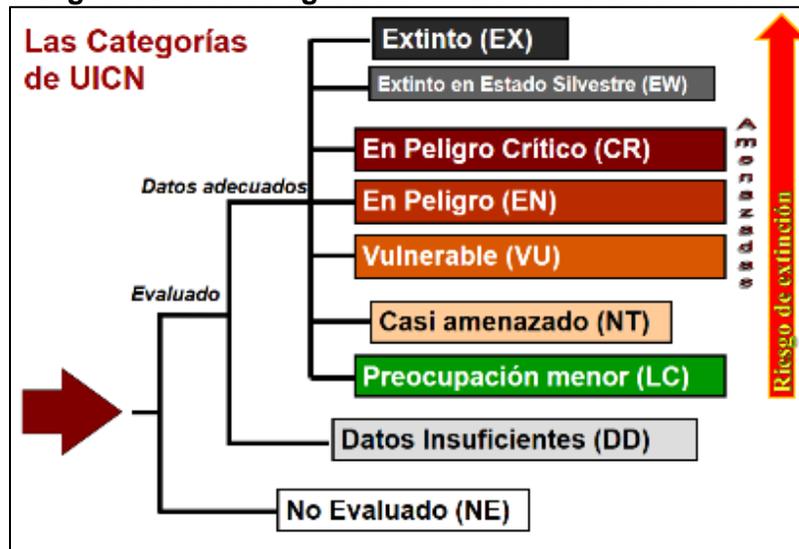
Las categorías de conservación de cada una de las especies, fueron determinadas según los criterios de clasificación definidos en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (2005) y sus decretos supremos asociados posteriores, donde se listan las especies clasificadas y su categoría de conservación (17 Procesos a la fecha): D.S. N°151/2007, D.S. N°50-51/2008, D.S. N°23/2009 del MINSEGPRES; y D.S. N°33/2011, D.S. N°41-42/2011, D.S. N°19/2012, D.S. N°13/2013, D.S. N°52/2014, D.S. N° 38/2015, D.S. N°16/2016, D.S. N°6/2017, D.S. N°79/2018, D.S. N°23/2019, D.S. N°16/2020, D.S. N° 44/2021, D.S. N°10/2023 y D.S. N°02/2024 del Ministerio del Medio Ambiente [MMA].

Las categorías de conservación dictadas en los Decretos Supremos antes mencionados, se basan en las Categorías y Criterios de Lista Roja de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2012). Por ende, al igual que en este documento, se clasifican como “*bajo amenaza*” las especies clasificadas en las siguientes categorías de conservación: En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU), incluyéndose, además, las especies clasificadas Casi amenazada (NT)<sup>22</sup>. El resto de las categorías, se consideran de menor riesgo de extinción o como “*sin amenaza*”.

En la **Figura N° 7-3** se muestra la estructura de las categorías de conservación de la UICN usadas en el presente estudio, señalando cuáles tienen mayor y menor riesgo de extinción, y destacando las categorías amenazadas.

<sup>22</sup>Para efecto del presente monitoreo, se incluye como categoría de amenaza en base a la Guía para la descripción del área de influencia (Servicio de Evaluación Ambiental [SEA], 2015).

Figura N° 7-3. Categorías de conservación de la UICN



Fuente: Modificado de UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) 2012.

Las categorías de aquellas especies que no se incluyen en los citados Decretos Supremos, fueron definidas según los estados consignados en la Ley de Caza N° 19.473 y su Reglamento (SAG, 2012a). Ambos cuerpos legales definen los estados de conservación con sustento legal para la fauna silvestre, y que corresponden a: Peligro de extinción; considerada homóloga a la categoría En Peligro (EN) de la UICN (2012), Vulnerable (VU, ambas “*bajo amenaza*”), y Rara (R), Escasamente o Inadecuadamente Conocida (I) y Fuera de Peligro (F, estas tres últimas se consideran “*sin amenaza*”).

Para el caso de especies que no se encuentran definidas en los documentos anteriores, su estado de conservación se determinó según prelación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] (2009), mediante Núñez et al. (1997); Corporación Nacional Forestal [CONAF] (1988); Glade (1993), Díaz-Páez y Ortiz (2003), Rottmann & López-Callejas (1992); y Cofré & Marquet, (1999). Las categorías utilizadas en estos documentos fueron usadas tal y como se presentan en ellos, sin embargo, fueron consideradas categorías “*bajo amenaza*” todas las que fueron naturalmente homologables a las dictadas como tal por la UICN, de lo contrario fueron consideradas sin amenaza. Según lo anterior, se incluyen especies cuyas categorías no están estandarizadas, como las de Amenaza Indeterminada (A, Glade, 1993), Frágil (FR) y Sin Prioridad inmediata (NP; Cofré & Marquet, 1999).

Por otra parte, los criterios de protección de las especies se determinaron siguiendo los criterios señalados en el D.S. N°5/1998 MINAGRI (SAG, 2012a), correspondientes a: beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B), densidades poblacionales reducidas (S) o benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Al igual que las especies en estado de conservación, todas las especies bajo estos criterios de

protección tienen prohibida su caza y/o captura en todo el territorio nacional (Ministerio de Agricultura [MINAGRI], 1998; SAG, 2012a,b; SAG, 2016).

En relación a la determinación de las especies consideradas como monumentos naturales de Chile, se sigue lo establecido en el D.S. N° 2/2006 del MINAGRI.

Cabe mencionar, que el listado sistemático de especies sigue a Vidal y Labra (2008) para anfibios y reptiles; Martínez y González (2005, 2017) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos (los que en su mayoría coinciden con los listados aceptados por la autoridad).

#### c) Movilidad y especialistas de hábitat

La *movilidad* de una especie se entiende como la capacidad de escape natural de un individuo ante cambios en su hábitat, ya que mientras menor es la movilidad de las especies, menor es la probabilidad de migración o escape natural ante perturbaciones. Se clasifican de la siguiente forma según SAG (2004):

- Movilidad alta: Individuos que tienen la capacidad de desplazarse grandes distancias en poco tiempo por sus propios medios.
- Movilidad media: Individuos que tienen la capacidad de desplazarse distancias intermedias o bajas, por sus propios medios.
- Movilidad baja: Individuos que poseen rangos de desplazamiento muy reducidos, generalmente lo hacen sólo a unos pocos metros de sus cuevas o madrigueras.

La movilidad se definió para todos los registros a nivel de especie. Además, esta característica se precisó a nivel de género cuando todas las especies representantes del género compartían la misma capacidad de movimiento.

Por último, las especies especialistas de hábitat corresponden a las especies con distribución restringida a ambientes específicos (ej.: humedales) o escasos (ej.: bosques o ambientes de mayor productividad), por lo tanto, son más sensibles que las especies generalistas o de amplia distribución frente a alteraciones de estos ambientes particulares (SAG, 2014).

#### d) Índice de Riesgo

Adicionalmente, las especies detectadas fueron clasificadas según el índice de riesgo basado en el libro “Medidas de mitigación de impactos ambientales en fauna silvestre” (SAG & CEDREM, 2004) pero actualizado según bibliografía en cuanto a nombre científico, distribución, endemismo y categoría de conservación de las especies.

El índice de riesgo (IR) refleja el grado de prioridad para la conservación de las especies y considera la suma ponderada de los siguientes criterios: estado de conservación (40%), grado de agregación (15%), movilidad (15%), especialista de hábitat (15%), endemismo

(10%) y BSE<sup>23</sup> (5%). Los rangos de valores para la categorización en base al índice de riesgo son: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo. Este índice se calculó para todos los registros de fauna nativa identificados a nivel de especies. Las especies introducidas y/o domésticas se excluyeron de este cálculo por no ser aplicable a ellas, ya que no son naturales de los ambientes estudiados.

#### 7.2.4.5.5 Abundancia y Densidad

La abundancia de las especies detectadas fue evaluada para cada sector y ambiente, según grupo taxonómico y método de detección empleado (transecto, trampeo, cámara trampa, etc.).

Para ello, en primer lugar, se determinó el número de individuos por especie en el total de puntos de muestreo (N). A partir del cálculo de abundancia (N), se determinó la abundancia relativa, en dos escalas: a) la abundancia relativa total de la especie por clase, medida como el cociente entre el número de ejemplares de la especie en estudio y el número total de ejemplares de todas las especies (de cada clase), expresada en porcentaje; b) la abundancia relativa de la clase, por ambiente (y por transecto), medida como el cociente entre el número de ejemplares de todas las especies de cada clase (ej. reptiles y aves) observados en cada ambiente, y el número de transectos o puntos de muestreo efectuados en dicho ambiente.

Para el caso de los roedores y/o marsupiales capturados mediante trampeo, la abundancia relativa se expresa en relación a un esfuerzo de muestreo (número de trampas-noche). En estos casos se calculó el Índice de Densidad Relativa (IDR), como:

$$IDR (\%) = (\text{Número de individuos capturados} / \text{Esfuerzo de muestreo}) * 100$$

Siendo el esfuerzo de muestreo el producto entre el número de trampas y el número de noches de trampeo (trampas-noche). Cabe destacar, que para este cálculo no se consideraron especies registradas por evidencia indirecta.

#### 7.2.4.5.6 Frecuencia

La frecuencia (F) puede ser expresada de forma relativa como una razón o un porcentaje, se calcula como el cociente entre el número de puntos de muestreo en los cuales se detectó la especie ( $PM_{sp}$ ), dividido por el número total de puntos muestreados ( $PM_{total}$ ), y se expresa mediante la siguiente fórmula:

<sup>23</sup> Criterios de protección de especies: B: especie beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; S: especie con densidades poblacionales reducidas; E: especie catalogada benéfica para el equilibrio de los ecosistemas naturales (SAG, 1998).

$$F = \frac{PM_{sp}}{PM_{total}}$$

En esta medida de frecuencia se consideraron todos los tipos de muestreo salvo los registros únicos, debido que, al no estar dirigido a todas las especies de un taxón, se puede sobreestimar la frecuencia de solo algunas de las especies registradas. Calcular la frecuencia relativa por sobre otras medidas, como abundancia relativa, posee la ventaja de utilizar sólo las presencias o ausencias de las especies en las unidades de muestreo, por tanto, permite utilizar tanto las evidencias directas como indirectas.

En este caso, se estimó la frecuencia agrupando todos los ambientes dentro de cada sector, por lo que se tiene un valor de frecuencia por especie.

#### 7.2.4.5.7 Índice de similitud de Kulczynski

Para evaluar el grado de similitud faunística entre ambientes, se utilizó el índice de Kulczynski (variable adicional utilizado), basado en los registros de presencia/ausencia de las especies dentro de cada ambiente del área de estudio.

Este índice corresponde a una medida de similitud para datos binarios (presencia-ausencia). Entrega un valor de distancia entre pares de ambientes. De acuerdo con Podani (2000) el índice de Kulczynski ( $d_{jk}$ ) trata de la media aritmética de dos probabilidades condicionales con respecto al número de datos coincidentes entre los ambientes. Este índice tiene un límite inferior de 0 y carece de límite superior. Se expresa a partir de la siguiente formula:

$$d_{jk} = \frac{\frac{M}{M + N_1} + \frac{M}{M + N_2}}{2}$$

Donde:  $d_{jk}$  corresponde al valor de distancia entre los ambientes  $j$  y  $k$ ;  $M$  corresponde al número de especies presentes simultáneamente en ambos ambientes;  $N_1$  corresponde al número de especies presentes en el ambiente  $j$  que se encuentran ausentes en el ambiente  $k$ ;  $N_2$  corresponde al número de especies presentes en el ambiente  $k$  que se encuentran ausentes en el ambiente  $j$ .

Para visualizar esquemáticamente el grado de similitud entre distintos ambientes de fauna, se realizó un análisis de clúster, el que agrupa las unidades de comparación según los valores del índice de Kulczynski, formando un dendrograma. Este corresponde a una representación gráfica en forma de árbol, donde las unidades afines en similitud se disponen cercanas entre sí y son separadas por una menor cantidad de nodos.

Cabe destacar la utilidad del Índice de Similitud de Kulczynski, en cuanto permite comparar, visualmente la semejanza en la composición de especies en cada tipo de ambiente (basado en la presencia o ausencia de especies en dichos ambientes). A pesar de no estar solicitado en la RCA, se añade como un complemento a los parámetros de evaluación, con el fin de comparar la variable composición de especies del subcomponente fauna.

### 7.2.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales y equipos utilizados del componente fauna son:

**Materiales:** Formularios de terrenos para cada tipo de muestreo (transectos, trampeos, trampa cámara, playback), mapas, trampas Sherman, cebo (avena y esencia de vainilla para roedores, jurel para carnívoros).

**Equipos:** GPS, Cámara fotográfica, Binoculares 10 x 50, radio Handy, trampas cámara Bushnell, equipo de reproducción de playback.

El equipo de profesionales estuvo integrado por seis especialistas, divididos en tres grupos de trabajo.

### 7.2.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de invierno 2023 a través de trabajo efectivo en terreno entre los días 25 al 27 de octubre (duración campaña: 22 al 28 de octubre de 2023) debido a las restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine, mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 29 de octubre al 20 de noviembre de 2023.

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de verano entre el 10 y 16 de marzo de 2024 (campaña efectiva entre el 12 al 15 de marzo), mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 16 de marzo al 11 de abril de 2024.

## 7.3 RESULTADOS

### 7.3.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2023

#### 7.3.1.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de invierno 2023 se presentan en detalle en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**, y en la **Tabla N° 7-2**.

En el área de estudio, en la presente campaña de monitoreo, se registraron 25 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 15 especies de aves y ocho especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 7-2**). En esta campaña de invierno 2023 no se registraron nuevas especies para el periodo de monitoreo.

De las 25 especies de fauna detectadas, 12 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: de ellas, todas se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles, cinco especies de aves y cinco especies de mamíferos (Ver detalle en **Tabla N° 7-2**).

Del total de 12 especies en categoría de conservación, seis se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie; un reptil), Vulnerable (cuatro especies; tres aves y un mamífero) y Casi amenazada (una especie; un ave). Por otra parte, las otras cinco especies se catalogan “*sin amenaza*” (precautorias; **Tabla N° 7-2**).

En tanto, bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 20 de las 25 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 7-2**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que dos de las 25 especies registradas en la campaña (8,0%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas); otras 21 especies (84,0%) se clasifican como nativas (15 especies de aves y seis especies de mamíferos), mientras que dos especies (8,0%) son catalogadas como introducidas (incluyendo domésticas), ambas mamíferos (**Tabla N° 7-2**).

En relación con las especies especialistas de hábitat<sup>24</sup>, nueve especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en

<sup>24</sup> Especies que están restringidas a un solo hábitat (Maliakal, 2003).

borde de salar), y ocho especies de aves (habitantes de ambientes de humedal; **Tabla N° 7-2**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: tres especies son de baja movilidad, dos especies se catalogan con movilidad media, y por último 20 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 7-2**).

En cuanto al índice de riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo, un reptil (*Liolaemus fabiani*, lagartija de Fabián), tres se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (tres especies de aves; caití, flamenco andino y flamenco de James), otras seis se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y dos mamíferos), y por último 12 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (nueve aves y tres mamíferos). A las especies introducidas/domesticadas (cabra, burro y llama) no les fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-2**).

Finalmente, en el análisis por sector, se observa que la mayor riqueza se registró en Tilopozo con 16 especies (un reptil, siete aves y ocho mamíferos); seguido por Peine donde se registró una riqueza de 15 especies (dos reptiles, nueve aves y cuatro mamíferos), mientras que La Punta y La Brava presenta la riqueza más baja, con 12 especies (un reptil y once aves). Considerando las especies y su presencia en cada sector, solo dos especies fueron detectadas en los tres sectores: el playero de Baird y la golondrina de dorso negro, en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la lagartija de Fabián y la mitad de las aves), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 7-2**).

**Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2023. Se indica presencia (X) en cada sector.**

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA												
SQUAMATA												
TROPIDURIDAE												
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC <sup>4</sup>	SE	-	E	N/A	N	B	30,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN <sup>2</sup>	SE	-	E	N/A	S	B	83,35	X	X	
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>										<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	-	-	-	N	R	S	A	30,00			X
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjuel	-	-	-	N	R	S	A	15,00	X	X	
CHARADRIIFORMES												
CHARADRIIDAE												
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	R	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE												
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC <sup>5</sup>	S	-	N	R	S	A	18,65	X	X	
RECURVIROSTRIDAE												
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU <sup>7</sup>	BS	-	N	R	S	A	57,85	X	X	
SCOLOPACIDAE												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	-	B	-	N	V	S	A	31,65	X	X	X
PASSERIFORMES												
HIRUNDINIDAE												
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina bermeja	-	BSE	-	N	V	N	A	5,00			X
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	R	N	A	10,85	X	X	X
MOTACILLIDAE												
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		X
THRAUPIDAE												
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	-	S	-	N	R	N	A	9,15			X
TYRANNIDAE												
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU <sup>3</sup>	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU <sup>6</sup>	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT <sup>5</sup>	SE	-	N	R	S	A	49,35	X	X	
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>										<b>11</b>	<b>9</b>	<b>7</b>
MAMMALIA												
ARTIODACTYLA												
CAMELIDAE												
<i>Capra hircus</i>	Cabra	N/A	-	-	D	N/A	N	A	N/A			X
<i>Lama glama</i>	Llama	N/A	-	-	N	N/A	N	A	N/A			X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU <sup>1</sup>	S	-	N	N/A	N	A	48,65			X
CARNIVORA												
CANIDAE												
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC <sup>1</sup>	E	-	N	N/A	N	A	3,65		X	X
PERISSODACTYLA												
EQUIDAE												
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	I	N/A	N	A	N/A			X
RODENTIA												
CRICETIDAE												
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP <sup>8</sup>	E	-	N	N/A	N	M	11,15		X	X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP <sup>8</sup>	S	-	N	N/A	N	M	11,15		X	X
CTENOMYIDAE												
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC <sup>6</sup>	S	-	N	N/A	N	B	33,65		X	X
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>										<b>0</b>	<b>4</b>	<b>8</b>
<b>TOTAL RIQUEZA SECTOR</b>										<b>12</b>	<b>15</b>	<b>16</b>

**EC (Estado de conservación):** EN: En peligro; LC: Preocupación menor; DD: Datos Insuficientes; IC: Inadecuadamente conocida; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; VU: Vulnerable; S/EC.: Sin estado de conservación.

**FUENTES EC:** (1) D.S. N°13/2013 MMA (2) D.S. N°52/2014 MMA (3) D.S. N°33/2011 MMA; (4) D.S. N°38/2015 MMA; (5) D.S. N°16/2016 MMA; (6) D.S. N°23/2019 MMA; (7) D.S. N°16/2020 MMA; (8) D.S. N°44/2021 MMA; (9) Cofré & Marquet 1999. MMA. **BSE:** B: condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; S: condición de densidades poblacionales reducidas; E: condición benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales. Especies ordenadas sistemáticamente según Martínez & González (2005) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos. **MN:** Monumento natural.

**O (origen):** E: endémica; N: nativa; I: introducida, D: Doméstica.

**EH (Especialista de hábitat):** S: si; N: no

**M (movilidad):** B: baja; M: media; A: alta.

**IR:** Índice de riesgo: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo.

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.1.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

#### 7.3.1.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de invierno 2023, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo en que se realizó muestreo nocturno.

#### 7.3.1.2.2 Reptiles

Del total de 25 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (8,0%), ambas del Orden Squamata y de la familia Liolaemidae (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-4**).

Ambas especies de reptiles se encuentran clasificadas en categoría de conservación. Una especie, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), se clasifica En peligro (EN), mientras que la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se encuentra en categoría Preocupación menor (**Tabla N° 7-2**).

Las dos especies de reptiles registradas son endémicas de Chile y presentan baja movilidad. Ambas especies se encuentran catalogadas con densidades poblacionales reducidas (S) y benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E), y una es especialista de hábitat (la lagartija de Fabián, asociada a bordes de salares; **Fotografía N° 7-4**). En cuanto al índice de riesgo de los reptiles registrados, la lagartija de Fabián presenta un riesgo máximo (83,35) mientras que la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (30,35; **Tabla N° 7-2**).

En relación con su presencia en los sectores, es interesante mencionar que ambas especies se segregan espacialmente: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra en el borde de salares de los ambientes acuáticos de La Punta y La Brava y Peine, la lagartija de Constanza se ubica más bien en sectores terrestres de Tilopozo y Peine (**Tabla N° 7-2**).

**Fotografía N° 7-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, arriba) y lagartija de Constanza (*L. constanzae*, abajo).**



Fotos tomadas en la campaña de invierno 2023 (Octubre, 2023).  
Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.1.2.3 Aves

Del total de 25 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 15 corresponden a aves (60,0%), las que se distribuyen en cinco órdenes y 11 familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-5**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, cinco (33,3%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la gaviota andina (Preocupación menor); caití, flamenco andino y flamenco de James, clasificadas como Vulnerables, y flamenco chileno, clasificado como Casi amenazado (**Tabla N° 7-2**).

En relación con la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 15 especies, 13 se encuentran en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que ocho especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), ocho especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y ocho especies son benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de aves se considera Monumento Natural (**Fotografía N° 7-5**).

En relación con el origen, todas las especies son nativas, mientras que ocho especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 15 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, tres especies presentan un riesgo alto (caití, flamenco andino y flamenco de James), otras dos presentan un riesgo medio, y 10 especies presentan un riesgo bajo (**Fotografía N° 7-5**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de La Punta y La Brava presenta la mayor riqueza con 11 especies, mientras que en Peine se observaron nueve especies, y Tilopozo registró la menor riqueza de aves, con siete especies (**Tabla N° 7-2**).

**Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: Parina grande (superior, izquierda),  
Playero de Baird (superior, derecha), Chorlo de la puna (inferior, izquierda) y Caití  
(inferior, derecha).**



Fotos tomadas en la campaña de invierno 2023 (Octubre, 2023).  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 7.3.1.2.4 Mamíferos

Del total de 25 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, ocho corresponden a mamíferos (32,0%), las que se distribuyen en cuatro órdenes y cinco familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-6; Fotografía N° 7-7**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, cinco especies (62,5%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes a guanaco (*Lama guanicoe*) catalogada como Vulnerable; tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*) y zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), catalogados como Preocupación menor; y el ratón andino (*Abrothrix andina*) junto con el lauchón orejado amarillo (*Phyllotis xanthopygus*), considerados Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 7-2**).

En relación con la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las ocho especies, cinco se encuentran catalogadas en categoría S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que ninguna especie se considera beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B), tres especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que dos especies se consideran benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E; **Tabla N° 7-2**).

En relación con el origen de las especies de mamíferos, seis son nativas, y dos introducidas (el burro y la cabra). Una especie es catalogada como movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama), dos especies presentan movilidad media, y el resto son de alta movilidad. En cuanto al índice de riesgo de las especies, dos especies presentan un riesgo medio (el guanaco y el tuco-tuco de Atacama), otras tres especies restantes presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para las especies domesticadas (llama, cabra y burro) no se calcula el índice de riesgo (**Tabla N° 7-2**).

Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, sin especies, seguido por Peine con cuatro especies, en tanto que Tilopozo registró el máximo, con las ocho especies (**Tabla N° 7-2**).

**Fotografía N° 7-6. Macromamíferos en el área de estudio: guanaco (arriba) y zorro culpeo (abajo).**



Fotos tomadas en la campaña de invierno 2023 (Octubre, 2023).  
 Fuente: Elaboración Propia.

**Fotografía N° 7-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejado amarillo (izquierda) y ratón andino (derecha).**



Fotos tomadas en la campaña de invierno 2023 (Octubre, 2023).  
Fuente: Elaboración Propia.

### **7.3.1.3 Composición por ambiente**

Para los reptiles, en el ambiente de matorral, quebrada y humedal pajonal de Tilopozo y en el matorral de Peine se registró la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*), mientras que en el humedal salar de La Punta y La Brava y Peine se encontró la lagartija de Fabián (**Tabla N° 7-3**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en el humedal salar de La Punta y La Brava, con 11 especies registradas durante la campaña (ocho de ellas acuáticas), seguido por el humedal salar de Peine con nueve especies (ocho de ellas acuáticas); y el humedal pajonal de Tilopozo, con siete especies, mientras que los otros ambientes presentan una baja riqueza, con ninguna a una especie de ave (**Tabla N° 7-3**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo con siete especies, seguido por el matorral, tanto en Tilopozo como en Peine, con cuatro especies. Por otra parte, el ambiente de herbazal de Tilopozo registró tres especies, mientras que el resto de los ambientes presentaron entre ninguna a una especie de mamífero (**Tabla N° 7-3**).

Agrupando las tres clases de vertebrados, el ambiente con mayor riqueza corresponde al humedal pajonal de Tilopozo, con 15 especies registradas, que corresponden a un 60% de la riqueza total; le siguen los ambientes de humedal salar de La Punta y La Brava, con 12 especies; y el humedal salar de Peine, con 10 especies. El matorral de Tilopozo y de Peine presentan seis especies, y luego viene el ambiente herbazal de Tilopozo, con tres especies,

---

y la quebrada de Tilopozo con dos especies. Por su parte, el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar) no presentó registros durante esta campaña (**Tabla N° 7-3**).

En general, los ambientes de menor riqueza son un subconjunto de las especies presentes en los ambientes con mayor riqueza; ya que por una parte, también se encuentran en dichos ambientes, y por otra, no poseen especies únicas.

**Tabla N° 7-3. Especies de fauna registradas por ambiente (invierno 2023). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.**

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Matorral	Humedal salar (Salada-Saladita Interna*)	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
<b>REPTILIA</b>								
Lagartija de Constanza		X				X	X	X
Lagartija de Fabián	X		X					
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>AVES</b>								
Aguilucho común						X	X	
Pato jergón chico						X		
Pato juarjual	X		X					
Chorlo de la puna	X		X					
Gaviota Andina	X		X					
Caití	X		X					
Playero de Baird	X		X			X		
Golondrina bermeja						X		
Golondrina de dorso negro	X	X	X			X		
Bailarín chico común	X					X		
Chirihue verdoso						X		
Dormilona chica	X							
Flamenco andino o Parina grande	X		X					
Flamenco de James o Parina chica	X		X					
Flamenco chileno	X		X					
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>MAMMALIA</b>								
Cabra						X		
Llama						X		
Guanaco					X		X	
Zorro culpeo		X			X	X	X	
Burro						X	X	
Ratón andino		X				X		X
Ratón orejudo amarillo		X			X	X		

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Matorral	Humedal salar (Salada-Saladita Interna*)	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
Chululo, Tuco-tuco de Atacama		X				X	X	
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
<b>RIQUEZA POR AMBIENTE</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>2</b>

Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-2.

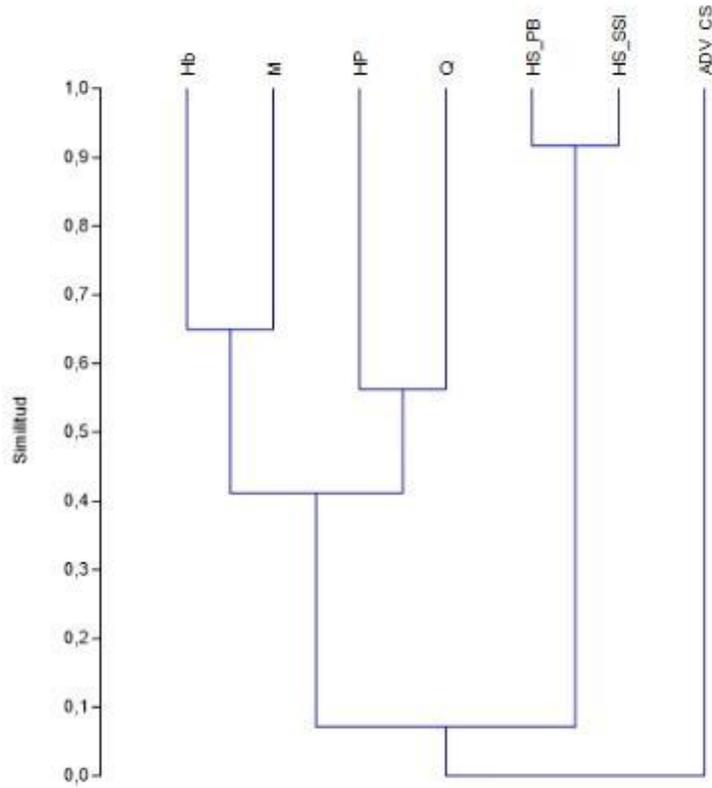
Fuente: Elaboración Propia.

#### 7.3.1.4 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 7-3**, se obtiene el fenograma de similitud (**Figura N° 7-4**).

Según los resultados de similitud, se forman dos agrupaciones. Primero, se agrupan los dos sistemas acuáticos de humedal salar con más de un 90% de similitud, correspondientes a La Punta y La Brava por una parte, y a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna) por otra. Luego, se agrupa un conjunto de cuatro ambientes (un ambiente acuático y tres terrestres) a una similitud cercana al 42%, dentro de los cuales los más similares son el matorral y el herbazal, con un 67% de similitud. Fuera de los grupos queda el ambiente ADV costra salar de Tilopozo, sin similitud con los demás ambientes (**Figura N° 7-4**).

**Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2023.**



**Abreviaturas de ambientes:** **ADV\_CS:** área desprovista de vegetación costra salar; **Hb:** herbazal; **HP:** humedal pajonal; **HS\_PB:** humedal salar La Punta y la Brava; **HS\_SSI:** humedal salar Salada, Saladita e Interna; **M:** matorral; **Q:** quebrada.  
 Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.1.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Constanza, con ocho ejemplares avistados, lo que representa un 61,5% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Fabián presenta una abundancia relativa de 38,5%, con cinco individuos registrados (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, la lagartija de Constanza se registró en seis puntos, con 26,1% de frecuencia, el doble que la lagartija de Fabián, observada sólo en tres puntos, lo que representa un 13% de frecuencia relativa (**Tabla N° 7-4**).

En relación a las aves censadas, sobre un total de 350 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron la parina grande y el flamenco chileno, con 95 ejemplares cada una (27,1% de abundancia relativa), seguidos por el playero de Baird (36 ejemplares; 10,3%), y la parina chica (33 individuos, lo que representa un 9,4% de abundancia relativa), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia menor, variando entre uno a 19 ejemplares (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird y la golondrina de dorso negro (registradas en nueve puntos; con un 39,1% de frecuencia), seguidos por el chorlo de la puna y el flamenco chileno (siete puntos; 30,4%) y el caítí y parina grande (seis puntos, 26,1%). En tanto, el resto de las especies son menos frecuentes, variando en su registro en uno a cinco puntos, con un 4,3% a 21,7% de frecuencia (**Tabla N° 7-4**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron la llama, con 32 ejemplares en un punto y registros indirectos en otros dos puntos, con una frecuencia de 8,7%. De la cabra se observaron 10 ejemplares en un punto (sólo 4,3% de frecuencia) y del zorro culpeo, hubo registro directo de tres individuos en tres puntos de muestreo, además de registro indirecto en otros tres puntos, con una frecuencia del 26,1, siendo el macromamífero con mayor frecuencia. De guanaco, se observaron dos ejemplares en un punto, además de registros indirectos en otros dos puntos. Para el caso del burro, hubo registro directo de un individuo en un punto, además de registro indirecto en otros tres puntos, lo que representa un 17,4% de frecuencia, mientras que el chululo se observó sólo con registros indirectos en seis puntos de muestreo, con una frecuencia de 26,1% (**Tabla N° 7-4**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas por trapeo, con cinco capturas del ratoncito andino y seis del lauchón orejado amarillo.

**Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2023).**

CLASE NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
<b>REPTILIA</b>				
Lagartija de Constanza	8	61,5	6/23	26,1
Lagartija de Fabián	5	38,5	3/23	13,0
<b>TOTAL REPTILIA</b>	<b>13</b>	<b>100,0</b>		
<b>AVES</b>				
Aguilucho común	3	0,9	3/23	13,0
Pato jergón chico	5	1,4	1/23	4,3
Pato juarjual	6	1,7	4/23	17,4
Chorlo de la puna	13	3,7	7/23	30,4
Gaviota Andina	15	4,3	5/23	21,7
Caití	17	4,9	6/23	26,1
Playero de Baird	36	10,3	9/23	39,1
Golondrina bermeja	3	0,9	1/23	4,3
Golondrina de dorso negro	19	5,4	9/23	39,1
Bailarín chico común	5	1,4	3/23	13,0
Chirihue verdoso	4	1,1	1/23	4,3
Dormilona chica	1	0,3	1/23	4,3
Flamenco andino o Parina grande	95	27,1	6/23	26,1
Flamenco de James o Parina chica	33	9,4	3/23	13,0
Flamenco chileno	95	27,1	7/23	30,4
<b>TOTAL AVES</b>	<b>350</b>	<b>100,0</b>		
<b>MAMMALIA</b>				
Cabra	10	-	1/23	4,3
Llama	32 + X	-	2/23	8,7
Guanaco	2 + 2X	-	3/23	13,0
Zorro culpeo	3(3) + 3X*	-	6/23	26,1
Burro	1 + 3X	-	4/23	17,4
Ratón andino	5	-	-	-
Ratón orejudo amarillo	6	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	6X	-	6/23	26,1

**Nota 1:** Para la clase Mammalia no es aplicable la suma total de ejemplares (como si ocurre para las clases Reptilia y Aves), ya que se mezclan grupos muy heterogéneos en tamaño corporal, tipo de registros (evidencia directa y/o indirecta), y metodologías de muestreo (transectos y trapeo de micromamíferos). **Nota 2:** El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-2 La X indica presencia indirecta. **Nota 3:** \* se debe interpretar como que se observaron 3 ejemplares en tres puntos de muestreo, más otros tres puntos con registro indirecto.

Fuente: Elaboración propia

### 7.3.1.6 Abundancia por ambiente (Densidad)

En cuanto a la abundancia relativa por ambiente (y estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentaron la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo, con 1,5 ind/transecto (en dos puntos de muestreo), seguido por la quebrada, con 1,0 individuos/transecto (en un punto de muestreo), el humedal salar, con 0,56 ind/transecto (en nueve puntos de muestreo de la Punta y La Brava junto con Peine), y por el ambiente de matorral con 0,5 individuos/transecto (en ocho puntos). En tanto, en los ambientes de área desprovista de vegetación costra salar y herbazal, no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

En el caso de las aves, la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar (nueve puntos de muestreo repartidos en los sectores de La Punta y La Brava y Peine), con 35,56 individuos/transecto; valor considerablemente mayor a los siguientes ambientes. Le sigue el ambiente de humedal pajonal, con 14,00 ind/transecto, y luego el ambiente matorral con 0,25 individuos/transecto. En tanto, los ambientes de quebrada, área desprovista de vegetación costra salar y herbazal, no presentaron registros de aves (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

Para los macromamíferos, ya se comparó la abundancia y frecuencia relativa por especie, y dado que para esta clase las evidencias son muy diferentes (incluyendo registros indirectos), no es aplicable un análisis grupal.

En el caso de los micromamíferos, se registraron dos especies mediante trampeo: el ratón andino y el ratón orejudo amarillo (**Tabla N° 7-5**). El ratón andino fue registrado en tres de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo (humedal pajonal, matorral y quebrada). El mayor número de captura se registró en el humedal pajonal, con un IDR = 7,5%, con tres ejemplares capturados; luego en quebrada con IDR de 5,00%, con una captura, y en matorral (IDR = 2.5%, una captura). En tanto, en los ambientes de herbazal, humedal salar y área desprovista de vegetación costra salar, no hubo registro (**Tabla N° 7-5**). Para el caso del ratón orejudo amarillo, éste fue registrado en tres ambientes, y la mayor abundancia fue en matorral, con un IDR = 7,5% (con tres capturas), seguido por el humedal salar y el humedal pajona (IDR = 5,0%; **Tabla N° 7-5**). En tanto, en los ambientes de herbazal, quebrada y área desprovista de vegetación costra salar, no hubo registro (**Tabla N° 7-5**).

Cabe destacar que por coordinaciones internas con la comunidad, el primer día programado (24 de octubre), el comienzo de la campaña se retrasó en un día, y en consecuencia solo se pudieron realizar dos de las tres noches de trampeo programadas, de modo que los resultados se deben considerar con cautela al momento de realizar la comparación respectiva.

**Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. (invierno 2023).**

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%)												
Nombre común	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
Ratón andino	0	0 / 20	0	0 / 20	0	0 / 40	7,5	3 / 40	2,5	1 / 40	5,0	1 / 20
Ratón orejudo amarillo	5,0	1 / 20	0	0 / 20	0	0 / 40	5,0	2 / 40	7,5	3 / 40	0	0 / 20

Donde: IDR = (N° Individuos / trampa-noche)\*100; N / TR = N° Individuos totales trapeados / N° Trampas-noche).

AMBIENTES: HS: Humedal salar; ADV\_CS: área desprovista de vegetación costra salar; Hb: herbazal; HP: humedal pajonal; M: matorral; Q: quebrada.

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.2 Resultados del monitoreo campaña de verano 2024

#### 7.3.2.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de marzo de 2024 se presentan en detalle en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**, y en la **Tabla N° 7-6**.

En el área de estudio, en la décima sexta campaña de monitoreo, se registraron 29 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 17 especies de aves y 10 especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 7-6**). En esta campaña de verano 2024 se registraron cinco especies nuevas, no observadas en los monitoreos de verano (el chorlo de campo, la tortolita cordillerana, el cernícalo, la tagua andina y el perro). De ellas, la tortolita cordillerana, la tagua andina y el perro tampoco se habían registrado en la Línea de Base del PMB (2015), a diferencia del chorlo de campo y el cernícalo, si registradas en el PMB (2015).

De las 29 especies de fauna detectadas, 14 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 12 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las dos especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Cofré & Marquet (1999). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, seis de las especies de aves y seis de las especies de mamíferos. (Ver detalle en **Tabla N° 7-6**).

Del total de 14 especies en categoría de conservación, siete se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie; un reptil), Vulnerable (cuatro especies: tres aves y un mamífero) y Casi Amenazada (dos especies de aves). Por su parte, las otras siete especies se catalogan “*sin amenaza*” (precautorias; **Tabla N° 7-6**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 24 de las 29 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 7-6**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 7-6**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que dos de las 29 especies registradas en la campaña (6,9%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas); otras 24 especies de las 29 detectadas (82,8%) se clasifican como nativas (17 especies de aves y siete especies de mamíferos), mientras que tres especies son catalogadas como introducidas y/o domesticadas, *Lama glama* (llama), *Equus asinus* (burro) y *Canis familiaris* (perro; **Tabla N° 7-6**).

**Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo sexta campaña de monitoreo (verano 2024).  
Se indica además, la presencia (X) en cada sector.**

ORDEN	FAMILIA	Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR			
												La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo	
<b>REPTILIA</b>															
<b>SQUAMATA</b>															
LIOLAEMIDAE															
		<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC	<sup>5</sup> SE	-	E	N/A	N	B	30,4		X	X	
		<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN	<sup>2</sup> SE	-	E	N/A	S	B	83,4	X			
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>													1	1	1
<b>AVES</b>															
<b>ANSERIFORMES</b>															
ANATIDAE															
		<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N	R	S	A	15,0	X			
<b>CHARADRIIFORMES</b>															
CHARADRIIDAE															
		<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	S/EC	BS	-	N	R	N	A	10,9				
		<i>Oreopholus ruficollis</i>	Chorlo de campo	NT	<sup>6</sup> BS	-	N	R	N	A	26,9			X	
RECURVIROSTRIDAE															
		<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU	<sup>8</sup> BS	-	N	R	S	A	57,9	X			
SCOLOPACIDAE															
		<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	S/EC	B	-	N	V	S	A	31,7	X			
		<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	LC	<sup>10</sup> BS	-	N	V	S	A	18,4	X			
<b>COLUMBIFORMES</b>															
COLUMBIDAE															

ORDEN	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
FAMILIA												
Especie												
<i>Metriopelia melanoptera</i>	Tortolita cordillerana	S/EC	-	-	N	R	N	A	7,5			X
<b>FALCONIFORMES</b>												
FALCONIDAE												
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,4			X
<b>GRUIFORMES</b>												
RALLIDAE												
<i>Fulica ardesiaca</i>	Tagua andina	S/EC	S	-	N	R	S	A	24,2	X		
<b>PASSERIFORMES</b>												
FURNARIIDAE												
<i>Geositta maritima</i>	Minero chico	S/EC	B	-	N	R	N	A	1,7			X
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral común	S/EC	B	-	N	R	N	A	1,7			X
THRAUPIDAE												
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	S/EC	S	-	N	R	N	A	9,2			X
TYRANNIDAE												
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,4	X		X
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,4		X	
<b>PHOENICOPTERIFORMES</b>												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU <sup>4</sup>	SE	-	N	R	S	A	65,4	X		
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU <sup>6</sup>	SE	-	N	R	S	A	65,4	X		
<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT <sup>6</sup>	SE	-	N	R	S	A	49,4	X		
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>										9	1	7

ORDEN	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
FAMILIA												
Especie												
<b>MAMMALIA</b>												
<b>ARTIODACTYLA</b>												
CAMELIDAE												
<i>Lama glama</i>	Llama	N/A	-	-	D	N/A	N	A	N/A			X
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU <sup>3</sup>	S	-	N	N/A	N	A	48,5			X
<b>CARNIVORA</b>												
CANIDAE												
<i>Canis familiaris</i>	Perro	N/A	-	-	D	N/A	N	A	N/A			X
<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro chilla	LC <sup>3</sup>	E	-	N	N/A	N	A	3,7			X
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC <sup>3</sup>	E	-	N	N/A	N	A	3,7		X	X
<b>DIDELPHIMORPHIA</b>												
DIDELPHIDAE												
<i>Thylamys pallidior</i>	Yaca del norte	S/EC	BSE	-	N	N/A	N	M	12,5		X	
<b>PERISSODACTYLA</b>												
EQUIDAE												
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	D	N/A	N	A	N/A			X
<b>RODENTIA</b>												
CRICETIDAE												
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP <sup>9</sup>	E	-	N	N/A	N	M	11,2		X	X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP <sup>9</sup>	S	-	N	N/A	N	M	11,2		X	X
CTENOMYIDAE												
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC <sup>7</sup>	S	-	N	N/A	N	B	33,7			X

ORDEN	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
FAMILIA	Especie											
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA										0	4	9
TOTAL RIQUEZA SECTOR										10	6	17

**EC (Estado de conservación):** EN: En peligro; LC: Preocupación menor; IC: Inadecuadamente conocida; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; VU: Vulnerable; S/EC.: Sin estado de conservación.

**FUENTES EC:** (1) D.S. N°13/2013 MMA (2) D.S. N°52/2014 MMA (3) D.S. N°33/2011 MMA; (4) D.S. N°38/2015 MMA; (5) D.S. N°16/2016 MMA; (6) D.S. N°23/2019 MMA; (7) D.S. N°16/2020 MMA; (8) D.S. N°44/2021 MMA; (9) Cofré & Marquet 1999; (10) D.S. N°02/2024 MMA.

**BSE: B:** condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; **S:** condición de densidades poblacionales reducidas; **E:** condición benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales. Especies ordenadas sistemáticamente según Martínez & González (2005) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos.

**MN:** Monumento natural.

**O (origen): E:** endémica; **N:** nativa; **I:** introducida (incluye **D:** Domesticada).

**E(Estatus): R:** Residente; **V:** Visitante; **N/A:** No aplica; **EH (Especialista de hábitat): S:** si; **N:** no; **M (movilidad): B:** baja; **M:** media; **A:** alta. **IR:** Índice de riesgo: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo.

Fuente: Elaboración Propia.

En relación a las especies especialistas de hábitat<sup>25</sup>, nueve especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y ocho especies de aves (habitantes de ambientes de humedal, **Tabla N° 7-6**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: tres especies son de baja movilidad, tres especies se catalogan con movilidad media, y por último 23 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 7-6**).

En cuanto al índice de riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo, un reptil (*Liolaemus fabiani*, lagartija de Fabián), tres se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (dos especies de flamencos y el caití), otras seis se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y dos mamíferos), y por último 15 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (10 aves y cinco mamíferos). A las especies introducidas y/o domesticadas no les fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-6**).

Finalmente, en el análisis por sector, se observa una riqueza mayor en Tilopozo, con 17 especies (un reptil, siete aves y nueve mamíferos), seguido de La Punta-La Brava, con 10 especies (un reptil y nueve aves), mientras que Peine registró sólo seis especies (un reptil, un ave y cuatro mamíferos). Es importante señalar que, en esta campaña de verano (al igual que las tres anteriores de verano) no se pudo ingresar a zonas de Peine, por lo que impidió el muestreo de cinco puntos de las lagunas de Peine debido a restricciones de acceso. Considerando la presencia de las especies en cada sector, ninguna especie se encuentra presente en los tres sectores, en tanto que otras nueve especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la lagartija de Fabián y ocho aves acuáticas, en La Punta y La Brava), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 7-6**).

### 7.3.2.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

#### 7.3.2.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de verano 2024, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo, en que se realizó muestreo nocturno.

<sup>25</sup> Especies que están restringidas a un solo hábitat (Maliakal, 2003).

#### 7.3.2.2.2 Reptiles

Del total de 29 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, dos corresponden a reptiles (6,9%), ambas del Orden Squamata y de la familia Liolaemidae (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-8**).

Ambas especies de reptiles se encuentran clasificadas en categoría de conservación. Una especie, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), se clasifica En peligro (EN), mientras que la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se encuentra en categoría Preocupación Menor (**Tabla N° 7-6**).

Las dos especies de reptiles registradas son endémicas de Chile y presentan baja movilidad. Ambas especies se encuentran catalogadas con densidades poblacionales reducidas (S) y benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E), y una es especialista de hábitat (la lagartija de Fabián, asociada a bordes de salares; **Tabla N° 7-6**). En cuanto al índice de riesgo de los reptiles registrados, la lagartija de Fabián presenta un riesgo máximo (83,35), mientras que la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (30,35; **Tabla N° 7-6**).

En relación con su presencia en los sectores, es interesante mencionar que ambas especies se segregan espacialmente: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra en el borde de salares de los ambientes acuáticos de La Punta y La Brava y Peine, la lagartija de Constanza se ubica más bien en sectores terrestres de Tilopozo y Peine (**Tabla N° 7-6**).

**Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).**



Fotos tomadas en la campaña de verano 2024 (Marzo, 2024).  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 7.3.2.2.3 Aves

Del total de 29 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 17 corresponden a aves (58,6%), las que se distribuyen en siete órdenes y 11 familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-9**).

En esta campaña se registraron cuatro nuevas especies, el chorlo de campo, la tortolita cordillerana, el cernícalo y la tagua andina, las que no habían sido registradas en los monitoreos previos (de verano). De ellas, el cernícalo y el chorlo de campo sí habían sido registrados anteriormente en el período de la evaluación ambiental del proyecto, en el PMB (2015).

Del total de aves registradas en el área de estudio, seis (35,3%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la parina grande, parina chica y caití (Vulnerable), el flamenco chileno y el chorlo de campo (Casi amenazado) y el pollito de mar tricolor (Preocupación Menor, **Tabla N° 7-6**).

En relación a la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 17 especies, casi todas (15) se encuentran en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que 10 especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), nueve especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y seis especies son benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de aves se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-6**).

En relación con el origen, todas las especies son nativas, mientras que ocho especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 17 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, tres especies presentan un riesgo alto (la parina grande, la parina chica y el caití), otras tres presentan un riesgo medio, y 11 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 7-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de la Punta y La Brava presenta la mayor riqueza, con nueve especies, seguido de Tilopozo, con siete especies, mientras que en Peine se registró sólo una especie (**Tabla N° 7-6**).

**Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: parina grande (superior, izquierda), cernícalo (superior, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y caití (inferior, derecha).**



Fotos tomadas en la campaña de verano 2024 (Marzo, 2024).  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 7.3.2.2.4 Mamíferos

Del total de 29 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, 10 corresponden a mamíferos (34,5%), las que se distribuyen en cinco órdenes y seis familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-10; Fotografía N° 7-11**).

Cabe mencionar como especie nueva el registro del perro (*Canis familiaris*) detectado en esta campaña de verano 2024. A pesar de ser una especie exótica y domesticada, esta especie no había sido registrada en todo el monitoreo previo, ni en la línea de base histórica (PMB 2015).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, seis especies (60,0%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes al guanaco (*Lama guanicoe*), clasificado como Vulnerable, al tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), el zorro chilla (*Lycalopex griseus*) y el zorro culpeo (*L. culpaeus*), catalogados en Preocupación menor y el ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) junto con el ratoncito andino (*Abrothrix andina*) considerados Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 7-6**).

En relación con la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las 10 especies, siete se encuentran catalogadas en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que cuatro especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que cuatro especies se consideran benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E) y una especie se considera beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B). Ninguna de las especies de mamíferos se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-6**).

En relación con el origen de las especies de mamíferos, siete especies son nativas, y las restantes son introducidas. Por otro lado, ninguna especie de mamíferos se considera especialista de hábitat. Seis especies presentan movilidad alta, tres especies presentan movilidad media (la yaca del norte, el ratón orejudo amarillo y el ratoncito andino), y una especie movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama). En cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, dos especies presentan un índice de riesgo medio (el guanaco y el tuco-tuco de Atacama), y el resto de las especies presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para las especies introducidas o domésticas no se calcula el índice de riesgo (**Tabla N° 7-6**).

Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, sin especies, en tanto que Tilopozo presenta la mayor riqueza con nueve especies, seguida del sector de Peine con cuatro especies registradas de mamíferos (**Tabla N° 7-6**).

**Fotografía N° 7-10. Macromamíferos en el área de estudio: zorro chilla (arriba) y zorro culpeo (abajo).**



Fuente: Elaboración Propia.

**Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón orejado amarillento (arriba, izquierda), ratón andino (arriba, derecha) y yaca del norte (abajo).**



Fotos tomadas en la campaña de verano 2024 (Marzo, 2024).  
 Fuente: Elaboración Propia.

### **7.3.2.3 Composición por ambiente**

Para los reptiles, la lagartija de Constanza se presentó en dos ambientes del sector Tilopozo y Peine, mientras que en el humedal salar de La Punta y La Brava y Peine sólo se encuentra la lagartija de Fabián (**Tabla N° 7-7**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en el humedal salar de La Punta y La Brava, con 10 especies registradas durante la campaña (todas acuáticas), seguido por el humedal pajonal de Tilopozo, con cinco especies, mientras que en el matorral de Tilopozo y Peine se registró una especie, y en el resto no se registraron especies de aves (ADV costra salar, herbazal y quebrada del sector de Tilopozo). El humedal salar de Peine no fue evaluado, por imposibilidad de acceso debido a la época de reproducción de flamencos (**Tabla N° 7-7**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de matorral de Tilopozo, con ocho especies, seguido por el humedal pajonal de Tilopozo con cinco, el matorral de Peine, con cuatro, el herbazal, con tres especies, y la quebrada con dos especies. Para el único ambiente presente en el sector de La Punta y La Brava (humedal salar) no se observó ninguna especie de mamífero, al igual que en ADV costra salar (Tilopozo) (**Tabla N° 7-7**).

Agrupando las tres clases de vertebrados (y considerando la imposibilidad de acceso para el muestreo en las lagunas de Peine), el ambiente con mayor riqueza es el humedal pajonal de Tilopozo, con 11 especies registradas en total (un reptil, cinco aves y cinco mamíferos), al igual que el humedal salar de la Punta y La Brava (un reptil y 10 aves), seguidos por el matorral de Tilopozo, con 10 especies. En tanto, los ambientes siguientes en riqueza son el matorral de Peine, con seis especies (un reptil, un ave y cuatro mamíferos), el herbazal de Tilopozo, con tres especies (todos mamíferos), y la quebrada de Tilopozo, con dos especies de mamíferos. Por su parte, en el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar), no registró especies durante esta campaña (**Tabla N° 7-7**).

**Tabla N° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo sexta campaña de monitoreo (verano 2024). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.**

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal Salar	Matorral	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
<b>REPTILIA</b>								
Lagartija de Constanza		X				X	X	
Lagartija de Fabián	X							
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>NE</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>AVES</b>								
Pato juarjual	X							
Chorlo de la puna	X							
Chorlo de campo						X		
Caití	X							
Playero de Baird	X							
Pollito de mar tricolor	X							
Tortolita cordillerana						X		
Cernícalo						X		
Tagua andina	X							
Minero chico						X		
Tijeral común								
Chirihue verdoso							X	
Colegial del norte	X					X		
Dormilona chica		X						
Flamenco andino o Parina grande	X							
Flamenco chileno	X							
Flamenco de James o Parina chica	X							
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>NE</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>MAMMALIA</b>								
Guanaco							X	
Llama					X	X	X	
Perro						X		
Zorro chilla							X	
Zorro culpeo		X			X	X	X	
Yaca del norte		X						
Burro						X	X	
Ratón andino		X				X	X	X
Ratón orejudo amarillo		X			X		X	X

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal Salar	Matorral	Humedal Salar (Salada- Saladita- Interna*)	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
Chululo, Tuco-tuco de Atacama							X	
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>NE</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>2</b>
<b>RIQUEZA POR AMBIENTE</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>NE</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>2</b>

Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-6. NE = No evaluado en esta campaña (no se muestreó Salada, Saladita e Interna).

Fuente: Elaboración Propia.

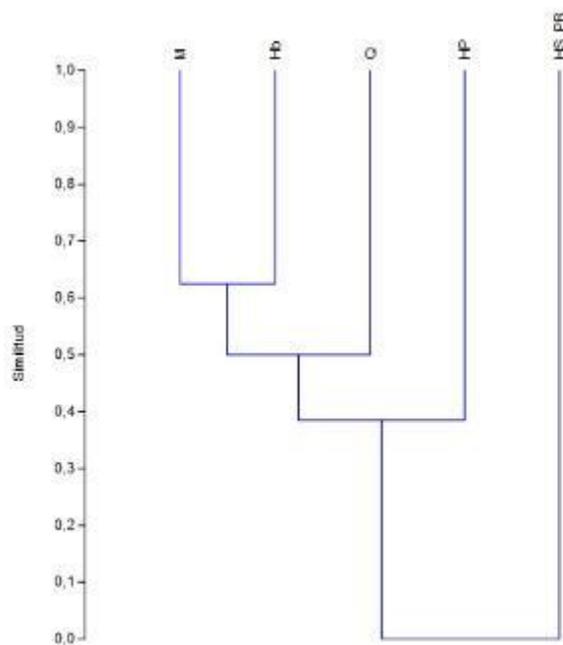
#### 7.3.2.4 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 7-8**, se obtiene el fenograma de similitud (**Figura N° 7-5**).

Según los resultados de similitud, se forman dos agrupaciones. La mayor similitud (cercana al 62%) se presenta entre los ambientes de herbazal y matorral, los que se unen a la quebrada (50%) y luego a humedal pajonal a una menor similitud (cercana al 38%; **Figura N° 7-5**).

En esta campaña el humedal salar de la Punta y La Brava no se asocia a ningún grupo, dado que no comparte ninguna especie. Junto con lo anterior, dado que no se tuvo acceso al monitoreo en zonas de Peine, es que el fenograma de similitud no incluye las lagunas (Humedal Salar-Salada, Saladita e Interna), por limitaciones de acceso, de forma que no hay muestreo), por lo que dicho fenograma no es completamente comparable con las campañas en que sí se muestrearon todos los ambientes, de modo que se requiere cautela en el análisis.

**Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2024.**



**Abreviaturas de ambientes:** Hb: herbazal; HP: humedal pajonal; HS\_PB: Humedal salar La Punta y la Brava; M: matorral; Q: quebrada.

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.2.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 43 ejemplares avistados, lo que representa un 87,8% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 12,2%, con seis individuos registrados (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la frecuencia (y considerando la menor cantidad de puntos de muestreo de esta campaña), el patrón se mantiene, ya que la Lagartija de Fabián es la más frecuente, registrándose en seis de los 20 puntos muestreados, con un 30,0% de frecuencia relativa, en tanto que la lagartija de Constanza se observó en cuatro de los 20 puntos (20% de frecuencia relativa, **Tabla N° 7-8**).

En relación a las aves censadas (y considerando el muestreo de 20 de los 25 puntos, en esta campaña), sobre un total de sólo 141 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron el playero de Baird, con 55 ejemplares (39,0% de abundancia relativa), seguido por el flamenco chileno (22 ejemplares; 15,6% de abundancia relativa), el chorlo

de la puna (16 individuos, lo que representa un 11,3% de abundancia relativa) y la parina grande (n = 14; 9,9%), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia muy baja, variando entre uno a siete ejemplares (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird (registrado en seis de los 20 puntos; con un 30,0% de frecuencia), seguido por la parina grande y el chorlo de la puna (registradas en cinco puntos; 25,0% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a cuatro puntos, con un 5,0% a 20,0% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**).

En el caso de los macromamíferos, la especie más abundante fue la llama, registrado con 42 ejemplares observados en dos puntos de muestreo, además de registros indirectos en otros dos puntos, por lo que su frecuencia es de 20,0%. En el caso del burro, hubo registro directo de cinco ejemplares en un punto, y registros indirectos en otros dos puntos, lo que representa un 15,0% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**). Del zorro culpeo se observaron cuatro ejemplares en cuatro puntos, y registros indirectos en otro punto, con una frecuencia de 25,0%. En el caso de la única especie de micromamífero fosorial detectada en la campaña, el tuco-tuco de Atacama, se observó registros indirectos en cinco puntos, por lo que su frecuencia es de 25,0% (**Tabla N° 7-8**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas por trampeo, con siete capturas del ratoncito andino y 13 del lauchón orejado amarillo.

**Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna.  
Décimo sexta campaña de monitoreo (verano 2024).**

CLASE NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
<b>REPTILIA</b>				
Lagartija de Constanza	6	12,2	4/20	20,0
Lagartija de Fabián	43	87,8	6/20	30,0
<b>TOTAL REPTILIA</b>	<b>49</b>	<b>100,0</b>		
<b>AVES</b>				
Pato juarjual	4	2,8	2/20	10,0
Chorlo de la puna	16	11,3	5/20	25,0
Chorlo de campo	2	1,4	1/20	5,0
Caití	7	5,0	1/20	5,0
Playero de Baird	55	39,0	6/20	30,0
Pollito de mar tricolor	3	2,1	1/20	5,0
Tortolita cordillerana	1	0,7	1/20	5,0
Cernícalo	1	0,7	1/20	5,0
Tagua andina	1	0,7	1/20	5,0
Minero chico	5	3,5	1/20	5,0
Tijeral común	1	0,7	1/20	5,0
Chirihue verdoso	1	0,7	1/20	5,0
Colegial del norte	5	3,5	4/20	20,0
Dormilona chica	1	0,7	1/20	5,0
Flamenco andino o Parina grande	14	9,9	5/20	25,0
Flamenco chileno	22	15,6	4/20	20,0
Flamenco de James o Parina chica	2	1,4	1/20	5,0
<b>TOTAL AVES</b>	<b>141</b>	<b>100,0</b>		
<b>MAMMALIA</b>				
Guanaco	1 + X	-	2/20	10,0
Llama	42(2) + 2X	-	4/20	20,0
Perro	1	-	1/20	5,0
Zorro chilla	1	-	1/20	5,0
Zorro culpeo	4(4)+ X	-	5/20	25,0
Yaca del norte	1	-	1/20	5,0
Burro	5 + 2X	-	3/20	15,0
Ratón andino	7(2) + X	-	-	-
Ratón orejudo amarillo	13 (6)	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	5X	-	5/20	25,0

(\*) No se consideran los 5 puntos de muestreo a los que no se tuvo acceso por problemas logísticos.

Nota 1: Para la clase Mammalia no es aplicable la suma total de ejemplares (como si ocurre para las clases Reptilia y Aves), ya que se mezclan grupos muy heterogéneos en tamaño corporal, tipo de registros (evidencia directa y/o indirecta), y metodologías de muestreo (transectos y trapeo de micromamíferos).

Nota 2: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1 – 2. La X indica presencia indirecta. Para mamíferos, entre paréntesis se detalla el número de puntos de muestreo asociados a la abundancia absoluta directa.

Fuente: Elaboración propia

### **7.3.2.6 Abundancia por ambiente (Densidad)**

En cuanto a la abundancia relativa por ambiente (y estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentaron la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal salar de la Punta y La Brava, con 7,17 individuos/transecto (en seis puntos), seguido por el humedal pajonal, con 2,0 individuos/transecto, y el matorral de Tilopozo, con 0,25 ind/transecto, mientras que en los otros ambientes no hubo registro de reptiles (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

En el caso de las aves, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar (con seis puntos de muestreo de La Punta y La Brava y ningún punto de Peine), con 21,17 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el humedal pajonal, con 6,0 ind/transecto, el herbazal (0,5 ind/transecto) y el matorral (0,13 ind/transecto). En los restantes ambientes no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

Para los macromamíferos, ya se comparó la abundancia y frecuencia relativa por especie, y dado que para esta clase las evidencias son muy diferentes (incluyendo registros indirectos), no es aplicable un análisis grupal.

En el caso de los micromamíferos, fueron registradas tres especies mediante trapeo: la yaca del norte, el ratón andino y el ratón orejado amarillo (**Tabla N° 7-9**). El ratón andino fue registrado en dos de los cinco ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo, ambiente de matorral (M) y quebrada (Q); con un IDR variando (en los ambientes en que fue capturado) entre 3,3% (en Q) a 5,8% (en el M), con dos a siete ejemplares capturados. El ratón orejado amarillo fue registrado en tres de los cinco ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo; y con un IDR variando entre 1,7% (en el ambiente de quebrada) a 10,0% (en matorral), con uno a 12 ejemplares capturados en los ambientes mencionados (**Tabla N° 7-9**). La yaca del norte fue capturada sólo en matorral, con un IDR = 0,8% (un ejemplar), mientras que en el ambiente de humedal salar, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 7-9**).

**Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2024).**

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%)												
Nombre común	HS		ADV_CS*		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
Yaca del norte	0	0 / 60	-	-	0,0	0 / 120	0	0 / 120	0,8	1 / 120	0,0	0 / 60
Ratón andino	0	0 / 60	-	-	0,0	0 / 120	0	0 / 120	5,8	7 / 120	3,3	2 / 60
Ratón orejudo amarillo	0	0 / 60	-	-	2,5	3 / 120	0	0 / 120	10,0	12 / 120	1,7	1 / 60

Donde: **IDR** = (N° Individuos / trampa-noche)\*100; **N / TR** = N° Individuos totales trampeados / N° Trampas-noche).

**AMBIENTES:** **HS:** Humedal salar; **ADV\_CS:** área desprovista de vegetación costra salar; **Hb:** herbazal; **HP:** humedal pajonal; **M:** matorral; **Q:** quebrada. \* = no se muestreó este ambiente en verano 2024.

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.3 Límites considerados en la evaluación

En la línea de base del proyecto, se establecieron diferentes escalas de comparación (tanto en riqueza y composición como en abundancia), y en relación con los límites considerados, se tiene lo indicado en la RCA, (pág. 57/72) niveles o límites comprometidos como “Mantención dentro de su variación histórica”.

## 8 TAPETES MICROBIANOS

Para esta componente, se presentan las actividades y resultados obtenidos a partir de los monitoreos semestrales de invierno tardío 2023 y verano 2024, para las comunidades de microorganismos extremófilos, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE-N°21/2016 del Proyecto.

Los monitoreos de invierno tardío 2023 y verano 2024 corresponden al decimoquinto (M15) y decimosexto (M16) monitoreo semestral del subcomponente tapetes microbianos. Este seguimiento quedó comprometido en la Adenda 5 del EIA, justamente con el fin de ir generando información de esta variable y que permita conocer su comportamiento en el tiempo.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a la caracterización laminar de tapetes microbianos; presencia de microbialitos; y presencia de evaporitas, según lo establecido en la RCA del Proyecto.

El período reportado en el presente informe se enmarca para los días **07, 08 y 09 de noviembre de 2023**, invierno tardío, y **12, 13 y 14 de marzo de 2024**, verano, fechas entre las que se llevó a cabo la campaña en terreno del monitoreo de invierno tardío 2023 y verano 2024 de esta variable, respectivamente. Cabe recordar que para la Campaña PMB Semestral de Invierno 2023 (Monitoreo M15), hubo restricción de acceso al territorio parte de Comunidad de Peine en el mes de agosto 2023 (programación original en estacionalidad de invierno), La campaña fue reprogramada para septiembre y octubre, sin embargo, la restricción de acceso al territorio se mantuvo. Finalmente, pudo llevarse a cabo la actividad de monitoreo de este componente recién en el mes de noviembre 2023 (ver cartas y registros en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

El objetivo del seguimiento de las comunidades de microorganismos asociados a tapetes microbianos es evaluar el comportamiento en el tiempo de dichas comunidades en los sistemas lagunares de Peine (laguna Salada, Saladita, Interna), La Punta-La Brava y Sector vegas de Tilopozo, a través de la caracterización de la estructura del tapete microbiano respecto a la pigmentación de las capas, con una frecuencia de monitoreo semestral. Es importante mencionar que los tapetes si bien forman parte del PMB, también conforman más bien una línea investigativa y de análisis, ya que no se tenía registros previos en dichas lagunas cuando se diseñó el PMB (Anexo 2, Adenda 5). Asimismo, durante el desarrollo del PMB, se indicó que el monitoreo estaría enfocado en una primera fase a localizar el componente Tapete Microbiano, presentes en cada laguna (La Punta, La Brava, Salada, Saladita e Interna), y en una segunda fase al seguimiento de la morfología de la estratificación de los colores de los tapetes microbianos, con una frecuencia de monitoreo semestral.

Cabe destacar, que los **tapetes microbianos** son definidos como ecosistemas de comunidades microbianas organizadas por funcionalidad ecológica los cuales se agrupan de forma estratificada o laminada, horizontalmente, en el sedimento (Prieto-Barajas *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2020). Por otro lado, los **microbialitos** son estructuras órgano-sedimentarias mineralizadas, formados a partir de antiguos tapetes microbianos litificados y en los cuales coexisten microorganismos que han ido precipitando minerales, manteniendo un rol ecológico funcional (i.e. quimiolitautótrofos, quimiheterótrofos) (Eymard *et al.*, 2020; Saona *et al.*, 2024). Las **evaporitas** son estructuras sedimentarias de comunidades endolíticas, que retienen agua la cual luego se puede evaporar, en las cuales los microorganismos pueden existir protegidos de la radiación UV, pero con un rol fotosintético (Manaa y Aref, 2021; Saona *et al.*, 2024).

## 8.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localiza en el Salar de Atacama, el cual se encuentra ubicado en el altiplano de la región de Antofagasta. Corresponde a una cuenca endorreica, cuya superficie alcanza los 15.620 km<sup>2</sup>, flanqueada en toda su extensión por cordones cordilleranos, lo que determina que el agua que precipita en ella escurre superficial o subterráneamente hasta la parte baja de la hoya, donde se localiza el Salar propiamente tal. En términos climáticos, la cuenca del Salar de Atacama está bajo la influencia del tipo climático Desértico Marginal de Altura (CADE-IDEPE 2004), mientras que, de acuerdo con el régimen hídrico, se encuentra dentro de la zona denominada Árida Estepárica Fría de Altura, caracterizada por una estación de lluvias estivales que va de diciembre a marzo, un régimen térmico extremadamente frío y registro de heladas durante todo el año (Santibáñez et al. 2008).

Los salares son considerados altamente homogéneos, con grandes extensiones de superficie carentes de expresiones evidentes de vida. Sin embargo, en algunos sectores, el afloramiento de agua desde el acuífero o un nivel freático cercano a la superficie da lugar a la formación de ecosistemas lagunares y posibilita el desarrollo de ecosistemas de vegas y ecosistemas salinos, otorgándole al sistema, al menos localmente, un alto grado de heterogeneidad. Estos ecosistemas son también altamente heterogéneos espacial y temporalmente en respuesta a gradientes ambientales, de salinidad en el caso de las lagunas, y de humedad y salinidad en el caso de las vegas y ecosistemas salinos (Plan de Manejo Biótico del Proyecto, Adenda 5, Anexo 2).

El área de estudio incluye tres sectores, Sector Peine que incluye al complejo lagunar formado por Salada, Saladita e Interna, Sector La Punta-La Brava formado por las lagunas La Punta y La Brava, y finalmente el Sector vegas de Tilopozo donde se ubica un par de pozas profundas y un afloramiento de agua y que fueron incorporados de forma adicional para su inspección y registro (**Figura N° 8-1**).

Durante los monitoreos de invierno tardío 2023 y verano 2024, el Sector Peine no logró ser muestreado debido a la imposibilidad de acceder al sector con la finalidad de evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua o por ser época de reproducción (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Por estas razones, no es posible realizar análisis temporales de las campañas de invierno y verano, no obstante y sin perjuicio de aquello, en este documento se presentan los resultados de las campañas de invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022, 2023) y verano (2017, 2018, 2019, 2022, 2023 y 2024). En este punto es importante señalar que **se considera muy**

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

Cabe mencionar que, las vegas de Tilopozo han sido considerado desde el primer monitoreo del PMB y han sido comunicadas a través de los reportes semestrales e informes anuales del PMB.

### 8.1.2 Estaciones de Monitoreo

En el área de estudio se emplazó entre los sectores un total de 16 estaciones de monitoreo, cuya codificación asignada corresponde a las lagunas y pozas de referencia en donde se ubican las estaciones. Se presenta además las coordenadas y plano de ubicación de las estaciones de monitoreo (**Tabla N° 8-1; Figura N° 8-1**). Como ya fuera mencionado, para el sector vegas de Tilopozo se incorporaron adicionalmente tres estaciones de muestreo, identificadas como TB-1, TB-2 y TB-3, con el objetivo de detectar o descartar presencia de tapetes microbianos, y en el caso de registrar presencia, evaluarla e incorporar esta información al análisis.

**Tabla N° 8-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB.**

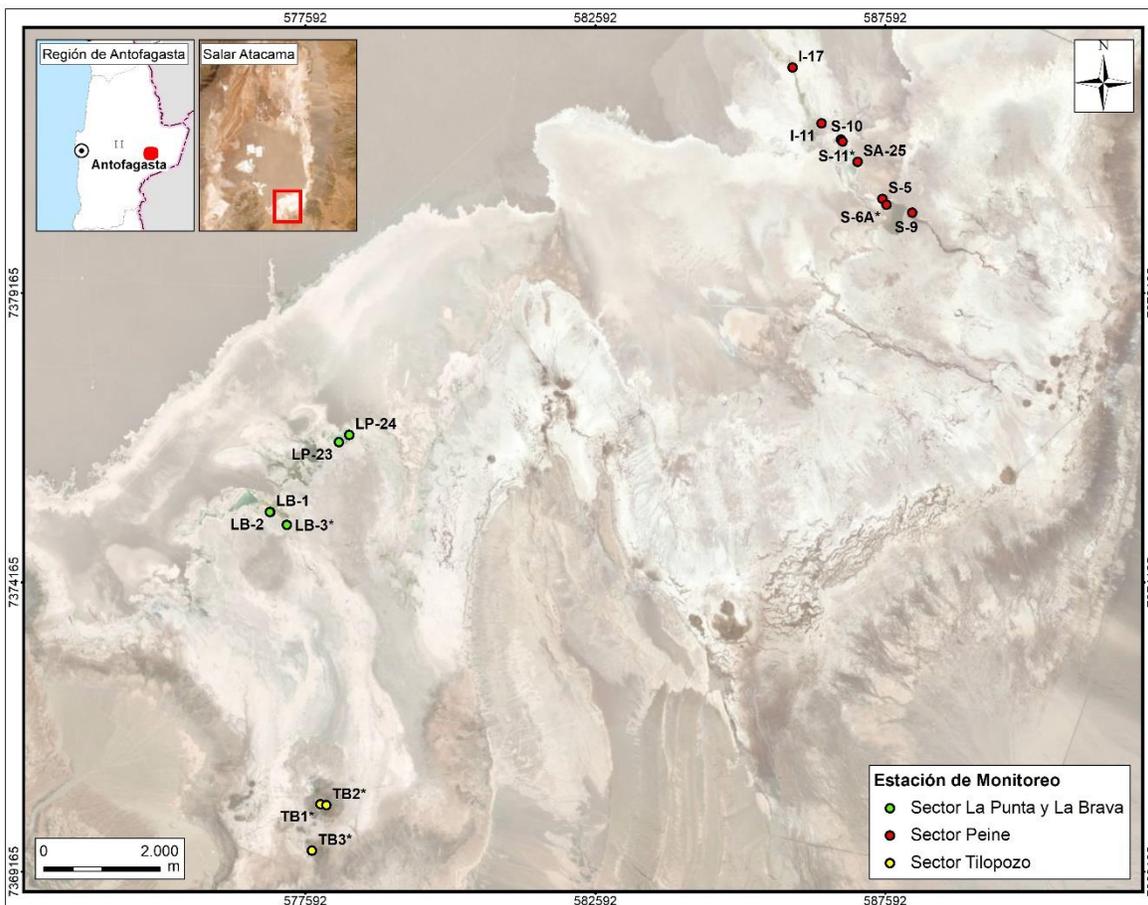
Sector	Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM	
		(WGS 84; Huso 19K)	
		Este (m)	Norte (m)
Sector Peine	S-5	587.547	7.380.789
	S-6A*	587.618	7.380.684
	S-9	588.061	7.380.551
	SA-25	587.117	7.381.430
	S-10	586.833	7.381.812
	S-11*	586.859	7.381.778
	I-11	586.494	7.382.095
	I-17	585.995	7.383.061
Sector La Punta y La Brava	LP-23	578.169	7.376.584
	LP-24	578.347	7.376.709
	LB-1	576.985	7.375.376
	LB-2	576.978	7.375.378
	LB-3*	577.270	7.375.157
Sector Tilopozo	TB1*	577.852	7.370.329
	TB2*	577.952	7.370.316
	TB3*	577.705	7.369.526

\*Estaciones adicionales al PMB original. El año 2016, en base a un examen visual de localización de tapetes microbianos y con el fin de levantar información sobre esta materia, se determinaron los puntos adicionales de monitoreo a lo señalado por

el Plan de Manejo Biótico, los cuales se identificaron como **S-6A**, **S-11** en Sistema Peine, **LB-3** en La Punta-La Brava. Los dos primeros puntos corresponden a sectores donde se evidenció una importante presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 8-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos.**



Fuente: Elaboración Propia

### 8.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Para evaluar el estado y evolución de los tapetes microbianos se establecieron los siguientes parámetros:

- La caracterización del perfil pigmentario laminar de los tapetes microbianos, el número de capas y el espesor.
- Determinación de macrozonas y tipologías

- Determinación visual de la presencia/ausencia de microbialitos y evaporitas, y su seguimiento en el tiempo.

#### 8.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control

La campaña de monitoreo fue realizada entre los días 07, 08 y 09 de noviembre de 2023, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 12, 13 y 14 de marzo de 2024, correspondiente al periodo de verano (post lluvias). Para ello se realizó un reconocimiento visual y una evaluación de la matriz sedimentaria de las zonas con tapete microbiano, microbialito y/o evaporita en cada estación de monitoreo. Luego, se colectaron muestras de tapetes microbianos en triplicado (N=3).

En la estación de monitoreo se analizaron 3 microhábitats denominados Superficial (área de costa); Sumergido en el borde lagunar; y Profundo bajo la columna de agua. Cabe señalar que cada estación de monitoreo se encuentra estacada para levantar sistemáticamente en el tiempo y en el mismo punto las muestras de tapetes. De este modo, para tapetes superficiales (ubicados en el área de costa de las lagunas) se utilizó espátula metálica con la cual se extrajo una muestra expuesta de área húmeda, en tanto, para tapetes sumergidos (borde lagunar, bajo la columna de agua) se utilizaron palas y/o testigos de PVC de 5 cm de diámetro y 20 cm de largo. A continuación, se realizó *in situ* la caracterización general del microhábitat, y en gabinete a través del registro fotográfico con fotografías de alta resolución que incorpora una regla milimetrada se complementa la caracterización pigmentaria de cada tapete, el conteo de las capas estratificadas, la determinación del espesor total.

Por último, para microhábitat Profundo, bajo la columna de agua a metros de la línea de costa en la parte profunda se extrae con una pala o con saca testigo sedimento de fondo para evaluar y descartar la presencia-ausencia de tapetes microbianos y biofilms y se realiza la medición de la profundidad de la columna de agua con una regla milimetrada y se obtiene el registro fotográfico en el punto.

A partir del número de capas estratificadas y del espesor total de los tapetes, se calculó el promedio respectivo usando la siguiente ecuación:

$$Promedio = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Esto fue realizado por cada tipo de tapete (superficial plano o sumergido). Para la caracterización general de una estación de monitoreo, se calculó el promedio considerando

los datos obtenidos de tapetes superficiales planos y sumergidos en conjunto, asimismo para describir el Sector estudiado.

Para el caso de microbialitos y evaporitas, se realizó una evaluación visual del área detectándose y sugiriendo solo la presencia o ausencia de tales estructuras en las estaciones de monitoreo correspondientes, ya que la determinación para ambas estructuras requiere de un análisis microscópico de la estructura y composición interna para diferenciar evaporitas y microbialitos (Burne y Moore, 1987; Gischler *et al.*, 2010).

Adicionalmente, se midieron *in situ* los parámetros físicos y químicos: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbiedad, y datos de laboratorio de salinidad y alcalinidad total obtenidos de la columna de agua y potencial redox, fósforo total, COT y Nitrógeno Total Kjeldahl, entre otros, obtenidos desde los sedimentos para cada estación monitoreada. Las muestras agua y sedimentos fueron obtenidas para cada estación de monitoreo y enviadas para su posterior análisis al laboratorio acreditado ETFA, a cargo de la empresa ANAM S.A. (Análisis Ambientales S.A.). Por otra parte, se analizan datos de radiación solar proporcionados por la estación meteorológica de Albemarle Ltda., ubicada dentro de las instalaciones de la faena minera en el salar (**Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas y Anexo Acreditaciones SMA Empresas ETFAs**).

La paleta de colores para Tapetes Microbianos (Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015), para la caracterización de la estructura pigmentaria de los tapetes y análisis de los resultados siguen los criterios teóricos de zonas macroscópicas pigmentadas, propuestas por *Riding y Awramik (2000)* y *Konhauser (2007)*:

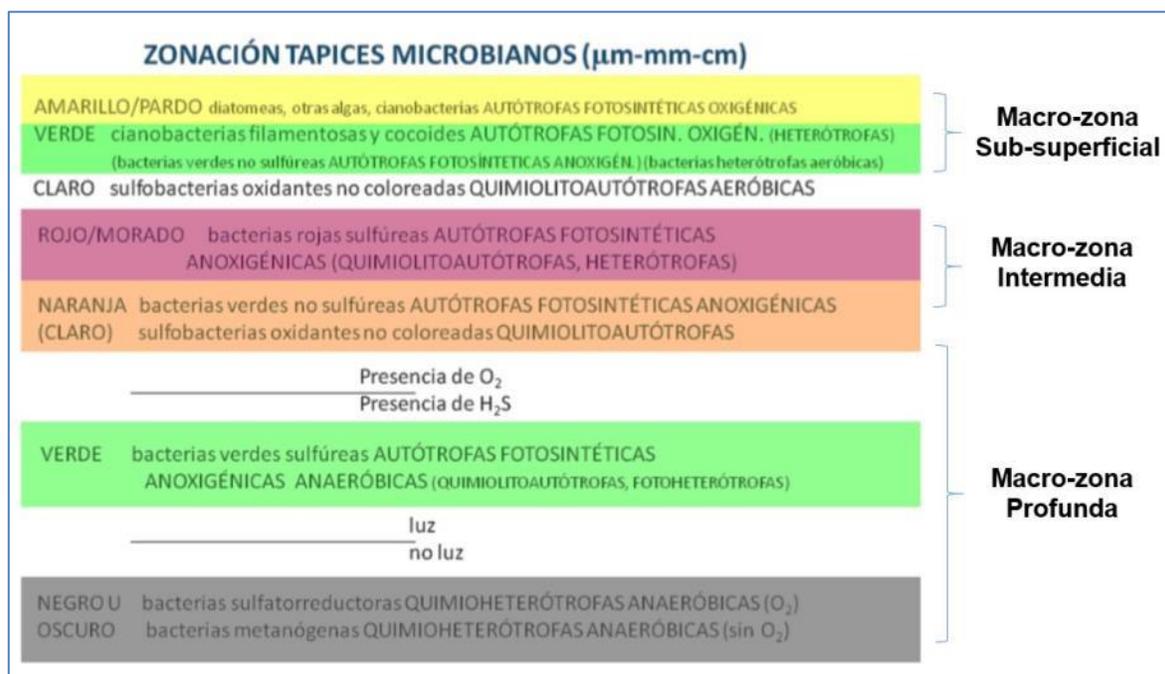
- Macro-zona sub-superficial (capas subsuperficiales), representada por la capa más superficial del tapete hasta la presencia de una capa de coloración verde.
- Macro-zona intermedia (capas intermedias), comprendida desde la subcapa que sigue a la capa verde hasta una subcapa de pigmentación rosada-púrpura.
- Macro-zona profunda (capas profundas), configurada por el conjunto de subcapas posteriores a la capa púrpura-rosada.

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, se obtienen tres principales tipologías de tapetes:

- i) TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación;
- ii) TIPOLOGÍA 2, tapetes que presentan 2 macro-zonas de pigmentación; y
- iii) TIPOLOGÍA 3, tapetes que presentan solo una macro-zona.

Cabe destacar que cada zona macroscópica está formada a su vez por un número variable de laminaciones. La clasificación de macrozonas se esquematiza en la **Figura N° 8-2**, elaborada de acuerdo con la zonación teórica de un tapete microbiano según las descripciones en Riding y Awramik (2000) y Konhauser (2007). Esta paleta de colores para Tapetes Microbianos (Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015) se encuentra indicada en la metodología de los Informes Anuales, en Figura 8.2 (Pág., 263) de Capítulo “8.1.4 Metodología de muestreo, medición y análisis para la componente” Cap. 8. “Tapetes Microbianos” del Informe Anual N°6 PMB.

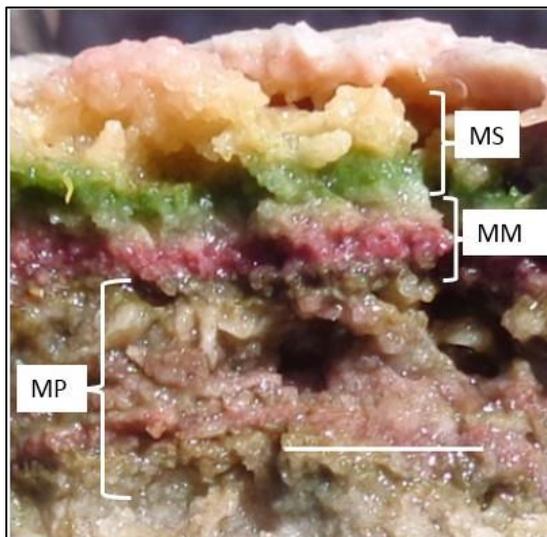
**Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.**



Fuente: (Tomado de Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015).

La **Fotografía N° 8-1** muestra un ejemplo de las capas pigmentadas observadas, en planicies del margen externo de la Laguna Salada (2016). Se indican las macrozonas (M) presentes: Subsuperficial (MS), Intermedia (MM), Profunda (MP).

**Fotografía N° 8-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.**



(Marca de escala=10 mm)

Fuente: Elaboración propia

**8.1.5 Materiales y Equipos Utilizados**

Los materiales utilizados para el monitoreo de Tapetes son los siguientes:

- Equipo GPS Garmin GPSMAP 64sc,
- Cámara digital Sony α ILCE 6000L, con objetivo Macros α SEL30M35
- Testigos de PVC de 5 cm de diámetro y 20 cm de largo,
- Espátulas metálicas,
- Regla milimetrada de precisión,
- Flexómetro,
- Guantes de nitrilo y de goma.

### **8.1.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro**

El muestreo se llevó a cabo los días 07, 08 y 09 de noviembre de 2023, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 12, 13 y 14 de marzo de 2024, correspondiente al periodo de verano (post lluvias).

La caracterización de los tapetes microbianos *in situ*, el registro de parámetros físicos y químicos y la caracterización del hábitat fueron consignados en una ficha de terreno para cada sector evaluado, las que se encuentran disponibles en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas**. Posteriormente, se realizó el análisis de los datos obtenidos en terreno en gabinete luego de finalizar el monitoreo.

## **8.2 RESULTADOS**

### **8.2.1 Resultados Campaña Invierno tardío 2023**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de invierno tardío 2023.

#### **8.2.1.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos**

En la campaña invierno tardío 2023, solo se analizaron *in situ* muestras de 8 de las 16 estaciones de monitoreo, distribuidas principalmente en el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo. El sector de Peine, no fue posible muestrearlo debido a restricciones de acceso por la comunidad de Peine, para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Sin los puntos del sector Peine, y no detectándose la presencia de tapetes en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3), como ha sido común en todas las campañas anteriores, a partir de invierno 2017, se tiene que sólo se puede analizar un total de 5 estaciones. De este modo, y considerando un total de 8 estaciones para el Sector de La Punta-La Brava y Tilopozo, se detectó la presencia de tapetes microbianos en 5 de las 8 estaciones evaluadas (62,5%),

Entre las 5 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, una de ellas (20%), presentó tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondiente a la estación LP-23 (laguna de La Punta), y las 4 estaciones restantes (80%), presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también

sumergidos bajo el agua (0,5 – 2,8 cm) o embebidos (~0,01 cm), las que correspondieron a las estaciones y LP-24 (laguna La Punta) y LB-1, LB-2 y LB-3 (laguna La Brava) (**Tabla N° 8-2y Tabla N° 8-1**). Como indica la Tabla 2-2, en invierno tardío 2023, no se registraron tapetes sumergidos. Esta condición, observada en la presente campaña, también fue la misma observada en invierno 2022.

**Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. Campaña invierno tardío 2023.**

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	1	20
Estaciones con Tapetes sólo sumergidos	0	0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	4	80
Total Estaciones*	5	100

(\*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.

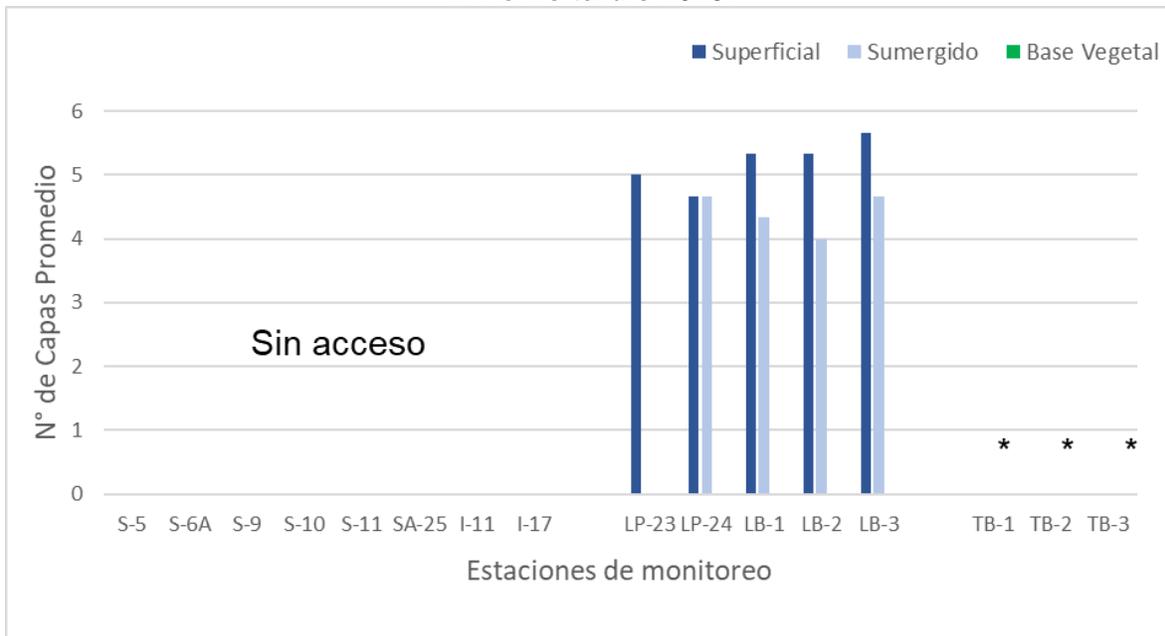
Fuente: Elaboración propia

A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en las estaciones de monitoreo de laguna La Brava (LB-1) y la laguna La Punta (LP-23) y de evaporitas en la estación de monitoreo de laguna La Punta (LP-24).

Tomando en cuenta los sectores evaluados, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación LB-3 (Laguna La Brava) con 5,2 capas, mientras que, el menor valor registrado fue en las estaciones LP-24 (Laguna La Punta) y LB-2 (Laguna La Brava) con un promedio de 4,7 capas.

En específico, respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en LB-3 (Laguna La Brava) con 5,7 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) con 4,7 en promedio (**Figura N° 8-3**). Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-3 (Laguna La Brava) con 4,7 y menor en LB-2 (Laguna La Brava) con 4,0 (**Figura N° 8-3**).

**Figura N° 8-3. Número de capas ( $\bar{x}$ ) y distribución de tapetes microbianos. Invierno tardío 2023.**

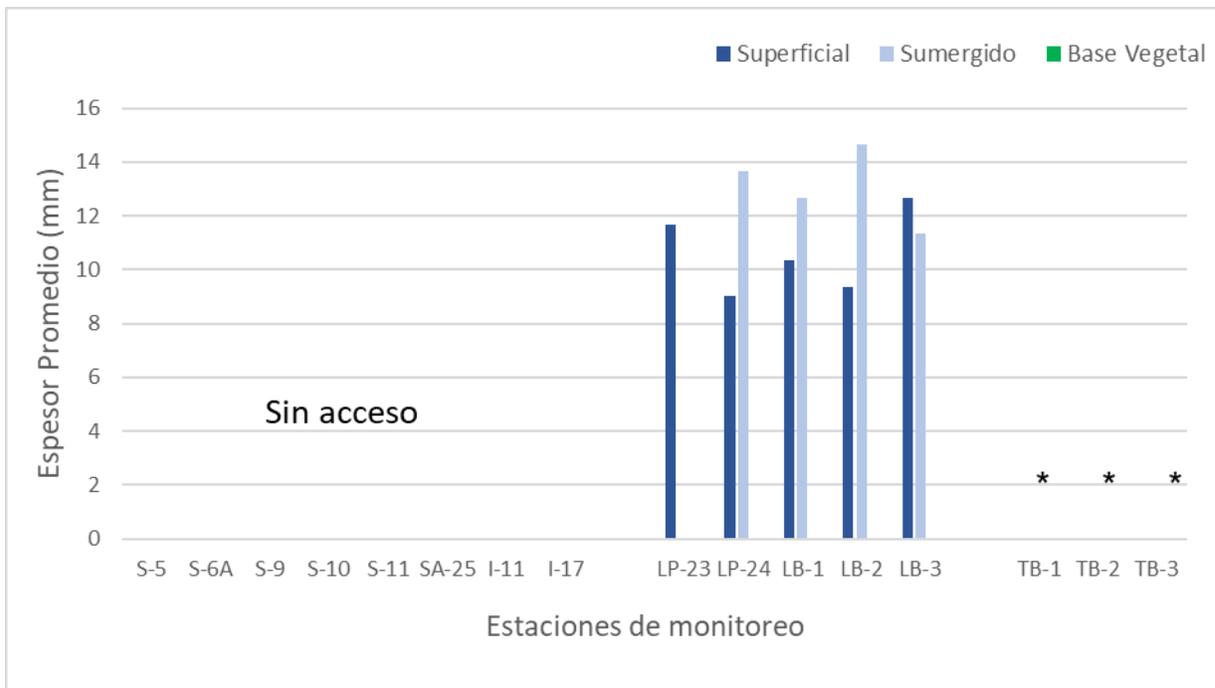


(\*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.  
 De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.  
 Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en LB-2 y LB-3 (Laguna La Brava), con 12,0 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en LP-24 (Laguna La Punta), con 11,3 mm (**Figura N° 8-4**).

Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en LB-3 (Laguna La Brava) con 12,7 mm, mientras que, fue menor LP-24 (Laguna La Punta) con 9,0 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 14,7 mm y el menor fue en LB-3 (Laguna La Brava) con 11,3 mm (**Figura N° 8-4**).

**Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos ( $\bar{x}$ ).  
 Invierno tardío 2023.**



(\*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.  
 De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.  
 Fuente: Elaboración propia

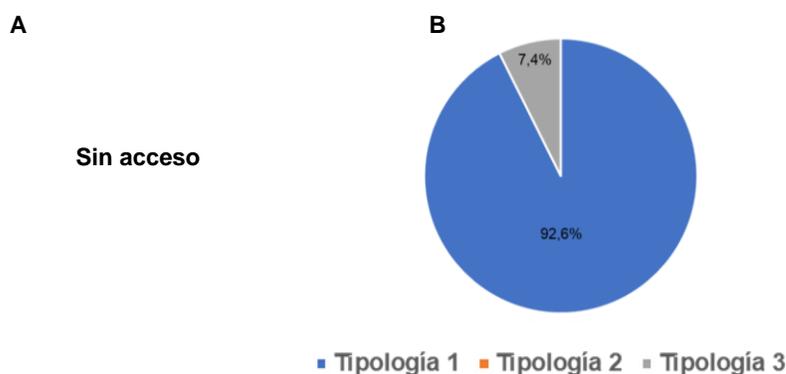
### 8.2.1.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el Sector La Punta-La Brava, mostró 2 tipos de tipologías:

- **Tipología 1:** la más frecuente entre todos los sectores, presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en las lagunas La Punta como en La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color rosado, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 8-3** y **Tabla N° 8-13**).
- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranja y en menor medida amarillo, en el Sector La Punta-La Brava (**Tabla N° 8-3** y **Tabla N° 8-14**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes, solo se muestra la del sector La Punta-La Brava (debido a la imposibilidad de muestreo en Peine). En este se observó que la Tipología 1 presentó los mayores porcentajes con 92,6%, mientras que la Tipología 3 presentó un 7,4% (**Figura N° 8-5 B**).

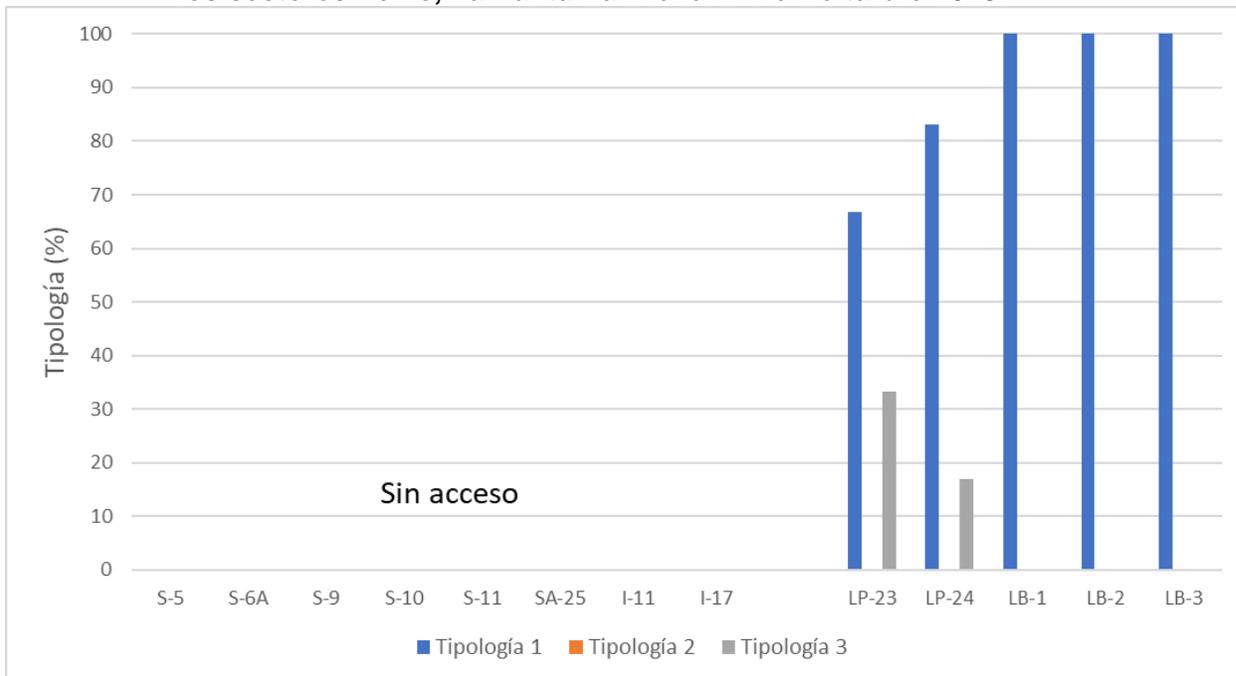
**Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava.**



Fuente: Elaboración propia

A su vez, en cada estación de monitoreo, se determinó el porcentaje de la tipología de tapetes presentes del total de muestras tomadas (**Figura N° 8-6**). En el Sector La Punta-La Brava, se distingue la presencia de tapetes de Tipología 1, en todas las estaciones. La Tipología 3 se observó en las estaciones LP-23 y LP-24.

**Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava. Invierno tardío 2023.**



(\*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la morfología de los tapetes en cada sector estudiado se distinguieron principalmente 3 tipos de morfología:

- Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados, estratificados y pigmentados, característicos de Laguna La Punta (LP-23 y LP-24).
- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginosa, los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-2).
- Tapetes planos, de consistencia blanda, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2).

Los tapetes microbianos en la campaña de invierno tardío 2023, presentaron dos tipologías, predominando la Tipología 1. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginosa. El rango de espesor varió entre 6 y 22 mm, mientras que, rango en el número de capas detectadas varió entre 2 y 7 mm (**Tabla N° 8-3**).

**Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.  
Campaña Invierno tardío 2023.**

Sector	Estación de Monitoreo	Tipología (%)			Morfología principal	Espesor (mm)		Número de capas	
		1	2	3		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
		Peine	S-5				Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos		
S-6A									
S-9									
S-10									
S-11									
SA-25									
I-11									
I-17									
La Punta-La Brava	LP-23	67	0	33	Plana	15	10	6	3
	LP-24	83	0	17	Plana y coriácea	20	7	6	2
	LB-1	100	0	0	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginoso.	15	7	6	4
	LB-2	100	0	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	22	6	6	4
	LB-3	100	0	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	17	6	7	3
Tilopozo	TB-1				Sin tapetes (solo detectados en Invierno 2016)				
	TB-2								
	TB-3								

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.1.3 Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo

A continuación, se presentan los resultados de las estructuras pigmentarias de los tapetes microbianos y la detección de microbialitos y/o evaporitas para los sectores evaluados (Peine, La Punta - La Brava y vegas de Tilopozo).

#### 8.2.1.3.1 Sector La Punta-La Brava

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en todas las estaciones de monitoreo. En tanto, en las estaciones LB-1 y LP-23 se detectó la presencia microbialitos y en la estación LP-24 evaporitas.

En relación con el número de capas por estación de monitoreo, la Laguna La Punta presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, en LP-23 con 5,0 capas, por otro lado, la menor estratificación se observó en LP-24, con 4,7 capas, considerando los tapetes superficiales planos y los embebidos. En Laguna La Brava, la mayor cantidad de estratificaciones, considerando tanto tapetes superficiales expuestos como sumergidos o embebidos, se observó en LB-3, con 5,2 capas promedio y la menor cantidad promedio fue de 4,7 detectada en LB-2 (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que la Laguna La Brava (LB-2 y LB-3), presentó el valor máximo de espesor, con 12,0 mm. Por otro lado, el menor espesor observado se registró en la Laguna La Punta (LP-24) con 11,3 mm, considerando los tapetes superficiales planos y los embebidos (**Figura N° 8-4**).

En general, en el Sector La Punta - La Brava, se observó entre las estaciones y lagunas la continuidad espacial de los tapetes con morfología plana en la Laguna La Punta y en la estación LB-1 de la Laguna La Brava. En tanto, en las estaciones LB-2 y LB-3, se observó continuidad espacial y morfología plana y convexa.

En relación con la tipología, se observó que la Tipología 1 fue la más frecuente (92,6 %) en el sector, siendo las tonalidades predominantes en sus respectivas macro-zonas el verde (~40,0%) en la macro-zona subsuperficial, púrpura (~46,5%) en la macro-zona intermedia y marrón (~88,5%) en la macro-zona profunda.

Cabe señalar que los tapetes mejor estructurados en cuanto a una laminación macroscópica definida visualmente se detectaron principalmente en la Laguna La Brava (LB-1), en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna La Punta, específicamente en la estación LP-24. La Laguna La Brava presentó tapetes convexos de textura superficial coriácea y tapetes planos de textura superficial gelatinosa (LB-1), de consistencia blanda y granular (LB-2).

A continuación, se presentan las características de la estructura de pigmentación de los tapetes microbianos presentes en cada estación de monitoreo del Sector La Punta-La Brava.

#### *8.2.1.3.1.1 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-23*

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2313 msnm, se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa, con flujos de agua superficiales y subsuperficiales, y con aguas ligeramente turbias. Las muestras provienen

de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y levemente húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-2 a y b**).

Las áreas de coloración fueron predominantemente blanco-rosado, con presencia de costra salina (~2 mm). En relación con la estación de monitoreo destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes (**Fotografía N° 8-2 c; Tabla N° 8-4**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (8,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-2 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-2 e; Tabla N° 8-15**).

**Fotografía N° 8-2. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, invierno tardío 2023.**





e.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, dos de las muestras presentan las tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda, mientras que la muestra restante presentó una macro-zona (Subsuperficial), correspondiendo a Tipología 3. En la zona Subsuperficial, predominaron igualmente las tonalidades verde, naranja y amarillo. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó las tonalidades púrpura y blanco. En la zona Profunda, se observó la tonalidad negra. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 10 y 15 mm, con un número de entre 3 y 6 capas (**Tabla N° 8-4**).

**Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra	Pigmentación			
	1	2	3	
Planicie expuesta	Costra blanca	Costra rosada	Costra blanca	
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Amarillo	Verde	Verde
		Verde	Amarillo	Amarillo
	Intermedio	S/C	Púrpura	Púrpura
			Blanco	Blanco
	Profunda	S/C	Negro	Negro
Total de laminaciones	3	6	6	
Espesor (mm)	15	10	10	
Profundidad (cm)	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.1.3.1.2 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-24.

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2308 msnm, sin flujo y con aguas muy turbias. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas y helófitas en ribera, y sin registro de huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. (**Fotografía N° 8-3 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~2 mm) y coloración blanca (**Fotografía N° 8-3 b y c; Tabla N° 8-5**), y (ii) una superficie coriácea, semisumergida o sumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro, la cual, en esta campaña, se encontraba desecada y los tapetes levemente embebidos (**Fotografía N° 8-3 d y e; Tabla N° 8-6**). Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-3 f**), pero sí la presencia de biofilm verde y rosado. Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de evaporitas (**Fotografía N° 8-3 g; Tabla N° 8-15**).

**Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, invierno tardío 2023.**





c.



d.



e.



f.



g.

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron la Tipología 1 (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) y 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, seguido de naranja y amarillo, mientras que en la zona Intermedia predominó sólo la tonalidad blanca, seguido de púrpura. En la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 10 mm, con un número entre 2 y 6 capas (**Tabla N° 8-5**).

**Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Amarillo
		Amarillo	Verde	Verde
		Verde		
	Intermedio	Blanco	S/C	Blanco
		Púrpura		
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Verde claro				
Marrón				
Total de laminaciones		6	2	6
Espesor (mm)		10	7	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, todos los tapetes embebidos coriáceos, presentaron las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, predominó la tonalidad naranja y amarillo, y en menor medida verde claro, mientras que en la Intermedia se observó sólo la tonalidad púrpura seguido de blanco. En la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuaron entre 7 y 20 mm, con 4 a 5 capas. Las muestras embebidas se encontraban en contacto con el agua, pero no sumergidas (Tabla N° 8-6).

**Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos embebidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Embebidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Amarillo	Amarillo	Amarillo
		Verde claro		
	Intermedio	Púrpura	Púrpura	Blanco
				Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	5	5
Espesor (mm)		14	20	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.1.3.1.3 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2312 msnm, con la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, bajo flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-4 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~2 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración principalmente blanquecina, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-4 b y c; Tabla N° 8-7**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosas de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-4 d y e; Tabla N° 8-8**). En esta estación se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (20 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-4 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-4 g; Tabla N° 8-15**).

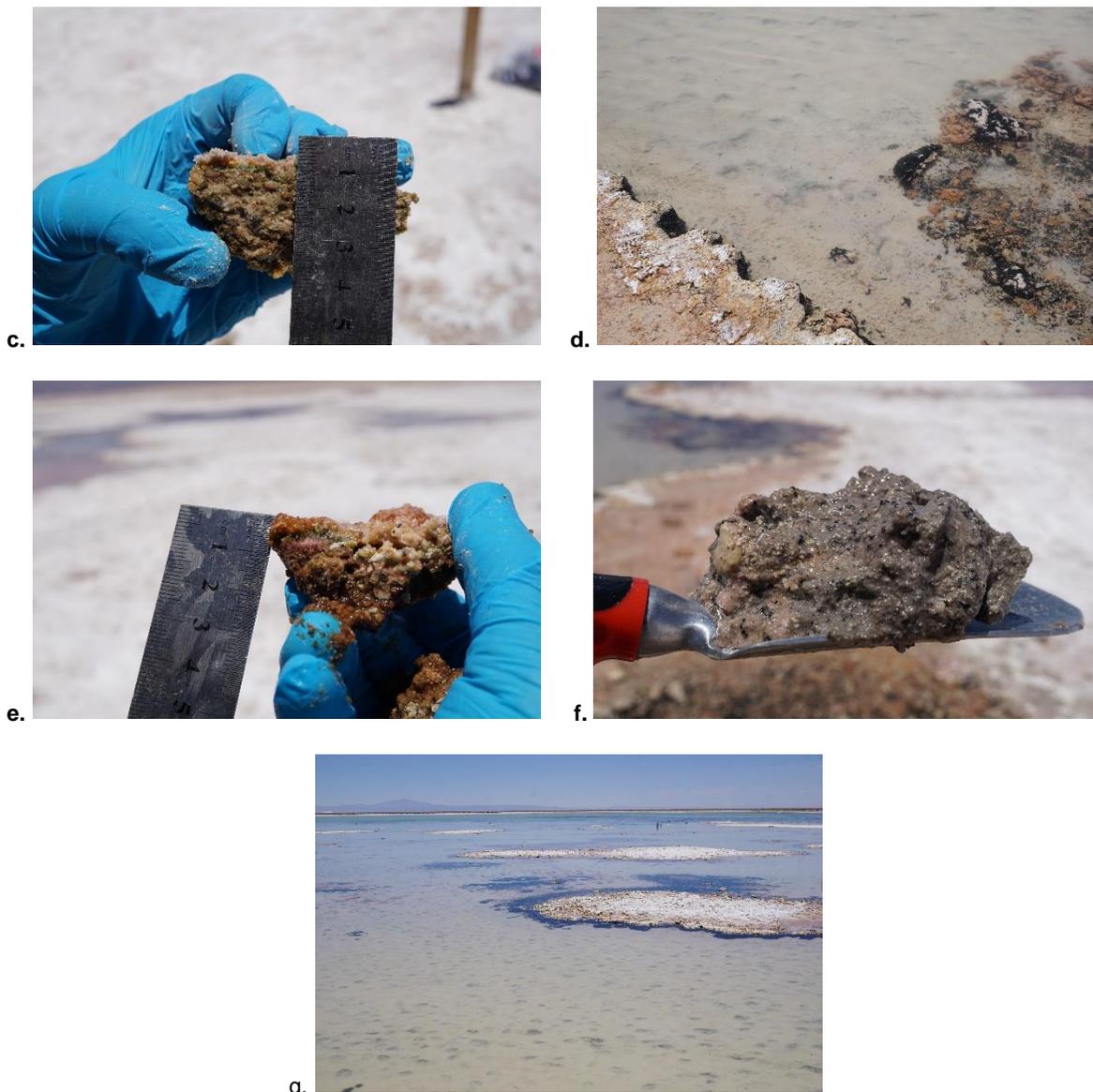
**Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, invierno tardío 2023.**



a.



b.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, todas las muestras presentaron tres macrozonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde, seguido de naranja, amarillo y rosado. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó únicamente la tonalidad púrpura, seguido de blanco. Por otro lado, en la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 7 y 14 mm, con un número de entre 4 y 6 capas (**Tabla N° 8-7**).

**Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Rosado	Naranja
		Amarillo	Naranja	
		Verde	Amarillo	Verde
	Intermedio	Blanco	Púrpura	Púrpura
		Púrpura		
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		6	6	4
Espesor (mm)		14	7	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginoso, todos presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), correspondientes a Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, la única tonalidad predominante fue verde, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades púrpura y rosada y finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 10 y 15 mm, con un número de entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1,0 cm y 2,8 cm (**Tabla N° 8-8**).

**Tabla N° 8-8. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Sumergidos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Verde	Verde
		Rosado	Rosado	Blanco
	Intermedio	Púrpura	Púrpura	Rosado
				Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	4	5
Espesor (mm)		15	13	10

Tapetes Sumergidos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Profundidad (cm)	1	2,5	2,8

Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.1.3.1.4 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2308 msnm, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófito (**Fotografía N° 8-5 a**).

La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~3 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanco-rosado, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-5 b y c; Tabla N° 8-9**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras mucilaginosas, de coloración naranja y otras estructuras coriáceas recubiertas de costra salina (~3 mm) con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-5 d y e; Tabla N° 8-10**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (7,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos aunque sí, de biofilms de color verde (**Fotografía N° 8-5 f**).

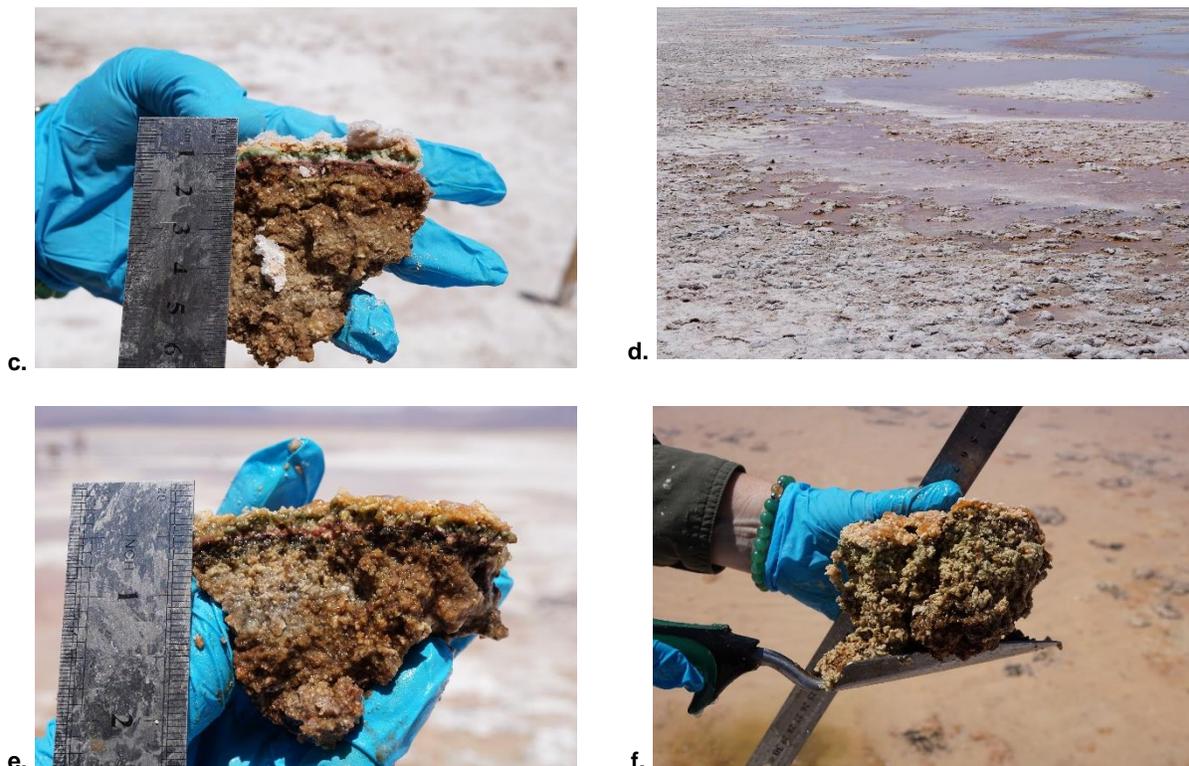
**Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno tardío 2023.**



a.



b.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, naranja y amarillo, en igual proporción. La zona Intermedia mostró tanto la tonalidad rosada como la púrpura, mientras que la zona Profunda exhibió sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 6 y 11 mm, con un número de entre 5 y 6 capas (Tabla N° 8-9).

**Tabla N° 8-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Amarillo	Amarillo
		Amarillo	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Púrpura
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón

Tapetes Superficiales Planos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Total de laminaciones	6	5	5
Espesor (mm)	11	11	6
Profundidad (cm)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda) en todas las muestras. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y en menor medida naranja o amarillo. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosado y púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 9 y 22 mm, todas con 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue de entre 0,5 y 2,3 cm. (Tabla N° 8-10).

**Tabla N° 8-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Mucilaginoso	Mucilaginoso	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Amarillo	Verde
		Verde	Verde	
	Intermedio	Púrpura	Rosado	Rosado Púrpura
		Marrón	Marrón	Marrón
Profunda		Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	4	4
Espesor (mm)		9	22	13
Profundidad (cm)		2,3	1,5	0,5

Fuente: Elaboración propia

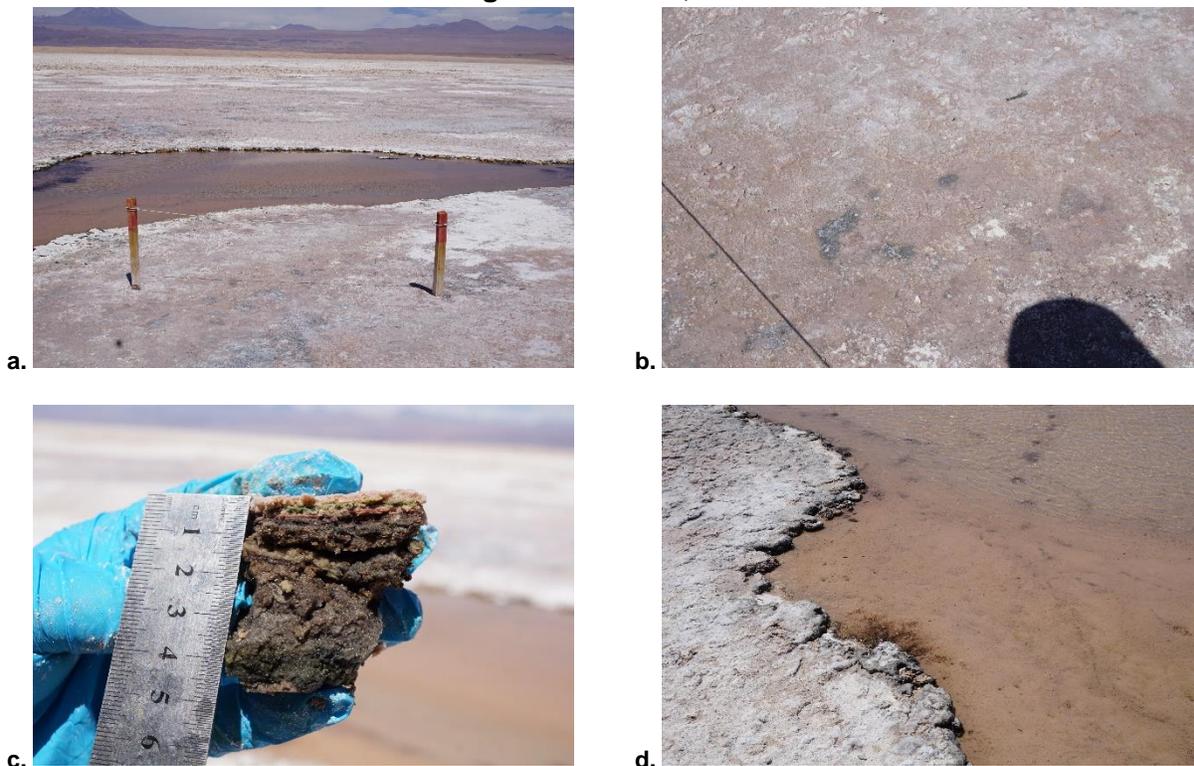
#### 8.2.1.3.1.5 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3

La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava, correspondiendo a una estación de muestreo adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica de 2303 msnm, muy bajo flujo y con

aguas transparentes. La estación de muestreo presentó escasa vegetación acuática hidrófita (**Fotografía N° 8-6 a**).

La estación de monitoreo, se localiza en un afluente de la laguna, exhibiendo escasa vegetación acuática, y presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~1 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración rosada, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-6 b y c; Tabla N° 8-11**), y (ii) una superficie sumergida pero ubicada en el borde de la laguna, con escasas estructuras mucilaginosas de coloración naranja y una mayor predominancia de estructuras coriáceas de coloración verde oscuro, con morfología convexa sólida en su mayoría, de consistencia blanda y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-6 d y e; Tabla N° 8-12**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana y convexa de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (3 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, pero sí de biofilm rosado (**Fotografía N° 8-6 f**).

**Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimentos. Laguna La Brava, invierno tardío 2023.**





Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes superficiales planos presentaron la Tipología 1, con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, seguido de rosado, mientras que, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y en menor medida, púrpura y blanco. En la zona Profunda predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 17 mm, con un número entre 4 y 7 capas (Tabla N° 8-11).

**Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Rosado	Naranja
		Verde	Naranja	Verde
	Intermedio	Blanco	Blanco	Rosado
		Rosado	Rosado	
		Púrpura	Púrpura	
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		6	7	4
Espesor (mm)		6	17	15
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, todos presentaron Tipología 1, observándose tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y luego naranja. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció mayormente la tonalidad rosada, seguido de púrpura y blanco y en la zona

Profunda, predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 12 mm, con un número entre 3 y 6 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue entre 0,01 y 0,02 cm (tapetes embebidos en agua) (**Tabla N° 8-12**).

**Tabla N° 8-12. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Embebidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Naranja
		Verde		Verde
	Intermedio	Blanco	Rosado	Rosado
		Rosado		Púrpura
		Púrpura		
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		6	3	5
Espesor (mm)		12	12	10
Profundidad (cm)		0,01	0,02	0,01

Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.1.3.1.6 Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector La Punta-La Brava)

En el Sector La Punta-La Brava, en invierno tardío 2023, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde, seguido de naranja y en menor medida, amarillo, las que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que probablemente podrían corresponder a cianobacterias y microalgas (*i.e.* diatomeas) y bacterias productoras de compuestos carotenoides (Rodríguez-Aranda y Sanz Montero 2015). Por otro lado, en la macro-zona intermedia, las tonalidades fueron principalmente púrpura, seguido de rosadas y blanco, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-zona Profunda predominaron las capas marrón, y en menor medida, negro, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 8-13**).

**Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno tardío 2023.**

Estación/Muestra		LP-23		LP-24		LP-24			LB-1			LB-1			LB-2			LB-2			LB-3			LB-3			
		P		P		C			P			C			P			C			P			C			
		2	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Macrozona	Subsuperficial	Verde	■	■	■	■				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Naranja	■	■	■	■	■	■	■	■	■				■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■
		Rosado																									
		Amarillo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					■	■	■	■							
	Intermedia	Verde claro						■																			
		Rosado													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Púrpura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Profunda	Blanco	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Marrón			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Negro	■	■																							
Verde claro					■																						

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo  
 Fuente: Elaboración propia

La Tipología 2, presente en todas las campañas anteriores, no fue detectada en ninguna estación de muestreo durante la campaña invierno tardío 2023.

La Tipología 3 fue detectada en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24), mostrando sólo la macrozona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde y naranja, y en menor medida, amarillo. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (Tabla N° 8-14).

**Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno tardío 2023.**

Estación/Muestra		LP-23 P	LP-24 P
		1	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde	■
		Naranja	■
		Amarillo	■

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo  
 Fuente: Elaboración propia

### 8.2.1.3.2 Sector vegas de Tilopozo

En la actual campaña invierno tardío 2023, no se detectó la presencia de tapetes microbianos en las estaciones de muestreo TB-1, TB-2 y TB-3 del sector vegas de Tilopozo. Cabe destacar, que sólo en invierno 2016, se hallaron tapetes microbianos de Tipología 3.

### 8.2.1.3.3 Sector Peine

Las comunidades de tapetes microbianos en el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9, S-6A y S-5), laguna Saladita (S-10, S-11 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la presente campaña no pudieron ser monitoreados, debido a restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine, para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

### 8.2.1.4 Registro de microbialitos y evaporitas

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos en dos estaciones de monitoreo (LB-1 y LP-23) y la presencia de evaporitas en sólo una estación de monitoreo (LP-24) (**Tabla N° 8-15**).

**Tabla N° 8-15. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña invierno tardío 2023.**

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-5	Sin acceso	
S-6A		
S-9		
SA-25		
S-10		
S-11		
I-11		
I-17		
LP-23	+	-
LP-24	-	+
LB-1	+	-

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
LB-2	-	-
LB-3	-	-
TB-1	-	-
TB-2	-	-
TB-3	-	-

+: Presencia; -: Ausencia

### 8.2.1.5 Parámetros físicos y químicos

Respecto de las variables físicas y químicas en matriz agua y sedimentos se realizó un análisis en la relación que podrían presentar con la presencia de tapetes microbianos. En la actual campaña se revisará esta posible relación en el sector La Punta-La Brava. En el sector vegas de Tilopozo no se registraron tapetes microbianos, por lo que no se considera dentro del análisis de variables relevantes de calidad de agua y sedimentos. Por otra parte, la comunidad de tapetes microbianos en el Sector Peine, en la presente campaña como se mencionó anteriormente, no fue monitoreada.

En relación con las variables de calidad de agua registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de invierno tardío 2023, destacan la Conductividad eléctrica y la Salinidad presentando en general mayores registros en las lagunas La Brava respecto de La Punta, siendo mayores en las estaciones LB-1 y LB-2.

En la laguna La Brava, los valores que oscilaron entre 26.570 y 124.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en LB-3 (afluente de la laguna) y en LB-2 respectivamente. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 51.590 en LP-23 y 54.430  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en LP-24 (**Figura N° 8-7 a y b**).

Cabe destacar que la presencia de agua-humedad en las estaciones de monitoreo y las concentraciones de conductividad-salinidad son de alta importancia para la presencia de tapetes microbianos. La salinidad, en tanto, registró un mínimo de 16,16 g/Kg en la estación LB-3 y un máximo de 60,35 g/Kg en LB-1. En tanto, la laguna La Punta presentó registros intermedios (**Figura N° 8-7 a y b**).

Por otra parte, se observaron temperaturas en la columna de agua distintas en ambas lagunas La Brava y La Punta, observándose registros menores en La Punta. Los mayores registros fueron obtenidos en LB-2 y LB-3 con valores de 32,36 y 30,61 °C respectivamente (**Figura N° 8-8 a**).

El Oxígeno disuelto presentó similitudes entre La Punta y La Brava, presentando concentraciones entre 2,73 mg/L y 3,43 mg/L en La Punta y de 2,81 mg/L y 3,91 mg/L en La Brava. Cabe destacar que, en la presente campaña no se observaron mayores diferencias entre lagunas, sin embargo, acotar que cuando aumenta la conductividad-salinidad en la columna de agua, disminuye la solubilidad del oxígeno disuelto en ellas (**Figura N° 8-8 b**).

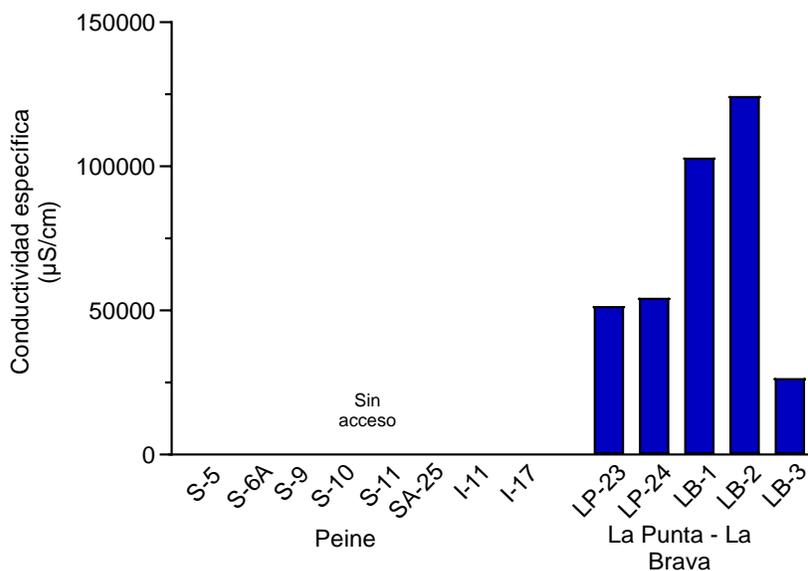
Respecto de la alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3$ ), en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron similares entre estaciones de monitoreo, excepto por el menor registro en la estación LB-3 (La Brava) con 306 mg/L. Los mayores registros fueron detectados en las estaciones en las estaciones de la laguna La Brava (LB-1 y LB-2) (**Figura N° 8-9 a**).

La turbiedad por su parte presentó, en general, mayores registros en las estaciones de La Punta con el máximo registro de 12,1 UNT en LP-23, en tanto, en La Brava se observaron registros entre 2,2 y 8,6 UNT en las estaciones LB-2 y LB-3 respectivamente (**Figura N° 8-9 b**).

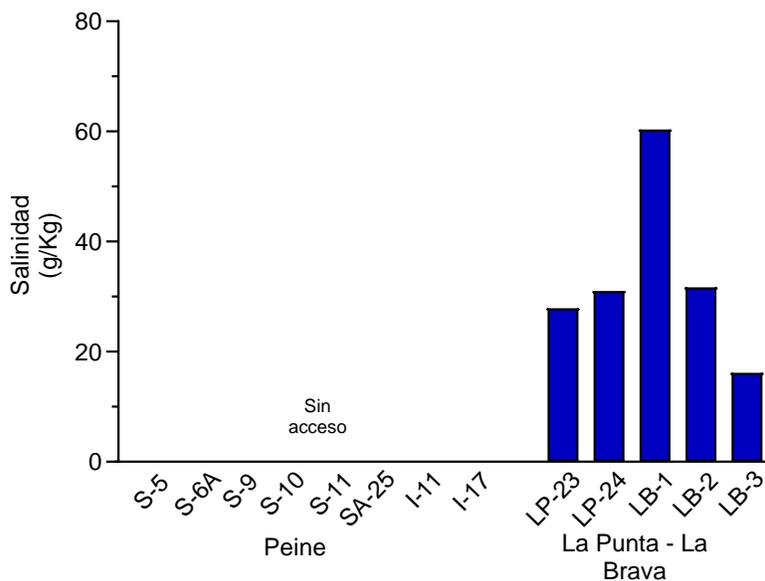
En relación con el pH, se observaron valores homogéneos, con valores moderadamente alcalinos en ambas lagunas, los que oscilaron entre 8,06 unidades en LB-1 y 8,29 unidades en las estaciones LB-2 y LB-3. Mientras que, en la laguna La Punta se observaron registros entre 8,31 en LP-23 y 8,56 en LP-24 (**Tabla N° 8-16**).

A modo referencial, para el Salar se consignan los valores de radiación solar, obtenidos en los horarios en los que se realizó el monitoreo de cada estación. Los valores fluctuaron entre 2,70 MJ/m<sup>2</sup> en la estación LB-3 y 3,30 MJ/m<sup>2</sup> en las estaciones LP-24 y LB-1, observándose valores similares entre estaciones de monitoreo, horarios y entre lagunas (**Tabla N° 8-16**).

**Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.**



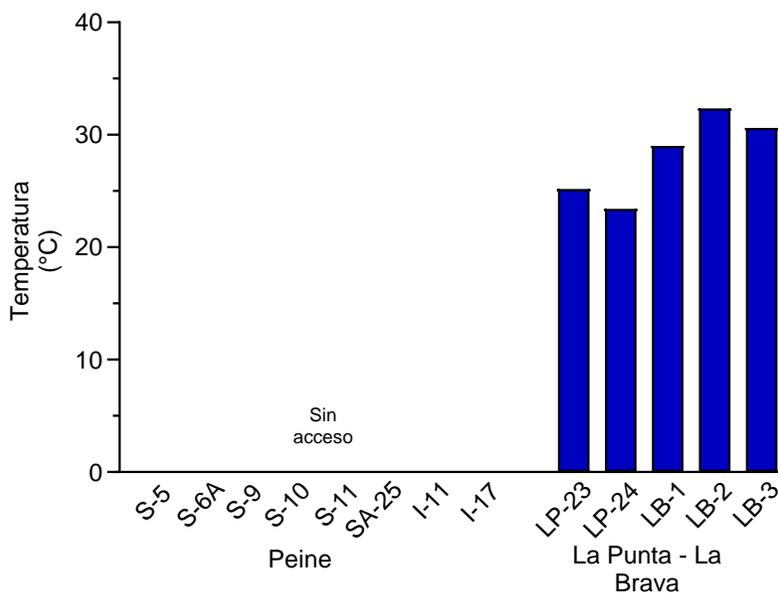
a.



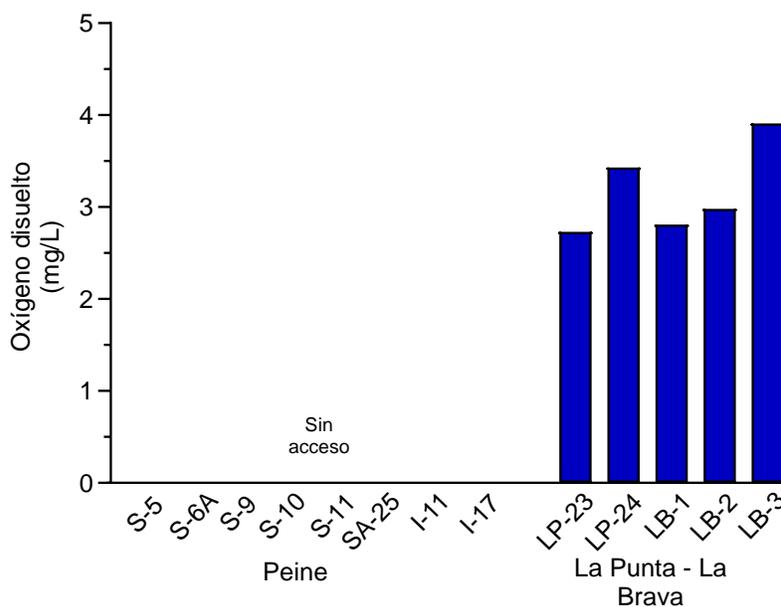
b.

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 8-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.**



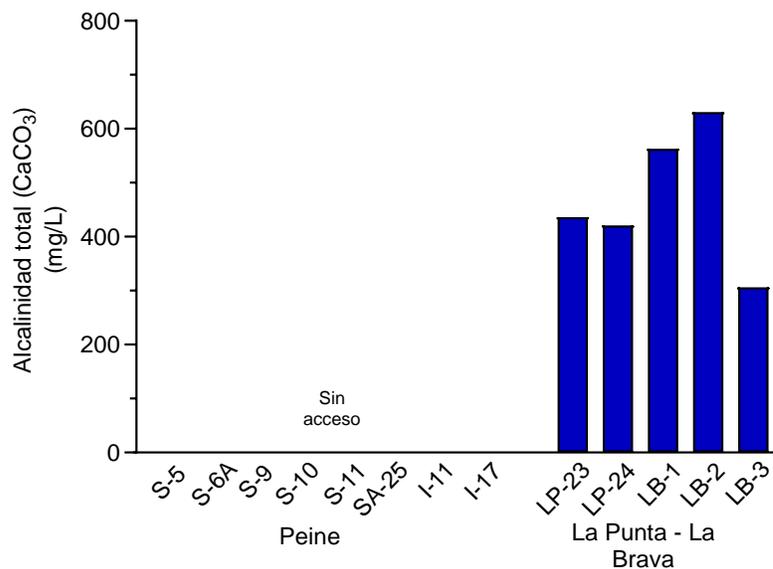
a.



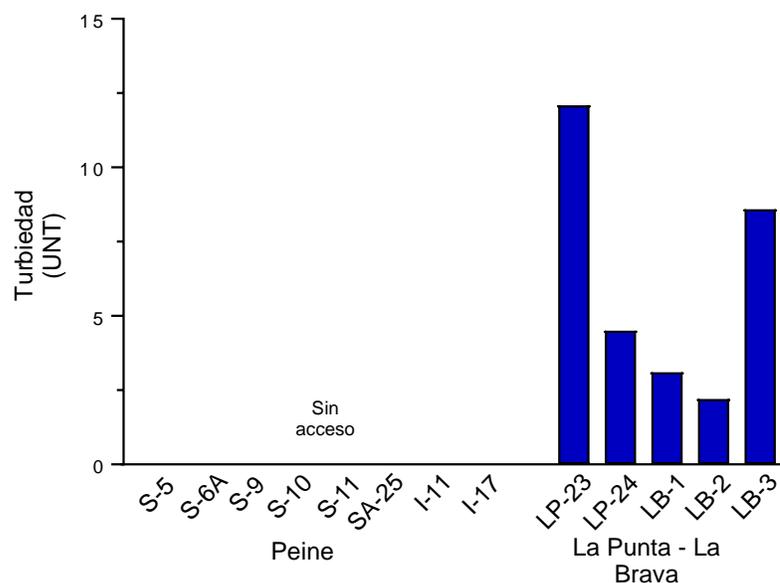
b.

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 8-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.**



a.



b.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de invierno 2023, se destaca que para carbono orgánico total

los registros fueron similares entre lagunas y estaciones. La Punta-La Brava, presentó registros que fluctuaron entre 39,21 g/Kg en LP-23 y 86,6 g/Kg en LB-1.

En tanto, para fósforo total se observaron diferencias entre estaciones de monitoreo de ambos sectores, en la laguna La Punta se registraron valores bajo el límite de detección (<500 mg/Kg) y en la laguna La Brava estos oscilaron de <500 mg/Kg en LB-1 a 758,4 mg/Kg en LB-3 (**Tabla N° 8-17**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó leves diferencias entre las lagunas La Punta-La Brava, observándose mayores registros en La Brava. En ambas lagunas los valores oscilaron entre 2,28 g/Kg en LP-23 (La Punta) y 4,48 g/Kg en la estación LP-24 (La Punta) (**Tabla N° 8-17**).

Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en la actual campaña no se incluirán lo que se encuentra justificado por parte del laboratorio en la Carta N°R06/2024 (ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas**).

**Tabla N° 8-16. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.**

Parámetro	Unidad	LD*	Sector Peine							Sector La Punta-La Brava					
			Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura	°C	-	Sin acceso							25,17	23,41	29,00	32,36	30,61	
pH	U	-								8,31	8,56	8,06	8,29	8,29	
Conductividad específica	μS/cm	-								51.590	54.430	103.000	124.400	26.570	
Salinidad	g/Kg	-								27,93	31,01	60,35	31,71	16,16	
Oxígeno disuelto	mg/L	-								2,73	3,43	2,81	2,98	3,91	
Turbiedad	UNT	-								12,1	4,5	3,1	2,2	8,6	
Radiación solar**	MJ/m <sup>2</sup>	-								3,15	3,30	3,30	3,12	2,70	
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	<1,2								436	421	563	631	306	

\*LD: Límite de Detección; \*\*Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Minera Albemarle

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 8-17. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2023.**

Parámetro	Unidad	LD*	Sector Peine							Sector La Punta-La Brava					
			Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	<1	Sin Acceso							39,21	85,15	72,39	79,06	86,6	
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500								<500	<500	<500	700,9	758,4	
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	<0,0125								2,28	4,48	3,58	3,71	5,12	
Potencial Redox	mV	-								ND	ND	ND	ND	ND	

\*ND: No disponible

Fuente: Elaboración propia

## 8.2.2 Resultados Campaña Verano 2024

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de verano 2024.

### 8.2.2.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña verano 2024, solo se analizaron *in situ* muestras de 8 de las 16 estaciones de monitoreo, distribuidas principalmente en el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo. El sector de Peine, no fue posible muestrearlo debido a restricciones de acceso para evitar perturbar el ciclo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua (**ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

De este modo, se detectó la presencia de tapetes microbianos en 5 de las 8 estaciones evaluadas (62,5%), no detectándose la presencia de tapetes en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3), como ha sido común en todas las campañas anteriores, a partir de verano 2017.

Entre las 5 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, en 2 de ellas (20%), presentó tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a la estación LP-23 (laguna La Punta), y las 4 estaciones restantes (80%), presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (1 – 5,1 cm) o embebidos (~0,01 cm), las que correspondieron a las estaciones LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 8-1 y Tabla N° 8-18**). Esta condición, observada en verano 2024, fue levemente distinta de la observada en verano 2023.

**Tabla N° 8-18. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. Campaña verano 2024.**

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	1	20,0
Estaciones con Tapetes sumergidos	0	0,0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	4	80,0
Total Estaciones	5	100

(\*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

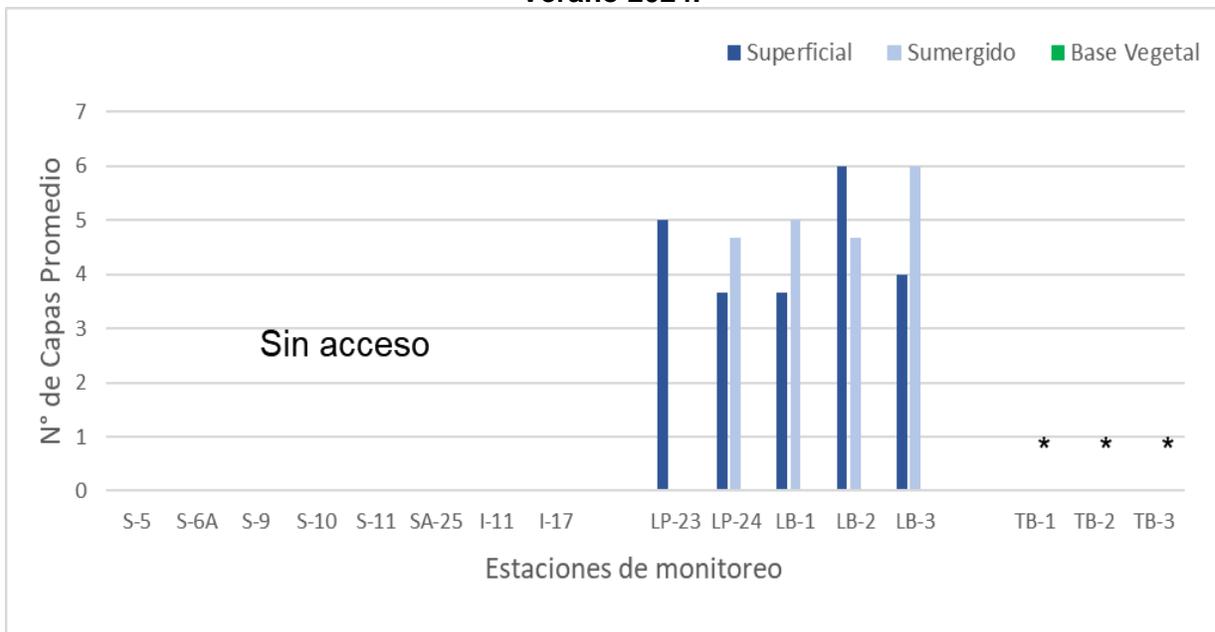
Fuente: Elaboración propia

A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en dos estaciones de monitoreo (LP-23 y LB-1) y de evaporitas en la estación de monitoreo LP-24 (laguna La Punta).

Tomando en cuenta los sectores evaluados, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación LB-2 (Laguna La Brava) con 5,3 capas, mientras que, el menor valor registrado fue en la estación LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 4,2 capas. Cabe destacar, que en anteriores veranos en la estación LP-24, no se registraron tapetes sumergidos, tanto en verano 2023 como en verano 2022, a diferencia de todas las anteriores campañas de verano, por lo que sólo se determinó el número de capas promedio en relación con los tapetes superficiales planos que sí fueron detectados.

En específico, respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 6,0 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 (Laguna La Brava) con 3,7 en promedio (**Figura N° 8-10**). Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en LB-3 (Laguna La Brava) con 6,0 y la menor en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-2 (Laguna La Brava) con 4,7 (**Figura N° 8-10**).

**Figura N° 8-10. Número de capas ( $\bar{x}$ ) y distribución de tapetes microbianos. Verano 2024.**



(\*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

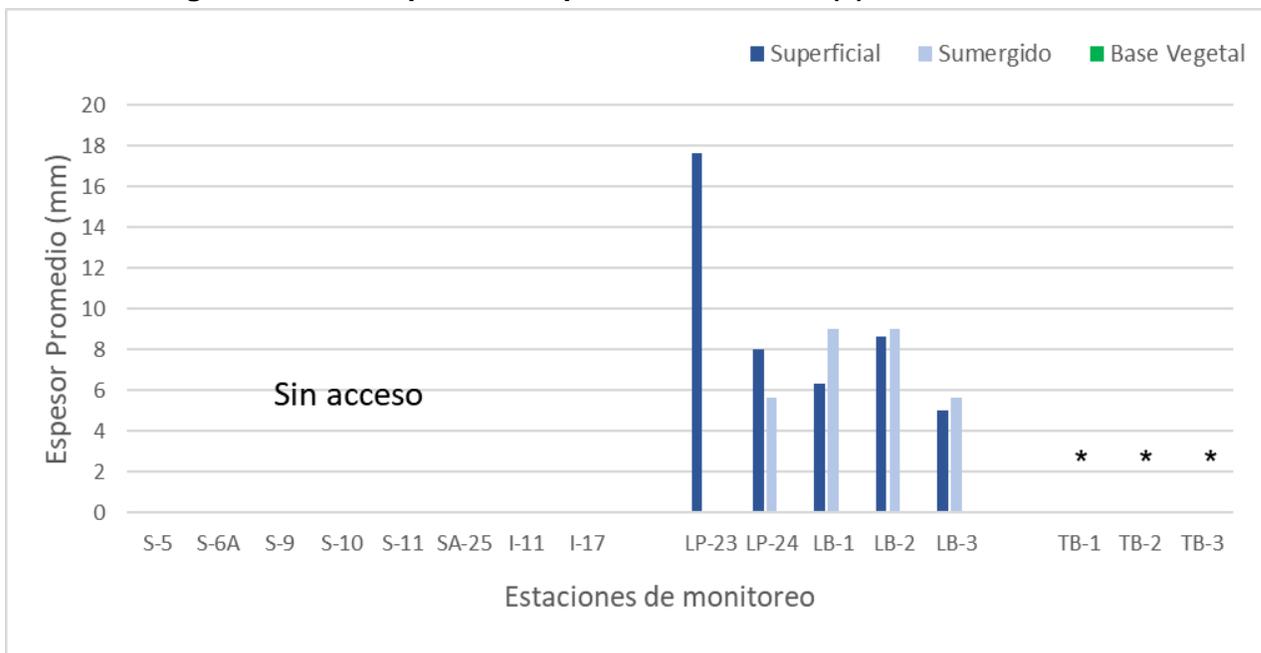
De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en LP-23 (Laguna La Punta), con 17,7 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en LB-3 (Laguna La Brava), con 5,3 mm (**Figura N° 8-11**).

Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en LP-23 (Laguna La Punta) con 17,7 mm, mientras que, fue menor en LB-3 (Laguna La Brava) con 5,0 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LB-1 y LB-2 (Laguna La Brava) con 9,0 mm y el menor fue en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-3 (Laguna La Brava) con 5,0 mm (**Figura N° 8-11**).

**Figura N° 8-11. Espesor de tapetes microbianos ( $\bar{x}$ ). Verano 2024.**



(\*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el Sector La Punta-La Brava, mostró 3 tipos de tipologías:

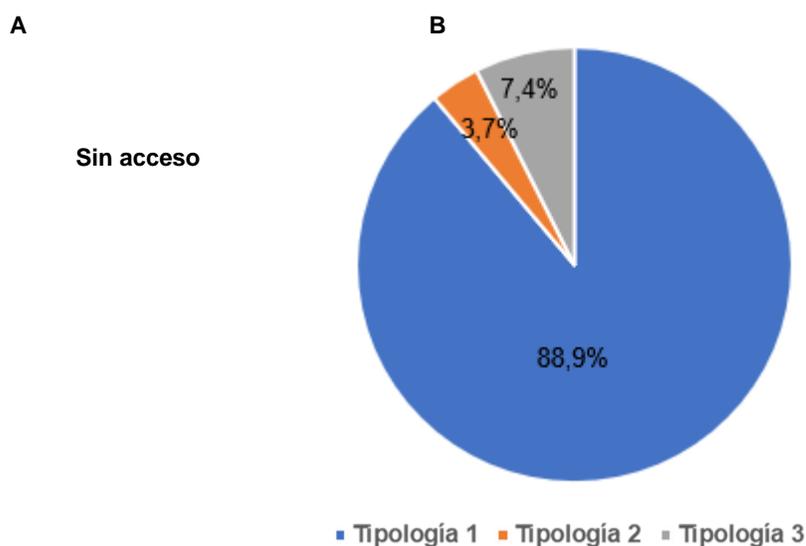
- **Tipología 1:** la más frecuente entre todos los sectores, presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en las lagunas La Punta como en La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color rosado, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 8-19 y Tabla N° 8-29**).
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y fue detectada en el Sector La Punta-La Brava, siendo la tercera tipología más frecuente entre los sectores. Estos tapetes presentaron principalmente macro-zonas Subsuperficiales color verde y/o naranja, seguidas de la macro-zona Intermedia con capas color rosado. Usualmente,

pueden observarse tapetes con esta tipología, que exhiban la macro-zona subsuperficial, seguida de la macro-zona Profunda de color marrón (**Tabla N° 8-19** y **Tabla N° 8-30**).

- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranja y en menor medida amarillo y rosado, en el Sector La Punta-La Brava (**Tabla N° 8-19** y **Tabla N° 8-31**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes, solo se muestra la del sector La Punta-La Brava (debido a la imposibilidad de muestreo en sector Peine). En este se observó que la Tipología 1 presentó los mayores porcentajes con 88,9%, seguido de la Tipología 3 con 7,4% y finalmente, en menor medida, la Tipología 2 con 3,7% (**Figura N° 8-12 B**).

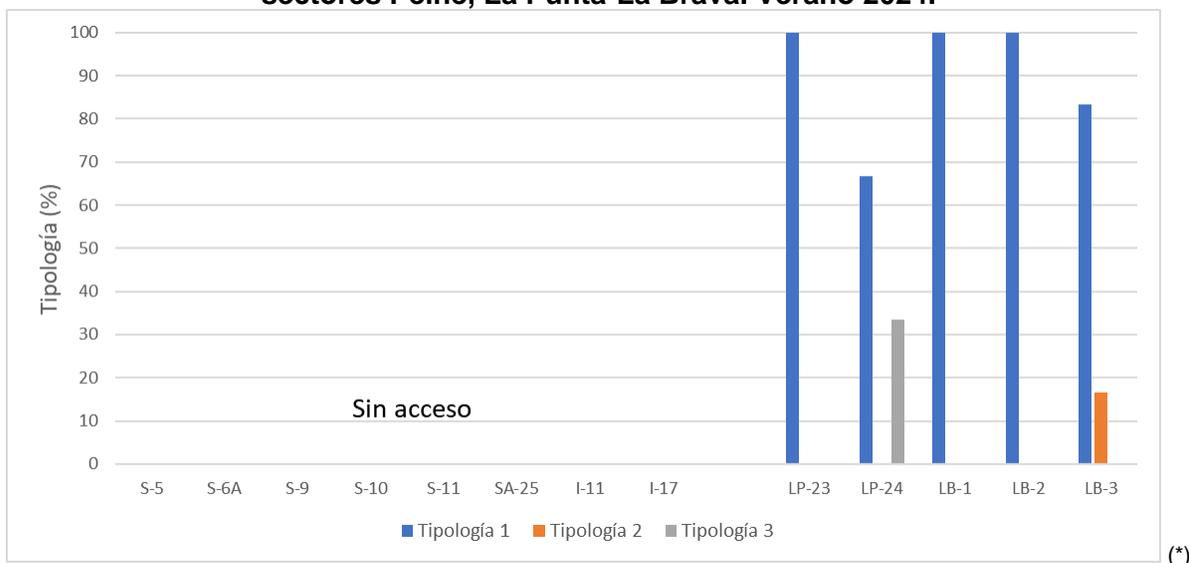
**Figura N° 8-12. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava. Verano 2024.**



Fuente: Elaboración propia

A su vez, en cada estación de monitoreo, se determinó el porcentaje de la tipología de tapetes presentes del total de muestras tomadas (**Figura N° 8-13**). En el Sector La Punta-La Brava, se distingue la presencia de tapetes de Tipología 1, principalmente en las estaciones LP-23, LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3. Finalmente, las Tipologías 2 y 3 se observaron en LB-3 y LP-24, respectivamente.

**Figura N° 8-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2024.**



Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la morfología de los tapetes en cada sector estudiado se distinguieron principalmente 3 tipos de morfología:

- Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados, estratificados y pigmentados, característicos de Laguna La Punta (LP-23 y LP-24).
- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginosa, los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-2).
- Tapetes planos, de consistencia blanda, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2).

Los tapetes microbianos en la campaña de verano 2024, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 1. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginosa. El espesor varió entre 5 y 22 mm, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 4 y 6 mm (**Tabla N° 8-19**).

**Tabla N° 8-19. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.  
Campaña Verano 2024.**

Sector	Estación de Monitoreo	Tipología (%)			Morfología principal	Espesor (mm)		Número de capas	
		1	2	3		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
		Peine	S-5	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos					
S-6A									
S-9									
SA-25									
S-10									
S-11									
I-11									
I-17									
La Punta-La Brava	LP-23	100	0	0	Plana	22	13	5	5
	LP-24	67	0	33	Plana y coriácea	11	5	6	4
	LB-1	100	0	0	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginosa.	8	8	5	4
	LB-2	100	0	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	10	9	6	5
	LB-3	83	17	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	6	5	6	5
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes							
	TB-2								
	TB-3								

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.3 Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo

A continuación, se presentan los resultados de las estructuras pigmentarias de los tapetes microbianos y la detección de microbialitos y/o evaporitas para los sectores evaluados (Peine, La Punta - La Brava y vegas de Tilopozo).

#### 8.2.2.3.1 Sector La Punta-La Brava

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en todas las estaciones de monitoreo. En tanto, en las estaciones LP-23 y LB-1 se detectó la presencia microbialitos y de evaporitas en LP-24.

En relación con el número de capas por estación de monitoreo, la laguna La Brava presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, siendo de 5,3 capas para LB-2. Por otro lado, la menor estratificación se observó en LB-1, con 4,2 capas. En laguna La Punta, la mayor cantidad de estratificaciones, considerando tanto tapetes superficiales expuestos como sumergidos, se observó en LP-23, con 5,0 capas promedio y la menor cantidad promedio fue de 4,2 en LP-24 (**Figura N° 8-10**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que la Laguna La Punta (LP-23), presentó el valor máximo de espesor, con 17,7 mm. Por otro lado, el menor espesor observado se registró en la Laguna La Brava (LB-3) con 5,3 mm (**Figura N° 8-11**).

En general, en el Sector La Punta - La Brava, se observó entre las estaciones y lagunas la continuidad espacial de los tapetes con morfología plana en laguna La Punta y en la estación LB-1 de la laguna La Brava. En tanto, en las estaciones LB-2 y LB-3, se observó continuidad espacial y morfología plana y convexa.

En relación con la tipología, se observó que la Tipología 1 fue la más frecuente (88,9 %) en el sector, siendo las tonalidades predominantes en sus respectivas macro-zonas el naranja (45,1%) y verde (37,3%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (51,3%) y púrpura (35,9%) en la macro-zona intermedia y marrón (92,3%) en la macro-zona profunda.

Cabe señalar que los tapetes mejor estructurados en cuanto a una laminación macroscópica definida visualmente se detectaron principalmente en la Laguna La Brava (LB-1), en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna La Punta, específicamente en la estación LP-24. La Laguna La Brava presentó tapetes convexos de textura superficial coriácea y tapetes planos de textura superficial gelatinosa (LB-1), de consistencia blanda y granular (LB-2).

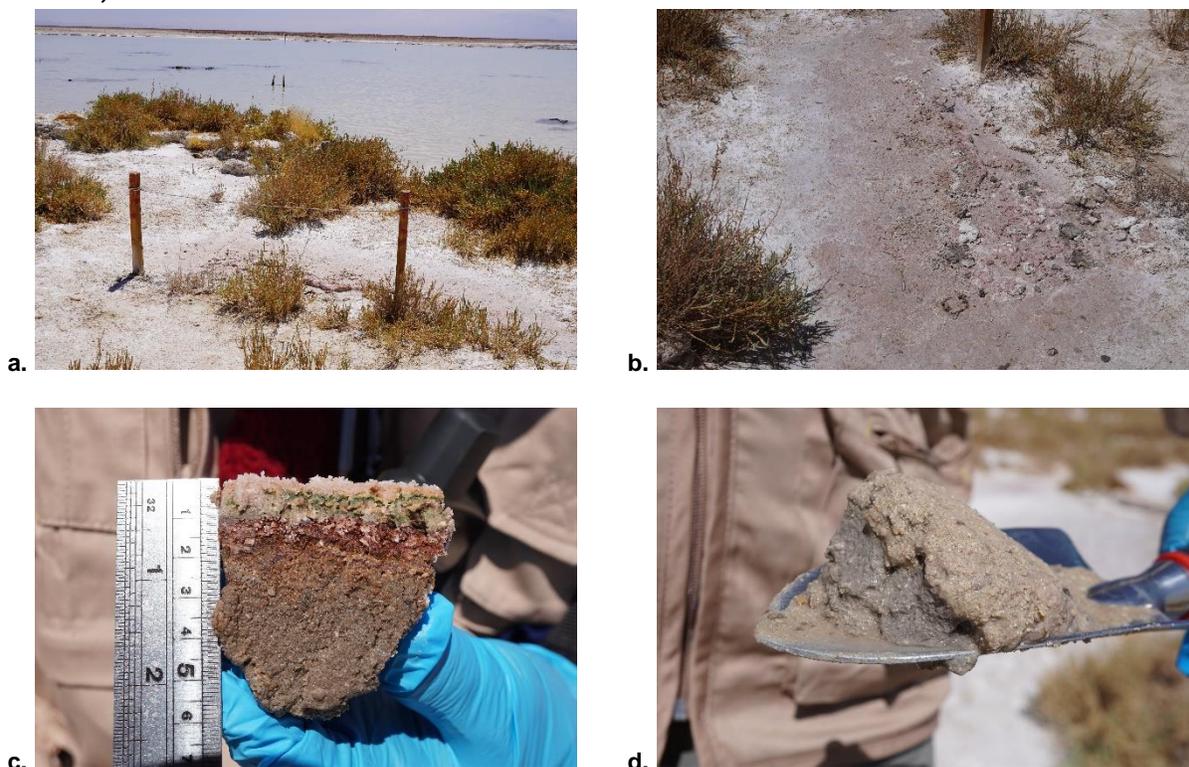
A continuación, se presentan las características de la estructura de pigmentación de los tapetes microbianos presentes en cada estación de monitoreo del Sector La Punta-La Brava.

#### *8.2.2.3.1.1 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-23*

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2305 msnm, se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa de la laguna, sin flujo y aguas transparentes. Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y levemente húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-7 a y b**).

Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y levemente húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña. Además, presenta flujos de agua superficiales y subsuperficiales. Las áreas de coloración fueron predominantemente rosado-blanquecino, con presencia de costra salina (~2 mm). En relación con la estación de monitoreo destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes (**Fotografía N° 8-7 c; Tabla N° 8-20**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-7 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-7 e; Tabla N° 8-32**).

**Fotografía N° 8-7. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, verano 2024.**





e.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, las tres muestras de tapetes presentaron las tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja y en menor medida amarillo. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó las tonalidades púrpura, seguido de blanco. En la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 13 y 22 mm, con un número de 5 capas (**Tabla N° 8-20**).

**Tabla N° 8-20. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos					
Muestra		Pigmentación			
		1	2	3	
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Costra rosada	
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja	
		Verde	Verde	Verde Amarillo	
		Blanco Púrpura	Blanco Púrpura	Púrpura	
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón	
	Total de laminaciones		5	5	5
	Espesor (mm)		22	18	13
Profundidad (cm)		0	0	0	

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.3.1.2 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-24.

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2300 msnm, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas sumergidas y helófitas en ribera, y sin presencia de huellas humanas. (**Fotografía N° 8-8 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~2 mm) y coloración blanquecino (**Fotografía N° 8-8 b y c; Tabla N° 8-21**), y (ii) una superficie coriácea, semisumergida o sumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro, la cual, en esta campaña, se encontraba desecada y los tapetes levemente embebidos (**Fotografía N° 8-8 d y e; Tabla N° 8-22**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, pero sí la presencia de biofilm rosado (**Fotografía N° 8-8 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de evaporitas (**Fotografía N° 8-8 g, Tabla N° 8-32**).

**Fotografía N° 8-8. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Muestra de sedimento; f. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, verano 2024.**





c.



d.



e.



f.



g.

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron las Tipologías 1 (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) y 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja y en menor medida, rosado o amarillo; en la zona Intermedia predominaron las tonalidades rosado y púrpura. Por otro lado, en la zona Profunda (detectada en una muestra) predominó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 12 mm, con un número entre 3 y 5 capas (**Tabla N° 8-21**).

**Tabla N° 8-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Rosado	Naranja
		Verde	Naranja	Verde
		Amarillo	Verde	Verde
	Intermedio	S/C	S/C	Rosado Púrpura
		S/C	S/C	Marrón
	Profunda	S/C	S/C	Marrón
Total de laminaciones		3	3	5
Espesor (mm)		5	7	12
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, todos los tapetes embebidos coriáceos, presentaron las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, predominó sólo la tonalidad naranja, mientras que en la Intermedia se observaron las tonalidades púrpura y rosado. En la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón y en menor medida, verde. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuaron entre 3 y 10 mm, con 4 a 6 capas. Las muestras embebidas se encontraban en contacto con el agua, pero no sumergidas (Tabla N° 8-22).

**Tabla N° 8-22. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Embebidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura
		Profunda	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	4	6
Espesor (mm)		4	3	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.3.1.3 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2307 msnm, se observó la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-9 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~2 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración principalmente blanco-rosado, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-9 b y c; Tabla N° 8-23**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosas de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-9 d y e; Tabla N° 8-24**). En esta estación se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (15,6 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, pero sí la presencia de biofilm púrpura ((**Fotografía N° 8-9 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-9 g, Tabla N° 8-32**).

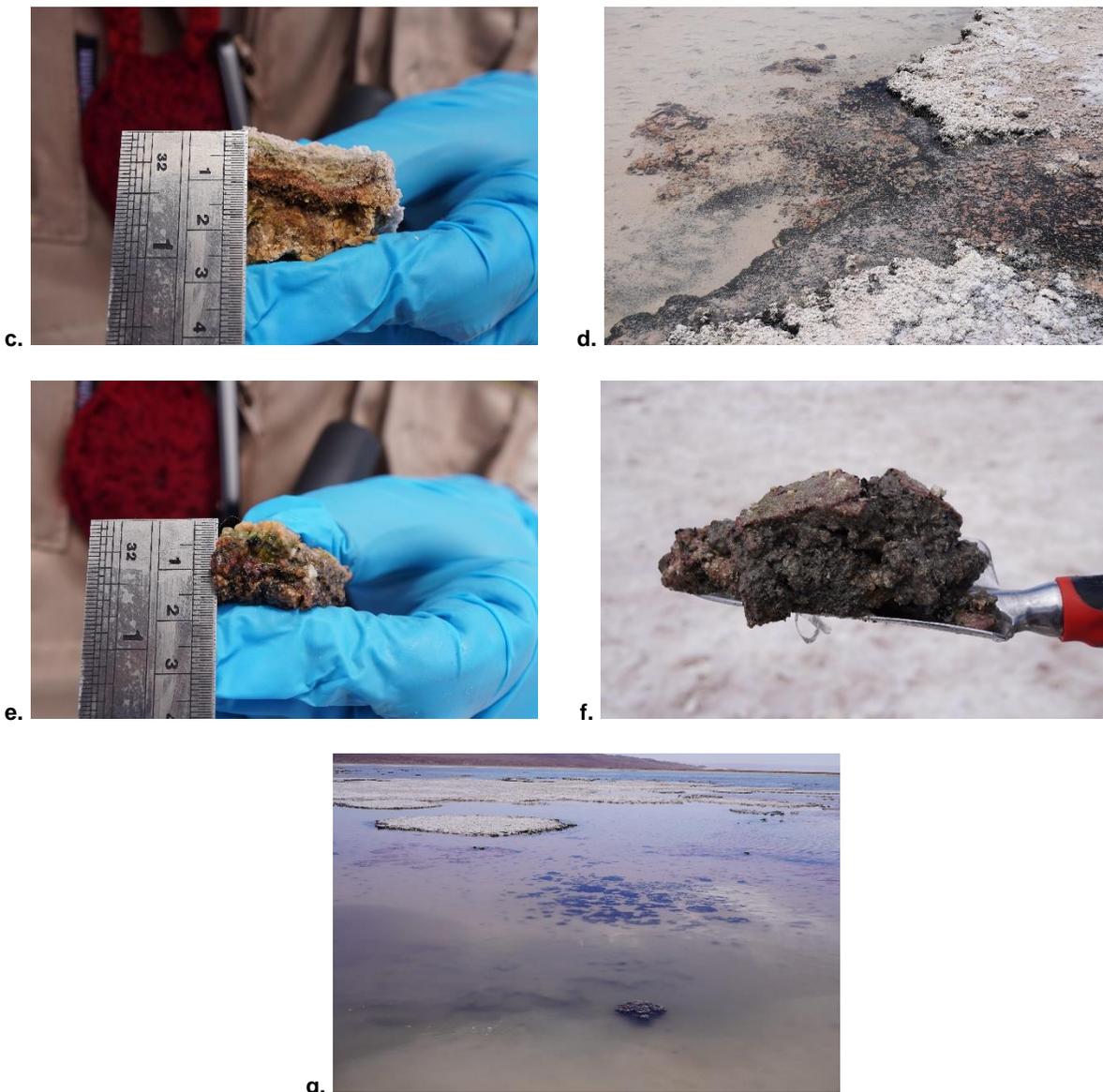
**Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, verano 2024.**



a.



b.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, todas las muestras presentaron tres macro-zonas (Tipología 2), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y naranja. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó tanto la tonalidad rosada como púrpura. Por otro lado, en la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 5 y 8 mm, con un número de entre 3 y 5 capas (**Tabla N° 8-23**).

**Tabla N° 8-23. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde		
	Intermedio	Rosado Púrpura	Púrpura	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	3	3
Espesor (mm)		5	6	8
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginosa, las tres muestras presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), correspondientes a Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada seguido de púrpura y finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón, únicamente. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 8 y 10 mm, con un número de 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 cm (tapete embebido en agua) y 1 cm (Tabla N° 8-24).

**Tabla N° 8-24. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Sumergidos Desechados				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Mucilaginoso	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
	Total de laminaciones		5	5
Espesor (mm)		10	9	8
Profundidad (cm)		1	0	0

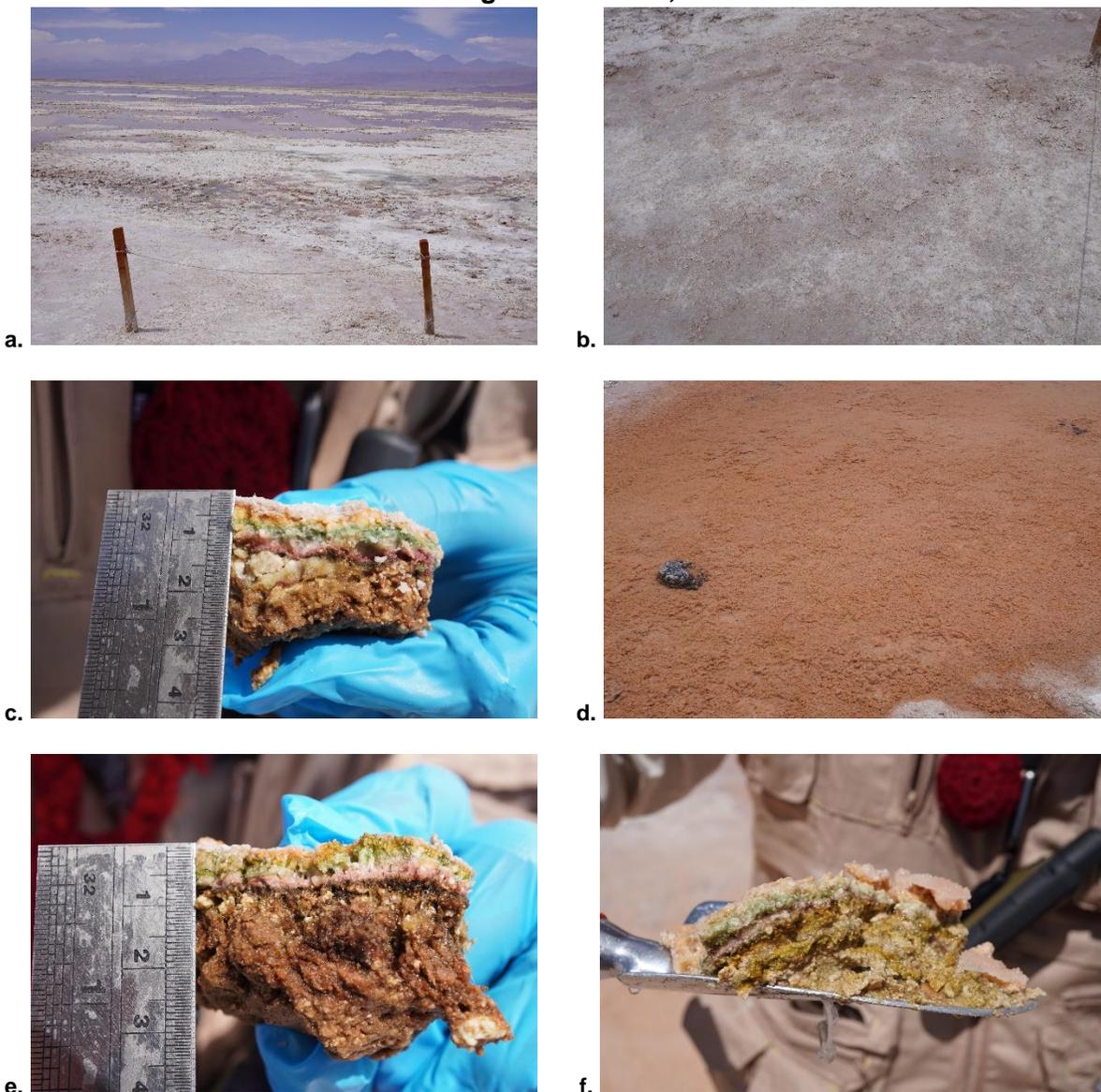
Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.2.3.1.4 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2303 msnm, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes y presencia de plantas acuáticas (**Fotografía N° 8-10 a**).

La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~3 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanquecino, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-10 b y c; Tabla N° 8-25**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras mucilaginosas, de coloración naranja y otras estructuras coriáceas recubiertas de costra salina (~3 mm) con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-10 d y e; Tabla N° 8-26**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (4,2 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-10 f**).

**Fotografía N° 8-10. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; Muestra de sedimento. Laguna La Brava, verano 2024.**



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, en todas las muestras, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja, amarillo y verde. La zona Intermedia se observó la tonalidad rosada y blanca, mientras que la zona Profunda también exhibió sólo una tonalidad, marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 7 y 11 mm, con un número de 6 capas (**Tabla N° 8-25**).

**Tabla N° 8-25. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Amarillo	Amarillo	Amarillo
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Blanco	Blanco	Blanco
		Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		6	6	6
Espesor (mm)		7	11	8
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda) en todas las muestras. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, seguido de amarillo. En la zona Intermedia, predominaron únicamente la tonalidad rosada. Finalmente, en la zona Profunda, se observó, solamente, la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 8 y 10 mm, con entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 cm (tapete embebido en agua) y 3 cm (**Tabla N° 8-26**).

**Tabla N° 8-26. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Mucilaginoso	Costra blanca	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
		Amarillo	Amarillo	
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
	Total de laminaciones		5	5
Espesor (mm)		10	8	9
Profundidad (cm)		0	0	3

Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.2.3.1.5 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3

La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava, correspondiendo a una estación de muestreo adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica de 2303 msnm, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de monitoreo presentó escasas plantas acuáticas hidrófitas (**Fotografía N° 8-11 a**).

La estación de monitoreo, se localiza en un afluente de la laguna, exhibiendo escasa vegetación acuática, y presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~2 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración rosada, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-11 b y c; Tabla N° 8-27**), y (ii) una superficie sumergida pero ubicada en el borde de la laguna, con escasas estructuras mucilaginosas de coloración naranja y una mayor predominancia de estructuras coriáceas de coloración verde oscuro, con morfología convexa sólida en su mayoría, de consistencia blanda y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-11 d y e; Tabla N° 8-28**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana y convexa de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del

sedimento bajo la columna de agua (2,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-11 f**).

**Fotografía N° 8-11. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2024.**



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, Tipología 1 con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) en dos de las muestras, y la Tipología 2 con la macro-

zona Subsuperficial e Intermedia en la muestra restante. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, mientras que, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y en menor medida, púrpura. En la zona Profunda predominó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número de 4 capas (**Tabla N° 8-27**).

**Tabla N° 8-27. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	4	4
Espesor (mm)		5	6	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, todas las muestras presentaron Tipología 1, observándose tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, seguido de amarillo, rosado o verde oscuro. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció tanto la tonalidad rosada como púrpura y en la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón, seguido de verde oscuro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 6 mm, con un número entre 5 y 7 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue de 0 cm, ya que estas se encontraban embebidas en agua (**Tabla N° 8-28**).

**Tabla N° 8-28. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Tapetes Embebidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde oscuro
		Amarillo	Verde	Rosado

Tapetes Embebidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Intermedio	Verde	Verde	Naranja
	Púrpura	Rosado	Púrpura
Profunda	Rosado	Púrpura	Rosado
	Marrón	Marrón	Verde oscuro Marrón
Total de laminaciones	6	5	7
Espesor (mm)	6	5	6
Profundidad (cm)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.2.3.1.6 Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector La Punta-La Brava)

En el sector La Punta-La Brava, en verano 2024, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3), siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde y naranja y en menor medida, amarillo, las que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que probablemente podrían corresponder a cianobacterias y microalgas (*i.e.* diatomeas) y bacterias productoras de compuestos carotenoides (Rodríguez-Aranda y Sanz Montero 2015). Por otro lado, en la macro-zona intermedia, las tonalidades fueron principalmente rosadas, seguido de púrpura y en menor medida, blanco, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-zona Profunda predominaron las capas marrón, las que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 8-29**).

**Tabla N° 8-29. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2024.**

Estación/Muestra		LP-23			LP-24 P	LP-24 C			LB-1 P			LB-1 C			LB-2 P			LB-2 C			LB-3 P		LB-2 C			
		1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	
Macrozona	Subsuperficial	Verde	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Naranja	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Amarillo			█										█	█	█	█	█	█				█		
		Rosado																								█
		Verde oscuro																								█
	Intermedia	Rosado				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Púrpura	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										█	█	█
		Blanco	█	█											█	█	█									
	Profunda	Marrón	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Negro																								
		Verde						█																		
		Verde oscuro																								█
		Gris																								

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo  
 Fuente: Elaboración propia

En laguna La Brava (LB-3), se observó tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia. En la macro-zona subsuperficial, predominaron capas verde y naranja mientras que, en la macro-zona intermedia, predominaron las tonalidades rosado y púrpura. En laguna La Punta no se observaron tapetes de Tipología 2.

Respecto a la Tipología 2, las capas verdes y naranjas observadas, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas). En tanto en la macro-zona intermedia la tonalidad predominante fue rosado y púrpura, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a las llamadas bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitioautótrofos y heterótrofos (**Tabla N° 8-30**).

**Tabla N° 8-30. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2024.**

		Estación/Muestra	LB-3 P
			1
<b>Macrozona</b>	<b>Subsuperficial</b>	Verde	
		Naranja	
		Amarillo	
		Rosado	
	<b>Intermedia</b>	Rosado	
		Púrpura	
		Blanco	
	<b>Profunda</b>	Marrón	
		Negro	
		Gris	
		Verde	
			Rosado

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo  
 Fuente: Elaboración propia

La Tipología 3 fue detectada en laguna La Punta (LP-24), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde y naranja, y en menor medida, rosado y amarillo. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (**Tabla N° 8-31**).

**Tabla N° 8-31. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2024.**

		Estación/Muestra	LP-24 P	
			1	2
<b>Macrozona</b>	<b>Subsuperficial</b>	Verde		
		Naranja		
		Amarillo		
		Rosado		

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.3.2 Sector vegas de Tilopozo

En la actual campaña verano 2024, así como en ninguna de las anteriores, en el sector vegas de Tilopozo, no se detectó la presencia de tapetes microbianos en las estaciones de muestreo TB-1, TB-2 y TB-3. Cabe destacar, que sólo en invierno 2016, se hallaron tapetes microbianos de Tipología 3.

### 8.2.2.3.3 Sector Peine

Las comunidades de tapetes microbianos en el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9, S-6A y S-5), laguna Saladita (S-10, S-11 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la presente campaña no pudieron ser monitoreados, debido a restricciones de acceso definidas para evitar perturbar el ciclo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones)**.

#### 8.2.2.4 Registro de microbialitos y evaporitas

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos en dos estaciones de monitoreo (LP-23 y LB-1) y la presencia de evaporitas en sólo una estación de monitoreo (LP-24) (Tabla N° 8-32).

**Tabla N° 8-32. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2024.**

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-5	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos	
S-6A		
S-9		
SA-25		
S-10		
S-11		
I-11		
I-17		
LP-23	+	-
LP-24	-	+
LB-1	+	-
LB-2	-	-
LB-3	-	-
TB-1	-	-
TB-2	-	-
TB-3	-	-

+: Presencia; -: Ausencia

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.5 *Parámetros físicos y químicos*

Respecto de las variables físicas y químicas en matriz agua y sedimentos se realizó un análisis en la relación que podrían presentar con la presencia de tapetes microbianos. En la actual campaña se revisará esta posible relación en el sector La Punta-La Brava. En el sector vegas de Tilopozo no se registraron tapetes microbianos, por lo que no se considera dentro del análisis de variables relevantes de calidad de agua y sedimentos. Por otra parte, la comunidad de tapetes microbianos en el Sector Peine, en la presente campaña como se mencionó anteriormente, no fue monitoreada.

En relación con las variables de calidad de agua registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2024, destacan la Conductividad eléctrica y la Salinidad presentando en general mayores registros en las lagunas La Brava respecto de La Punta, siendo mayores en las estaciones LB-1 y LB-2.

En la laguna La Brava, los valores que oscilaron entre 25.770 y 144.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en LB-3 (afluente de la laguna) y en LB-2 respectivamente. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 63.250 en LP-23 y 65.470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en LP-24 (**Figura N° 8-14 a y b**).

Cabe destacar que la presencia de agua-humedad en las estaciones de monitoreo y las concentraciones de conductividad-salinidad son de alta importancia para la presencia de tapetes microbianos. La salinidad, en tanto, presentó valores máximos en la mayoría de las estaciones de la laguna La Brava, excepto en LB-3 que presentó el valor más bajo con 16,08 g/Kg y valores intermedios en la laguna La Punta.

Por otra parte, se observaron temperaturas mayores en la columna de agua en la laguna La Brava respecto de La Punta. Los mayores registros fueron obtenidos en LB-2 y LB-3 con valores de 28,29 y 30,04 °C respectivamente (**Figura N° 8-15 a**).

El oxígeno disuelto presentó diferencias entre La Punta y La Brava, presentando concentraciones entre 2,54 mg/L y 2,18 mg/L en La Punta y de 1,30 mg/L y 5,17 mg/L en La Brava. En la laguna La Brava se observaron los menores registros, específicamente, en LB-1 y LB-2. Cabe destacar que, la diferencia observada entre lagunas se relaciona con la mayor salinidad presentada en La Brava (LB-1 y LB-2), de este modo cuando aumenta la conductividad-salinidad en la columna de agua, disminuye la solubilidad del oxígeno en ellas (**Figura N° 8-15 b**).

Respecto de la alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3$ ), en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron distintas entre estaciones de monitoreo. El mayor registro fue detectado en la laguna La Brava en la estación LB-2 con 663 mg/L, y el menor registro en la estación LB-3 con 313

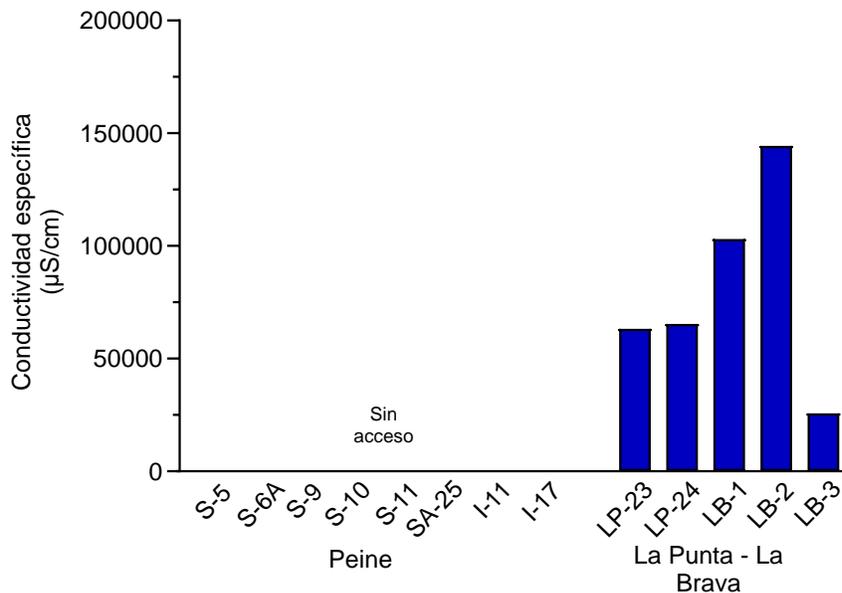
mg/L. En tanto, en la laguna La Punta (LP-23 y LP-24) se observaron valores intermedios (**Figura N° 8-16 a**).

La turbiedad por su parte presentó registros heterogéneos entre estaciones de monitoreo. El mayor y menor registro fue observado en la laguna La Punta con valores entre 5,3 UNT en la estación LP-23 y 1,6 UNT en LP-24. En tanto, en la laguna La Brava se observaron registros intermedios entre 2,5 y 3,3 UNT en las estaciones LB-2 y LB-3 respectivamente (**Figura N° 8-16 b**).

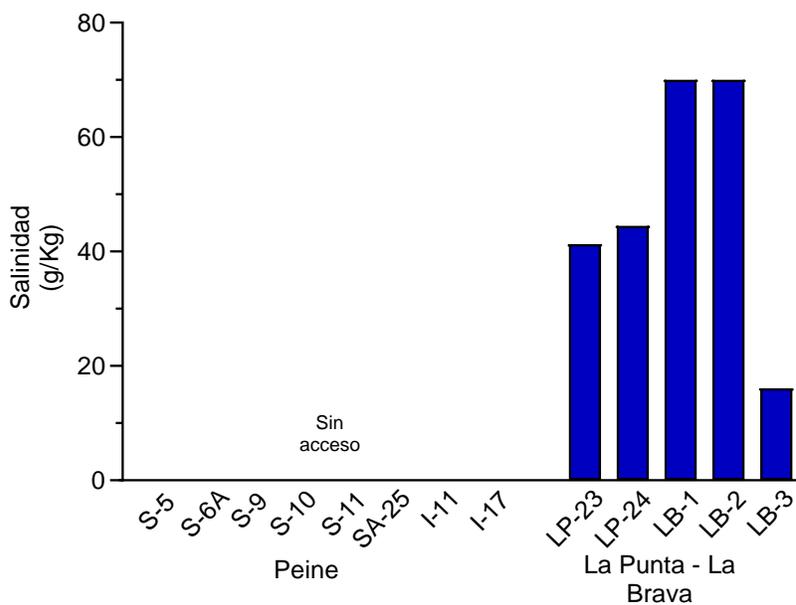
En relación con el pH, se observaron valores moderadamente alcalinos los que fluctuaron entre 7,83 y 8,31 unidades en las estaciones LB-2 (La Brava) y LP-23 (La Punta) respectivamente (**Tabla N° 8-33**).

A modo referencial, para el Salar se consignan los valores de radiación solar, obtenidos en los horarios en los que se realizó el monitoreo de cada estación. Los valores fluctuaron entre 2,224 MJ/m<sup>2</sup> en la estación LP-23 y 2,687 MJ/m<sup>2</sup> en la estación LB-2, observándose valores diferentes entre estaciones de monitoreo, horarios y entre lagunas (**Tabla N° 8-33**).

**Figura N° 8-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.**



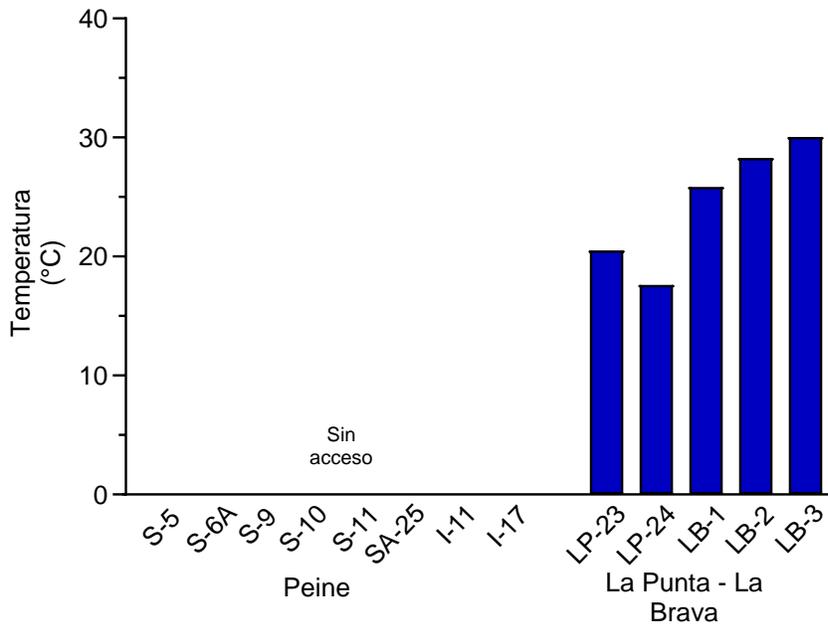
a.



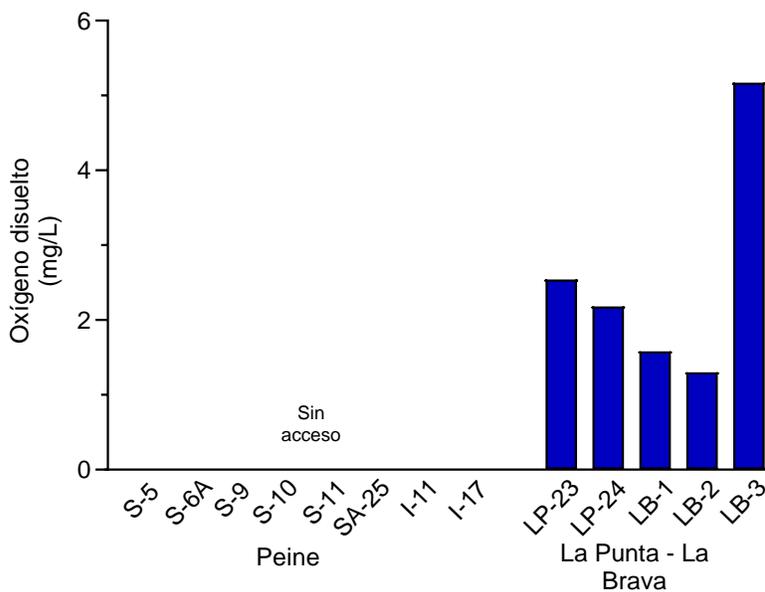
b.

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 8-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.**



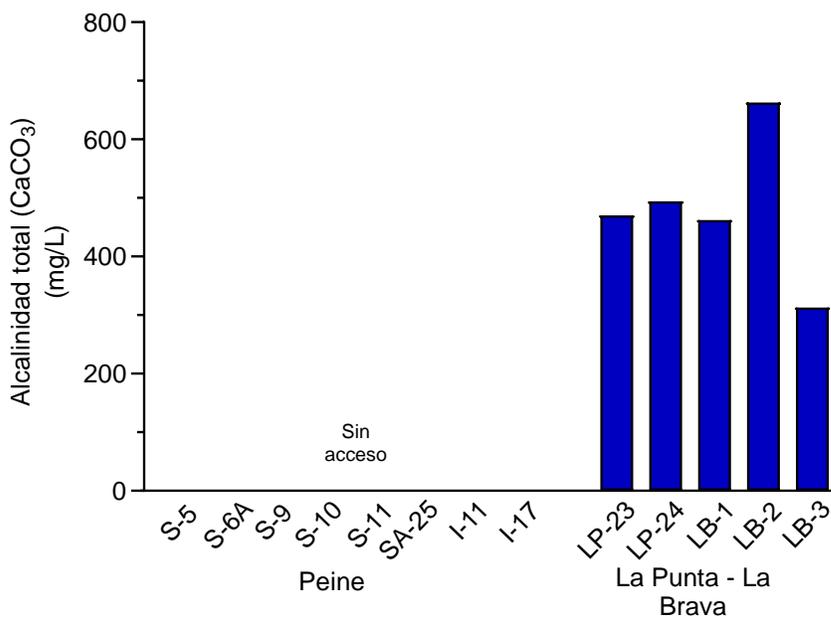
a.



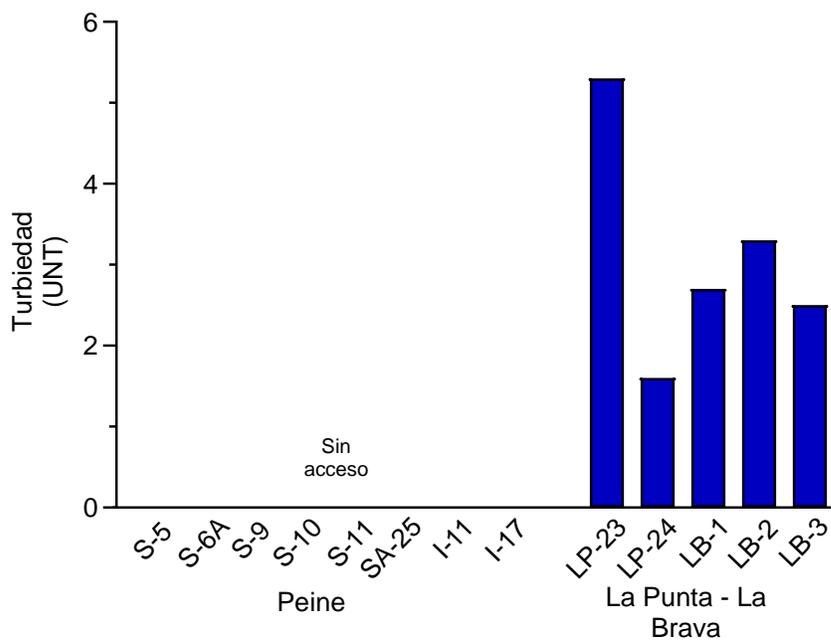
b.

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 8-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.**



c.



d.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2024, se destaca que para carbono orgánico total los registros fueron diferentes en las lagunas La Punta-La Brava, con registros que fluctuaron entre 40,89 g/Kg en LP-24 y 53,42 en LB-1. En tanto, para fósforo total no se observaron diferencias entre estaciones de monitoreo de ambos sectores, en general, presentando valores bajo el límite de detección (<0,500 mg/Kg) (**Tabla N° 8-34**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó diferencias entre las lagunas La Punta-La Brava, observándose registros entre 1,465 g/Kg en la estación LB-3 (La Brava) y 2,393 g/Kg en la estación LP-23 (La Punta). Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en la mayoría de las estaciones se registraron valores negativos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones anóxicas, con valores entre -422 mV (LP-24) y -410 mV (LB-1, LB-2 y LB-3) (**Tabla N° 8-34**).

**Tabla N° 8-33. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.**

Parámetro	Unidad	LD*	Sector Peine							Sector La Punta-La Brava					
			Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura	°C	-	Sin acceso por nidificación de flamencos							20,5	17,63	25,85	28,29	30,04	
pH	U	-								8,31	8,28	8	7,83	8,27	
Conductividad específica	µS/cm	-								63.250	65.470	103.000	144.400	25.770	
Salinidad	g/Kg	-								41,33	44,48	70,00	70,00	16,08	
Oxígeno disuelto	mg/L	-								2,54	2,18	1,58	1,3	5,17	
Turbiedad	UNT	-								5,3	1,6	2,7	3,3	2,5	
Radiación solar**	MJ/m²	-								2,224	2,672	2,394	2,687	2,445	
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	<1,2								470	494	462	663	313	

\*LD: Límite de Detección; \*\*Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Minera Albemarle  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 8-34. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2024.**

Parámetro	Unidad	LD*	Sector Peine							Sector La Punta-La Brava					
			Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	Sin acceso por nidificación de flamencos							51,74	40,89	53,42	52,9	41,88	
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500								<500	<500	<500	<500	<500	
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312								2,393	1,674	1,855	1,541	1,465	
Potencial Redox	mV	-								-418	-422	-410	-410	-410	

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.3 Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos

La RCA 21/2016 no establece límites comprometidos para la componente de tapetes microbianos, indicando en forma explícita en página 60 de 72 de la RCA: “No aplica”.

## 9 SUELO O SUSTRATO

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2023 y verano 2024, para el subcomponente ambiental suelo – sustrato.

El periodo reportado en el presente informe anual corresponde al monitoreo semestral de invierno realizado entre los 24 al 28 de octubre de 2023, llamado en adelante Monitoreo 15 (M15), como también la campaña semestral de verano, realizada entre los días 12 al 15 de marzo de 2024, denominada en adelante Monitoreo 16 (M16).

Se analiza la evolución de los parámetros estudiados para las campañas invernales y estivales de monitoreo entre 2016 y 2024 (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15 y M16). Cabe señalar, que la campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para este componente debido a las restricciones por efecto de la situación sanitaria Covid-19 a nivel nacional, al igual que la campaña invernal 2021 (M11), por razones de seguridad.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a características físicas y químicas del suelo, según los parámetros a monitorear indicado en la RCA 021/2016 del proyecto, estos son: conductividad eléctrica, salinidad, pH, nutrientes (NPK), humedad, conductividad hidráulica (permeabilidad), materia orgánica y textura.

Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada**, por encargo de ALBEMARLE LTDA., apoyados para análisis físico-químicos de las muestras de suelo, por un laboratorio que cuenta con acreditación ETFA (ALS Life Sciences), un segundo acreditado ante la Comisión Nacional de Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y del Servicio agrícola y Ganaderos (AGROLAB), y el tercero y último, que corresponde al Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile. Por su parte, el muestreo de suelos es ejecutado por la ETFA ANAM S.A.

El objetivo del seguimiento es observar y analizar la evolución de los parámetros edafológicos monitoreados, en el marco de la etapa de operación del proyecto y de acuerdo con los alcances técnicos solicitados por la RCA 021/2016.

## 9.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### 9.1.1 Área de estudio

El área de estudio se inserta en el denominado Núcleo del Salar de Atacama, el cual corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales y que corresponde aproximadamente a un 36,7% de la superficie total del salar.

Los suelos en área de estudio son muy escasos, ya que está constituida prácticamente en su totalidad por el cuerpo salino del Salar de Atacama. Se ha identificado sólo una unidad taxonómica que corresponde a suelo del tipo Entisol ubicada en la zona adyacente al salar (CADE-IDEPE 2004).

Los suelos del área de estudio muestran características que indican lixiviación diferencial durante y después de su acumulación. Lo más notable es una estratificación resultante de la disolución y redepositación de los minerales más solubles por las infrecuentes lluvias del desierto. Como resultado de esto, uno de los componentes importantes de este tipo de suelo –nitrato- se encuentra en profundidad, siendo escaso en el material superficial.

### 9.1.2 Ubicación de puntos de muestreo

Para el seguimiento se consideraron los 14 puntos de muestreo de suelo – sustrato (ver **Figura N° 9-1**), definidos en el proyecto (EIA-Adenda 5) de los cuales seis (6) se localizan según definición en el sector de Tilopozo, cuatro (4) en el sector de La Punta – La Brava, (de éstos, 3 en La Punta y 1 en La Brava), y cuatro (4) en el sector de Peine. En la **Tabla N° 9-1** se indican las coordenadas UTM de los puntos de muestreo, donde se observa una homologación de la codificación de los puntos y ajuste en su localización.

El criterio de la posición de los puntos de muestreo de la componente suelos, ha sido informado a partir del Informe Anual PMB N°1, no cambiando el objetivo, ni la cantidad de puntos de monitoreo de suelos.

El seguimiento se realiza en las mismas unidades vegetales y edafológicas indicadas en el PMB del proyecto (Anexo 1 de Adenda 5 de ALB), este criterio considera dos aspectos fundamentales: a) La presencia de vegetación y flora monitoreada en el Plan de Manejo Biótico y el tipo de suelo, respetando la distribución de los transectos del monitoreo de vegetación y flora, seleccionando siempre el sitio lo más próximo, pero considerando no intervenir el área monitoreada por el componente vegetación-flora, y b) un sitio en el cual el suelo presente características similares a aquel en el cual se encuentra la vegetación evaluada. En aquellas situaciones en las cuales el transecto de vegetación involucraba más de un tipo de suelo-vegetación, el punto de muestreo se seleccionó en función del suelo de mayor representatividad en el área y del tipo de humedal objetivo del muestreo.

Cabe señalar y considerar que, los puntos de muestreo de suelo son variables o dinámicos en el tiempo, dado que, como se describe más adelante en el numeral de método de muestreo, se extrae una muestra de una calicata y el área de extracción, queda como zona alterada, en consecuencia, las muestras de los monitoreos posteriores deben ser tomadas en sectores sin intervención antrópica, por lo que, estos puntos, se desplazan respecto a los anteriores, siendo no obstante esta distancia en terreno inferior a 1 m., esto con el fin de que la variación del suelo sea la mínima posible. Aun cuando, las coordenadas determinadas mediante navegador GPS son mayores, esto es debido al margen de error normal propio del instrumento utilizado.

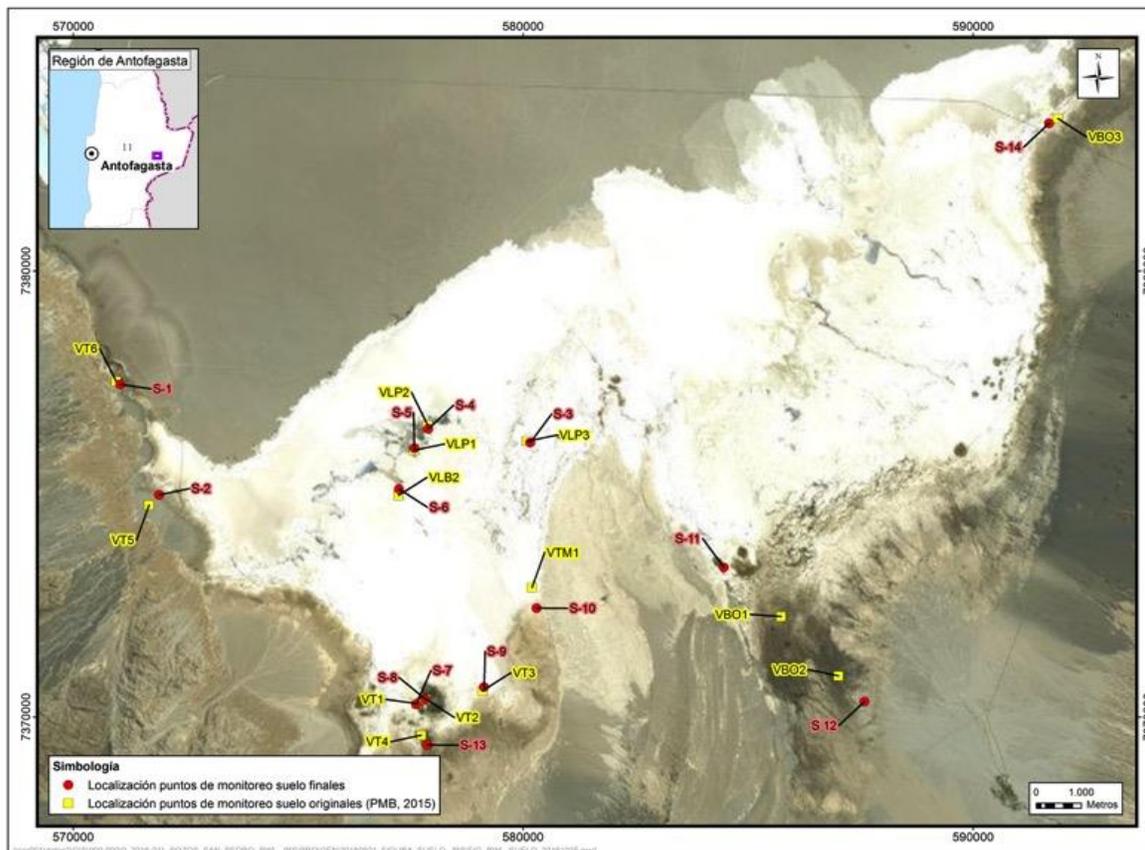
**Tabla N° 9-1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S). Puntos de muestreo suelo.**

Sector	Código Original Punto Muestreo Suelos (PMB, 2015)	ID Punto de Muestreo Suelos PMB <sup>26</sup>	Coordenadas UTM (WGS 84) posición final.	
Tilopozo	VT1	S 7	577.628	7.370.028
Tilopozo	VT2	S 8	577.831	7.370.399
Tilopozo	VT3	S 9	579.132	7.370.673
Tilopozo	VT4	S 13	577.870	7.369.378
Tilopozo	VT5	S 2	571.909	7.374.983
Tilopozo	VT6	S 1	571.048	7.377.456
La Punta	VLP1	S 5	577.586	7.376.028
La Punta	VLP2	S 4	577.889	7.376.463
La Punta	VLP3	S 3	580.159	7.376.154
La Brava	VLB2	S 6	577.240	7.375.111
Peine	VB01	S 11	584.461	7.373.360
Peine	VB02	S 12	587.586	7.370.350
Peine	VB03	S 14	591.689	7.383.312
Peine	VTM1	S 10	580.299	7.372.443

Fuente: Elaboración Propia

<sup>26</sup> En cada punto de muestreo se toman dos muestras S N-1 y S N-2, colectando la primera en superficial y la segunda en profundidad

**Figura N° 9-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.**



Fuente: Elaboración Propia

### 9.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

En la **Tabla N° 9-2**, se presentan los parámetros a caracterizar para evaluar el estado y evolución del componente suelo, de acuerdo con los compromisos adquiridos.

**Tabla N° 9-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo.**

Parámetro	Unidad medida
pH	Unidades de pH
Conductividad eléctrica	μS/cm
Materia orgánica	%
Nitrógeno (N)	mg/kg
Fósforo (P)	mg/kg
Potasio (K)	mg/kg

Parámetro	Unidad medida
Humedad	%
Conductividad hidráulica (permeabilidad)" k"	cm/hr
Textura (Soil Survey Staff.)	---
Salinidad	mg/kg

Durante la toma de muestras de suelos, en caso de interceptar el nivel freático, se registra su profundidad.

#### 9.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control

##### 9.1.4.1 Metodología *in situ*

En terreno, el muestreo lo realiza a ETFA ANAM S.A., donde en cada uno de los puntos de muestreo, se realizan calicatas cuya profundidad varía en función de la homogeneidad del horizonte a muestrear, con una profundidad máxima alcanzada o de trabajo de 95 cm, tanto para el monitoreo de invierno (M15) y de verano (M16).

Cabe destacar que, aun cuando en la metodología original indicada en el Plan de Manejo Biótico, se definían dos profundidades de muestreo (i.e. una primera muestra a los 30 cm y una segunda a los 60 cm), se estimó según juicio experto, en terreno y en observación de las calicatas, que esto último podría inducir a que se tomaran dos muestras del mismo estrato u horizonte, o que se dejara de muestrear estratos u horizontes relevantes en el comportamiento del suelo para el desarrollo de la vegetación. Por lo tanto, se efectúa una delimitación de los horizontes o estratos del perfil y se toma la muestra en aquellos suelos que presentan un desarrollo pedogenético. Esto determina que en algunos casos las muestras son tomadas a diferentes profundidades, pero manteniendo el número de 2 muestras por calicata.

Una vez definidos los horizontes o estratos en el perfil de suelo, se procede a extraer las muestras de suelos (aproximadamente 500 gr) a dos profundidades diferentes en cada punto de muestreo y manteniendo dos muestras por punto (horizonte subsuperficial y horizonte inferior). Luego, éstas son etiquetadas y embaladas adecuadamente según procedimientos estándares y enviadas los respectivos laboratorios. Durante la realización del muestreo en terreno, se registra la ausencia o presencia de nivel freático. Si se verifica la presencia de nivel freático, se registra su profundidad. Se aclara que dicho registro de nivel freático no forma parte del monitoreo de parámetros compromisos ante la SMA, por lo que los resultados de este tienen sólo carácter de información complementaria para caracterización de suelos.

Las muestras para los análisis de nitrógeno y salinidad son enviadas a AGROLAB (No requiere laboratorio ETFA), mientras que, para los análisis de conductividad eléctrica, pH, fósforo, potasio, textura, humedad y materia orgánica las muestras son remitidas a la ETFA ALS Life

Sciences dado que corresponden a parámetros que deben contar con autorización por parte de la SMA.

Para el caso de la conductividad hidráulica (No requiere ETFA), estas muestras son enviadas al laboratorio de física de suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile, al igual que en monitoreos anteriores.

Para el análisis de conductividad hidráulica - permeabilidad (metodología de permeámetro de carga constante) se toman 10 muestras por punto de muestreo, correspondiendo a cinco (5) muestras en cada profundidad (una con cuatro repeticiones), mediante un tubo de PVC de un diámetro y longitud de 5 cm. Este volumen de suelo es extraído de manera tal que no se afecte la densidad de las muestras, es decir, manteniendo las condiciones originales de terreno.

#### 9.1.4.2 Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de suelo del monitoreo de invierno 2023 (M15) y verano 2024 (M16) se realizaron en tres laboratorios; el primero corresponde a ALS Life Sciences Chile, laboratorio que se encuentra acreditado como ETFA. Los otros dos laboratorios, que no requieren ser ETFA, dado que las variables analizadas aún no están acreditadas como exigencia de ETFA,<sup>27</sup> son el laboratorio de física de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile (para permeabilidad) y AGROLAB (para N disponible y salinidad). Este último laboratorio, que es específico para análisis de suelo, se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (**Ver Anexo Acreditaciones SMA empresas ETFAs y Anexo 1 Suelos o Sustrato**).

En la **Tabla N° 9-3**, se indican las metodologías utilizadas por los laboratorios para determinar los distintos parámetros evaluados en este subcomponente.

**Tabla N° 9-3. Parámetros evaluados y método de análisis para monitoreos M15 y M16. Componente Suelo.**

PARÁMETRO	LABORATORIO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Conductividad eléctrica (μS/cm)	ALS (ETFAs)	QWI-IO-CE-01 Emisión B mod. 6 QWI-IO-LIXI-01 Emisión B mod. 3 método
pH	ALS (ETFAs)	QWI-IO-pH-01 Emisión B mod. 3 QWI-IO-LIXI-01 Emisión B mod. 3
Materia orgánica (%)	ALS (ETFAs)	QWI-ORG-MORG-01 (Issue A Modification 2).
Humedad (%)	ALS(ETFAs)	QWI-IO-Humedad-01 (Issue B Modification 4).
Fósforo* (mg/kg)	ALS (ETFAs)	CNA 6.1

<sup>27</sup> Revisión del listado ETFAs 6 de marzo 2023

PARÁMETRO	LABORATORIO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Potasio* (mg/kg)	ALS (ETFA)	SM 3120 B Ed.23
Nitrógeno *(mg/kg)	AGROLAB	Digestión Kjeldahl modificada. Procedimiento de CNA - Método 14.1-N(1)
Conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h)	Fac. Agronomía - U. de Chile	Permeámetro de carga constante
Salinidad (mg/l base seca)	AGROLAB	Extracto de saturación y determinación por espectrofotometría de absorción atómica con lantano. Procedimiento de CNA - Método 4.2-Ca, Mg, K, Na
Textura	ALS (ETFA)	QWI-IO-TEXT-01 (Issue A Modification 0).

\* Para N, P, K, corresponde a concentraciones disponibles, no totales. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se listan los cambios de laboratorio que para todo el período de seguimiento del PMB, para los siguientes parámetros y monitoreos, lo que debe ser considerado en el análisis de resultados.

- Conductividad eléctrica y pH: en M2 pasan de DICTUC a ALS Life Sciences Chile y luego permanecen sin cambios.
- Salinidad: en M2 pasan de DICTUC a AGROLAB y luego permanece sin cambios.
- Materia orgánica: en M2 pasa de DICTUC a SGS; en M7 pasa de SGS a ANAM; y en M13 pasa a ALS Life Sciences Chile.
- Nitrógeno disponible: en M7 pasa de SGS a AGROLAB.
- Fosforo y Potasio disponibles: en M7 pasan de SGS a ANAM y en M14 pasan a ALS Life Sciences Chile.
- Humedad: en M7 pasa de SGS a ANAM; y en M13 pasa a ALS Life Sciences Chile
- Textura: en M2 pasa de SGS a AGROLAB y en M13 pasa de AGROLAB a ALS Life Sciences Chile.
- Conductividad hidráulica permanece sin cambios.

#### **9.1.4.3 Análisis de resultados**

Finalmente, se realiza el análisis en gabinete, donde se procesan los datos de laboratorio y se comparan con los rangos (de referencia) establecidos para el monitoreo edáfico.

#### **9.1.4.4 Materiales y equipos utilizados**

Los materiales y/o equipos utilizados en el monitoreo, para el muestreo, son:

- Pala
- Picota

- Chuzo
- Guantes
- Cuchillo
- Pala jardinera
- Espátula
- Bolsas de plástico
- Tubos de PVC

El transporte de las muestras a los laboratorios se realizó en cajas de plástico, siendo enviadas vía transporte terrestre.

#### **9.1.5 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro**

El periodo reportado en el presente informe anual corresponde al monitoreo semestral de invierno realizado entre los 24 al 28 de octubre de 2023, llamado en adelante Monitoreo 15 (M15), como también la campaña semestral de verano, realizada entre los días 12 al 15 de marzo de 2024, denominada en adelante Monitoreo 16 (M16).

## 9.2 RESULTADOS

### 9.2.1 Resultados campaña de invierno 2023 (M15)

A continuación, se presentan los resultados agrupados de acuerdo con el tipo de análisis y toma de datos desarrollados. Los resultados se ordenan por sector y luego por estrata dentro de cada Punto de Muestreo.

- Conductividad Eléctrica, Salinidad, pH
- Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)
- Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático.

#### 9.2.1.1 Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Eléctrica**, **Salinidad** y **pH**. Monitoreo Invierno 2023, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto (ej. S 3-1 y S 3-2).

**Tabla N° 9-4. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Invierno 2023.**

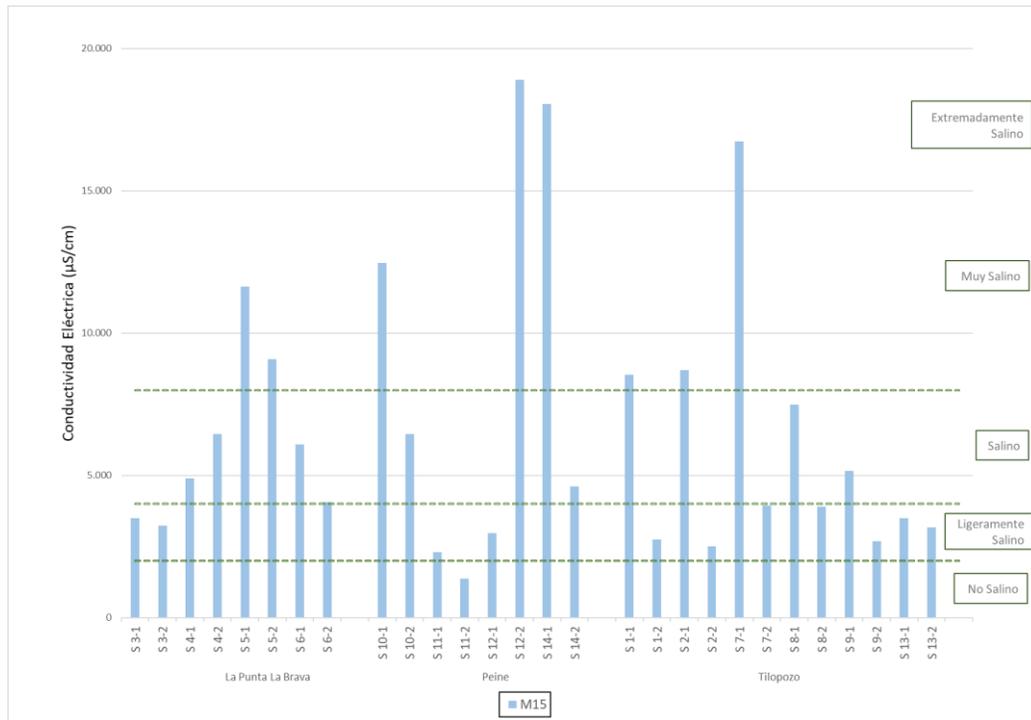
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad eléctrica		Salinidad	pH	
		Valor (µS/cm)	Categoría	Valor (mg/l)	Valor	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	3.510	Ligeramente Salino	16.958	8,3	Moderadamente básico
	S 3-2	3.234	Ligeramente Salino	15.389	8,4	Moderadamente básico
	S 4-1	4.900	Salino	30.420	9,1	Alcalino
	S 4-2	6.456	Salino	23.244	8,4	Moderadamente básico
	S 5-1	11.640	Muy salino	77.260	8,7	Ligeramente alcalino
	S 5-2	9.095	Muy salino	28.353	8,1	Moderadamente básico
	S 6-1	6.098	Salino	23.269	8,2	Moderadamente básico
	S 6-2	4.060	Salino	24.895	8,5	Moderadamente básico
Peine	S 10-1	12.470	Muy salino	169.001	9	Ligeramente alcalino
	S 10-2	6.460	Salino	45.769	8,5	Ligeramente alcalino
	S 11-1	2.305	Ligeramente Salino	12.491	8,3	Moderadamente básico
	S 11-2	1.371	No Salino	6.194	8,6	Ligeramente alcalino
	S 12-1	2.970	Ligeramente Salino	13.130	8,4	Moderadamente básico
	S 12-2	18.910	Extremadamente Salino	39.272	8,3	Moderadamente básico
	S 14-1	18.060	Extremadamente Salino	107.363	8,4	Moderadamente básico
	S 14-2	4.622	Salino	11.424	8,1	Moderadamente básico

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad eléctrica		Salinidad	pH	
		Valor (µS/cm)	Categoría	Valor (mg/lit)	Valor	Categoría
Tilopozo	S 1-1	8.540	Muy salino	44.007	8,4	Moderadamente básico
	S 1-2	2.743	Ligeramente Salino	19.279	8,9	Ligeramente alcalino
	S 2-1	8.710	Muy salino	23.318	8,5	Ligeramente alcalino
	S 2-2	2.499	Ligeramente Salino	12.985	8,3	Moderadamente básico
	S 7-1	16.740	Extremadamente Salino	78.377	8,3	Moderadamente básico
	S 7-2	3.945	Ligeramente Salino	18.070	8,6	Ligeramente alcalino
	S 8-1	7.492	Salino	20.704	8,1	Moderadamente básico
	S 8-2	3.910	Ligeramente Salino	10.694	8,1	Moderadamente básico
	S 9-1	5.160	Salino	17.539	8,3	Moderadamente básico
	S 9-2	2.693	Ligeramente Salino	12.631	8,5	Ligeramente alcalino
	S 13-1	3.495	Ligeramente Salino	10.567	8,5	Moderadamente básico
	S 13-2	3.178	Ligeramente Salino	6.945	8,2	Moderadamente básico

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1\_Suelos\_Vol 1\_PMB\_Anuar N8.

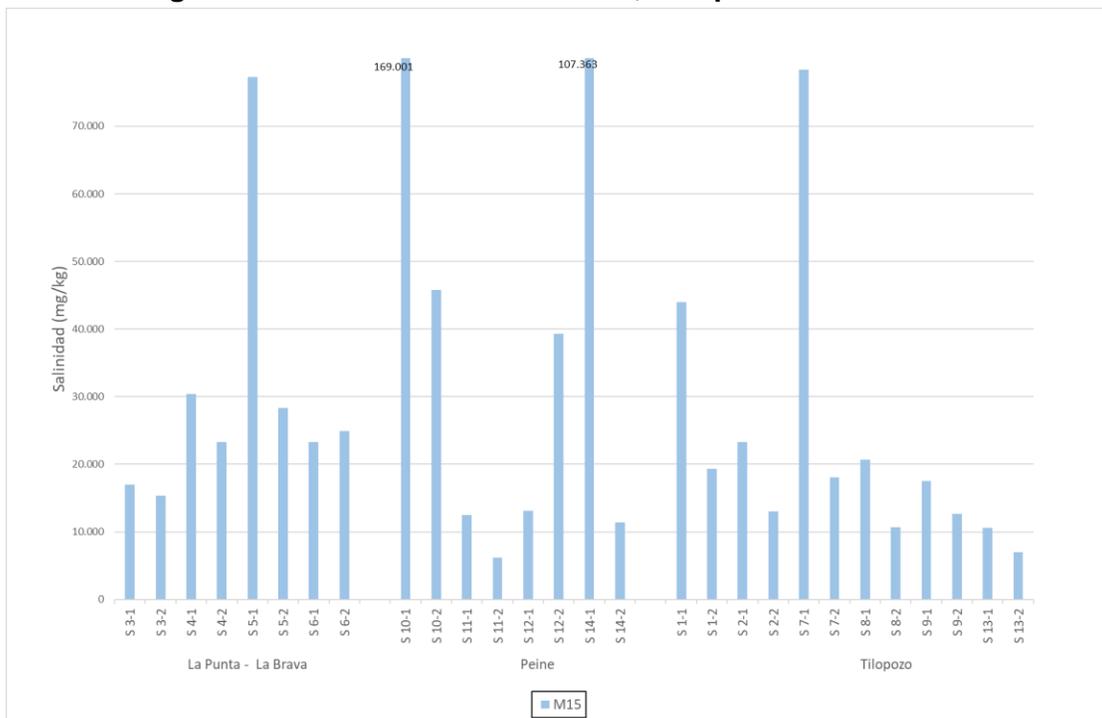
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-2. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Invierno M15.**



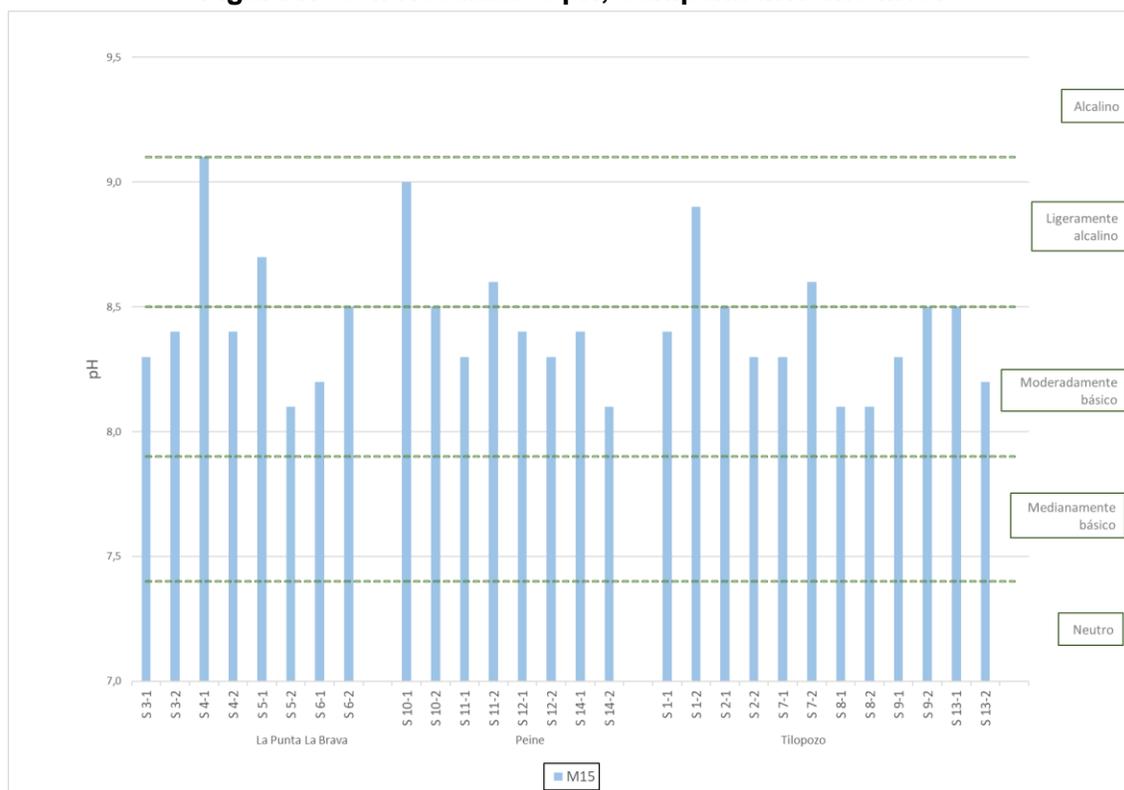
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-3. Resultados Salinidad, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-4. Resultados pH, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

**9.2.1.2 Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Materia Orgánica, Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles** para el Monitoreo Invierno 2023, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto.

**Tabla N° 9-5. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Invierno 2023 (M15).**

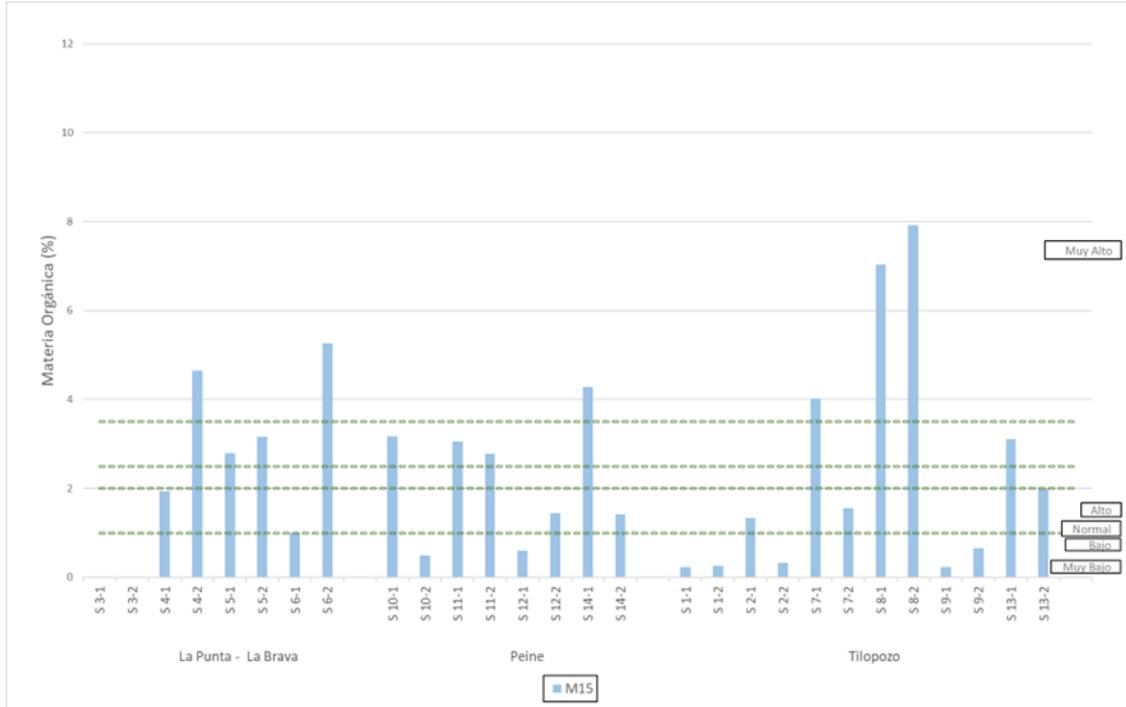
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	0,1	Muy bajo	63	Muy alto
	S 3-2	0,1	Muy bajo	119	Muy alto
	S 4-1	1,9	Bajo	118	Muy alto
	S 4-2	4,7	Muy alto	125	Muy alto
	S 5-1	2,8	Alto	152	Muy alto

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
	S 5-2	3,2	Alto	104	Muy alto
	S 6-1	1,0	Bajo	115	Muy alto
	S 6-2	5,3	Muy alto	198	Muy alto
Peine	S 10-1	3,2	Alto	171	Muy alto
	S 10-2	0,5	Muy bajo	128	Muy alto
	S 11-1	3,1	Alto	119	Muy alto
	S 11-2	2,8	Alto	98	Muy alto
	S 12-1	0,6	Muy bajo	94	Muy alto
	S 12-2	1,4	Bajo	121	Muy alto
	S 14-1	4,3	Muy alto	115	Muy alto
S 14-2	1,4	Bajo	93	Muy alto	
Tilopozo	S 1-1	0,2	Muy bajo	88	Muy alto
	S 1-2	0,3	Muy bajo	95	Muy alto
	S 2-1	1,3	Bajo	91	Muy alto
	S 2-2	0,3	Muy bajo	85	Muy alto
	S 7-1	4,0	Muy alto	153	Muy alto
	S 7-2	1,6	Bajo	102	Muy alto
	S 8-1	7,0	Muy alto	118	Muy alto
	S 8-2	7,9	Muy alto	98	Muy alto
	S 9-1	0,2	Muy bajo	105	Muy alto
	S 9-2	0,7	Muy bajo	89	Muy alto
	S 13-1	3,1	Alto	77	Muy alto
	S 13-2	2,0	Bajo	78	Muy alto

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1\_Suelos\_Vol 1\_PMB\_Anuar N8.

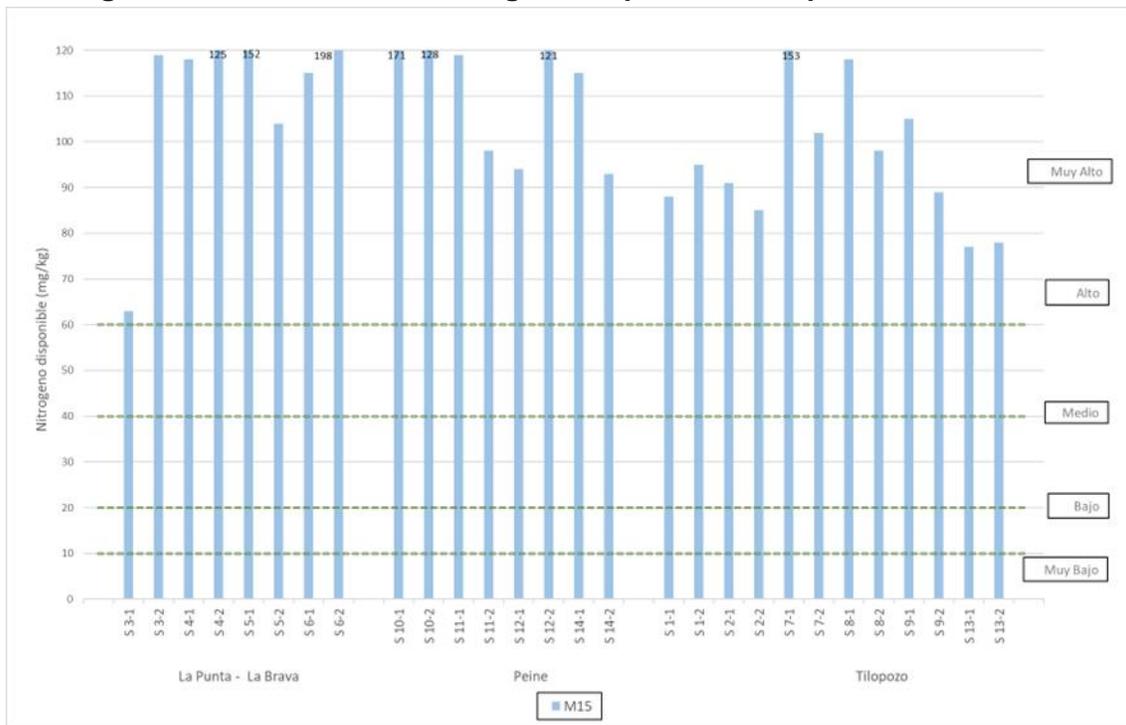
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-5. Resultados Materia Orgánica, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-6. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

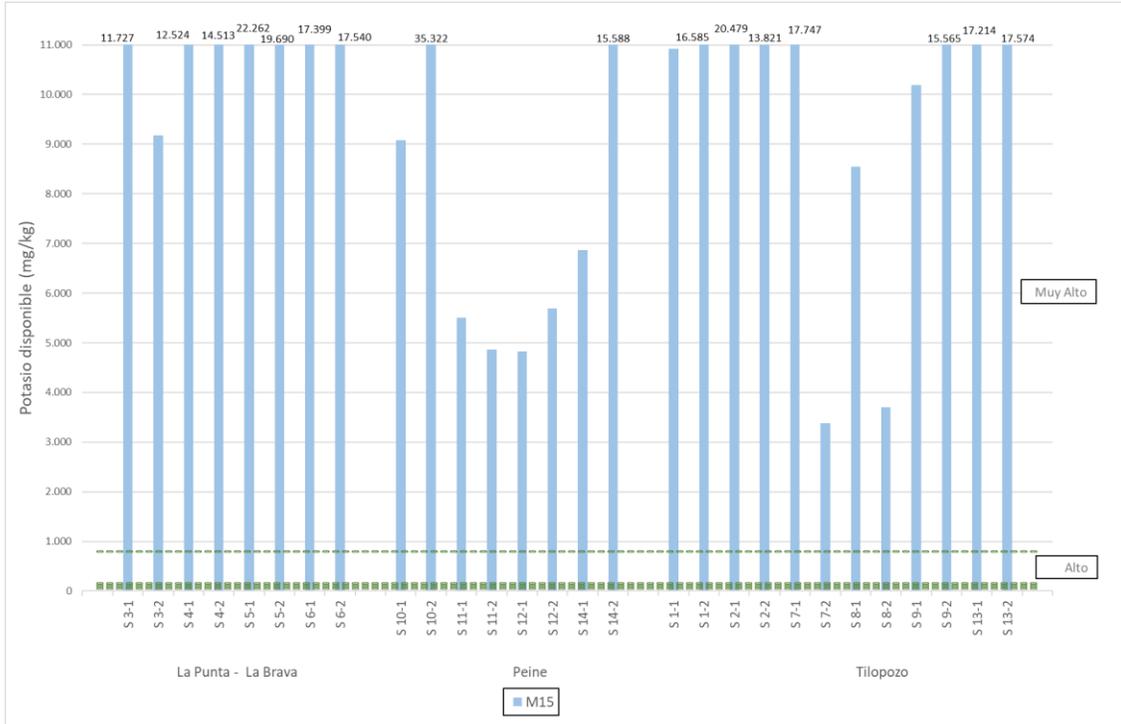
**Tabla N° 9-6. Potasio y Fósforo disponibles. Invierno 2023 (M15).**

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Potasio disponible		Fósforo disponible	
		Valor (mg/kg)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	11.727	Alto	34,2	Muy alto
	S 3-2	9.174	Alto	20,7	Alto
	S 4-1	12.524	Alto	12,8	Medio
	S 4-2	14.513	Alto	21,8	Alto
	S 5-1	22.262	Alto	17,8	Medio
	S 5-2	19.690	Alto	15,3	Medio
	S 6-1	17.399	Alto	14,9	Medio
	S 6-2	17.540	Alto	38,1	Muy alto
Peine	S 10-1	9.084	Alto	16,1	Medio
	S 10-2	35.322	Alto	32,3	Muy alto
	S 11-1	5.501	Alto	8,9	Bajo
	S 11-2	4.863	Alto	36,9	Muy alto
	S 12-1	4.831	Alto	9,3	Bajo
	S 12-2	5.691	Alto	11,1	Medio
	S 14-1	6.862	Alto	9,6	Bajo
	S 14-2	15.588	Alto	23,9	Alto
Tilopozo	S 1-1	10.916	Alto	12,2	Medio
	S 1-2	16.585	Alto	9,1	Bajo
	S 2-1	20.479	Alto	10,1	Medio
	S 2-2	13.821	Alto	11,6	Medio
	S 7-1	17.747	Alto	11,7	Medio
	S 7-2	3.378	Alto	19,6	Medio
	S 8-1	8.546	Alto	19,7	Medio
	S 8-2	3.704	Alto	21,8	Alto
	S 9-1	10.192	Alto	24,2	Alto
	S 9-2	15.565	Alto	29,9	Alto
	S 13-1	17.214	Alto	7,3	Bajo
	S 13-2	17.574	Alto	13,8	Medio

. Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1 Suelos\_Vol 1\_PMB\_Semestral M16\_220724\_REV0.

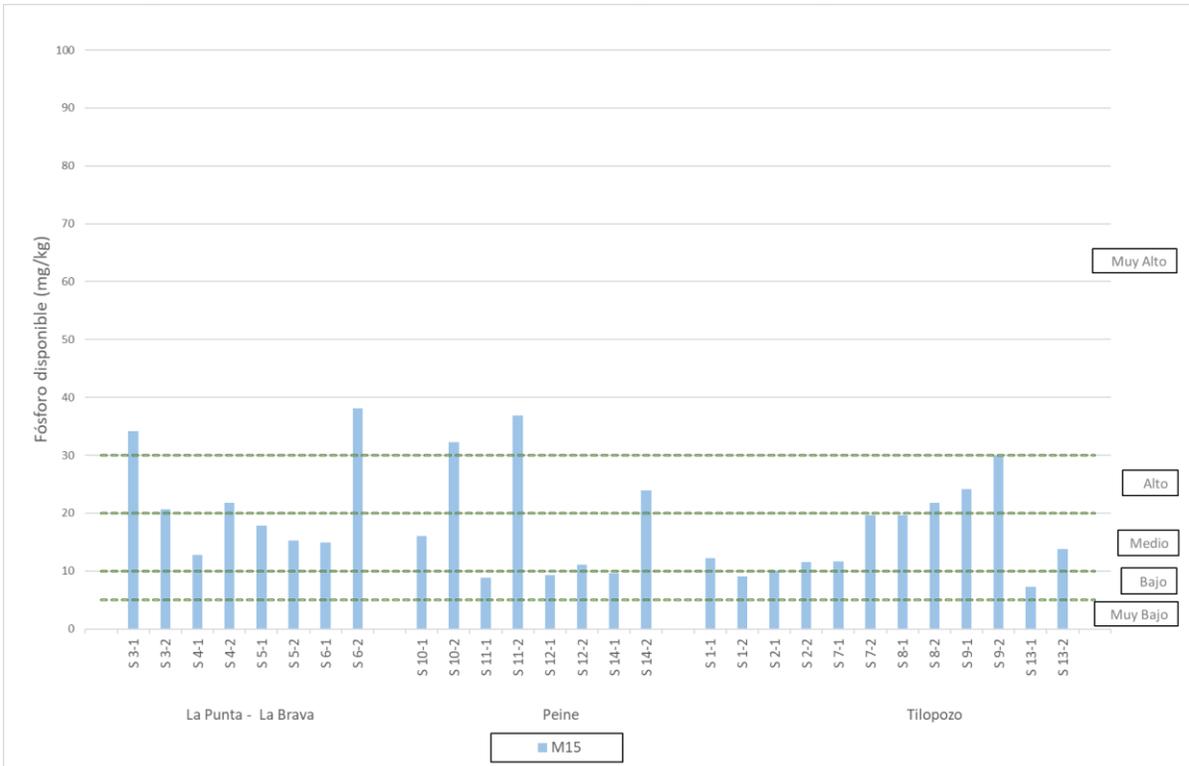
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-7. Resultados Potasio disponible, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-8. Resultados Fósforo disponible, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 9.2.1.3 Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático** disponibles para el Monitoreo Invierno 2023, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto, excepto para Nivel freático, que presenta una medida por cada punto de muestreo.

**Tabla N° 9-7. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Invierno 2023.**

Sector	Punto de Muestreo o - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad Valor (%)	Clase textural		Nivel Freático Profundidad (cm)
		Valor (cm/hr)	Categoría		Clase (*)	Categoría	
La Punta -La Brava	S 3-1	1,9	Moderadamente alta	63,82	A	Fina	60
	S 3-2	63,5	Muy alta	68,59	Aa	Fina	
	S 4-1	28,4	Alta	35,3	A	Fina	21
	S 4-2	8,8	Alta	52,61	Aa	Fina	
	S 5-1	183,9	Muy alta	47,69	A	Fina	9
	S 5-2	10,7	Alta	50,15	Aa	Fina	
	S 6-1	202,6	Muy alta	59,84	Aa	Fina	35
	S 6-2	449,6	Muy alta	77,53	Aa	Fina	
Peine	S 10-1	843,8	Muy alta	19,65	FaA	Moderadamente fina	95
	S 10-2	41,3	Muy alta	38,76	A	Fina	
	S 11-1	367,1	Muy alta	63,31	Aa	Fina	48
	S 11-2	10,4	Alta	54,52	Aa	Fina	
	S 12-1	45	Muy alta	0,59	FAa	Moderadamente fina	Sin nivel
	S 12-2	172	Muy alta	9,57	FA	Moderadamente fina	
	S 14-1	1673,4	Muy alta	23,08	Aa	Fina	34
	S 14-2	47,7	Muy alta	60,54	FAa	Moderadamente fina	
Tilopozo	S 1-1	10,3	Alta	3,65	A	Fina	Sin nivel
	S 1-2	4,1	Alta	18,53	A	Fina	
	S 2-1	608,2	Muy alta	13,39	FAL	Moderadamente fina	Sin nivel
	S 2-2	15,2	Alta	18,52	FAL	Moderadamente fina	
	S 7-1	608,6	Muy alta	50,2	A	Fina	90
	S 7-2	44,3	Muy alta	44,37	A	Fina	
	S 8-1	1297	Muy alta	52,01	A	Fina	63

Sector	Punto de Muestra o - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad	Clase textural		Nivel Freático
		Valor (cm/hr)	Categoría		Valor (%)	Clase (*)	
	S 8-2	345	Muy alta	54,96	A	Fina	
	S 9-1	15,7	Alta	75,24	FAa	Moderadamente fina	57
	S 9-2	598,7	Muy alta	53,83	Aa	Fina	
	S 13-1	574,8	Muy alta	25,29	F	Media	75
	S 13-2	168,2	Muy alta	31,43	A	Fina	

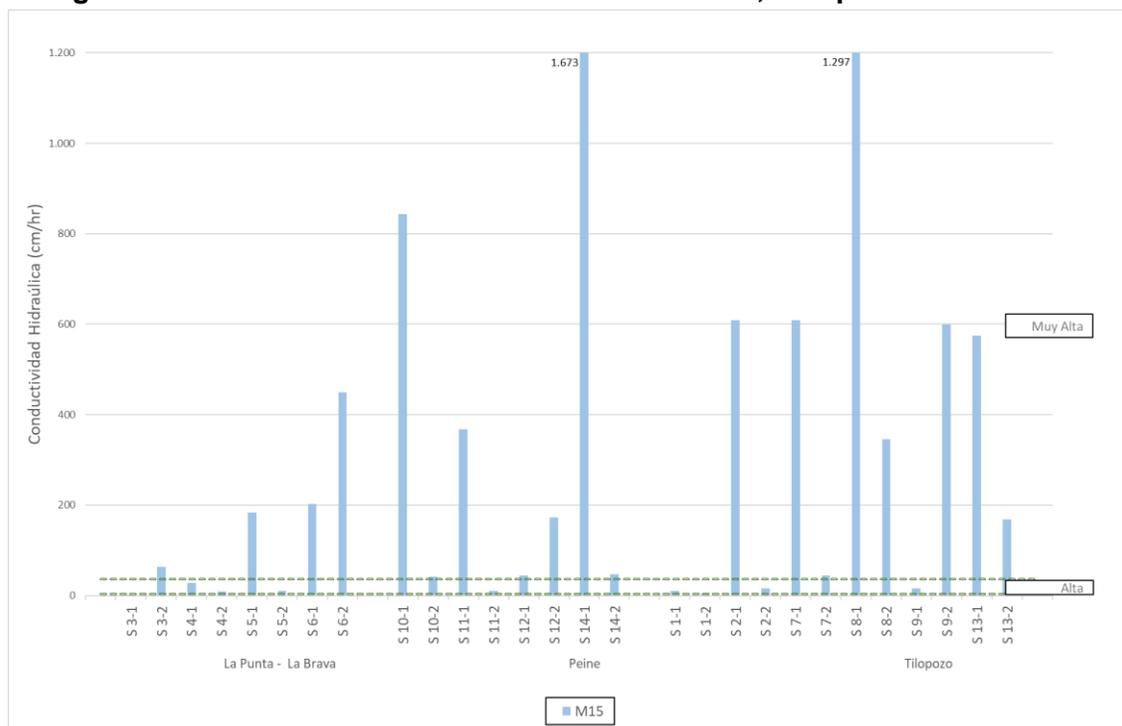
Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio en Anexo 1\_Suelos\_Vol 1\_PMB\_Anuar N8. (\*) Ver código en Tabla siguiente.

**Tabla N° 9-8. Código textura.**

a	Arenosa	Fa	Franco arenosa
A	Arcillosa	FAa	Franco arcillo arenosa
aF	Areno francosa	FAL	Franco arcillo limosa
F	Franca	FL	Franco limosa
FA	Franco arcillosa	L	Limosa
Aa	Arcillo arenosa		

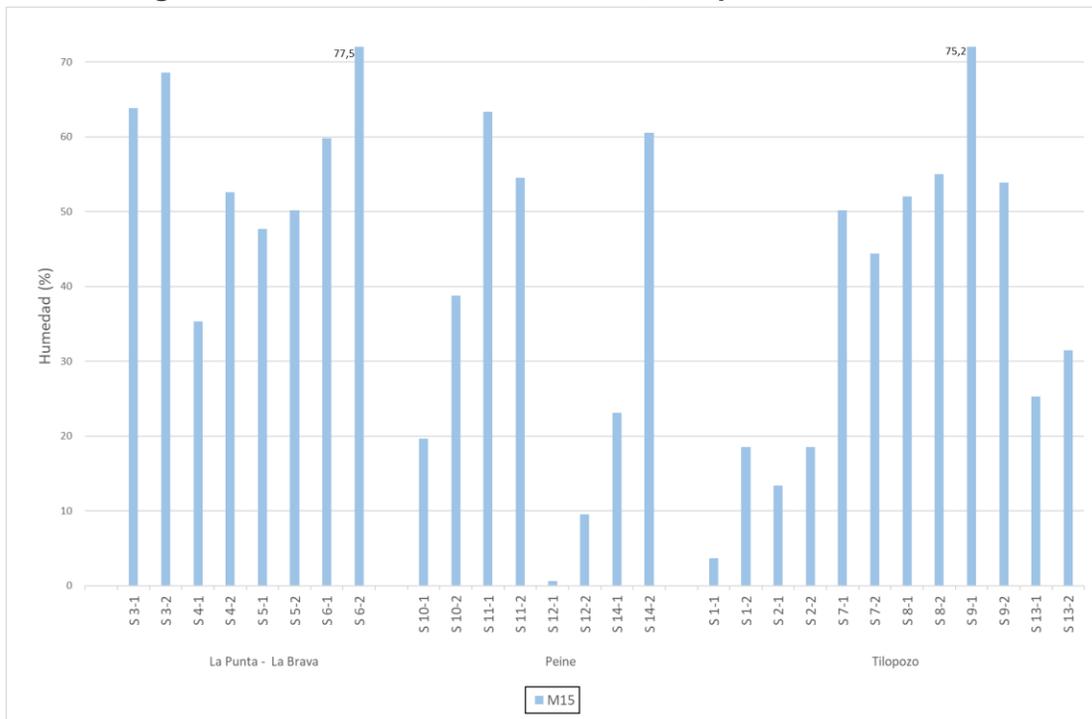
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-9. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-10. Resultados Humedad, Campaña Invierno M15.**



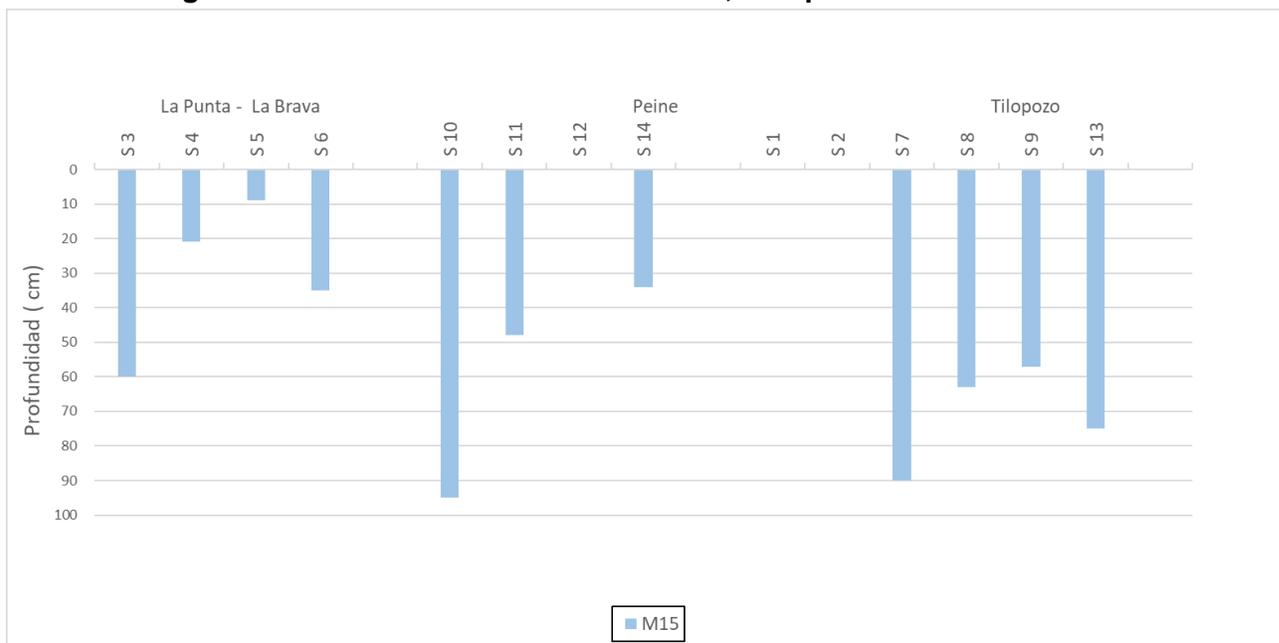
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-11. Resultados Clase textural, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-12. Resultados Nivel Freático, Campaña Invierno M15.**



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

## 9.2.2 Resultados campaña de verano 2024 (M16)

A continuación, se presentan los resultados agrupados de acuerdo con el tipo de análisis y toma de datos desarrollados. Los resultados se ordenan por sector y luego por estrata dentro de cada Punto de Muestreo.

- Conductividad Eléctrica, Salinidad, pH
- Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)
- Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático.

### 9.2.2.1 Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Eléctrica**, **Salinidad** y **pH**. Monitoreo Verano 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto (ej. S 3-1 y S 3-2).

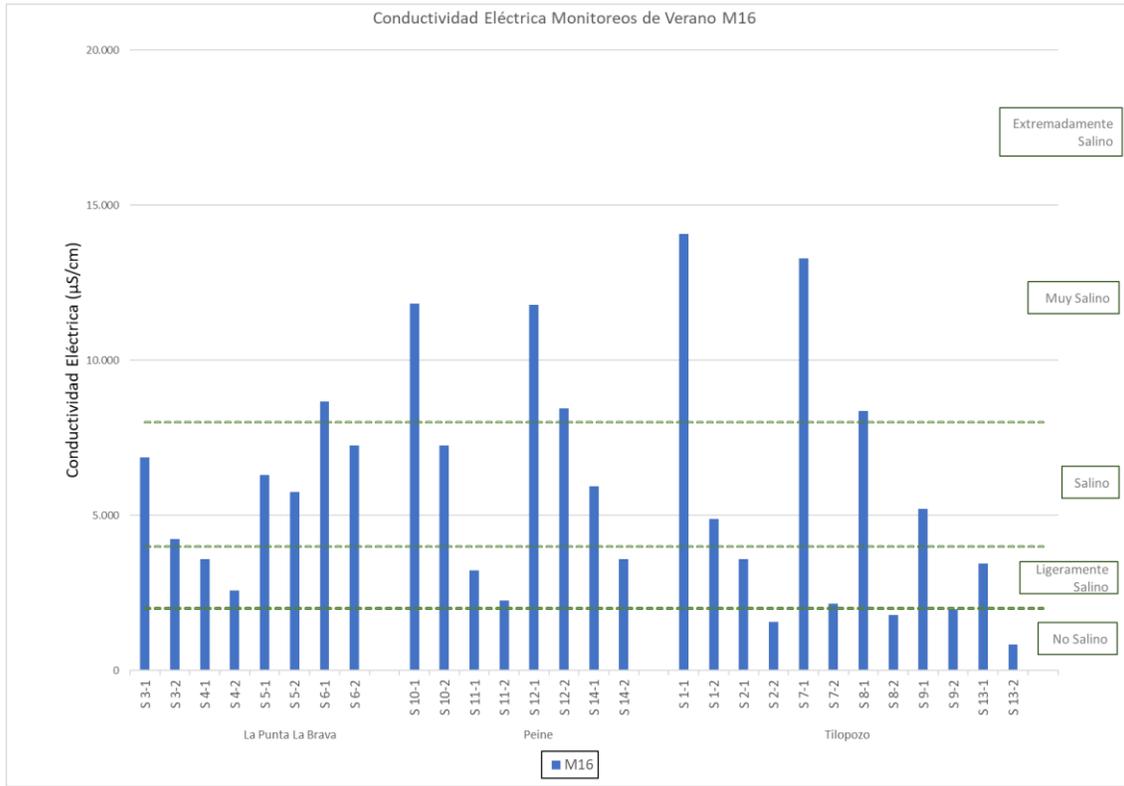
**Tabla N° 9-9. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Verano 2024.**

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad eléctrica		Salinidad	pH	
		Valor (µS/cm)	Categoría	Valor (mg/lit)	Valor	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	6.869	Salino	28.375	8,3	Moderadamente básico
	S 3-2	4.238	Salino	15.974	7,9	Moderadamente básico
	S 4-1	3.590	Ligeramente Salino	15.834	9	Ligeramente alcalino
	S 4-2	2.583	Ligeramente Salino	11.519	8,8	Ligeramente alcalino
	S 5-1	6.307	Salino	38.684	8,9	Ligeramente alcalino
	S 5-2	5.762	Salino	26.315	8,9	Ligeramente alcalino
	S 6-1	8.669	Muy salino	38.723	8,3	Moderadamente básico
	S 6-2	7.242	Salino	38.388	8,2	Moderadamente básico
Peine	S 10-1	11.830	Muy salino	68.811	9,2	Alcalino
	S 10-2	7.243	Salino	33.265	8,7	Ligeramente alcalino
	S 11-1	3.232	Ligeramente Salino	16.270	8,4	Moderadamente básico
	S 11-2	2.250	Ligeramente Salino	11.411	8,2	Moderadamente básico
	S 12-1	11.790	Muy salino	35.911	8,4	Moderadamente básico
	S 12-2	8.449	Muy salino	42.130	8,7	Ligeramente alcalino
	S 14-1	5.931	Salino	19.981	8,4	Moderadamente básico
	S 14-2	3.580	Ligeramente Salino	15.219	8,1	Moderadamente básico
Tilopozo	S 1-1	14.080	Muy salino	104.608	8,8	Ligeramente alcalino
	S 1-2	4.889	Salino	37.757	8,6	Ligeramente alcalino
	S 2-1	3.579	Ligeramente Salino	6.346	8,6	Ligeramente alcalino
	S 2-2	1.555	No Salino	11.202	8,6	Ligeramente alcalino
	S 7-1	13.290	Muy salino	65.603	8,3	Moderadamente básico
	S 7-2	2.161	Ligeramente Salino	8.185	9,2	Alcalino
	S 8-1	8.365	Muy salino	29.121	8,2	Moderadamente básico
	S 8-2	1.783	No Salino	11.805	8,7	Ligeramente alcalino
	S 9-1	5.201	Salino	20.245	8,5	Ligeramente alcalino
	S 9-2	1.975	No Salino	10.071	8,9	Ligeramente alcalino
	S 13-1	3.438	Ligeramente Salino	6.932	8	Moderadamente básico
	S 13-2	834	No Salino	4.256	8,7	Ligeramente alcalino

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1\_Suelos\_Vol 1\_PMB\_Anuar N8.

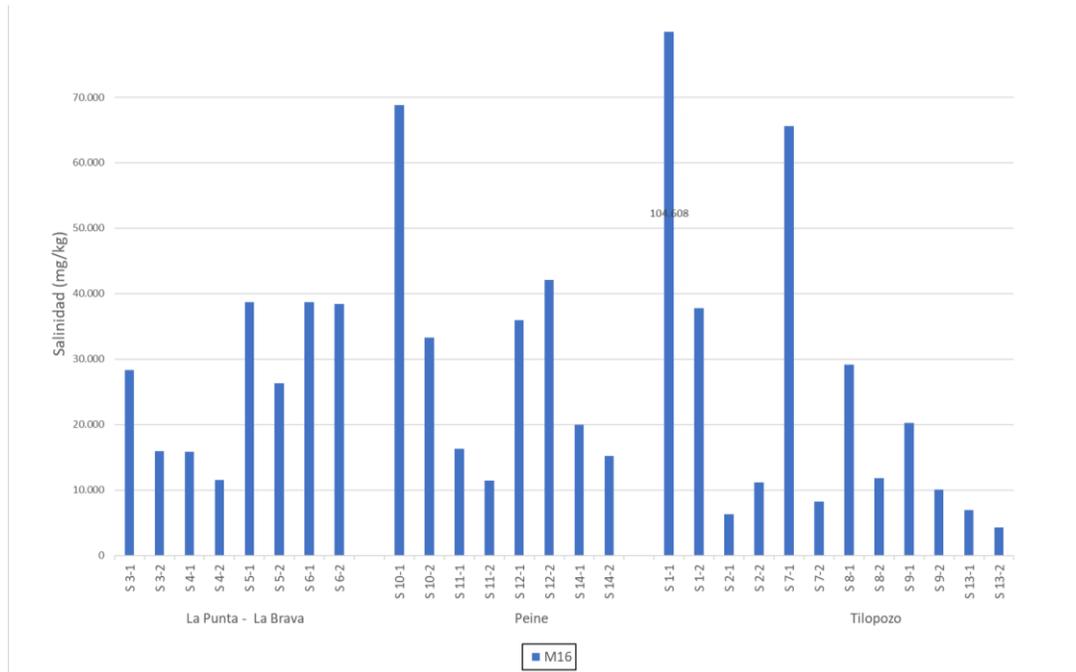
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-13. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

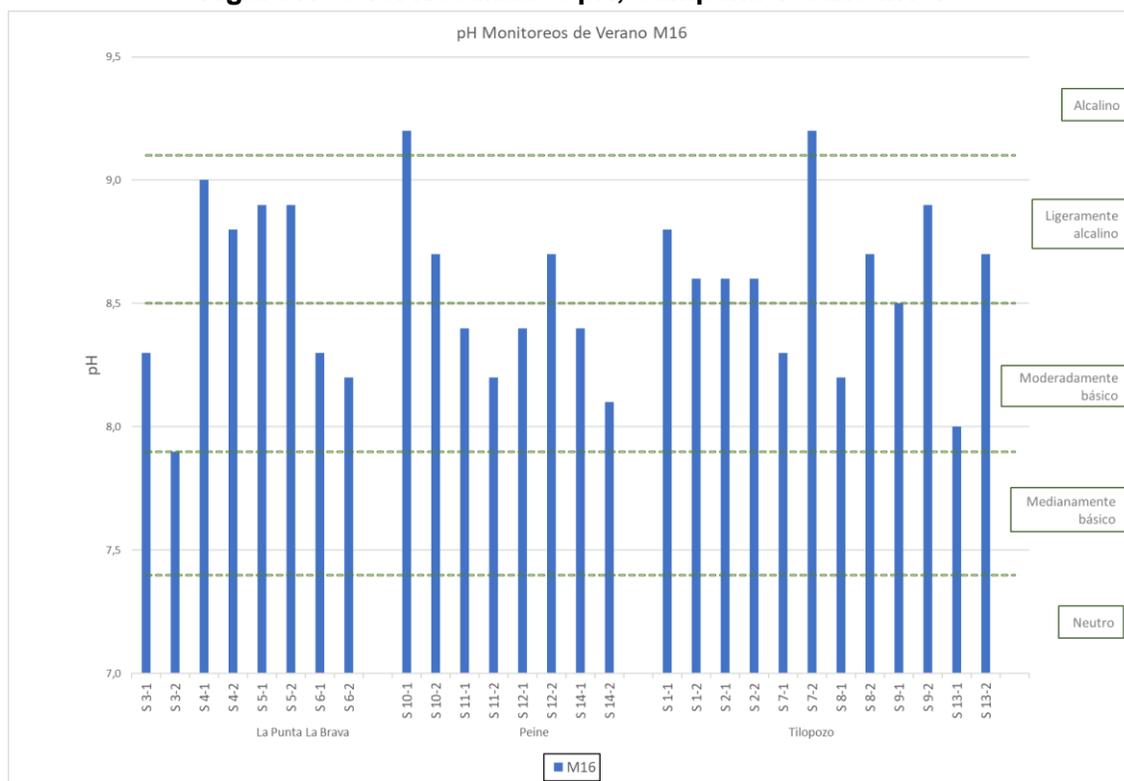
**Figura N° 9-14. Resultados Salinidad, Campaña Verano M16.**



Fuente:

Elaboración Propia.

**Figura N° 9-15. Resultados pH, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

**9.2.2.2 Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Materia Orgánica, Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles** para el Monitoreo Verano 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto.

**Tabla N° 9-10. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Verano 2024.**

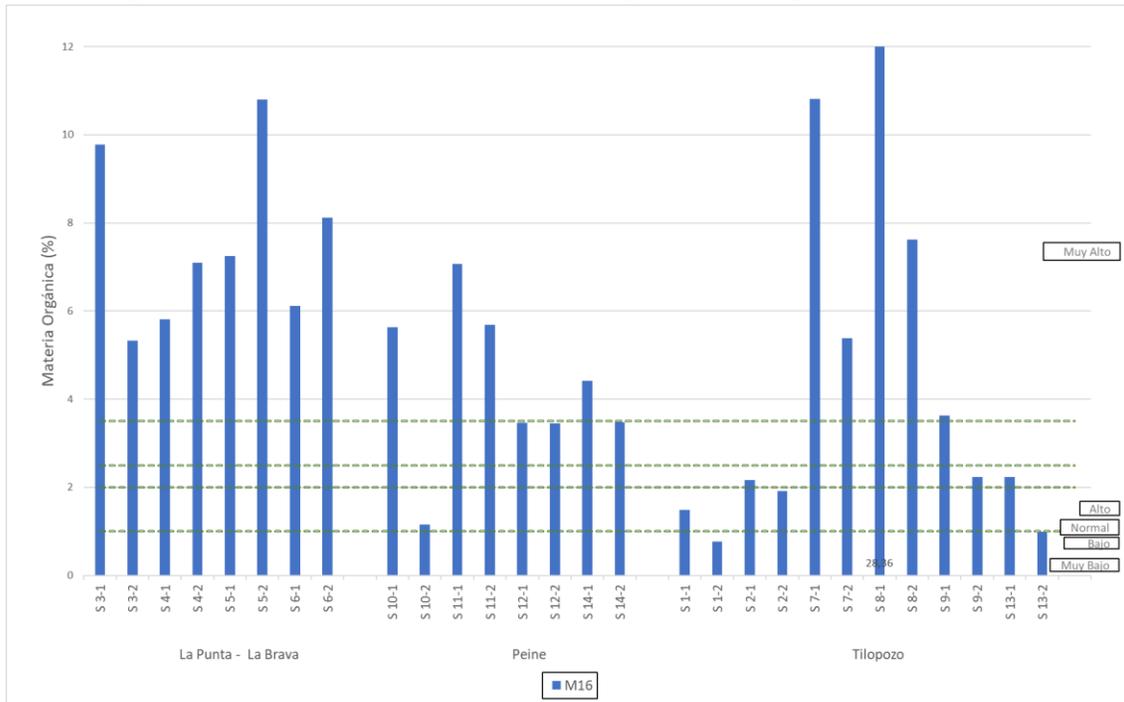
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	9,8	Muy Alto	32	Medio
	S 3-2	5,3	Muy Alto	25	Medio
	S 4-1	5,8	Muy Alto	45	Alto
	S 4-2	7,1	Muy Alto	64	Muy Alto
	S 5-1	7,3	Muy Alto	51	Alto
	S 5-2	10,8	Muy Alto	70	Muy Alto

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
	S 6-1	6,1	Muy Alto	41	Alto
	S 6-2	8,1	Muy Alto	73	Muy Alto
Peine	S 10-1	5,6	Muy Alto	22	Medio
	S 10-2	1,2	Bajo	34	Medio
	S 11-1	7,1	Muy Alto	36	Medio
	S 11-2	5,7	Muy Alto	40	Medio
	S 12-1	3,5	Alto	29	Medio
	S 12-2	3,5	Alto	25	Medio
	S 14-1	4,4	Muy Alto	21	Medio
	S 14-2	3,5	Alto	46	Alto
Tilopozo	S 1-1	1,5	Bajo	24	Medio
	S 1-2	0,8	Muy Baja	20	Bajo
	S 2-1	2,2	Normal	21	Medio
	S 2-2	1,9	Bajo	19	Bajo
	S 7-1	10,8	Muy Alto	62	Muy Alto
	S 7-2	5,4	Muy Alto	45	Alto
	S 8-1	28,4	Muy Alto	85	Muy Alto
	S 8-2	7,6	Muy Alto	70	Muy Alto
	S 9-1	3,6	Muy Alto	37	Medio
	S 9-2	2,2	Normal	30	Medio
	S 13-1	2,2	Normal	33	Medio
	S 13-2	1,0	Bajo	27	Medio

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1\_Suelos\_Vol 1\_PMB\_Anuar N8.

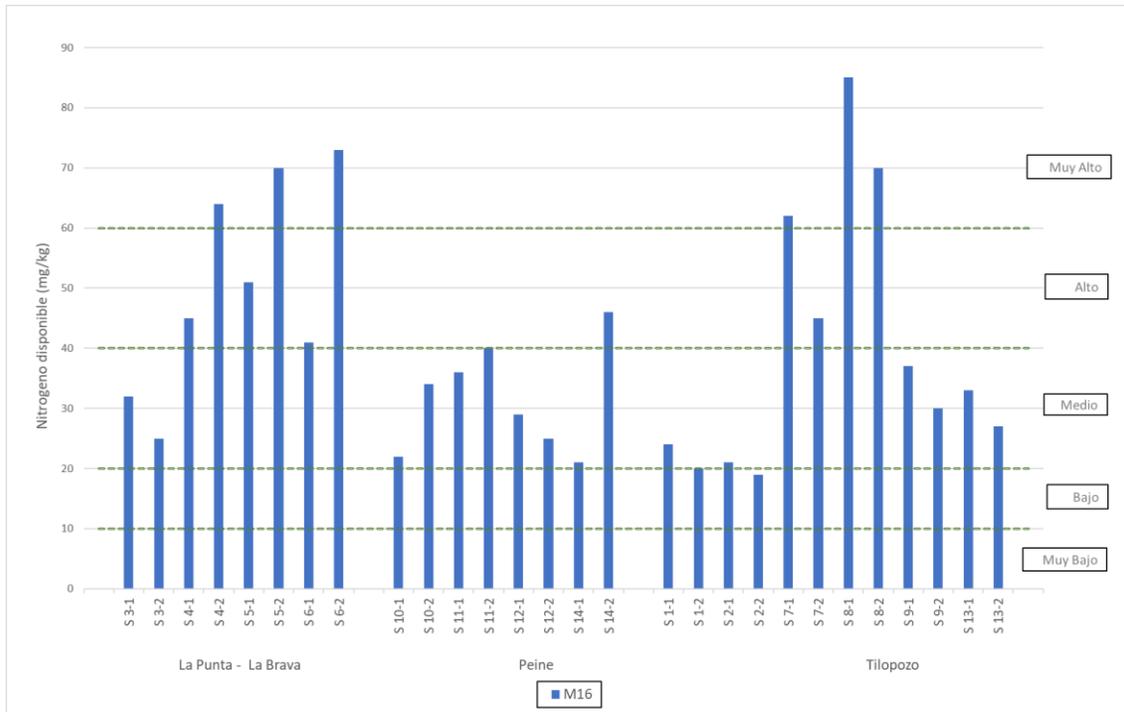
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-16. Resultados Materia Orgánica, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-17. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

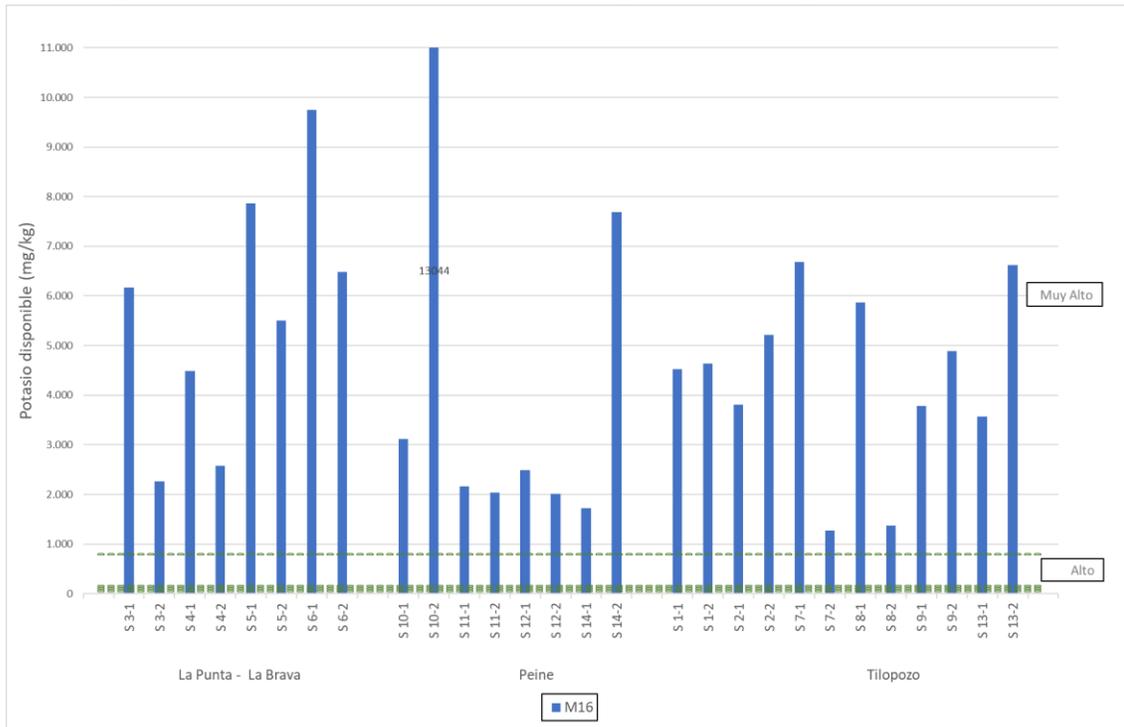
**Tabla N° 9-11. Potasio y Fósforo disponibles. Verano 2024.**

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Potasio disponible		Fósforo disponible	
		Valor (mg/kg)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	6.165	Muy Alto	41,2	Muy Alto
	S 3-2	2.266	Muy Alto	36,5	Muy Alto
	S 4-1	4.484	Muy Alto	42,5	Muy Alto
	S 4-2	2.578	Muy Alto	39,9	Muy Alto
	S 5-1	7.868	Muy Alto	70,3	Muy Alto
	S 5-2	5.508	Muy Alto	84,9	Muy Alto
	S 6-1	9.751	Muy Alto	94,8	Muy Alto
	S 6-2	6.481	Muy Alto	*1	
Peine	S 10-1	3.118	Muy Alto	38,2	Muy Alto
	S 10-2	13.044	Muy Alto	68,8	Muy Alto
	S 11-1	2.162	Muy Alto	76,4	Muy Alto
	S 11-2	2.044	Muy Alto	*1	
	S 12-1	2.013	Muy Alto	30,4	Muy Alto
	S 12-2	7.687	Muy Alto	88,4	Muy Alto
	S 14-1	4.642	Muy Alto	31,8	Muy Alto
	S 14-2	3.811	Muy Alto	32,8	Muy Alto
Tilopozo	S 1-1	5.212	Muy Alto	30,1	Muy Alto
	S 1-2	6.686	Muy Alto	56,0	Muy Alto
	S 2-1	1.267	Muy Alto	50,3	Muy Alto
	S 2-2	5.873	Muy Alto	56,9	Muy Alto
	S 7-1	1.372	Muy Alto	44,2	Muy Alto
	S 7-2	3.784	Muy Alto	52,9	Muy Alto
	S 8-1	4.894	Muy Alto	67,9	Muy Alto
	S 8-2	3.565	Muy Alto	37,3	Muy Alto
	S 9-1	6.621	Muy Alto	32,0	Muy Alto
	S 9-2	6.165	Muy Alto	41,2	Muy Alto
	S 13-1	2.266	Muy Alto	36,5	Muy Alto
	S 13-2	4.484	Muy Alto	42,5	Muy Alto

\*1 (M16): Por problemas administrativos, el laboratorio encargado de los análisis no entregó los resultados para estos puntos. Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1 Suelos\_Vol 1\_PMB\_Semestral M16\_220724\_REV0.

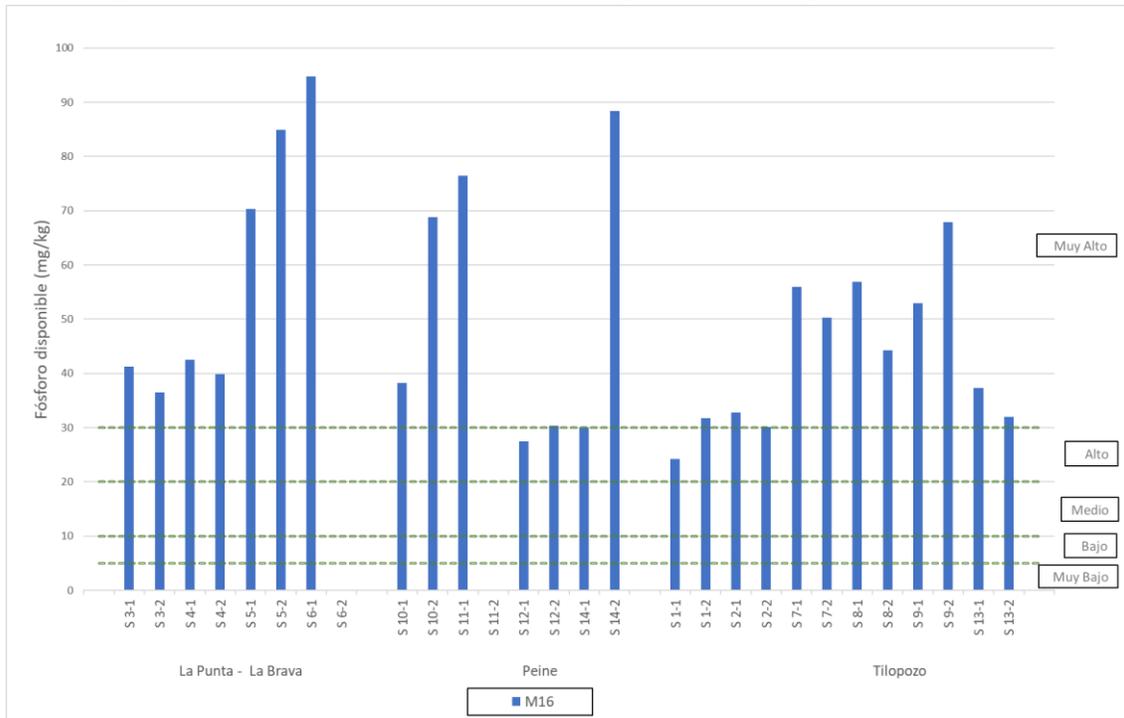
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-18. Resultados Potasio disponible, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-19. Resultados Fósforo disponible, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 9.2.2.3 Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático** disponibles para el Monitoreo Verano 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto, excepto para Nivel freático, que presenta una medida por cada punto de muestreo.

**Tabla N° 9-12. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Verano 2024.**

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad Valor (%)	Clase textural		Nivel Freático Profundidad (cm)
		Valor (cm/hr)	Categoría		Clase (*)	Categoría	
La Punta - La Brava	S 3-1	7,2	Alta	61,39	FAa	Moderadamente fina	54
	S 3-2	49,2	Muy Alta	53,72	FAa	Moderadamente fina	
	S 4-1	16,8	Alta	32,92	FAa	Moderadamente fina	46
	S 4-2	118,9	Muy Alta	48,01	FAa	Moderadamente fina	
	S 5-1	104,9	Muy Alta	54,21	FAa	Moderadamente fina	32
	S 5-2	18,2	Alta	49,62	FAa	Moderadamente fina	
	S 6-1	7,2	Alta	51,84	FAa	Moderadamente fina	36
	S 6-2	16,3	Alta	69,45	FAa	Moderadamente fina	
Peine	S 10-1	132,5	Muy Alta	16,06	aF	Gruesa	98,5
	S 10-2	329,2	Muy Alta	38,55	FA	Moderadamente fina	
	S 11-1	776,1	Muy Alta	62,59	FAa	Moderadamente fina	94
	S 11-2	5,4	Alta	50,79	FAa	Moderadamente fina	
	S 12-1	39,1	Muy Alta	0,84	a	Gruesa	Sin nivel
	S 12-2	7,6	Alta	8,52	aF	Gruesa	
	S 14-1	1161,3	Muy Alta	28,69	FAa	Moderadamente fina	51
	S 14-2	157,9	Muy Alta	65,41	Fa	Moderadamente gruesa	
Tilopozo	S 1-1	369,9	Muy Alta	12,7	FAa	Moderadamente fina	Sin nivel
	S 1-2	2,3	Mod. alta	14,51	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 2-1	2	Mod. alta	11,99	aF	Gruesa	Sin nivel
	S 2-2	2,2	Mod. alta	16,99	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 7-1	655,2	Muy Alta	49,14	FAa	Moderadamente fina	103
	S 7-2	59,4	Muy Alta	53,23	FAa	Moderadamente fina	
	S 8-1	1104	Muy Alta	70,22	FAa	Moderadamente fina	60
	S 8-2	43,3	Muy Alta	48,57	FAa	Moderadamente fina	

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad Valor (%)	Clase textural		Nivel Freático Profundidad (cm)
		Valor (cm/hr)	Categoría		Clase (*)	Categoría	
	S 9-1	22	Alta	65,6	FAa	Moderadamente fina	60
	S 9-2	18,5	Alta	32,41	FAa	Moderadamente fina	
	S 13-1	59,7	Muy Alta	27,02	aF	Gruesa	Sin nivel
	S 13-2	0,4	Mod. alta	32,22	Fa	Moderadamente gruesa	

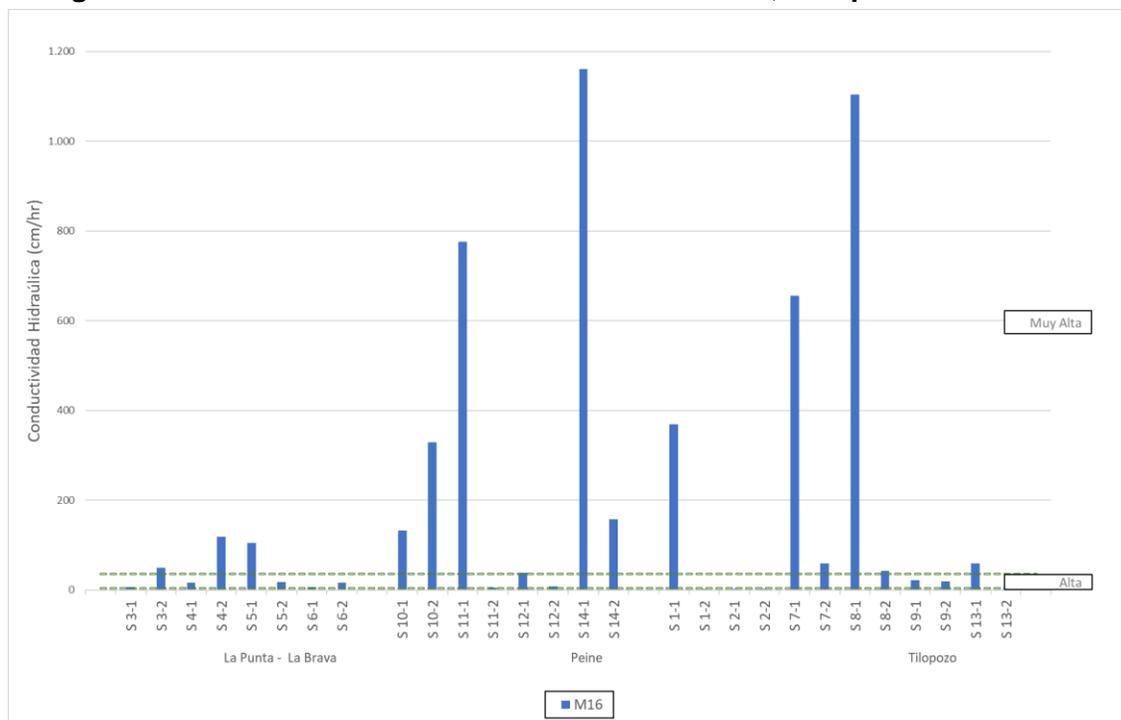
Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1\_Suelos\_Vol 1\_PMB\_Anuar N8. (\*)  
 Ver código en Tabla siguiente.

**Tabla N° 9-13. Código textura.**

a	Arenosa	Fa	Franco arenosa
A	Arcillosa	FAa	Franco arcillo arenosa
aF	Areno francosa	FAL	Franco arcillo limosa
F	Franca	FL	Franco limosa
FA	Franco arcillosa	L	Limosa
Aa	Arcillo arenosa		

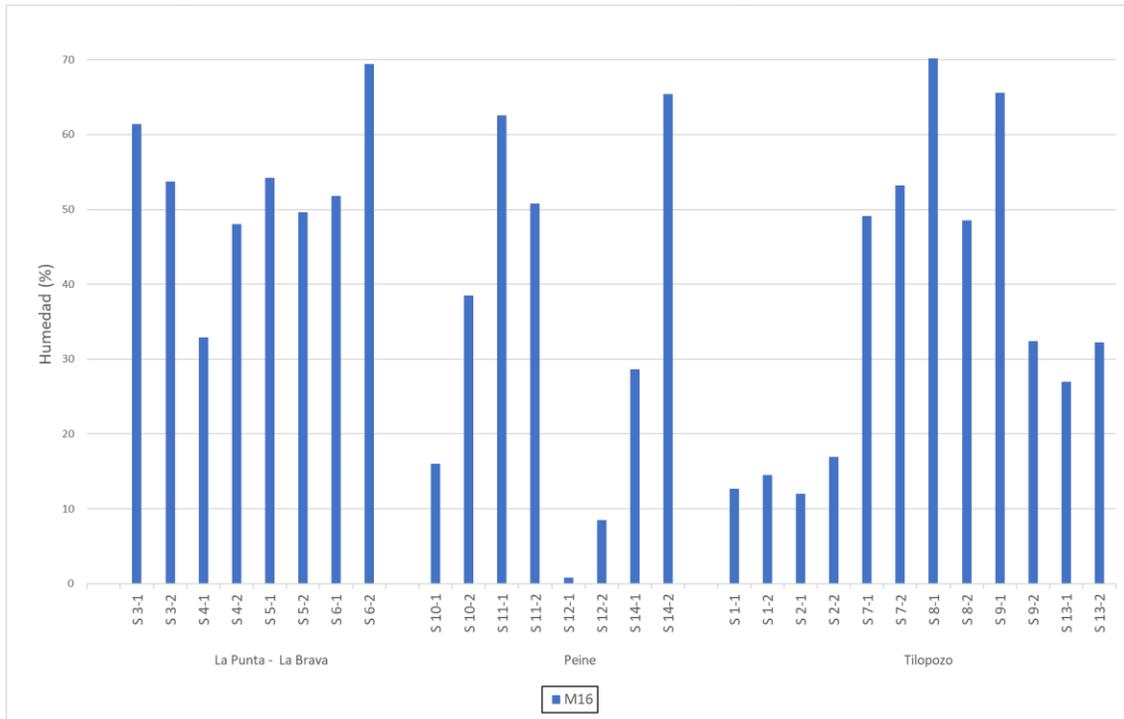
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

**Figura N° 9-20. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Verano M16.**



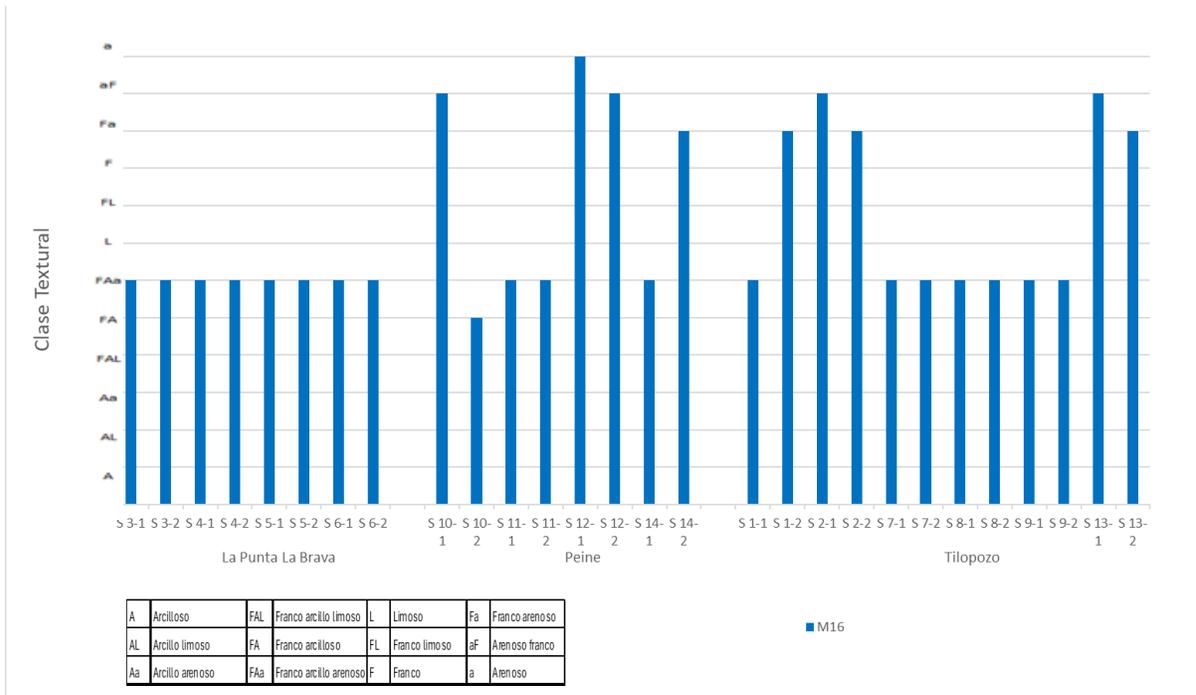
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-21. Resultados Humedad, Campaña Verano M16.**



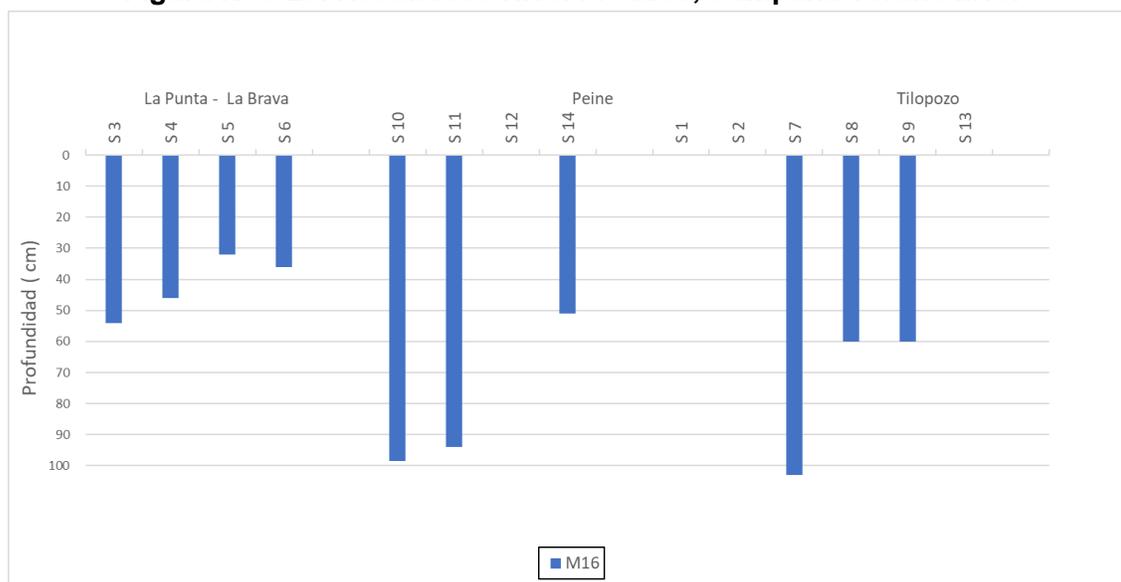
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-22. Resultados Clase textural, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 9-23. Resultados Nivel Freático, Campaña Verano M16.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 9.2.3 Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato

En la RCA 21/2016 del proyecto, dentro del Plan de Seguimiento, quedaron establecidos como Niveles o Límites comprometidos los de “Mantención dentro de su variación histórica”. Considerando lo anterior, y dado que no se presentaron antecedentes específicos para el subcomponente suelo (Línea de Base), como los desarrollados en estas campañas, el análisis comparativo de la evolución de estos parámetros se considera junto con la información de monitoreos realizados en el periodo de construcción del proyecto, esto es tomando como nivel base o referencial el primer Monitoreo de Verano, el que corresponde a (M2).

Es por esta razón que, en general, los análisis de la evolución del componente se desarrollan en base al monitoreo inicial M1, de invierno 2016 y el M2, de verano 2017. No obstante, para efectos de este Informe Anual N°8, se mantiene principalmente el enfoque estacional, analizando la evolución de las variables del suelo entre los monitoreos de invierno, como el monitoreo M1, M3, M5, M7, M9, M13 y el actual M15, así como las de verano, las que corresponden a M2, M4, M6, M10, M12, M14 y el actual M16.

## 10 LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos de invierno 2023 y verano de 2024, para el subcomponente ambiental **flora y fauna acuática, calidad de aguas y sedimentos**, o Limnología, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA N°21/2016 del Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama de la empresa Albemarle, ubicado en la Región de Antofagasta.

Las variables ambientales que caracterizan esta componente de Limnología y que son objeto de seguimiento, corresponden a: variables físicas y químicas de agua y sedimentos, además de las variables comunitarias asociadas a fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton y plantas vasculares acuáticas (macrófitas) según lo establecido en la RCA del Proyecto.

Los periodos reportados en el presente informe corresponden tanto al monitoreo semestral de invierno tardío 2023, el que se desarrolló en terreno entre los días 7 y 9 de noviembre de 2023, como a los resultados del monitoreo semestral de verano 2024, realizado entre el 12 y 14 de marzo de 2024. Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada** por encargo del Titular del Proyecto.

Los objetivos específicos para esta componente de monitoreo son:

- Evaluar la calidad de agua superficial de los puntos de muestreo.
- Evaluar la calidad de sedimentos en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de fitobentos en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de fitoplancton en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de zoobentos en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de zooplancton en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de plantas vasculares acuáticas (macrófitas) en los puntos de muestreo.

### 10.1 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 10.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Salar de Atacama, el cual se encuentra ubicado en el altiplano de la región de Antofagasta. Corresponde a una cuenca endorreica, cuya superficie alcanza los 15.620 km<sup>2</sup>, flanqueada en toda su extensión por cordones cordilleranos, lo que determina que el agua que precipita en ella escurre superficial o subterráneamente hasta la parte baja de la hoya, donde se localiza el Salar propiamente tal. En términos climáticos, la cuenca del Salar de Atacama está bajo la influencia del tipo climático Desértico Marginal de Altura (CADE-IDEPE 2004), mientras que, de acuerdo al régimen hídrico, se encuentra dentro

de la zona denominada Árida Estepárica Fría de Altura, caracterizada por una estación de lluvias estivales que va de diciembre a marzo, un régimen térmico extremadamente frío y registro de heladas durante todo el año (Santibáñez *et al.* 2008).

Los salares son considerados altamente homogéneos, con grandes extensiones de superficie carentes de expresiones evidentes de vida. Sin embargo, en algunos sectores, el afloramiento de agua desde el acuífero o un nivel freático cercano a la superficie da lugar a la formación de ecosistemas lagunares y posibilita el desarrollo de ecosistemas de vegas y ecosistemas salinos, otorgándole al sistema, al menos localmente, un alto grado de heterogeneidad. Estos ecosistemas son altamente heterogéneos espacial y temporalmente en respuesta a gradientes ambientales, de salinidad en el caso de las lagunas, y de humedad y salinidad en el caso de las vegas y ecosistemas salinos (Plan de Manejo Biótico del Proyecto, Adenda 5, Anexo 2).

El área de estudio incluye tres sectores bien definidos, Sector Peine que incluye al complejo lagunar formado por Salada, Saladita e Interna, Sector La Punta-La Brava formado por las lagunas La Punta y La Brava, y finalmente el Sector Tilopozo donde se ubica un par de lagunas profundas y un afloramiento de agua (**Figura N° 10-1**).

#### **10.1.2 Ubicación de puntos muestreo**

Se analizan *in situ* 14 puntos de monitoreo, distribuidos en los sistemas lagunares Sector Peine conformado por Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna y Sector Laguna La Brava, Laguna La Punta y Sector Tilopozo. Los puntos de monitoreo y sus coordenadas se presentan en la **Tabla N° 10-1** y su ubicación en **Figura N° 10-1**.

Cabe destacar que el Plan de Seguimiento PMB, señala 12 estaciones, no obstante, con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos y en función de tener una mayor representatividad espacial de acuerdo la naturaleza heterogénea de los sistemas lagunares, se han adicionado desde el primer año de monitoreo dos estaciones, una estación de muestreo en el sector La Brava (LB-3) y una en el sector Tilopozo (TB-3). Lo anterior, ya fue previamente informado en los Informes Anuales N°1, N°2, N°3, N°4, N°5, N°6 y N°7 del PMB.

Complementariamente, en agosto de 2016, como parte de una prospección y evaluación inicial *in situ* (terreno) de la posición y cantidad de puntos de monitoreo establecidos en el PMB, se propone por parte del equipo asesor en limnología ajustes necesarios en este aspecto. Esto con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos del seguimiento, que es asociar los puntos a los cuerpos de agua de manera de poder hacer seguimiento en el tiempo de la biota acuática y de los parámetros de calidad de aguas y sedimento. Cabe señalar que los puntos originales indicados por la RCA no caían exactamente en cuerpos de agua (TB-1 y TB-2); o bien se encontraban muy próximos entre sí (se desplaza LB-2 de LB-1); o bien se debieron mover para mejorar la accesibilidad al cuerpo de agua, procurando mantener una posición con buena representatividad del sistema lagunar para efecto de la toma de muestras (I-17 y LP-23).

Es así como en el marco de dar cumplimiento a los compromisos del seguimiento, como también de la representatividad de la componente, por un lado, se realizó un leve desplazamiento dentro de la misma área, de la localización de algunas estaciones de muestreo (5 estaciones), de acuerdo con criterios expresados anteriormente, y por otro, se sumaron adicionalmente como ya se mencionó dos nuevas estaciones, una estación de muestreo en el sector La Brava (LB-3) y una en el sector de Tilopozo (TB-3), con el propósito de robustecer la calidad del muestreo y representar óptimamente cada sistema (**Tabla N° 10-1**).

Como ha sido mencionado, en el monitoreo de invierno 2023 y verano 2024 ninguna de las estaciones del Sector Peine fue muestreada por encontrarse cerrado el acceso a las lagunas debido a la época de reproducción de flamencos (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

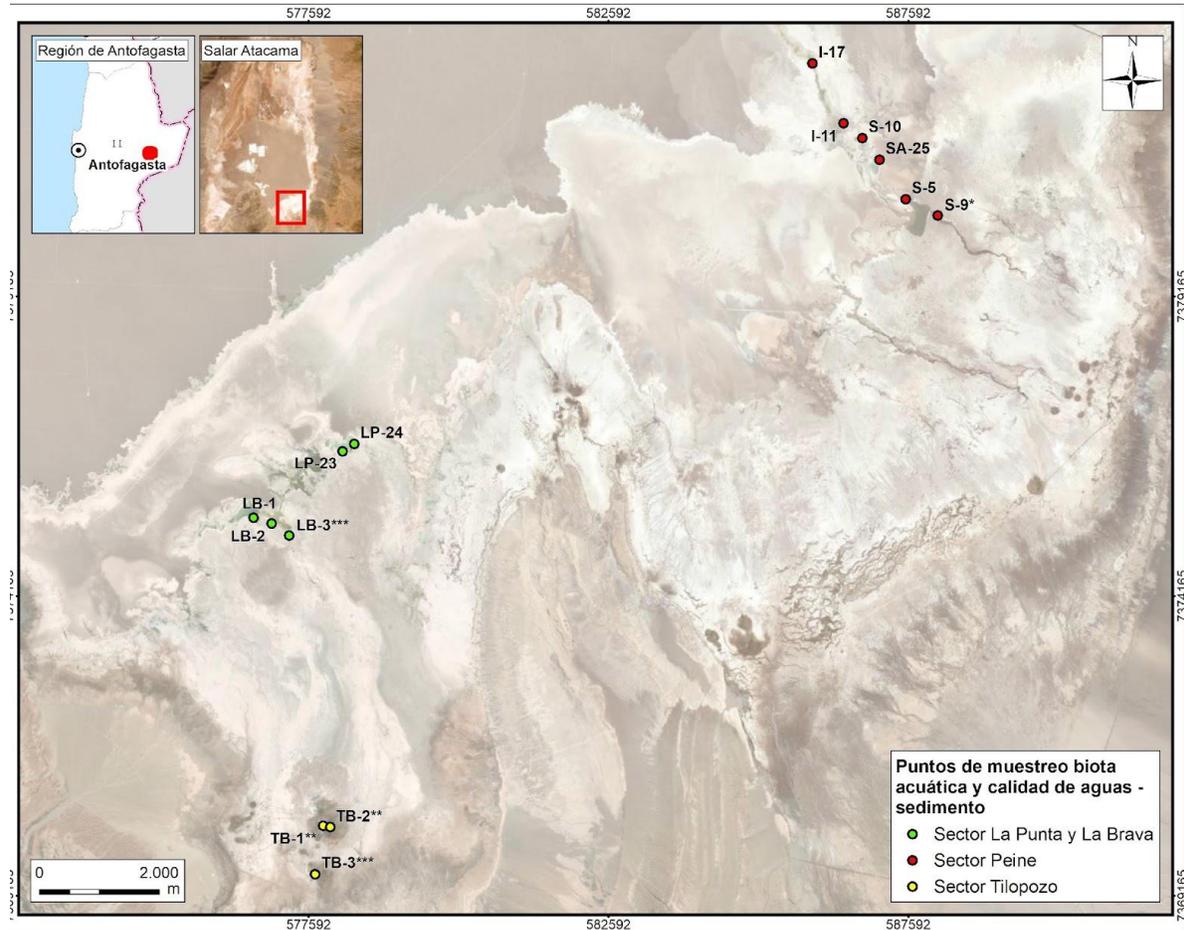
**Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2023 y verano 2024.**

Sector	Sub-Sector	Estación	Coordenadas VIGENTES UTM WGS 84 (Huso:19 Zona:K)	
			Este	Norte
Sector Peine****	Salada	S-5	587.551	7.380.785
	Salada	S-9*	588.086	7.380.518
	Saladita	SA-25	587.114	7.381.447
	Saladita	S-10	586.827	7.381.805
	Interna	I-11	586.515	7.382.055
	Interna	I-17	585.996	7.383.052
Sector La Punta y La Brava	La Punta	LP-24	578.356	7.376.704
	La Punta	LP-23	578.164	7.376.581
	La Brava	LB-1	576.677	7.375.474
	La Brava	LB-2	576.978	7.375.378
	La Brava	<b>LB-3***</b>	577.272	7.375.176
Sector Tilopozo	Tilopozo	TB-1**	577.837	7.370.331
	Tilopozo	TB-2**	577.956	7.370.310
	Tilopozo	<b>TB-3***</b>	577.705	7.369.524

Fuente: Elaboración propia. \* En el Sector Peine, puntualmente la estación S-9 fue desplazada a la orilla opuesta del curso de agua, con el fin de facilitar la ejecución de toma de muestras y levantamiento de datos en terreno. (Ref. desde Inf Anual N°1 Albemarle - marzo 2017). \*\* En el sector Tilopozo, se debió modificar la ubicación de las estaciones TB-1 y TB-2 debido a que las coordenadas de la ubicación inicial no estaban asociadas a cuerpos de agua. (Ref. desde Inf Anual N°1 Albemarle - marzo 2017). (Ver **Fotografía N° 10-1**). \*\*\*Estaciones Adicionales. \*\*\*\*En la campaña verano 2024, no pudo ser realizado el monitoreo en el Sector Peine, por encontrarse cerrado el acceso a las lagunas debido a la época de reproducción de flamencos.

Se destacan en negrita en la **Tabla N° 10-1**, las dos estaciones adicionales, **LB-3** en La Brava y **TB-3** en Tilopozo, incluidas desde el inicio del plan de seguimiento ambiental biótico por parte del Titular del Proyecto, con el objetivo de tener una mejor representatividad de los sistemas evaluados, así como procurar un permanente acceso a los puntos de monitoreo.

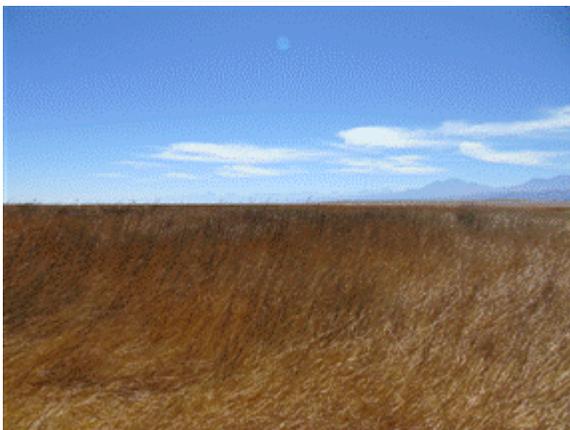
**Figura N° 10-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.**



Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 10-1. Ubicación de las estaciones TB-1 (izquierda) y TB-2 (derecha) de acuerdo al Plan de Manejo Biótico (PMB, 2015), sin presencia de cuerpos de agua.**

**Ubicación original TB-1**



**Ubicación original TB-2**



Fuente: Elaboración propia.

**10.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales**

Para evaluar el estado y evolución de la calidad de agua y sedimentos se establecieron los siguientes parámetros:

- En agua: temperatura, pH, conductividad eléctrica, salinidad, turbiedad, oxígeno disuelto, clorofila “a” (fitoplancton y perifiton), alcalinidad parcial, alcalinidad total, bicarbonato, carbonatos, cloruro, nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total, ortofosfato, sulfato, aceites y grasas;
- En sedimentos: carbono orgánico total, fósforo total, materia orgánica, nitrógeno total Kjeldahl, potencial redox y granulometría.

Algunos parámetros si bien no están comprometidos en el PMB, se analizaron en laboratorio y se informan sus registros, como Calcio Total y Magnesio Total, que se requieren para el cálculo de la alcalinidad, y como los propios parámetros de alcalinidad parcial y total, por ser requisito para medir otros como carbonatos y bicarbonatos, que sí son parte del monitoreo. El parámetro turbiedad se incorpora, ya que fue evaluado como requerimiento para descripción de tapetes microbianos y se considera la medición de la profundidad (cm) como variable de importancia limnológica (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Los parámetros utilizados para caracterizar el estado de las comunidades biológicas corresponden a composición, riqueza (número de *taxa*), abundancia, abundancia relativa, diversidad (Shannon-Wiener) y equidad de Pielou (J’).

---

## 10.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control

### 10.1.4.1 Metodología de muestreo y análisis calidad de agua y sedimentos

En cada una de las estaciones visitadas se evalúan parámetros *in situ* correspondientes a temperatura, pH, turbiedad, oxígeno disuelto en el agua y la profundidad (cm) de la columna de agua. También, se colectan muestras de agua y sedimentos para su posterior análisis en laboratorio acreditado como ETFA, a cargo de la empresa ANAM S.A. (Análisis Ambientales S.A.). Cabe mencionar, que los certificados de análisis correspondientes a verano 2024 emitidos por la ETFA señalada, se presentan en el formato ETFA requerido por la SMA (RES. 1194/2015) en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos\_Calidad de Agua y Anexo Limnología\_Sedimentos**.

Para la evaluación de las variables *in situ*, se calibran diariamente los sensores utilizados con las soluciones del fabricante y siguiendo las instrucciones de este. Además, los sensores son ubicados en la columna de agua, de manera de evitar la alteración del registro en el agua, debido a la actividad propia del muestreo biológico o de sedimentos (agitación de agua, resuspensión de sedimentos, etc.). Por la misma razón, las muestras de agua colectadas para analizar en laboratorio son tomadas aguas arriba o antes de la toma de muestras biológicas o de sedimento. La profundidad (cm) de la columna de agua se mide con regla graduada en 3 puntos de ésta en la estación de muestreo para obtener un valor promedio.

Las muestras de agua son colectadas y transportadas por personal de la ETFA ANAM S.A. según la serie de normas NCh 411 (partes 1, 2, 3, 4, 6, 10 y 11) para el muestreo de aguas crudas y residuales. Los frascos con las muestras de agua son transportados en cajas de material aislante de temperatura, rellenos con hielo en escarcha, y enviados directamente al laboratorio de manera de que las muestras fueran analizadas dentro de los plazos o *holding time* requeridos. Todas las cajas incluyen un frasco testigo para corroborar la temperatura.

El muestreo de sedimentos consiste en colectar una porción de sustrato sumergido en cada una de las estaciones evaluadas, vaciando el sedimento en contenedores específicos para ello y cuidando de no contaminar la muestra con agentes externos. Estas muestras son debidamente etiquetadas, almacenadas y transportadas hasta el laboratorio para su análisis, procurando no realizar contaminación cruzada entre las distintas muestras (según serie de normas NCh 411, partes 1, 2, 3, 4, 6, 10 y 11, para el muestreo de aguas crudas y residuales).

Las metodologías y unidades de medida utilizadas para el análisis de las variables físicas y químicas de agua son las señaladas en la **Tabla N° 10-2**.

**Tabla N° 10-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.**

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Temperatura	°C	(Cod.SMA:55124) ILM000007 med. terreno
pH	pH	(Cod.SMA:55040) ILM000007 med. terreno
Conductividad	µS/cm	(Cod.SMA:51332) ILM000015 med. terreno
Salinidad*	g/Kg	ILM000015 med. Terreno (*)
Oxígeno disuelto	mg/L	(Cod.SMA:51441) ILM000015 med. terreno
Turbiedad	UNT	MLM 000006
Clorofila "a" (Fitoplancton)	µg/L	SM 10200-H2c Ed. 23
Clorofila "a"(Perifiton)	mg cl-a/m <sup>2</sup>	SM 10300-C7 Ed. 23(*)
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	SM 2320 B Ed. 23
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	(Cod.SMA:54495) SM 2320 B Ed. 23
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	(Cod.SMA:54496) SM 2320 B Ed. 23
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	(Cod.SMA:54497) SM 2320 B Ed. 23
Cloruro (Cl)	mg/L	(Cod.SMA:54879) SM 4110 B Ed. 23
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L	(Cod.SMA:54881) SM 4110 B Ed. 23
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/L	(Cod.SMA:54882) SM 4110 B Ed. 23
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	(Cod.SMA:54731) SM 4500-NH3 F
Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	mg/L	(Cod.SMA:55011) SM 4500 Norg B-C NH3 D 201
Fósforo Total (P)	mg/L	(Cod.SMA:54957) SM 4500-P E Ed. 23
Ortofosfato	mg/L	SM 4500-P E Ed. 23
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	(Cod.SMA:54883) SM 4110 B Ed. 23
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	(Cod.SMA:54477) SM 5520 B-D

(\*) El parámetro Salinidad cuando se expresa en g/kg corresponde a *salinidad absoluta* (cantidad de sales en 1 kilo de agua) y cuando está expresado en g/L corresponde a *salinidad común* (cantidad de sales en 1 litro de agua). Ambas unidades son equivalentes en valor, ya que como referencia se toma la densidad promedio considerada por Albemarle en el informe hídrico del PSAH de las lagunas LM-01 LM\_02, LM-03 y LM04 desde 2016 a 2020 que corresponde a 1,04 g/mL. Para fines prácticos se puede presentar el parámetro en cualquiera de esas dos unidades.

Fuente: Elaboración propia.

Las metodologías y unidades de medida utilizadas para el análisis de las variables físicas y químicas de sedimentos son las señaladas en **Tabla N° 10-3**.

**Tabla N° 10-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.**

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	MQC000059 basado en TMECC 05.0
Fosforo Total (P)	mg/Kg	(Cod.SMA:55390) MQC000057 rev 07, basado en SM
Materia Orgánica	%	(Cod.SMA:55403) MQC000059 basado en TMECC 05.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	(Cod.SMA:88826) MLAB-S-09 Rev.0 INIA 2006
Potencial Redox	mV	-

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de los resultados granulométricos que se realizan para cada estación, éstos se clasifican según la escala de Wentworth (1922), la cual cataloga los sedimentos según el tamaño de grano. En la **Tabla N° 10-4** se muestran las categorías de la escala que son utilizadas para caracterizar los sedimentos, que van desde limo a grava muy fina. Las estadísticas para la obtención del diámetro medio de grano y el grado de selección por estación, se realizan con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0 (Blott & Pye, 2001).

**Tabla N° 10-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).**

Tamaño de grano (mm)	Clasificación
4	Grava Muy Fina
2	Arena Muy Gruesa
1	Arena Gruesa
0,5	Arena Media
0,25	Arena Fina
0,125	Arena Muy Fina
0,063	Limo

Fuente: Blott & Pye (2001)

### 10.1.4.2 Metodología de muestreo flora y fauna acuática

El muestreo de flora y fauna acuática se realiza utilizando como referencia dos documentos internacionales de metodologías. Los documentos referidos corresponden a “*Metodologías para el establecimiento del estado ecológico según la DMA (Directiva Marco del Agua) de la Confederación Hidrológica del Ebro*”, Ministerio de Medio Ambiente de España (2005) y las metodologías de examinación biológica definidas por la Asociación de Salud Pública Americana de Estados Unidos (APHA) mediante su publicación de “*Métodos estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*”. También, se consideró lo recomendado por la Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile (SUBPESCA, 2018) y la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA, 2011). Las referencias se resumen en la **Tabla N° 10-5**.

**Tabla N° 10-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.**

Componente	Metodología	
	APHA <sup>1</sup>	DMA <sup>2</sup> -SUBPESCA <sup>3</sup>
Fitoplancton	SM10200C / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Fitoplancton
Fitobentos	SM10300B / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Microalgas Bentónicas
Zooplancton	SM10200B / SM10200G	Protocolo de muestreo y análisis para Zooplancton
Zoobentos	SM10500B / SM10500C	Protocolo de muestreo y análisis para macroinvertebrados bentónicos
Macrófitas	SM10400B / SM10400C	Protocolo de muestreo y análisis para plantas vasculares acuáticas

<sup>1</sup> APHA: Standard Methods (2012). <sup>2</sup> DMA: Directiva Marco del Agua (2005). <sup>3</sup> Guía Subpesca (2018).

Para llevar a cabo el muestreo de flora y fauna acuática, se contó con la autorización de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura a través R. Ex N° E-2023-472 del 04-08-2023. El documento se presenta como “**Permiso de Pesca de Investigación**” en el “**Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**” de este Informe Anual N°8.

El muestreo fue realizado por especialistas de **Limnológica Estudios Ambientales EIRL.**, autorizada para llevar a cabo actividades de pesca de investigación de recursos hidrobiológicos en el área de estudio. A continuación, se describen las metodologías particulares usadas para cada una de las comunidades.

- **Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas):** En cada punto de seguimiento (n=3), se identificó visualmente las plantas vasculares y se estimó la abundancia relativa o cobertura (%) de cada especie o grupo de especies utilizando un cuadrante de 50X50 cm. Las plantas que no fue posible identificar *in situ* fueron herborizadas y transportadas a laboratorio, y enviadas a especialistas botánicos para su posterior identificación. Se clasificaron las plantas acuáticas en base a la bibliografía disponible: Pereira & Parra (1984), Ramírez et al (1982), Vila et al. 2006 y Rodríguez & Dellarossa 1998.
- **Fitobentos:** La estimación de la riqueza y abundancia de la flora bentónica (fitobentos), se realizó mediante el recuento bajo microscopio óptico. Se obtuvo 2 muestras representativas, desde los primeros centímetros del sedimento, tomando 1 mm<sup>3</sup> por muestra con una jeringa-core de 5 mL. El método de análisis consistió en obtener alícuotas de dichas muestras para preparaciones microscópicas, las cuales fueron analizadas en relación con la riqueza taxonómica y recuento de microalgas presentes (Wetzel&Likens, 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitobentos se realizaron utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).
- **Fitoplancton:** La obtención de muestras fitoplanctónicas se hizo semestralmente en duplicado, colectando directamente 500 mL de agua de los sistemas en botellas plásticas. El agua colectada fue fijada con solución Lugol, para evitar descomposición previa a su análisis en laboratorio. Las muestras fueron preparadas y analizadas al microscopio, determinando la riqueza y abundancia de las microalgas presentes (Wetzel&Likens 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitoplancton se realizó utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).
- **Zoobentos:** La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. Esto se midió en muestras en duplicado por punto de monitoreo obtenidas con un core de 0,004 m<sup>2</sup> las que fueron preservadas en alcohol al 70%. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Merrit & Cummins (1996), Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995-1999), Fernández & Domínguez (2001), Domínguez et al. (2006).
- **Zooplancton:** La estimación de la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica se realizó obteniendo muestras representativas del plancton, utilizando una

red o tamiz dotado con una malla N°10 (110 µm). Las muestras se tomaron en duplicado y se realizó extrayendo un volumen conocido de agua superficial con un contenedor graduado, para posteriormente ser filtrado en el tamiz o red. Cada muestra fue preservada en alcohol al 70% de concentración final. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa en una cámara BOGOROW, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos zooplanctónicos se realizó en base a los trabajos de Araya & Zuñiga (1985) y Pennak (1989).

Para cada componente o ensamble biológico de la biota acuática (fitobentos, fitoplancton fauna bentónica y zooplancton) se realizó un análisis comunitario, estimándose la abundancia, riqueza de *taxa*, diversidad de *taxa* y equidad para cada punto de muestreo: La diversidad biológica de Shannon-Wiener (H') y su cálculo se realizó en base a todos los organismos presentes en las muestras según la expresión:

$$H'(nits) = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$

Donde, S = número de especies y pi = proporción de la especie i en la muestra

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y el logaritmo natural (S), tendiendo a cero en comunidades poco diversas.

También se determinó la homogeneidad de las abundancias de especies en la muestra a través del índice de equidad (J'), de acuerdo a la expresión:

$$J' = \frac{H'}{H \max} = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde, H' = índice de Shannon-Wiener, H'max = valor máximo teórico de H' y S = número de especies.

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y 1, tendiendo a uno en comunidades donde los *taxa* están representados de forma equitativa.

### 10.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales, equipos e instrumentos utilizados se indican en la **Tabla N° 10-6** y **Tabla N° 10-7**.

**Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición *in situ* de parámetros del agua**

Análisis	Referencias del Método
Temperatura (°C)	Medidor Multiparamétrico HANNA HI 98194
pH	
Oxígeno disuelto (mg/L)	
Conductividad (µS/cm)*	

Fuente: Elaboración propia. \* La medición de Conductividad en terreno es solo referencial, los valores presentados en los informes de ensayo corresponden a los medidos en laboratorio.

**Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.**

Componente	Instrumento/fijador
Fitobentos	Cepillo para superficies duras (25 cm <sup>2</sup> ) y Jeringa-core de 5 mL para superficies blandas. Fijador Lugol
Fitoplancton	Frascos de 500 mL. Fijador Lugol
Zoobentos	Core de 0,004 m <sup>2</sup> para sistemas lénticos. Fijador alcohol*.
Zooplancton	Tamiz de 60 micrones. Fijador alcohol*.

\*Se utilizó como fijador alcohol, debido a los efectos cancerígenos que se pueden generar con el uso de la formalina. Fuente: Elaboración propia.

### 10.1.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro

La campaña de monitoreo correspondiente a invierno tardío de 2023 se realizó entre las fechas **7 y 9 de noviembre de 2023**, mientras que la campaña de verano 2024 tuvo lugar entre los días **12 y 14 de marzo de 2024**, días en los cuales se visitaron las estaciones y se tomaron tanto las muestras de agua y sedimentos, como aquellas correspondientes a biota. En la **Tabla N° 10-8** se presenta el detalle de las fechas de visita por sector y obtención de muestras para cada variable evaluada en los monitoreos respectivos.

**Tabla N° 10-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables evaluadas en las campañas de invierno 2023 y verano 2024.**

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo		Sector Peine	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Agua	Temperatura	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos
	pH	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Conductividad	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Salinidad	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Turbiedad	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Oxígeno disuelto	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Clorofila "a" en Fitoplancton	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Clorofila en Perifiton	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Alcalinidad Parcial (CaCO3)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Alcalinidad Total (CaCO3)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Bicarbonato (CaCO3)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Carbonatos (CaCO3)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Cloruro (Cl)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Nitrato (N-NO3-)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Nitrito (N-NO2-)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Nitrógeno amoniacal (NH4+)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Fosforo Total	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Ortofosfato	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Sulfato (SO4-2)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
Aceites y Grasas (A y G)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24			
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Fosforo Total (P) M.S.	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Materia Orgánica	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Nitrógeno Total Kjeldahl	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Potencial Redox	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
Biota	Fitobentos	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Fitoplancton	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Zoobentos	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Zooplancton	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		
	Macrófitas	07-11-23	14-03-24	09-11-23	16-03-24		

Fuente: Elaboración propia.

---

## 10.2 RESULTADOS

### 10.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2023 y verano 2024

A continuación, se describen las estaciones de muestreo emplazadas en los sectores La Punta y La Brava, Vegas de Tilopozo y Peine, en el contexto del seguimiento ambiental y en las campañas de invierno 2023 y verano 2024.

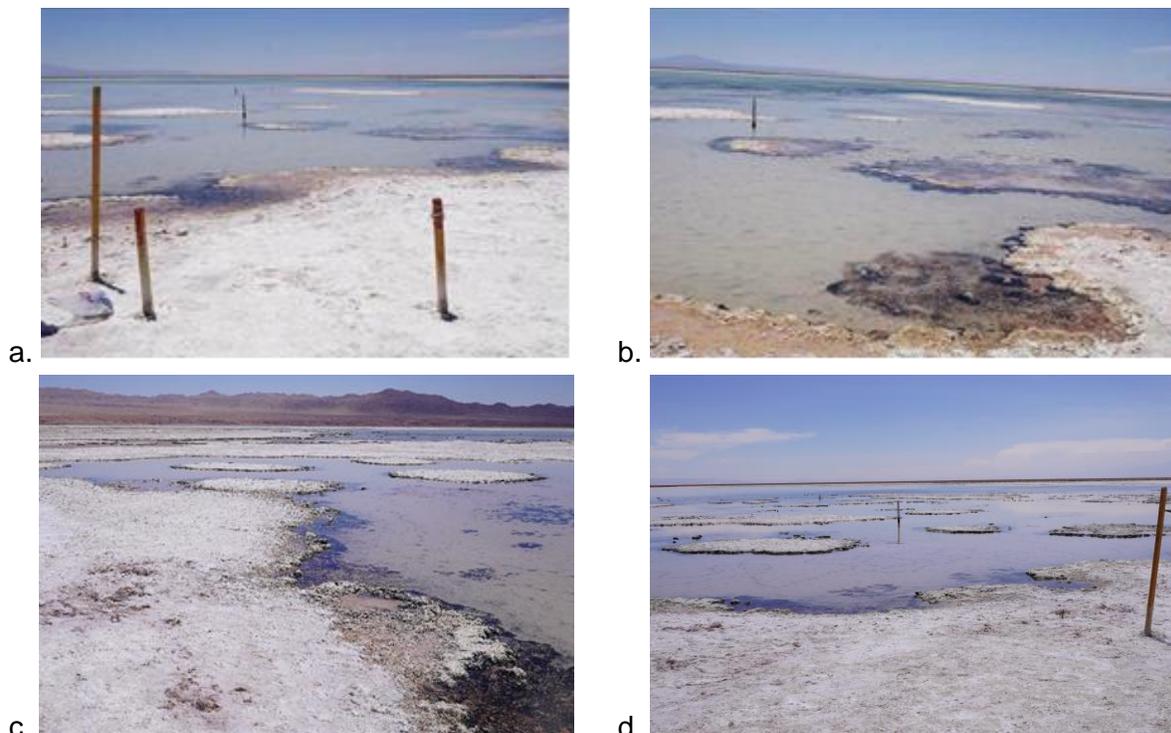
#### 10.2.1.1 Sector *La Punta y La Brava*

Este sector comprende las lagunas La Punta y La Brava, en el cual fueron emplazadas cinco estaciones de monitoreo, tres ubicadas en Laguna La Brava (LB-1; LB-2 y LB-3) y dos en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**).

- Estación LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica estimada de 2.277 msnm, con un ancho de sección estimado de 240,7 m en invierno y 246 m en verano, con una profundidad promedio de columna de agua de 11,0 cm en invierno y 14,8 cm en verano. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino (limo y arena), con la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo en invierno y bajo flujo en verano y con aguas de ligeramente turbias a transparentes en los respectivos periodos de muestreo. La estación no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña en invierno ni en verano (**Fotografía N° 10-2**).

**Fotografía N° 10-2. Estación LB-1. Campaña Invierno 2023. a. y b. Vista panorámica de la estación y Campaña Verano 2024 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas ni helófitas.**

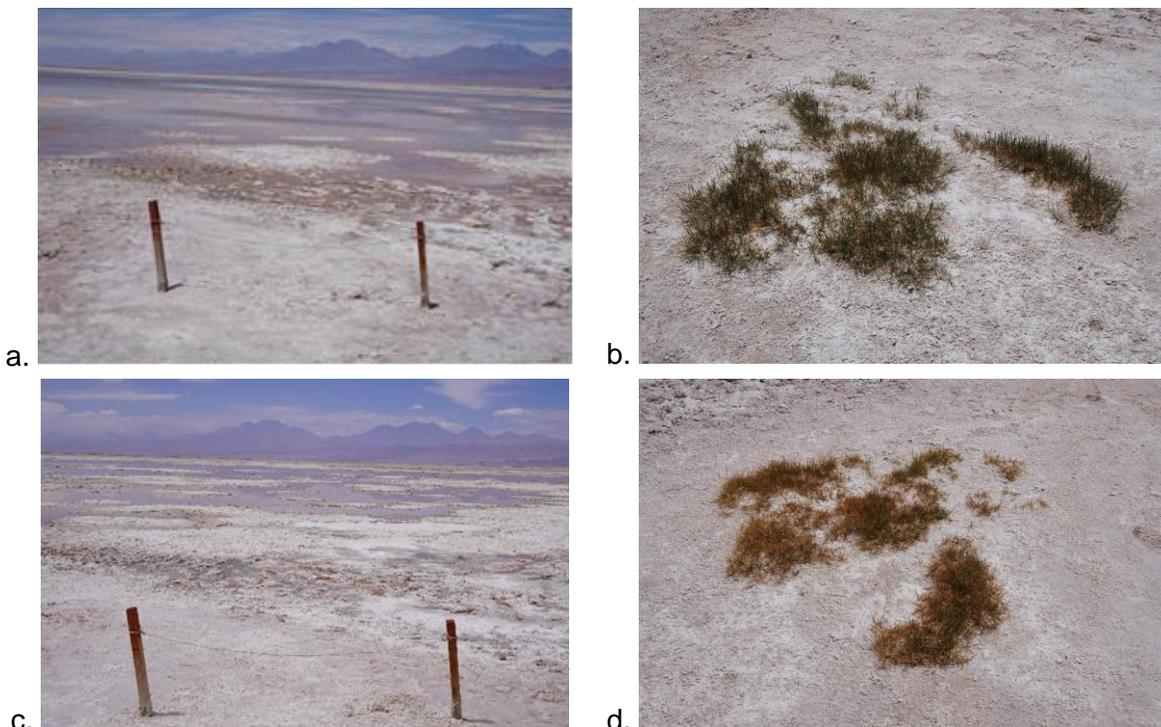


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica estimada de 2.305 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 210,5 m en invierno y de 247 m en verano y de profundidad 6,17 y 4,8 cm en promedio entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino (limo y arena), con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas ligeramente turbias en invierno y transparentes en verano. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófitas en ambos periodos de monitoreo. Cabe señalar que en verano se observó a través de registro visual, una disminución en el área del espejo de agua de la laguna, respecto de campañas anteriores (**Fotografía N° 10-3**).

**Fotografía N° 10-3. Estación LB-2. Campaña Invierno 2023 y Verano 2024. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófitas: *Triglochin concinna*).**

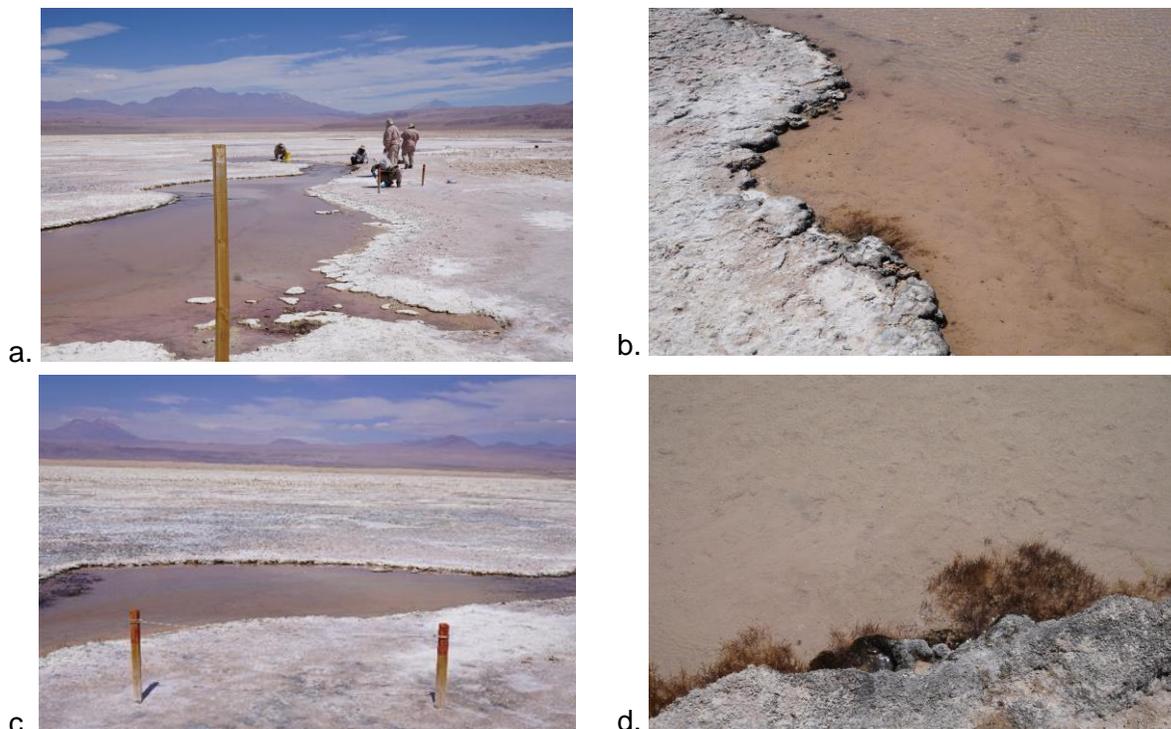


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-3

La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava, correspondiendo a una estación de muestreo adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica estimada de 2.301 msnm, con un ancho de sección estimado de 3,1 m y 4,60 m entre periodos de monitoreos, de profundidad promedio de 4,83 cm en invierno y 2,2 cm en verano. El tipo de sustrato corresponde a sedimento fino, sin flujo y aguas transparentes en invierno y verano. La estación de monitoreo presentó plantas acuáticas hidrófitas sumergidas en invierno y en verano. Cabe señalar que en verano se observó a través de registro visual, una disminución en el espejo de agua de la laguna, respecto de campañas anteriores (**Fotografía N° 10-4**).

**Fotografía N° 10-4. Estación LB-3. Campaña Invierno 2023. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2024. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita.**

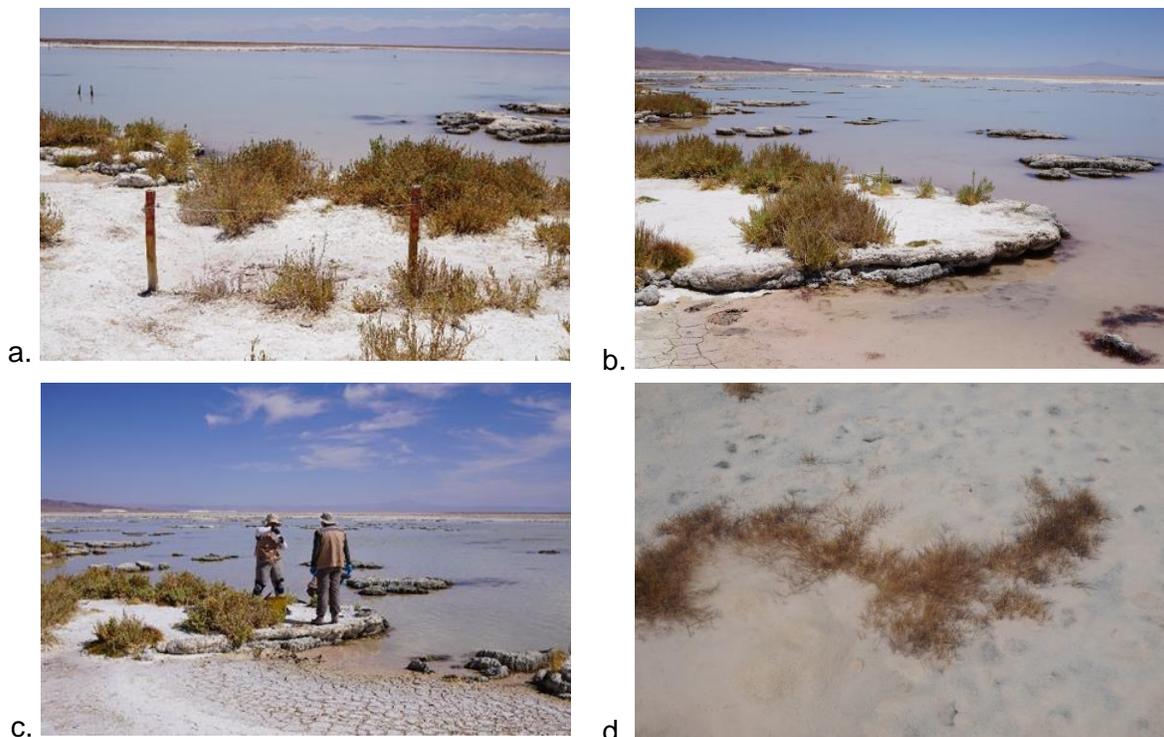


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica estimada de 2.302 msnm, con un ancho de sección estimado de 131,9 m en invierno y 139 m en verano, con una profundidad que osciló entre 10,0 y 9,7 cm entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, aunque se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa de la laguna, sin flujo y con aguas ligeramente turbias en invierno y transparentes en verano. La estación de monitoreo presentó parches de hidrófitas sumergidas (*Ruppia*) y tres especies de helófitas en ribera y presencia de microbialitos al interior de la laguna (**Fotografía N° 10-5**).

**Fotografía N° 10-5. Estación LP-23. Campaña Invierno 2023. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* (helófito). Campaña Verano 2024. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófita (*Ruppia*).**

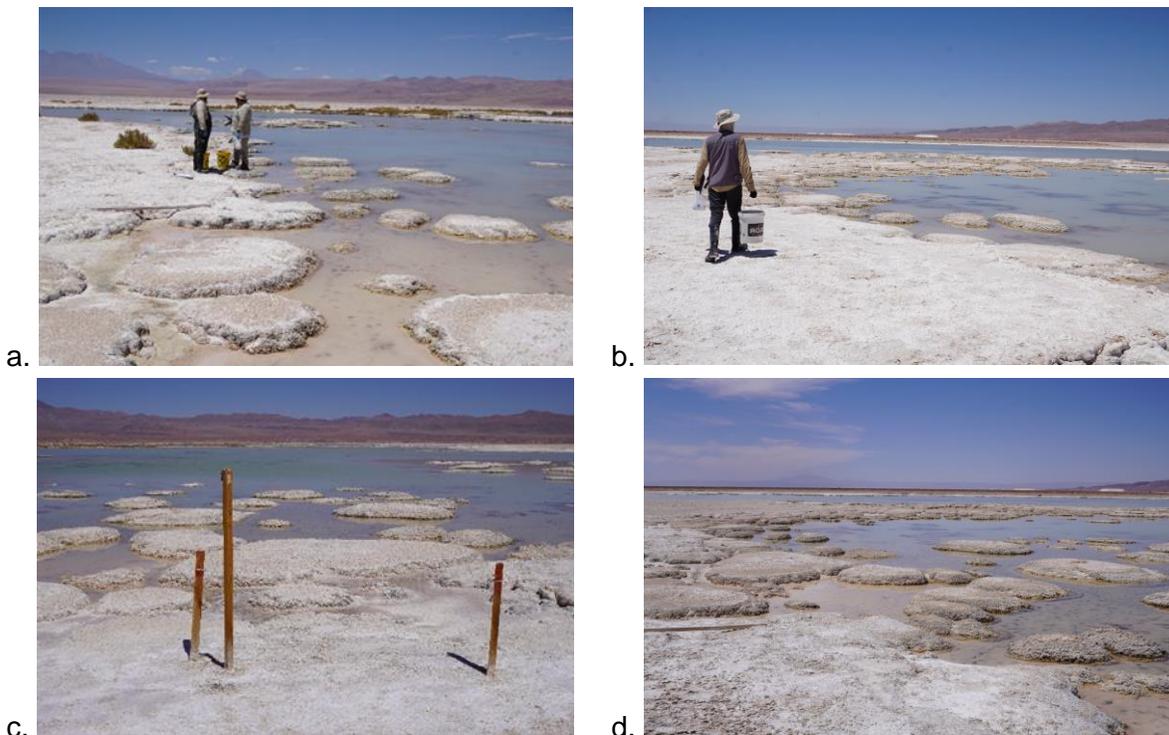


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-24

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2.310 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 240,8 m en invierno y 290 m verano, y con una profundidad que osciló entre 13,0 y 8,2 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo en invierno y flujo bajo en verano, con aguas de ligeramente turbias a transparentes en los respectivos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas sumergidas (*Ruppia*) y helófitas en ribera. Se sugiere la presencia de evaporitas al interior de la laguna (**Fotografía N° 10-6**).

**Fotografía N° 10-6. Estación LP-24. Campaña Invierno 2023 y Verano 2024. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas.**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.1.2 Sector Tilopozo

Este Sector corresponde al área denominada vegas de Tilopozo y en ella se ubican tres estaciones de monitoreo, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos con pozas profundas, mientras que, TB-2 corresponde a un sistema somero tipo pajonal hídrico (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**).

- Estación TB-1

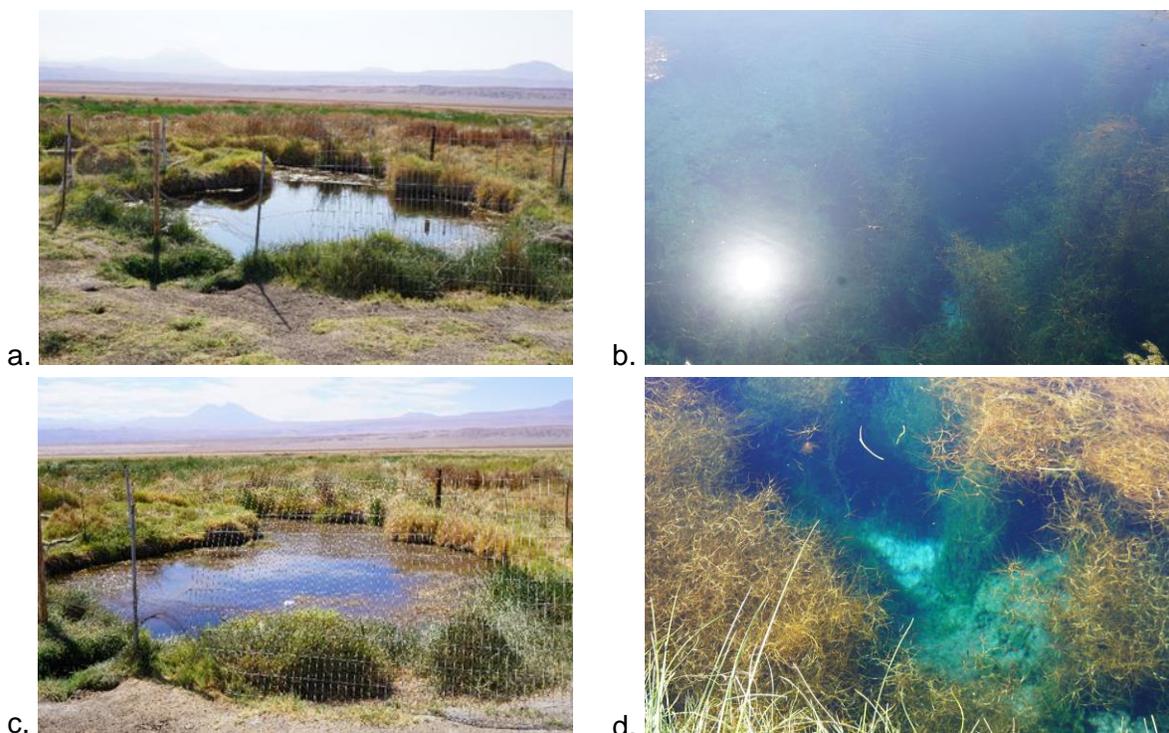
La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2.314 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado y 68,9 m<sup>2</sup> en invierno y verano, con una profundidad de 3,07 y 2,72 m entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes.

Además, en esta estación se observó un canal aledaño de 97 cm de ancho; con especies emergentes (helófitas) principalmente de los géneros *Schoenoplectus*, *Distichlis* y lamas de

microalgas flotantes en el canal, se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012). Cabe destacar que, la poza presenta gran cantidad de hidrófitas sumergidas (*Zannichellia palustris*) y lamas de microalgas que crecen sobre y entre dichas plantas, condición observada en ambas campañas de monitoreo (**Fotografía N° 10-7**).

Cabe señalar, que en invierno 2023 se observaron llamas, burros y cabras en actividades de pastoreo.

**Fotografía N° 10-7. Estación TB-1. Campaña Invierno 2023 y Verano 2024 a y c. Vista panorámica de la estación b y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua.**



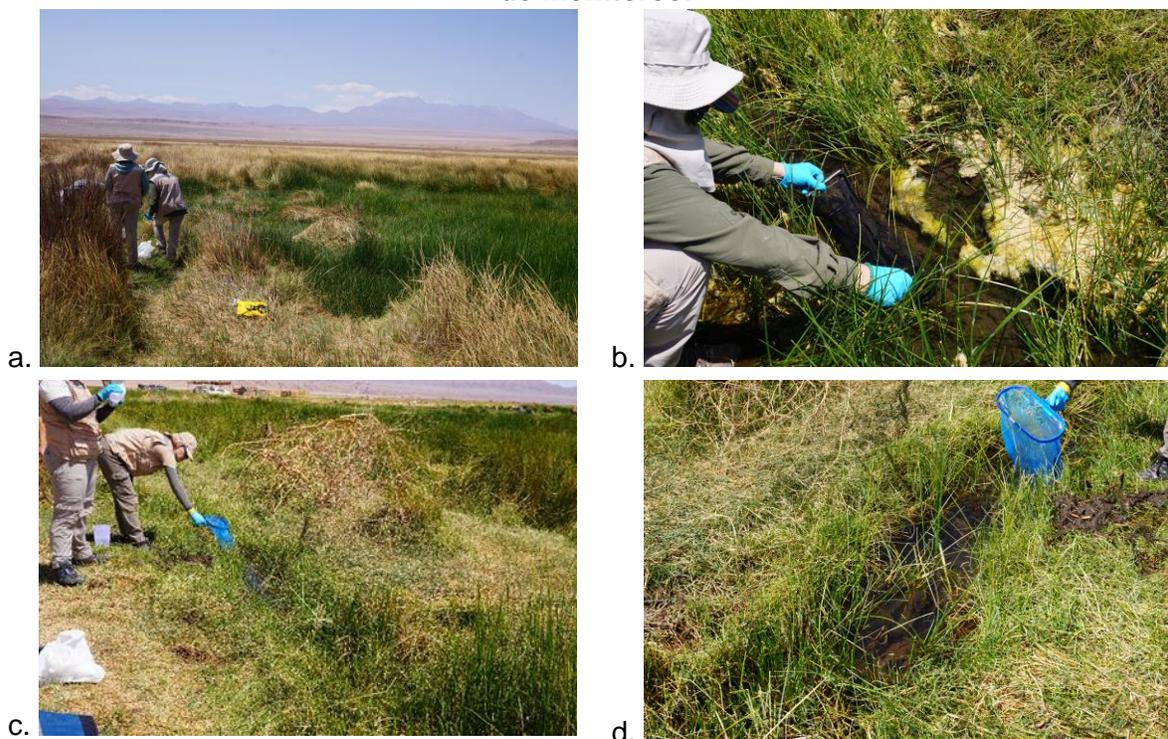
Fuente: Elaboración propia.

- Estación TB-2

La estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2.317 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 16,3 x 22,0 m en invierno y en verano y en cuyo costado fluye un brazo emergente de 3,0 m de ancho en invierno y 0,41 m en verano, con una profundidad de 23,3 y 8,9 cm entre periodos de muestreo. La estación de monitoreo estaba completamente cubierta por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus* y *Schoenoplectus*, además en invierno se observaron algas flotantes. En la estación se detectó la presencia de *Gambusia*, taxón invasor e introducido (**Fotografía N° 10-8 a, b, c y d**).

Cabe señalar que, en la campaña invierno 2023, la estación de monitoreo se encontró con la vegetación ramoneada y con la presencia llamas, burros y cabras.

**Fotografía N° 10-8. Estación TB-2. Campaña Invierno 2023. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófito *Schoenoplectus californicus*. Campaña Verano 2024. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y d. Escurrimiento al costado de la estación de monitoreo.**



Fuente: Elaboración propia.

- Estación TB-3

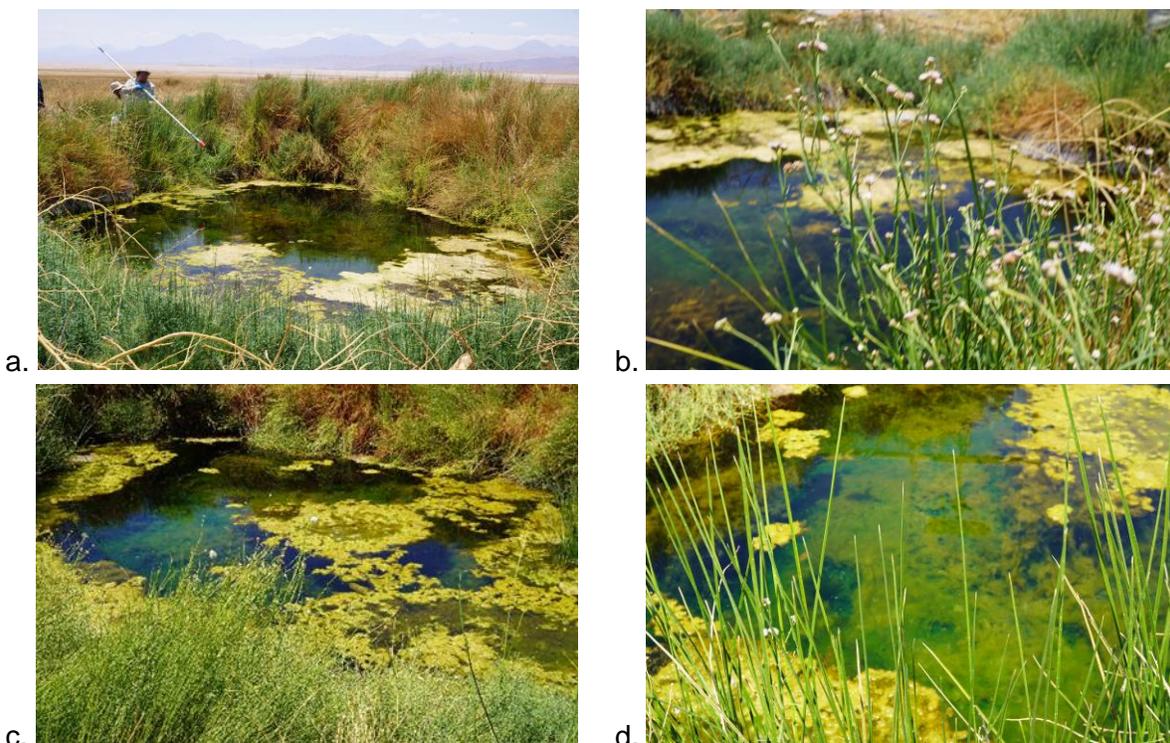
La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2.320 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado entre 66,8 m<sup>2</sup> en invierno y verano, con una profundidad de 1,67 y 1,18 m entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas transparentes en ambos periodos de muestreo.

En la estación se detectaron especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Schoenoplectus* y la hidrófita *Zannichellia palustris*, se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012). (Fotografía N° 10-9).

Señalar que, en la campaña invierno 2023, la estación de monitoreo se encontraron llamas, burros y cabras en actividades de pastoreo. Desde la campaña de verano de 2019, se ha observado algún grado de eutrofización de la poza, con mayor presencia de lamas de microalgas en superficie probablemente dado por el deslizamiento de la orilla de la poza sobre esta. Cabe señalar que, al costado de la estación se ubica una bomba de agua de Minera Albemarle.

Cabe destacar que la estación TB-3, es una estación adicional a las comprometidas en el PMB, debido a que permite complementar la información entregada por las otras estaciones de monitoreo.

**Fotografía N° 10-9. Estación TB-3. Campaña Invierno 2023 a. Vista panorámica de la estación y b. presencia de lamas microalgales dentro de la poza y helófitas en la línea de costa y Campaña Verano 2024 c. Vista panorámica de la estación, presencia de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis linearis* en línea de costa. y d. Interior de la poza.**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.1.3 Sector Peine

En las campañas invierno 2023 y verano 2024, al Sector Peine no fue posible acceder a realizar labores de monitoreo, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

### 10.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2023 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

#### 10.2.2.1 Resultados Calidad de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de invierno 2023 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones de los sectores de estudio. Cabe mencionar que dentro del Plan de Manejo Biótico se indica realizar el análisis del parámetro Clorofila en Perifiton ( $\text{mg chl-a/m}^2$ ) a cada una de las muestras de agua por estación de monitoreo, sin embargo, la ETFA encargada (ANAM S.A.) no incluyó este análisis en la entrega de resultados “debido a una omisión en el proceso de carga de las muestras”, lo que se explica en la Carta R06/2024 incluida en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**. Dicho anexo también contiene los informes de ensayo de laboratorio respectivos de calidad de agua.

##### 10.2.2.1.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-9**) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 26.570 y 124.400  $\mu\text{S/cm}$ ) y elevadas salinidades, como es característico de este sistema. La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro y sulfato, siendo las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava las que presentaron el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas en el sector. En la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la laguna La Brava, se registraron los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en LB-1 y LB-2 de La Brava, sin embargo, también fueron elevados, con valores para LP-23 y LP-24 de 51.590 y 54.430  $\mu\text{S/cm}$  en conductividad y de 27,93 y 31,01 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (sobre 18.000 mg/L) y sulfato (sobre 2.800 mg/L).

Las temperaturas registradas en esta campaña para el sector estuvieron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (23,41 a 32,36°C), junto con un pH básico entre 8,06 y 8,56 unidades, cuyos valores se relacionan con los parámetros de alcalinidad total y bicarbonato (296 a 631 mg/L), junto con los de Alcalinidad Parcial (<1 a 5 mg/L) y Carbonato (<1 a 10 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 2,73 y 3,91

mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). Por su parte la clorofila “a” presentó una variación entre <0,02 y 1,05 µg/L con su máximo registro en LP-24 (La Punta). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 2,2 y 12,1 UNT (máximo en LP-23). Los compuestos nitrogenados como el nitrito y nitrato presentaron en todas las estaciones valores por debajo el límite de detección, mientras que el amonio tuvo valores entre <0,001 y 0,119 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldahl mostró valores entre <0,01 y 0,134 mg/L, detectándose los mayores valores de estos parámetros en la estación LP-23 (La Punta). Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, presentaron valores entre 0,723 y 3,4 mg/L para el fósforo total y entre 2,1 y 10,3 mg/L para el ortofosfato, observándose los mayores valores en LB-1 y LB-2. El parámetro de aceites y grasas presentó valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector.

**Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava.  
Campaña Invierno 2023.**

Parámetro	Unidad	Min LB (**)	Max LB (**)	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (*)	°C	7,5	24,9	25,17	23,41	29	32,36	30,61
pH (*)	Unidad de pH	7,77	8,32	8,31	8,56	8,06	8,29	8,29
Conductividad (*)	µS/cm	22300	77.600	51.590	54.430	103.000	124.400	26.570(***)
Salinidad	g/kg	22,7	24,9	27,93	31,01	60,35	31,71	16,16
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	5,3	9,12	2,73	3,43	2,81	2,98	3,91
Turbiedad (*)	UNT	2,7	5,7	12,1	4,5	3,1	2,2	8,6
Clorofila "a"	µg/L	<1,00	1,5	<0,02	1,05	<0,02	<0,02	<0,02
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	-	-	<1	<1	<1	<1	5
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	268	387	436	421	563	631	306
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	-	-	436	421	563	631	296
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	-	-	<1	<1	<1	<1	10
Cloruro (Cl-)	mg/L	22.224	22.865	18.568,6	18.299,6	42.995,3	51.084,8	8.197,8
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	<0,5	<0,5	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	<0,15	<0,15	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	-	-	S/l	S/l	S/l	S/l	S/l
Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	mg/L	0,27	1,25	0,134	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	<0,05	<0,05	1,19	1,1875	2,89	3,4	0,723
Ortofosfato	mg/L	-	-	3,5	3,5	8,6	10,3	2,1
Sulfato (SO4-2)	mg/L	6.716	7.261	2.869,1	3.029,6	7.216,2	9.396,3	2.065,4
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	424	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (\*) Parámetros registrados in situ. (\*\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base. (\*\*\*) Valor de conductividad medido en laboratorio. El valor *in situ* reportado en informe de ensayo no se condice con valor registrado en terreno, se solicitó a laboratorio ANAM revisión y corrección de registros, pero no se tuvo respuesta a la fecha de entrega del presente informe.

#### 10.2.2.1.2 Resultados Sector Tilopozo

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo en invierno 2023, muestran un sistema de vegas mucho menos salino que el de la Punta y La Brava (**Tabla N° 10-10**), con valores más bajos en conductividad (entre 4.476 y 4.733  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad (2 g/Kg), cloruro (904,3 a 967,6 mg/L) y sulfato (430,6 a 433,9 mg/L). Se registró un pH entre 6,97 a 7,2 y valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 334 y 342 mg/L. Las temperaturas registradas en general fueron altas en estos cuerpos de agua, las cuales oscilaron entre 25,32 y 25,84°C, mientras que el oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3,32 y 4,6 mg/L. Cabe mencionar que la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad y las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial.

Por su parte, la turbiedad mostró valores entre 0 y 3,8 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre <0,02 y 9,43  $\mu\text{g}/\text{L}$ , observándose el máximo de clorofila en TB-3. En relación con los compuestos nitrogenados, el nitrito y nitrato presentaron en todas las estaciones valores por debajo el límite de detección, mientras que el amonio tuvo valores entre 0,005 y 0,018 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldahl mostró valores entre 0,013 y 0,025 mg/L, detectándose los mayores valores de estos parámetros en la estación TB-2. En el caso del fósforo total, se determinaron valores entre 0,160 y 0,167 mg/L, mientras que el ortofosfato, tuvo valores bajo el límite de detección en todas las estaciones muestreadas de Tilopozo, al igual que el parámetro de aceites y grasas.

**Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023.**

Parámetro	Unidad	Tilopozo		
		TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	25,54	24,32	25,84
pH (*)	Unidad de pH	6,97	7,2	7,12
Conductividad (*)	μS/cm	4.476	4.733	4.689
Salinidad	g/kg	2	2	2
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	3,97	4,6	3,32
Turbiedad (*)	UNT	0	3,8	2,2
Clorofila "a"	μg/L	<0,02	<0,02	9,43
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	<1	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	338	334	342
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	338	334	342
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	<1	<1	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	941,1	967,6	904,3
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,009	0,018	0,005
Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	mg/L	0,013	0,025	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,164	0,16	0,167
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,5	0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	433,9	433,5	430,6
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (\*) Parámetros registrados *in situ*.

#### 10.2.2.1.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible realizar el monitoreo de invierno 2023, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

#### 10.2.2.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados durante la campaña de invierno 2023. Cabe mencionar que dentro del Plan de Manejo Biótico se indica realizar los análisis de granulometría y de Potencial Óxido-Reducción (REDOX) a cada una de las muestras colectadas por estación de monitoreo, sin

embargo, la ETFA encargada (ANAM S.A.) no incluyó estos análisis en la entrega de resultados “*debido a una omisión en el proceso de carga de las muestras*”, lo que se explica en la **Carta R06/2024** incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**. El anexo también contiene los informes de ensayo de laboratorio respectivos de calidad de sedimentos.

#### 10.2.2.2.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-11** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2023 del Sector de La Punta - La Brava. La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 39 a 86,6 g/Kg y de 6,8% a 14,9%, respectivamente, registrándose los valores más altos para estos parámetros en las estaciones LP-24 y LB-3. El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento tuvo el mayor valor registrado en LB-3 (La Brava). Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección (<500 mg/Kg) en la mayoría de las estaciones del sector, excepto en LB-2 (700,9 mg/Kg) y LB-3 (758,4 mg/Kg).

**Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023.**

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	<b>22</b>	<b>48</b>	39,21	85,15	72,39	79,06	86,6
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	<b>8</b>	<b>55</b>	<500	<500	<500	700,9	758,4
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	<b>1,596</b>	<b>6,351</b>	2,276	4,479	3,581	3,706	5,117
Materia Orgánica	%	0,28	<b>3,9</b>	<b>8,2</b>	6,760	14,680	12,480	13,630	14,930

Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante la campaña de invierno de 2015 de la Línea Base (única campaña de referencia para este componente).  
L.D.= Límite de detección.

#### 10.2.2.2.2 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-12** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2023 del Sector de Tilopozo. Las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) entre 78,65 y 233,76 g/Kg y de materia orgánica entre 13,56% y 40,30%, siendo máximos las concentraciones de estos componentes en TB-2. El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 4,994 g/Kg y 8,285 g/Kg, siendo máximo también en TB-2. En el caso del fósforo total, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector (<500 mg/Kg).

**Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023.**

Parámetro	Unidad	L.D.	TB-1	TB-2	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	103,31	233,76	78,65
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	4,994	8,285	5,642
Materia Orgánica	%	0,28	17,81	40,30	13,56

Fuente: Elaboración propia. L.D.= Límite de detección.

#### 10.2.2.2.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible realizar el monitoreo de invierno 2023, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

#### 10.2.2.3 Resultados Biota acuática

##### 10.2.2.3.1 Fitobentos

El fitobentos corresponde al complejo de comunidades microalgales que viven asociadas a un sustrato del fondo de los cuerpos de agua (Parra & Bicudo, 1996), las cuales son representadas por microalgas bentónicas. Su importancia radica en ser productores primarios en el ecosistema (estando o no asociadas a los tapetes microbianos) sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de ellas.

##### 10.2.2.3.1.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2023 estuvo compuesta por 24 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 7 y 17 géneros en las estaciones LB-1 y LB-3, ambas registradas en la laguna La Brava. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 956.500 cel/cm<sup>2</sup> en LB-1 (La Brava) y 3.611.429 cel/cm<sup>2</sup> en LB-3 (La Brava) (**Tabla N° 10-13**).

La comunidad presentó una diversidad y equidad mayor en la estación LB-3, ubicada en la laguna La Brava con 2,00 nits/ind y 0,71 unidades respectivamente. Por otro lado, en la estación de La Brava (LB-1), se registró la menor diversidad con 0,90 nits/ind y menor equidad la compartieron LB-1 y LB-2 con 0,53 unidades (**Tabla N° 10-13**).

En relación con los *taxa* dominantes, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Halamphora* y *Denticula* (**Figura N° 10-2**). El análisis por clase

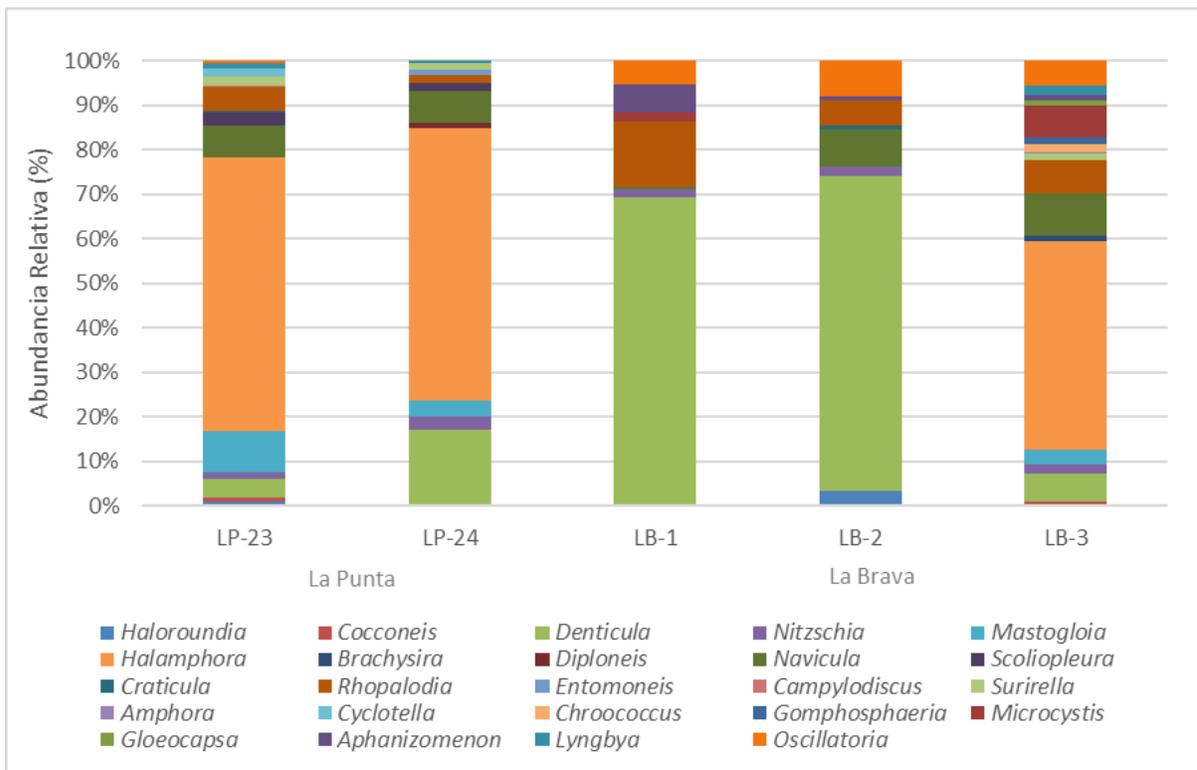
de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, tuvieron la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

**Tabla N° 10-13. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Haloroundia</i>	19.333			59.167	
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	24.000				39.048
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	88.667	410.833	663.500	1.218.667	218.095
			<i>Nitzschia</i>	32.000	76.667	18.000	35.333	80.952
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	200.667	83.333			121.905
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	1.324.667	1.485.833			1.686.667
			<i>Brachysira</i>					43.810
			<i>Diploneis</i>		28.333			
			<i>Navicula</i>	156.000	175.833	3.000	142.333	343.810
			<i>Scolioleura</i>	62.000	42.500			
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Craticula</i>	6.000			18.000	
			<i>Rhopalodia</i>	119.333	41.667	140.500	95.000	269.524
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>		28.333			
			Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	6.667			
				<i>Surirella</i>	43.333	35.000		
Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>					8.571	
Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>	37.333					
Cyanobacteria	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>					66.667
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>					45.714
		Microcystaceae	<i>Microcystis</i>			20.000		259.048
	Cyanobacteriales	Gloeocapsaceae	<i>Gloeocapsa</i>					46.667
		Aphanizomenonaceae	<i>Aphanizomenon</i>			61.000	18.000	47.619
		Microcoleaceae	<i>Lyngbya</i>	26.000	14.167			76.190
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	13.333		50.500	136.500	198.095
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Invierno 2023</b>				
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>16</b>	<b>8.753</b>	<b>2.159.333</b>	<b>2.422.500</b>	<b>956.500</b>	<b>1.723.000</b>	<b>3.611.429</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>5</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>17</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>1,53</b>	<b>1,35</b>	<b>1,04</b>	<b>1,10</b>	<b>2,00</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,56</b>	<b>0,56</b>	<b>0,53</b>	<b>0,53</b>	<b>0,71</b>

Fuente: Elaboración propia. LB: Línea base. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor máximo de LB corresponde a 8.753 cel/cm<sup>2</sup>, considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 2.673 cel/cm<sup>2</sup>. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

**Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.2.3.1.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 14 géneros. La riqueza por estación de monitoreo presentó el mayor registro en la estación TB-2 y TB-3 con 8 géneros y el menor en TB-1 con 4 géneros. Respecto a las abundancias registradas, la estación TB-3 presentó el mayor registro de abundancia con 3.805.568 cel/cm<sup>2</sup> y el menor en TB-2 con 334.487 cel/cm<sup>2</sup> (**Tabla N° 10-14**).

La diversidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fue mayor para la estación TB-3 con 1,13 nits/ind y menor en la estación TB-1 con 0,86 nits/ind. Respecto a la equidad se observó que el mayor registro lo presentó la estación TB-1 con 0,62 unidades y el menor TB-2 con 0,49 unidades (**Tabla N° 10-14**).

En la **Figura N° 10-3**, se puede observar que los *taxa* dominantes, correspondieron a las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula* las que presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas.

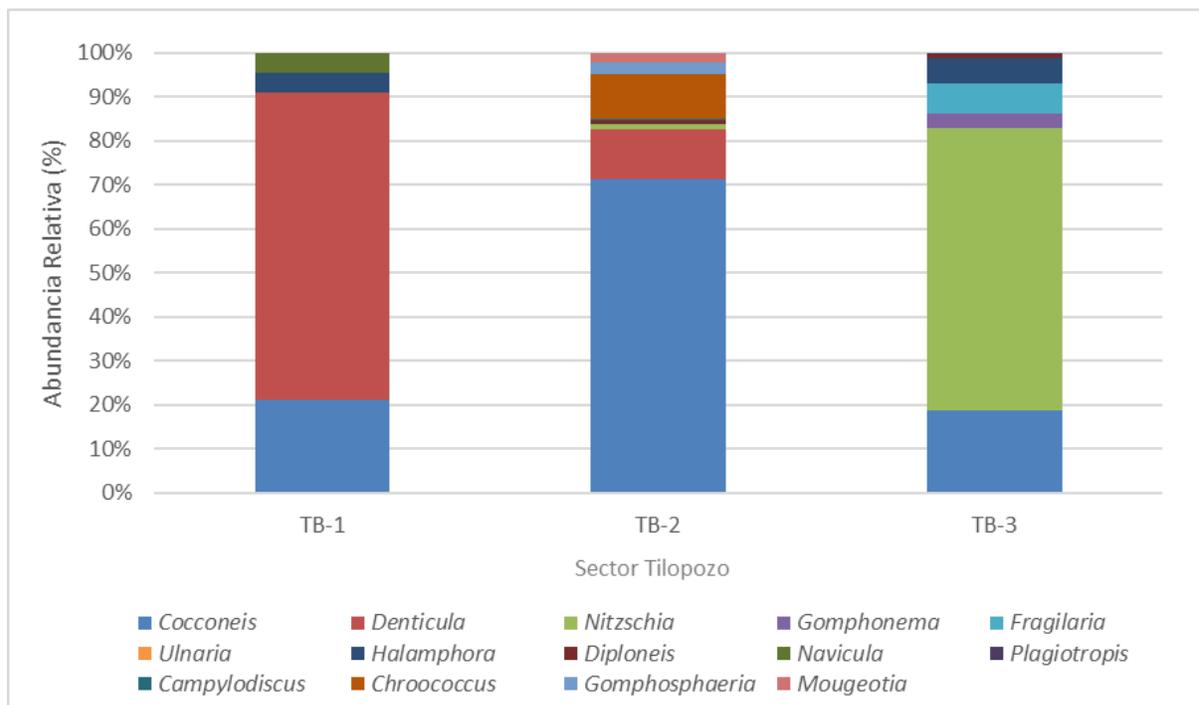
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector de Tilopozo.

**Tabla N° 10-14. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2023).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	511.250	238.761	708.750
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	1.686.250	37.366	
			<i>Nitzschia</i>		4.487	2.447.386
	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>			121.705
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			258.750
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>			10.227
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	107.500		213.750
		Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>		2.344	33.750
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>	111.250		
		Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>			11.250
Surirellaceae	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>		1.172		
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		34.353	
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>		8.973	
Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>		7.031	
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>				<b>2.416.250</b>	<b>334.487</b>	<b>3.805.568</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/Ind)</b>				<b>0,86</b>	<b>1,01</b>	<b>1,13</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,62</b>	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.2.3.1.3 Sector Peine

En la campaña invierno 2023, no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, por lo que no fue posible realizar su monitoreo (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

#### 10.2.2.3.2 Fitoplancton

Corresponde a la comunidad de microalgas fotosintetizadoras que se hallan en suspensión en las aguas y que puede ser delimitada ecológica y fisionómicamente (Parra & Bicudo, 1996). Su importancia ecológica, al igual que el fitobentos, radica en ser productores primarios en el ecosistema, sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de los microorganismos que componen el fitoplancton.

#### 10.2.2.3.2.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta - La Brava, en la campaña de invierno 2023 presentó 18 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 6 y 9 géneros, con un registro mínimo en la estación LP-24 (La Punta) y el máximo en LB-3 (La Brava). Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 30 cel/mL en LB-2 (La Brava) y 888 cel/mL en LP-23 (La Punta) (**Tabla N° 10-15**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-3 (La Brava) con 1,87 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LP-24 (La Punta) con 0,95 nits/ind (**Tabla N° 10-15**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,53 unidades registrado en la estación LP-24 y 0,85 en la estación LB-3.

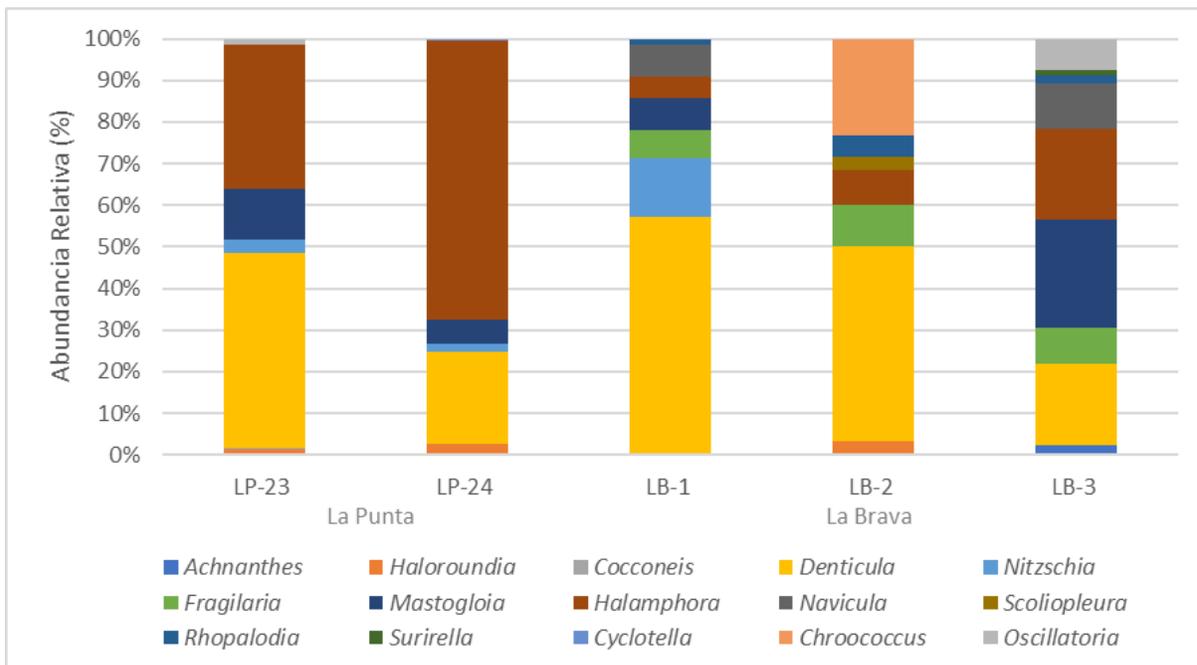
El gráfico de abundancia relativa (**Figura N° 10-4**), permite observar que los *taxa* dominantes, correspondieron a las diatomeas *Halamphora* y *Denticula*. El análisis por clase de la comunidad de fitoplancton mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

**Tabla N° 10-15. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>					1,0
		Achnanthes	Achnanthes	12,0	18,0		1,0	
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	4,0				
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	414,0	164,3	22,0	14,0	9,0
			<i>Nitzschia</i>	30,0	13,4	5,5		
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			2,5	3,0	4,0
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	108,0	42,6	3,0		12,0
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	306,0	491,2	2,0	2,5	10,0
			Naviculaceae			3,0		5,0
			Scoliotropidaceae	<i>Scoliotropis</i>	2,0			1,0
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			0,5	1,5	1,0
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					0,5
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>		2,3			
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>				7,0	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	12,0				3,5
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Invierno 2023</b>				
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>		<b>76</b>	<b>4.905</b>	<b>888</b>	<b>732</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	<b>46</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>6</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>1,25</b>	<b>0,95</b>	<b>1,38</b>	<b>1,51</b>	<b>1,87</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,6</b>	<b>0,53</b>	<b>0,71</b>	<b>0,78</b>	<b>0,85</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor consignado como máximo de riqueza LB de 14 géneros, y no de 12, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

**Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.2.3.2.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 10 géneros. La riqueza osciló entre 3 géneros en TB-1 y 8 géneros registrados en TB-3 respectivamente. Respecto de las abundancias registradas oscilaron entre 36 cel/mL en TB-1 y 152 cel/mL en TB-3 (**Tabla N° 10-16**).

En relación con los valores de diversidad se observó una mayor diversidad de 1,64 nits/ind en la estación TB-2 y menor de 1,05 nits/ind en TB-1. En tanto, la equidad presentó valores diferentes entre las estaciones de muestreo con valores que oscilaron entre 0,70 unidades en TB-3 y 0,96 en la estación TB-1.

Respecto de los *taxa* dominantes, las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*, presentaron las mayores representatividades entre las estaciones de Tilopozo (**Figura N° 10-5**).

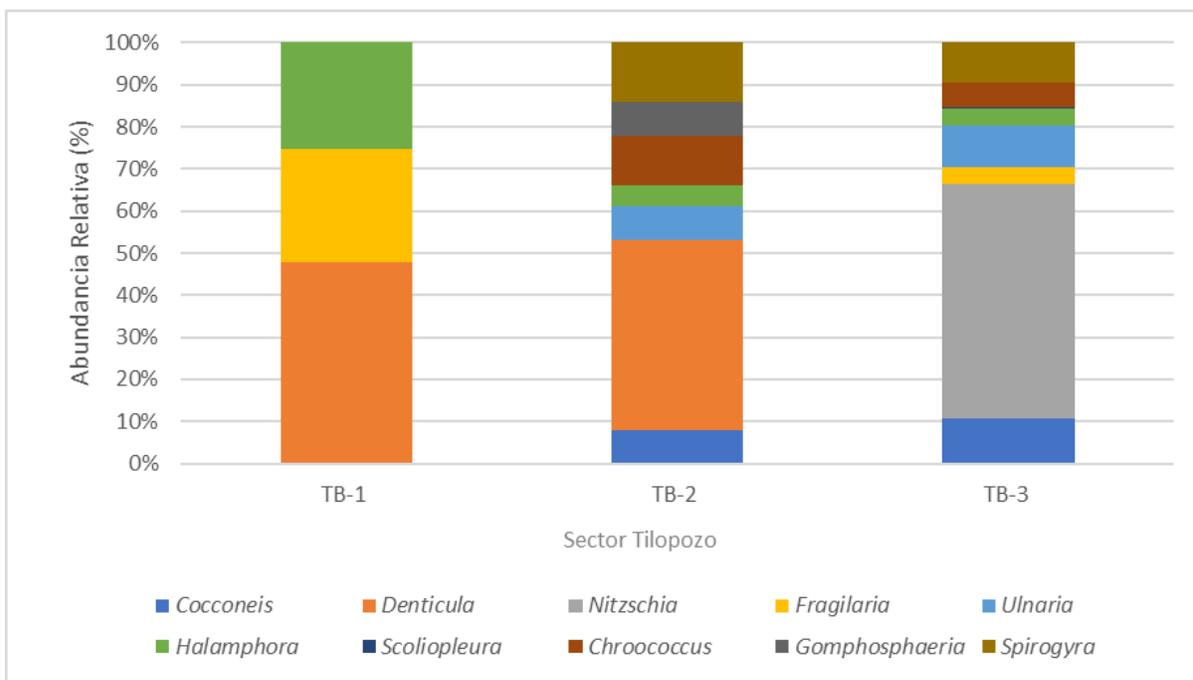
El análisis por clase de la comunidad de fitoplancton mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector Tilopozo.

**Tabla N° 10-16. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2023).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		4,0	16,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	17,0	22,5	
			<i>Nitzschia</i>			85,0
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	9,5		6,0
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>		4,0	15,0
Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	9,0	2,5	6,0	
	Scoliotropidaceae	<i>Scolioleura</i>			0,5	
Cyanobacteria	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		6,0	9,0
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>		4,0	
Zygnematophyceae	Spirogyrales	Spirogyraceae	<i>Spirogyra</i>		7,0	14,5
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>				<b>36</b>	<b>50</b>	<b>152</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>3</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>1,05</b>	<b>1,64</b>	<b>1,46</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,96</b>	<b>0,85</b>	<b>0,70</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.2.3.2.3 Sector Peine

En la campaña invierno 2023, no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, por lo que no fue posible realizar su monitoreo (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

### 10.2.2.3.3 Zooplancton

Los organismos zooplanctónicos son animales invertebrados cuyas características distintivas son su tamaño principalmente microscópico, su movilidad limitada, ser dependientes de los movimientos verticales y horizontales del agua (Samanez *et al.*, 2014) y ser organismos heterótrofos (componente animal del plancton) (Wetzel, 2001). Estos organismos son los consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos filtradores del fitoplancton o bien, de dieta omnívora consumiendo tanto microalgas como zooplancteres en estado larvario (De los Ríos-Escalante, 2010). A continuación, se presentan los resultados del zooplancton obtenidos en la campaña de invierno 2023.

#### 10.2.2.3.3.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta y La Brava en invierno de 2023, se registraron riquezas entre 1 y 5 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, siendo la mínima la obtenida en la estación LP-23 (La Punta) y la máxima en la estación LB-1 de laguna La Brava. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por larvas de copépodos Centropagidae y adultos de la especie *Boeckella poopuensis*, el branquiópodo *Artemia franciscana* y por los copépodos Harpacticidae *Tigriopus* sp. En menor medida se encontraron larvas de dípteros de la familia Ephydriidae (entre otras), además de anfípodos *Hyaella* sp. y el gasterópodo *Heleobia* sp. Los *taxa* con mayor frecuencia fueron *Boeckella poopuensis* y sus larvas, *Tigriopus* sp. y *Artemia franciscana*, los cuales se encontraron a lo menos en dos estaciones de este sector (**Tabla N° 10-17**).

Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,25 a 516,25 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-3 y un máximo en LP-23. El organismo más abundante por estación fue *Boeckella poopuensis*, alcanzando 516,25 ind/L en LP-23, seguido por larvas de Centropagidae en LP-24 con 23,13 ind/L, luego *Artemia franciscana* con 5,42 ind/L en LB-1 y por copépodos *Tigriopus* sp. con 2,42 ind/L en la misma estación. La estructura comunitaria del zooplancton en este sector muestra que el grupo dominante en laguna La Punta fueron los copépodos *Boeckella poopuensis* y sus larvas (Centropagidae) mientras que en La Brava principalmente fueron el branquiópodo *Artemia franciscana* y los copépodos *Tigriopus* sp. (**Tabla N° 10-17 y Figura N° 10-6**).

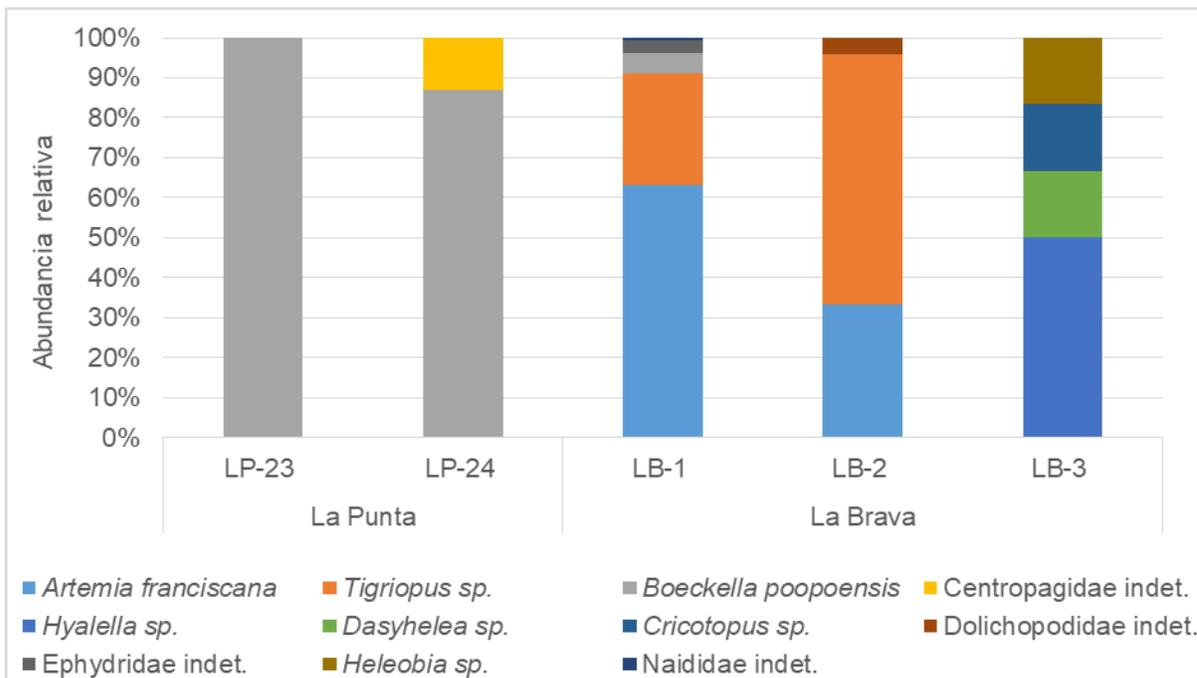
Respecto a las diversidades estimadas por estación, estas oscilaron entre 1,24 y 0,41 nits/ind, con la más baja obtenida en LP-24 y la mayor en LB-3. La equidad fue baja en la mayoría de las estaciones del sector (<0,72), debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles, exceptuando en LB-3 donde fue alta (0,90) dado por la similitud de las abundancias registradas. En la estación LP-23 no se pudieron estimar estos índices debido a que solo se encontró un taxón en esa estación (**Tabla N° 10-17**).

**Tabla N° 10-17. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>			5,42	0,33	
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>		0,63	2,42	0,63	
Maxillopoda	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopuensis</i>	516,25	155,00	0,42		
		Centropagidae (larvas)			23,13			
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.</i>					0,13
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Dasyhelea sp.</i>					0,04
		Chironomidae SubF: Orthoclaadiinae	<i>Cricotopus sp.</i>					0,04
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.				0,04	
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.			0,29		
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>					0,04
Clitellata	Tubificida	Naididae	Naididae indet.			0,04		
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación en Invierno 2023</b>				
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		<b>0</b>	<b>239,1</b>	<b>516,25</b>	<b>178,75</b>	<b>8,58</b>	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		-	-	-	<b>0,41</b>	<b>0,94</b>	<b>0,79</b>	<b>1,24</b>
<b>Equidad (J')</b>		-	-	-	<b>0,37</b>	<b>0,58</b>	<b>0,72</b>	<b>0,90</b>

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

**Figura N° 10-6. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.2.3.3.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2023, se registraron riquezas entre 0 y 4 taxa por estación de organismos zooplanctónicos. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el díptero *Dasyhelea sp.* gusanos Naididae, los copépodos *Tigriopus sp.* y *Boeckella poopoensis*, junto con el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014). Las abundancias totales del zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,00 a 0,75 ind/L, donde no se encontraron organismos zooplanctónicos en la estación TB-1, alcanzándose el máximo en TB-3. Los organismos más abundantes por estación fueron el díptero *Dasyhelea sp.* (0,50 ind/L en TB-3), seguido por gusanos Naididae (0,25 ind/L en TB-3) y los copépodos Harpacticidae *Tigriopus sp.* (0,20 ind/L en TB-2) (Tabla N° 10-18 y Figura N° 10-7).

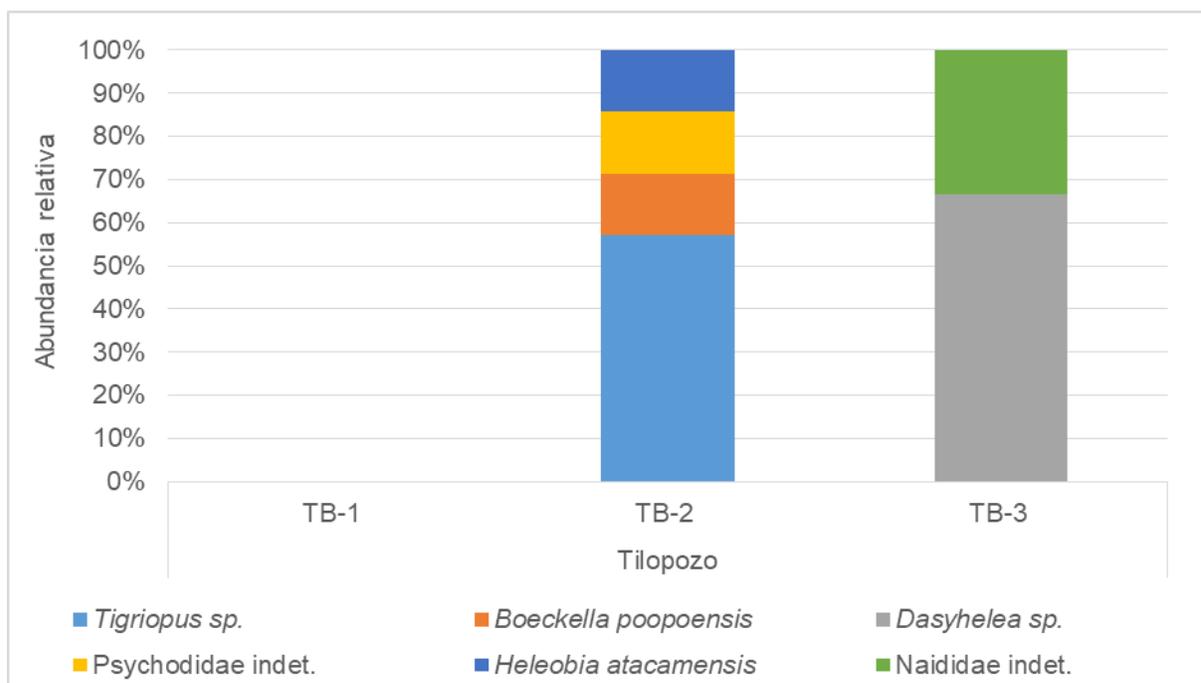
Respecto a los índices comunitarios, las diversidades estimadas variaron entre 1,15 y 0,64 nits/ind, con la más baja obtenida en TB-3 y la mayor en TB-2. La equidad fue alta en ambas estaciones, 0,83 en TB-2 y 0,92 en TB-3, dado por la similitud de las abundancias registradas. En TB-1 no se encontraron organismos zooplanctónicos (Tabla N° 10-18).

**Tabla N° 10-18. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>		0,20	
Maxillopoda	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopensis</i>		0,05	
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Dasyhelea sp.</i>			0,5
		Psychodidae	Psychodidae indet.		0,05	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>		0,05	
Clitellata	Tubificida	Naididae	Naididae indet.			0,25
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>				<b>0,00</b>	<b>0,35</b>	<b>0,75</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>-</b>	<b>1,15</b>	<b>0,64</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>-</b>	<b>0,83</b>	<b>0,92</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-7. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.2.3.3 Sector Peine

En el Sector Peine, no fue posible realizar el monitoreo de invierno 2023, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

### 10.2.2.3.4 Zoobentos

Se refiere a la fauna de invertebrados que habita los sustratos sumergidos de los medios acuáticos. En las lagunas salinas el zoobentos está constituido por crustáceos como anfípodos y copépodos, larvas de insectos (Chironomidae, Ceratopogonidae, Ephydriidae, entre otros), gusanos Lumbriculidae y moluscos gastrópodos como *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014), entre otros. Los organismos zoobentónicos corresponden a consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos carnívoros, herbívoros y detritívoros, siendo el eslabón entre los productores primarios, los consumidores secundarios y los niveles tróficos superiores. A continuación, se presentan los resultados de la campaña de monitoreo de invierno 2022.

#### 10.2.2.3.4.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector **La Punta y La Brava** el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 0 y 5, ocurriendo el máximo en la estación LP-23. La fauna estuvo compuesta por ostrácodos Cyprididae, gasterópodos *Heleobia* sp., insectos dípteros *Dasyhelea* sp., *Bezzia* sp. y Dolichopodidae, anfípodos *Hyaella* sp. y copépodos *Boeckella poopoensis* (**Tabla N° 10-19**).

Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 0 ind/m<sup>2</sup> (LB-2) a 14.291 ind/m<sup>2</sup> (LB-3). Los organismos más abundantes fueron los ostrácodos Cyprididae alcanzando un máximo de 7.535 ind/m<sup>2</sup> en LP-23 y un valor de 6.626 ind/m<sup>2</sup> en LB-3, seguido por los gasterópodos *Heleobia* sp., los cuales tuvieron altas abundancias en LB-3 (6.496 ind/m<sup>2</sup>) y en LP-24 (3.898 ind/m<sup>2</sup>), respectivamente. De las larvas de dípteros, *Dasyhelea* sp. alcanzó un máximo en LP-23 de 1.039 ind/m<sup>2</sup>, siendo el insecto con mayores abundancias (**Tabla N° 10-19**).

Las estimaciones de diversidad estuvieron en el rango de 0,48 a 0,98 nits/ind (mayor en LB-3) y las equidades fueron en general bajas, con estimaciones que estuvieron en el rango de 0,44 a 0,70, dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-19**).

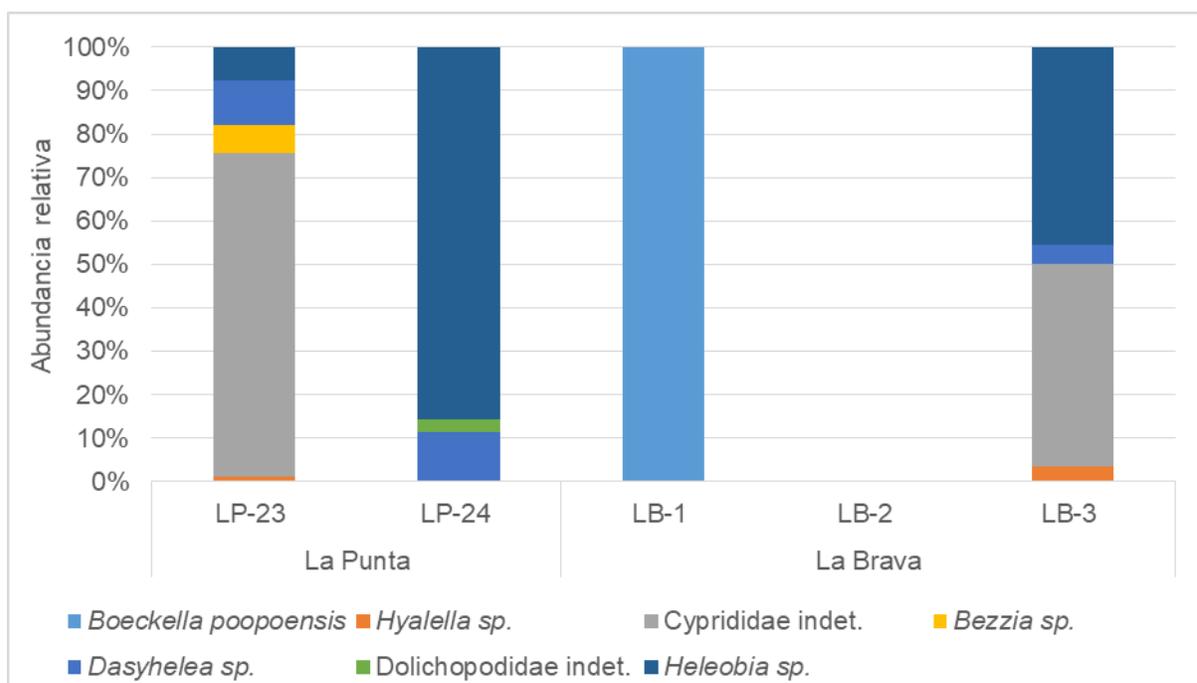
La estructura comunitaria del zoobentos en el sector, muestra que los *taxa* dominantes por cada estación fueron los ostrácodos Cyprididae en LP-23, el gasterópodo *Heleobia* sp. en LP-24, estos mismos *taxa* presentaron dominancias similares en LB-3, mientras que el copépodo *Boeckella poopoensis* fue dominante en las estación LB-1 (**Figura N° 10-8**).

**Tabla N° 10-19. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2023.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Maxillopoda	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopuensis</i>			130		
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella sp.</i>	130				520
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.	7.535				6.626
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Bezzia sp.</i>	650				
			<i>Dasyhelea sp.</i>	1.039	520			650
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.		130			
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	780	3.898			6.496
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación en Invierno 2023</b>				
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>		-	-	<b>10.134</b>	<b>4.547</b>	<b>130</b>	<b>0</b>	<b>14.291</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		-	-	<b>0,88</b>	<b>0,48</b>	-	-	<b>0,98</b>
<b>Equidad (J')</b>		-	-	<b>0,55</b>	<b>0,44</b>	-	-	<b>0,70</b>

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB corresponden al valor mínimo y máximo de riqueza de familias registrados en este sector, durante las campañas de Invierno 2013 y 2014 de la Línea Base.

**Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.2.3.4.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2023, el zoobentos presentó una riqueza de 2 a 8 *taxa*, ocurriendo el máximo en la estación TB-2 y el mínimo en TB-1 y TB-3. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Cyprididae, anfípodos *Hyalella* sp., gusanos Hirudinida, los insectos Elmidae (Coleoptera), *Idioneura* sp. (Odonata) y los dípteros *Dasyhelea* sp. y *Rheotanytarsus* sp. (Tabla N° 10-20).

Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 6.886 ind/m<sup>2</sup> (TB-1) a 29.362 ind/m<sup>2</sup> (TB-2). Los organismos con las mayores abundancias fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, alcanzando altas abundancias en las tres estaciones, con un máximo de 14.032 ind/m<sup>2</sup> en TB-2. Los anfípodos *Hyalella* sp se registraron en alta abundancia en la estación TB-2 alcanzando los 12.343 ind/m<sup>2</sup>. Los ostrácodos Cyprididae se encontraron en las tres estaciones, alcanzando un máximo de 1.949 ind/m<sup>2</sup> en TB-1. Los organismos que les siguieron en abundancia fueron los gusanos Hirudinida con 1.299 ind/m<sup>2</sup> en TB-2 y los insectos con abundancias menores a 390 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente, en la estación TB-2 (Tabla N° 10-20). Se observó la dominancia de los gasterópodos *Heleobia atacamensis* en las tres estaciones del sector, siendo seguidos por los ostrácodos Cyprididae en TB-1 y por los anfípodos *Hyalella* sp en TB-2 (Figura N° 10-9).

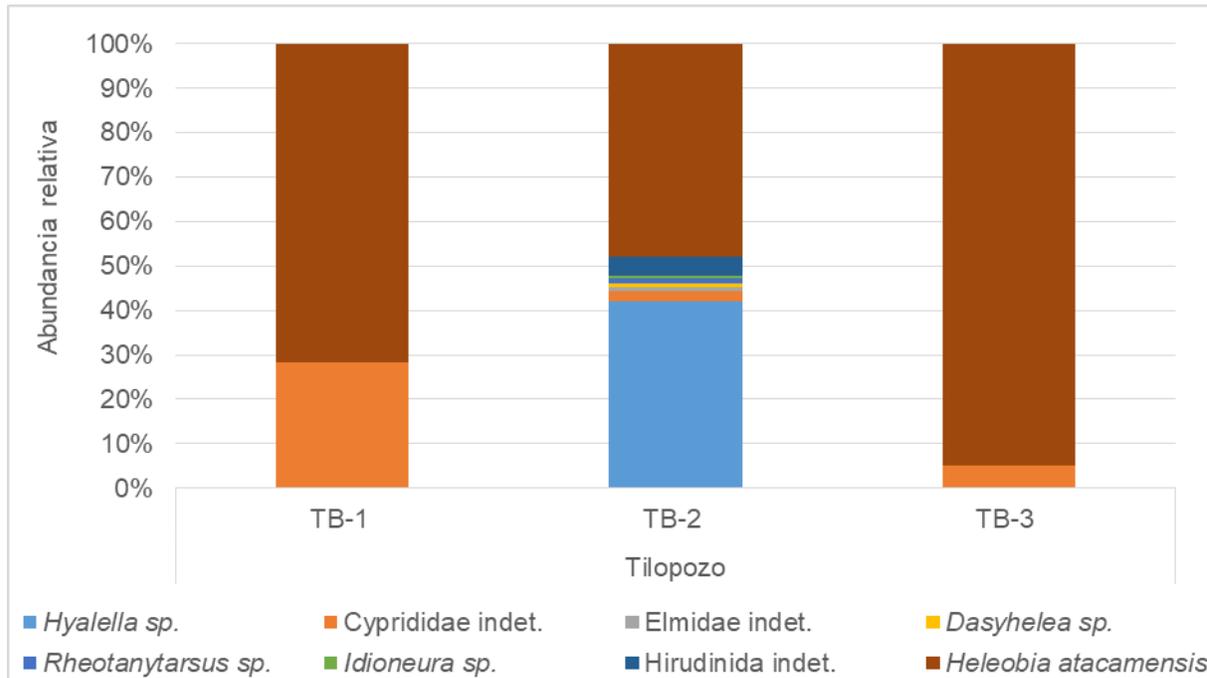
Las estimaciones de diversidad estuvieron entre 0,20 y 1,10 nits/ind y la equidad mostró estimaciones bajas para TB-2 y TB-3 (0,53 y 0,29, respectivamente) y alta para TB-1 (0,86), esta última dada por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser similares (Tabla N° 10-20).

**Tabla N° 10-20. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2023.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.		12343	
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.	1949	650	520
Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmidae indet.		260	
	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Dasyhelea</i> sp.		260	
		Chironomidae	<i>Rheotanytarsus</i> sp.		390	
	Odonata	Protoneuridae	<i>Idioneura</i> sp.		130	
Clitellata	SubC.: Hirudinida	-	Hirudinida indet.		1299	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	4937	14032	9614
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>				<b>6886</b>	<b>29362</b>	<b>10134</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,60</b>	<b>1,10</b>	<b>0,20</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,86</b>	<b>0,53</b>	<b>0,29</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-9. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2023).**



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4.3 Sector Peine

En el Sector Peine, no fue posible realizar el monitoreo de invierno 2023, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

10.2.2.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

La comunidad de plantas vasculares acuáticas (macrófitas), corresponde a la comunidad que conforma la vegetación acuática, ya sea especies de vegetación emergente o sumergida, ya sea enraizada o flotante, en los sistemas acuáticos (Ramírez & San Martín 2006). Por otra parte, se debe distinguir entre hidrófita que corresponde a las plantas que viven todo su ciclo de vida dentro del agua en zonas litorales de lagos, lagunas, ríos entre otros y helófitas que corresponde a las plantas que son dependientes de la presencia de agua, generalmente están presentes en ambientes más de ribera y terrestres (ambientes palustres), y son capaces de tolerar alta desecación (Lacoul y Freedman 2006).

En la campaña de invierno 2023, como se indicó anteriormente, no se pudo acceder al sector de Peine debido a las restricciones de acceso ya señaladas, por lo que no fue muestreado en la presente campaña (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). En tanto, para las lagunas La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, fueron detectadas 9 especies, las que

correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata*, *Juncus balticus* y *Baccharis linearis*. Con relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 10-22**).

**Tabla N° 10-21. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2023).**

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Ruppiceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Amaranthaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
	Asteraceae	<i>Baccharis linearis</i> .	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 10-22**), en el que se detectaron 3 especies para La Punta-La Brava y 5 especies para vegas de Tilopozo. La estación con mayor riqueza de especies correspondió a LP-23 (La Punta) con 4 especies y con el menor registro se observó en la estación LB-1 (La Brava) con 0 especies.

Respecto a la cobertura (%), se observó en el sector La Punta-La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en algunas estaciones de monitoreo. En el sector La Punta-La Brava se observaron coberturas entre 5% en la estación LP-24 y 21,6% en la estación en LB-3, cabe destacar que, esta especie hidrófita fue detectada siempre sumergida.

Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta en la estación LP-23 se reportó a las helófitas emergentes *Triglochin concinna* (1,6%) y *Sarcocornia fruticosa* (60%) y la presencia de *Puccinellia frigida*. En la estación LP-24 se detectó un parche de *S. fruticosa* de 33%. En la laguna La Brava se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna* con 30% en LB-2.

En tanto, en el sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* con porcentajes de cobertura de 26,6% y 33,3% en las estaciones TB-3

y TB-1. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas entre 3,3% y 100% en TB-3 y TB-2 respectivamente, *Distichlis spicata* con 33% en TB-1 y la presencia en TB-2 (Tabla N° 10-22).

**Tabla N° 10-22. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2023).**

Especie	Estaciones													
	Sector Peine						Sector La Punta - La Brava					Sector Tilopozo		
	S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3	TB-1	TB-2	TB-3
<i>Ruppia filifolia</i>							X (8,3%)	X (5%)			X (21,6%)			
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33,3%)		X (26,6%)
<i>Schoenoplectus californicus</i>													X (100%)	X (3,3%)
<i>Triglochin concinna</i>							X (1,6%)			X (30%)				
<i>Puccinellia frigida</i>							X							
<i>Distichlis spicata</i>												X (33,3%)	X	
<i>Juncus balticus</i>												X (33,3%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X (60%)	X (33%)						
<i>Baccharis linearis.</i>														X (63,3%)
<b>Riqueza Total (N° Taxa)</b>	-	-	-	-	-	-	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

## 10.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2024 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

### 10.2.3.1 Resultados Calidad de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de verano 2024 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones por cada sector de estudio. Los informes de ensayo de laboratorio respectivos se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos\_Calidad de Agua**.

Para la componente de calidad de agua, se entrega de forma adicional a sus Anexos, las planillas Excel con los formatos establecidos en la Resolución Exenta SMA 894 del 24.06.19 que Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Agua.

#### 10.2.3.1.1 Resultados Sector La Punta y la Brava

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-23**) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 25.770 y 144.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y elevadas salinidades (entre 16,08 y 70 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 8.493,2 y 70.513,2 mg/L) y sulfato (entre 2.279,3 y 11.823 mg/L), siendo las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava las que presentaron el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas en el sector. En la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la laguna La Brava, se registraron los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en LB-1 y LB-2 de La Brava, sin embargo, también fueron altos, con valores para LP-23 y LP-24 de 63.250 y 65.470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en conductividad y de 41,33 g/Kg y 44,48 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro ( $>26.000$  mg/L) y sulfato ( $>4.600$  mg/L).

Las temperaturas registradas en la campaña verano 2024 para el sector estuvieron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (17,63 a 30,04 °C), junto con un pH moderadamente alcalino que fluctuó entre 7,83 y 8,31 unidades. Estos últimos valores se relacionan con los parámetros de alcalinidad total y bicarbonato (313 a 663 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 1,3 y 5,17 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). Por su parte la clorofila “a” presentó una variación entre  $<0,02$  y 2,17  $\mu\text{g}/\text{L}$  con su máximo registro en LP-23 (La Punta). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 1,6 y 5,3 UNT (máximo en LP-23). Los compuestos nitrogenados como el nitrito y nitrato presentaron en todas las estaciones valores por debajo el límite de detección, mientras que el amonio tuvo valores entre  $<0,001$  y 0,267 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldahl

mostró valores entre <0,01 y 0,289 mg/L, detectándose los mayores valores de estos parámetros en la estación LB-1 (La Brava). Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, presentaron valores entre 0,805 y 4,78 mg/L para el fósforo total y entre 2,3 y 14 mg/L para el ortofosfato, observándose los mayores valores en LB-2. El parámetro de aceites y grasas presentó valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector (**Tabla N° 10-23**).

**Tabla N° 10-23. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava.  
Campaña Verano 2024.**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (**)	Max LB (**)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (*)	°C	-	6,8	25,4	20,5	17,63	25,85	28,29	30,04
pH (*)	Unidad de pH	-	7,89	8,38	8,31	8,28	8	7,83	8,27
Conductividad (*)	µS/cm	-	49.000	149.500	63.250	65.470	103.000	144.400	25.770
Salinidad (*)	g/kg	-	35,6	36,3	41,33	44,48	70,00	70,00	16,08
Salinidad Subcontr. Hidrolab	g/kg	1	35,6	36,3	>42,00	>42,00	>42,00	35,7	18,6
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,69	9,72	2,54	2,18	1,58	1,3	5,17
Turbiedad (*)	UNT	-	3	31,4	5,3	1,6	2,7	3,3	2,5
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	31,9	2,17	1,32	0,3	<0,02	0,56
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	-	-	35,74	21,79	4,99	<0,02	9,16
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	1	-	-	<1	<1	<1	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	309	806	470	494	462	663	313
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	240,51	311,1	470	494	462	663	313
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	156,67	307,54	<1	<1	<1	<1	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	0,101	18.293	58.199	26.107,1	28.548,3	39.554,2	70.513,2	8.493,2
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,203	0,18	0,245	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,039	<0,0002	<0,0002	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,001	0,044	0,268	<0,001	<0,001	0,267	<0,001	<0,001
Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	3,19	<0,010	<0,010	0,289	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	<0,05	3,77	1,65	1,75	1,065	4,78	0,805
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,255	3,29	4,9	5	3,1	14	2,3
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	2.923,0	7.016,8	4.609,6	4.930,4	4.923,7	11.823,0	2.279,3
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	40,3	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (\*) Parámetros registrados *in situ*. (\*\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de verano de 2014 y 2015 de la Línea Base.

### 10.2.3.1.2 Resultados Sector Tilopozo

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema de vegas mucho menos salino que el de la Punta y La Brava (**Tabla N° 10-24**), con valores más bajos en conductividad (entre 3.996 y 4.068  $\mu\text{S/cm}$ ), salinidad ( $<2,2$  g/Kg), cloruro (896,3 a 916,6 mg/L) y sulfato (415,3 a 419,6 mg/L). Se registró un pH neutro de 6,94 a 7,17 y valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 338 y 344 mg/L. Las temperaturas registradas en estos cuerpos de agua fueron altas, las cuales oscilaron entre 23,79 y 25,97 °C, mientras que el oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 0,25 y 1,06 mg/L. Cabe mencionar que la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad y las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de  $<2$  m de profundidad de afloramiento subsuperficial.

Por otro lado, la turbiedad en este sector mostró valores entre 1,8 y 7 UNT, la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 0,83 y 3,58  $\mu\text{g/L}$  y la clorofila en Perifiton entre 13,71 y 58,94 mg cl-a/m<sup>2</sup>, observándose los máximos de clorofila en TB-3. En relación con los compuestos nitrogenados, todos presentaron valores por debajo el límite de detección en todas las estaciones del sector. En el caso del fósforo total presentó valores  $<0,173$  mg/L y el ortofosfato concentraciones igual a 0,5 mg/L en todas las estaciones de Tilopozo. El parámetro de aceites y grasas presentó valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector (**Tabla N° 10-24**).

**Tabla N° 10-24. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	25,45	23,79	25,97
pH (*)	Unidad de pH	-	6,99	7,17	6,94
Conductividad (*)	$\mu\text{S/cm}$	-	4.049	4.068	3.996
Salinidad (*)	g/kg	-	2,14	2,15	2,11
Salinidad Subcontr. Hidrolab	g/kg	1	2,3	2,3	2,3
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	0,89	1,06	0,25
Turbiedad (*)	UNT	-	7	5,6	1,8
Clorofila "a"	$\mu\text{g/L}$	0,02	0,83	1,51	3,58
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	0,02	13,71	24,91	58,94
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	$<1$	$<1$	$<1$
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	343	338	344
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	343	338	344
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	$<1$	$<1$	$<1$
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0,101	909,8	916,6	896,3
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,203	$<0,203$	$<0,203$	$<0,203$
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,039	$<0,039$	$<0,039$	$<0,039$
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,001	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	mg/L	0,01	<0,010	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	0,171	0,171	0,173
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	415,8	419,6	415,3
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (\*) Parámetros registrados *in situ*.

### 10.2.3.1.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible realizar el monitoreo de verano 2024, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

### 10.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados en las diferentes estaciones de los sectores de estudio, durante la campaña de verano 2024. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

#### 10.2.3.2.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-25** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2022 del Sector de La Punta - La Brava. La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 40,89 a 53,42 g/Kg y de 7,05% a 9,21%, respectivamente, registrándose los valores más altos para estos parámetros en laguna La Brava (LB-1 y LB-2). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, varió entre 1,465 y 2,393 g/Kg, con el mayor valor registrado en LP-23 (La Punta). Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector (<500 mg/Kg). Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en todas las estaciones se registraron valores negativos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones de reducción, con valores entre -422 mV (LP-24) y -410 mV (LB-1, LB-2 y LB-3).

**Tabla N° 10-25. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.**

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	22	48	51,74	40,89	53,42	52,9	41,88
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500	8	55	<500	<500	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	1,596	6,351	2,393	1,674	1,855	1,541	1,465
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	8,92	7,05	9,21	9,12	7,22
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-418	-422	-410	-410	-410

Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante la campaña de verano de 2015 de la Línea Base (única campaña de referencia para este componente).  
L.D.= Límite de detección.

En relación con el análisis granulométrico, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, respectivamente, correspondieron a *arena media* (0,347 mm) y *arena gruesa* (0,516 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *arena media* (0,448 mm en LB-1) y *arena gruesa* (0,91 mm), con grados de selección en las estaciones de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado* (Tabla N° 10-26).

**Tabla N° 10-26: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.**

Sub Sector	Estación	Diámetro medio*		Grado de selección*	
		(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
La Punta	LP-23	0,347	Arena Media	0,005	Muy pobremente seleccionado
	LP-24	0,516	Arena Gruesa	0,003	Pobremente seleccionado
La Brava	LB-1	0,448	Arena Media	0,005	Muy pobremente seleccionado
	LB-2	0,783	Arena Gruesa	0,004	Pobremente seleccionado
	LB-3	0,910	Arena Gruesa	0,003	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. (\*) Estadísticas de tamaños de grano y grados de selección obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0.

#### 10.2.3.2.2 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-27** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2024 del Sector de Tilopozo. Las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) entre 68,79 y 96,87 g/Kg y de materia orgánica entre 11,86% y 16,70%, encontrándose sus máximos en TB-2. El nitrógeno total Kjeldahl varió de 1,899 g/Kg a 3,905 g/Kg, siendo su máximo también en TB-2. En el caso del fósforo total, los valores

oscilaron de <500 mg/Kg en TB-1 a 1.600 mg/Kg en TB-3. Por su parte, el potencial óxido-reducción en los sedimentos, presentó valores negativos en todas las estaciones del sector, entre -381 mV (TB-1 y TB-2) y -363 mV (TB-3), indicando sedimentos donde se favorecen las reacciones de reducción.

**Tabla N° 10-27. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.**

Parámetro	Unidad	L.D.	TB-1	TB-2	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	82,6	96,87	68,79
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500	<500	900	1600
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	3,464	3,905	1,899
Materia Orgánica	%	0,28	14,24	16,7	11,86
Potencial Redox	mV	-	-381	-381	-363

Fuente: Elaboración propia. (\*). L.D.= Límite de detección.

Los resultados granulométricos para el sector Tilopozo, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondió a *arena fina* en TB-1 y TB-3 (0,150 y 0,236 mm, respectivamente) y a *arena media* en TB-2 (0,367 mm), con grados de selección de *Pobremente seleccionado* a *Muy pobrementemente seleccionado* (Tabla N° 10-28).

**Tabla N° 10-28: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.**

Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
TB-1	0,150	Arena Fina	0,0041	Muy pobrementemente seleccionado
TB-2	0,367	Arena Media	0,0044	Muy pobrementemente seleccionado
TB-3	0,236	Arena Fina	0,0037	Pobrementemente seleccionado

Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.3.2.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible realizar el monitoreo de verano 2024, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

### 10.2.3.3 Resultados *Biota acuática*

#### 10.2.3.3.1 Fitobentos

##### 10.2.3.3.1.1 Sector *La Punta y La Brava*

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2024 estuvo compuesta por 20 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 9 géneros presentes en la estación LB-2 (La Brava) y 11 géneros en las estaciones LP-23 (La Punta), LP-24 (La Punta) y LB-1 (La Brava).

Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, esta fluctuó entre 1.394.167 cel/cm<sup>2</sup> en LB-2 (La Brava) y 4.820.000 cel/cm<sup>2</sup> en LB-3 (La Brava) (**Tabla N° 10-29**)

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LP-24, ubicada en la laguna La Punta con 1,53 nits/ind, así mismo, dicha estación presentó la mayor equidad con un valor de 0,64 unidades. Por otro lado, en la estación de La Brava (LB-1), se registró la menor diversidad y equidad con valores de 0,78 nits/ind y 0,32 unidades (**Tabla N° 10-29**).

En relación con los *taxa* dominantes, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula*, *Halamphora* y *Mastogloia* (**Figura N° 10-10**).

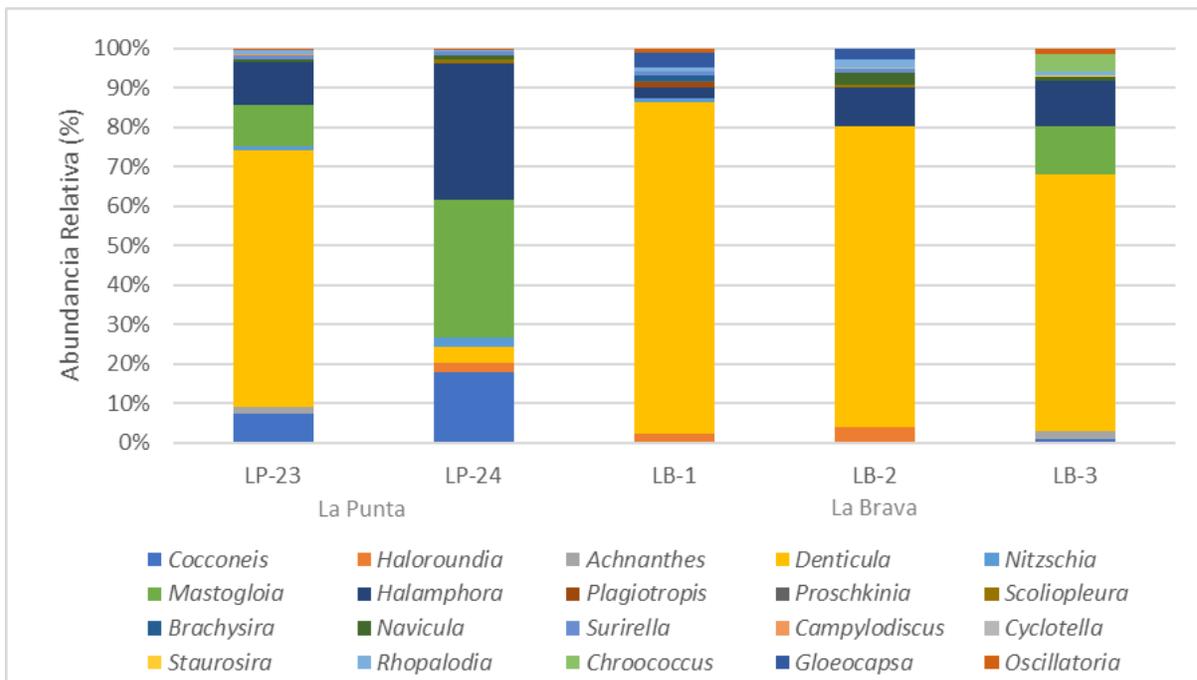
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

**Tabla N° 10-29. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros.  
Sector La Punta y La Brava (verano 2024).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	136.731	378.571			40.000
		Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>		50.000	78.750	53.958	
			<i>Achnanthes</i>	35.350				100.000
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	1.207.867	85.714	2.690.625	1.064.583	3.140.000
			<i>Nitzschia</i>	23.077	50.000	26.250		
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	195.892	742.857			580.000
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	201.661	735.714	91.875	138.542	570.000
		Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>			39.375		
		Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			13.125		
		Scoliotropidaceae	<i>Scolioleura</i>		21.429		5.833	
		Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			39.375		
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>	11.538	21.429		43.750	40.000
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	17.675	21.429	39.375	14.583	
			<i>Campylodiscus</i>	6.136				
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>				5.833	
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Staurosira</i>					10.000	
Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	18.042	7.143	26.250	29.167	50.000	
Cyanobacteria	Cyanobacteriales	Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>					220.000
		Gloeocapsaceae	<i>Gloeocapsa</i>			118.125	37.917	
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	11.538	7.143	39.375		70.000
<b>Limites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Verano 2024</b>				
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>707</b>	<b>88.793</b>	<b>1.865.507</b>	<b>2.121.429</b>	<b>3.202.500</b>	<b>1.394.167</b>	<b>4.820.000</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>9</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,25</b>	<b>1,53</b>	<b>0,78</b>	<b>0,94</b>	<b>1,21</b>
<b>Equidad (J*)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,52</b>	<b>0,64</b>	<b>0,32</b>	<b>0,43</b>	<b>0,53</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector La Punta-La Brava durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor máximo de LB corresponde a 88.793 cel/cm<sup>2</sup>, considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 6.187 cel/cm<sup>2</sup>. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. **Nota 2:** Los valores consignados en el Informe Anual 1, correspondientes a abundancias y riquezas consideraron valores en distintas unidades de área cel/mm<sup>3</sup> y cel/mm<sup>2</sup> para abundancia, no realizándose homogenización de unidades, mejoramiento que se aplicó para el Informe Anual 2. En tanto, en el Informe Anual 1 para las riquezas se consideraron riquezas de especies y géneros de modo indistinto, situación que se corrigió a partir del Informe Anual 2. En el presente Informe Anual 3, se consideró datos de LB homogenizados en la misma unidad de área en la que se encuentran los resultados de los monitoreos para hacerlos comparables, esto es, abundancia en cel/cm<sup>2</sup> y riqueza a nivel de géneros.

**Figura N° 10-10. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.3.3.1.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 9 géneros. La riqueza por estación de monitoreo presentó el mayor registro en la TB-3 con 8 géneros y el menor en TB-1 y TB-2 con 5 géneros cada una. Respecto a las abundancias registradas, la estación TB-3 presentó el mayor registro de abundancia con 2.700.000 cel/cm<sup>2</sup> y el menor en TB-2 con 1.061.218 cel/cm<sup>2</sup> (**Tabla N° 10-30**).

La diversidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fue mayor para la estación TB-2 con 0,88 nits/ind y menor en la estación TB-3 con 0,45 nits/ind. Respecto a la equidad se observó que el mayor registro lo presentó la estación TB-2 con 0,54 unidades y el menor TB-3 con 0,21 unidades (**Tabla N° 10-30**).

Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis* presentaron las mayores representatividades entre las estaciones evaluadas (**Figura N° 10-11**).

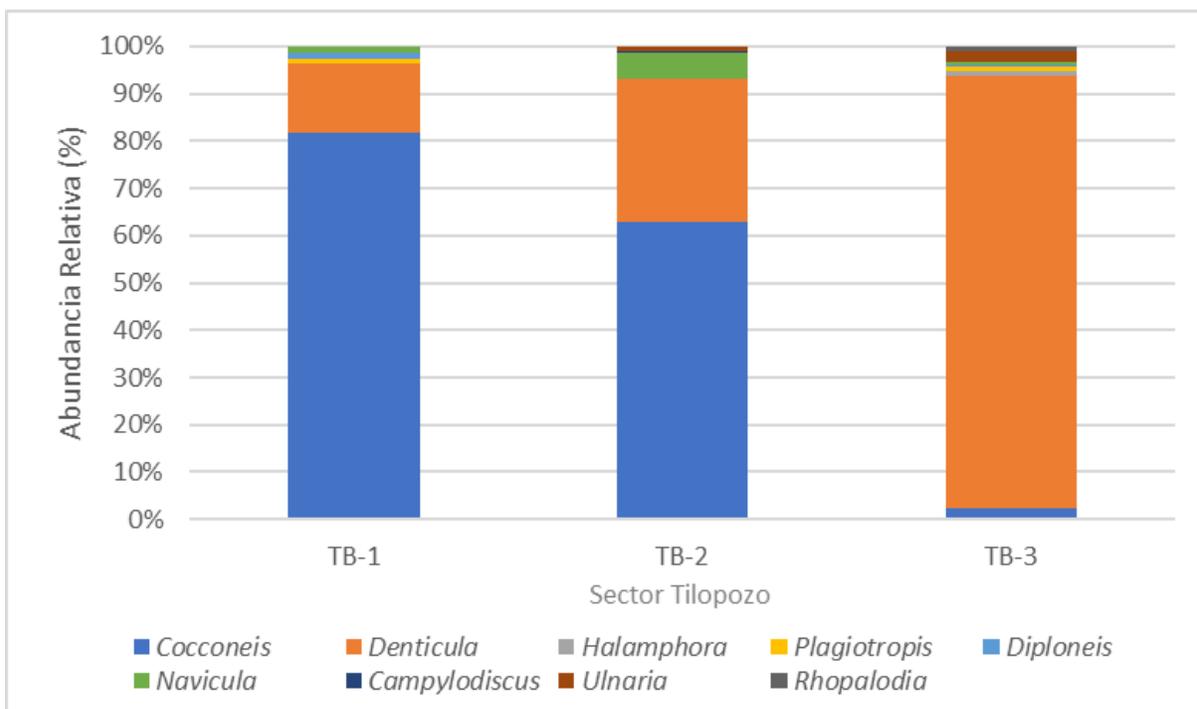
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector Tilopozo.

**Tabla N° 10-30. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2024).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1.333.630	667.923	66.000
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	235.448	320.443	2.466.000
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>			27.000
		Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>	18.459		24.000
		Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	19.156		9.000
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>	23.684	59.969	18.000
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>		3.629	
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Ulnaria</i>		9.254	66.000
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			24.000
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>				<b>1.630.377</b>	<b>1.061.218</b>	<b>2.700.000</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,61</b>	<b>0,88</b>	<b>0,45</b>
<b>Equidad (J*)</b>				<b>0,38</b>	<b>0,54</b>	<b>0,21</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-11. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.3.3.1.3 Sector Peine

En la campaña de verano 2024, no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, por lo que no fue posible realizar su monitoreo (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

### 10.2.3.3.2 Fitoplancton

#### 10.2.3.3.2.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta - La Brava, en la campaña de verano 2024 presentó 14 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 4 y 10 géneros, con el mínimo en la estación LB-1 y el máximo en LB-3, ambos registrados en la laguna La Brava. Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 15,0 cel/mL en LB-1 (La Brava) y 67,0 cel/mL en LB-3 (La Brava) (**Tabla N° 10-31**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-3 (La Brava) con 2,22 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LB-2 (La Brava) con 0,94 nits/ind (**Tabla N° 10-31**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,59 unidades en la estación LB-2 y 0,96 en la estación LB-3.

Respecto de los *taxa* dominantes, se observó que las mayores representatividades fueron observadas para las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* (**Figura N° 10-12**).

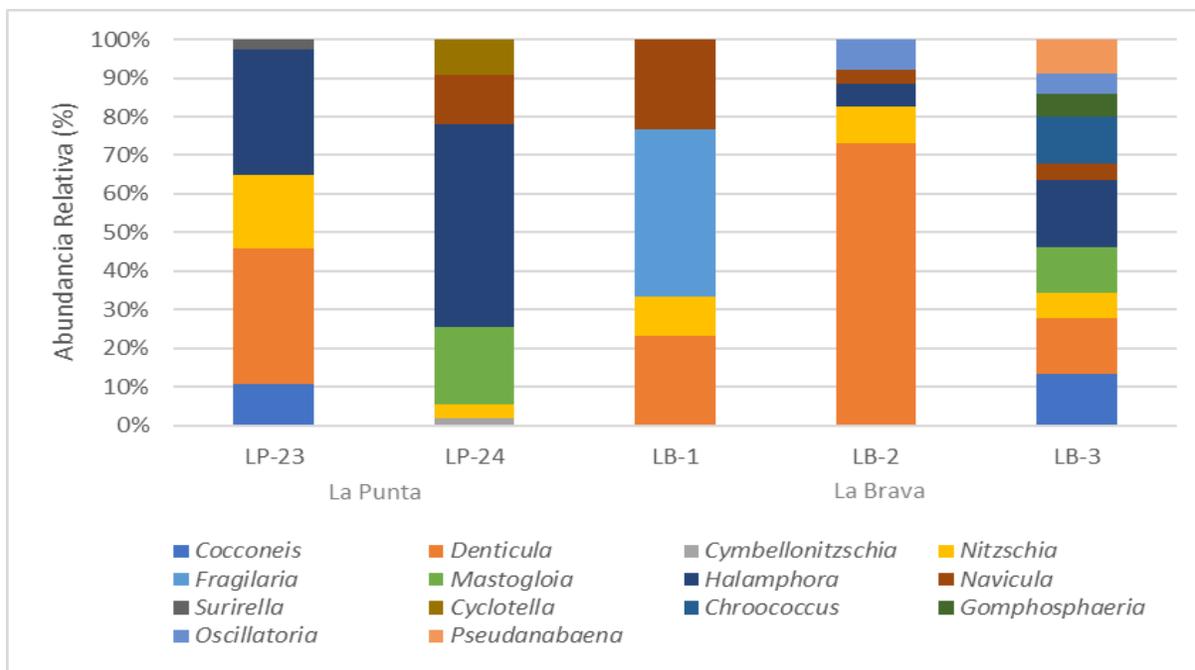
El análisis por clase de la comunidad de fitoplancton mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

**Tabla N° 10-31. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	2,0				9,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	6,5		3,5	19,0	9,5
			<i>Cymbellonitzschia</i>		0,5			
			<i>Nitzschia</i>	3,5	1,0	1,5	2,5	4,5
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			6,5		
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>		5,5			8,0
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	6,0	14,5		1,5	11,5
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>		3,5	3,5	1,0	3,0
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	0,5					
Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>		2,5				
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>					8,0
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>					4,0
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>				2,0	3,5
	Pseudanabaenales	Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena</i>					6,0
<b>Limites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Verano 2024</b>				
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>		<b>24</b>	<b>10.110</b>	<b>18,5</b>	<b>27,5</b>	<b>15,0</b>	<b>26,0</b>	<b>67,0</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>6</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,39</b>	<b>1,33</b>	<b>1,27</b>	<b>0,94</b>	<b>2,22</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,86</b>	<b>0,74</b>	<b>0,92</b>	<b>0,59</b>	<b>0,96</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor consignado para Abundancia Total como máximo en la LB corresponde a 10.110 cel/mL, y no a 4.905.000 cel/mL, como se indicó en el Informe Anual 2. Respecto de la Riqueza, el valor consignado como mínimo en la LB corresponde a 6 géneros, y no a 5, y como máximo de riqueza de 12 géneros, y no de 17, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

**Figura N° 10-12. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.3.3.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 10 géneros. La riqueza osciló entre 3 géneros en TB-1 y 7 géneros registrados en TB-3. Respecto de las abundancias registradas oscilaron entre 35,0 cel/mL en TB-2 y 65,5 cel/mL en TB-3 (Tabla N° 10-32).

En relación con los valores de diversidad se observó una mayor diversidad de 1,68 nits/ind en la estación TB-3 y menor de 0,47 nits/ind en TB-1. En tanto, la equidad presentó valores diferentes entre las estaciones de muestreo con valores que oscilaron entre 0,43 unidades en TB-1 y 0,87 en la estación TB-3 (Tabla N° 10-32).

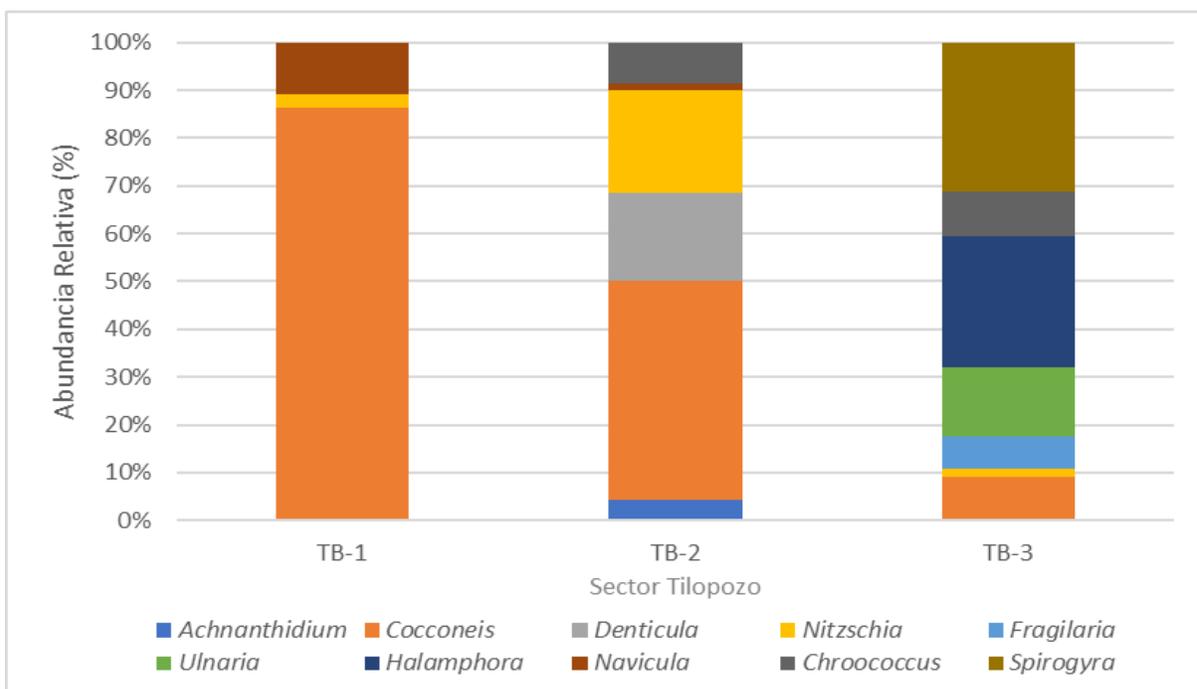
Respecto de los *taxa* dominantes, la diatomea *Cocconeis* entre las estaciones de la vega y la zygmatoficea *Spirogyra* (solo en TB-3) presentaron las mayores representatividades entre las estaciones de vegas de Tilopozo (Figura N° 10-13). En tanto, la dominancia por clase de la comunidad de fitoplancton en vegas de Tilopozo, correspondió a Bacillariophyceae.

**Tabla N° 10-32. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2024).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Achnantheidium</i>		1,5	
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	31,5	16,0	6,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>		6,5	
			<i>Nitzschia</i>	1,0	7,5	1,0
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			4,5
			<i>Ulnaria</i>			9,5
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>			18,0
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>	4,0	0,5	
Cyanobacteria	Cyanobacteriales	Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>		3,0	6,0
Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>			20,5
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>				<b>36,5</b>	<b>35,0</b>	<b>65,5</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>3</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,47</b>	<b>1,41</b>	<b>1,68</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,43</b>	<b>0,79</b>	<b>0,87</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-13. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.3.3.2.3 Sector Peine

En la campaña verano 2024, no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, por lo que no fue posible realizar su monitoreo (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

### 10.2.3.3.3 Zooplancton

#### 10.2.3.3.3.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta y La Brava en verano de 2024, se registraron riquezas entre 2 y 4 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, siendo la mínima la obtenida en la estación LB-3 y la máxima en la estación LB-1 de laguna La Brava. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Calanoida de la especie *Boeckella poopuensis*, copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp., junto con el branquiópodo *Artemia franciscana*, ostrácodos Cyprididae y los insectos dípteros Ephydridae y Ceratopogonidae. Los *taxa* con mayor frecuencia fueron *Tigriopus* sp. y *Artemia franciscana*, los cuales se encontraron en todas o en la mayoría las estaciones de este sector. Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 2,00 a 7,23 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-2 y un máximo en LP-23 (**Tabla N° 10-33**).

El organismo más abundante fue *Boeckella poopuensis*, alcanzando 6,8 ind/L en LP-23, seguido por *Tigriopus* sp. y *Artemia franciscana* con 1,45 ind/L en LB-1, respectivamente. La estructura comunitaria del zooplancton en este sector muestra que el grupo dominante en laguna La Punta fue el del copépodo *Boeckella poopuensis*, mientras que en La Brava principalmente fueron el copépodo *Tigriopus* sp. y el branquiópodo *Artemia franciscana* (**Tabla N° 10-33 y Figura N° 10-14**).

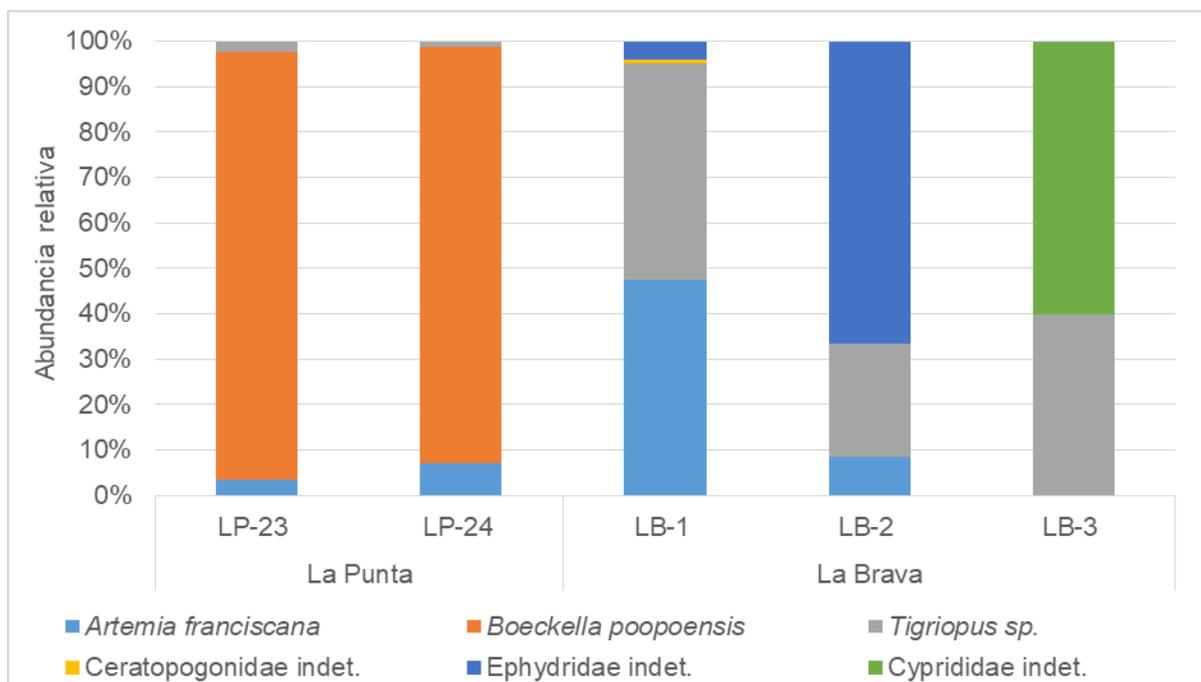
Respecto a las diversidades estimadas, estas oscilaron entre 0,26 y 0,88 nits/ind, con la más baja obtenida en LP-23 y la mayor en LB-1. La equidad fue baja en la mayoría de las estaciones del sector (<0,8), debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles, exceptuando en LB-3 donde fue alta (0,97) dado por la similitud de las abundancias registradas (**Tabla N° 10-33**).

**Tabla N° 10-33. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branchiopoda	Anomopoda	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>	0,25	0,30	1,45	0,17	
Copepoda	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopoensis</i>	6,80	4,00			
	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	0,18	0,05	1,45	0,50	1,00
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.			0,03		
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.			0,13	1,33	
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.					1,50
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación en Verano 2024</b>				
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		<b>1</b>	<b>17,9</b>	<b>7,23</b>	<b>4,35</b>	<b>3,05</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,26</b>	<b>0,31</b>	<b>0,88</b>	<b>0,82</b>	<b>0,67</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,24</b>	<b>0,28</b>	<b>0,63</b>	<b>0,75</b>	<b>0,97</b>

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de verano de 2014 y 2015 de la Línea Base.

**Figura N° 10-14. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

### 10.2.3.3.3.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2024, se registraron riquezas entre 1 y 2 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014), por los copépodos Calanoida *Boeckella poopuensis* y por los copépodos Harpacticoida *Tigriopus sp.* (Tabla N° 10-34).

El taxón con mayor frecuencia fue *Heleobia atacamensis* que se encontró como único dominante en TB-2 y TB-3, mientras que en TB-1 se encontró en igual dominancia a los copépodos *Boeckella poopuensis* y *Tigriopus sp.* (Figura N° 10-15). Las abundancias totales del zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,05 a 0,31 ind/L, con el mínimo obtenido en TB-1 y un máximo en TB-3. (Tabla N° 10-34).

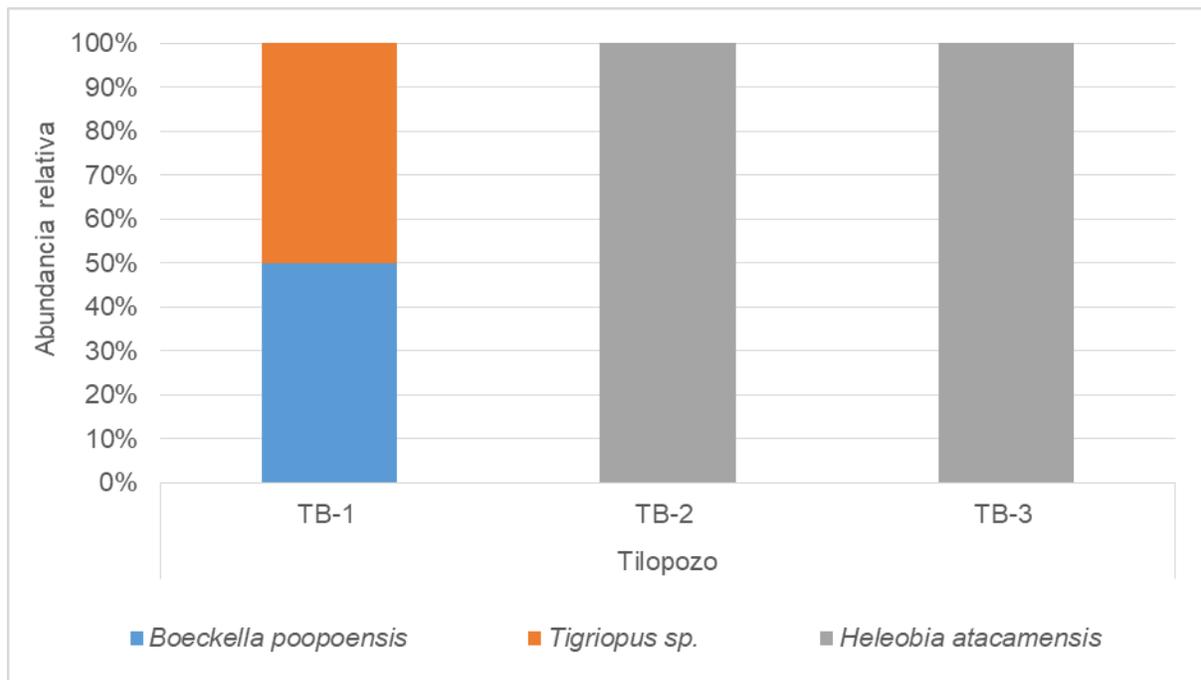
El organismo más abundante por estación fue *Heleobia atacamensis* alcanzando 0,31 ind/L en TB-3. Respecto a los índices comunitarios, solo en la estación TB-1 se pudieron estimar ( $\geq 2$  *taxa*), donde la diversidad alcanzó 0,69 nits/ind y la equidad fue alta (1,0), debido a la baja riqueza registrada y a que las abundancias de sus *taxa* fueron similares. Por su parte en TB-2 y TB-3 no se pudieron estimar estos índices debido a que solo se encontró un taxón en esas estaciones (Tabla N° 10-34).

**Tabla N° 10-34. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Copepoda	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopuensis</i>	0,03		
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	0,03		
Gastropoda	Hygrophila	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>		0,08	0,31
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>				<b>0,05</b>	<b>0,08</b>	<b>0,31</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,69</b>	-	-
<b>Equidad (J')</b>				<b>1,00</b>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-15. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Tilopozo (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.3.3.3 Sector Peine

Para la comunidad de zooplancton en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible realizar el monitoreo de verano 2024, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

#### 10.2.3.3.4 Zoobentos

##### 10.2.3.3.4.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 1 y 5, ocurriendo el máximo en la estación LB-3. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos *Heleobia sp.*, insectos dípteros de las familias Ephydriidae, Ptychopteryidae y Ceratopogonidae, ostrácodos Cyprididae y anélidos Lumbriculidae. Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 520 ind/m<sup>2</sup> (LB-1) a 4.547 ind/m<sup>2</sup> (LB-3). Los organismos más abundantes fueron los gasterópodos *Heleobia sp.*, siendo mayoritarios en LB-3 (3.118 ind/m<sup>2</sup>), LP-24 (1.949 ind/m<sup>2</sup>) y en LP-23 (1.039 ind/m<sup>2</sup>). Fueron seguidos en abundancia por los ostrácodos Cyprididae encontrados también en LB-3 (909 ind/m<sup>2</sup>). Respecto a las larvas de dípteros, Ephydriidae alcanzó un máximo en LB-2 de 650 ind/m<sup>2</sup> y Ptychopteryidae un

máximo en las estaciones LP-24 y LB-3 de 260 ind/m<sup>2</sup>. Las estimaciones de diversidad estuvieron entre 0,66 y 1,04 nits/ind, y la equidad tuvo estimaciones bajas ( $\leq 0,6$ ) excepto en LB-1 que fue de 0.95, dado por que las abundancias de sus *taxa* que tendieron a ser similares entre sí (Tabla N° 10-35).

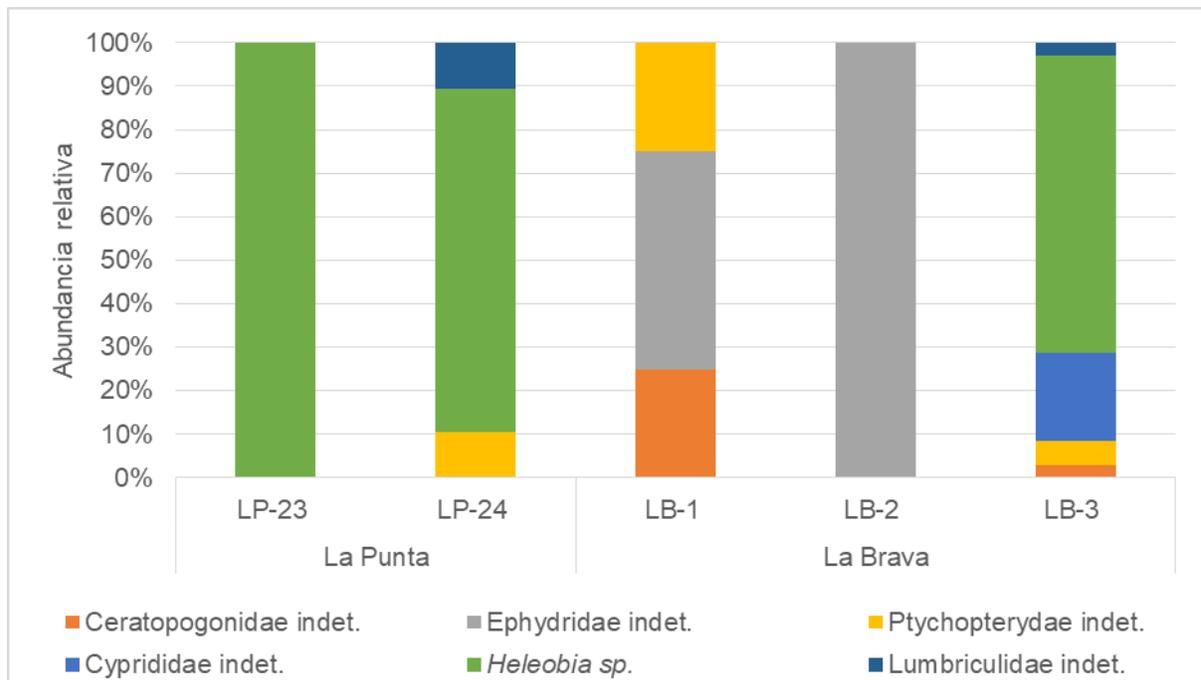
**Tabla N° 10-35. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2024.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	<i>Ceratopogonidae indet.</i>			130		130
		Ephydriidae	<i>Ephydriidae indet.</i>			260	650	
		Ptychopterydae	<i>Ptychopterydae indet.</i>		260	130		260
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	<i>Cyprididae indet.</i>					909
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	1.039	1.949			3.118
Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	<i>Lumbriculidae indet.</i>		260			130
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación en Verano 2024</b>				
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>		-	-	<b>1.039</b>	<b>2.469</b>	<b>520</b>	<b>650</b>	<b>4.547</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		-	-	-	<b>0,66</b>	<b>1,04</b>	-	<b>0,95</b>
<b>Equidad (J')</b>		-	-	-	<b>0,60</b>	<b>0,95</b>	-	<b>0,59</b>

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB corresponden al valor mínimo y máximo de riqueza de familias registrados en este sector, durante las campañas de verano 2014 y 2015 de la Línea Base.

La **Figura N° 10-16** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar la dominancia de *Heleobia sp.* en LP-23, LP-24 y LB-3, registrándose en las estaciones LB-1 y LB-2 la dominancia de insectos dípteros, mayoritariamente de la familia Ephydriidae.

**Figura N° 10-16. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.3.3.4.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2024, el zoobentos presentó una riqueza entre 1 y 2 *taxa*, ocurriendo el máximo en la estación TB-2 y el mínimo en TB-1 y TB-3. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis* y los insectos *Rhionaeschna* sp. de la familia Aeshnidae (Odonata). Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 520 ind/m<sup>2</sup> (TB-1) a 86.139 ind/m<sup>2</sup> (TB-2). Los organismos con las máximas abundancias fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, los que fueron dominantes en las tres estaciones (**Figura N° 10-17**), alcanzando una alta densidad y máximo de 86.009 ind/m<sup>2</sup> en la estación TB-2. En la misma estación se encontró al Aeshnidae *Rhionaeschna* sp con una concentración de 130 ind/m<sup>2</sup> (**Tabla N° 10-36**).

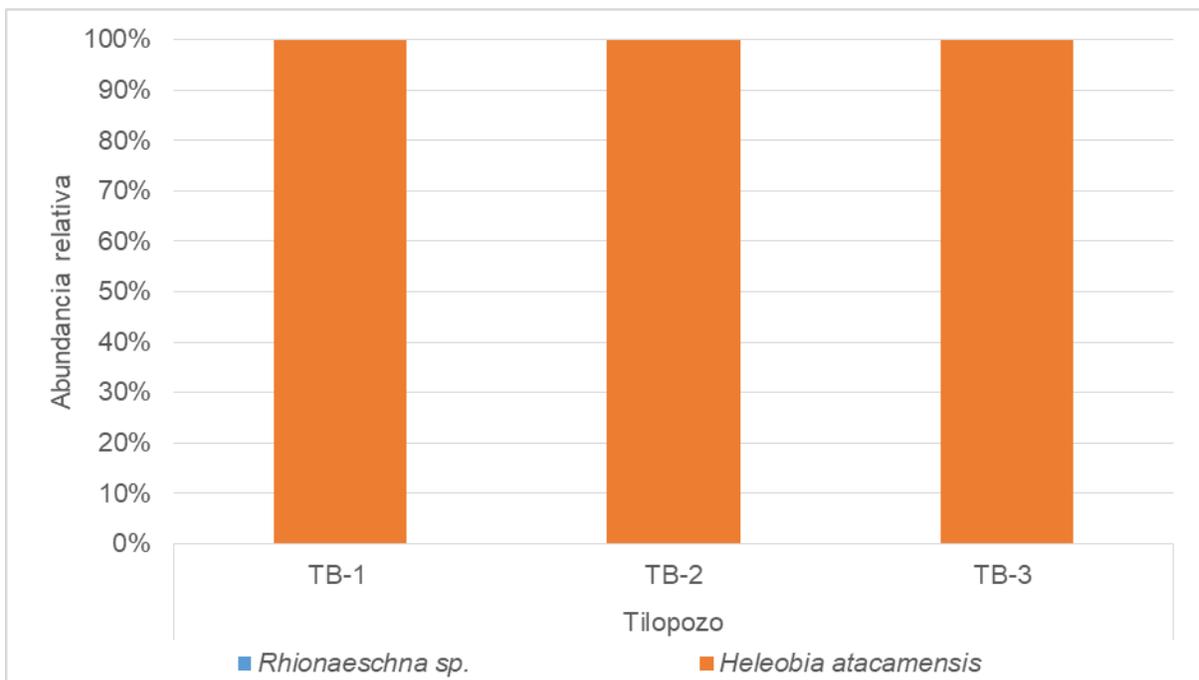
Las estimaciones de diversidad y equidad solo se pudieron estimar en TB-2, obteniendo valores de 0,01 nits/ind en diversidad y de 0,02 en equidad, dadas por las abundancias disímiles por *taxa* (**Tabla N° 10-36**).

**Tabla N° 10-36. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Verano 2024.**

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Insecta	Odonata	Aeshnidae	<i>Rhionaeschna sp.</i>		130	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	520	86.009	1.039
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>				<b>520</b>	<b>86.139</b>	<b>1.039</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>-</b>	<b>0,01</b>	<b>-</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>-</b>	<b>0,02</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 10-17. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2024).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.2.3.3.4.3 Sector Peine

Para la comunidad de zoobentos en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible realizar el monitoreo de verano 2024, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

#### 10.2.3.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

En la campaña de verano 2024, como se indicó anteriormente, no se pudo acceder al sector de Peine debido a las restricciones de acceso ya señaladas, por lo que no fue muestreado en la presente campaña (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Para las lagunas La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, fueron detectadas 8 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis linearis*. Con relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 10-37**).

**Tabla N° 10-37. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2024).**

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Ruppiaceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Grama salada	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Amaranthaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
	Asteraceae	<i>Baccharis linearis</i>	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 10-38**), en el que se detectaron 4 especies para, ambos sectores. Las estaciones con mayor riqueza de especies correspondieron a LP-23 de la laguna La Punta y a TB-1 del sector vegas de Tilopozo con 4 especies respectivamente.

Respecto a la cobertura (%), se observó en el sector La Punta-La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en algunas estaciones de monitoreo. En el sector La Punta-La Brava se observaron coberturas entre 7% en la estación LP-23 y 60% en la estación LP-24, en tanto, en La Brava se detectó un parche con un 10% de cobertura. Cabe destacar que, esta especie fue detectada siempre sumergida.

Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta en la estación LP-23 se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Puccinellia frigida* (3%), *Triglochin concinna* (3%) y *Sarcocornia fruticosa* (60%). En la estación LP-24 se detectó un parche de *S. fruticosa* de 33%. En la laguna La Brava se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna* con 23% en LB-2.

En tanto, en el sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* con porcentajes de cobertura de 10% y 33% en las estaciones TB-3 y TB-1. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas entre 17% y 67% en TB-3 y TB-2 respectivamente, *Distichlis spicata* con 17% en TB-1 y 33% en TB-2 y *Baccharis linearis* con 33% en TB-3 (**Tabla N° 10-38**).

**Tabla N° 10-38. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 2024).**

Especie	Estaciones														
	Sector Peine						Sector La Punta - La Brava					Sector Tilopozo			
	S5	S9	SA 25	S10	I11	I17	LP 23	LP 24	LB1	LB2	LB3	TB1	TB2	TB3	
<i>Ruppia filifolia</i>							X (7%)	X (60%)			X (10%)				
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (10%)	
<i>Schoenoplectus californicus</i>												X (50%)	X (67%)	X (17%)	
<i>Triglochin concinna</i>							X (3%)			X (23%)					
<i>Puccinellia frigida</i>							X (3%)								
<i>Distichlis spicata</i>												X (17%)	X (33%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X (60%)	X (33%)							
<i>Baccharis linearis</i>														X (33%)	
<b>Riqueza Total (N° Taxa)</b>	-	-	-	-	-	-	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

#### **10.2.4 Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)**

Para las variables físicas y químicas del agua y sedimentos, en la RCA 21/2016 del proyecto, queda establecido como niveles o límites comprometidos para esta componente, la “Mantención dentro de su variación histórica”. De esta manera se puede comparar lo observado durante la etapa previa a la etapa de construcción del proyecto (LB- PMB), con los resultados obtenidos en los monitoreos realizados posteriormente hasta la fecha. Para las comunidades biológicas se aplicó el mismo criterio.

Cabe destacar que el sector Tilopozo no cuenta con antecedentes de Línea de Base dentro del PMB, por lo que sólo se pueden realizar comparaciones entre monitoreos y lo adecuado es que sea entre los mismos periodos estacionales, esto es inviernos (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023) y veranos (2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024).

La elección de mínimos y máximos permite capturar la variación anual e interanual registrada a lo largo de los monitoreos incorporados en el Plan de Manejo Biótico. Así, se pueden detectar posibles anomalías en los parámetros, o variaciones en relación con el registro previo, que requieran poner especial atención a la componente de estudio.

Dentro de los parámetros de química de agua, la Línea Base del PMB cuenta con 5 campañas de estudio, realizadas respectivamente en septiembre de 2008, septiembre 2013, abril 2014, julio 2014 y febrero 2015. Si bien no fueron evaluados exactamente los mismos parámetros en todas ellas, la mayoría de los parámetros escogidos para el monitoreo cuentan con al menos dos valores como antecedente, exceptuando Carbonato, Bicarbonato y Amonio, y Ortofosfato que cuentan solo con el registro de febrero de 2015. Esta información es clave a la hora de dar seguimiento y evaluar en relación con los antecedentes existentes, ya que la variación histórica establecida, en algunos casos corresponde sólo a uno o dos datos.

Para los parámetros de química de sedimentos solo se cuenta con los antecedentes obtenidos durante la campaña de febrero de 2015, esta situación dificulta la comparación de los resultados de los monitoreos, debido a que esta única campaña no ofrece una visión de la variación anual que podrían presentar los parámetros con el paso de las distintas estaciones del año. Así, un resultado fuera del rango Mínimo-Máximo establecido podría deberse a una variación natural y no necesariamente a un efecto de las operaciones de Albemarle.

Para el caso del fitobentos y fitoplancton, el análisis comparativo entre línea de base y monitoreo se consideró la comparación de la riqueza de géneros y la abundancia total con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la línea de base contemplados en el Plan de Manejo Biótico. Para ello se consideró los periodos de septiembre 2008, septiembre 2013, y julio 2014 como periodos de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como periodos de

---

verano. Estos datos fueron comparados con lo detectado en las respectivas campañas de invierno 2022 y verano 2023.

Cabe destacar que las unidades de concentración de abundancia del fitobentos y fitoplancton en las campañas de línea de base que se reportaron en algunos casos fueron distintas ( $\text{cel}/\text{mm}^3$  y  $\text{cel}/\text{mm}^2$ ) y no comparables, por lo que se procedió a homogeneizar las unidades de concentración a  $\text{cel}/\text{cm}^2$  para el fitobentos y a  $\text{cel}/\text{mL}$  en el fitoplancton. En relación con las riquezas del fitobentos y fitoplancton, como se reportaron las microalgas entre campañas de LB y monitoreo en distintos niveles de resolución taxonómica, para hacerlas comparables en el tiempo se llevaron todas las microalgas a nivel de géneros, para de esta manera contabilizar el número de géneros por campañas (riqueza), en un nivel de resolución taxonómica mayor.

Respecto al zooplancton, el análisis comparativo entre la línea de base y los monitoreos de invierno 2022 y verano 2023, consideró como rangos de variación (mínimo y máximo) los valores extremos de riqueza de *taxa* y abundancia total por estación, obtenidos en la línea de base del Plan de Manejo Biótico. Para ello se consideró los períodos de septiembre 2008, 2013, y julio 2014 como períodos de invierno y los períodos de abril 2014 y febrero 2015 como períodos de verano, períodos donde hubo capturas y registros de organismos zooplanctónicos.

Para la comunidad zoobentónica, si bien se cuenta con registros en la Línea Base de abundancias por *taxa*, estos no son comparables con las abundancias registradas en el monitoreo del PMB, debido a que se encuentran en unidades distintas no transformables (individuos/litro) respecto a lo obtenido en las campañas de monitoreo del PMB (individuos/ $\text{m}^2$ ). Tal información se encuentra disponible de esta forma en el documento *Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas Base. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales* (PMB, 2015).

## 11 AREA DE LAGUNAS

El Salar de Atacama, se encuentra ubicado en una cuenca endorreica tectónica, delimitada por la Cordillera de Los Andes (6.000 m s.n.m) al Este, y por la Cordillera de Domeyko (3.000 m s.n.m) al Oeste (Ortiz, C. *et al*, 2014). Además, presenta la característica que la dinámica natural de humedales está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, esto los hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

Este informe se desarrolla en cumplimiento a los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en marco del Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016 que aprueba el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta – Rockwood Lithium**” (en adelante Albemarle o ALB), para el monitoreo de “Superficies Cubiertas por Lagunas”.

El propósito es realizar el seguimiento para determinar la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio: (1) La Punta - La Brava, (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes satelitales multispectrales con un píxel máximo de 4 metros, es decir de alta resolución, utilizando el sensor Pleiades 1-A (2 m) y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8 (30 m), obtenidas en **agosto y diciembre de 2023**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “superficies cubiertas por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2023, durante la Fase de Operación del Proyecto, el cual queda establecido, en el numeral 4.2.5 Frecuencia de Medición, Tabla 4.2.6 del Anexo 2 Plan de Manejo Biótico de la Adenda 5 del proyecto RWL.

El parámetro ambiental asociado a este monitoreo, corresponde a la superficie cubierta por lagunas, proveniente de la medición de las áreas de los cuerpos de aguas de los sistemas lagunares mencionados, realizado a través del análisis de imágenes satelitales de alta resolución, según el “Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI)<sup>28</sup>”, especificado en el Anexo 2 (PMB) , Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*; RWL, 2015 (en adelante, Adenda 5 RWL, 2015). En la Tabla N°11-1 se presenta un resumen del componente y la variable ambiental objeto de monitoreo, asociada al análisis de imágenes satelitales.

<sup>28</sup> El índice modificado MNDWI es adecuado para realzar el agua en contraste con terrenos construidos y puede revelar mayores detalles en aguas abiertas (Xu, 2006). En este contexto, el NDWI es más eficiente en contraste con suelos desnudos con costra salina y aguas más someras.

**Tabla N°11-1. Resumen de Componentes y Variables**

Componente Ambiental	Monitoreo	Variable o Parámetro	Metodología
AGUA	LAGUNAS O CUERPOS DE AGUA	SUPERFICIE O ÁREA (M <sup>2</sup> )	<p>Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un píxel máx. de 4 metros, <b>que incluirán los Sistemas lagunares La Punta-La Brava y Peine. (Anexo 2- PMB)</b></p> <p>Metodología Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI), Adenda 5 RWL, (2015).</p> <p>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 Landsat o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición. (fuente, desde PSAH)</p>

Dentro del Plan de Seguimiento Biótico o Plan de Manejo Biótico (PMB), no quedaron establecidos límites a considerar para esta componente. Es importante considerar que la variable superficies lagunares también es parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH) de ALB, por lo que su análisis se realiza con una mirada integral teniendo a la vista ambos seguimientos.

Las superficies cubiertas por lagunas se asocian también con los niveles freáticos medidos en las mismas<sup>29</sup> y la vegetación azonal, estas tres (3) son las variables de estado indicativas, establecidas para el seguimiento y análisis del estado ecológico (AEE) del Sistema (Ref. Cap-4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico - Adenda 5 RWL, 2015).

Para el logro del objetivo propuesto se implementó un muestreo para revalidación estacional *in situ* (dependiendo de las restricciones de acceso) y fotointerpretativo, correspondiente a las réplicas de puntos de campañas anteriores. Posteriormente se desarrolló la etapa en gabinete relacionada con el procesamiento de las imágenes satelitales, seguido por la implementación de un modelo de clasificación supervisada de los cuerpos agua, en base al “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI, por sus siglas en inglés). Los responsables de las actividades de muestreo y medición en terreno, así como los análisis en gabinete se identifican en Tabla N°11-2.

<sup>29</sup> Capítulo 11 “Niveles Freáticos de Lagunas” del consolidado de informes anuales; de acuerdo con el EIA se comprometen niveles para los sistemas (1) La Punta – La Brava; y (2) Peine.

**Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.**

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
Cedrem Consultores	<u>Medición</u> : Revalidación estacional de puntos en terreno y levantamiento de puntos de posicionamiento en tiempo real de alta precisión; Revalidación estacional de puntos en terreno por fotointerpretación.	<u>Especialista</u> : Jessica Labarca (Fotointerpretación) Tomás Lizama (Especialista en Terreno; UVA/Dron - GNSS) David Moraga (Apoyo en Terreno) Magdalena Abarca (Apoyo en Terreno) Nicolás Benavides (Apoyo en Terreno)
	<u>Trabajo en gabinete</u> : Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.	<u>Jefe de Proyecto</u> : Jorge Ramos <u>Especialistas en gabinete</u> : Jessica Labarca Tomás Lizama
Apogeos	<u>Trabajo en gabinete</u> : Correcciones y adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.	Lorena Bustamante (Especialista)

Fuente: Elaboración Propia

El presente informe describe los alcances metodológicos, resultados y discusión del estudio, partiendo con el modelo de clasificación supervisada de los cuerpos de agua, el cual fue implementado en base a imágenes de alta resolución, Pleiades 1-A, y de media resolución, Landsat 8, obtenidas durante agosto y diciembre de 2023. Posteriormente, se presentan de manera detallada los resultados obtenidos en cuanto a la cobertura de los cuerpos de agua, clasificada por sistema lagunar, utilizando imágenes de alta resolución. Estos resultados se comparan con los registros históricos de la Adenda 5 RWL (2015) y con la superficie determinada a partir de las imágenes de Landsat 8. El objetivo de esta comparación es realizar un análisis detallado entre los monitoreos realizados durante el invierno y verano de 2023, contrastándolos con los resultados obtenidos desde el inicio del monitoreo en el año 2016, así como con los datos históricos presentados en la Adenda 5 RWL (2015).

En relación con la campaña de invierno de 2023, esta se llevó a cabo entre el **6 y el 12 de agosto**. Durante esta campaña no fue posible llevar a cabo la validación *in situ* debido a las medidas de restricción de movilidad aplicadas por la Comunidad de Peine; estas medidas limitaron el traslado y acceso a los sectores de Peine y La Punta – La Brava (Ver registros en **Anexo Área de Lagunas**). En cuanto a la campaña de verano de 2023/2024, la validación *in situ* programada entre el **12 y el 15 de diciembre** no pudo llevarse cabo en el sector de Peine debido al cierre de la lagunas por periodo reproductivo de flamencos. Las medidas de restricción de movilidad implementadas por la Comunidad impidieron el traslado y acceso al sector de Peine en el verano 2023/2024 (Ver registros en **Anexo Área de Lagunas**).

En ambas campañas las posibilidades de revalidación de los puntos de muestreo, fue realizada mediante fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución.

El objetivo general es monitorear la cobertura (superficie) de las lagunas (cuerpos de agua), con el fin de hacer el seguimiento a la evolución de estas y detectar cambios en su superficie de ocupación.

Como se ha señalado previamente, la medición se lleva a cabo mediante el análisis de imágenes satelitales de alta resolución y de mediana resolución. Estas mediciones se comparan con los datos históricos de la Adenda 5 RWL (2015) en dos sistemas lagunares ubicados en el Salar de Atacama., La Punta - La Brava y Peine, considerando como base los alcances y procedimientos comprometidos en el PMB.

En función de esto, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Presentar las coberturas de cuerpos de agua calculadas en agosto y diciembre de 2023 a partir de la aplicación de un modelo de clasificación supervisada sobre imágenes satelitales de alta y media resolución (Pleiades - 1A y Landsat 8), en base a datos de revalidación (*in situ* o fotointerpretativas<sup>30</sup>) y al “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama, La Punta - La Brava y Peine.
- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares calculadas desde imágenes de alta resolución con los registros históricos en AR determinados y presentados en el PMB (Adenda 5 RWL, 2015).
- Determinar las coberturas de cuerpos de agua desde una imagen satelital de mediana resolución disponible, Landsat 8, para la fase de operación y comparar éstas con los registros de las coberturas obtenidas en los registros históricos de Landsat en cada sistema lagunar.

## 11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### 11.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, extremo oriente de la II Región de Antofagasta y se encuentra a una altura geográfica aproximada de 2.300 m s.n.m

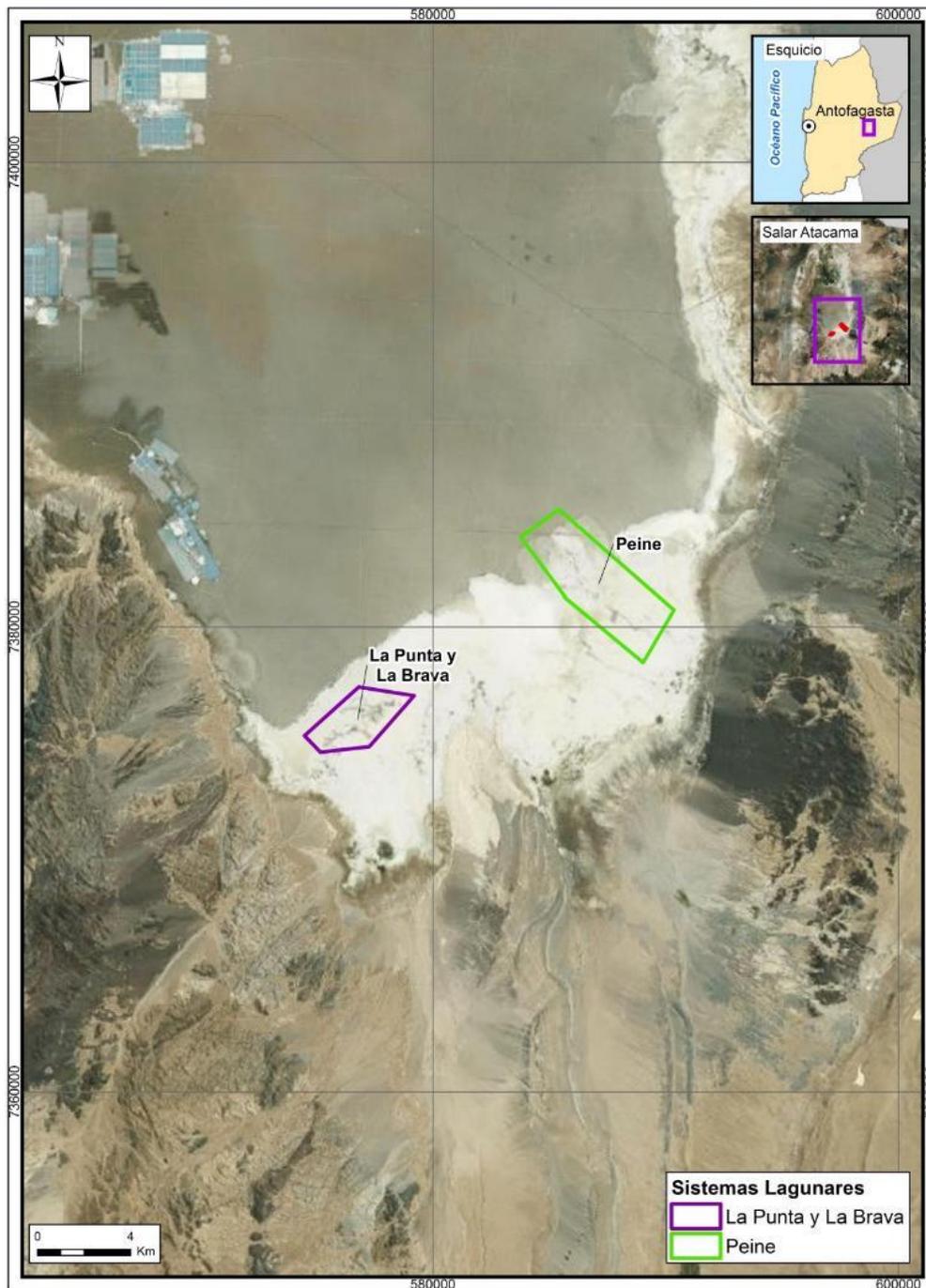
Esta área corresponde a los Sistemas Lagunares establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH), que para efecto del PMB corresponden a dos sistemas lagunares del Salar de Atacama (Figura N°11-1), conformando un área de estudio total de 2.495,1 ha (fuente de datos Anexo 3-Adenda 5), donde:

<sup>30</sup> Según condiciones de acceso a los subsectores de estudio, que incluyen permisos y condiciones de seguridad.

- 
- i) *La Punta - La Brava*; se ubica en el sector sur del salar y abarca una superficie de 726,0 ha (29,1%).
  - ii) *Lagunas de Peine*, ubicado al sur del salar, comprende las lagunas Salada, Interna y Saladita. Este sistema cubre un total 1.769,1 ha (70,9%).

Los dos sistemas lagunares se ubican específicamente en la interfase salina al sur de la cuenca endorreica del Salar de Atacama. Esta zona de interfase supone una separación hidráulica subterránea, de tal manera que el flujo procedente de los acuíferos y, por tanto, desde las subcuencas aportantes, se ve forzado a ascender, alcanzando la superficie donde se forman estos sistemas lagunares permanentes. Una vez en superficie, las aguas que alimentan estos sistemas lagunares, comienzan a sufrir procesos de evaporación, presentando la máxima tasa de evaporación en la franja que rodea al núcleo salino por los márgenes N y E, coincidiendo con la presencia de una cuña salina (Cornellà, O. *et al*, 2009). A medida que estas aguas avanzan sub-superficialmente hacia el núcleo del Salar, se enriquecen progresivamente en sales disueltas. En el resto de la zona marginal, en torno al núcleo del salar, las aguas del acuífero se sitúan muy próximas a la superficie del terreno, sin llegar a aflorar, y sufren una evaporación muy intensa, con una oscilación estacional, la cual provoca que los niveles asciendan en los meses de invierno, y desciendan en verano, cuando se favorecen flujos de evaporación mayores (Adenda 5 RWL, 2015).

**Figura N°11-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama (PMB).**



Fuente: Cedrem Consultores en base al Plan de Manejo Biótico (RWL, 2015); y el estudio “Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de Agua (Adenda 5 RWL, 2015)”.

### **11.1.2 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua**

El parámetro de seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a la “superficie o área (m<sup>2</sup>)” calculada por sistema lagunar a través de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales, con un píxel máximo de 4 metros, en base al Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) indicada en Adenda 5 RWL (2015).

De forma complementaria, en los resultados por sector, y siendo consistente con lo analizado en el documento Adenda 5, Anexo 3 (PSA), en relación a que “...se realizará una correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite LANDSAT 8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición, de menor resolución”; en el presente estudio se realiza una comparación entre las superficies determinadas en base a las imágenes de alta resolución Pleiades - 1A y Landsat 8.

### **11.1.3 Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua**

Esta etapa del estudio conllevó el trabajo en terreno, el cual se realizó con la finalidad de coleccionar los datos que revalidan el modelo de clasificación supervisada usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales; en los casos donde no sea posible el acceso para la colecta de datos, se reemplazará por el análisis fotointerpretativo. La técnica de interpretación visual o fotointerpretación se realiza en base a las imágenes satelitales e/o imágenes de dron, proceso en el que se les asigna a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo que presentan. El método fotointerpretativo para el seguimiento lagunar se realiza en base a la imagen de alta resolución (Pleiades 1-A, 8bits), con variación en la composición de colores para la mejor visualización del cambio de coberturas (método de empleo de falso color). La fotointerpretación o clasificación visual es parte de los procesos de reconocimiento, identificación y delimitación de los recubrimientos detectados en una zona de estudio que, en base a diferentes criterios visuales (color, tono, brillo, textura, formas y aspectos temporales), son parte de las técnicas de muestreo para la metodología de clasificación supervisada.

El muestreo ejecutado, consistió en la validación del tipo de recubrimiento de suelo existente, como “*cuerpo de agua*” u “*otro recubrimiento*”, para cada punto de monitoreo y por sistema lagunar en estudio.

El propósito del muestreo 2023 es revalidar el recubrimiento de suelo, mediante réplicas de los puntos levantados desde el primer año de monitoreo, desde agosto y diciembre de 2016 hasta agosto y diciembre de 2022, en zonas representativas de cuerpos de agua permanentes y zonas que presentan diferencias intra e interanuales, a lo que se suma el criterio de accesibilidad.

La captura de las imágenes satelitales de alta resolución para todos los sectores (Pleiades 1-A) y la descarga de la imagen de media resolución (Landsat 8), se realizó en paralelo a las campañas de terreno en las fechas propuestas para el seguimiento lagunar. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles en los sectores donde no se presentaron restricciones de movilidad, tanto en invierno como en verano 2023/2024.

El diseño de muestreo implementado para el trabajo en terreno – *in situ*, corresponde al tipo *aleatorio –estratificado y estratificado- dirigido* mediante transectos, criterio que se aplica en base a las condiciones de seguridad por el limitado acceso y al conocimiento adquirido en campañas anteriores sobre estos sistemas.

El tamaño de muestra se calculó a partir de la superficie mínima de cuerpos de agua registrada para el componente en la Adenda 5 RWL (2015) y los valores del índice NDWI de imágenes satelitales de alta resolución disponibles.

La Tabla N°11-3 y Tabla N°11-4 presentan el detalle del muestreo aplicado en cada sistema lagunar en estudio. Las diferencias en la ubicación y el número de puntos considerados para validación entre imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8, se debe a las diferencias de resolución espacial entre ellas (2 m y 30 m, respectivamente), lo que se grafica en el **Anexo Área de Lagunas**. En el desglose se puede apreciar aquellos puntos validados en terreno – *in situ* – y aquellos provenientes de la fotointerpretación de la imagen satelital.

**Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2023, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.**

SISTEMA LAGUNAR	RECUBRIMIENTO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		TERRENO	FOTOINT*	TERRENO	FOTOINT*		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	-	205	-	63	249	80
	Cuerpos de agua	-	100	-	34	56	17
	<b>Total sistema lagunar</b>	-	<b>305</b>	-	<b>97</b>	<b>305</b>	<b>97</b>
Peine	Otros recubrimientos	-	69	-	65	118	64
	Cuerpos de agua	-	122	-	117	73	118
	<b>Total sistema lagunar</b>	-	<b>191</b>	-	<b>182</b>	<b>191</b>	<b>182</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>496</b>		<b>279</b>	<b>496</b>	<b>279</b>

Fuente: Cedrem Consultores. \*Fotointerpretación en base a imagen satelital AR (en falso color) e/o imagen UVA – dron;

\*\*Terreno – *in situ*–: recorrido pedestre con marcación de puntos con dispositivo GPS.

**Tabla N°11-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2023/2024, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.**

SISTEMA LAGUNAR	RECUBRIMIENTO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		TERRENO	FOTOINT*	TERRENO	FOTOINT*		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	223	-	77	-	273	88
	Cuerpos de agua	82	-	20	-	32	9
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>305</b>	<b>-</b>	<b>97</b>	<b>-</b>	<b>305</b>	<b>97</b>
Peine	Otros recubrimientos	-	71	-	68	109	92
	Cuerpos de agua	-	120	-	114	82	90
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>-</b>	<b>191</b>	<b>-</b>	<b>182</b>	<b>191</b>	<b>182</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>305</b>	<b>191</b>	<b>97</b>	<b>182</b>	<b>496</b>	<b>279</b>

Fuente: Cedrem Consultores. \*Fotointerpretación en base a imagen satelital AR (en falso color) e/o imagen UVA – dron \*\* Terreno – *in situ*: recorrido pedestre con marcación de puntos con dispositivo GPS.

#### 11.1.4 Materiales y equipos utilizados

El equipo utilizado en ambas campañas para el levantamiento de puntos de información en los sistemas lagunares, corresponden a un receptor Full GNSS/GPS, Navcom SF-3040 con sistema Starfire de geoposicionamiento, que entrega información en coordenadas UTM 19S WGS84. Además, se utilizó un dron DJI modelo Mavic Pro con cámara de 12 mega pixeles, con vuelo programado a 200 metros de altura.

En la campaña invierno 2023 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los sectores de La Punta – La Brava y Peine, ya que se presentaron por parte de la Comunidad de Peine medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso a los sectores señalados. Las medidas de restricción implementadas por la Comunidad se extendieron para el sector Peine en verano 2023/2024 (ver registros en **Anexo Área de Lagunas**). En ambas campañas las posibilidades de revalidación de los puntos de muestreo, fue realizada mediante fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución.

#### 11.1.5 Metodología de muestreo y/o medición

El muestreo en terreno se llevó a cabo mediante el levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS, que consistió en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo directamente en terreno para cada punto de medición, en coordenadas UTM 19S WGS84. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron en los sectores que no presentaban restricciones de movilidad (Figura N°11-2 ).

Posteriormente, en el software GIS ArcMap 10.8 se validan los puntos a los que no se pudo acceder en terreno, mediante la técnica de interpretación visual o fotointerpretación en base a las imágenes satelitales e imágenes de dron, proceso en el que se les asignó a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo (cuerpo de agua / otro recubrimiento). El método

---

fotointerpretativo se realiza en base a la imagen de alta resolución (Pleiades 1-A, 8bits), con variación en la composición de colores para la mejor visualización del cambio de coberturas (método de empleo de falso color). La fotointerpretación o clasificación visual es parte de los procesos de reconocimiento, identificación y delimitación de los recubrimientos detectados en una zona de estudio que, en base a diferentes criterios visuales (color, tono, brillo, textura, formas y aspectos temporales), son parte de las técnicas de muestreo para la metodología de clasificación supervisada.

En las campañas de invierno 2023 y verano 2023/2024, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016 a 2022, en zonas representativas de lagunas recurrentes y donde se determinaron las principales diferencias entre la medición de terreno y el modelo de clasificación supervisada, en períodos intra e interanuales, resguardando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido. El **Anexo Área de Lagunas** muestra la distribución de los puntos de validación en cada sistema lagunar de estudio y el detalle de sus coordenadas.

**Figura N°11-2. Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector La Punta y La Brava, verano (diciembre 2023).**



Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector La Punta y La Brava.

### 11.1.5.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades - 1A

Las imágenes multispectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades - 1A, que conforman un mosaico de los sistemas de Peine y La Punta - La Brava. La fecha de captura de invierno es **14 de agosto de 2023** (Figura N°11-3) y de verano es **29 de diciembre de 2023** (Figura N°11-4). La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m), y permite mayor flexibilidad en cuanto a la periodicidad de captura, ya que su intervalo de revisita es de 24 h.

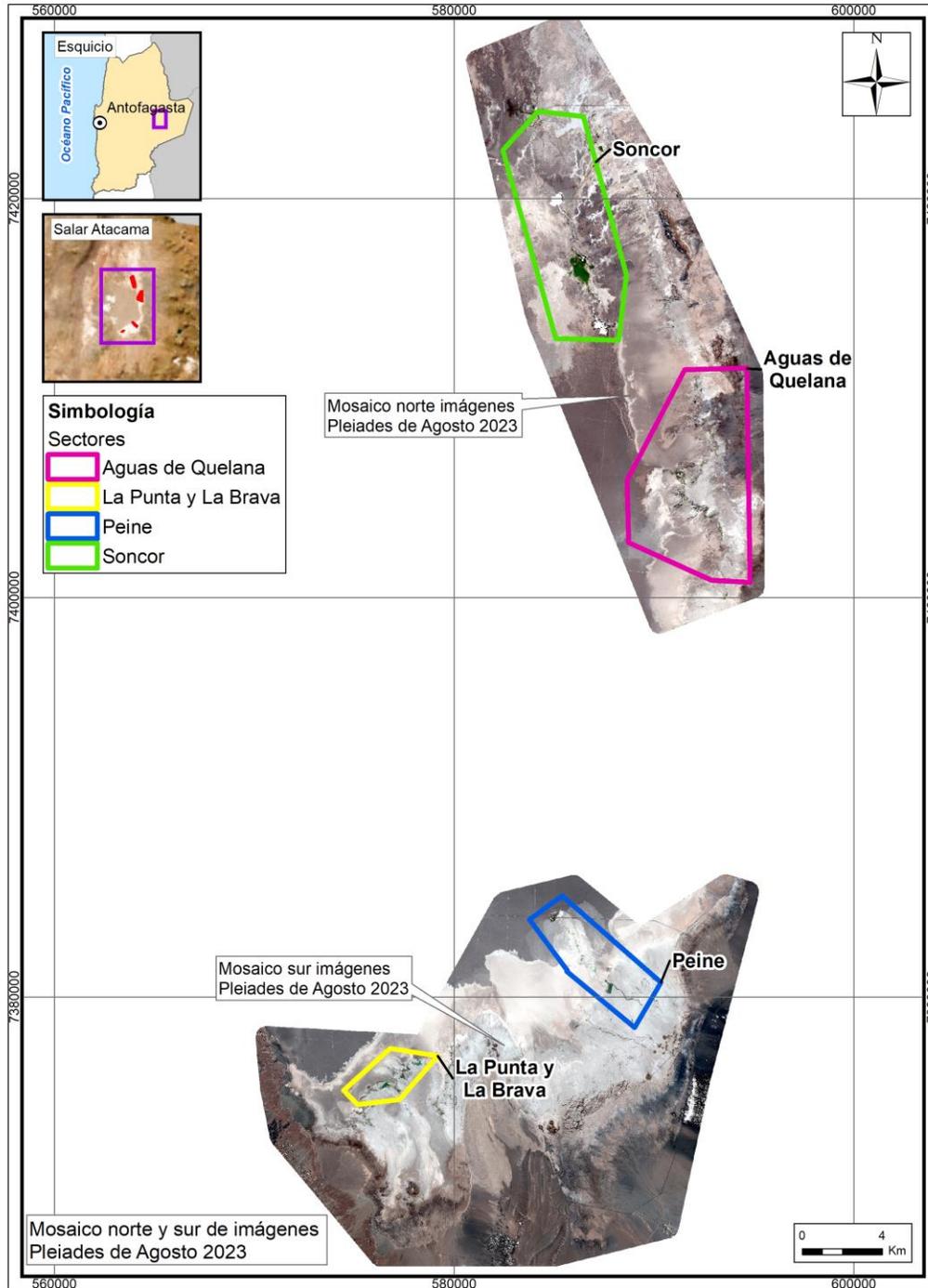
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la Tabla N°11-5, en el **Anexo Área de Lagunas** se presenta el *metadata* de las imágenes analizadas.

**Tabla N°11-5. Características técnicas del sensor Pleiades - 1A.**

CARACTERÍSTICAS	DETALLE	
Órbita	Altitud: 695 km	
	Tipo: Tipo sincrónica con el sol	
Bandas Sensor	Pancromáticas: 480 - 830 nm	
	Multiespectrales	
	Azul: 430 - 550 nm	Rojo: 600 - 720 nm
	Verde: 490 - 610 nm	Infrarrojo: 750 - 950 nm
Resolución del sensor	Pancromática: 50 cm	
	Multiespectral: 2 m	

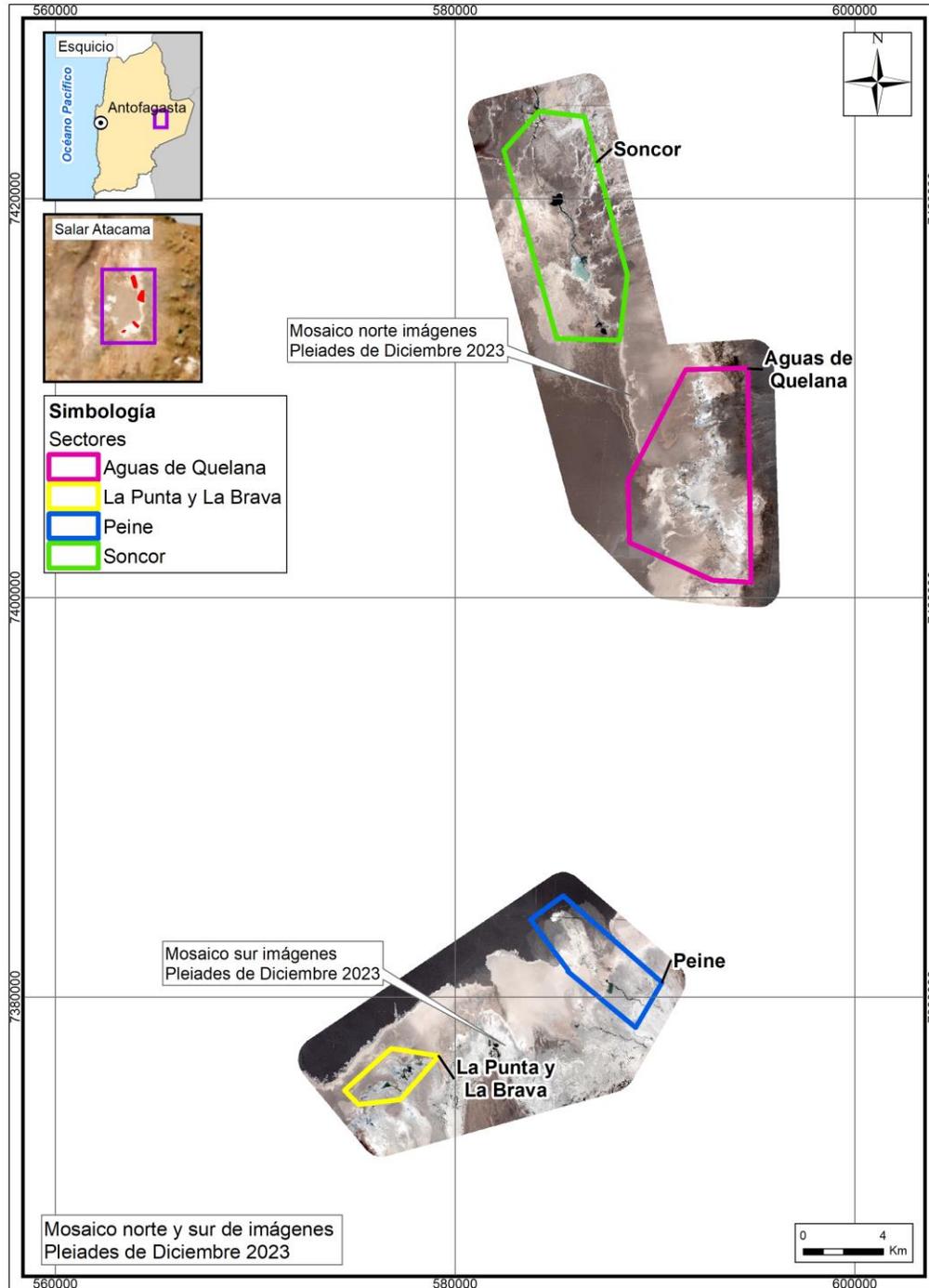
Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>. Revisada en agosto y diciembre 2023.

**Figura N°11-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades - 1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2023.**



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades - 1A (invierno 2023).

**Figura N°11-4. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades - 1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano (diciembre 2023).**



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades - 1A (verano 2023/2024).

### 11.1.5.2 Imagen de resolución media – LANDSAT 8

Las imágenes usadas cubren por completo el área de estudio y las fechas de captura corresponden al **14 de agosto y 20 de diciembre de 2023**. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio *web* de *United States Geological Survey* (USGS; Figura N°11-5). El sensor Landsat 8 dispone de 11 bandas espectrales, con una resolución (tamaño del píxel) de 30 x 30 m. De éstas, se utilizaron cinco bandas en el proceso de delimitación de los cuerpos de agua del área de estudio. Las características de las bandas espectrales del sensor LANDSAT 8 se describen en la Tabla N°11-6 y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

**Figura N°11-5. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2023 (izquierda – RGB) y verano 2023/2024 (derecha - RGB).**



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Revisitada en agosto y diciembre de 2023.

**Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8**

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Costera	0,43 – 0,45	30
Band 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 Rojo	0,64 – 0,67	30
Band 5 Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
Band 6 Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Band 7 Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Band 8 Pancromática (Pan)	0,50 – 0,68	15
Band 9 Cirros (Cirrus)	1,36 – 1,38	30
Band 10 Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10,6 – 11,19	100
Band 11 Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre 2023.

### 11.1.5.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

Tanto las imágenes Landsat 8, como las Pleiades 1-A de alta resolución, fueron sometidas a procesamiento digital de correcciones radiométricas y atmosféricas, con el fin de reducir errores provenientes de interferencias, las cuales pueden ser producto del ángulo de captura y alteraciones en el movimiento del satélite, o bien el efecto de las partículas presentes en la atmósfera, entre otros.

Inicialmente, a cada imagen se le realizó una corrección radiométrica, la cual consiste en la conversión de los valores de pixeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ( $W / (m^2 * sr * \mu m)$ )<sup>31</sup>. Este proceso se utiliza como medio de calibración para disminuir la falta de uniformidad en los valores digitales debido a efectos producidos por errores sistemáticos en el sensor, tales como la contaminación de partículas en el plano focal de éste, las que pueden manifestarse en forma de manchas y bandas en las imágenes. Esta conversión proporciona una base para la comparación de datos en una sola escena o entre imágenes adquiridas en fechas diferentes o por diferentes sensores (Chander *et al.*, 2009).

Posteriormente, se realizó la corrección atmosférica de cada imagen. Esta corrección busca reducir el efecto de la interacción de las moléculas y partículas de la atmósfera (vapor de agua, polvo en suspensión, aerosoles, entre otras) en la radiación electromagnética captada por los sensores de un satélite. La eliminación de los efectos atmosféricos y del terreno, recuperan los parámetros físicos de la superficie incluyendo la reflectancia, visibilidad del suelo y temperatura. Para este fin, se utilizó el modelo de corrección espectral de reflectancia a nivel de superficie de *Airbus*, realizado por el mismo proveedor en las imágenes de alta resolución (Pleiades). Este modelo permite ejecutar correcciones de reflectancia provenientes de la parte alta de la atmósfera, la eliminación de neblina y el enmascaramiento de nubes, así como correcciones de la atmósfera baja y a nivel de suelo, y las correcciones atmosféricas de la temperatura superficial. En el caso de las imágenes de resolución media, las imágenes Landsat 8 Level-2 Surface Reflectance (L2SP) son productos procesados y corregidos por el proveedor para corregir diversos efectos atmosféricos y de iluminación. Las correcciones atmosféricas incluyen la eliminación o reducción de efectos causados por la presencia de gases, aerosoles y nubes en la atmósfera.

Es importante mencionar que estos métodos en comparación al método IARR (por su sigla en inglés) y que corresponde al *promedio interno de reflectancia relativa* aplicado en la Adenda 5 RWL (2015), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvienco, 2006) y el modelo L2SP. Esta diferencia metodológica, puede variar la respuesta espectral de los parámetros espectrales utilizados (*ej.* NDVI, NDWI; Lamolda, 2008),

<sup>31</sup> Dónde: W: Watts; m<sup>2</sup>: metro cuadrado; sr: estereorradián;  $\mu m$ : micrómetro.

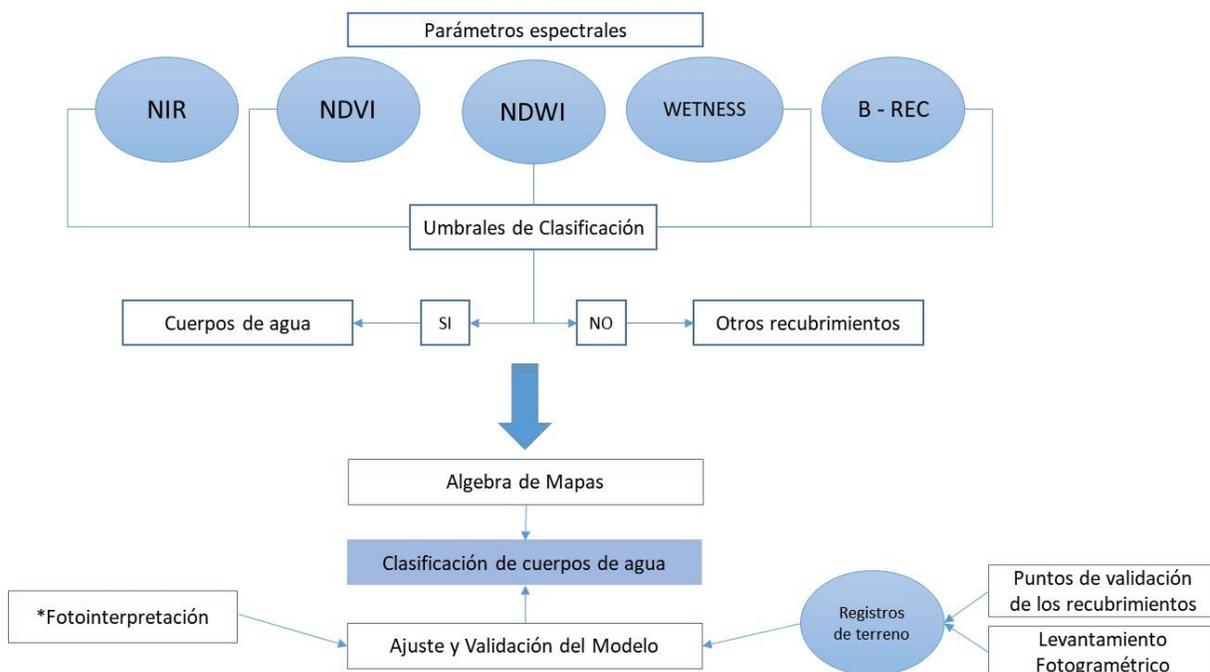
conduciendo a la mejor detección de cuerpos de agua con el modelo actual (detalles en el **Anexo Área de Lagunas**).

Posteriormente, las imágenes fueron ortorrectificadas para eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, en el caso de las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A, fueron unidas conformando un mosaico del área de estudio (Figura N°11-3 y Figura N°11-4).

#### 11.1.5.4 Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua

El modelo usado durante este análisis se desarrolló en base a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), la cual fue empleada en el estudio desarrollado en la Adenda 5 RWL (2015); y que fue establecido como base para este componente.

**Figura N°11-6. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.**



**Índices Multiespectrales:** NIR= Banda del infrarrojo cercano, NDVI= Índice de vegetación normalizado; NDWI= Índice diferencial de agua normalizado, WETNESS= Índice de Humedad derivado de transformación *Tasseled Cap* con bandas de imágenes Landsat 8; B - REC= reclasificación de bandas espectrales azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. \*El levantamiento fotogramétrico se realiza complementario a los puntos de validación; en caso de no contar con acceso a las áreas se utiliza el método de \*Fotointerpretación. Fuente: Elaboración Propia en base a metodología “Modificada del Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (MNDWI) en Adenda 5 RWL (2015).

La clasificación supervisada de imágenes satelitales se empleó para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua. El método se inicia con el establecimiento 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 cada parámetro, y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno o por fotointerpretación (Figura N°11-6).

Los parámetros evaluados durante la clasificación supervisada en el presente estudio fueron cinco:

- i) Banda infrarroja (NIR),
- ii) Índice NDWI;
- iii) Índice NDVI;
- iv) Reclasificación de bandas espectrales ( $B1 < B2$ ) y ( $B3 > B4$ ), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y
- v) Transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*; Kauth & Thomas, 1976), la cual se utilizó para el caso Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor.

El acápite 11.1.5.5 describe en detalle cada uno de estos parámetros.

Comparativamente entre la metodología de la Adenda 5 RWL (2015) y la actual, cabe destacar que en esta última se incorporan dos parámetros espectrales adicionales, correspondientes a NDVI y a la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*). Esta modificación, se realizó 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). El **Anexo Área de Lagunas** detalla los ajustes metodológicos aplicados con relación a la Adenda 5 RWL (2015).

#### **11.1.5.5 Parámetros espectrales del modelo de clasificación**

##### **a. Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI**

En la Adenda 5 RWL (2015) (Anexo 3 PSAH, apartado 3.2.6 de “Superficie cubierta por lagunas”), se indica que: “*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, con la siguiente expresión:

$$(1) \quad MNDWI = \frac{G - MIR}{G + MIR}$$

Donde  $G$  es la banda espectral correspondiente al color verde y el MIR es la banda del Infrarrojo medio”. La fórmula corresponde a la desarrollada por Xu, 2006.

Sin embargo, en el mismo acápite, en algunos párrafos previo a la fórmula se indica textual: “Se utilizarán imágenes de satelitales multiespectrales con un tamaño de píxel de **máximo 4 metros** que incluirán los sistemas lagunares [...]” (énfasis es propio). Lo anterior, y para ser consistentes con las condiciones técnicas señaladas, dado que la existencia de imágenes que cuenten con la banda MIR es limitada y en general cuentan con menor resolución espacial de lo comprometido (ej. satélites Spot con una banda MIR con resolución espacial de 20m, muy superior a los 4 m máximos) obliga a usar método NDWI.

Además, como fue mencionado en la introducción, la variable Superficies Lagunares, es compromiso del seguimiento biótico (PMB) y también del seguimiento hídrico (PSAH) y por lo tanto, se debe compatibilizar ambos compromisos, es decir, también debe cumplir con la metodología especificada en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, apéndice b), 2015 “*Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental*”, que indica que:

“Para la delimitación de las superficies cubiertas por aguas existe el cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Agua o NDWI (Normalized Difference Water Index). La fórmula utilizada para el cálculo de este índice es la siguiente (Gao, 1995; McFeeters, 1996):

$$(2) \quad NDWI = \frac{\rho_i V - \rho_i IRC}{\rho_i V + \rho_i IRC}$$

dónde:  $V$  es la reflectancia en el verde (visible) (Banda 2);  $IRC$  = reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (Banda 4)”.

Finalmente, la selección de la fórmula de McFeeters (2), responde a la necesidad de ajustar imágenes de alta resolución (ya sea imágenes de archivo o programadas) manteniendo todos los objetivos propuestos en la Adenda 5 RWL (2015) y la base de la fórmula propuesta, tanto para el PMB como para el PSAH, siendo esta última la utilizada en el presente informe con el fin de estandarizar los métodos.

El índice NDWI varía entre -1 y 1, asociando los valores positivos para las superficies con agua o húmedas y cero o negativo para el suelo y la vegetación terrestre estresada. El cálculo de este parámetro se realizó tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

#### **b. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación - NDVI**

El Índice NDVI (por su sigla en inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*), consiste en la comparación entre las bandas roja e infrarrojo cercana, mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = (NIR-R) / (NIR+R)$$

El NDVI varía entre -1 y 1 y resalta en valores positivos las áreas con presencia de vegetación basándose en la reflectancia diferencial de la clorofila entre la banda infrarroja cercana (**NIR**) y la banda roja (**R**) del espectro visible. Adicionalmente, en el rango de los valores negativos este índice detecta superficies que generalmente corresponden a nubes o cuerpos de agua.

El cálculo de este parámetro se realizó tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades - 1A.

**c. NIR - Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano**

La Banda NIR (Banda 5 en Landsat 8 y Banda 4 en Pleiades - 1A), posee características espectrales útiles para la detección de cuerpos de agua. Dadas las propiedades del agua de absorción de la radiación electromagnética; esta baja reflectividad en el infrarrojo resulta útil en la distinción de áreas de tierra o suelos desnudos y agua.

Para el cálculo de este parámetro, se realiza la reclasificación de este parámetro tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades - 1A.

**d. Reclasificación de bandas espectrales a partir de la condición de bandas de la imagen de alta resolución**

Este parámetro consistió en un procedimiento de clasificación binaria de los píxeles en las imágenes espectrales Pleiades - 1A, en que los píxeles de las bandas espectrales de las imágenes se enfrentaron a la condición lógica de la presencia de cuerpos de agua versus otros recubrimientos, en base al segmento de longitud de onda que refleja cada banda. Para este caso se procedió el cumplimiento de la condición: (**B1 < B2**) y (**B3 > B4**). Donde las bandas corresponden a: B1 azul, B2 verde, B3 rojo y B4 infrarrojo cercano.

**e. Transformación “Tasseled Cap”**

La transformación “*Tasseled Cap*” (**TCT**) fue desarrollada para optimizar la visualización de la vegetación en imágenes multiespectrales (Hernández, 2005). Esta transformación produce tres nuevas bandas a partir de las originales de la imagen: Brillo (*Brightness*), Verdor (*Greenness*) y Humedad (*Wetness*).

El índice de humedad es un contraste entre la reflectancia en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y el visible/infrarrojo cercano (V/NIR), proporcionando una medida del contenido de humedad del suelo. En estas bandas, el agua absorbe la radiación (con coeficientes de ponderación negativos) respecto al resto de las bandas menos afectadas por la humedad (coeficiente bajo y positivo) (Crist & Cicone, 1984; Crist, *et al.*, 1986).

Este parámetro se utilizó sólo en el caso de Landsat 8 y para su cálculo se utilizaron coeficientes que derivan estadísticamente a partir de estas imágenes y de observaciones empíricas que son específicos para cada sensor (Crist, *et al.* 1986).

#### **11.1.5.6 Umbrales y validación del modelo de clasificación**

Durante el proceso de clasificación supervisada, se establecieron umbrales de clasificación de cada parámetro del modelo, los cuales representaron el valor límite de clasificación como cuerpo de agua u otro recubrimiento. Estos umbrales fueron definidos para cada sector, según el parámetro, para cada tipo de imagen satelital y para cada temporada (mes – año). La búsqueda de umbrales realiza en cada monitoreo, en consideración a las diferencias en la percepción del sensor de los recubrimientos del suelo, en otros, por el ángulo de iluminación del sol y la temporada del año en que se dé la captura; esta variación se traduce en el valor de los datos a analizar y por ende de valor de corte o umbral.

La definición de cada umbral se realizó mediante inspección visual fotointerpretativa, controlada por el conocimiento de las características de los objetos a catalogar; su respuesta espectral; y los umbrales determinados en campañas anteriores. Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a los registros históricos de la Adenda 5 RWL (2015) son atribuibles al cambio del tipo de imágenes satelitales usadas; a las variaciones atmosféricas; las diferencias en el procesamiento de estas; y a cambios en los valores del conjunto de datos de cada imagen, correspondientes a la metodología detallada en el **Anexo Área de Lagunas**. Los umbrales obtenidos en para los informes semestrales verano e invierno 2023 se presentan en la Tabla N°11-7.

**Tabla N°11-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades - 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2023.**

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA Y LA BRAVA	PEINE
<b>Invierno 2023</b>			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	P85 >= -0,068936899	P95 >= 0,05007625
	NDVI	P10 <= 0,015944409	P5 <= 0,005027738
	NIR - B4	P10 <= 0,22856006	P5 <= 0,202227605
	(B1<B2) Y (B3> B4)	SI	SI
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P90 >= -0,031812803	P95 >= -0,054415357
	NDVI	P5 <= -0,089175869	P5 <= 0,005931742
	NIR - B5	P5 <= 0,298705167	P5 <= 0,360613042
	WETNESS	NO	NB 15/32 >= 0,156158896
<b>Verano 2023/2024</b>			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	P95 >= -0,025857668	NB 16/32 >= 0,044198746
	NDVI	NB 20/32 <= -0,021022553	NB 18/32 <= -0,060895595
	NIR - B4	P5 <= 0,401315977	NB 12/32 <= 0,348826398
	(B1<B2) Y (B3> B4)	SI	SI
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	NB 7/32 >= -0,057969352	NB 10/20 >= -0,000404327
	NDVI	NB 25/32 <= 0,01853887	NB 26/32 <= -0,038038284
	NIR - B5	P5 <= 0,376015308	P10 <= 0,368423529
	WETNESS	NO	NB 21/32 >= 0,26360134

Dónde: Métodos de clasificación de datos: R: Intervalo equivalente (*Equal Interval*), NB: Quiebres naturales (*Natural breaks*), P: Percentiles (*Quantile*). Umbrales definidos cada temporada de monitoreo, de acuerdo con las variaciones temporales del sensor y la naturaleza de los sustratos; NO: el índice presenta homogeneidad en los datos y su clasificación no aporta al modelo, por lo que no se utiliza. Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la complejidad de las áreas de estudio, fue preciso considerar diferentes intervalos en las distribuciones de las variables. Para ello, se utilizaron los métodos de clasificación de datos por percentiles, intervalos equivalentes y quiebres naturales; esto con el objeto de encontrar el mejor ajuste en el modelo de clasificación. Este proceso se realizó en el software ArcGIS 10.8. Los métodos de clasificación de datos permiten visualmente agrupar valores similares, y bajo ese análisis determinar cuál es la agrupación de datos (desde que valor o umbral) se expresa con mejor ajuste los tipos de recubrimientos (agua, otros recubrimientos).

Una vez fijado cada umbral de clasificación, se extrae el conjunto de píxeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les asignó el tipo de recubrimiento de suelo que representaban (cuerpos de agua u otros recubrimientos).

El cálculo final del modelo por sector se realiza mediante la unión de los parámetros reclasificados según el umbral definido y se determinó la cobertura de agua cuando al menos dos de los cuatro parámetros coincidían en clasificar el píxel como “cuerpo de agua”, de lo contrario quedó asignado como “otro recubrimiento”; esto para ambos tipos de imágenes. El criterio de decisión en la cantidad de parámetros usados para asignar la categoría se relaciona

con la complejidad del patrón espacial de cada sistema lagunar y de su variabilidad estacional (Ortiz, C. *et al*, 2014; DGA, 2014; Cornellà, O. *et al*, 2009).

Posteriormente, se procede con la validación del modelo de clasificación la cual se realiza a través de una matriz de confusión, que permite evaluar la exactitud del modelo. Fundamentalmente consiste en estimar el número de puntos correctamente cartografiados dentro de un conjunto de datos. En este caso, la matriz se construyó con la información del tipo de recubrimiento establecido en los puntos de validación de terreno/fotointerpretación y fueron comparados con los resultados del modelo. En esta matriz, la diagonal principal indica que las muestras fueron coincidentes o correctamente interpretadas (ITC, 1999 en Flores, 2002).

El interés del uso de esta tabla de confusión proviene de su capacidad para plasmar conflictos entre categorías. De esta forma no sólo se conoce la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas (Chuvienco, 2006).

A partir de la matriz de confusión se realiza el cálculo del índice *Kappa*<sup>32</sup>, el cual es una medida ajuste en términos de la exactitud del modelo de clasificación. Este mide la diferencia entre los datos de validación de terreno/fotointerpretación y la clasificación según el modelo, e intenta delimitar el grado de ajuste de los datos, prescindiendo de los factores aleatorios (Congalton, 1991). El coeficiente *Kappa* fue calculado de la siguiente manera:

$$\kappa = \frac{[(\Sigma \text{ concordancias observadas}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{total de observaciones}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}$$

El índice *Kappa* tiene un rango entre 0 y 1 el cual representa proporcionalmente la exactitud en el ajuste del modelo. Valores de *K* cercanos a 1 revelan una muy buena concordancia entre la realidad observada y la cobertura obtenida. Contrariamente, valores próximos a 0 sugieren que la concordancia observada es sólo debido al azar. Según Landis y Koch (1977), valores  $K > 0,4$  indican un modelo de clasificación *aceptable* en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo *considerable* en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

Con los datos de la revalidación en terreno/fotointerpretación y la clasificación finalizada por sistema lagunar, se procede a evaluar su ajuste mediante la utilización de la matriz de confusión y el Índice de *Kappa*, con la finalidad de determinar el nivel de ajuste obtenido.

Complementario a lo anterior, a partir de la matriz de confusión también se obtuvo el índice de precisión global (*overall accuracy* u OA) que define la cantidad de puntos correctamente clasificados midiendo así la calidad de una clasificación expresada en porcentaje (0 a 100%), en que, si todos los puntos de la imagen son clasificados al grupo que le corresponde según

<sup>32</sup> Los rangos de valores para *Kappa* son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

la información se terreno/fotointerpretación, vale decir, un 100% de coincidencias, se puede hablar de una clasificación perfecta (Li, Y., 2014).

#### **11.1.5.7 Depuración cartográfica de cuerpos de agua**

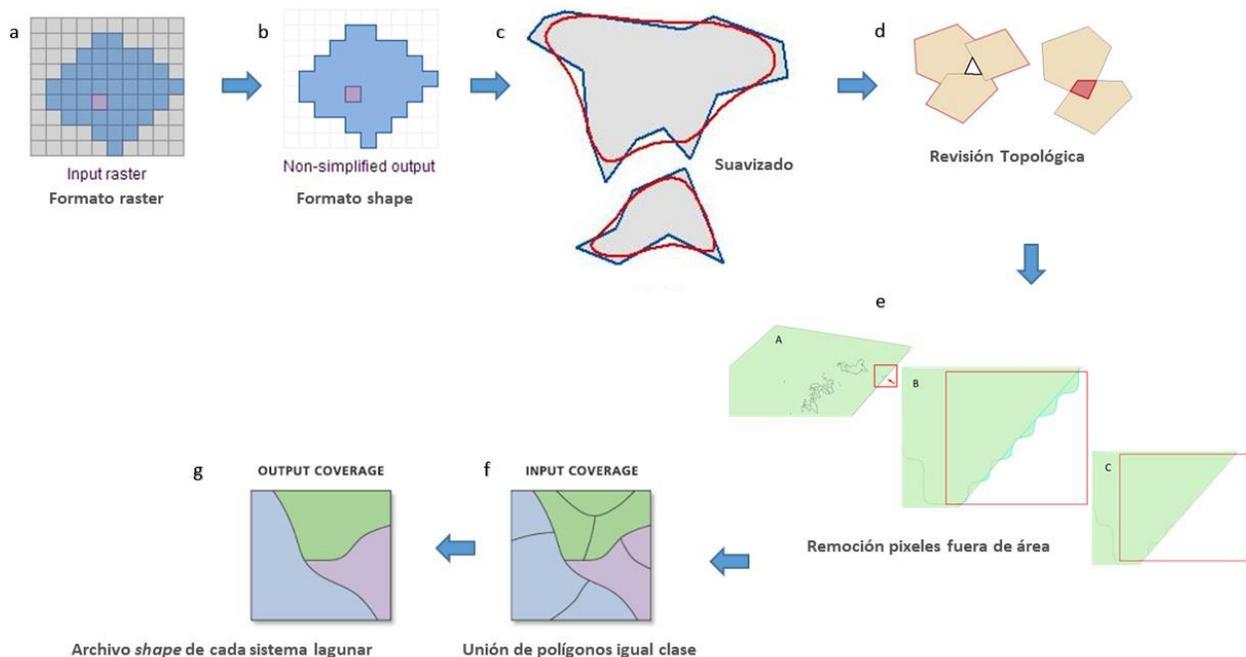
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades 1-A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato *raster* a entidades de polígonos en formato *shape* (Figura N°11-7, a y b). El resultado se sometió 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 (Figura N°11-7, c).

Adicionalmente, se realizó una depuración final en los *shapes*, la cual busca reducir errores de clasificación aleatorios siguiendo dos criterios:

- i) Revisión topológica de las coberturas, ante la presencia de espacios entre los bordes de los polígonos o bordes de polígonos superpuestos (Figura N°11-7, d) y,
- ii) Remoción de polígonos clasificados como cuerpos de agua con tamaño inferior al equivalente de un píxel (0,0004 ha en Pleiades - 1A y 0,09 ha en Landsat 8) y que surgen de la intersección con el área de estudio (Figura N°11-7, e).

Producto de estas operaciones se 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) (Figura N°11-7, f y g).

**Figura N°11-7. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (*raster*) a polígonos (*shape*).**



Dónde: **a:** Ingreso Raster; **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.

### 11.1.6 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua

De acuerdo con lo expresado en la sección 11.1.2 *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua*, esta etapa dio cumplimiento a lo dispuesto por el PMB, de acuerdo con Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*.

En base a estos documentos, el análisis comparativo de las superficies se realizó por sistema lagunar, en base a las siguientes tipologías:

- *Comparación con registros históricos de la Adenda 5 (2015):* se realizó entre el resultado de las superficies de lagunas registradas en los monitoreos de agosto y diciembre 2023, y las variaciones en relación con el mínimo histórico de la Adenda 5 RWL (2015).
- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2023 desde las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y Landsat 8.

- *Comparación entre monitoreos anuales:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2023, con respecto a los resultados de los monitoreos entre 2016 y 2022.

Cabe destacar que el actual monitoreo, describe los cuerpos de agua en condiciones de operación del proyecto.

#### **11.1.7 Fechas de medición**

Respecto a la campaña de invierno 2023, ésta se realizó los días **06 al 12 de agosto de 2023**. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1A, el **8 de agosto de 2023**, y la captura de la imagen de media resolución (Landsat 8) corresponde al **14 de agosto de 2023**.

La campaña de verano 2023/2024, se realizó los días **12 al 15 de diciembre de 2023**. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1A, el **22 de diciembre de 2023**, y la captura de la imagen de media resolución (Landsat 8) corresponde al **20 de diciembre de 2023**.

En la campaña invierno 2023 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los sectores de La Punta – La Brava y Peine, ya que se presentaron por parte de la Comunidad de Peine medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso a los sectores señalados (Ver registros en **Anexo Área de Lagunas**).

En la campaña verano 2023/2024 en el sector Peine, se presenta restricción de acceso por parte de la Comunidad de Peine, por lo tanto no se realizó vuelo UVA/dron y el trabajo de validación de puntos de muestreo fue por el método fotointerpretativo (Ver registros en **Anexo Área de Lagunas**).

## 11.2 RESULTADOS

### 11.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, con relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, se realizó mediante el índice *Kappa*. Este índice tuvo una variación entre 0,56 y 0,52 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-8) y desde 0,41 y 0,75 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-9) en agosto de 2023, para La Punta – La Brava y Peine respectivamente. Respecto de diciembre de 2023, este índice tuvo una variación entre 0,46 y 0,62 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-10) y desde 0,57 a 0,72 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-11) para LPLB y PE respectivamente. Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a considerable*<sup>33</sup>.

En relación con la precisión global, los valores tuvieron una variación entre 83% y 74% para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-8) y entre 76% y 88% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-9) en agosto de 2023, para La Punta – La Brava y Peine respectivamente. Respecto de diciembre de 2023, la precisión global del modelo tuvo una variación entre 83% y 80% para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-10) y desde 89% a 86% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-11), para La Punta – La Brava y Peine respectivamente. La precisión global expresa que proporción de puntos de validación coincidió correctamente con el modelo generado, expresado como un porcentaje, siendo la precisión del 100% una clasificación perfecta. Valores promedio sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado, con el resultado del método de clasificación supervisada.

De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinados en terreno o por fotointerpretación visual (generalmente asociado al sector Peine). Asimismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua (proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR). También ocurre con el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes, como microorganismos; o ante la discontinuidad de las inundaciones, generando parches que no son captados como unidades

<sup>33</sup> Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

independientes, aumentando el error en sitios de transición seca – húmeda. De acuerdo con lo anterior, en el sector La Punta – La Brava en el seguimiento 2023, se obtiene una baja de los cuerpos lagunares, y por ello la generación de cuerpos de agua discontinuos (de pequeña magnitud) y la exposición de recubrimientos mixtos (sal – microorganismos), que generan una discordancia entre lo “captado” por el sensor y lo corroborado por especialistas en terreno, repercutiendo en un menor índice *kappa* en dichos sectores.

**Tabla N°11-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2023.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	52	48	100	52,0	48,0	
	Otros Recubrimientos	4	201	205	98,0	2,0	
	<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>249</b>	<b>305</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	92,9	80,7	-	-	-	
	***Error omisión (%)	7,1	19,3	-	-	Índice Kappa:	0,56
						Precisión global (OA):	83%
Peine	Cuerpos de agua	73	49	122	59,8	40,2	
	Otros Recubrimientos	0	69	69	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>118</b>	<b>191</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	58,5	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	41,5	-	-	Índice Kappa:	0,52
						Precisión global (OA):	74%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).  
Elaboración propia.

**Tabla N°11-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2023.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	14	20	34	41,2	58,8	
	Otros Recubrimientos	3	60	63	95,2	4,8	
	<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>80</b>	<b>97</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	82,4	75,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	17,6	25,0	-	-	Índice Kappa:	0,41
						Precisión global (OA):	76%
Peine	Cuerpos de agua	107	10	117	91,5	8,5	
	Otros Recubrimientos	11	54	65	83,1	16,9	
	<b>Total</b>	<b>118</b>	<b>64</b>	<b>182</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	90,7	84,4	-	-	-	
	***Error omisión (%)	9,3	15,6	-	-	Índice Kappa:	0,75
						Precisión global (OA):	88%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).  
Elaboración propia.

**Tabla N°11-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2023.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	31	51	82	37,8	62,2	
	Otros Recubrimientos	1	222	223	99,6	0,4	
	<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>273</b>	<b>305</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	96,9	81,3	-	-	-	
	***Error omisión (%)	3,1	18,7	-	-	Índice Kappa:	0,46
						Precisión global (OA):	83%
Peine	Cuerpos de agua	82	38	120	68,3	31,7	
	Otros Recubrimientos	0	71	71	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>109</b>	<b>191</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	65,1	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	34,9	-	-	Índice Kappa:	0,62
						Precisión global (OA):	80%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).  
Elaboración propia.

**Tabla N°11-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2023.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	9	11	20	45,0	55,0	
	Otros Recubrimientos	0	77	77	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>88</b>	<b>97</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	87,5	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	12,5	-	-	Índice Kappa: 0,57	
						Precisión global (OA):	89%
Peine	Cuerpos de agua	89	25	114	78,1	21,9	
	Otros Recubrimientos	1	67	68	98,5	1,5	
	<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>92</b>	<b>182</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	98,9	72,8	-	-	-	
	***Error omisión (%)	1,1	27,2	-	-	Índice Kappa: 0,72	
						Precisión global (OA):	86%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).  
 Elaboración propia.

### 11.2.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

En la Tabla N°11-12 y Tabla N°11-13 se presentan los resultados de las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada desde imágenes de alta resolución (Pleiades - 1A) y desde media resolución (Landsat 8).

**Tabla N°11-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2023 (invierno y verano).**

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2023			
		Invierno 2023		Verano 2023/2024	
		ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>
Superficies Pleiades - 1A de alta resolución	La Punta – La Brava	45,5	455.090,3	26,6	266.615,0
	Peine	29,4	293.950,5	22,0	220.413,0

Fuente: Elaboración Propia

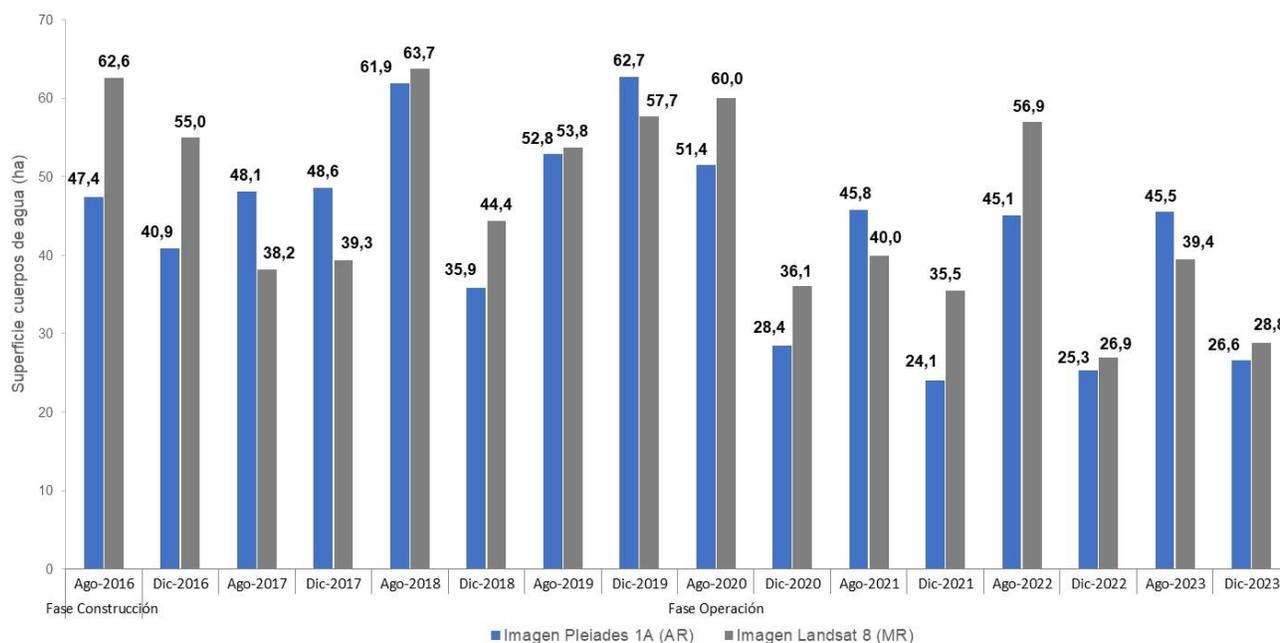
**Tabla N°11-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2023 (invierno y verano).**

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2023			
		Invierno 2023		Verano 2023/2024	
		ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>
Superficies Landsat 8 de media resolución	La Punta – La Brava	39,4	393.827,2	28,8	287.706,7
	Peine	62,2	621.914,9	26,9	268.952,2

Fuente: Elaboración Propia

En el sistema lagunar La Punta - La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades 1-A en agosto de 2023 es de 45,5 ha y en diciembre 2023 abarca una superficie de 26,6 ha (Tabla N°11-12). La Figura N°11-8 y Figura N°11-9 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2023, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

**Figura N°11-8. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava.**



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 39,4 ha en agosto de 2023, y en diciembre 2023 se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 28,8 ha (Tabla N°11-13). Los valores de agosto 2023, en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Pleiades sobre Landsat de un +13,5% (+6,1 ha) para este periodo. En diciembre de 2023, la

---

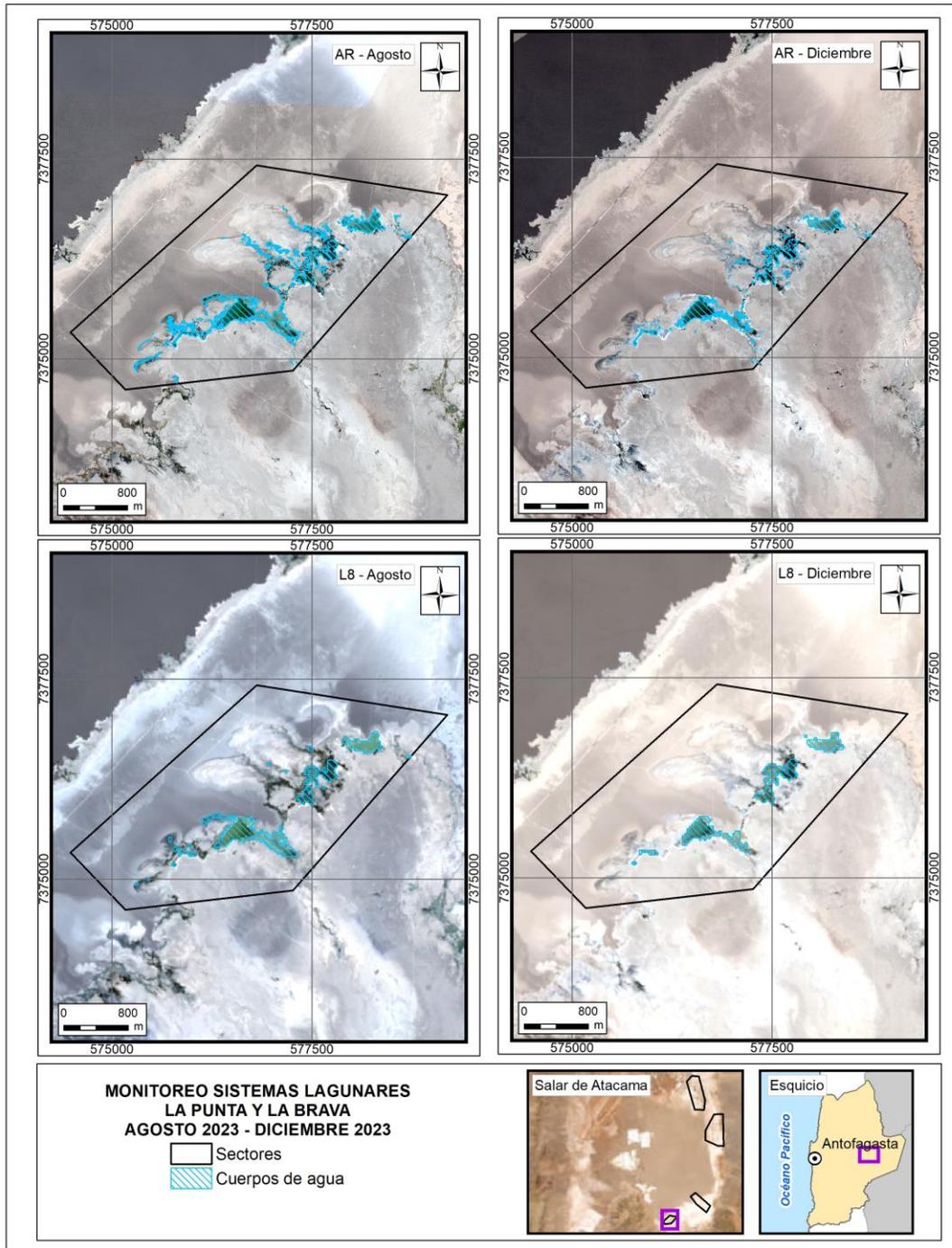
comparativa entre imágenes, muestra una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +7,7% (+2,2 ha) para este periodo. Las variaciones de resultados entre los sensores (Landsat - Pleiades) se deben principalmente a las diferencias en la resolución espacial, es decir, al tamaño de píxel. Esto se traduce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

La correlación entre las superficies desde agosto de 2016 a diciembre de 2023 en el sector La Punta - La Brava, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,763<sup>34</sup> lo que indica una relación positiva moderada entre variables ( $r^2 = 0,582$ ); mientras que el valor  $p$  es de 0,0004 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

---

<sup>34</sup> El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

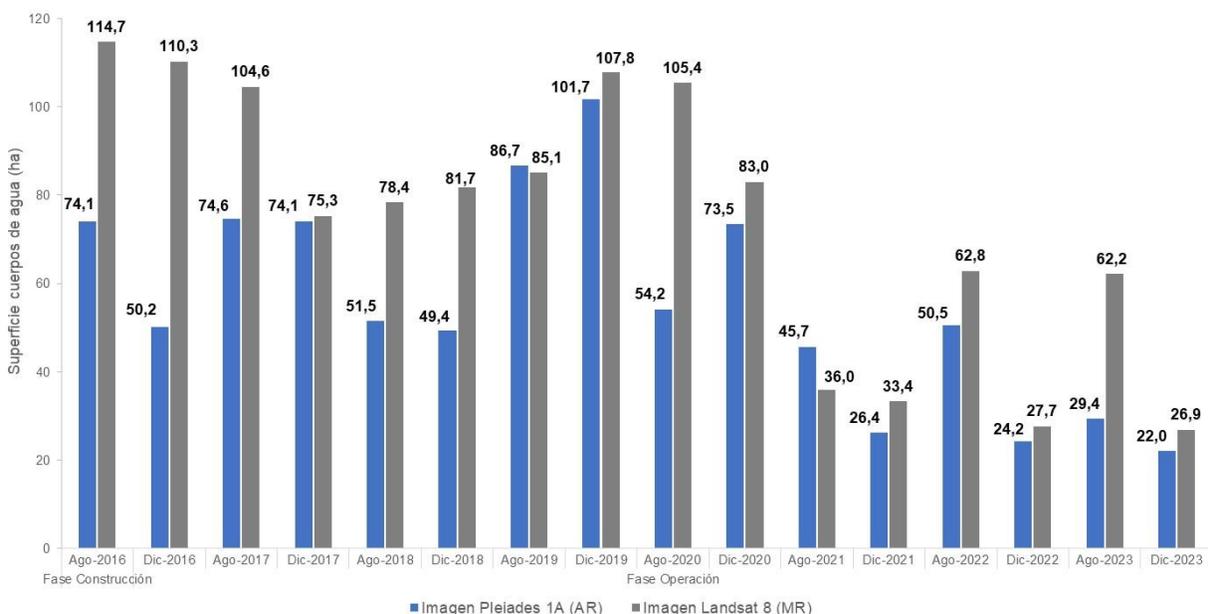
**Figura N°11-9. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2023 – diciembre 2023.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2023 y diciembre de 2023  
 En el **sistema lagunar Peine**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades 1-A en agosto de 2023 es de 29,4 ha y en diciembre

2023 abarca una superficie de 22,0 ha (Tabla N°11-12). La Figura N°11-10 y Figura N°11-11, muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2023, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

**Figura N°11-10. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.**



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).  
 Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

En el sistema lagunar Peine, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 62,2 ha en agosto de 2023; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +52,7% (+32,8 ha) para este periodo. Para las imágenes de diciembre 2023 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua en mediana resolución abarca una superficie de 26,9 ha, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +18,0% (+4,9 ha) para este periodo. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno del recubrimiento agua, por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución.

La correlación entre las superficies del sector Peine desde agosto 2016 a diciembre 2023, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de

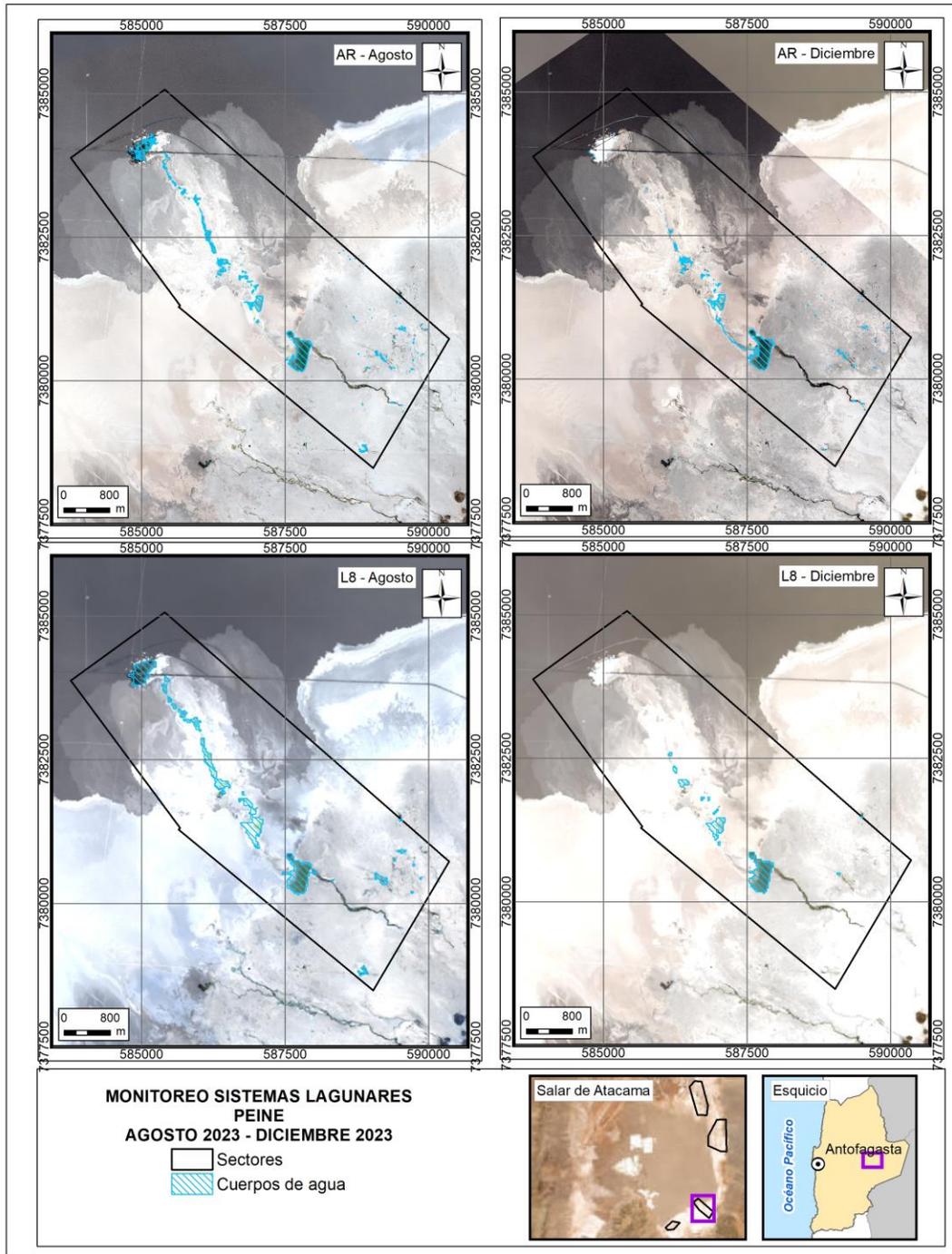
---

0,748<sup>35</sup> lo que indica una relación positiva moderada entre variables ( $r^2 = 0,560$ ); mientras que el valor  $p$  es de 0,001 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

---

<sup>35</sup> El valor del coeficiente de correlación puede variar de  $-1$  a  $+1$ . Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

**Figura N°11-11. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2023.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2023.

---

### 11.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua

Dentro del Plan de Seguimiento Biótico o Plan de Manejo Biótico (PMB), si bien no quedaron establecidos límites a considerar, la variable área de superficies lagunares es también parte del análisis de estado ecológico del sistema y también es parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), por lo que su análisis se realiza con una mirada integral.

Considerando lo indicado en la RCA N°21/2016, se señala que *“durante la fase de operación y cierre del proyecto la superficie cubierta por lagunas debe mantener sus límites sobre el mínimo histórico.*

## 12 NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS

El presente capítulo tiene como objetivo presentar el reporte del monitoreo del nivel freático, comprometido en el Plan de Manejo Biótico (PMB), correspondiente a 5 puntos de medición en pozos distribuidos en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava (3) y Peine (2). Dicho monitoreo se desarrolla con una frecuencia mensual, correspondiendo al presente informe un análisis detallado del **período de abril 2023 a marzo de 2024**.

La medición del nivel freático quedó comprometida dentro de la evaluación ambiental del Proyecto, en su Anexo 2 de la Adenda 5 (Cap. 4.2.7), como una de las 3 variables de estado definida a partir del Modelo Ecológico Funcional del Sistema, permitiendo de este modo observar en el tiempo el estado ecológico de los sistemas hídricos.

Como fue indicado, la medición de niveles piezométricos se realiza en 5 puntos ubicados en el entorno de los sistemas lagunares del Borde Sur del Salar de Atacama: 3 puntos en La Punta - La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16), y 2 en Peine (BA-21 y BA-22). Estos puntos de medición presentan códigos del tipo “BA-XX”, y corresponden a piezómetros someros, denominados “barrenos”, origen de su tipo de codificación. De este modo, los registros corresponden al nivel freático de las aguas subterráneas (o subsuperficiales) del entorno lagunar y no a la altura limnimétrica de las lagunas.

Previo al período asociado a este reporte (abril 2023 – marzo 2024), se produjo la activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) en el Sector Alerta Acuífero del seguimiento de variables hídricas PSAH, el día 31 de enero de 2023, en el punto BA-07, ubicado en el sistema lagunar La Punta – La Brava (al este de la laguna la Punta). Esto ocurrió posterior al registro de tres medidas consecutivas (en tres meses consecutivos) del nivel freático por debajo del umbral asociado al pozo en cuestión, siendo informado a la SMA a través de la carta Ref. **ALB-GMA-2023-SMA-007**, y que se encuentra en el **Anexo Cartas, Actas y Programaciones** del presente Informe. Por lo anterior, es que en el mes de abril de 2023 existen medidas con frecuencia quincenal, situación que también se replicó en el mes de mayo del mismo año.

Durante el mes de agosto 2023 no se pudo ingresar a realizar mediciones en los puntos del PAT, ya que la Comunidad Atacameña de Peine impidió desarrollar las actividades de monitoreo incluidas en los planes de seguimiento comprometidos en la RCA N°21/2021 del “Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación en el Salar de Atacama”. Lo anterior se encuentra respaldado en las cartas ALB-GMA-2023-SMA-043 y ALB-GMA-2023-SMA-048, fechadas los días 1 de septiembre de 2023 y 14 de septiembre de 2023 (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**). Por este motivo, se realizó una medición extraordinaria el día 05 de septiembre en los pozos BA-05, BA-07 y BA-16, cuyos datos fueron reportados a la SMA, motivo por el cual se cuenta con dos datos de nivel freático para aquel mes.

De manera posterior, entre octubre 2023 y febrero de 2024, los pozos del sector La Punta - La Brava (pozos BA-05, BA-07 y BA-16) fueron monitoreados con frecuencia quincenal, lo que estuvo asociado a la activación de la Fase 1 del PAT Núcleo y del PAT Sector Alerta Acuífero en este período. Cabe señalar que la medición con frecuencia quincenal asociada a esta última comenzó, de manera preventiva, antes de la activación del PAT, siendo informado de esto a la Autoridad el 1 de diciembre de 2023 y el 31 de enero de 2023, mediante las cartas **ALB-GMA-2023-SMA-066** y **ALB-GMA-2024-SMA-008**, respectivamente (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, desde noviembre de 2023 a marzo 2024 no se pudo ingresar a realizar las mediciones, ya que la Comunidad de Peine no autorizó el ingreso debido a la época de reproducción de flamencos. Lo anterior se encuentra respaldado mediante una carta enviada por la Comunidad Atacameña de Peine, fechada el 02 de noviembre de 2023 (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

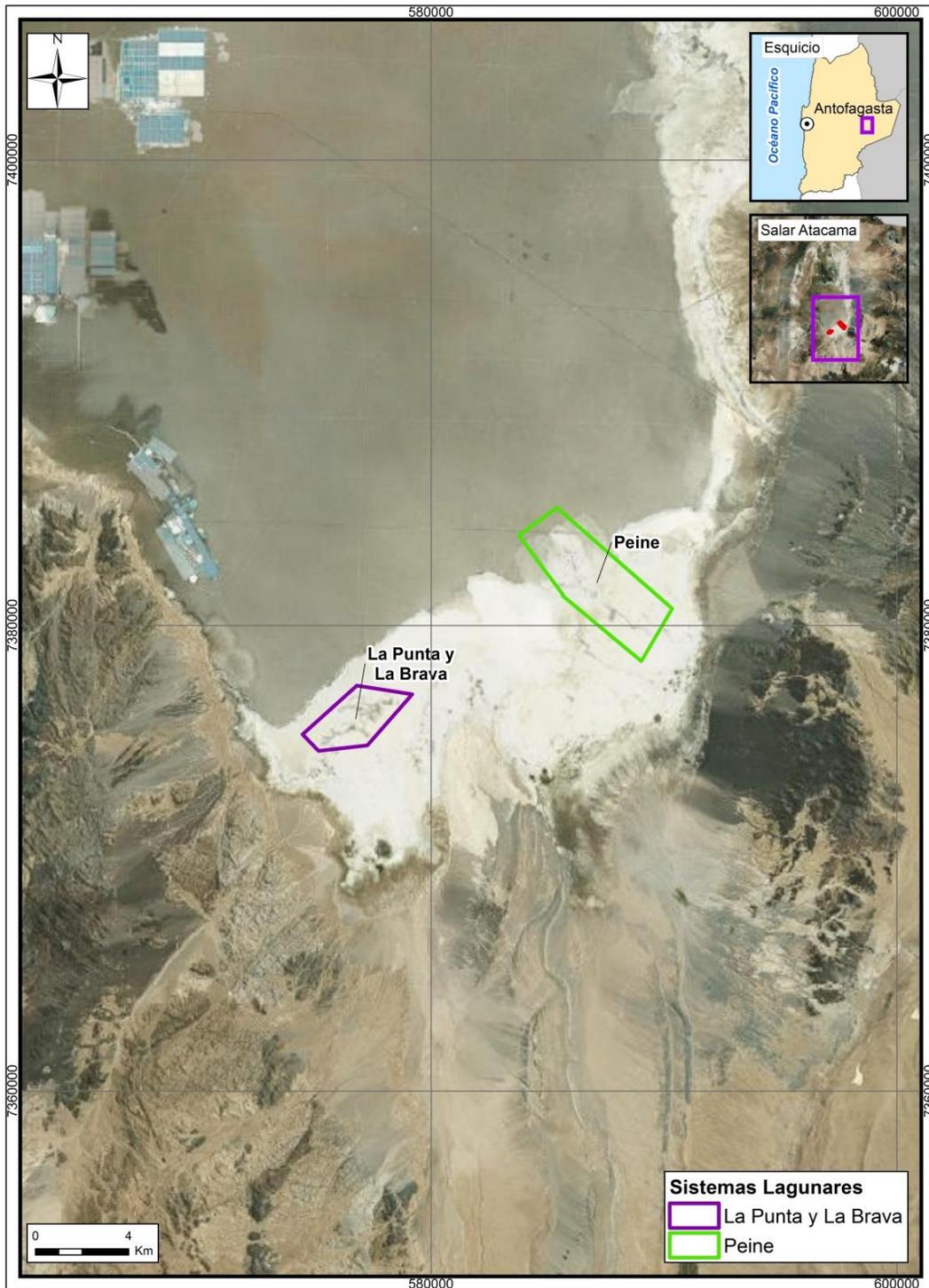
Es importante mencionar que el no contar con acceso a los sectores y puntos de monitoreo, limita el análisis, en particular de la variabilidad de los registros del período de verano. En el caso particular del Sector Peine, no se cuenta con información de este período desde el año 2021, lo cual implica un sesgo en el análisis debido a la falta de información, el que debe ser realizado con los registros obtenidos entre abril y septiembre de 2023.

## 12.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### 12.1.1 Área de Estudio

En la Figura N° 12-1, se presenta la zona de operación de Albemarle y los sectores identificados para el monitoreo del nivel freático en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava y Peine, en el contexto del seguimiento del PMB.

Figura N° 12-1: Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

### 12.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo.

En la Tabla N° 12-1 se presentan los puntos de medición para el seguimiento del nivel freático en el entorno de las lagunas de los dos sistemas monitoreados. La información que se especifica en esta tabla dice relación con la identificación de los puntos de monitoreo, sus coordenadas UTM en sistema WGS 84 y el Sistema Lagunar al que pertenecen.

En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas**, se presentan los registros históricos medidos en estos pozos, hasta marzo de 2024, incluyendo información de la profundidad del nivel freático, la cota piezométrica y la cota del collar.

**Tabla N° 12-1: Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas**

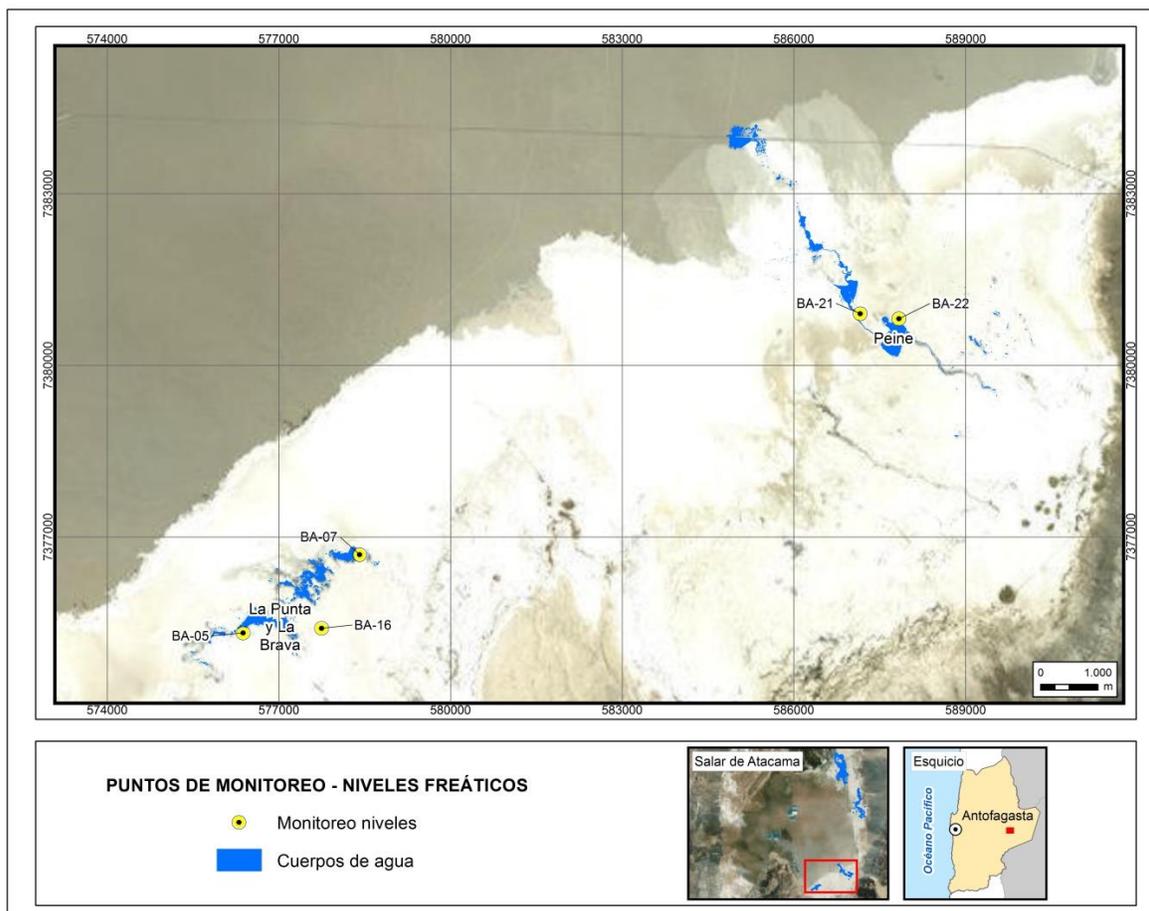
Punto	Coordenadas WGS 84 (HUSO 19S)		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta - La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta - La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta - La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine	2.301,393
BA-22	587.837	7.380.817	Peine	2.301,124

(\*): Cota collar es información de la cota de referencia del piezómetro, desde la cual se hace la medida, necesaria para determinar el nivel sobre la base de la medición del parámetro profundidad.

*Fuente: Coordenadas establecidas durante la evaluación ambiental, Tabla 4.2-4 y Tabla 4.2-5 del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto. Pozos construidos durante la evaluación ambiental. Se utiliza y presenta la misma información que en el PSAH Plan de seguimiento hídrico de Albemarle, para estos 5 puntos.*

En la Figura N° 12-2, se presenta la ubicación de los puntos antes mencionados, ubicados en el entorno de los Sistemas Lagunares.

**Figura N° 12-2: Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine**



Fuente: Elaboración propia.

### 12.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables

De acuerdo con las variables que deben ser medidas y que han sido identificadas en función de los compromisos del seguimiento ambiental biótico, en el caso de registrar y caracterizar los “**niveles freáticos**”, se mide la variable “profundidad” del agua subterránea en la zona de las lagunas.

### 12.1.4 Metodología de Muestreo, Medición y Análisis

En cada punto de monitoreo, se mide la profundidad del agua manualmente, utilizando un pozómetro. La medición se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro somero/barreno, que corresponde al collar del brocal del mismo (cota de referencia o cota collar). La profundidad del nivel del agua se mide tres veces, registrando solamente la tercera de ellas en la libreta de terreno, luego de verificar que entre cada medida no exista una diferencia mayor a 1 cm.

La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro, se obtiene restando la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

$$\text{Cota Nivel de agua (m s.n.m.)} = \text{Cota Collar (m s.n.m.)} - \text{profundidad (m)}$$

### 12.1.5 Materiales y Equipos utilizados

Para llevar a cabo las mediciones se utilizan los materiales y/o equipos indicados en la Tabla N° 12-2. En los pozos del sistema La Punta – La Brava, debido a que son puntos con umbrales para el PSAH de Albemarle, la medición en los puntos de nivel es realizada por una ETFA. En el caso de los 2 puntos PMB del Sector de Peine no se requiere<sup>36</sup> ETFA, ya que no tienen umbrales en el PSAH.

Desde octubre 2022, la medición en los puntos del sector La Punta-La Brava ha sido realizada por la ETFA (SGS), situación que se extendió hasta la campaña del 5 de septiembre de 2023. A partir del monitoreo realizado el 29 de septiembre de 2023 (y los monitoreos posteriores), en el mismo sector de la Punta La Brava, la medición fue realizada por ANAM.

Los equipos indicados para la medición corresponden a los utilizados por los laboratorios respectivos. De todos modos, Albemarle acompaña en la realización del monitoreo a la ETFA.

**Tabla N° 12-2: Materiales y Equipos**

Variable	Etapa				
	Medición	Muestreo	Análisis	Empresa	Periodo
Nivel freático en zona de Lagunas	Pozómetro marca Solinst Modelo 101 y/o marca Geotech.	No aplica	No aplica	SGS (Puntos LP LB)	Abril-septiembre (hasta la primera campaña del 05/09/23)
	Pozómetro marca Solinst			ANAM (Puntos LP LB)	Septiembre 2023-marzo2024 (desde la segunda campaña de septiembre, 29/09/23)

*Fuente: Elaboración Propia.*

<sup>36</sup> De acuerdo a Resolución SMA N°573/2022, Numeral "5. Excepción al sistema ETFA. 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."

### 12.1.6 Fechas de medición, muestreo y/o análisis.

El período informado en este documento corresponde a abril 2023 – marzo 2024 (ver Tabla N° 12-3). En este período se han desarrollado campañas de medición del nivel freático con frecuencia mensual. Al respecto, cabe señalar que debido a la activación del PAT Alerta Acuífero y de la Fase 1 del PAT del Sector Núcleo durante el período de análisis, hubo un aumento de la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas, la que fue quincenal en diferentes meses de dicho período.

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, sin perjuicio que se cumple con las medidas quincenales de nivel freático en los meses que corresponde, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones entre noviembre 2023 y marzo 2024. La no autorización del ingreso antes referida es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar, lo cual se encuentra respaldado mediante un correo electrónico enviado por el Encargado de la Unidad de Control Ambiental Peine, fechado el 02 de noviembre de 2023, el cual se adjunta en el **Anexo Cartas, Actas y Programaciones** de este Informe.

**Tabla N° 12-3: Fechas de Medición del Año**

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2023 Mayo 2023 Junio 2023 Julio 2023 Agosto 2023 <sup>1</sup> Septiembre 2023 Octubre 2023 Noviembre 2023 <sup>2</sup> Diciembre 2023 <sup>2</sup> Enero 2024 <sup>2</sup> Febrero 2024 <sup>2</sup> Marzo 2024 <sup>2</sup>

1: Sin datos registrados en ningún punto de ambos sectores campaña de agosto 2023, por no existir autorización de ingreso a zona de medición por parte de Comunidad Atacameña de Peine.

2: Sin datos en puntos de Sector de Peine, Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones entre noviembre 2023 y marzo 2024

Fuente: Elaboración Propia.

## 12.2 RESULTADOS

### 12.2.1 Resultados período abril 2023 a marzo 2024

En la presente sección se da cuenta de los resultados de la medición del nivel freático en los pozos pertenecientes al monitoreo del PMB, para el período abril 2023 – marzo 2024 (Tabla N° 12-4 y Tabla N° 12-5). En el Anexo Nivel Freático en Lagunas, se presentan las series históricas y actuales, de las profundidades y las cotas piezométricas medidas en los diferentes pozos.

Los valores de nivel de agua que a continuación se reportan, corresponden a los mismos registrados e informados en el Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH Informe Anual N°8), ya que son parte del Plan de Seguimiento Ambiental de Albemarle, PSAH y PMB.

**Tabla N° 12-4: Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava**

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-05	15-04-2023	0,933	2.300,152
BA-05	28-04-2023	0,923	2.300,162
BA-05	15-05-2023	0,914	2.300,171
BA-05	31-05-2023	0,906	2.300,179
BA-05	30-06-2023	0,884	2.300,201
BA-05	31-07-2023	0,881	2.300,204
BA-05	31-08-2023	* Sin dato registrado. <sup>1</sup>	
BA-05	05-09-2023	0,898	2.300,187
BA-05	29-09-2023	0,913	2.300,172
BA-05	13-10-2023	0,926	2.300,159
BA-05	31-10-2023	0,935	2.300,150
BA-05	15-11-2023	0,943	2.300,142
BA-05	30-11-2023	0,953	2.300,132
BA-05	15-12-2023	0,972	2.300,113
BA-05	29-12-2023	0,986	2.300,099
BA-05	15-01-2024	0,991	2.300,094
BA-05	31-01-2024	0,994	2.300,091
BA-05	15-02-2024	0,980	2.300,105
BA-05	29-02-2024	0,981	2.300,104
BA-05	29-03-2024	0,960	2.300,125
BA-07	15-04-2023	0,921	2.299,960
BA-07	28-04-2023	0,909	2.299,972
BA-07	15-05-2023	0,900	2.299,981
BA-07	31-05-2023	0,890	2.299,991
BA-07	30-06-2023	0,866	2.300,015
BA-07	31-07-2023	0,860	2.300,021
BA-07	31-08-2023	* Sin dato registrado. <sup>1</sup>	

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-07	05-09-2023	0,880	2.300,001
BA-07	29-09-2023	0,890	2.299,991
BA-07	13-10-2023	0,908	2.299,973
BA-07	31-10-2023	0,926	2.299,955
BA-07	15-11-2023	0,929	2.299,952
BA-07	30-11-2023	0,941	2.299,940
BA-07	15-12-2023	0,954	2.299,927
BA-07	29-12-2023	0,968	2.299,913
BA-07	15-01-2024	0,973	2.299,908
BA-07	31-01-2024	0,972	2.299,909
BA-07	15-02-2024	0,964	2.299,917
BA-07	29-02-2024	0,968	2.299,913
BA-07	29-03-2024	0,956	2.299,925
BA-16	15-04-2023	0,924	2.300,853
BA-16	28-04-2023	0,917	2.300,860
BA-16	15-05-2023	0,908	2.300,869
BA-16	31-05-2023	0,900	2.300,877
BA-16	30-06-2023	0,883	2.300,894
BA-16	31-07-2023	0,881	2.300,896
BA-16	31-08-2023	* Sin dato registrado.	
BA-16	05-09-2023	0,896	2.300,881
BA-16	29-09-2023	0,900	2.300,877
BA-16	13-10-2023	0,916	2.300,861
BA-16	31-10-2023	0,926	2.300,851
BA-16	15-11-2023	0,929	2.300,848
BA-16	30-11-2023	0,936	2.300,841
BA-16	15-12-2023	0,943	2.300,834
BA-16	29-12-2023	0,951	2.300,826
BA-16	15-01-2024	0,951	2.300,826
BA-16	31-01-2024	0,951	2.300,826
BA-16	15-02-2024	0,936	2.300,841
BA-16	29-02-2024	0,941	2.300,836
BA-16	29-03-2024	0,935	2.300,842

1: Sin datos registrados en campaña de agosto 2023, por no existir autorización de ingreso a zona de medición por parte de Comunidad Atacameña de Peine..

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 12-5: Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine**

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-21	15-04-2023	1,315	2.300,078
BA-21	28-04-2023	1,312	2.300,081
BA-21	15-05-2023	1,315	2.300,078

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-21	31-05-2023	1,315	2.300,078
BA-21	30-06-2023	1,319	2.300,074
BA-21	31-07-2023	1,321	2.300,072
BA-21	31-08-2023	* Sin dato registrado.	
BA-21	29-09-2023	1,315	2.300,078
BA-21	13-10-2023	1,326	2.300,067
BA-21	31-10-2023	1,327	2.300,066
BA-21	15-11-2023	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos. <sup>2</sup>	
BA-21	29-11-2023		
BA-21	15-12-2023		
BA-21	29-12-2023		
BA-21	15-01-2024		
BA-21	31-01-2024		
BA-21	15-02-2024		
BA-21	29-02-2024		
BA-21	29-03-2024		
BA-22	15-04-2023	0,839	2.300,285
BA-22	28-04-2023	0,839	2.300,285
BA-22	15-05-2023	0,835	2.300,289
BA-22	31-05-2023	0,830	2.300,294
BA-22	30-06-2023	0,825	2.300,299
BA-22	31-07-2023	0,824	2.300,300
BA-22	31-08-2023	* Sin dato registrado.	
BA-22	29-09-2023	0,825	2.300,299
BA-22	13-10-2023	0,839	2.300,285
BA-22	31-10-2023	0,840	2.300,284
BA-22	15-11-2023	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos. <sup>2</sup>	
BA-22	29-11-2023		
BA-22	15-12-2023		
BA-22	29-12-2023		
BA-22	15-01-2024		
BA-22	31-01-2024		
BA-22	15-02-2024		
BA-22	29-02-2024		
BA-22	29-03-2024		

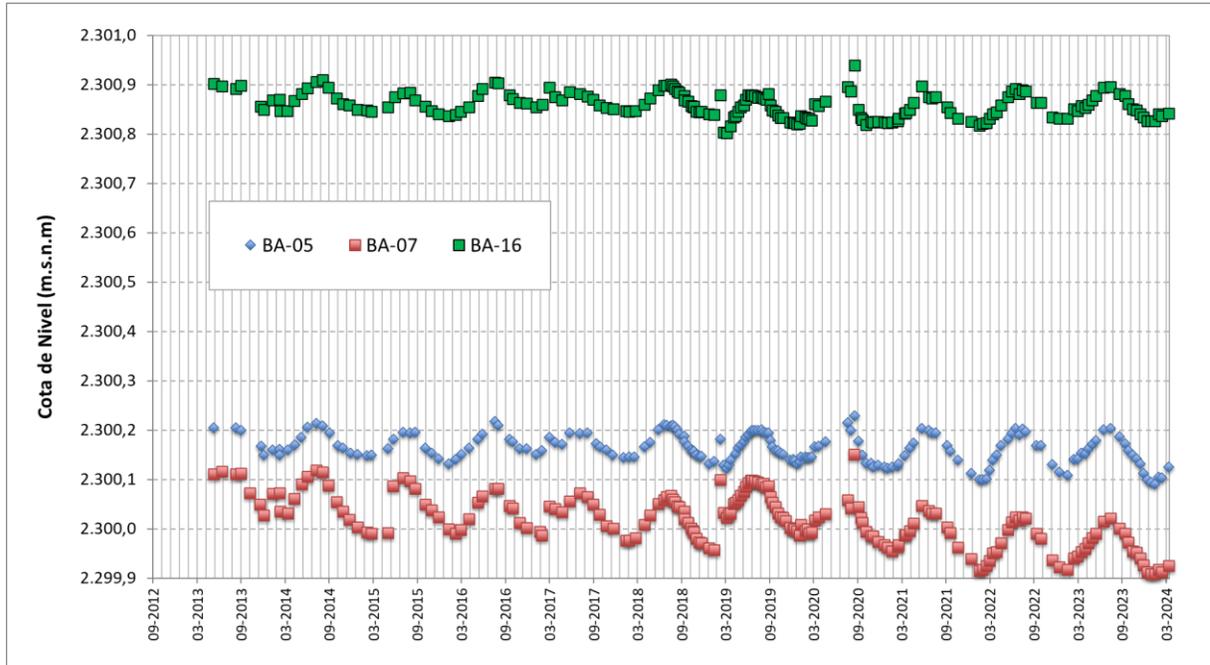
1: Sin datos registrados en campaña de agosto 2023, por no existir autorización de ingreso a zona de medición por parte de Comunidad Atacameña de Peine..

2: Cierre de acceso a Sistema Lagunar Peine Informado por Comunidad de Peine por medio de correo electrónico el día 02 de noviembre de 2023 (ver **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

Fuente: Elaboración propia.

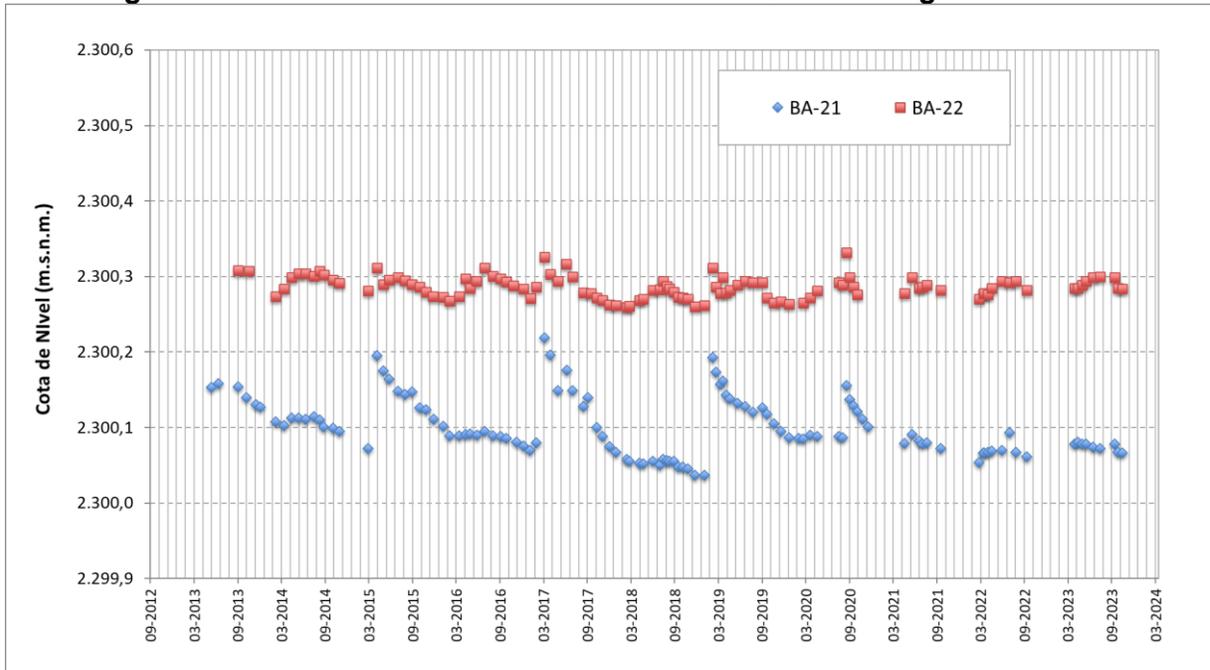
En la Figura N° 12-3 y Figura N° 12-4 se presenta gráficamente la variación temporal del nivel de los diferentes pozos evaluados, desde el año 2013 a la fecha. El análisis de la evolución temporal de cada uno de ellos se realiza en el capítulo de Discusión.

**Figura N° 12-3: Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar La Punta – La Brava**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 12-4: Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar Peine**



Fuente: Elaboración propia.

### 12.2.2 Límites considerados en la evaluación

En el caso de la variable “niveles freáticos”, medidos a través de la variable “profundidad” del agua subterránea en la zona de las lagunas, de acuerdo a lo indicado en Numeral 4.2.7 del Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del Proyecto, los límites considerados para los niveles freáticos se enmarcan dentro de los “criterios para el análisis de estado ecológico”, lo cual se analiza en capítulo de AEE de este informe. Además, esta variable también forma parte del seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), por lo que su análisis se realiza con una mirada integral.

Para el análisis, cabe señalar lo indicado en la RCA N°21/2016, en el Considerando N°7, en cuanto a los niveles o límites comprometidos, en la que se señala para esta variable “mantener niveles dentro de los rangos de oscilación natural”.

## 13 DISCUSIÓN

### 13.1 En relación con Flora y Vegetación

#### 13.1.1 Análisis Vegetación (COT)

##### 13.1.1.1 Evolución respecto a valores históricos

En términos generales, al realizar una comparación entre los monitoreos del seguimiento (PMB) y éstos con la línea de base (2015), es necesario indicar que el uso de una escala menor en el PMB desde el primer monitoreo (M1) hasta el actual (M16), implicó un mayor detalle en la delimitación de las formaciones vegetales y en la aplicación de la metodología COT, lo que disminuyó la incertidumbre respecto de la vegetación contenida en áreas señaladas como desprovistas de vegetación y sin clasificación o misceláneas, clasificando con mayor detalle áreas industriales o cuerpos de agua.

En suma, se describen con mayor especificidad las especies acompañantes en la formación vegetal, lo que incorpora la variable de composición vegetal y su cobertura a los criterios de seguimiento, transformándose en las variables jerárquicas de comparación intra e interanual de la COT. Así, la cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido, y los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales mixtos azonales y Vegas. Ver detalle de las formaciones y resultados de la evolución en la **Tabla N° 13-1**.

**Tabla N° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por monitoreo**

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT		N° FORMACIONES VEGETALES POR TIPO DE FORMACIÓN				TOTAL	
		Matorral (zonal)	Humedal	Herbazal / Vega	Matorral / Matorral mixtos azonales		
<b>Línea Base (2015)</b>		14	1	18	-	33	
<b>Monitoreo</b>	Anual 1	Invierno 2016 (M1)	3	-	6	3	12
		Verano 2017 (M2)	8	-	10	13	31
	Anual 2	Invierno 2017 (M3)	9	-	10	14	33
		Verano 2018 (M4)	8	-	10	15	33
	Anual 3	Invierno 2018 (M5)	8	-	10	16	34
		Verano 2019 (M6)	8	-	10	16	34
	Anual 4	Invierno 2019 (M7)	8	-	10	16	34
Anual 5	Invierno 2020 (M9)	8	-	10	15	33	
	Verano 2021 (M10))	8	-	10	14	32	
Anual 6	Verano 2022 (M12)	8	-	14	15	37	
Anual 7	Invierno 2022 (M13)	8	-	14	15	37	
	Verano 2023 (M14)	8	-	15	16	39	

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT	N° FORMACIONES VEGETALES POR TIPO DE FORMACIÓN				
	Matorral (zonal)	Humedal	Herbazal / Vega	Matorral / Matorral mixtos azonales	TOTAL
Anual 8 Invierno 2023 (M15)	8	-	14	14	36
Verano 2024 (M16)	8	-	14	13	35

\***Monitoreo verano 2020 (M8)** no se realizó producto de las condiciones excepcionales establecidas durante ese año en el marco de la Pandemia Covid-19; **Monitoreo invierno 2021 (M11)** no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla N° 13-2** describe la superficie relativa del tipo de vegetación desde la línea de base en relación con los monitoreos de invierno y verano realizados hasta la fecha, ya que la fisionomía observada en el presente monitoreo se ajusta comparativamente a los muestreos indicados. El promedio de variación general es de un 6,2%, valor que señala una descripción congruente con las observaciones de terreno, con la escala de detalle en la aplicación de la metodología en cada campaña y con el producto esperado que es una carta o mapa de ocupación de tierras.

**Tabla N° 13-2. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de verano de 2024**

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT		SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)			
		Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal	
<b>Línea Base (2015)</b>		78,3%	17,8%	3,9%	
<b>Monitoreo</b>	Anual 1 Invierno 2016 (M1)	78,0%	14,9%	7,1%	
	Verano 2017 (M2)	78,0%	10,0%	12,0%	
	Anual 2 Invierno 2017 (M3)	78,0%	9,5%	12,5%	
	Verano 2018 (M4)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Anual 3 Invierno 2018 (M5)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Verano 2019 (M6)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Anual 4 Invierno 2019 (M7)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Anual 5 Invierno 2020 (M9)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Verano 2021 (M10)	78,1%	8,4%	13,4%	
	Anual 6 Verano 2022 (M12)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Anual 7 Invierno 2022 (M13)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Verano 2023 (M14)	78,1%	8,7%	13,2%	
	Anual 8 Invierno 2023 (M15)	78,1%	9,1%	12,8%	
	Verano 2024 (M16)	78,1%	8,7%	13,2%	
	<b>Rango variación</b>		<b>0,20%</b>	<b>9,10%</b>	<b>9,30%</b>

\***Monitoreo verano 2020 (M8)** no se realizó producto de las condiciones excepcionales establecidas durante ese año en el marco de la Pandemia Covid-19; **Monitoreo invierno 2021 (M11)** no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor variación corresponde al tipo “vegetación azonal”, 9,1% más en seguimiento respecto a la línea de base del EIA del Proyecto, sin embargo, entre los monitoreos de

invierno 2017 a verano 2024 donde se han monitoreado una cantidad de puntos equivalentes luego de la calibración de escala realizada el primer año de monitoreo (invierno 2016), no se observan variaciones importantes para los distintos tipos de recubrimiento y tampoco se observan cambios que indiquen una variación estacional, entre los inviernos y veranos.

Al comparar el último año de monitoreo (Anual 8), se observa una leve variación en el número de formaciones vegetales, disminuyendo en el verano de 2024 una formación de matorral mixto azonal respecto al monitoreo anterior (invierno 2023), y en general disminuyendo el número de formaciones en invierno y verano del monitoreo anual 8 respecto al año anterior, ver **Tabla N° 13-1**. Al comparar las superficies por tipo de formación se observa una mínima variación entre invierno 2023 y verano 2024 en la vegetación zonal y azonal, no obstante, en el último monitoreo de verano se registran las mismas superficies del año anterior (**Tabla N° 13-2**). Por su parte, al comparar la superficie por formación vegetal entre ambas estaciones se presentan algunos cambios menores, principalmente en el sector de Tilopozo (ver detalle en **Anexo I de Vegetación y Flora, Tabla N°1-1**), lo que valida una mantención en la representatividad (superficies) en el tipo de vegetación presente en los sectores de estudio.

En síntesis, estos valores muestran una consistencia de la herramienta descriptiva de seguimiento de la vegetación, observada principalmente en los tipos de recubrimiento de suelo registrados en el área de estudio, ya que los principales cambios han sido producto de ajustes cartográficos y de mejoras sobre la descripción de los tipos de formaciones vegetales en relación con la composición de las especies dominantes.

Haciendo referencia a este tipo de cambios, a continuación, se presentan las principales variaciones que ha tenido la COT en los sectores de estudio<sup>37</sup>:

- En el sector de Tilopozo, se presentan algunas diferencias de superficie por formación vegetal al cambiar la composición que define la formación, además de algunos ajustes de límites<sup>6</sup>, a raíz de la mejora continua sobre las unidades

<sup>37</sup> Cabe recordar que los *ajustes cartográficos* corresponden a ajustes espaciales de la COT por diversas razones, pudiendo reconocer tres grandes hitos para la identificación de los principales cambios;

- a) Principalmente, los primeros ajustes fueron realizados en el monitoreo de verano 2017 (M2) dada la necesidad de una actualización en las denominaciones de las formaciones vegetales en términos de la dominancia de las especies y también por el ajuste y afinación de la COT.
- b) Posteriormente, los ajustes espaciales son menores en cada monitoreo, sin embargo siempre se dan algunos cambios en algunas unidades cartográficas (polígonos) en la denominación de las formaciones por los cambios estacionales de algunas especies dominantes o bien al ajustar algunos límites de cada polígono, ya sea por afinación con la imagen satelital (ej. lo que ocurre para delimitar lagunas si se observan cambios estacionales) o bien, por ajuste cartográfico observado en terreno o con la imagen satelital (como es el caso de los cambios observados en Tilopozo en las formaciones de las transectas T19 y T29), o en el caso de formaciones afectadas por incendios donde se han detectado cambios temporales a menor escala de tiempo.
- c) Adicionalmente, recordar que para el verano 2022 (M12) se realizaron puntos nuevos de validación COT en zonas no visitadas anteriormente, resultando en la mayoría de los casos una actualización de la información COT en dichos polígonos, en términos de límites de la unidad y de la denominación de la formación, y fueron acogidos y actualizados como parte del robustecimiento de la cartografía de vegetación COT en el área de estudio.

cartográficas. Entre las variaciones observadas durante el año, se presenta un cambio en 123,1 ha de matorral de *Tessaria absinthioides* y 196,3 ha de vega de *D. spicata* registradas en invierno 2023 que cambian a matorral-vega de *T. absinthioides* con *D. spicata* en verano 2024, debido al aumento de cobertura de las especies que hacen describir la formación según su dominancia (ver detalle en **Anexo I de Vegetación y Flora, Tabla N°1-1**). Algo similar ocurre con la formación de matorral hídrico-vega de *Lycium humile* con *Juncus balticus* y *D. spicata*, donde 58,5 ha de esta formación registrada en invierno 2023 pasan a vega de *J. balticus* en verano 2024 por el registro de menor cobertura de la especie *L. humile*, y también ocurre un cambio en una formación de vega de *D. spicata*, donde 0,5 ha se describen como áreas desprovistas de vegetación (salar) en verano 2024 por el ajuste de límites en la unidad, en este caso también por afinación de límites en una unidad de escasa cobertura vegetal que limita con el salar. Otras variaciones en la denominación de las formaciones vegetales son 8,0 ha que en verano 2024 se denominan vega de *S. californicus* y en campaña anterior de invierno se había descrito como vega de *S. californicus* con *D. spicata*, por cambios en las coberturas de las especies dominantes que definen a la formación.

Recordar que las variaciones durante todo el seguimiento en el sector Tilopozo han sido sobre ajustes de límites y cambios en coberturas de algunas especies dominantes que reconfiguran la denominación de éstas. En el Informe Anual N°7 se presentaron unas imágenes con este detalle para ejemplificar una de las principales variaciones ocurridas en la zona donde se monitorean los herbazales de *S. californicus* (T19 y T29) y sus alrededores (matorrales de *T. absinthioides*).

- En cuanto al sector La Punta y La Brava, no se observan variaciones entre invierno 2023 y verano 2024, y menos variaciones al considerar todo el seguimiento. En el Informe Anual N°7 se había mostrado y explicado algunas de las principales variaciones del sector, donde la principal variación entre monitoreos correspondía a la reconfiguración del nombre de las formaciones vegetales, pero manteniendo en general casi los mismos límites y superficies.
- El sector Peine solo presenta un cambio entre ambos monitoreos del presente año de seguimiento, registrando en invierno 2023 la formación Matorral hídrico - Vega de *L. humile*, *D. spicata* y *B. juncea*, cambiando el nombre de la formación en verano 2024 a Matorral hídrico - Vega de *L. humile* y *D. spicata*. Entre las variaciones históricas del seguimiento en el sector, se presentan, igualmente, variaciones de superficie por cambios en la composición de las formaciones vegetales, donde en el Informe Anual N°7 se muestran gráficamente algunos casos de variaciones en el tiempo, destacando el principal cambio en una unidad descrita en el monitoreo inicial MB0 como vega de *S. californicus* (33,6 ha) que después de actualizar la COT este gran polígono se disgregó en varias unidades y formaciones vegetales: vega de *D. spicata*, vega de *S. californicus* con *B. juncea*, vega de *S. californicus* con *B. juncea* y *D. spicata* y matorral hídrico-vega de *S. fruticosa* y *D. spicata*.

- El sector Aguas de Quelana presenta igualmente una variación en la denominación de una formación mixta, registrándose 19,3 ha en invierno 2023 como Matorral hídrico-vega de *S. fruticosa* con *Nitrophila atacamensis* y en verano 2024 se describe la misma superficie como Matorral hídrico de *S. fruticosa*, por la disminución de cobertura de la especie *N. atacamensis*. Respecto a cambios históricos de la COT durante todo el seguimiento en este sector, también se observan algunas variaciones menores, en relación a ajustes de límites cartográficos y en la reconfiguración del tipo de formación vegetal, presentándose en Informe Anual N°7 un análisis gráfico, que muestra el cambio más recurrente, donde se distinguían dos tipos de formaciones vegetales (matorral hídrico-vega y matorral hídrico) en el verano de 2017 (M2) las cuales cambiaron a un único tipo de formación desde el verano 2021 (M10), manteniéndose esta tipología hasta el último periodo del Anual N°7 (invierno 2022 y verano 2023).
- En cuanto al sector Soncor, la única variación registrada en la COT hasta el año anterior ocurría en el verano 2022 (M12), donde se ajustan algunos límites de cuerpos de agua cambiando de esta forma la superficie de áreas desprovistas de vegetación (salar) y cuerpos de agua (presentado en mayor detalle en el Informe Anual N°7). En el periodo actual, ocurre un cambio similar, donde 6,0 ha de salar (áreas desprovistas de vegetación) descritas en invierno 2023 pasan a cuerpos de agua en verano 2024 y, al contrario, 18,4 ha de cuerpos de agua descritos en invierno 2023 pasan a áreas de salar en verano 2024, debido al ajuste de límites cartográficos en áreas de lagunas, al revisar la actualización de la imagen satelital del periodo actual.

### 13.1.2 Análisis Flora y Vegetación (Transectas)

La vegetación del área de estudio es característica de sistemas azonales, dependientes de un suministro hídrico temporal o constante, con vegetación característica de humedales andinos y/o formaciones vegetales resistentes a una alta salinidad con especies de carácter halófito.

En el presente acápite se realiza el análisis comparativo del monitoreo de invierno (M15) y monitoreo de verano (M16) con los otros monitoreos previos del seguimiento 2016-2023: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M12, M13 y M14.

Los datos de las coberturas se presentan para todos los monitoreos en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta y Figura N° 1-1 a 1-6**: M1 (invierno 2016), M2 (verano 2017), M3 (invierno 2017), M4 (verano 2018), M5 (invierno 2018), M6 (verano 2019), M7 (invierno 2019), M9 (invierno 2020), M10 (verano 2021), M12 (verano 2022), M13 (invierno 2022), M14 (verano 2023), M15 (invierno 2023) y M16 (verano 2024), incluyendo el MB0 (monitoreo inicial).

Cabe recordar que la campaña de monitoreo de verano 2020 (M8) no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19 y el monitoreo de invierno 2021 (M11) tampoco se realizó por restricciones de acceso al área de estudio a causa de movilizaciones en la zona. Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, cabe recordar que los monitoreos correspondientes a este Informe Anual N°8 se realizaron con algunos inconvenientes a causa de los permisos que otorga la comunidad de Peine al área de estudio, por lo que el muestreo para ambos periodos fue particionado en dos campañas cada uno y realizados en fechas estacionalmente tardías; invierno 2023 en agosto y noviembre 2023, recogiendo la mayor parte de la información en un invierno tardío y, el monitoreo de verano 2024 en abril y mayo 2024, donde la mayor información se levantó en un verano post-lluvia tardío.

Las seis formaciones vegetales estudiadas en este monitoreo corresponden a:

1. herbazales de *Schoenoplectus californicus*,
2. herbazales de *Juncus balticus*,
3. herbazales de *Distichlis spicata*,
4. herbazales de *Triglochin concinna*,
5. matorrales de *Sarcocornia fruticosa* y
6. matorrales de *Tessaria absinthioides*.

### ***Evolución respecto de valores históricos***

En la presente sección se analizan los resultados obtenidos en transectas a lo largo del seguimiento ambiental, con respecto a valores de referencia. Como ha sido mencionado, es importante considerar que los datos de la línea de base del proyecto, levantada en los meses de abril y julio del año 2014 (en su proceso de evaluación EIA), no son comparables con los datos levantados durante el periodo de seguimiento ambiental (MB1 a M16) ya que, como fue comprometido en el marco de la evaluación ambiental, la ubicación definitiva de las transectas de seguimiento se haría en conjunto con el SAG, quedando definidas así las 31 transectas que hoy son monitoreadas, no siendo coincidentes en ubicación con las indicadas previamente. En la **sección 1.6 del Anexo I Vegetación y Flora** se presentan tablas por formación vegetal, con los valores históricos de abril y julio de 2014 (línea de base), junto a los puntos de transectas más cercanos que pudieran ser comparados en relación a la ubicación de éstos, dando cuenta con ello que ambos grupos de datos no son directamente comparables.

Por las razones expuestas, en el siguiente análisis, se comparan las coberturas de los monitoreos realizados en el primer año de seguimiento (M1 y M2), el segundo año de seguimiento (M3 y M4), el tercer año de seguimiento (M5 y M6), el cuarto año de seguimiento que solo se presenta el monitoreo de invierno (M7), el quinto año de seguimiento (M9 y M10), el sexto año que presenta solo el monitoreo de verano (M12), el séptimo año de seguimiento (M13 y M14) y este octavo año con los monitoreos de invierno (M15) y verano (M16), en referencia al Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0),

monitoreo considerado como condición inicial en la etapa preoperacional del proyecto. Esta comparación, considera un análisis interanual, entre monitoreos de verano (M2-M4-M6-M10-M12-M14-M16) e invierno (M1-M3-M5-M7-M9-M13-M15), además de ver la variación o evolución histórica de estos monitoreos con la condición inicial (MB0, de invierno) como valor de referencia, agregando para el caso de los veranos, al monitoreo M2 como valor de verano, considerando que MB0 fue levantado en invierno.

Un primer análisis se puede observar a través de la evolución de las coberturas promedio por sector y la composición de especies, **Figura N° 13-1**, ver detalle de valores en **Anexo I Flora y Vegetación, Tabla N°1-2**. En términos generales, para la **cobertura vegetal promedio** entre sectores se observa lo siguiente (**Figura N° 13-1**):

- **El sector Peine** corresponde al área con mayor cobertura vegetal promedio con algunas variaciones entre campañas. Se observan disminuciones y alzas con rangos similares hasta M14 (un mínimo de 62,5% en M1 y en verano 2018-M4 y un máximo de 77,9% en verano 2017-M2), ya que en el último año se observa una disminución mayor en invierno 2023 (46,4% en M15), aumentando en el último monitoreo de verano 2024 (58,4% en M16). En general, la cobertura vegetal promedio del sector se observa estable en su evolución en los primeros 7 años, evidenciando una disminución en este último periodo (M15 y M16), asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (en transectas T02 y T04). Sin embargo, debe observarse en mayor detalle estos resultados con próximos monitoreos, ya que hay que recordar que este último año el levantamiento tuvo inconvenientes, con registros en estaciones tardías (noviembre y mayo, respectivamente).
- El sector **Tilopozo** también presenta variaciones entre monitoreos, aunque marcados hacia el último periodo de seguimiento. Desde MB0 (invierno 2016) a M5 (invierno 2018) se presenta un rango estable de cobertura vegetal promedio, entre un mínimo de 33,8% en verano 2017 (M2) a un máximo de 39,9% en MB0. Luego, en verano 2019 (M6) se registra una baja moderada a 30,6%, recuperándose en el invierno siguiente (M7; 35,7%). No obstante, desde el invierno 2019 (M9; 31,4%) se registra un descenso paulatino hasta el último año, con un mínimo registrado en invierno 2022 (M13; 13,2%) recuperándose levemente en el último verano (M14; 17,9%) y manteniéndose estable en M15 y M16 (15,8% y 16,7%, respectivamente). Esta disminución está asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29), que en el último año T19 mostró una recuperación parcial, pero aún con valores bajos respecto a los primeros años.
- En el sector **La Punta y La Brava** se observan variaciones leves de cobertura en los primeros monitoreos (39,1% en MB0-M1) y con tendencia a la baja desde el verano 2017 (27,8% en M2), aunque con algunas fluctuaciones entre monitoreos. De un 24% aproximadamente en los monitoreos del año 5 (M9 y M10), se registra

un mayor descenso en el verano 2022 (M12; 17,9%), aumentando levemente en el año 7 con un 21% en ambas estaciones (M13 y M14). Cabe destacar que en este último año se observa un mayor descenso en M15, pero la cobertura de este invierno 2023 es solo referencial ya que no se pudo levantar información en dos transectas del sector (T11 y T12) y en verano 2024, igualmente se observa una menor cobertura promedio respecto al año anterior (18,4% en M16), aunque debe considerarse que el levantamiento de estos datos fue en un verano post-lluvia tardío (mayo 2024), pudiendo influir en la cobertura vegetal debido a la disminución de la actividad biológica en esta fecha.

- Para el sector **Aguas de Quelana**, se observa una leve variación de la cobertura vegetal en los primeros monitoreos, con 40,5% en MB0, bajando hasta 30,6% en el verano 2018 (M4), aunque con un aumento leve en invierno 2018 (M5; 33,5%), y en invierno 2019 (M7; 35,0%) y verano 2021 (M10; 32,3%) con registros similares. En los últimos veranos se registra igualmente un descenso con un 29,9% en M12 (2022), 26,5% en M14 (2023) y 26,3% en M16 (2024). No obstante, cabe señalar que faltan los registros de los veranos M6 y M8 y de los inviernos M9, M11 y M13, lo que dificulta el análisis de una posible tendencia al descenso, sobre todo porque los datos indicarían que la mayor cobertura en este sector se registraría en las estaciones de invierno, y en el caso del último invierno 2023 (M15) se observa la menor cobertura promedio registrada durante el seguimiento (23,9%). Cabe mencionar, que para este sector el levantamiento de los datos de este año N°8 sí corresponden a las estaciones correspondientes (agosto para invierno y abril para verano post-lluvia).
- El sector **Soncor** no tiene registros; además en este sector no se presenta vegetación o elementos de flora aislados que se pudieran monitorear en el tiempo, ya que se trata de un área completamente cubierta por costra salina.

En relación con la **vegetación muerta o rastrojos**, se detectan en general, aumentos de la cobertura promedio desde MB0 en todos los sectores, destacando una disminución generalizada en el verano 2021 (M10), que vuelve a aumentar en el verano siguiente (M12) en todos los sectores, manteniéndose en aumento en el último año para los sectores Peine y Tilopozo, con una leve disminución para el caso de Peine en el último monitoreo de verano (M16) después del mayor registro en invierno 2023. En el caso de La Punta y La Brava y Aguas de Quelana se mantienen estables en el último periodo (**Figura N° 13-1**).

Por su parte, el aumento de rastrojo en Tilopozo y Peine en el último periodo está asociado al deterioro observado en herbazales de *S. californicus*, en las transectas T19 y T29 en el caso de Tilopozo y en las transectas T02 y T04 principalmente en sector Peine. Cabe recordar, que esta formación ha presentado una dinámica de mayor variación en el tiempo, donde se hacen presente diversos factores como la actividad biológica natural que genera menor vigor en la cobertura en los inviernos, los registros de quemadas controladas durante el periodo de seguimiento (2018 en Tilopozo y Peine), además de una alteración puntual

en el último periodo por el pisoteo y pastoreo con la introducción del ganado en la zona donde están ubicadas las transectas T19 y T29 en Tilopozo.

La **riqueza registrada por sector se mantiene estable en el tiempo**, indica algunas diferencias leves entre monitoreos (**Figura N° 13-1**). En el sector **Peine** destaca el aumento de cinco (M5) a ocho especies en el verano de 2019 (M6), en un matorral de *T. absinthioides*. En el caso de **Tilopozo** se observa menor variación en la riqueza, entre seis y siete especies generalmente, destacando un aumento a ocho especies en el verano 2021 (M10) y una disminución a cinco especies en el último verano 2024 (M16). Los sectores **La Punta y La Brava** y **Aguas de Quelana** presentan diferencias menores, destacando el aumento de una especie en M4, el registro de cinco especies entre M9 y M14, aumentando a seis especies en el último verano (M16) en La Punta y La Brava, mientras que Aguas de Quelana presenta la misma riqueza desde M1 a M12 (cuatro especies), disminuyendo a tres especies en los últimos veranos (M14 y M16), recordando que las diferencias detectadas se han visto por aumento o disminución de especies acompañantes, con muy baja cobertura vegetal y no en la composición de las especies dominantes. En el caso del menor registro en invierno 2023 (cuatro especies en M15) en La Punta y La Brava, debe considerarse que es un valor referencial ya que como se ha señalado, solo se muestrearon dos de las cuatro transectas del sector.

Cabe destacar que el aumento de riqueza más importante ocurrido en el sector Peine (tres especies), se trata de un registro puntual en una transecta de matorral de *T. absinthioides* en M6 (T07), y que probablemente la regeneración y aparición espontánea de estos elementos florísticos nuevos en la formación fue asociado al evento de mayor precipitación ocurrido en el verano de 2019, de los cuales solo la especie *Atriplex atacamensis* se mantuvo hasta M7, desapareciendo en monitoreos posteriores (**Anexo I Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta y Tabla N°1-3**). El matorral donde se registraron estas especies es de características más zonales, con una superficie de suelos mayoritariamente terrosos en la zona más sur del área de estudio del Salar, zona donde a nivel general se observó mayor aparición de una cobertura de especies herbáceas producto de las lluvias estivales.

En cuanto a la **cobertura de otros recubrimientos**, existen distintas variaciones multitemporales entre los sectores de estudio. El sector **Peine** encabeza las diferencias, presentando un aumento inicial en la cobertura hasta M2 con 71,6% y luego una leve baja hasta M4 con 59,6%, desde donde se observa un aumento hasta llegar a 63,2% en M6, volviendo a disminuir en M7 y M9 con 55% y 57% respectivamente, aunque en M10 aumenta a 68,4% manteniendo una cobertura similar entre M12 (71,4%) y M14 (70,6%) y un descenso en M16 (46,0%). Por su parte, los sectores **Tilopozo, La Punta y La Brava** y **Aguas de Quelana**, presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable, con leves variaciones para el caso del último año en Tilopozo con una disminución en M15 y M16 y un aumento en M15 en La Punta y La Brava (aunque cabe recordar que las coberturas para este sector son referenciales en este monitoreo por la falta de datos), ver **Figura N° 13-1**.

En términos específicos, cabe señalar algunas variaciones sobre la cobertura vegetal absoluta registradas por transecta:

- Aumento de cobertura vegetal en M16, respecto a MB0-M1: transecta **T21**, en un herbazal de *D. spicata* en Tilopozo. Presenta una cobertura dinámica entre monitoreos, pero con un bajo rango de variación, donde la mayor cobertura se registra en verano 2022 (M12; 6,8%) y la menor cobertura en los primeros inviernos de 2016 (MB0 y M1; 3,0%), aunque en este último verano se presenta similar al primer registro (M16; 3,2%).
- Deterioro de la cobertura vegetal en los herbazales de *S. californicus* en Tilopozo: las dos transectas de la formación, **T19 y T29**, presentaban una de las mayores coberturas vegetales del sector (sobre un 100% hasta el verano 2021). Por una parte, la transecta T29 disminuye su cobertura vegetal en el verano 2022 (M12; 84,8%) mostrando una zona de la transecta con la cobertura volteada y muerta (41,2% de rastrojo), evidenciando en el invierno siguiente un deterioro generalizado con un mínimo de cobertura vegetal (M13; 13,8%) y un máximo de rastrojo (M13; 86,8%) y que en M14, a pesar de una alta cobertura de rastrojo (67,6%) la cobertura vegetal muestra una recuperación (62,8%), aunque en el último año vuelve a descender esta cobertura, tanto en invierno (33,4%) como en verano (12,0%). En cambio, en la transecta T19, el deterioro comienza en el invierno 2022 (M13) registrando una cobertura vegetal absoluta de 36,6% de un 135,8% en el verano anterior (M12) y subiendo levemente en los últimos veranos (44,0% en M14 y 60,0% en M16), destacando los mayores valores de rastrojo en el séptimo año (sobre el 80% en M13 y M14). Cabe destacar, que en esta formación se observó presencia de animales en los últimos 2 años, llamas principalmente, evidenciando mayor alteración por el pastoreo y pisoteo del ganado, sin olvidar que estas formaciones también presentaron alteración por quemas realizadas el 2018.
- Disminución de la cobertura vegetal en herbazales de *Juncus balticus*, principalmente en la transecta **T18** en Tilopozo: esta transecta registraba un 27,6% de cobertura vegetal absoluta en el 2016 (MB0-M1) y presenta una disminución importante al verano siguiente (M2; 10,4%) y al año 2023 (M14; 6,8%) la disminución desde MB0 refleja una pérdida en más del 75% de su cobertura, aunque al último verano aumenta la cobertura, mayor al registro de M2 (M16; 11,4%). No obstante, el valor registrado en invierno de 2016 (MB0) estaría asociado a este año más favorable con un invierno excepcional, por lo que es importante considerar en el análisis el comportamiento general de la vegetación, ya que las fluctuaciones observadas entre M2 y M16 indicarían una menor variación. Por otro lado, la transecta T30 tiene un mayor aumento en el último verano (M16; 33,2%), después de los descensos registrados entre M10 a M12 (17-22%).
- Disminución de la cobertura vegetal en dos herbazales de *D. spicata* en Tilopozo (**T26 y T28**): en estas transectas se observa una pérdida de cobertura vegetal importante en el tiempo, destacando que ambas transectas se localizan alejadas del núcleo del salar. Ambas transectas presentan variaciones entre monitoreos, pero llama la atención la baja cobertura que se mantiene desde el invierno 2020 para T26

(M9; 0,8%), registrando un mínimo de cobertura en el verano 2022 (M12; 0,2%), manteniéndose bajo el 1% de cobertura de M13 a M16, similar a T28, con una baja sostenida desde el invierno 2020 y registrando en el último invierno la menor cobertura (M15; 4,0%) con un leve aumento en M16 (5,6%).

- Disminución de la cobertura vegetal en la transecta **T10**, en el subsector La Brava: esta transecta siempre tuvo baja cobertura vegetal (14,6% en MB0-M1), presentando una cobertura parchosa con elementos florísticos aislados asociados a la humedad del borde de un pequeño cuerpo de agua, ya que es una zona mayormente desprovista de vegetación (salar). Sin embargo, el descenso registrado desde el verano 2021 (M10; 0,8%) se ha mantenido estable hasta M16 (1,0%), donde la especie *Triglochin concinna* es la más desfavorecida, presentando una cobertura del 10% inicialmente a registrar en los veranos la menor cobertura (M6 a M16; 0,2%).
- Disminución de la cobertura vegetal en matorrales de *Sarcocornia fruticosa*: si bien estas formaciones no han tenido el continuo de información como el resto de las transectas, se presenta un descenso principalmente en las transectas **T12** del subsector La Punta con el menor registro en M16 (17,6%) de un 38,6% en MB0-M1 y 27,2% en M2, similar disminución en la transecta **T17** en Aguas de Quelana con un descenso paulatino y el menor registro en M16 (31,2%) de valores sobre el 40% hasta M14. No obstante, el mayor descenso ocurre en la transecta **T16** de Quelana, con una variación de la cobertura de un 16,8% en MB0-M1 a un 1,4% en M16.
- Disminución de la cobertura vegetal en matorrales de *Tessaria absinthioides*. Si bien en todas las transectas de esta formación se observan menores coberturas en el tiempo, destaca el aumento de la cobertura en M16 para las transectas T06 y T07 en Peine y las transectas T23 y T24 en Tilopozo, después de los bajos registros desde 2019. No obstante, la principal variación destaca en **T05**, que registraba una cobertura absoluta de 8,0% en el primer invierno (MB0-M1) disminuyendo en M16 a un 1,0%.

**Figura N° 13-1. Cobertura promedio de vegetación, rastrojo, otros recubrimientos y riqueza por sector**



Donde: Monitoreos: MB0 monitoreo base 2016, M1 invierno 2016, M2 verano 2017, M3 invierno 2017, M4 verano 2018, M5 invierno 2018, M6 verano 2019, M7 invierno 2019, M9 invierno 2020, M10 verano 2019, M12 verano 2021, M13 invierno 2022, M14 verano 2023, M15 invierno 2023, M16 verano 2024; En M6, M9 y M13 no hay registros en Aguas de Quelana, ya que no se muestrearon las transectas por restricciones de acceso al área; Monitoreo verano 2020 (M8) no se realizó por restricciones en el marco de la pandemia Covid-19; Monitoreo invierno 2021 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones en la zona; M15 (\*) corresponde a promedios y riqueza referenciales por la falta de muestreo en transectas T11 y T12 del subsector La Punta por restricciones de acceso al sistema lagunar por resguardo de fauna nativa (aves).

Fuente: Elaboración propia.

En otro nivel de análisis, **la evolución entre monitoreos de invierno en referencia al monitoreo base (MB0) y los monitoreos de verano en referencia al primer monitoreo de verano (M2)** es relevante para el análisis estacional y estudiar la variabilidad del sistema en las distintas formaciones vegetales y sectores, en relación a los diversos factores que pueden influir en estas fluctuaciones y observar es que estas variaciones estacionales son significativas.

Es por esto, que a continuación se presenta por sector, gráficas de *boxplot* analizando la variación de la cobertura vegetal en invierno *versus* los veranos, para cada transecta, ordenadas por formación vegetal para cada sector de estudio (**Figura N° 13-2, Figura N° 13-3, Figura N° 13-4 y Figura N° 13-5**). La variabilidad debiera indicar si se observa una marcada estacionalidad en los datos, además de poder identificar si las variaciones son significativas, a través de una prueba estadística de Kruskal-Wallis donde el valor del parámetro F de este test, se acompaña del valor *p* para cuantificar estadísticamente la importancia de la variación<sup>38</sup>.

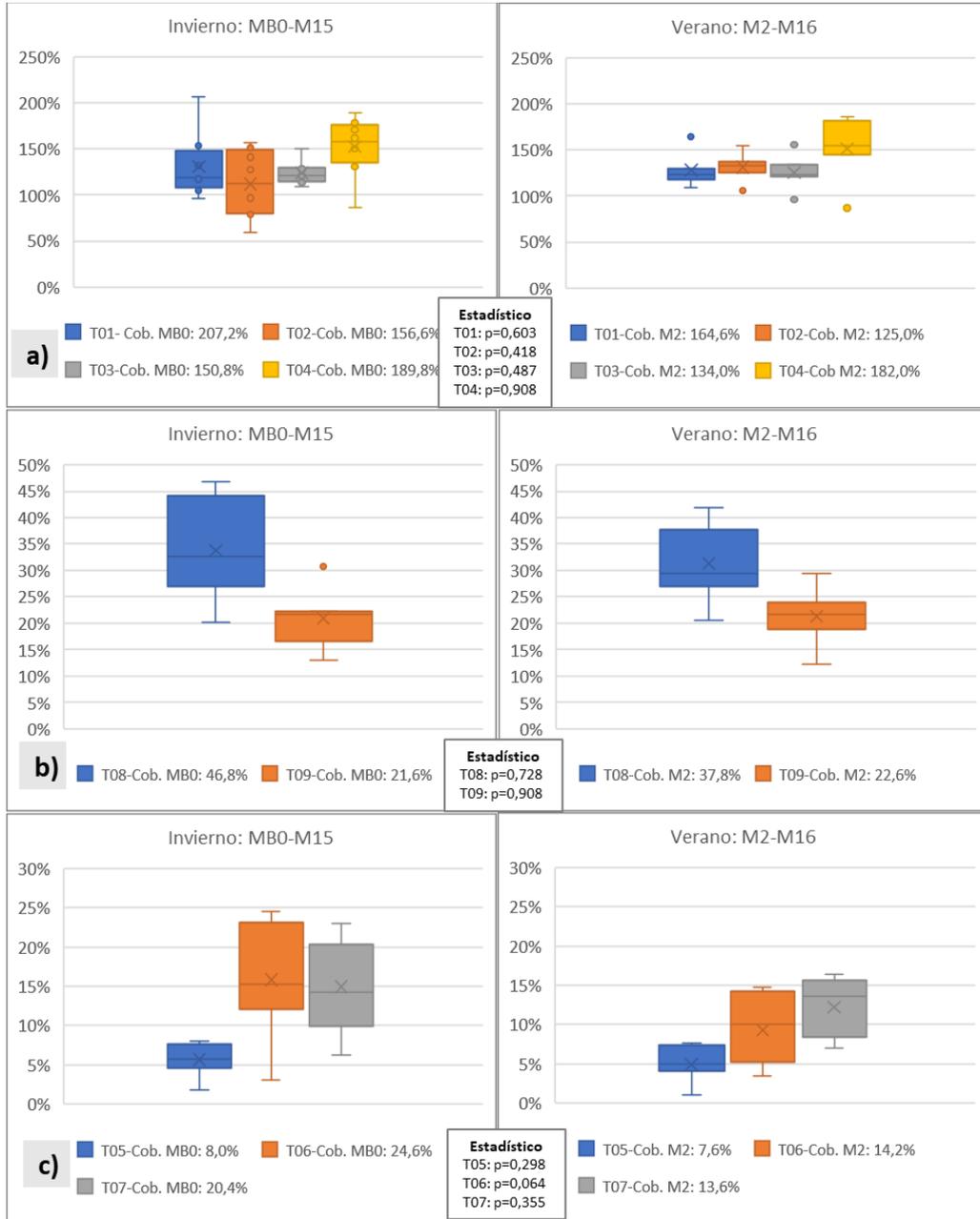
En el sector **Peine (Figura N° 13-2)**, se observan comportamientos distintos en las tres formaciones vegetales, en ambas estaciones. Respecto a la estacionalidad de los valores, solo el matorral de *Tessaria absinthioides* presenta mayor diferencia, en las transectas T06 y T07, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, aunque **estadísticamente las variaciones no son significativas**. En el caso del herbazal de *Schoenoplectus californicus*, en invierno las coberturas se presentan con una mayor variabilidad que en verano, pero en rangos cercanos entre ambas estaciones. Los valores referenciales de MB0 para invierno muestran, en general, que la cobertura inicial se encuentra hacia el rango máximo, exceptuando a T09 y T07. En cambio, los valores referenciales de M2 para verano muestran que solo las transectas T01 y T04 en los herbazales de *S. californicus* y T05 y T06 en matorral de *T. absinthioides* se encuentran hacia el rango máximo de cobertura.

En el sector **Tilopozo (Figura N° 13-3)**, se observa mayor variabilidad espacial y temporal en las coberturas del sector, principalmente en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, en ambas estaciones. Respecto a la estacionalidad, se registra una mayor diferencia en las transectas T18 y T31 en el herbazal de *Juncus balticus* y en las transectas del matorral de *Tessaria absinthioides*, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, **siendo significativa solo la variación en T23 y T25**. Los valores referenciales de MB0 para invierno muestran, que la cobertura inicial se encuentra hacia el rango máximo en varias transectas (T19, T22, T26, T18, T30, T31, T23, T24 y T25). En cambio, los valores referenciales de M2 para verano se encuentran hacia el rango máximo de cobertura en las transectas T19, T27, T23 y T25, y en otras formaciones vegetales, destaca que las coberturas de verano se observan en un rango inferior respecto al invierno (T26 en

<sup>38</sup> Los niveles de significancia (denotado como  $\alpha$  o *alfa*) usados fueron de 0,05. Un  $\alpha$  menor o igual a 0,05 indica, con un riesgo del 5%, que existe una variación significativa entre las variables analizadas.

herbazales de *D. spicata*, T18 y T31 en herbazales de *J. balticus* y los matorrales de *T. absinthioides*).

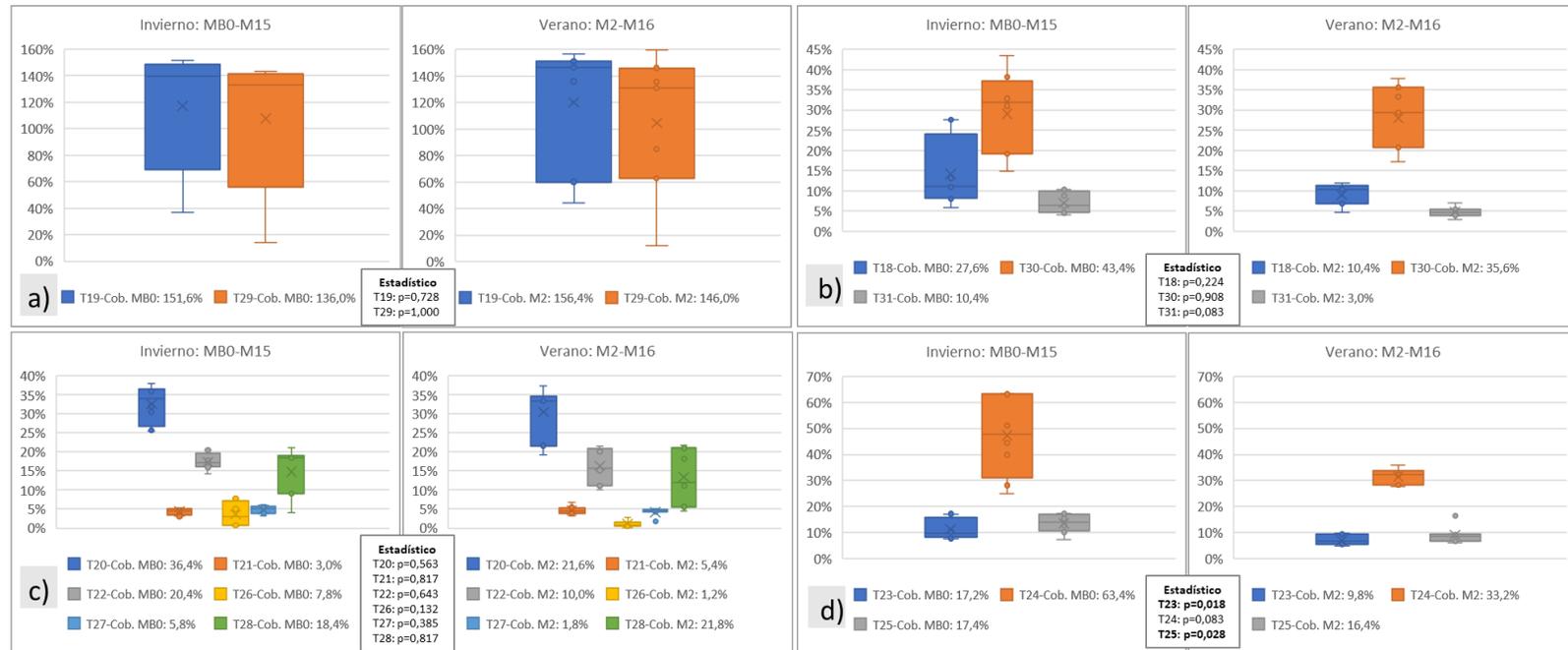
**Figura N° 13-2. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Peine**



Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, b) Herbazal de *Distichlis spicata* y c) Matorral de *Tessaria absinthioides*.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 13-3. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Tilopozo**

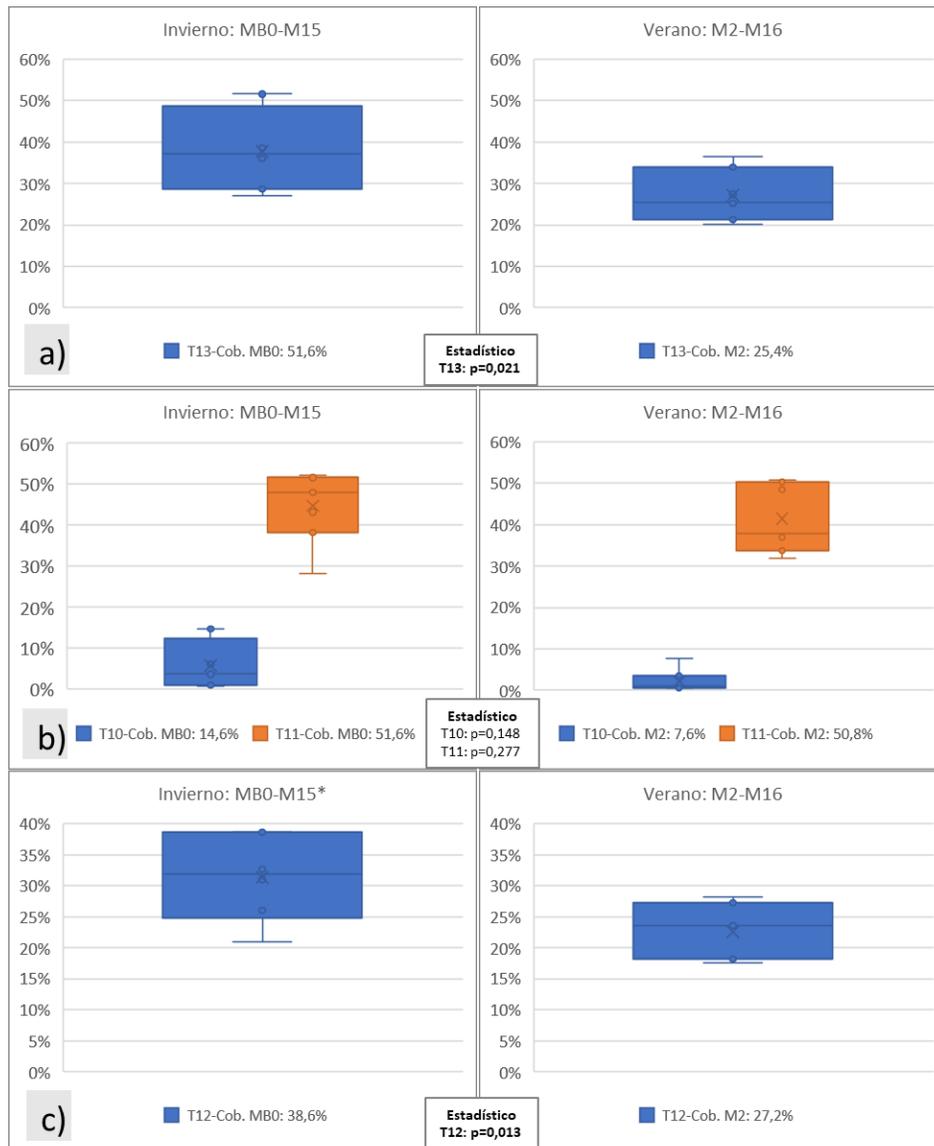


Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, b) Herbazal de *Juncus balticus*, c) Herbazal de *Distichlis spicata* y d) Matorral de *Tessaria absinthioides*.  
**Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T23: p=0,018 y T25: p=0,028.**

Fuente: Elaboración propia.

En el sector **La Punta y La Brava (Figura N° 13-4)**, se observa que los valores se presentan, en general, cercano a la mediana para las tres formaciones vegetales, en ambas estaciones, y las coberturas de invierno presentan una mayor variabilidad que los veranos. Respecto a la estacionalidad, la transecta T13 en el herbazal de *Juncus balticus*, la transecta T10 en el herbazal de *Triglochin concinna* y T12 en el matorral de *Sarcocornia fruticosa* presentan mayor diferencia entre estaciones, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, **siendo estadísticamente significativa las variaciones en T13 y T12.**

**Figura N° 13-4. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector La Punta y La Brava**

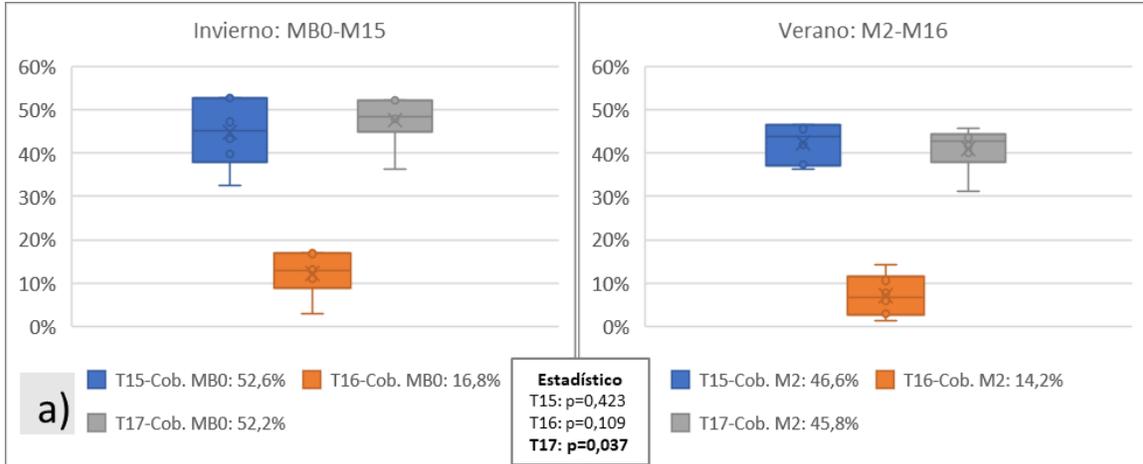


Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Juncus balticus*, b) Herbazal de *Triglochin concinna* y c) Matorral de *Sarcocornia fruticosa*.

Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T13: p=0,021 y T12: p=0,013. Fuente: Elaboración propia.

En el sector **Aguas de Quelana (Figura N° 13-5)**, se observa que los valores presentan menor variabilidad de coberturas. Respecto a la estacionalidad, las tres transectas en la formación de *Sarcocornia fruticosa* presentan diferencias de cobertura entre estaciones, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, **siendo significativa la variación en T17.**

**Figura N° 13-5. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Aguas de Quelana**



Donde: Formaciones vegetales: a) Matorral de *Sarcocornia fruticosa*.  
**Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T17: p=0,037**  
 Fuente: Elaboración propia.

### 13.1.3 Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI

#### ***Comparación con valores históricos***

De acuerdo con los registros mínimos y máximos propuestos para monitoreo de vegetación (Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B), la superficie de vegetación activa de verano de 2024 en base al método NDVI en imágenes de alta resolución, en los sectores de Tilopozo – La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana, superan los valores mínimos históricos e incluso los valores máximos de superficie de vegetación activa (Tabla N° 13-3).

Para el sector de Soncor, en verano 2024 el resultado de superficie de vegetación activa en base al NDVI (9,7 ha) resulta en el mismo rango de valores de los veranos anteriores, pero, al igual que en todos los años del seguimiento resulta menor a la superficie mínima histórica (21,2 ha) (Tabla N° 13-3). Cabe recordar que estas diferencias se deben al mayor detalle definido por la COT en las campañas del PMB, de verano 2017 a verano 2024, además del mejoramiento en el algoritmo de corrección de imágenes, lo que permitió detectar con mayor precisión la reflectancia del vigor de la vegetación en función de su cobertura. Cabe señalar que para el sector de Soncor, la mayor parte de “vegetación activa” cercana o dentro de cuerpos de agua, corresponde a vegetación acuática, sedimentos pigmentados o tapetes microbianos, efecto que ha sido observado en terreno y declarado por guardaparques.

En general, y con respecto al monitoreo de verano 2023, se observa para el monitoreo verano 2024, un leve aumento de la superficie activa todos los sectores, lo que puede estar relacionado con la variabilidad natural del sistema o un aumento puntual debido a las precipitaciones existentes en la zona. A la fecha actual, como fue indicado, las superficies de vegetación activa se encuentran dentro de los rangos del PMB 2017-2024.

De acuerdo con el resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación, mediante herramientas de teledetección (comprometido en Tabla 5.3 del Apéndice B - Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015), en la **Tabla N° 13-4**, se presentan las superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, y su comparación respecto de los datos históricos y de línea de base.

Particularmente respecto a esta formación vegetal, para el sector de La Punta - La Brava y Tilopozo, la superficie observada en verano 2024, se encuentra bajo el rango de los registros históricos, con una superficie de vegetación activa menor a la registrada en monitoreos anteriores, siendo el valor más bajo registrado. Lo mismo se observa en el sector de Peine, la superficie de vegetación activa en los herbazales de *S. californicus* se encuentra por debajo del mínimo histórico con su registro más bajo observado en registros consecutivos (**Tabla N° 13-4**)

**Tabla N° 13-3. Superficies de vegetación activa (NDVI) con relación a los registros históricos Alta Resolución, por sector.**

Sector	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		VERANO 2024		VALORES HISTÓRICOS DESDE LANDSAT		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN	
	COT (ha)	ACTIVA (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)														
Tilopozo - La Punta y La Brava	2.727,9	613,2	2.706,4	422,8	2.706,4	603,5	2.727,9	533,4	2.706,4	453,7	2.705,5	736,8	2.705,5	547,3	2.703,3	767,0	202,0	1.580,0	113,6	343,3
Peine	2.990,9	677,1	2.989,0	496,1	2.989,0	660,5	2.989,0	506,6	2.989,0	532,5	2.989,0	601,1	2.989,0	529,8	2.989,0	668,1	310,0	1.919,0	157,7	242,8
Soncor	24,8	7,6	24,8	6,0	24,8	6,1	24,8	5,8	24,8	6,6	24,8	7,7	24,8	8,0	24,8	9,7	-	-	21,2	37,7
Aguas de Quelana	1.518,8	393,8	1.518,8	291,5	1.518,8	248,5	1.518,8	274,3	1.518,8	249,8	1.518,8	258,6	1.518,8	320,7	1.515,9	353,9	-	-	20,8	32,4
<b>TOTAL</b>	<b>7.262,4</b>	<b>1.691,8</b>	<b>7.238,9</b>	<b>1.216,4</b>	<b>7.238,9</b>	<b>1.518,6</b>	<b>7.260,4</b>	<b>1.320,1</b>	<b>7.238,9</b>	<b>1.242,6</b>	<b>7.238,1</b>	<b>1.604,2</b>	<b>7.238,0</b>	<b>1.405,9</b>	<b>7.233,0</b>	<b>1.798,7</b>				

Donde: **COT (ha)**: Superficie COT con vegetación en hectáreas y **ACTIVA (ha)**: Superficie vegetación activa resultante del análisis con NDVI en hectáreas.

\* Valor máximo histórico para el sector de Soncor, fechado en abril de 2011 y \*\*Valor máximo histórico para el sector de Quelana, fechado en abril de 2015; ambos valores fueron determinados en el estudio, sin embargo, no se incluyen dentro de la Tabla 5.3 “Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).

Datos en base a COT verano 2024 y en parámetro NDVI de imagen satelitales Pleiades verano 2024.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 13-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de *Schoenoplectus californicus*, con relación a los registros históricos de alta resolución**

SECTOR	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		VERANO 2024		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima (ha)
Peine	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	20,3	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	7,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,2	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	9,6	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	1,0	22,6	23,0
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,5	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	0,03		
<b>Total Peine</b>		<b>20,3</b>		<b>11,9</b>		<b>6,6</b>		<b>7,9</b>		<b>16,9</b>		<b>16,6</b>		<b>14,5</b>		<b>1,0</b>		
Tilopozo - La Punta y La Brava	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	28	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	9,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	5,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8,8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	22,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	12,4	26,0	59,2
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	30,2	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i>	9,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	12,3	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	40,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	0,7		
	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,1												Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	2,7			

SECTOR	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		VERANO 2024		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	FVEG	ACTIVA (ha)	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima (ha)
					Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	9,8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	9,6			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	36,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	13,8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,2		
<b>Total Tilopozo - La Punta y La Brava</b>	<b>33,1</b>		<b>38,1</b>			<b>27,2</b>		<b>31,0</b>		<b>46,3</b>		<b>46,8</b>		<b>38,6</b>		<b>19,0</b>		

Donde: FVEG: Formación vegetal; Activa (ha): Superficie vegetación activa en hectáreas.

\*Valores históricos obtenidos a partir de alta resolución correspondientes a la Tabla 5.3 del Apéndice B, Anexo 2 (2015).

Datos en base a COT verano 2024.

Fuente: Elaboración propia.

## 13.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

### 13.2.1 Representatividad del muestreo

Los muestreos correspondientes a las 16 campañas semestrales (invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y verano 2024) en el área de estudio se consideran representativos, por las siguientes razones:

- En términos espaciales, las estaciones de muestreo abarcan todos los ambientes y taxa, en los tres sectores de estudio. Estos ambientes corresponden a humedal salar, humedal pajonal, matorral, herbazal, quebrada y áreas desprovistas de vegetación (que, en este caso, corresponde a costras salinas).
- En relación con el diseño de muestreo (estratificado/dirigido) y considerando la variedad de ambientes, la localización y número de los puntos de muestreo permite una adecuada representación de la fauna registrada.
- Por otra parte, el muestreo general de los transectos es complementado con diversas técnicas, como los trampeos de micromamíferos, muestreo nocturno de anfibios y aves nocturnas, además de la utilización de trampas cámara. Todo lo anterior permite ampliar el registro de fauna, incorporando especies escasas, evasivas, esporádicas y de difícil detección.
- Finalmente, la participación de un alto número de especialistas ( $n = 6$ ) y la gran cantidad de tiempo dedicado (seis días en cada campaña), determinan un alto esfuerzo de muestreo, adecuado para representar la fauna vertebrada presente en el área de estudio.

Cabe recordar que en verano 2020 no se realizó el muestreo por la pandemia Covid-19, que en verano 2021, 2023 y 2024 el muestreo contempló 20 de los 25 puntos de muestreo (no se accedió a los 5 puntos de las lagunas de Peine), y en verano del 2022 e invierno 2023 no se consideran 3 puntos (lagunas Salada y Saladita), ya que no se tuvo acceso por restricciones de acceso debido al ciclo reproductivo de flamencos. Dada esta restricción, se **limitó para esta componente en invierno y verano por cuarta y quinta vez en el marco del PMB**, el acceso completo al sector de lagunas de Peine, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva. Lo anterior afecta significativamente los resultados, sobre todo en lo que respecta a la abundancia de aves acuáticas (y en particular, de los flamencos) en los sistemas lagunares (ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones).

En total, la riqueza acumulada de 68 especies, en las 16 campañas realizadas, sobrepasa la fauna histórica acumulada del área de estudio, cuyo registro de línea de base es de 62 especies (un anfibio, dos reptiles, 49 aves y 10 mamíferos; PMB 2015). Es esperable que la fauna registrada al principio del monitoreo fuera un subconjunto del valor acumulado de varios años de estudio, y ahora, transcurridos ocho años del monitoreo, ya se ha registrado una riqueza mayor. Parte de la diferencia registrada entre el total acumulado y el registrado por el

muestreo, podría explicarse por la baja probabilidad de detectar varias de las especies del total acumulado, debido a algunas características especiales, como: muestreos en otras épocas (no sólo invierno y verano), distribución restringida, abundancia y frecuencia bajas, actividad nocturna y crepuscular, especies migratorias, especies accidentales y con escasos registros, especies evasivas. Cabe considerar también que la composición de fauna incluye el registro de varias especies nuevas para el área (detalles en **acápite 13.2.8.1 Riqueza y composición**).

### 13.2.2 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres

En el área de estudio, considerando las 16 campañas semestrales de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, la riqueza acumulada asciende a un total de 68 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 49 especies de aves y 16 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-5**). En M15 de invierno 2023 no se registraron nuevas especies, mientras que en M16 de verano 2024 se observaron dos nuevas especies, no observadas en todo el monitoreo (el chorlo de campo y la tórtola cordillerana). De ellas, el chorlo de campo si se había registrado en la Línea de Base del PMB (2015), a diferencia de la tortolita cordillerana, no documentada en el PMB (2015).

De las 68 especies de fauna detectadas, 28 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 25 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las tres especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Rottmann & López-Callejas (1992) o Cofré & Marquet (1999). En detalle, estas especies en alguna categoría corresponden a la única especie de anfibio registrada, a las dos especies de reptiles detectadas, 14 de las especies de aves y 11 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-5**).

Del total de 28 especies en categoría de conservación, 12 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro Crítico (una especie, un mamífero), En Peligro (una especie, un reptil), Vulnerable (cinco especies; tres aves y dos mamíferos) y Casi amenazada (cinco especies, tres aves y dos mamíferos). Por su parte, 16 especies se catalogan sin amenaza (precautorias; detalle en **Tabla N° 13-5**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 59 de las 68 especies detectadas en el área de estudio, se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria, en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 13-5**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 13-5**).

De acuerdo con su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles), en tanto que otras 62 especies son nativas (una especie de anfibio, 49 especies de aves y 12 especies de mamíferos), y finalmente, cuatro especies son introducidas y/o domesticadas (todos mamíferos; **Tabla N° 13-5**).

En relación con las especies especialistas de hábitat, 22 especies se consideran especialistas, como por ejemplo el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*; en ambientes de humedal), la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar), 19 aves (asociadas a ambientes de humedal) y un mamífero (la chinchilla cordillerana, habitante de roqueríos; **Tabla N° 13-5**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: cuatro especies son de baja movilidad, otras cinco especies se clasifican con movilidad media, y por último 59 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 13-5**).

Finalmente, en cuanto al Índice de Riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo (*Liolaemus fabiani*, Lagartija de Fabián), en tanto que otras cinco se encuentran clasificadas con un riesgo alto, 11 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 47 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A las especies introducidas/domesticadas, no les aplica un índice de riesgo (**Tabla N° 13-5**).

Del análisis por sector, la mayor riqueza se presenta en el sector de Tilopozo, con 51 especies registradas (el único anfibio detectado, un reptil, 36 aves y 13 mamíferos). Le sigue el sector de Peine, con 35 especies registradas (dos reptiles, 26 aves y siete mamíferos) y finalmente el sector con la menor riqueza es La Punta y La Brava con 26 especies (un reptil, 22 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-5**).

Por otro lado, considerando las especies y su presencia en cada sector, diez especies se encuentran en los tres sectores: el colegial del norte (*Lessonia oreas*), la golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*), el pitotoy chico (*Tringa flavipes*), el playero de Baird (*Calidris bairdii*), la dormilona chica (*Muscisaxicola maculirostris*), la gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*), el pato juarjuel (*Lophonetta specularioides*), el aguilucho (*Geranoaetus polyosoma*), el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el lauchón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*); en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (como el sapo espinoso, la lagartija de Fabián y la mayoría de las aves), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 13-5**).

**Tabla N° 13-5. Lista Sistemática Acumulada de especies de fauna registradas a lo largo de las 16 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2024). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector.**

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR			
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo	
AMPHIBIA												
ANURA												
BUFONIDAE												
<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo Espinoso	LC <sup>2</sup>	BE	-	N	S	B	50,35				X
<b>TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA</b>									<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	
REPTILIA												
SQUAMATA												
LIOLAEMIDAE												
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC <sup>7</sup>	SE	-	E	N	B	30,35		X		X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN <sup>5</sup>	SE	-	E	S	B	83,35	X	X		
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>									<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Circus cinereus</i>	Vari ceniciento	-	BE	-	N	N	A	3,35		X		X
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila	-	BE	-	N	N	A	3,35		X		
<i>Geranoaetus poecilochrous</i>	Aguilucho de la puna	DD <sup>10</sup>	BE	-	N	S	A	18,35				X
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X		X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	-	-	-	N	S	A	30		X		X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Chloephaga melanoptera</i>	Piuquén	LC <sup>10</sup>	-	-	N	S	A	24,5	X		
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	-	-	-	N	S	A	15	X	X	X
CHARADRIIFORMES											
CHARADRIIDAE											
<i>Anarhynchus alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
<i>Oreopholus ruficollis</i>	Chorlo de campo	NT <sup>9</sup>	BS	-	N	N	A	26,85			X
LARIDAE											
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC <sup>9</sup>	S	-	N	S	A	18,65	X	X	X
SCOLOPACIDAE											
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	-	B	-	N	S	A	31,65	X	X	X
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	LC <sup>14</sup>	BS	-	N	S	A	18,35	X	X	
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	LC <sup>11</sup>	BS	-	N	S	A	27,85	X	X	X
RECURVIROSTRIDAE											
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU <sup>11</sup>	BS	-	N	S	A	57,85	X	X	
COLUMBIFORMES											
COLUMBIDAE											
<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	-	S	-	N	N	A	9,15		X	X
<i>Metriopelia melanoptera</i>	Tortolita cordillerana	-	-	-	N	N	A	7,5			X
<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	-	-	-	N	N	A	7,5			X
FALCONIFORMES											
FALCONIDAE											
<i>Falco femoralis</i>	Halcón perdiguero	IC <sup>12</sup>	BE	-	N	N	A	11,35			X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	LC <sup>8</sup>	BSE	-	N	N	A	7			X
<i>Falco sparverius</i>	Cernicalo	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	Carancho cordillerano	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
GRUIFORMES											
RALLIDAE											
<i>Fulica ardesiaca</i>	Tagua andina	-	S	-	N	S	A	24,15	X	X	
<i>Fulica cornuta</i>	Tagua cornuda	NT <sup>6</sup>	S	-	N	S	A	32,65	X		
<i>Fulica gigantea</i>	Tagua gigante	LC <sup>9</sup>	S	-	N	S	A	18,65	X		
PASSERIFORMES											
FURNARIIDAE											
<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete acanelado	-	B	-	N	S	A	16,65			X
<i>Geositta cunicularia</i>	Minero común	-	B	-	N	N	A	1,65		X	X
<i>Geositta isabellina</i>	Minero grande	-	BS	-	N	N	A	3,35			X
<i>Geositta maritima</i>	Minero chico	-	B	-	N	N	A	1,65		X	X
<i>Geositta punensis</i>	Minero de la Puna	-	B	-	N	N	A	1,65			X
<i>Geositta rufipennis</i>	Minero cordillerano	-	B	-	N	N	A	1,65		X	X
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral común	-	B	-	N	N	A	1,65			X
<i>Upucerthia dumetaria</i>	Bandurrilla común	-	BS	-	N	N	A	3,35			X
HIRUNDINIDAE											
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina bermeja	-	BSE	-	N	N	A	5	X		X
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	N	A	10,85	X	X	X
TYRANNIDAE											
<i>Agriornis micropterus</i>	Mero de Tarapacá	-	BSE	-	N	N	A	5		X	X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Lessonia rufa</i>	Colegial del norte	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X	X
<i>Muscisaxicola cinereus</i>	Dormilona cenicienta	-	BE	-	N	N	A	3,35		X	X
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X	X
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de nuca rojiza	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Tyrannus savana</i>	Cazamoscas tijereta	-	BSE	-	N	N	A	5			X
THRAUPIDAE											
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	-	S	-	N	N	A	9,15		X	X
MOTACILLIDAE											
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico común	-	BE	-	N	N	A	3,35	X		X
PELECANIFORMES											
ARDEIDAE											
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	-	B	-	N	S	A	16,65	X		
<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	-	BS	-	N	S	A	18,35		X	X
PHOENICOPTERIFORMES											
PHOENICOPTERIDAE											
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU <sup>6</sup>	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU <sup>9</sup>	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT <sup>9</sup>	SE	-	N	S	A	49,35	X	X	
PODICIPEDIFORMES											
PODICIPEDIDAE											
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	-	E	-	N	S	A	24,15	X		

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>									<b>22</b>	<b>26</b>	<b>36</b>
MAMMALIA											
ARTIODACTYLA											
CAMELIDAE											
<i>Lama glama</i>	Llama	-	-	-	D	N	A	-			X
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU <sup>1</sup>	S	-	N	N	A	48,65			X
<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	VU <sup>10</sup>	S	-	N	N	A	48,65	X		
BOVIDAE											
<i>Capra hircus</i>	Cabra	-	-	-	D	N	A	-			X
CARNIVORA											
CANIDAE											
<i>Canis familiaris</i>	Perro	-	-	-	D	N	A	-			X
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC <sup>1</sup>	E	-	N	N	A	3,65	X	X	X
<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro chilla	LC <sup>1</sup>	E	-	N	N	A	3,65			X
FELIDAE											
<i>Puma concolor</i>	Puma	NT <sup>3</sup>	E	-	N	N	A	17,65		X	
CHIROPTERA											
VESPERTILIONIDAE											
<i>Myotis atacamensis</i>	Murciélago de Atacama	NT <sup>7</sup>	BS	-	N	N	A	26,85			X
DIDELPHIMORPHIA											
DIDELPHIDAE											
<i>Thylamys pallidior</i>	Yaca del norte	-	BSE	-	N	N	M	12,5		X	

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	I	N	A	N/A		X	X
RODENTIA											
CHINCHILLIDAE											
<i>Chinchilla chinchilla</i>	Chinchilla cordillerana o de cola corta	CR <sup>4</sup>	S	MN	N	S	M	64,15			X
CRICETIDAE											
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP <sup>13</sup>	E	-	N	N	M	11,15		X	X
<i>Eligmodontia puerulus</i>	Lauchita de pie sedoso	LC <sup>4</sup>	S	-	N	N	M	11,15			X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP <sup>13</sup>	S	-	N	N	M	11,15	X	X	X
CTENOMYIDAE											
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC <sup>10</sup>	S	-	N	N	B	33,65		X	X
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>									<b>3</b>	<b>7</b>	<b>13</b>
<b>TOTAL RIQUEZA SECTOR</b>									<b>26</b>	<b>35</b>	<b>51</b>

**ESTADOS DE CONSERVACIÓN:** EN: En Peligro; I: Insuficientemente conocida; LC: Preocupación menor; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; R: Rara; VU: Vulnerable. **FUENTES ESTADOS DE CONSERVACIÓN:** (1) D.S. N°33/2011 MMA; (2) D.S. N°41/2011 MMA; (3) D.S. N°42/2011 MMA; (4) D.S. N°13/2013 MMA; (5) D.S. N°52/2014 MMA; (6) D.S. N°38/2015 MMA; (7) D.S. N°16/2016 MMA; (8) D.S. N°6/2017 MMA; (9) D.S. N°23/2019 MMA; (10) D.S. N°16/2020 MMA; (11) D.S. N°44/2021 MMA; (12) Rottmann & López-Calleja 1992; (13) Cofré & Marquet 1999, (14) D.S. N°02/2024.

**BSE: B:** condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; **S:** condición de densidades poblacionales reducidas; **E:** condición benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales. Especies ordenadas sistemáticamente según Martínez & González (2005) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos.

**MN:** monumento natural.

**O (origen): E:** endémica; **N:** nativa; **I:** introducida; **D:** Doméstica.

**EH (Especialista de hábitat): S:** si; **N:** no.

**M (movilidad): B:** baja; **M:** media; **A:** alta.

**IR:** índice de riesgo: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo.

Fuente: Elaboración Propia.

### 13.2.3 Análisis por clase

#### 13.2.3.1 Anfibios

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante el total de campañas, sólo una de ellas corresponde a un anfibio (1,5%), perteneciente al orden Anura, familia Bufonidae. Esta especie, *Rhinella spinulosa*, está catalogada en la categoría de conservación “sin amenaza”, ya que se clasifica como Preocupación menor (**Tabla N° 13-5**). Este registro se tuvo en el sector de Tilopozo en la campaña de verano 2018.

En cuanto a su origen, se cataloga como especie nativa, es especialista de hábitat y presenta baja movilidad. Finalmente, el índice de riesgo calculado para la especie la clasifica como de riesgo alto (**Tabla N° 13-5**).

#### 13.2.3.2 Reptiles

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, dos de ellas corresponden a reptiles (3,0%), ambas pertenecientes al Orden Squamata y a la familia Liolaemidae (**Tabla N° 13-5**).

Las dos especies se encuentran clasificadas en categoría de conservación; sin embargo, solo una “bajo amenaza”. Esta especie corresponde a la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), la que está clasificada En peligro, mientras que la especie lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se clasifica como “sin amenaza”, en categoría Preocupación Menor (**Tabla N° 13-5**).

Estas dos especies son endémicas de Chile y presentan baja movilidad; sin embargo, solo la lagartija de Fabián es especialista de hábitat, asociada a bordes de salares (**Tabla N° 13-5**). Finalmente, en cuanto al índice de riesgo de las especies de reptiles registradas, la lagartija de Fabián se cataloga con un riesgo máximo (83,35), mientras que la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (30,35; **Tabla N° 13-5**).

En relación con la presencia de ambas especies de reptiles en los distintos sectores, es interesante mencionar que ambas especies se segregan espacialmente: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra asociada a ambientes acuáticos (en el borde de salares) de los sectores de La Punta y La Brava y Peine, la lagartija de Constanza se ubica más bien en los ambientes terrestres de Peine y Tilopozo (**Tabla N° 13-5**).

#### 13.2.3.3 Aves

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las 14 campañas, 49 de ellas corresponden a aves (72,1%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 13-5**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 14 especies (28,6%) se encuentran en categoría de conservación. De ellas, seis especies son consideradas “*bajo amenaza*”, y corresponden a dos especies de parinas (chica y grande) junto con el caití, clasificadas en categoría Vulnerable, además de la tagua cornuda, el chorlo de campo y el flamenco chileno, consideradas Casi amenazadas. Las ocho especies restantes, en tanto, están catalogadas “*sin amenaza*”, clasificadas en categoría Insuficientemente conocida (una especie), de Preocupación menor (seis especies) y con datos deficientes (una especie, detalles en **Tabla N° 13-5**).

En cuanto a su origen, todas las especies de aves registradas son nativas, mientras que 19 de estas especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 49 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, dos especies presentan un riesgo alto (las dos especies de parinas), otras siete especies presentan un riesgo medio, y las 40 especies restantes presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 13-5**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Tilopozo presenta la mayor riqueza de aves, con 36 especies registradas (mayormente especies asociadas a ambientes terrestres). Les siguen en riqueza el sector de Peine, con 26 especies registradas, y La Punta y La Brava, con 22 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 13-5**).

#### **13.2.3.4 Mamíferos**

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 16 de ellas corresponden a mamíferos (23,5%), las que se distribuyen en seis órdenes y 10 familias (**Tabla N° 13-5**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, 11 (68,8%) se encuentran en categoría de conservación. Las cinco especies consideradas “*bajo amenaza*” corresponden a la chinchilla cordillerana (*Chinchilla chinchilla*), catalogada como En peligro crítico; el guanaco (*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*), clasificadas en categoría Vulnerable, y el puma (*Puma concolor*) junto con el murciélago de atacama (*Myotis atacamensis*), clasificados en categoría Casi amenazada. Las seis especies catalogadas “*sin amenaza*” en su estado de conservación, en tanto, corresponden al zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), zorro chilla (*Lycalopex griseus*), tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*) y lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), clasificados en categoría Preocupación menor, y al ratón andino (*Abrothrix andina*) junto al ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*), ambos clasificados en categoría Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 13-5**).

En cuanto a su origen, 13 especies son nativas (una de ellas domesticada, la llama), y las tres especies restante son introducidas (el perro, la cabra y el burro). Por otro lado, sólo una especie se considera especialista de hábitat: la chinchilla cordillerana, que habita roqueríos. De las 16 especies de mamíferos registradas, 10 especies se consideran de alta movilidad, otras cinco especies con movilidad media, y una especie con movilidad baja (el

tuco-tuco de Atacama). Finalmente, en cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, una especie presenta riesgo alto (la chinchilla cordillerana), cuatro especies presentan un riesgo medio (el guanaco, la vicuña y el tuco-tuco de Atacama), otras siete especies un riesgo bajo, y para las especies introducidas y/o domesticadas, en tanto, no es aplicable el índice de riesgo (**Tabla N° 13-5**).

Por otra parte, comparando los sectores, Tilopozo presenta la mayor riqueza, con 13 especies, seguido de Peine, con siete especies. La menor riqueza, en tanto, se presenta en el sector de La Punta y La Brava, con sólo tres especies registradas (**Tabla N° 13-5**).

#### 13.2.4 Composición por ambiente

En el caso de los anfibios, la única especie de la clase que fue registrada durante la realización de las campañas de monitoreo (el sapo espinoso), se detectó en el ambiente humedal pajonal del sector de Tilopozo, registrándose por única vez en la campaña de verano 2018 (**Tabla N° 13-6**).

Para los reptiles, de las dos especies detectadas en las campañas, la lagartija de Fabián sólo se registra en el ambiente de humedal salar de los sectores La Punta y La Brava y Peine, en tanto que la lagartija de Constanza se encuentra en el humedal pajonal de Tilopozo, y en los ambientes terrestres de Peine (matorral) y Tilopozo (herbazal, matorral y quebrada). Por su parte, en el restante ambiente terrestre de Tilopozo (área desprovista de vegetación costra salar), no se registra ninguna especie (**Tabla N° 13-6**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal: el mayor número de especies registrado corresponde al humedal pajonal de Tilopozo, con 31 especies detectadas (con ocho especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por los registros de 22 especies en humedal salar de La Punta y La Brava (con 18 especies asociadas a ambientes acuáticos), 15 especies en el humedal salar de Peine (con 13 especies asociadas a ambientes acuáticos), al igual que en el matorral de Tilopozo. A estos registros de riqueza, le siguen el ambiente de matorral de Peine con 13 especies registradas (con dos especies asociadas a ambientes acuáticos), y la quebrada de Tilopozo con ocho especies detectadas (todas terrestres). Por otra parte, se registraron dos especies de aves en el ambiente de herbazal de Tilopozo, y solo una en área desprovista de vegetación costra salar (**Tabla N° 13-6**).

Para los mamíferos, y a diferencia de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes terrestres, ya que se registran 10 especies en el matorral de Tilopozo, al igual que en el humedal pajonal de Tilopozo, siete especies en el matorral de Peine y en el herbazal de Tilopozo, cuatro especies en la quebrada de Tilopozo y tres especies en humedal salar de la Punta y La Brava. La menor riqueza, en tanto, se encuentra en los ambientes de humedal salar de Peine y área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo, registrándose en ellos sólo una especie (**Tabla N° 13-6**).

Agrupando las cuatro clases de vertebrados registradas en el total de las campañas, el ambiente con la mayor riqueza es el humedal pajonal del sector Tilopozo, con 43 especies

registradas en total (un anfibio, un reptil, 31 aves y 10 mamíferos), lo que representa un 63,2% de toda la fauna registrada en las campañas de monitoreo, seguido por el matorral de Tilopozo, con 26 especies (un reptil, 15 aves y 10 mamíferos), el humedal salar de La Punta y La Brava, con 26 especies (un reptil, 22 aves y tres mamíferos) y el matorral de Peine, con 21 especies. A continuación, se encuentran los ambientes de humedal salar de Peine (17 especies), quebrada de Tilopozo (13 especies), el herbazal (10 especies), y finalmente el ambiente área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo (dos especies), el cual presenta la menor riqueza acumulada en las campañas (**Tabla N° 13-6**).

En general, los ambientes de menor riqueza presentan un subconjunto de las especies identificadas en los ambientes con mayor riqueza, sin registrar especies con presencia en solo un ambiente.

**Tabla N° 13-6. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2024.**

Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal Salar	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	Matorral	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
Nombre Común								
<b>AMPHIBIA</b>								
Sapo Espinoso						X		
<b>TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>REPTILIA</b>								
Lagartija de Constanza			X		X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X						
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>AVES</b>								
Vari ceniciento			X			X	X	
Águila			X					
Aguilucho de la puna						X		
Aguilucho común	X		X			X	X	
Pato jergón chico		X				X		
Piuquén	X							
Pato juarjual	X	X				X		
Chorlo de la puna	X	X						
Chorlo de campo						X		
Gaviota Andina	X	X	X	X				
Caití	X	X						
Playero de Baird	X	X				X		
Pollito de mar tricolor	X	X						

CLASE	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal Salar	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	Matorral	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
Nombre Común								
Pitotoy chico	X	X				X		
Tortolita de la puna			X			X	X	
Tortolita cordillerana						X		
Tórtola					X	X	X	
Halcón perdiguero						X	X	
Halcón peregrino						X		
Cernícalo						X		
Carancho cordillerano						X		
Tagua andina	X	X						
Tagua cornuda	X							
Tagua gigante	X							
Churrete acanelado						X		
Minero común			X			X	X	
Minero grande								X
Minero chico			X			X	X	X
Minero de la Puna						X	X	X
Minero cordillerano			X				X	
Tijeral común								X
Bandurrilla común						X		
Golondrina bermeja	X					X		
Golondrina de dorso negro	X	X	X			X	X	
Bailarín chico común	X					X	X	
Chirihue verdoso			X		X	X	X	
Mero de Tarapacá			X			X		
Mero gaucho						X	X	X
Colegial del norte	X	X				X		
Dormilona cenicienta			X			X		X
Dormilona chica	X		X			X	X	X
Dormilona de nuca rojiza							X	X
Cazamoscas tijereta						X		
Garza grande	X							
Garza azul		X				X		
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						

CLASE	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal Salar	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	Matorral	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
Nombre Común								
Blanquillo	X							
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>31</b>	<b>15</b>	<b>8</b>
<b>MAMMALIA</b>								
Cabra						X		
Llama					X	X	X	
Guanaco					X	X	X	
Vicuña	X							
Perro						X	X	
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	X
Zorro chilla							X	
Puma			X					
Murciélago de Atacama						X		
Yaca del norte			X					
Burro			X		X	X	X	
Chinchilla cordillerana o de cola corta								X
Ratón andino			X		X	X	X	X
Lauchita de pie sedoso							X	
Ratón orejudo amarillo	X		X	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>4</b>
<b>TOTAL POR AMBIENTE</b>	<b>26</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>43</b>	<b>26</b>	<b>13</b>

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 13-5.

Fuente: Elaboración Propia.

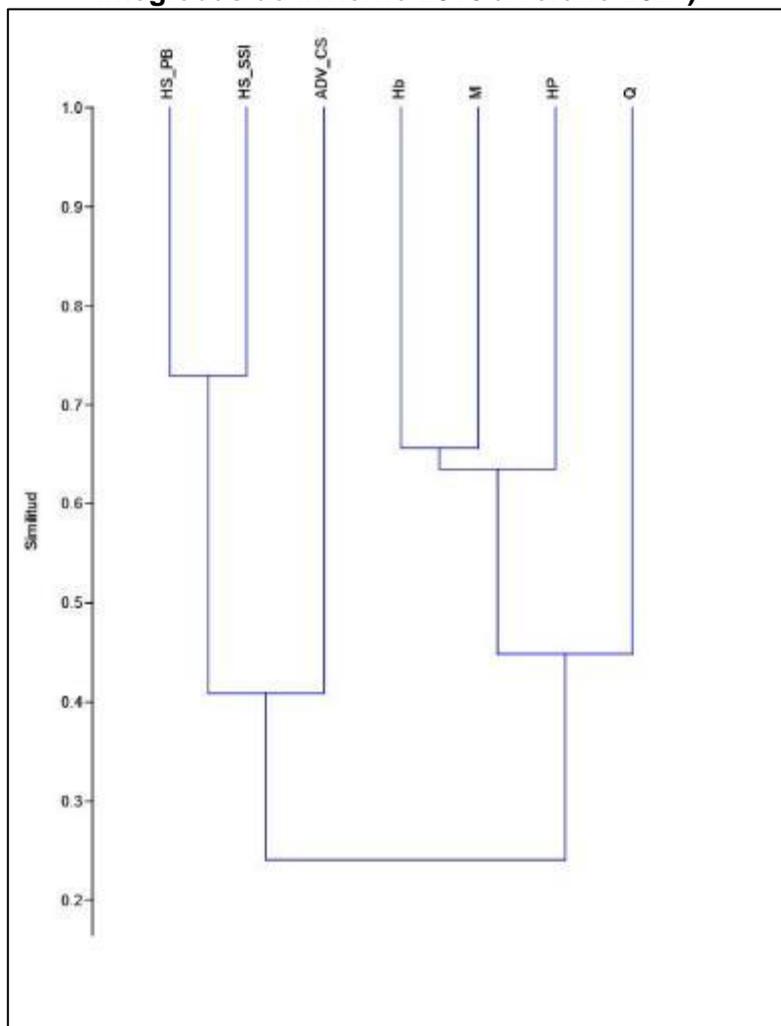
### 13.2.5 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 13-6** (el que agrupa las 16 campañas de monitoreo), se obtiene el fenograma acumulado de similitud de fauna (**Figura N° 13-6**).

Según los resultados de similitud, se forman dos grandes agrupaciones: los dos sistemas acuáticos de humedal salar y el humedal pajonal con los restantes ambientes terrestres. Los ambientes de humedal salar, correspondientes a La Punta y La Brava, por una parte, y a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna) por otra, resultaron ser los más similares en el total de campañas, agrupándose a una similitud cercana al 74%, par al que se asocia el ambiente área desprovista de vegetación costra salar, con una similitud

cercana al 41%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada se asocia al resto de los ambientes con una similitud cercana al 45%. Finalmente, ambos grupos se asocian entre sí a una similitud menor al 24% (**Figura N° 13-6**).

**Figura N° 13-6. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2024).**



**Abreviaturas de ambientes:** **ADV\_CS:** área desprovista de vegetación costra salar; **Hb:** herbazal; **HP:** humedal pajonal; **HS\_PB:** humedal salar La Punta y La Brava; **HS\_SSI:** humedal salar Salada, Saladita e Interna; **M:** matorral; **Q:** quebrada.  
 Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa, la mayor similitud se encuentra entre los ambientes de los dos sistemas de humedal salar (La Punta y La Brava, por una parte, y lagunas Salada, Saladita e Interna, por otra), y la explicación de su similitud está en la mayor riqueza compartida de su fauna de aves acuáticas. La otra agrupación de mayor similitud es entre el humedal pajonal, matorral y el herbazal, a los que se agrupan luego las quebradas. Estos cinco ambientes (mayoritariamente terrestres) poseen una composición de especies bastante similar (y probablemente asociado a mayores riquezas de mamíferos), básicamente porque en todos ellos debiera haber una cobertura vegetal relativamente similar, ofreciendo recurso alimenticio y refugio a la fauna de vertebrados. La única agrupación no esperada es el de

ADV costra salar, la que a pesar de ser el ambiente con muy baja riqueza (sólo dos especies), se agrupa a los dos ambientes de humedal salar.

Es importante señalar, que el análisis estadístico específico utilizado para agrupar posee un sesgo, al darle una importancia desmedida al hecho de compartir al menos una especie (destaca la composición sobre la riqueza). En términos específicos, el registro de un ejemplar poco frecuente y no esperado, en un ambiente que no le ofrece alimento o refugio, probablemente se deba a que es un ejemplar sólo de paso (no residente). En términos biológicos, estos datos inusuales se clasifican como “outliers”, y no se consideran o se ponderan de acuerdo a sus características (pudiendo efectivamente omitirse de los datos “normales”), de ahí la necesidad de la cautela que debe considerarse al analizar el fenograma. Esto es lo que explica la agrupación no esperada entre el ADV costra salar y los humedales salares, determinada porque el ADV posee sólo dos especies, una de las cuales (la gaviota andina) es compartida con los ambientes de humedales salares.

Al analizar los registros de presencia y abundancia de las especies, separados por ambientes, hay que considerar que los resultados son generales y que se deben considerar con cautela, por varias razones: a) muchas especies de fauna utilizan varios ambientes, por lo que éstos no son excluyentes; b) la presencia de una especie en un ambiente indica obviamente su uso, pero su ausencia no necesariamente implica que la especie no usa dicho ambiente (es probable que aún no se ha registrado la especie); c) para especies escasas y/o de gran movilidad, es muy probable que dada la baja cantidad de registros, éstos no den cuenta del uso total de ambientes por dichas especies; y d) el grado de división de los ambientes puede sesgar la validez de las extrapolaciones: mientras más divisiones de ambientes se hagan, los resultados son menos generales y deben ser más cautelosos.

### 13.2.6 Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas)

En el caso de la única especie de anfibio, ésta fue registrada sólo en verano 2018, con un ejemplar detectado en un punto de muestreo (FT1a), en el sector Tilopozo (100% de abundancia y 4% de frecuencia; **Anexos Fauna 1.8 y 1.9**). Lo anterior se podría explicar por la baja frecuencia de la especie (en un solo punto de muestreo), y que en general, es más probable registrarla en verano, estando menos activa en invierno.

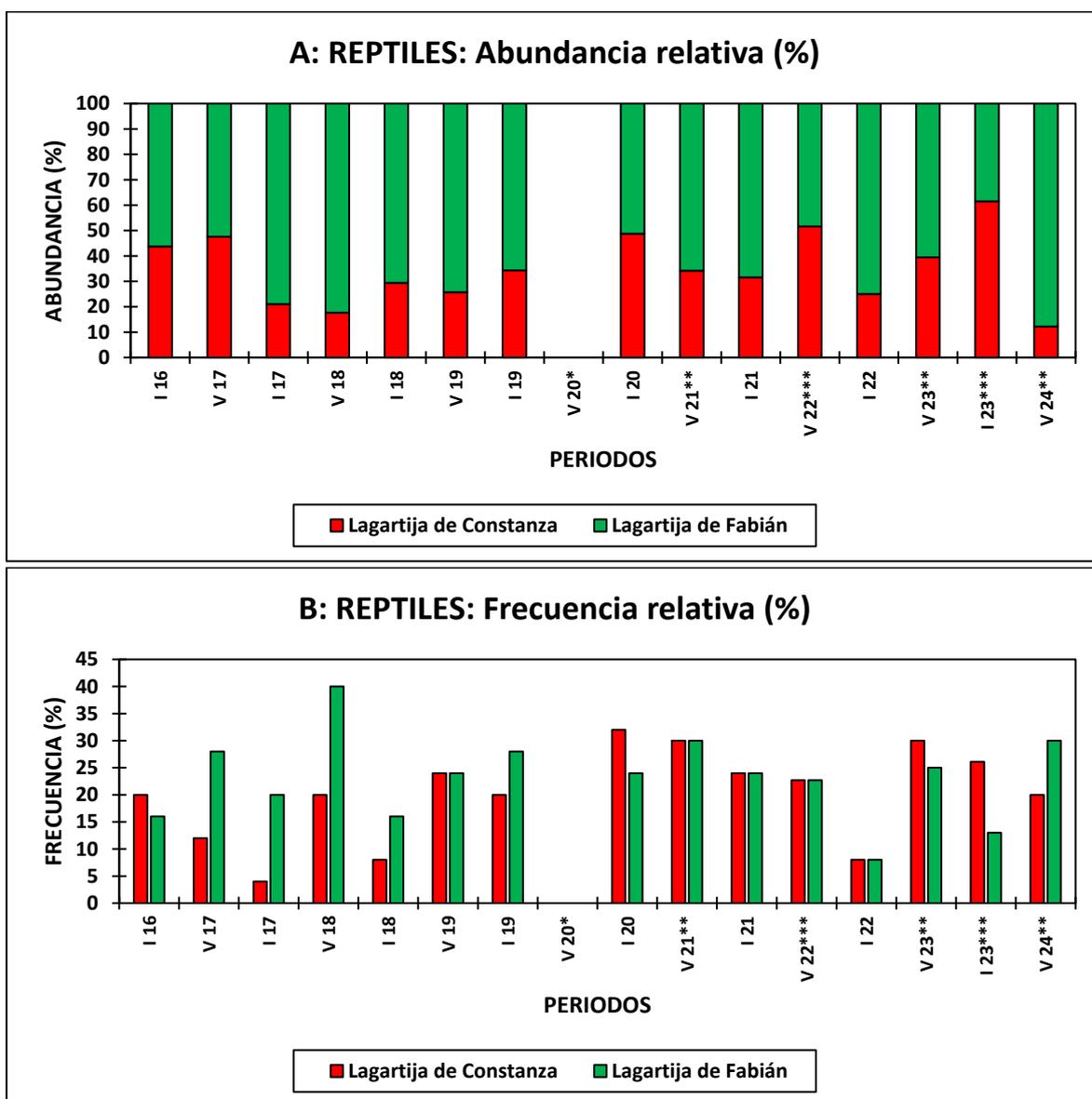
En el caso de las dos especies de reptiles, la abundancia absoluta total fue mayor en verano 2024 (con 49 ejemplares) y menor en invierno 2022 (con ocho individuos; **Anexo Fauna 1.8**).

En toda el área de estudio, en todas las campañas (excepto verano 2022 e invierno 2023), la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre seis a 43 ejemplares avistados (48,5% a 87,8% de abundancia relativa), mientras que la lagartija de Constanza representó entre 17,6% a un 61,5%, con dos a 20 individuos (**Figura N° 13-7, A, Anexo Fauna 1.8**).

En el caso de la frecuencia, el patrón se mantiene, ya que la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada entre dos a 10 de los 25 puntos de muestreo (lo que representa entre un 8% a un 40% de frecuencia relativa), mientras que la lagartija de Constanza tuvo entre un 4% a un 32% de frecuencia (**Figura N° 13-7, B**; variando en su registro entre uno a ocho puntos de muestreo; **Anexo Fauna 1.8**).

Cabe destacar que en verano 2021, 2023 y 2024 no se muestreó las lagunas de Peine, donde es frecuente la lagartija de Fabián, mientras que en verano 2022 e invierno 2023 el muestreo de dichas lagunas fue incompleto, lo cual explicaría algunos cambios de abundancia relativa.

**Figura N° 13-7. Abundancia (A) y Frecuencia (B) de los reptiles registrados en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2024), en toda el área de estudio.**



(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*) en las campañas de Verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (\*\*\*) en las campañas de Verano 2022 e invierno 2023 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo.

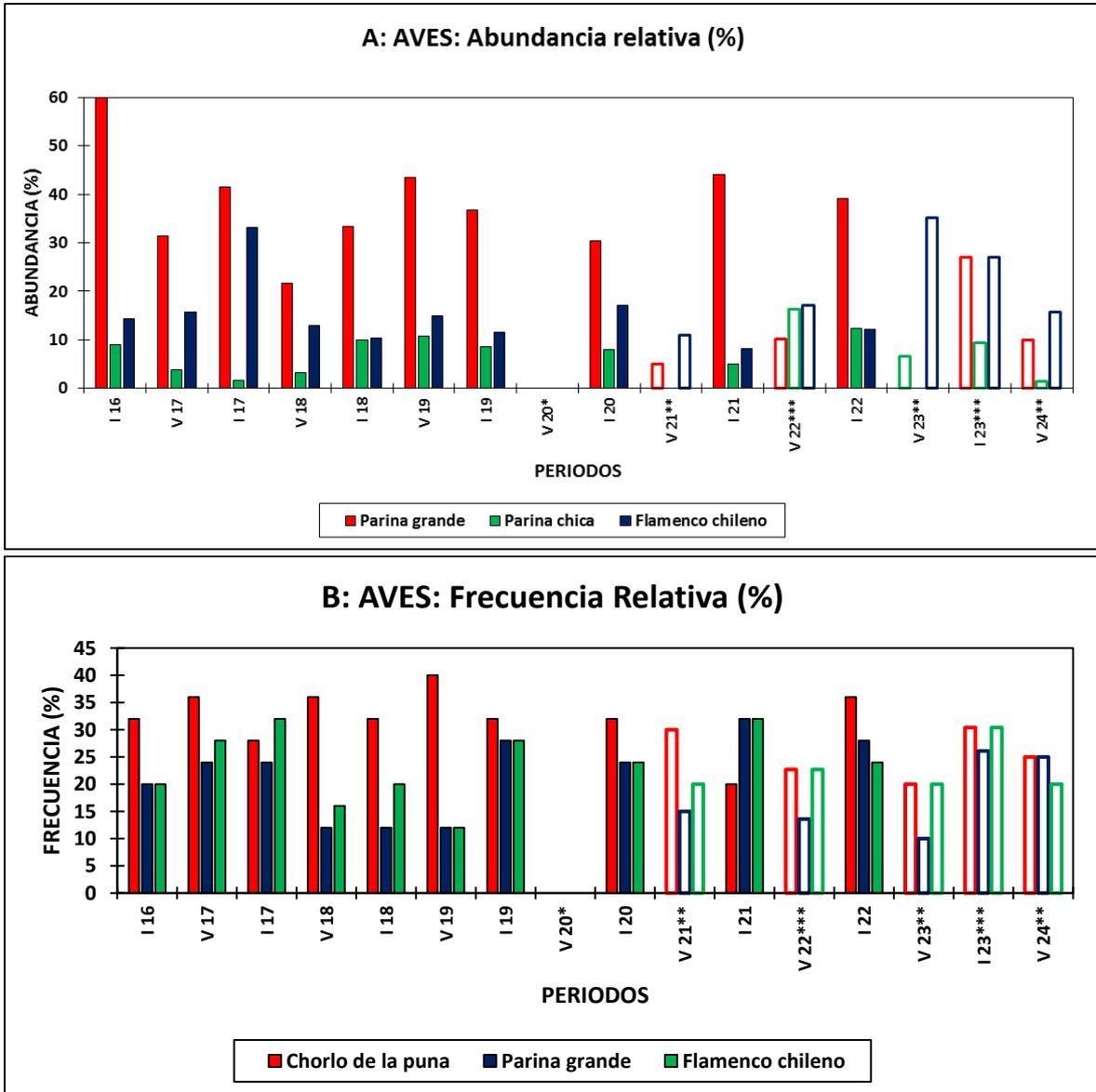
**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23:** Invierno 2023; **V24:** Verano 2024.

Fuente: Elaboración Propia.

En relación con las aves registradas (y considerando toda el área de estudio), la abundancia absoluta total fue mayor en invierno 2021 (con 806 ejemplares), y menor en verano 2023 (con 105 individuos), por lo que estos dos periodos de monitoreo se asocian a los extremos de abundancias (recordar de nuevo el muestreo no efectuado en las lagunas de Peine (en veranos de 2021, 2023 y 2024), que generalmente muestra los mayores valores de abundancia. De las especies más abundantes (y excluyendo del análisis los valores incompletos de verano 2021, 2023 y 2024, así como verano 2022 e invierno 2023), destaca la parina grande, con la mayor abundancia absoluta (356 ejemplares en invierno 2021, **Anexo Fauna 1.8**) y mayor abundancia relativa (59,8% en invierno 2016, **Figura N° 13-8 A, Anexo Fauna 1.8**) y un mínimo de 92 individuos (31,5% en verano 2017), seguida por el flamenco chileno (máximo de 125 individuos, con un 33,2% en invierno 2017, y mínimo de 46 ejemplares, con un 15,8% en verano 2017; **Figura N° 13-8 A, Anexo Fauna 1.8**). La tercera especie más abundante, la parina chica, alcanza un máximo de 16,24%, en verano 2022 (**Figura N° 13-8 A, Anexo Fauna 1.8**).

En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la Puna (entre cuatro a 10 puntos, variando entre un 20% a un 40% de frecuencia), el flamenco chileno (12% a 32%), la parina grande (10% a 32%; **Figura N° 13-8, B**), el caití (5% a 28%), el playero de Baird (8% a 40%), el pollito de mar (4% a 28%) y la gaviota andina (4% a 24%, aunque con periodos sin registro), mientras que el resto de las especies son poco frecuentes, variando entre uno a cinco puntos (4% a 20% de frecuencia; detalles en **Anexo Fauna 1.9**). Por otra parte, para verano 2021, 2022, 2023 y 2024, e invierno 2023, por las razones ya indicadas de muestreo incompleto, los valores de abundancia (sobre todo, aves totales y flamencos) no son comparables.

**Figura N° 13-8. Abundancia (A) y Frecuencia relativas para las aves registradas en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2024) en toda el área de estudio. Se muestran sólo las tres especies más abundantes y frecuentes.**



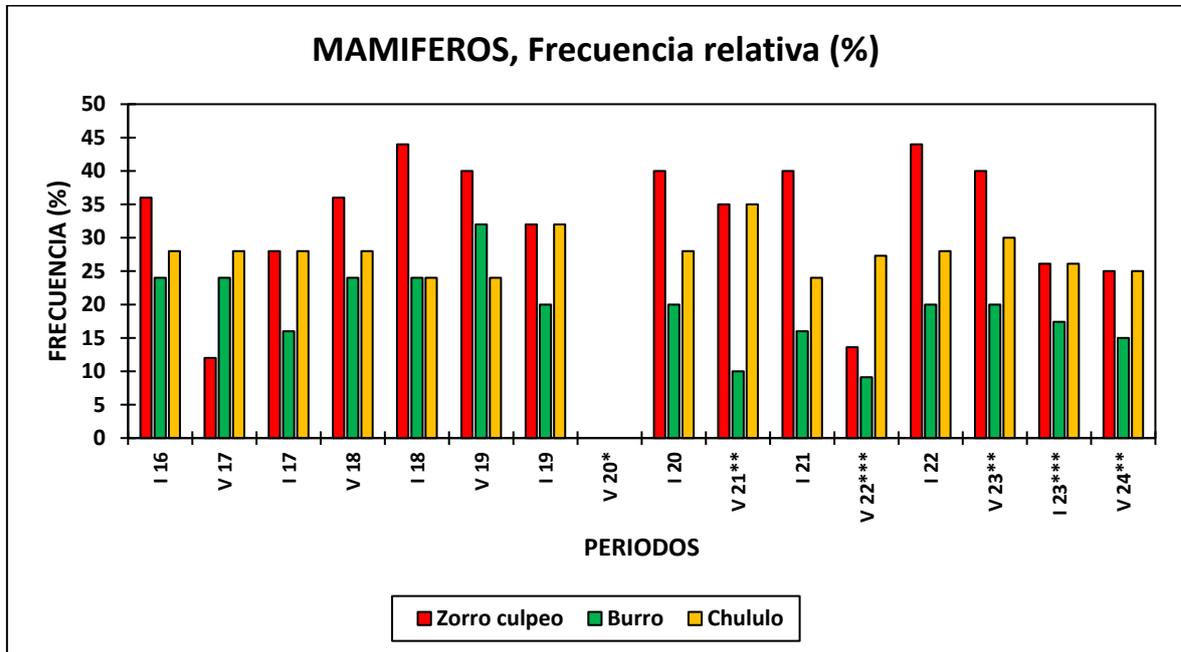
(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*) en las campañas de Verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (\*\*\*) en la campaña de Verano 2022 e invierno 2023 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo.

**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23:** Invierno 2023; **V 24:** Verano 2024.

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de los macromamíferos (y considerando toda el área de estudio), la especie más abundante fue el zorro culpeo, de la cual se observó un máximo de 11 individuos en nueve puntos de muestreo en verano 2018, además de un registro indirecto, y un mínimo de tres ejemplares en tres puntos en verano 2017, por lo que su frecuencia varía desde 12% a 44% (**Figura N° 13-9**). Le siguen el burro, con un máximo de ocho ejemplares registrados en un punto, además de cinco puntos con registros indirectos (en las campañas de invierno 2016, verano 2017 y verano 2018), lo que representa un 24% de frecuencia, además de un máximo de 32% de frecuencia en verano 2019 y un mínimo de 9,1% en verano 2022 (**Figura N° 13-9**). El tuco-tuco de Atacama presenta un máximo de abundancia de ocho individuos registrados en siete puntos en verano 2018, además del registro mayoritario por evidencia indirecta (cuevas activas) en siete puntos (en invierno 2016), por lo que tiene una frecuencia máxima de 35% (**Figura N° 13-9**). En el caso del puma, se registró sólo una evidencia indirecta en un punto de muestreo en verano 2018 (4% de frecuencia; **Anexos Fauna 1.8 y 1.9**). En general, los valores de abundancia y frecuencia de los macromamíferos de las últimas dos campañas (invierno 2023 y verano 2024), están dentro del rango de todo el monitoreo.

**Figura N° 13-9. Frecuencia relativa de las tres especies más frecuentes de megamamíferos en el periodo de monitoreo (invierno 2016 a verano 2024), en toda el área de estudio.**



(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*) en las campañas de Verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (\*\*\*) en las campañas de Verano 2022 e invierno 2023 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo.

**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23:** Invierno 2023; **V24:** Verano 2024.

Fuente: Elaboración Propia.

### 13.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)

En un análisis global, comparando las 16 campañas realizadas, y en cuanto a la abundancia relativa por ambiente (estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentan la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal (máximo de 4,5 individuos/transecto en invierno 2019 e invierno 2020), seguido por el humedal salar (con 0,8 a 7,2 individuos/transecto, en invierno 2016 y verano 2024, respectivamente), la quebrada (máximo de 3,0 ind/transecto, en invierno 2020), el herbazal (máximo 2,5 ind/transecto, en verano 2021) y el matorral (con máximo de 1,6 individuos/transecto, en verano 2023), mientras que el ambiente de ADV costra salar no ha registrado ejemplares (**Tabla N° 13-7**).

En el caso de las aves, y para todas las campañas, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, variando entre 13,3 individuos/transecto en verano 2022 (con restricciones de acceso) a 53,5 ind/transecto en invierno 2021; seguido por el matorral (máximo de 27,5 ind/transecto, en invierno 2021), el humedal pajonal, variando entre 3,0 ind/transecto (en invierno 2016, verano e invierno 2017) a 18,0 ind/transecto (invierno 2019), y la quebrada (máximo de 15,0 ind/transecto, en verano 2017), Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal (máximo de 1,5 ind/transecto, en invierno 2016) y el área desprovista de vegetación costra salar, con sólo 1,0 ind/transecto (en invierno 2020 e invierno 2021; **Tabla N° 13-7**).

Para los macromamíferos, se comparó la abundancia y frecuencia relativa por especie, y dado que para esta clase las evidencias son muy diferentes (incluyendo registros indirectos), no es aplicable un análisis grupal.

**Tabla N° 13-7. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 16 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2024).**

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																															
	Humedal salar (11)														ADV costra salar (1)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24
REPTILIA	0,8	1,0	1,4	2,5	1,1	2,4	2,1	-	1,9	4,2	1,2	1,9	0,5	3,8	0,6	7,2	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	
AVES	38,7	24,5	33,6	34,2	32,9	39,5	44,2	-	33,2	22,3	53,5	13,3	38,4	15,0	35,6	21,2	0	0	0	0	0	0	0	-	1,0	0	1,0	0	0	0	0	
CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																															
	Herbazal (2)														Humedal pajonal (2)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24
REPTILIA	0,5	0	0	0,5	0	0	0	-	1,0	2,5	0,5	0	0	0,5	0	0	2,0	4,0	2,0	1,0	2,5	2,5	4,5	-	4,5	2,0	0	2,5	0,5	0,5	1,5	0,5
AVES	1,5	0	0	0	0	0	1,0	-	0,5	0	0	0	0	0	0	0	3,0	3,0	3,0	13,0	3,5	6,0	18,0	-	8,5	5,0	4,0	4,5	4,0	7,0	14,5	5,5
CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																															
	Matorral (8)														Quebrada (1)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24
REPTILIA	0,1	0,3	0	0,4	0	0,5	0,4	-	0,8	0,4	0,6	1,4	0,1	1,6	0,5	0,6	1,0	0	0	0	0	0	0	-	3,0	1,0	0	0	0	0	1,0	0
AVES	0,1	0,1	0	13,5	18,0	1,4	6,6	-	0,6	6,5	27,5	0,3	15,9	0,3	0,4	0,3	1,0	15,0	0	10,0	1,0	6,0	0	-	3,0	3,0	5,0	3,0	0	0	0	0

(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*) en la campañas de Verano 2021 y 2023 se efectuaron 6 de los 11 puntos de muestreo para este ambiente, por restricciones de acceso. (\*\*\*) en la campaña de Verano 2022 se efectuaron 8 de los 11 puntos de muestreo para este ambiente, por restricciones de acceso. Nota: entre paréntesis, se indica el número de transectos realizados por cada ambiente.

**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; ; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; ; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23:** Invierno 2023; **V 24:** Verano 2024. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió (en las campañas en que se encontró, con uno a 12 ejemplares), entre 0,8% (en varios ambientes y campañas) a 13,3% (en la quebrada, en verano 2021). En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% (en tres ambientes y cuatro campañas) a un 21,7% (en el ambiente de humedal pajonal en invierno 2019; **Tabla N° 13-8**). La yaca del norte y la lauchita de pie sedoso se registraron en la campaña de verano 2019, ambas con un ejemplar capturado en el ambiente de matorral, con un IDR de 0,8%, además de un ejemplar de la yaca del norte en matorral, en invierno 2019 (**Tabla N° 13-8**).

Comparando la abundancia relativa total de las dos especies de micromamíferos más abundantes entre las campañas, prácticamente no hay diferencia de abundancia en verano e invierno, ya que ambas especies presentan alta variación. Lo anterior se verifica comparando los rangos, sobre todo para el ratón orejudo amarillo, cuyo rango de los veranos es muy similar (0,8% a 13,3%) al de los inviernos (0,8% a 11,7%). Para el ratón andino, en cambio, el IDR varía entre 0,8% a 21,7% (en invierno), y de 0,8% a 13,3% (en verano; **Tabla N° 13-8**).

**Tabla N° 13-8. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2024.**

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPAÑA												
Nombre común	AMBIENTES											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
<b>INVIERNO 2016</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	1,7	2/120	0,8	1/120	3,3	2/60
Ratón orejudo amarillo	3,3	2/60	0,0	0/60	0,8	1/120	2,5	3/120	1,7	2/120	11,7	7/60
<b>VERANO 2017</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	0,8	1/120	0,8	1/120	0,0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	3,3	4/120	3,3	4/120	9,2	11/120	6,7	4/60
<b>INVIERNO 2017</b>												
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	2,5	3/120	1,7	2/120	3,3	2/60
<b>VERANO 2018</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	0,8	1/120	0,0	0/120	0,0	0/120	5,0	3/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	6,7	4/60	0,8	1/120	0,8	1/120	2,5	3/120	6,7	4/60
<b>INVIERNO 2018</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	2,5	3/120	1,7	2/120	0,8	1/120	5,0	3/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	1,7	2/120	0,8	1/120	1,7	1/60
<b>VERANO 2019</b>												
Yaca del norte	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	0,0	0/120	0,8	1/120	0,0	0/60
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	13,3	16/120	10,0	12/120	1,7	1/60
Lauchita de pie sedoso	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	0,0	0/120	0,8	1/120	0,0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	3,3	4/120	1,7	2/120	10,0	12/120	1,7	1/60
<b>INVIERNO 2019</b>												
Yaca del norte	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	0,0	0/120	0,8	1/120	0,0	0/60
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	21,7	26/120	0,8	1/120	0,0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	3,3	4/120	2,5	3/120	1,7	2/120	3,3	2/60
<b>VERANO 2020*</b>												
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>INVIERNO 2020</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	1/60	2,5	3/120	0,0	0/180	0,0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	1/60	2,5	3/120	3,9	7/180	0,0	0/60
<b>VERANO 2021</b>												
Ratón andino	0,0	0/30	0,0	0/30	0,0	0/60	11,7	7/60	0,0	0/60	3,3	1/30
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/30	0,0	0/30	1,7	1/60	0,0	0/60	1,7	1/60	13,3	4/30
<b>INVIERNO 2021</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	0,0	0/180	0,0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	3,3	2/60	0,8	1/120	1,7	3/180	0,0	0/60
<b>VERANO 2022</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	4,2	5/120	0,0	0/120	3,3	2/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	5,8	7/120	0,8	1/120	1,7	1/60

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPAÑA												
Nombre común	AMBIENTES											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
<b>INVIERNO 2022</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	0,8	1/120	5,8	7/120	0,0	0/120	0,0	0/60
<b>VERANO 2023</b>												
Ratón andino	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	5,0	6/120	3,3	4/120	0,0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	0,0	0/60	0,0	0/120	0,0	0/120	0,8	1/120	1,7	1/60
<b>INVIERNO 2023</b>												
Ratón andino	0,0	0/20	0,0	0/20	0,0	0/40	7,5	3/40	2,5	1/40	5,0	1/20
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/20	0,0	0/20	2,5	1/40	5,0	2/40	7,5	3/40	0,0	0/20
<b>VERANO 2024</b>												
Yaca del norte	0,0	0/60	-	-	0,0	0/120	0,0	0/120	0,8	1/120	0,0	0/60
Ratón andino	0,0	0/60	-	-	0,0	0/120	0,0	0/120	4,2	5/120	3,3	2/60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0/60	-	-	1,7	2/120	0,0	0/120	8,3	10/120	1,7	1/60

(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Donde: **IDR** = (N° Individuos / trampa-noche) \*100; **N / TR** = N° Individuos totales trampeados / N° Trampas-noche.

**AMBIENTES:** **HS:** Humedal salar; **ADV\_CS:** área desprovista de vegetación costra salina; **HB:** herbazal; **HP:** humedal pajonal; **M:** matorral; **Q:** quebrada.

Fuente: Elaboración Propia.

### 13.2.8 Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres

En la línea de base del proyecto, se establecieron diferentes escalas de comparación (tanto en riqueza y composición como en abundancia), y como controles a comparar se estableció el **total acumulado de varias campañas** (entre 2006 a 2015). En particular, para comparar con las campañas de invierno, se consideró la última campaña histórica de línea de base de invierno realizada (julio 2014), antes del primer monitoreo PMB de invierno 2016; y para comparar con las campañas de verano, se consideró la última campaña histórica de línea de base de verano realizada (febrero 2015) antes del primer monitoreo PMB de verano realizado en 2017.

Si bien este informe anual presenta un enfoque estacional (comparativa entre veranos e inviernos), para efectos de fauna y del análisis de sus rangos históricos, se incorpora información de LdB de verano dado que en esta temporada se presentan datos que marcan máximos o mínimos históricos para algunos grupos de fauna, que de otra manera no se podría analizar integralmente, por ausencia de un parámetro de referencia (Ej. Anfibios).

De todas las campañas de Línea de Base, las de invierno 2014 y verano 2015 son las únicas posibles de comparar en términos de riqueza y abundancia (y en especial para las aves), mientras que el resto son comparables básicamente en la riqueza y composición de la fauna, pero siempre con la debida cautela, ya que no se incluyen los mismos ambientes y sectores que en este monitoreo).

Además, es necesario destacar que en la campaña de Línea de Base de verano 2015, los datos aparecen agrupados en sistemas lagunares, no pudiéndose separar en los sistemas de La Punta y La Brava y Peine (como sí está separado en la campaña de Línea de Base de invierno 2014, por lo que, a pesar de no ser de la misma estacionalidad, es la única disponible). De este modo, **para la abundancia de aves, primero se hace una comparación general de todas las lagunas** (con dos campañas de Línea de Base, invierno y verano), y luego se realiza una comparación más específica, separando los dos sectores: La Punta-La Brava y Peine, aunque con una sola campaña de Línea de Base (invierno 2014).

Finalmente, para el caso de los micromamíferos y reptiles, debido a la carencia de datos históricos cuantitativos comparables en el PMB, la comparación se hará entre las campañas de monitoreo.

#### 13.2.8.1 Riqueza y composición

En una primera escala gruesa de comparación, las 68 especies registradas en estas 16 campañas de monitoreo sobrepasan la riqueza acumulada de 62 especies observadas en varias campañas estacionales y de varios años (línea base del proyecto desde 2006 a verano 2015), detalladas en el PMB, 2015 (**Tabla N° 13-9**). En dicho informe, se registra un total acumulado de un anfibio, dos reptiles, 49 aves y 10 mamíferos, y, como era de esperar, casi todas las especies registradas en las campañas de invierno 2016 a verano 2023 se incluyen dentro de las 62 especies del total acumulado. Del total de 68 especies

observadas en el periodo de monitoreo de estos últimos siete años (2016 a 2024), 22 especies no se habían registrado en el PMB (previo a 2015), y son:

- un anfibio: el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*),
- 16 aves: garza grande (*Ardea alba*), piuquén (*Oressochen melanopterus*), tagua andina (*Fulica ardesiaca*), tagua gigante (*Fulica gigantea*), tagua cornuda (*Fulica cornuta*), blanquillo (*Podiceps occipitalis*), garza azul (*Egretta caerulea*), churrete acanelado (*Cinclodes fuscus*), aguilucho de la puna (*Geranoaetus poecilochrous*), minero grande (*Geositta isabellina*), minero de la puna (*G. punensis*), dormilona cenicienta (*Muscisaxicola cinereus*), dormilona de frente roja (*M. rufivertex*), águila (*Geranoaetus melanoleucus*), minero cordillerano (*Geositta rufipennis*) y tórtola cordillerana (*Metriopelia melanoptera*).
- cinco mamíferos: el puma (*Puma concolor*), la chinchilla cordillerana (*Chinchilla chinchilla*), el murciélago de Atacama (*Myotis atacamensis*), y dos especies domesticadas (el perro y la llama).

Todos estos casos corresponden al primer registro de estas especies para la zona, ya que no aparecen en ninguna de las campañas anteriores al PMB reportadas.

Es importante mencionar que, las campañas preliminares al monitoreo poseen diferentes esfuerzos de muestreo (una, dos o varias estaciones) y se realizan en distintas estaciones del año, por lo que la comparación no es equivalente, sino más bien una comparación general. En particular, comparado con el total acumulado con siete campañas de línea de base de RWL (desde junio de 2008 a febrero de 2015), el que corresponde a 45 especies (un anfibio, dos reptiles, 32 aves y 10 mamíferos, **Tabla N° 13-9**), la composición de especies de estas 16 campañas del PMB, desde agosto 2016 a marzo 2024, es mayor (45 versus 68, respectivamente), variando la proporción básicamente para la clase aves (32 versus 49, con las 16 nuevas especies registradas a la fecha). La información de 2006 no corresponde a datos propios de la Línea de Base del Proyecto, sino que obedece a estudios más generales citados en el PMB (SQM 2006-2012 y MEL 2009), y su inclusión tuvo por objetivo complementar la riqueza y composición conocida de especies en el área de estudio, llegando con esta información a una riqueza total de 62 especies, pero que no se utilizan directamente para efectos comparativos de abundancia.

**Tabla N° 13-9. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, verano e invierno 2022, verano e invierno 2023 y verano 2024. (En toda el área de estudio).**

CLASE	CAMPAÑAS																							
	LÍNEA BASE (PMB)						TOTAL ACUMULADO		ACTUAL															
	Jun/Sep 2008	mar-10	sept-13	abr-14	jul-14	feb-15	Jun 08-Feb 15	+ Otros estudios (2006-2015)*	ago-16	mar-17	ago-17	abr-18	ago-18	abr-19	sept-19	ago-20	abr-21	sept-21	mar-22	ago-22	mar-23	oct-23	mar-24	Ago 2016-Mar 2024
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Reptiles	1	2	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	19	17	27	21	21	18	22	21	19	10	16	15	15	17	49
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	6	4	6	5	8	6	5	5	5	6	9	8	8	10	16
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>45</b>	<b>62</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>68</b>

\*Incluye además dos estudios adicionales (i.e. SQM 2006-2012 y MEL 2009), cuya información está contenida en PMB (2015). Nota: en verano 2020, no se pudo realizar el monitoreo, por la pandemia de COVID 19.

Fuente: Elaboración Propia en base a PMB (2015).

A una escala menor o local, de riqueza de especies por sistemas, como a) La Punta y La Brava y b) Peine (Salada, Saladita e Interna, como los sistemas probablemente más sensibles, como ambientes acuáticos), en el total acumulado la composición de especies en ambos sistemas es bastante similar. En términos referenciales, a partir de la revisión de lo presentado en Adenda 5, Anexo 2 del EIA, para el sistema La Punta y La Brava, en el total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones, y anterior a estos monitoreos), se han registrado 14 especies de aves, un mamífero y un reptil, mientras que en el PMB las 16 campañas de invierno 2016 a verano 2024 se han observado 26 especies (un reptil, 22 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-6**).

Igualmente, a partir de la línea de base de la Adenda 5, Anexo 2 del EIA, el Sistema Peine (considerando sólo el ambiente humedal salar formado por las lagunas Salada, Saladita e Interna) presenta un total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones) de 17 especies (un reptil y 16 aves), mientras que en el PMB las 16 campañas de invierno 2016 a verano 2024 se registraron 17 especies (un reptil, 15 aves y un mamífero; **Tabla N° 13-6**), pese a que en los cuatro último veranos, Peine fue monitoreado parcialmente debido a restricciones de acceso. Considerar, además que en el Sistema Peine también se encuentra un ambiente terrestre (matorral), el cual presenta especies identificadas en el monitoreo, éste no fue considerado en la LB, por lo que no se puede comparar. Como es esperable, la riqueza de ambos sistemas de las campañas de invierno 2016 hasta el verano 2024 es muy similar (Peine) o mayor (La Punta y La Brava) al total acumulado en varias campañas anteriores; con excepción de varias especies nuevas para el área, y que no habían sido registradas previo al año 2016, como el pato jergón chico (observado en verano 2018 en Peine), el piuquén (observado en verano 2018 en La Punta y la Brava), el pitotoy chico (observado en verano 2018 en La Punta y la Brava), la tagua andina y tagua gigante (ambas observadas en invierno 2017 en Peine y La Punta y la Brava, respectivamente), la garza grande (observada en verano 2017 en La Punta y la Brava), la tagua cornuda y el blanquillo (observadas en invierno de 2018 en La Punta y La Brava) y la garza azul (registrada en verano 2019 en Peine).

En la escala de riqueza por campaña estacional, y comparando el registro de las campañas de invierno 2016 a invierno 2023, con la última campaña de invierno de líneas de base anterior (julio 2014), se observa que la riqueza total de los inviernos del monitoreo es mayor a la registrada en la línea base, con 17 especies (dos reptiles, 10 aves y cinco mamíferos). Así, la riqueza de los inviernos de monitoreo (PMB) varían entre un mínimo de 22 especies, en invierno de 2016 (de las cuales dos son reptiles, 15 son aves y cinco son mamíferos), hasta un máximo de 29 especies, en invierno 2020 (dos reptiles, 22 aves y cinco mamíferos). Considerando la identidad de las especies, es originalmente la misma, por lo que la composición de fauna es similar, siendo en este caso la fauna de invierno de Línea de Base (2014) un subconjunto de la fauna registrada en los inviernos recientes de monitoreo (**Tabla N° 13-9**).

En la otra estación, comparando el registro de las campañas de verano del PMB (2017 a verano 2024), con la última campaña de verano de líneas de base anterior (verano 2015), se observa que la riqueza total de los veranos del monitoreo es mayor a la registrada en febrero de 2015, con 17 especies (un reptil, 10 aves y seis mamíferos). Así, los valores del

monitoreo de verano varían entre un mínimo de 18 especies, en verano de 2022 (con dos reptiles, 10 aves y seis mamíferos), hasta un máximo de 36 especies, en verano 2018 (un anfibio, dos reptiles, 27 aves y seis mamíferos; **Tabla N° 13-9**). Cabe señalar que el valor de riqueza para los veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024, no abarca todo lo que pudiera esperarse, dado que la diferencia está principalmente en aves, ya que como se ha mencionado no se pudo acceder a todos los puntos de monitoreo, sin embargo, se observa que se mantiene superior al valor de verano 2015 (LB). La identidad de las especies es inicialmente la misma, por lo que la composición de fauna es similar, siendo en este caso la fauna de verano de Línea de Base (2015) un subconjunto de la fauna registrada en los veranos recientes de monitoreo.

Específicamente, en invierno, para las aves del sistema acuático de La Punta y La Brava, la riqueza de especies observada en todos los inviernos de monitoreo es mayor a la observada en invierno de 2014 (con seis especies), y los valores varían entre un mínimo de nueve especies (invierno 2016) hasta un máximo de 13 especies, en invierno 2017; **Tabla N° 13-10**). Similar resultado se observa en el Sistema Peine (sólo las lagunas Salada, Saladita e Interna), con seis aves en invierno 2014 y siete a 10 especies en los siete inviernos de monitoreo (**Tabla N° 13-10**). En relación a la composición de especies, y para ambos sistemas, las especies de aves registradas en 2014 son un subconjunto de las observadas en 2016 a 2023, y el caso más interesante se observa en La Punta y La Brava, con la ausencia de ejemplares de parina grande, y en menor medida, de gaviota andina, en 2014; mientras que en las lagunas Salada, Saladita e Interna, destaca la ausencia de pollito de mar tricolor, playero de Baird y gaviota andina en 2014 (**Tabla N° 13-10**).

En verano, para las aves, en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine, la riqueza de especies observada en las estaciones estivales del monitoreo es mayor, en general, a la observada en verano de 2015 (con siete especies), y los valores de monitoreo varían entre un mínimo de siete especies (verano 2022) a un máximo de 14 especies, en verano de 2018 (**Tabla N° 13-10**). Cabe recordar que en verano 2020 no se efectuó muestreo, debido a la pandemia por COVID-19 y que las campañas de verano 2021, 2022, 2023 y 2024 no cuentan con la totalidad de puntos de muestreo. Con relación a la composición de especies, y para ambos sistemas, las especies de aves registradas en 2015 son un subconjunto de las observadas en 2017 a 2024, y tal vez el caso más interesante es la ausencia de ejemplares de parina chica, pollito de mar tricolor, gaviota andina y pato juarjuel en 2015 (**Tabla N° 13-10**).

**Tabla N° 13-10. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas del PMB (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2024).**

Nombre común	Humedal Salar																										
	La Punta-La Brava									Peine (Salada, Saladita e Interna)									La Punta-La Brava y Peine								
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2021	Invierno 2023	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2023	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020	Verano 2021	Verano 2022	Verano 2023	Verano 2024
Aguilucho común								X																			
Pato colorado																			X								
Pato jergón chico																					X						
Pato juarjua	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X		X		X	X	
Piuquén																					X						
Chorlo de la puna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Gaviota andina		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X				
Caití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X
Playero de Baird	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Pollito de mar tricolor			X		X	X	X				X				X					X	X			X			X
Pitotoy chico															X											X	
Tagua andina												X															X
Tagua cornuda				X																							
Tagua gigante			X																								
Golondrina bermeja																						X					
Golondrina de dorso negro			X		X	X	X		X		X	X	X	X		X	X						X	X			
Bailarín chico común		X	X	X	X	X			X											X	X			X			

Nombre común	Humedal Salar																										
	La Punta-La Brava									Peine (Salada, Saladita e Interna)									La Punta-La Brava y Peine								
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2021	Invierno 2023	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2023	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020	Verano 2021	Verano 2022	Verano 2023	Verano 2024
Colegial del norte			X	X		X	X	X											X	X	X	X			X	X	X
Garza azul																						X					
Garza grande																				X							
Flamenco andino o Parina grande		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Flamenco de James o Parina chica	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X			X		X
Flamenco chileno	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Blanquillo				X																							
<b>TOTAL POR AMBIENTE</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>Ne</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>10</b>

(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*) en las campañas de verano de 2021, 2023 y 2024 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) en la campaña de 2022 no se consideran 3 puntos (lagunas Salada y Saladita), ya que no se tuvo acceso por restricciones de acceso por parte de la Comunidad.

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la composición de especies de reptiles, se registran dos especies en las campañas de monitoreo estivales (2017 a 2019, 2021 a 2024): la lagartija de Constanza y lagartija de Fabián, mientras que, en la campaña de Línea de Base de febrero de 2015, se registró solo la lagartija de Fabián. En invierno, las dos especies registradas en las campañas de invierno 2016 a 2023 (lagartija de Constanza y lagartija de Fabián) son las mismas observadas en las campañas de Línea de Base de 2014 (dos campañas: Abril y Julio; **Tabla N° 13-11**), por lo que se mantiene dentro de lo observado en LB.

Algo similar ocurre para las especies de mamíferos, con igual o mayor riqueza de especies en las campañas de verano de monitoreo (cinco a 10 especies) que en la campaña de Línea de Base de verano de 2015 (cinco especies), mientras que en los inviernos la riqueza del monitoreo (con cuatro a nueve especies) es similar o mayor a la Línea de Base de 2014 (cinco especies). Algunas especies son compartidas en casi todos los periodos, como el zorro culpeo, el tuco-tuco de Atacama y los roedores ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) y ratoncito andino (*Abrothrix andina*), además del burro (*Equus asinus*). Para los veranos, existen algunas diferencias entre verano de 2015 (LB) con el monitoreo, como la presencia de guanaco (*Lama guanicoe*, verano 2017), puma (*Puma concolor*, verano 2018), lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), yaca de la puna (*Thylamys pallidior*, veranos 2019 y 2024), y vicuña (*Vicugna Vicugna*, en verano 2022). En invierno, hay leves diferencias, como la presencia de la yaca del norte y la ausencia de burros y vicuñas, en las campañas de 2014, y la presencia de la chinchilla cordillerana en 2022 (**Tabla N° 13-11**).

**Tabla N° 13-11. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas del PMB (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2024).**

CLASE	CAMPAÑA																	
	2014 (PMB)*	Verano 2015 (PMB)	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020	Invierno 2020	Verano 2021	Invierno 2021	Verano 2022	Invierno 2022	Verano 2023	Invierno 2023	Verano 2024
<b>ANFIBIOS</b>																		
Sapo espinoso						X												
<b>Subtotales anfibios</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Ne</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>REPTILES</b>																		
Lagartija de Constanza	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Subtotales reptiles</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>Ne</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>MAMÍFEROS</b>																		
Cabra																X	X	
Guanaco															X	X	X	X
Llama				X											X		X	X
Vicuña														X				
Perro															X			X
Zorro chilla			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Zorro culpeo	X	X						X							X			X
Murciélago de Atacama						X												
Puma																X		
Yaca del norte	X							X	X									X
Burro		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Chinchilla cordillerana o de cola corta															X			
Lauchita de pie sedoso			X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Ratón andino	X	X						X										
Ratón orejudo amarillo	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Subtotales mamíferos</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>Ne</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>RIQUEZA TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>Ne</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>12</b>

El asterisco (\*) indica que se incluyen dos campañas (abril y julio). (\*\*) En verano de 2020 no se efectuó muestreo, por la pandemia COVID-19. Ne = No evaluado

Fuente: Elaboración Propia.

### 13.2.8.2 Abundancia

- **Aves**

Para las aves, en la primera escala de comparación, agrupando todos los sistemas lagunares (La Punta-La Brava-Peine) y considerando tanto las 16 campañas de monitoreo como las dos campañas de Línea de Base, se han registrado 25 especies en total (**Tabla N° 13-12**). De ellas, sólo una especie (el pato colorado) se ha registrado en la Línea de Base y no en el monitoreo (con dos ejemplares solamente, en verano 2015; **Tabla N° 13-12**). Por el contrario, 16 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con tres especies numéricamente abundantes, como el pollito de mar tricolor (con rango entre cero a 44 ejemplares), la gaviota andina (cero a 32 individuos) y el bailarín chico (cero a 14 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (uno a cuatro individuos; **Tabla N° 13-12**). Finalmente, ocho especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos, quienes dominan numéricamente los muestreos (**Tabla N° 13-12**).

**Tabla N° 13-12. Comparación de la abundancia de aves en los sistemas lagunares (La Punta-La Brava y Peine), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.**

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)																		
Nombre Común	Línea Base		Monitoreos															
	Invierno 2014	Verano 2015	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020	Invierno 2020	Verano 2021	Invierno 2021	Verano 2022	Invierno 2022	Verano 2023	Invierno 2023	Verano 2024
Aguilucho común	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pato colorado	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pato jergón chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pato juarjual	8	0	7	4	6	11	6	4	4	5	10	5	0	4	2	6	4	
Piuquén	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Chorlo de la puna	5	9	20	26	15	50	28	31	45	19	37	9	16	16	5	13	16	
Gaviota andina	0	0	6	3	11	1	12	5	32	14	1	16	0	22	0	15	0	
Caití	16	2	15	14	19	33	14	40	14	9	2	14	0	10	5	17	7	
Playero de Baird	1	22	5	23	18	19	13	28	42	71	38	50	29	9	23	33	55	
Pollito de mar tricolor	0	0	4	44	2	42	0	0	11	21	10	12	0	0	0	0	3	
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	10	0	0	
Tagua andina	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tagua gigante	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Golondrina de dorso negro	0	0	3	0	4	0	3	0	5	5	1	2	8	1	0	10	0	
Bailarín chico común	0	0	2	4	4	14	7	0	4	1	3	0	0	0	0	2	0	
Colegial del norte	0	2	0	2	2	2	1	4	0	2	0	3	2	4	1	0	3	
Dormilona chica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)																		
Nombre Común	Línea Base		Monitoreos															
	Invierno 2014	Verano 2015	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020	Invierno 2020	Verano 2021	Invierno 2021	Verano 2022	Invierno 2022	Verano 2023	Invierno 2023	Verano 2024
Garza azul	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Garza grande	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Flamenco andino o Parina grande	135	32	262	92	156	113	172	202	212		119	10	358	12	218	7	95	14
Flamenco de James o Parina chica	79	0	39	11	6	17	51	50	50		31	0	40	19	69	0	33	2
Flamenco chileno	32	15	63	46	125	67	53	69	67		67	22	67	20	68	37	95	22
Blanquillo	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>276</b>	<b>84</b>	<b>426</b>	<b>270</b>	<b>370</b>	<b>376</b>	<b>362</b>	<b>435</b>	<b>486</b>	<b>Ne</b>	<b>365</b>	<b>134</b>	<b>576</b>	<b>106</b>	<b>422</b>	<b>90</b>	<b>320</b>	<b>127</b>

(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (\*\*) en las campañas de verano de 2021 y 2023 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

Fuente: Elaboración propia

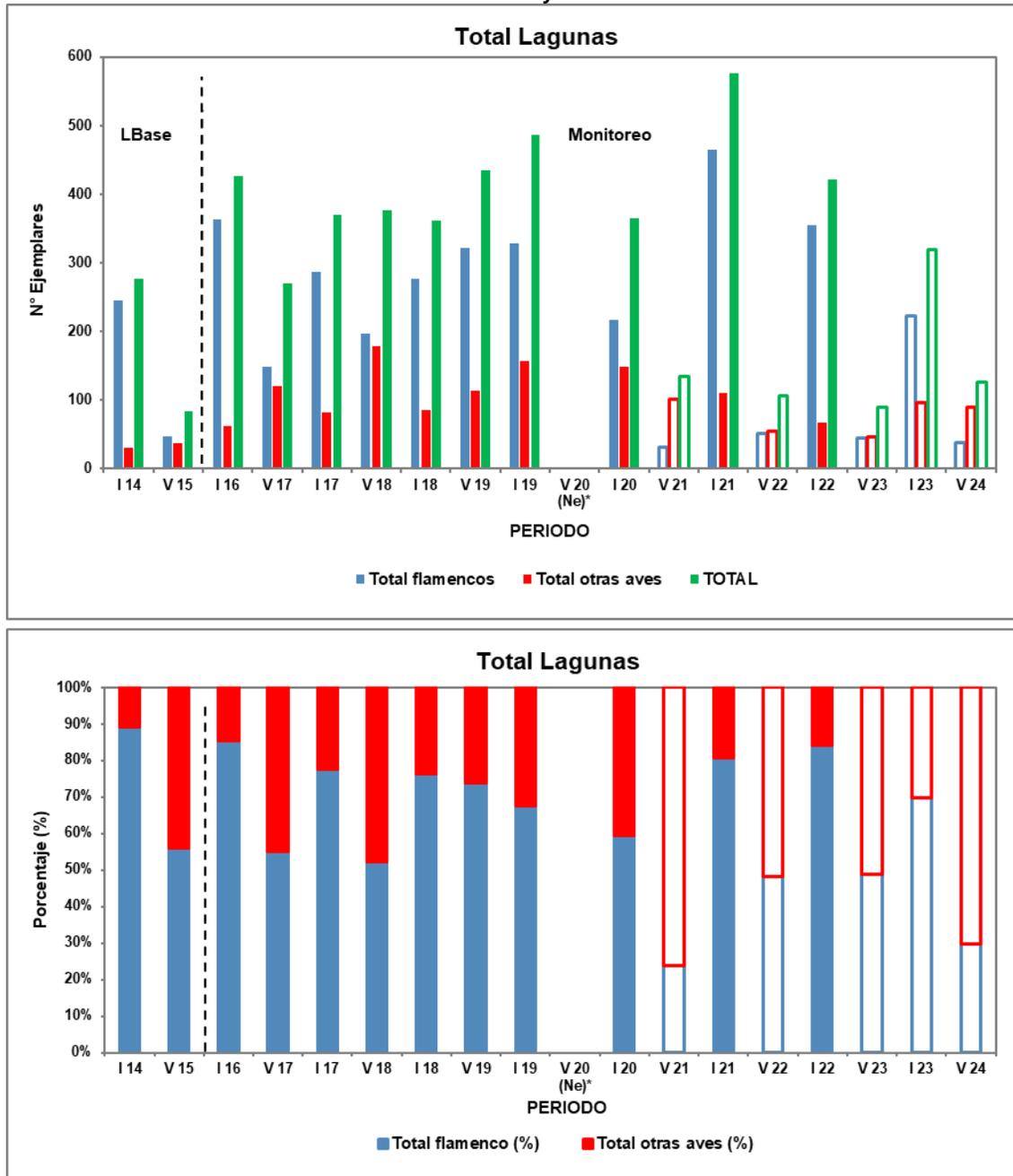
A continuación, se agrupan las abundancias de los flamencos en relación al resto de las aves. Esto se analiza dado que estas tres especies acuáticas son, por una parte, las más importantes numéricamente, y por otra, todas se consideran “*bajo amenaza*”, (dos como vulnerables y una casi amenazada).

En relación con la abundancia absoluta, se observa una variación estacional irregular: en la Línea de Base como en el primer año de monitoreo (invierno 2016 y verano 2017), las abundancias totales son mayores en invierno que en verano, mientras que en el segundo periodo anual de monitoreo (invierno 2017 y verano 2018), dichas abundancias totales son similares entre sí. En el tercer periodo anual de monitoreo (invierno 2018 y verano 2019), las abundancias totales se invierten, siendo ligeramente mayor en verano que en invierno. En el cuarto año no hubo campaña verano 2020, en contexto del inicio de la pandemia COVID 19, por lo que no se realiza comparación. Desde el quinto al octavo año (invierno 2020 a verano 2024), no se pueden realizar comparaciones rigurosas, debido al muestreo incompleto (**Figura N° 13-10**).

Por otra parte, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas (aunque mucho mayor en invierno que en verano) y tanto en la línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 13-10**). Las abundancias totales de las aves son mayores en todo el periodo de monitoreo que en las dos campañas de Línea de Base. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 134 a 572 ejemplares, mientras que en Línea de Base los valores oscilaron entre 84 y 276 ejemplares. En particular, para los flamencos (y excluyendo los veranos 2021 a 2024, en los que no se pudieron completar el total de estaciones de monitoreo), también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (149 a 465) que en la Línea de Base (47 a 246). En abundancia relativa (y considerando todas las campañas), los flamencos varían en un rango entre 24% a 74% en veranos, mientras que aumentan a un rango entre 59% a 85% aproximadamente, en inviernos (**Figura N° 13-10**).

En resumen, analizando a los sistemas lagunares como un todo, la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados similares (e incluso mayores) en el monitoreo en comparación a la Línea de Base.

**Figura N° 13-10. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (\*\*) en las campañas de verano de 2021, 2023 y 2024 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del análisis de **abundancia de aves separado por sector** (en el que se incluye como referencia histórica la campaña de Línea de Base de invierno 2014, ya que es la única disponible para comparar, en términos de los dos sistemas hidrológicos analizados independientemente), para el **sistema lagunar Peine** (lagunas Salada, Saladita e Interna), se han registrado 15 especies en total (**Tabla N° 13-13**). De ellas, nueve especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con dos especies más abundantes: el pollito de mar tricolor (con rango entre cero a 42 ejemplares) y el playero de Baird (cero a 29 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (cero a cinco individuos; **Tabla N° 13-13**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos (**Tabla N° 13-13**). En general, en las lagunas de Peine, la abundancia de aves es mayor en el monitoreo PMB (194 a 387 individuos) que en la Línea Base (210 individuos). Cabe recordar la ausencia de muestreo en las lagunas de Peine en verano 2020 (por la pandemia) y veranos 2021, 2023 y 2024 (por permiso de acceso), además de no poder completar los monitoreos para el verano 2022, por el mismo motivo.

**Tabla N° 13-13. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.**

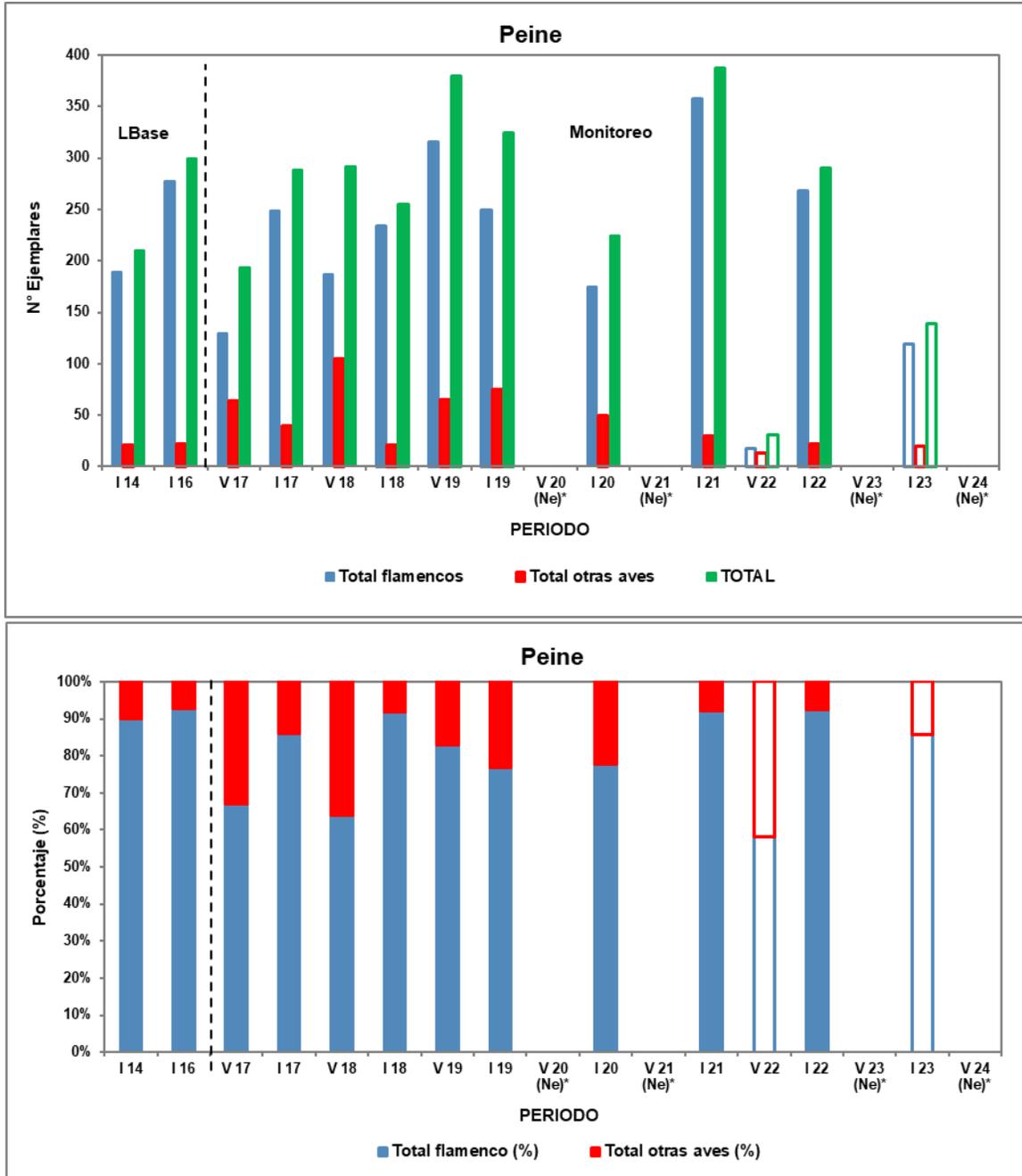
SISTEMA LAGUNAR PEINE (LAGUNAS SALADA - SALADITA - INTERNA)																	
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos															
	Invierno 2014	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020	Invierno 2020	Verano 2021	Invierno 2021	Verano 2022	Invierno 2022	Verano 2023	Invierno 2023	Verano 2024
Pato jergón chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0		0	0	0		0	
Pato juarjual	4	1	2	3	4	2	4	2		0		2	0	2		1	
Chorlo de la puna	3	6	14	7	14	5	7	27		4		0	9	6		2	
Gaviota Andina	0	2	0	3	0	1	2	5		4		1	0	8		2	
Caití	14	6	12	6	33	7	38	9		1		8	0	4		5	
Playero de Baird	0	0	12	17	9	3	12	29		24		19	4	1		9	
Pollito de mar tricolor	0	4	24	0	42	0	0	0		15		0	0	0		0	
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	0	0	0		1		0	0	0		0	
Tagua andina	0	0	0	1	0	0	0	0		0		0	0	0		0	
Golondrina de dorso negro	0	3	0	3	0	3	0	3		1		0	0	1		1	
Colegial del norte	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0	0		0	
Garza azul	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0	0		0	
Flamenco andino o Parina grande	135	219	85	145	112	160	200	163		105		265	9	182		47	
Flamenco de James o Parina chica	40	11	11	0	17	35	49	48		29		40	8	38		28	
Flamenco chileno	14	47	34	104	58	39	66	38		41		52	1	48		44	
<b>TOTAL</b>	<b>210</b>	<b>299</b>	<b>194</b>	<b>289</b>	<b>292</b>	<b>255</b>	<b>380</b>	<b>324</b>	<b>Ne</b>	<b>225</b>	<b>Ne</b>	<b>387</b>	<b>31</b>	<b>290</b>	<b>Ne</b>	<b>139</b>	<b>Ne</b>

(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*) En las campañas de verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) En la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine. Ne = No evaluado. Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, se observa una variación estacional irregular de inviernos de un año versus veranos del año siguiente: las abundancias totales son mayores (invierno 2016 y verano 2017), similares (invierno 2017 y verano 2018) o menores (invierno 2018 y verano 2019); no se realiza una comparación para los años siguientes, dado que los datos se encuentran incompletos para estas temporadas. Por otra parte, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas, independiente de la estación y tanto en la Línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 13-11**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo (salvo verano 2017) que la campaña de Línea de Base, descontando la campaña de verano 2022 que solo se pudieron realizar dos de los cinco puntos de monitoreo. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 194 a 387 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 210 ejemplares. Para los flamencos, también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (130 a 357) que en la Línea de Base (189), excluyendo verano 2022 al no contar con la totalidad de puntos de monitoreo. En abundancia relativa, los flamencos varían entre un rango de cerca de 58% (en verano 2022), a un máximo de 93% (en invierno 2016; **Figura N° 13-11**).

Por lo tanto, analizando al sistema lagunar de Peine (lagunas de Peine), la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados relativamente similares e incluso mayores entre el seguimiento PMB en relación con la Línea de Base.

**Figura N° 13-11. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.  
 (\*\*) En las campañas de verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) En la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine. Ne = No evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

Para el **sistema lagunar de La Punta y La Brava** (y considerando los monitoreos de verano y el único de línea de base disponible, de invierno 2014), se han registrado 22 especies en total (**Tabla N° 13-14**). De ellas, 16 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con cuatro especies más abundantes: la parina grande (con rango entre uno a 93 ejemplares), el pollito de mar tricolor (entre cero a 20 individuos), el bailarín chico (cero a 14 ejemplares) y la gaviota andina (entre cero a 27 individuos), mientras que el resto son muy escasas (uno a 10 individuos; **Tabla N° 13-14**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan las otras dos especies de flamencos, la parina chica y el flamenco chileno (**Tabla N° 13-14**).

En general, en las lagunas de La Punta y La Brava, la abundancia de aves es mayor en el seguimiento PMB (55 a 189 individuos) que en la Línea Base (66 individuos; **Tabla N° 13-14**).

**Tabla N° 13-14. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.**

SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA Y LA BRAVA																	
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos															
	Inv 2014	Inv 2016	Ver 2017	Inv 2017	Ver 2018	Inv 2018	Ver 2019	Inv 2019	Ver 2020 *	Inv 2020	Ver 2021	Inv 2021	Ver 2022	Inv 2022	Ver 2023	Inv 2023	Ver 2024
Aguilucho común	0													1			
Piuquén	0				1												
Pato juarjual	4	6	2	3	7	4		2		5	10	3		2	2	5	4
Chorlo de la puna	2	14	12	8	36	23	24	18		15	37	9	7	10	5	11	16
Gaviota andina	0	4	3	8	1	11	3	27		10	1	15		14		13	
Caití	2	9	2	13		7	2	5		8	2	6		6	5	12	7
Playero de Baird	1	5	11	1	10	10	16	13		47	38	31	25	8	23	24	55
Pollito de mar tricolor	0		20	2				11		6	10	12					3
Pitotoy chico	0				3										10		
Tagua andina	0																1
Tagua cornuda	0					1											
Tagua gigante	0			1													
Golondrina bermeja	0						1										
Golondrina de dorso negro	0			1				2		4	1	2	8			9	
Bailarín chico común	0	2	4	4	14	7		4		1	3					2	
Colegial del norte	0		2	2	2	1	3			2		3	2	4	1		3
Dormilona chica	0																1
Garza grande	0		1														
Flamenco andino o Parina grande	0	43	7	11	1	12	2	49		14	10	93	3	36	7	48	14
Flamenco de James o Parina chica	39	28		6		16	1	2		2			11	31		5	2
Flamenco chileno	18	16	12	21	9	14	3	29		26	22	15	19	20	37	51	22
Blanquillo	0					1											

SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA Y LA BRAVA																	
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos															
	Inv 2014	Inv 2016	Ver 2017	Inv 2017	Ver 2018	Inv 2018	Ver 2019	Inv 2019	Ver 2020 *	Inv 2020	Ver 2021	Inv 2021	Ver 2022	Inv 2022	Ver 2023	Inv 2023	Ver 2024
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>127</b>	<b>76</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>107</b>	<b>55</b>	<b>162</b>	<b>Ne</b>	<b>140</b>	<b>134</b>	<b>189</b>	<b>75</b>	<b>132</b>	<b>90</b>	<b>181</b>	<b>127</b>

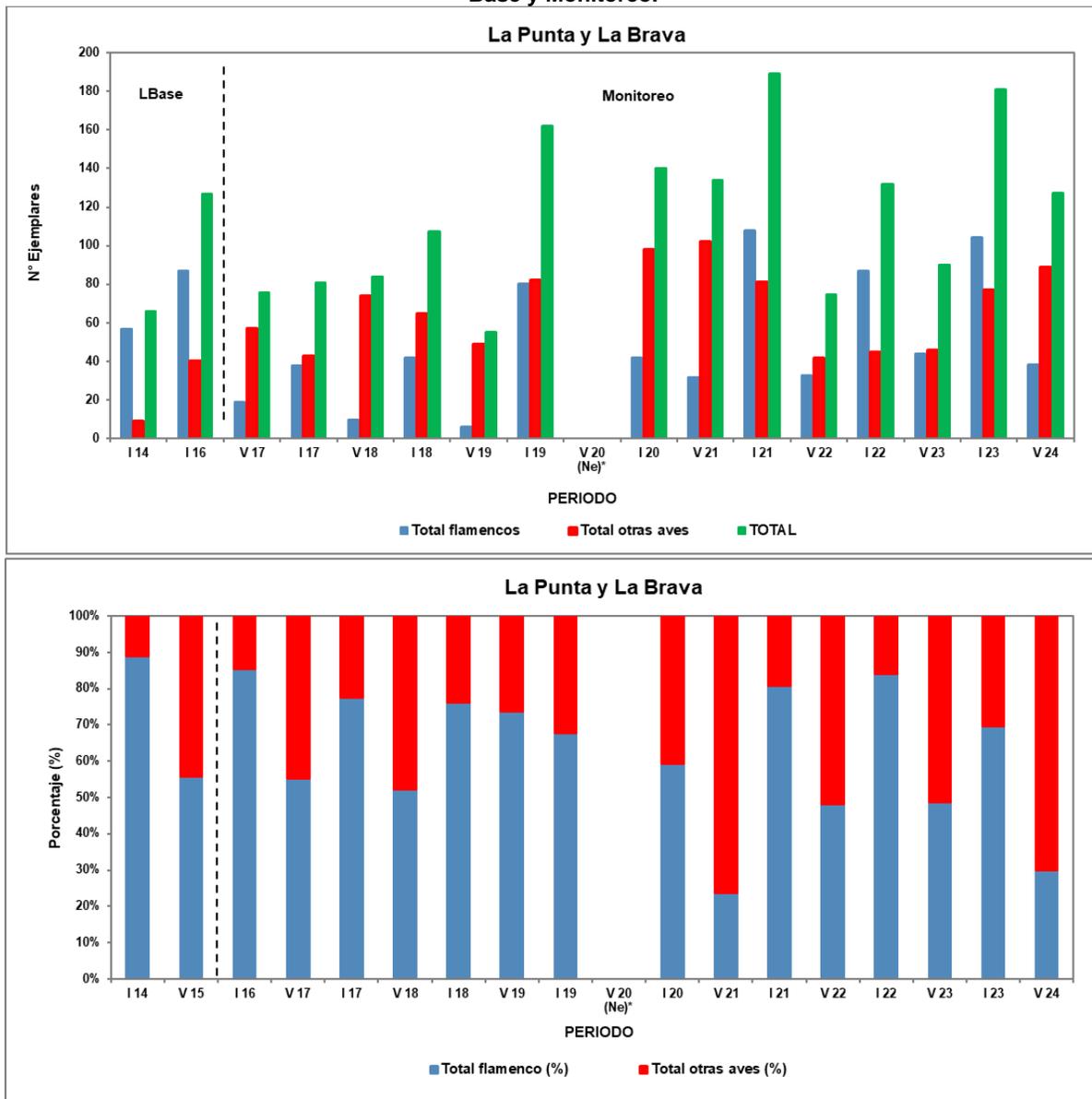
(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado.  
 Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, existe una variación estacional, donde la abundancia, en general, es mayor en inviernos que en veranos (especialmente para los flamencos, aunque con valores absolutos mucho menores que en Peine; **Figura N° 13-12**). Por otra parte, los flamencos son dominantes sólo en la Línea de Base y en tres campañas de monitoreo (inviernos 2016, 2021 y 2022), a diferencia de las otras 11 campañas de monitoreo (**Figura N° 13-12**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo que en la campaña de Línea de Base, a excepción del verano 2019. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 55 a 189 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 66 ejemplares. Sin embargo, para los flamencos, las abundancias totales son mayores en los monitoreos de invierno 2016 (87 individuos), invierno 2019 (80 ejemplares), invierno 2021 (108 ejemplares), invierno 2022 (87 individuos) y en invierno 2023 (103 ejemplares), en comparación con la Línea de Base (57 ejemplares), mientras que en las otras campañas de monitoreo los valores son menores a la Línea de Base (seis a 44 ejemplares; **Figura N° 13-12**).

Cabe destacar que los valores absolutos de flamencos son bastante menores en La Punta y La Brava (decenas de ejemplares como máximo) en relación a sector de Peine (centenares de individuos). En abundancia relativa, los flamencos varían entre un mínimo de cerca de 11% (en verano 2019), a un máximo de más de un 86%, en invierno 2014 (**Figura N° 13-12**).

Por lo tanto, analizando al sistema lagunar de La Punta y La Brava, si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo (PMB) que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base, pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base (excepto inviernos de 2016, 2019, 2021, 2022 y 2023).

**Figura N° 13-12. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



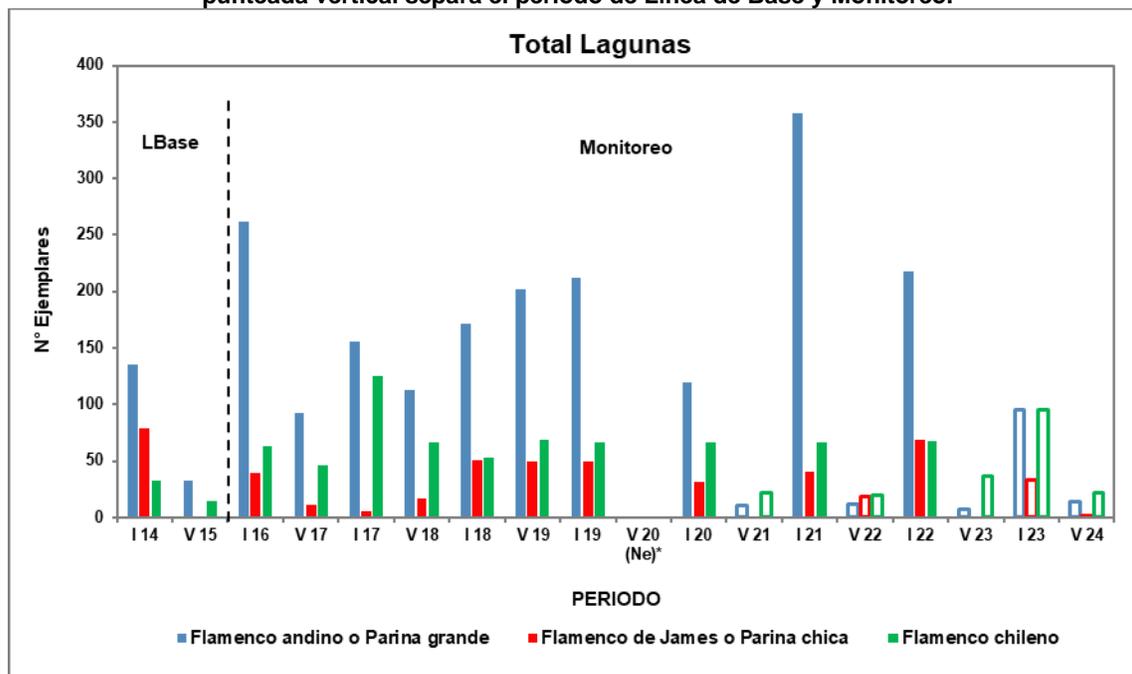
(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Ne = No evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

A una escala más fina de análisis, comparando las tres especies de flamencos, en los sistemas lagunares de La Punta-La Brava y Peine considerados en conjunto, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (92 a 358 ejemplares, excluyendo veranos 2021, 2022, 2023 y 2024, que no cuentan con muestreo completos) que en la Línea de base (32 a 135 ejemplares; **Figura N° 13-13**). El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (46 a 125 ejemplares, excluyendo verano 2021 y 2022) que en la Línea de base (15 a 32 ejemplares; **Figura N° 13-13**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (seis a 69, excluyendo verano 2021) son menores al valor máximo de la Línea de Base (con rango entre cero a 79 ejemplares; **Figura N° 13-13**).

**Figura N° 13-13. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



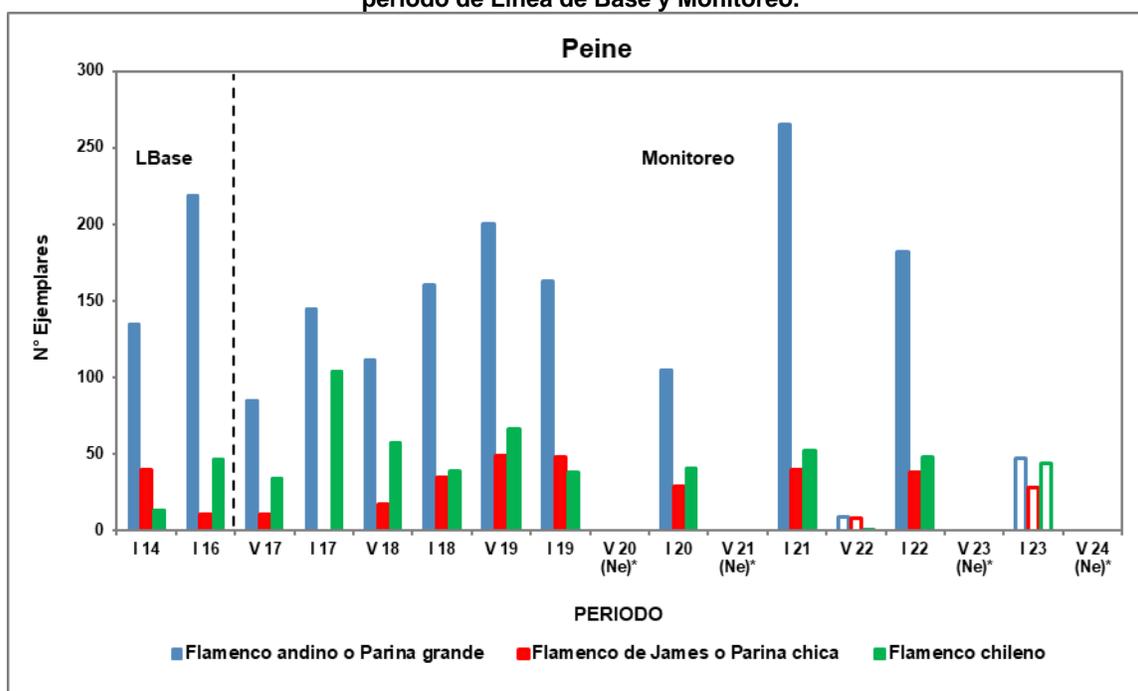
(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (\*\*) en las campañas de verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema lagunar Peine, comparando las tres especies de flamencos, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (85 a 265 ejemplares, excluyendo los veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024) que en la Línea de base (135 individuos; **Figura N° 13-14**), sobre todo considerando los inviernos. El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (34 a 104 ejemplares, excluyendo verano 2022) que en la Línea de base (14 individuos; **Figura N°**

13-14). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo en su mayoría (cero a 35) son menores a la Línea de Base (40 ejemplares, a excepción del verano 2019, invierno 2019 e invierno 2021, con 49, 48 y 40 individuos, respectivamente; **Figura N° 13-14**).

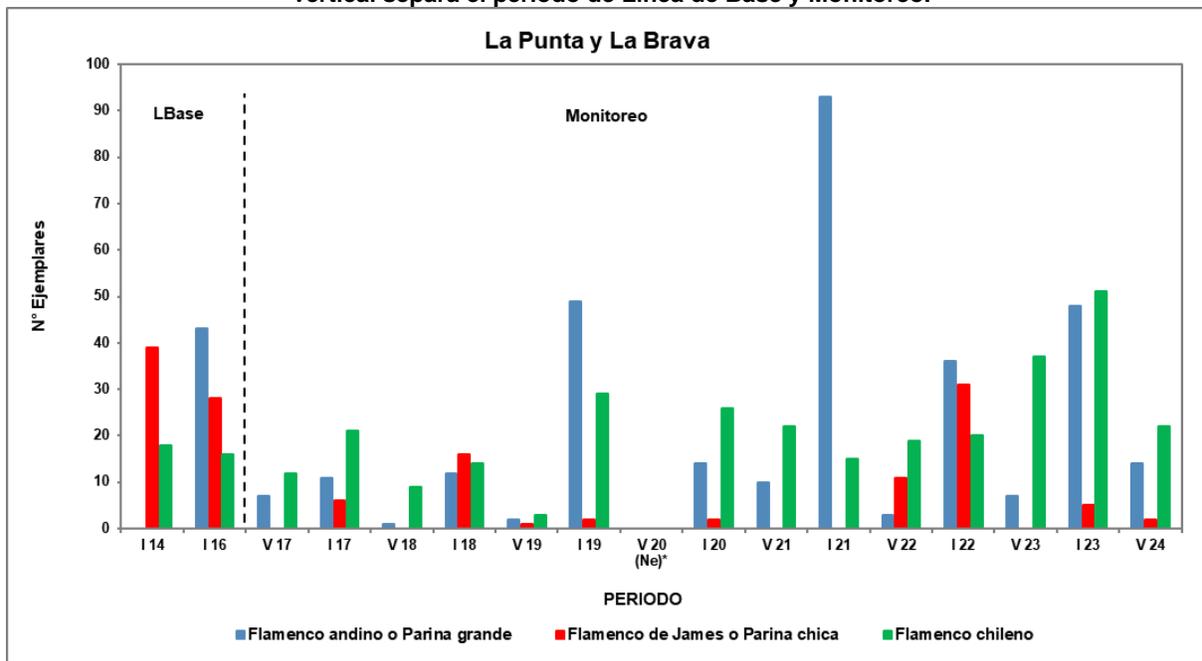
**Figura N° 13-14. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (\*\*) en las campañas de verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (\*\*\*) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el sistema lagunar de La Punta y La Brava, comparando las tres especies de flamencos, la parina grande (no dominante en todas las campañas) muestra mayores valores en el monitoreo PMB (uno a 93 ejemplares) que en la Línea de base (sin registro; **Figura N° 13-15**). El flamenco chileno muestra valores disímiles en la mayor parte de los monitoreos (tres a 51 ejemplares), siendo mayor en nueve campañas respecto a la Línea de base (18 individuos; **Figura N° 13-15**). Por último, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (cero a 31) son menores a la Línea de Base (39 ejemplares; **Figura N° 13-15**).

**Figura N° 13-15. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



Ne = No evaluado.  
 Fuente: Elaboración propia.

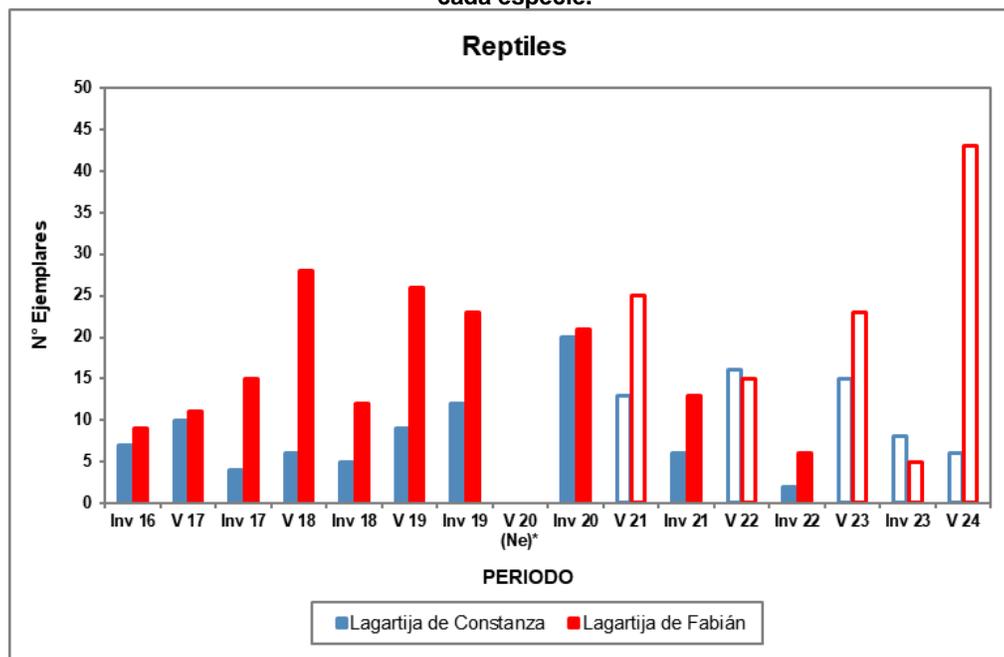
Por lo tanto, las variaciones de abundancia de las tres especies de flamencos muestran que la parina chica es la especie que podría estar disminuyendo sus abundancias, pese a observar un alza puntual en su abundancia en la campaña de invierno 2022, pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con valores absolutos de pocos ejemplares, mientras que, en Peine, las abundancias son mayores en el monitoreo que en la Línea de Base.

En resumen, para ambos sistemas acuáticos y en los dos periodos analizados (Línea de Base y monitoreo PMB), las abundancias se comportan de forma variable: algunas especies aumentan (o aparecen nuevas especies en el monitoreo), otras tienden a disminuir (parina chica en La Punta y La Brava) y otras no muestran cambios notorios, pero se mantiene el patrón general de que las tres especies de flamencos son las que dominan numéricamente los salares en su conjunto. Cabe destacar que, a pesar de incluir 16 campañas, hay que considerar que las comparaciones estacionales no son rigurosamente equivalentes, ya que hay cinco veranos irregulares (2020 por pandemia, además 2021, 2022, 2023 y 2024 (y el invierno de 2023, sin muestreo o incompletos en las lagunas de Peine, donde generalmente se contabilizan centenares de flamencos).

• **Reptiles**

En el caso de los reptiles, los valores de abundancia son poco comparables, ya que en invierno de 2014 se indica un valor de 5 ind/ha de cada una de las dos especies (*Liolaemus constanzae* en matorral, y *Liolaemus fabiani* en humedal), pero no se especifica el número de transectos realizados por ambiente, lo que dificulta la comparación. Sin embargo, comparando las abundancias absolutas de las dos especies en todo el monitoreo (y para toda el área de estudio), se observa que para la lagartija de Constanza (la especie menos dominante numéricamente), se han contabilizado entre dos a 20 ejemplares (con el mayor valor en invierno de 2020), mientras que en el caso de la lagartija de Fabián, su número ha oscilado entre seis a 43 ejemplares, con el máximo en verano de 2014 (Figura N° 13-16). Cabe destacar que en los veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024, y en invierno 2023 no se muestrearon entre cinco y tres puntos en lagunas de Peine, lo que hace a esas campañas menos comparable a las otras (sobre todo, en relación con la abundancia de la lagartija de Fabián).

**Figura N° 13-16. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de reptiles registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares contabilizados en 25 transectos para cada especie.**



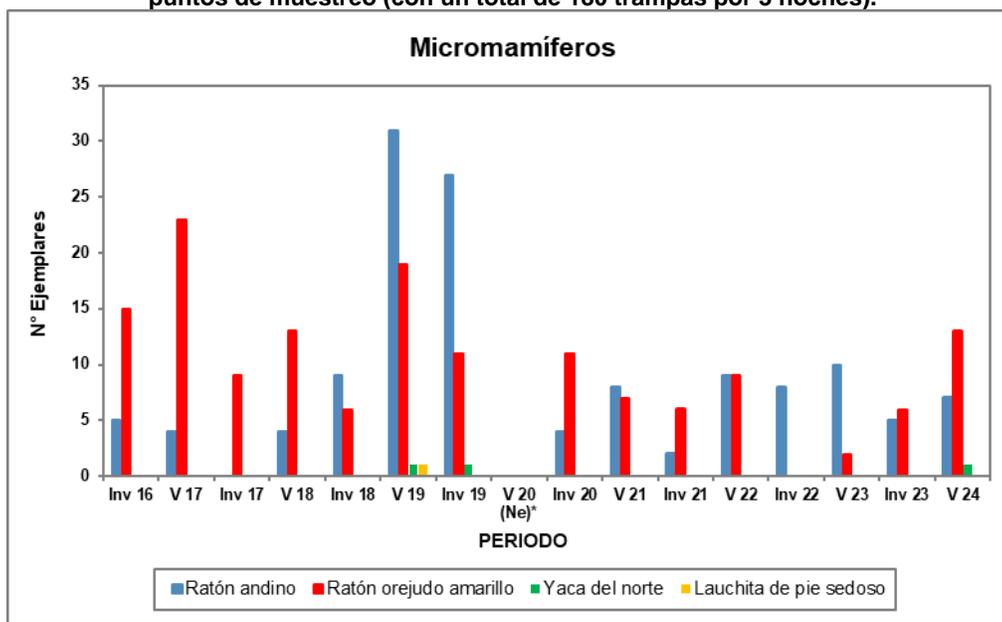
(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (\*\*) en las campañas de verano de 2021 y 2023 no se muestrearon 5 puntos en laguna Peine. (\*\*\*) en la campaña de 2022 no se muestrearon 3 puntos en laguna Peine.

Fuente: Elaboración propia.

• **Mamíferos**

Finalmente, para los mamíferos la comparación de abundancia no es aplicable, ya que para invierno de 2014 y verano 2015 se indica sólo la presencia de mamíferos (algunos incluso sólo mediante presencia indirecta), sin especificar la abundancia. En el caso específico de los micromamíferos, y al igual que los reptiles, comparando su abundancia a lo largo del monitoreo, se observa que el ratoncito andino ha variado su abundancia entre cero a 31 individuos, con una tendencia al aumento en las últimas campañas (hasta 2019 y entre verano 2021 a verano 2023), mientras que el ratón orejado amarillo ha variado entre cero a 23 ejemplares, con una tendencia estacional de mayores abundancias en los veranos (salvo en invierno 2020 y verano 2021, donde ocurre lo opuesto (**Figura N° 13-17**)).

**Figura N° 13-17. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de micromamíferos registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares capturados en 9 puntos de muestreo (con un total de 180 trampas por 3 noches).**



(\*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.  
 Ne = No evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien en las campañas de monitoreo se agregaron más estaciones de muestreo (nueve a las 16 propuestas por la RCA), las comparaciones son igualmente válidas y representativas, sobre todo para las aves en los sectores de las lagunas de La Punta y La Brava, y Peine (Salada, Saladita e Interna), ya que en ellas (por ser lugares abiertos, planos y con baja cobertura vegetal), se realizó más bien un censo que un muestreo, lo que lo hace relativamente independiente del número de puntos (y por lo tanto, las comparaciones son válidas). Por otra parte, en los ambientes terrestres, efectivamente el aumentar el tamaño muestral podría

implicar un aumento de la probabilidad de registros nuevos, haciéndolo más representativo del área de estudio.

### 13.3 En relación con Tapetes Microbianos

#### 13.3.1 Aspectos generales

Las diferentes tonalidades observadas en los tapetes se corresponden con diferentes grupos funcionales y comunidades microbianas que habitan estos ambientes y la estratificación responde a una organización dinámica entre estas distintas comunidades las cuales se benefician unas a otras. Este ordenamiento, va ligado, principalmente a la radiación solar, por lo que los organismos que realizan fotosíntesis (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) deben estar más expuestos a dicha radiación, por lo que se disponen principalmente en la parte superior de los tapetes (Stal, 2000).

La coloración verdosa es clásica de organismos fotosintéticos debido a la presencia de clorofila y/o bacterioclorofila (Madigan *et al.*, 2009). Por tanto, el ordenamiento de las tonalidades observadas en los monitoreos (invierno 2023, verano 2024), y aproximado a lo descrito por Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015, se corresponden con: i) verde y/o naranja en la macro-zona Subsuperficial, ii) rosado y/o púrpura en la macro-zona Intermedia, y iii) marrón y/o verde claro en la macro-zona Profunda. La coloración verde, indicaría la presencia de organismos fotosintéticos oxigénicos tales como microalgas, diatomeas y cianobacterias, en este contexto, la coloración naranja, puede deberse a una producción de carotenoides que sirven como protección a la excesiva radiación UV detectada en el Salar de Atacama y que pueden ser producidos por organismos como las microalgas (Guedes *et al.*, 2011).

En la macro-zona Intermedia, se pueden observar tonalidades de color rosado o púrpura, lo cual se correspondería a bacterias púrpuras sulfúreas o bacterias rojas sulfúreas (*i.e.* autótrofas fotosintéticas anoxigénicas), las cuales tienen un metabolismo estrechamente ligado al ciclo del azufre ya que, a diferencia de los organismos fotosintéticos oxigénicos, estas bacterias producen fotosíntesis, pero no requieren agua, sino que azufre para realizar dicho proceso (Madigan *et al.*, 2009, Gerardi y Lytle, 2015; Rogozin *et al.*, 2016). Estas bacterias, no necesitan de un ambiente totalmente aerobio-oxigénico, por lo que se ubican en la mitad de la estratificación de capas (Madigan *et al.*, 2009; Gerardi y Lytle, 2015). Similarmente, se encuentran las bacterias verdes del azufre, las cuales realizan fotosíntesis, sin oxígeno, sino que ocupan azufre y es por eso por lo que se les puede ubicar en una parte más profunda del tapete microbiano (Gerardi y Lytle, 2015).

En las capas profundas, se pueden observar tonalidades más oscuras, como marrón o púrpura e inclusive negro, lo que correspondería a bacterias anoxigénicas anaerobias (*i.e.* sulfatorreductoras) y muy posiblemente a microorganismos productores de metano (metanogénicas) los cuales pertenecerían al Dominio *Arquea* (Dorador *et al.*, 2010).

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 1 en los tapetes microbianos, se podrían relacionar, a las fluctuaciones de las variables conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en la columna del agua de las lagunas y que son función de la época del año y del sector (Demergasso *et al.* 2008). Estas fluctuaciones de las variables mencionadas anteriormente, derivadas de las variaciones precipitación- evaporación naturales del Salar de Atacama (Risacher *et al.*, 1999), podrían estar influenciando, en su conjunto la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

### 13.3.2 Análisis evolución inviernos 2016 a 2023

#### 13.3.2.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector

Los resultados de los diferentes monitoreos de invierno mostraron que en la primera campaña invierno 2016, el 75% de las estaciones de muestreo presentó tapetes microbianos, sin embargo, en las campañas siguientes (invierno 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022) el registro llegó al 68,8% de las estaciones con presencia de estas comunidades microbianas. Dicha disminución, correspondiente a una estación de muestreo, que se relaciona con el sector Vegas de Tilopozo, en particular con la estación TB-2, la cual presentó tapetes microbianos en invierno 2016, no obstante, no se han vuelto a detectar en las campañas de monitoreo posteriores. En la actual campaña invierno tardío 2023, no se pudo ingresar al sector Peine, por lo que sólo se pudo monitorear el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, donde se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno tardío 2023, se observaron dos principales tipologías de tapetes, las que corresponden a:

A.-TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación:

- Capas Subsuperficiales de tonalidad verde y/o naranja
- Capas Intermedias de tonalidad rosada y/o púrpura
- Capas Profundas de tonalidades color marrón y/o verde

B.-TIPOLOGÍA 3, tapetes que presentan solo una macro-zona:

- 1 Capa Subsuperficial de tonalidad verde, rosado y/o naranja

En relación a la estructura de pigmentación en las primeras 7 campañas de monitoreo de invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022), en tapetes microbianos se observó la presencia de las tres tipologías.

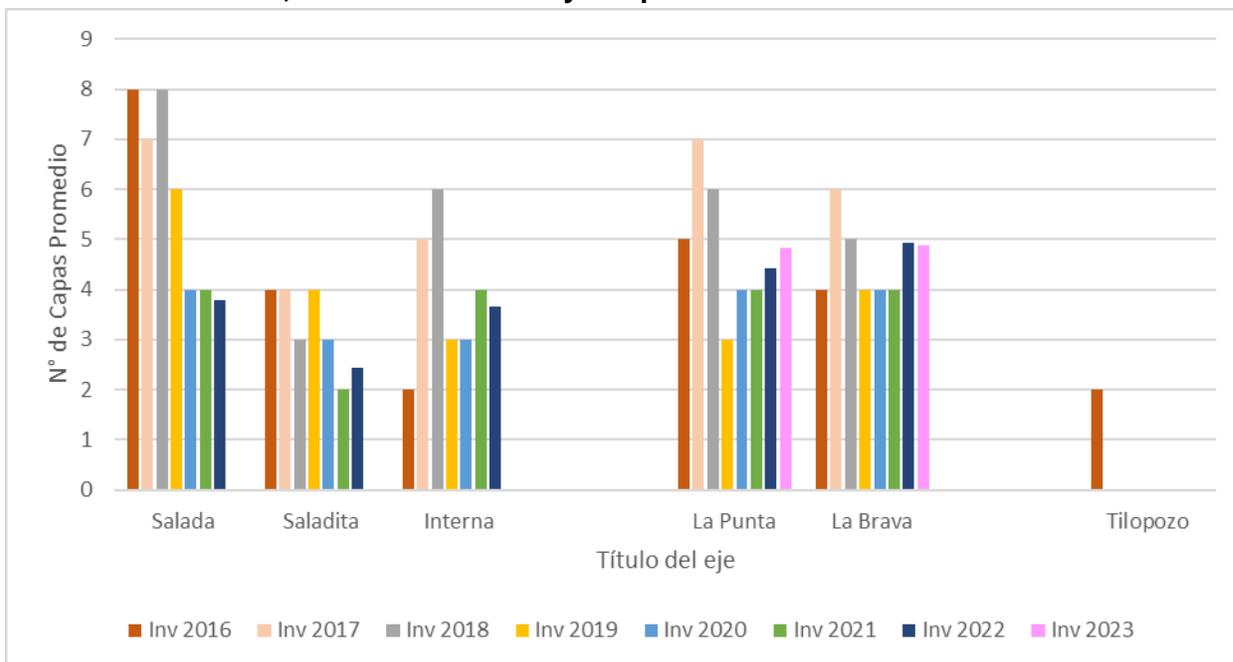
Para el **Sector La Punta-La Brava**, en la campaña invierno tardío 2023, se registró un aumento en la proporción general de tapetes de Tipología 1, respecto a las anteriores campañas de invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). Esto debido a la recuperación de capas en distintos tapetes evaluados, principalmente, en el sector La Punta-La Brava. Dentro de las estaciones de monitoreo que evidenciaron dicho aumento, respecto de la última campaña invierno 2022, destacan LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1, LB-2 y LB-3 (La Brava), donde la detección de tapetes fue totalmente de Tipología 1. Esto, conllevó a una disminución de los tapetes de Tipología 2, reflejado en el aumento de las macro-zonas; no obstante, la Tipologías 3 se mantuvo estable, similar a la campaña anterior (invierno 2022), respectivamente).

De este modo, un tapete de Tipología 1 (que contiene las tres macro-zonas macroscópicas: Subsuperficial, Intermedia y Profunda), sugeriría que está en condiciones óptimas, dado que se estarían evidenciando las tres principales zonas funcionales que dan forma al microambiente del tapete. Por el contrario, la baja disponibilidad de agua podría afectar a los microorganismos de estas estructuras, haciendo que los tapetes modificasen su conformación (macro-zonas) tipológica, pasando de Tipología 1 a 2 o incluso 3, y por consiguiente, perdiesen funcionalidad ecológica (i.e. fotosintética, en la participación en ciclos biogeoquímicos, productora de nutrientes, entre otros).

El número de capas promedio de los tapetes observados por sistema lagunar en Sector La Punta-La Brava, se mantuvo sin variaciones en Laguna La Brava (5 capas) y aumentó en una capa promedio en Laguna La Punta (5 capas), respecto a invierno 2022. Específicamente en Laguna La Punta, este es el primer aumento desde que las capas promedio, a lo menos, se habían mantenido en valores constantes (4 capas promedio) desde invierno de 2020 y luego de haber registrado una progresiva disminución desde invierno de 2017. Por otro lado, Laguna La Brava, se mantuvo con 5 capas promedio, similar a invierno 2022, y mostrando un valor similar al reportado en invierno 2018 (**Figura N° 13-18**).

Respecto del Sector Vegas de Tilopozo, no reportó tapetes microbianos en la actual campaña y sólo se evidenció la presencia de tapetes en la campaña de invierno 2016 (**Figura N° 13-18**).

**Figura N° 13-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Invierno 2016 a 2023.**



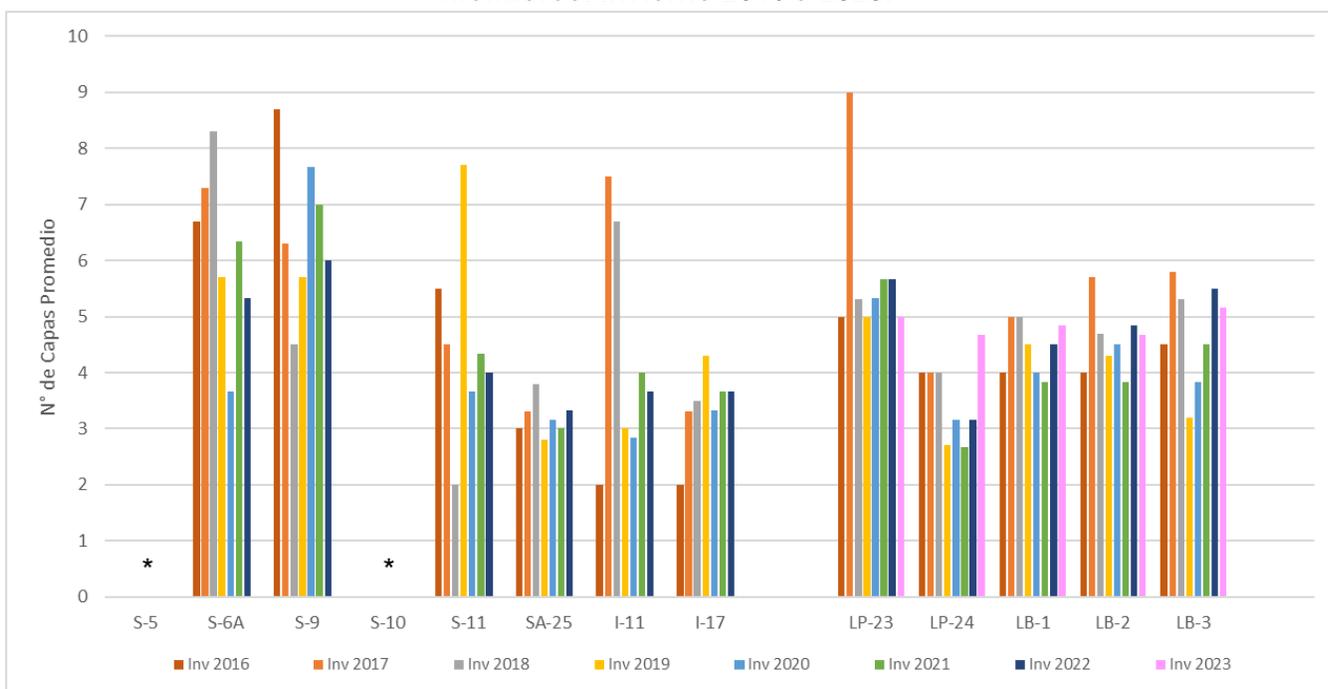
(\*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.  
 Fuente: Elaboración propia

Al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno tardío 2023) (**Figura N° 13-19**), se observa que, la estación LP-23, disminuyó las capas promedio respecto a invierno 2022, donde se había registrado 5,7 capas promedio, marcando una disminución de 0,7 capas promedio entre ambas campañas. Cabe destacar que esta estación venía mostrando una tendencia al alza, desde anteriores campañas de invierno (2019 a 2022). Respecto a la estación LP-24, se observó un aumento, pasando de 3,2 capas promedio (invierno 2022) a 4,7 (invierno tardío 2023), con un aumento de 1,5 capas promedio. Esta estación, había mostrado entre todas las campañas anteriores (invierno 2016 a 2022) un rango de capas promedio de 2,7 a 4,0, así, esta estación que había fluctuado constantemente entre estos valores anota el mayor valor registrado entre todas las campañas.

En Laguna La Brava, en la presente campaña invierno tardío 2023, la estación LB-1 mostró un aumento el número de capas promedio, que varió de 4,5 a 4,8 capas, respecto a invierno 2022, lo que significó un aumento de 0,3 capas promedio. Por otro lado, las estaciones LB-2 y LB-3 mostraron una reducción en el número de capas promedio, variando de 4,8 a 4,7 capas y de 5,5 a 5,2 capas, respectivamente, lo cual significa una variación de entre 0,1 y 0,3 capas promedio entre ambas campañas. Cabe destacar que, en estas estaciones, el rango entre todas las campañas ha sido de entre 3,8 - 5 capas promedio (LB-1), 3,8 - 5,7 capas promedio (LB-2) y 3,2 - 5,8 capas promedio (LB-3) (**Figura N° 13-19**).

De este modo, las mayores variaciones en el número de capas promedio de invierno tardío 2023, respecto a anteriores campañas, se observaron en LP-23, con una disminución de 4 capas promedio (invierno 2017), mientras que el mayor aumento se observó en LP-24 (invierno 2019 y 2021) y LB-3, con 2,0 capas promedio (invierno 2019).

**Figura N° 13-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Invierno 2016 a 2023.**



(\*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las ocho campañas de invierno llevadas a cabo, se distinguen principalmente 3 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada y en laguna La Punta; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo coriácea (semejante al cuero), los cuales predominan en laguna La Brava (LB-1); y 3) Tapetes planos, de textura superficial mucilaginosa, de consistencia blanda y granular, detectados especialmente en laguna La Brava (LB-1 y LB-2), observados en invierno de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e invierno tardío 2023.

### **13.3.2.2 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos**

A continuación, se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de invierno realizados en 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e invierno tardío 2023.

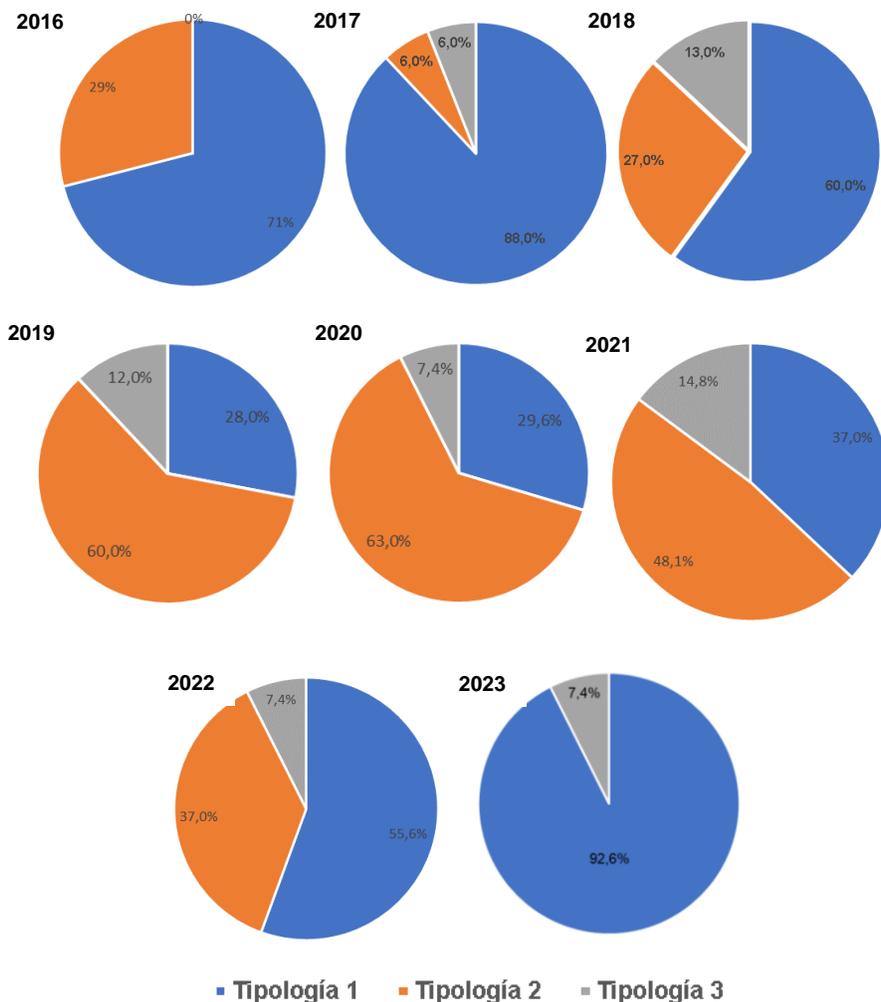
#### **13.3.2.2.1 Sector La Punta-La Brava**

El sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1, 2 y 3 durante las campañas de invierno, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, mientras que invierno 2016 sólo exhibió la Tipología 1 y 2. Comparado a invierno 2022, se puede observar que en invierno 2023 hubo un aumento de 37,0% en la prevalencia de tapetes de Tipología 1, un aumento que había sido sostenido desde invierno 2019. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron completamente (37,0%) en comparación a invierno 2022, lo que sugiere que la mayoría de los tapetes de Tipología 2 pudieron haber migrado a Tipología 1. Esto, reforzado por lo registrado en la proporción de tapetes de Tipología, que no mostraron variación en su prevalencia (7,4%) manteniendo valores registrados en invierno 2020. De este modo, en este sector, se observa una tendencia al alza en la prevalencia de la Tipología 1, que se mantiene desde invierno 2019, mientras que la Tipología 2 ha marcado un sucesivo retroceso también desde invierno 2019, lo que podría sugerir un recambio de los tapetes y su conformación, pasando de Tipología 2 a Tipología 1. Por otro lado, la Tipología 3 se ha mantenido en valores inferiores a 15% en todos los inviernos, siendo invierno 2021, la campaña en la que mostró mayor prevalencia (14,8%) (**Figura N° 13-20**).

El sector La Punta-La Brava, durante la campaña de invierno tardío, presentó diferencias sustantivas en la prevalencia de Tipología 1 respecto a invierno 2022. En el caso de la Laguna La Punta, hubo un aumento del 133% en las muestras de tapetes con Tipología 1, respecto a invierno 2022. Si bien, la estación LP-23 se mantuvo similar a invierno 2022 (**Tabla N° 13-15**), en la estación LP-24, esta tipología aumentó un 294% (**Tabla N° 13-16**). Por otro lado, en Laguna La Brava todos los tapetes presentaron Tipología 1, lo que significó un aumento de 50%, 20% y 100% en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3, respectivamente (**Tabla N° 13-17**, **Tabla N° 13-18** y **Tabla N° 13-19**, respectivamente). Por otro lado, la Tipología 2 tendió a la disminución, completamente en todas las estaciones (**Tabla N° 13-20** y **Tabla N° 13-21**), donde los tapetes que habían presentado esta conformación, especialmente los de estructura coriácea, migraron a Tipología 1 en invierno 2022. Respecto a la Tipología 3, Laguna La Brava no evidenció tapetes con esta conformación estructural, manteniendo lo observado en invierno 2021 (**Tabla N° 13-22**).

Así, durante invierno tardío 2023, en el sector La Punta-La Brava la Tipología 1 se mantiene como la conformación predominante, seguido de la Tipología 3 y no registrándose la presencia de la tipología 2 (Figura N° 13-20).

**Figura N° 13-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava. Campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.**



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados tanto en la estación de monitoreo LP-23 (67%) (Tabla N° 13-15), como en LP-24 (67%) (Tabla N° 13-16), lo cual concuerda con lo observado en campañas de invierno anteriores (2016 a 2022). El aumento de LP-24 se ve remarcado, debido a que habían aumentado levemente (17%) en invierno 2022, respecto a invierno 2021 donde no habían sido detectados. En ese contexto, cabe

destacar la reaparición de dicha tipología en la estación LP-24, ya que en todas las campañas anteriores (invierno 2016 a 2020 e invierno 2022), había exhibido esta conformación tipológica (Tabla N° 13-16 y Tabla N° 13-15).

**Tabla N° 13-15. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña invierno, 2016 a 2023.**

Año/Muestra		LP-23																
		2016		2017			2018		2019		2021		2022		2023			
		LP-23		LP-23			LP-23		LP-23		LP-23		LP-23 P		LP-23 P			
		2	3	1	2	3	1	2	2	3	2	3	1	3	2	3		
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■	■		■		■						■	■	■	■	
		Verde	■	■		■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	
		Verde claro																
		Verde oscuro							■									
		Verde opaco claro			■													
		Amarillo										■		■	■	■	■	
		Amarillo claro							■									
		Amarillo oscuro																
	Intermedia	Blanco	■	■	■		■										■	■
		Rosado	■	■			■		■	■	■		■	■	■			
		Rosado claro			■													
		Verde opaco claro			■													
		Naranja																
		Café claro			■													
		Purpura			■	■	■	■	■			■		■	■	■	■	
	Profunda	Verde opaco						■										
		Verde oscuro						■										
		Verde opaco oscuro	■		■													
		Verde										■						
		Gris										■						
		Blanco	■							■								
		Marrón			■	■	■	■	■	■	■			■	■	■		
		Marrón claro			■	■												
		Marrón verde			■													
		Marrón morado	■	■	■													
		Marrón oscuro																
		Marrón púrpura										■						
		Rosado										■						
Verde claro								■	■									
Amarillo claro						■	■											
Negro															■	■		

\*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2020 en LP-23

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 13-16. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña invierno, 2016 a 2023.**

Año/Muestra		LP-24																			
		2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023													
		LP-24	LP-24	LP-24	LP-24 P	LP-24 P	LP-24 C	LP-24 P	LP-24 C												
		1	1 3	1	1	2	1	1 3	1 2 3												
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																			
		Verde																			
		Verde claro																			
		Verde oscuro																			
		Verde opaco claro																			
		Amarillo																			
		Amarillo claro																			
		Amarillo oscuro																			
	Intermedia	Blanco																			
		Rosado																			
		Rosado claro																			
		Verde opaco claro																			
		Naranja																			
		Café claro																			
		Purpura																			
	Profunda	Verde opaco																			
		Verde oscuro																			
		Verde opaco oscuro																			
		Verde																			
		Gris																			
Blanco																					
Marrón																					
Marrón claro																					
Marrón verde																					
Marrón morado																					
Marrón oscuro																					
Marrón púrpura																					
Rosado																					
Verde claro																					
Amarillo claro																					
Negro																					

\*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2021 en LP-24

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Brava, se observa una fuerte recuperación de la Tipología 1, especialmente de los tapetes coriáceos de las estaciones LB-1 (**Tabla N° 13-17**) y LB-2 (**Tabla N° 13-18**), con un aumento de 50% y 20%, respectivamente. De esta manera, se puede observar que se mantiene una restitución de capas que llevasen a la configuración de Tipología 1, particularmente, desde la Tipología 2. De todos modos, se espera que los tapetes en LB-1 y LB-2 no llegasen a cambiar significativamente, ya que son estaciones que se caracterizan por exhibir tapetes con Tipología 1, siendo hallados en todas las campañas de invierno anteriores (2016 a 2022) (**Tabla N° 13-17** y **Tabla N° 13-18**). Por otro lado, después de que en LB-3 se

había observado una leve disminución de la Tipología 1 en invierno 2022, en especial de tapetes coriáceos, que migraron a Tipología 2, ahora todos los tapetes muestreados exhibieron la Tipología 1 (**Tabla N° 13-19**). En ese sentido, tal como se propuso en el Informe N° 6 Invierno 2021 y en el Informe Semestral N°13 Invierno 2022, este aumento de tapetes de Tipología 1, visto desde invierno 2020, podría estar indicando un evento de recuperación y/o estabilización de esta conformación y por consiguiente, de recuperación de las capas de microorganismos perdidas en 2019, lo cual reflejaría estabilidad en los tapetes de esta estación, por lo que se sugiere mantener este sitio bajo seguimiento.

**Tabla N° 13-17. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña invierno, 2016 a 2023.**

Año/Muestra		LB-1																	
		2016			2017			2018		2020	2021	2022			2023				
		LB-1		LB-1		LB-1		LB-1 C	LB-1 C	LB-1 P	LB-1 C		LB-1 P		LB-1 C				
		2	3	1	2	3	1	2	3	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																	
		Verde																	
		Verde claro																	
		Verde oscuro																	
		Rosado																	
		Naranja claro																	
		Amarillo																	
		Amarillo claro																	
	Intermedia	Blanco																	
		Rosado																	
		Purpura																	
		Blanco																	
	Profunda	Naranja claro																	
		Naranja																	
		Verde opaco																	
		Verde oscuro																	
		Verde opaco oscuro																	
		Blanco																	
		Marrón																	
		Marrón claro																	
Marrón oscuro																			
Púrpura																			
Verde																			
Verde claro																			
Gris																			
Negro																			

\*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2019 en LB-1

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 13-18. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña invierno, 2016 a 2023.**

Año/Muestra		LB-2																								
		2016		2017		2018		2019			2020			2021			2022			2023						
		LB-2		LB-2		LB-2		LB-2 P			LB-2 C			LB-2 P			LB-2 C			LB-2 P			LB-2 C			
		1	3	1	3	1	3	1			1			2			1 3			1 3			1 3			1 3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■		■		■		■			■			■			■			■			■		
		Verde	■		■		■		■			■			■			■			■			■		
		Verde claro		■							■															
		Verde oscuro																			■					
		Rosado						■			■															
		Naranja claro				■																				
		Amarillo						■									■			■			■			
		Amarillo claro																								
	Intermedia	Blanco		■		■	■																			
		Rosado	■		■		■		■			■			■			■			■			■		
		Purpura				■	■			■			■					■	■	■	■	■	■	■	■	
		Blanco														■										
	Profunda	Naranja claro																								
		Naranja																								
		Verde opaco				■																				
		Verde oscuro																								
		Verde opaco oscuro																								
		Blanco				■																				
		Marrón			■	■		■			■			■			■			■			■			
		Marrón claro	■		■		■		■			■			■			■			■			■		
Marrón oscuro						■																				
Púrpura																										
Verde					■																					
Verde claro											■															
Gris																						■				
Negro																							■			

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo  
 Fuente: Elaboración propia



Respecto a la Tipología 2, la Laguna La Punta, había exhibido este tipo de tapetes en las estaciones LP-23 (33% de las muestras) y LP-24, particularmente en tapetes superficiales coriáceos (66%), aunque también superficiales planos (33%) durante invierno 2022. El hallazgo de esta tipología en estos tapetes había coincidido con lo registrado en invierno 2019 e invierno 2020, donde también se había observado esta estructura tipológica. Principalmente, se observó que la estación más prevalente fue LP-24, la cual mantuvo estable la presencia de esta tipología en invierno 2022, respecto a invierno 2021 y similar a 2020, para los tapetes coriáceos e incluso para los tapetes superficiales planos. Esto había estado mostrando un cambio respecto a los inviernos anteriores (2016 a 2019), dado que estas estaciones, clásicamente, exhiben tapetes de Tipología 1, lo que va en línea con lo observado en invierno tardío 2023 (**Tabla N° 13-20**).

En todos los casos de invierno 2022, se había observado la pérdida de la macro-zona profunda, representada en capas de tonalidad marrón, la cual, en la campaña invierno tardío 2023 ha sido recuperado en el 92,6% de las muestras. Esto indicaría una variación en las comunidades microbiológicas que podrían estar habitando el tapete, especialmente, en la zona anoxigénica-anaerobia del tapete (macro-zona profunda). En ese sentido, es sugerible mantener la atención en los tapetes de estas estaciones para seguir su evolución (**Tabla N° 13-20 y Tabla N° 13-21**).

Respecto a Laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 tampoco se observaron en las tres estaciones estudiadas (LB-1, LB-2 y LB-3). Anteriormente, durante invierno 2022, habían mostrado leves variaciones, respecto a invierno 2021, con disminución en la conformación de algunos tapetes. No obstante, y al igual que en invierno 2021, se había observado cierta dinámica en esta laguna, dado que en LB-1, se había notado un aumento de tapetes superficiales planos con Tipología 2 (33%) en invierno 2021, mientras que disminuyó (33%) en tapetes coriáceos (**Tabla N° 13-21**).

Un efecto similar se observó en LB-2, en invierno 2022, donde la Tipología 2 disminuyó un 33% su presencia en tapetes superficiales planos, respecto a invierno 2019, mientras que los tapetes coriáceos se mantuvieron constantes, con un 33% (una sola muestra), sin embargo, durante invierno 2022, algunos de los tapetes (cerca del 33%) de estas estaciones habían migrado hacia Tipología 1 y finalmente, lo hicieron completamente en invierno tardío 2023 (**Tabla N° 13-21**).

Por otro lado, en LB-3, los tapetes coriáceos habían disminuido en un 66%, en invierno 2022, mientras que los tapetes planos superficiales disminuyeron (33%) respecto a invierno 2021. Cabe destacar, que la presencia de Tipología 2, se ha observado previamente en anteriores campañas de invierno (2016 a 2018). La mayoría de los cambios, se habían reflejado en la pérdida de la macro-zona profunda de estos tapetes (**Tabla N° 13-21**).

**Tabla N° 13-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta. Campaña invierno, 2016 a 2023.**

Año/Muestra		La Punta																							
		2016	2018	2019				2020					2021			2022									
		LP-23	LP-23	LP-23	LP-24 P	LP-24 C		LP-23			LP-24 P		LP-24 C			LP-23 P	LP-24 C		LP-23 P	LP-24 P		LP-24 C			
		1	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	1	2	3	2	1	2	3		
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																							
		Naranja																							
		Amarillo																							
		Verde																							
		Verde claro																							
		Verde oscuro																							
		Rosado																							
		Púrpura																							
		Intermedia	Blanco																						
	Rosado																								
	Rosado claro																								
	Purpura																								
	Rojo																								
	Profunda	Verde																							
Verde claro																									
Amarillo claro																									
Rosado																									
Púrpura																									
Marrón																									
Marrón claro																									
Gris																									
Negro																									

\*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2017 2023 en Laguna La Punta.

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia



En cuanto a Tipología 3, la Laguna La Punta reportó esta conformación en LP-23 (33%) y LP-24 (17%). Si bien LP-24 se caracteriza por presentar esta tipología en los tapetes superficiales, es la primera vez que LP-23 exhibe esta conformación tipológica (**Tabla N° 13-22**).

Por otra parte, en Laguna La Brava, no hubo reportes de Tipología 3 en invierno tardío 2023, desde invierno 2021, donde sólo una muestra de tapetes coriáceos de la estación LB-3 exhibió dicha conformación (**Tabla N° 13-22**). En ese sentido, se sugiere atención en los próximos monitoreos en la posible recuperación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1 a partir de la Tipología 3.

**Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2023.**

Año/Muestra		La Punta							La Brava										
		2017	2018	2019	2021			2022		2023		2018	2019		2020	2021			
		LP-24	LP-24	LP-24 P	LP-24 P			LP-24 P	LP-23 P	LP-24 P	LB-1	LB-1 P	LB-3 C	LB-3 C		LB-1 P			
		2	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	2	1	3	2			
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																	
		Blanco																	
		Rosado claro																	
		Naranja																	
		Amarillo																	
		Verde																	
		Verde oscuro																	
		Naranja claro																	
		Marrón claro																	
		Amarillo claro																	

\*Tipología 3 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna La Punta y en inviernos 2016, 2017, 2022 y 2023 en Laguna La Brava.

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

### 13.3.2.2.2 Sector Tilopozo

Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en el punto de muestreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016, motivo por el cual fueron ingresadas como estaciones adicionales al monitoreo. En este sector no se detectó la presencia de tapetes microbianos en invierno 2023 (Tabla N° 13-23).

**Tabla N° 13-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo. Campaña invierno, 2016 a 2023. (S/C: sin capas pigmentadas).**

Año/Muestra			Tilopozo							
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
			TB-2	-	-	-	-	-	-	-
1			-	-	-	-	-	-	-	
Macrozona	Subsuperficial	Blanco		S/C	S/C	S/C	S/C	S/C	S/C	
		Naranja								
		Amarillo								
		Verde								
		Verde claro								
		Verde oscuro								
	Intermedia	Blanco								
		Rosado								
		Rosado claro								
		Purpura								
	Profunda	Verde claro								
		Amarillo claro	S/C							
		Marrón								

(s/c: sin capas)

Fuente: Elaboración propia

### 13.3.2.2.3 Sector Peine

El sector Peine presentó tapetes de Tipología 1 y 2 durante la campaña de invierno 2016 y las tres Tipologías (1, 2 y 3) en las sucesivas campañas de invierno (2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). En estos tapetes, se observaron mayormente las tonalidades verde y naranja en la macrozona Subsuperficial, las tonalidades rosado y púrpura en la macrozona Intermedia y marrón en la macrozona Profunda. En todas las campañas, se observó tapetes de morfología plana.

No se entrega mayor análisis de la evolución de sector Peine, dado que no hay información de invierno tardío 2023 que permita hacerlo, por lo que no se considera adecuado realizarlo.

---

### **13.3.2.3 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas**

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e invierno tardío 2023 (**Tabla N° 13-24**) y en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar se sugiere la presencia de microbialitos en el sector Peine, en la estación I-11 (invierno 2016, 2021 y 2022) y en el sector La Punta - La Brava, en las estaciones LP-23 y LB-1 en todos los inviernos. Respecto a las evaporitas, en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de evaporitas en Laguna Interna (I-11) en invierno 2017 y 2018, mientras que en Laguna La Punta (LP-24) a partir de invierno 2017 hasta la presente campaña. Estos cambios, podrían ocurrir como resultado del aumento de la columna de agua, especialmente, en Laguna Interna donde no se pudo observar presencia de evaporitas (estación I-11), previamente observadas en campañas anteriores. A su vez, estos resultados solamente sugieren la presencia de estas estructuras (i.e. evaporitas, microbialitos) ya que la denominación de microbialitos o evaporitas, requiere de análisis específicos de la estructura interna y composición de éstas.

**Tabla N° 13-24. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.**

Estación de Monitoreo	Registro visual																
	Microbialito								Evaporita								
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
S-5	-	-	-	-	-	-	-	Sin acceso	-	-	-	-	-	-	-	Sin acceso	
S-6A	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-
S-9	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-
SA-25	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-
S-10	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-
S-11	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-
I-11	+	-	-	-	-	+	+		-	+	+	-	-	-	-		-
I-17	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-
LP-23	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
LP-24	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	
LB-1	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
LB-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TB-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TB-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(+) Presencia, (-) No detección

### **13.3.3 Análisis evolución veranos 2017 a 2024**

#### **13.3.3.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector**

Los resultados de los monitoreos de verano en los distintos sectores mostraron que en las campañas verano 2017, 2018 y 2019, el 68,8% de las estaciones registraron presencia de comunidades microbianas. En verano 2021, campaña en la cual no se pudo ingresar al sector Peine y sólo se muestreó el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos. En la campaña verano 2022, en la cual sólo se obtuvo acceso parcialmente al sector Peine y pleno acceso a los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, se reportó que el 66,7% de las estaciones monitoreadas presentaron tapetes microbianos. En la pasada campaña verano 2023, nuevamente no se pudo ingresar al sector Peine y sólo se muestreó el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, donde se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos. En la presente campaña verano 2024, nuevamente no se tuvo acceso al sector Peine y sólo se muestrearon los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, en las cuales se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos.

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña verano 2024, se observaron tres principales tipologías de tapetes, las que corresponden a:

A.-TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación:

- Capas Subsuperficiales de tonalidad verde y/o naranja
- Capas Intermedias de tonalidad rosada y/o púrpura
- Capas Profundas de tonalidades color marrón y/o verde

B.-TIPOLOGÍA 2, tapetes que presentan 2 macro-zonas de pigmentación:

- Capas Subsuperficiales de tonalidad verde, naranja y en menor medida, rosado.
- Capas Intermedias de tonalidades rosada y/o púrpura.

C.-TIPOLOGÍA 3, tapetes que presentan solo una macro-zona:

- Capa Subsuperficial de tonalidad verde, rosado y/o naranja

En relación con la estructura de pigmentación, en las 7 campañas de monitoreo de verano (2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024), en tapetes microbianos, se observó la presencia de las tres tipologías. Cabe destacar que, la campaña de verano 2020, no fue posible realizarla producto de la pandemia COVID-19.

Para el **Sector La Punta-La Brava**, en la campaña verano 2024, se registró un aumento en la proporción de tapetes de Tipología 1, respecto a las anteriores campañas de verano (2021, 2022 y 2023), mientras que se mantuvo en valores similares a verano 2017, 2018 y 2019. Dentro de las estaciones de monitoreo que más cambiaron, respecto de la última campaña verano 2023, destacan LP-23, LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 (La Brava), donde la detección de tapetes había sido, principalmente, de Tipología 2 y en menor medida, Tipología 3, a diferencia de campañas anteriores (verano 2017 a 2019 y 2022) en las cuales se registraron, principalmente, tapetes Tipología 1.

En el sector La Punta-La Brava, se observa que las capas promedio, aumentaron ligeramente respecto a verano 2023, luego de haber registrado un progresivo descenso hasta verano de 2021. Específicamente, laguna La Punta, aumentó el número de capas promedio en verano 2024 (4,6 capas), respecto a verano 2023 (3,7 capas). Por otro lado, La Brava, también mostró un leve aumento en el número de capas promedio en verano 2024 (4,9 capas), respecto a verano 2023 (3,9 capas).

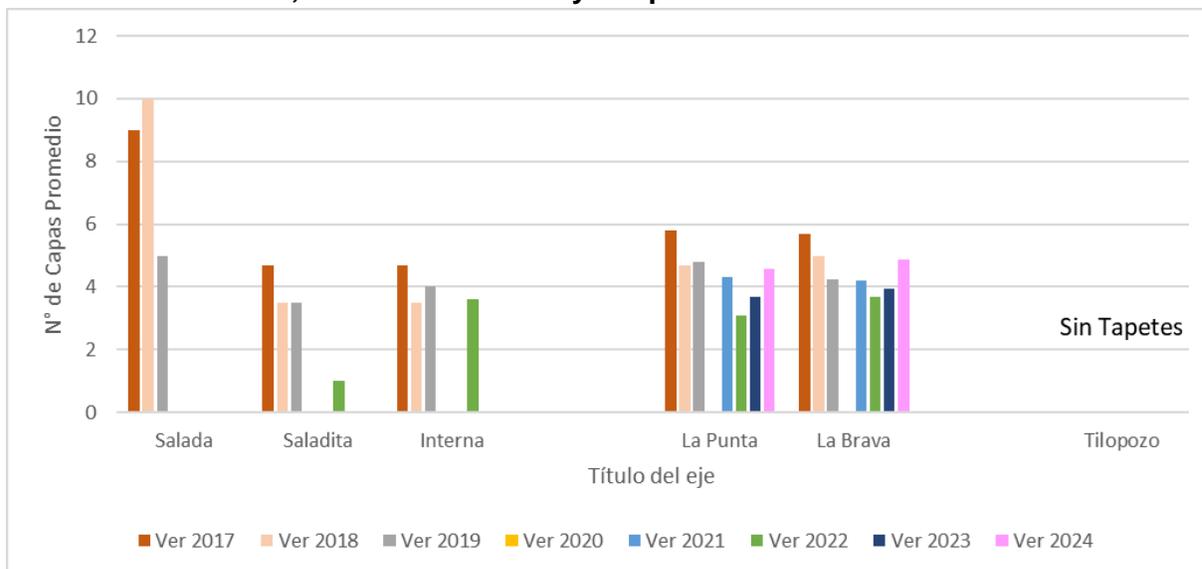
Dentro de las estaciones de monitoreo 2024 que presentaron diferencias respecto de las campañas anteriores para el Sector La Punta-La Brava, destacan LP-23 y LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 (Laguna La Brava), en los cuales se detectaron principalmente tapetes de Tipología 1 y en algunos casos, tapetes de Tipología 3 (LP-24). De este modo, un tapete de Tipología 1 (que contiene las tres macro-zonas macroscópicas: Subsuperficial, Intermedia y Profunda), sugeriría que está en condiciones óptimas, dado que se estarían evidenciando las tres principales zonas funcionales que dan forma al microambiente del tapete. Por el contrario, la baja disponibilidad de agua podría afectar a los microorganismos de estas estructuras, haciendo que los tapetes modificasen su conformación (macro-zonas) tipológica, pasando de Tipología 1 a 2 o incluso 3, y por consiguiente, perdiesen funcionalidad ecológica (i.e. fotosintética, en la participación en ciclos biogeoquímicos, productora de nutrientes, entre otros) (**Figura N° 13-21**).

Respecto al sector La Punta-La Brava, entre la campaña verano 2017 y verano 2024 se observa que las capas promedio, registraron una leve disminución, que varió desde 5,8 a 4,6 capas en laguna La Punta y de 5,7 a 4,9 capas en laguna La Brava, reduciendo levemente la tendencia a la disminución en esta laguna (**Figura N° 13-21**). Específicamente, en laguna La Punta, las capas se mantuvieron similares entre verano 2018 y verano 2019, con 4,7 y 4,8 capas promedio, respectivamente, anotando una diferencia de 0,1 capas, mientras que en verano 2021, bajó a 4,3 capas promedio, lo que significó una variación total de 0,5 capas. Por otro lado, en verano de 2022 se observó una mayor disminución de las capas promedio, la cual alcanzó las 3,1 capas promedio, para luego recuperarse en verano 2023 y verano 2024 hasta llegar a 3,7 y 4,6 capas promedio, respectivamente un aumento de 0,6 capas promedio entre verano 2022 y 2023 y de 0,9 capas promedio entre verano 2023 y 2024.

Respecto de la laguna La Brava, las capas se mantuvieron iguales entre verano 2019 y verano 2021, con 4,2 capas, mientras que, en verano 2022, bajó a 3,7, marcando, también, una

variación total de 0,5 capas, la cual subió 0,2 capas promedio, alcanzando 3,9 capas en verano 2023. Por otro lado, en verano 2024, hubo un aumento de 1 capa promedio respecto de verano 2023, llegando a alcanzar 4,9 capas promedio (**Figura N° 13-21**). Por último, el Sector vegas de Tilopozo, se mantiene sin tapetes microbianos en la actual campaña, así como en las campañas de verano anteriores (**Figura N° 13-21**).

**Figura N° 13-21. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2024.**



Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19.

(\*) Verano 2023, se monitorearon solo 8 estaciones, sin acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

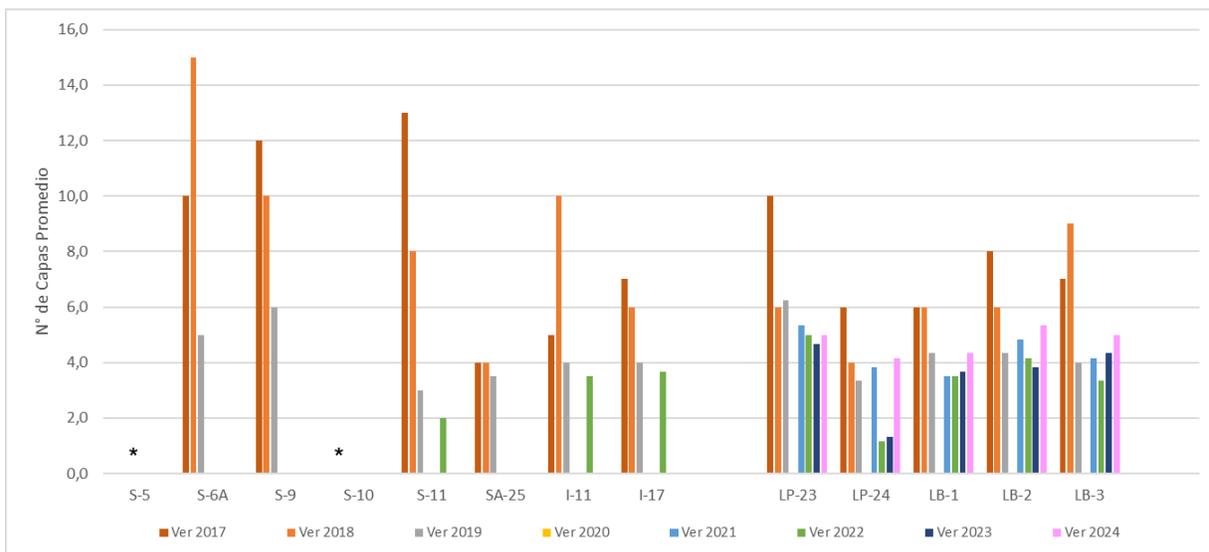
Fuente: Elaboración propia

Al analizar el número de capas por estación de monitoreo (**Figura N° 13-22**), se observa que en laguna La Punta, la estación LP-23 en verano 2024 aumentó levemente respecto a verano 2023, con 0,3 capas promedio, pasando de 4,7 capas a 5,0 capas promedio, volviendo a alcanzar las 5,0 capas promedio que ha exhibido, como mínimo, en las anteriores campañas de verano. La estación LP-24, también mostró un aumento en el número de capas promedio en verano 2024, respecto de veranos anteriores, en los cuales se había obtenido 1,2 y 1,3 capas promedio en verano 2022 y 2023, respectivamente, lo cual significa un aumento de 2,9 capas promedio respecto a verano 2023. Si bien en verano 2023 se mantenía respecto del número de capas promedio observada en verano 2022 (1,0 capa), se observa que varió desde 4,0 capas en verano 2021 a 1,0 capa en verano 2022 y 1,0, en verano 2023, es decir, entre 2021 a 2023 hubo cerca de un 75% de reducción. Si bien en verano 2017 se anotaron el mayor número de capas promedios de esta laguna, 10 y 6 capas para LP-23 y LP-24, respectivamente, la disminución se había mantenido en rangos que variaban entre 5 - 6 (LP-23) y 3 - 4 (LP-24) capas promedio hasta verano 2021, mientras que en verano 2024, los tapetes han vuelto a mostrar un número de capas promedio en dichos rangos o sobre estos.

Esta variación sugiere que hay que mantener especial atención en la evolución de los tapetes de esta laguna. Cabe destacar, además, que, al igual que en verano 2022 y 2023, la estación LP-24 no evidenció tapetes sumergidos, aunque embebidos en agua, los cuales si habían sido registrados entre verano 2017 y verano 2021.

En laguna La Brava, el número de capas que se ha mantenido sin grandes variaciones, en las cuales tanto LB-1 como LB-2, se mantuvieron en rangos vistos en anteriores veranos (~4,0 capas promedio), ahora se observa un aumento en el número de capas promedio de 3,7 a 4,3 capas en LB-1 y de 3,8 a 5,3 capas en LB-2, un aumento de 0,6 y 1,5 capas promedio, respectivamente, entre verano 2023 a 2024. Por otro lado, LB-3 que había anotado un leve aumento de este parámetro en verano 2023, volvió a mostrar un aumento en el número de capas, pasando de 4,3 a 5,0 capas promedio, un aumento de 0,7 capas (**Figura N° 13-22**). De este modo, todas las estaciones de monitoreo aumentaron el número de capas de los tapetes, donde las mayores variaciones en el número de capas, entre periodos de verano, fue observado en LP-24, el cual pasó de 1,3 a 4,2 capas promedio y LB-2 que pasó de 3,8 a 5,3 capas promedio.

**Figura N° 13-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2024.**



(\*) Indica ausencia de tapetes microbianos en el sector.

Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19.

(\*\*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las siete campañas de verano llevadas a cabo, se distinguen principalmente 3 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada y en laguna La Punta; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de

tipo coriácea (semejante al cuero), los cuales predominan en laguna La Brava (LB-1); y 3) Tapetes planos, de textura superficial mucilaginosa, de consistencia blanda y granular, detectados especialmente en laguna La Brava (LB-1 y LB-2), observados en verano de 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024.

### **13.3.3.2 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos**

A continuación, se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de verano, realizados en 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024, sólo en las zonas que hubo datos en 2024.

#### **13.3.3.2.1 Sector La Punta-La Brava**

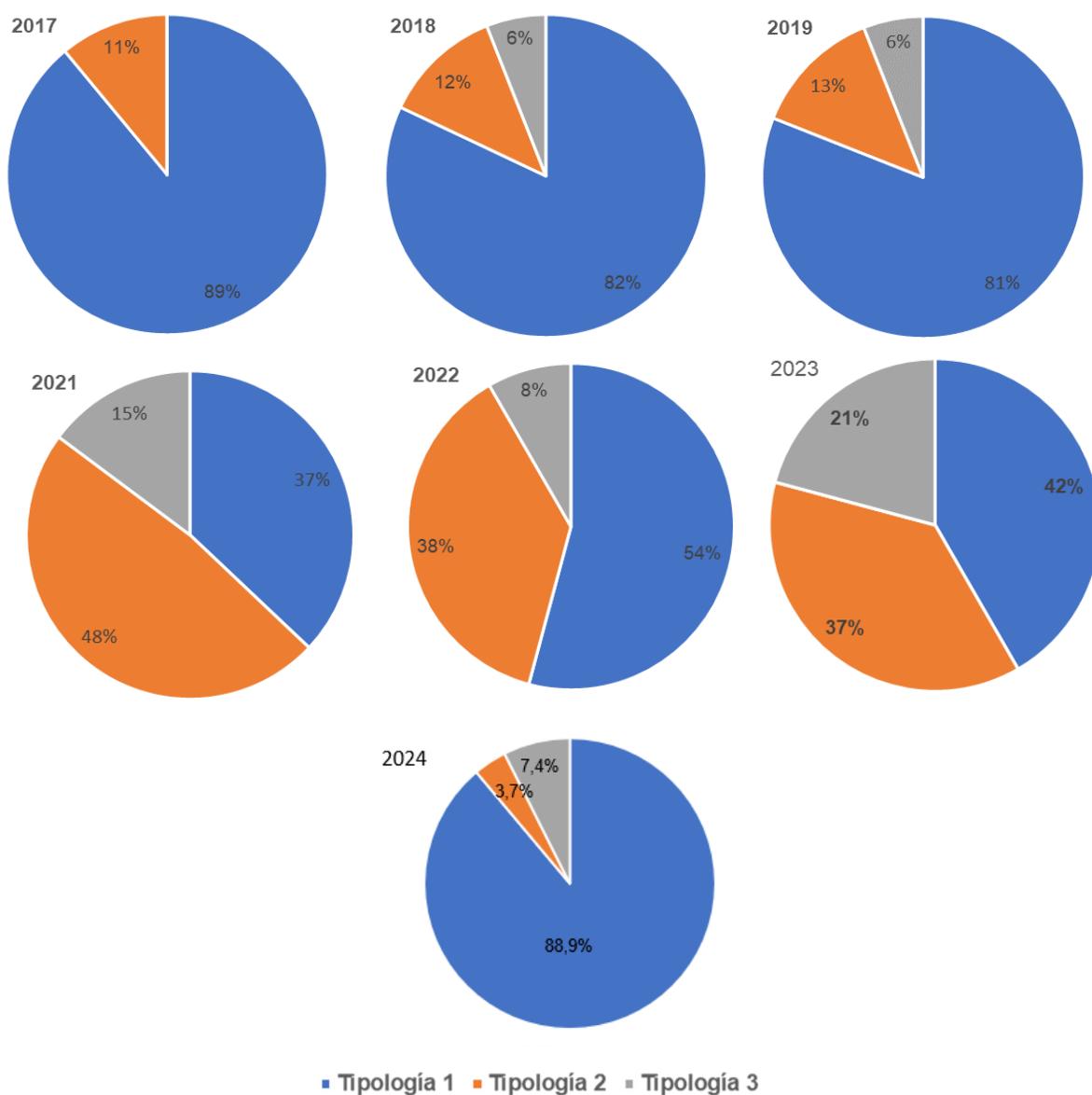
El sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1 y 2 durante las campañas de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024. Por otro lado, la Tipología 3 fue observada en todas las campañas, excepto en verano 2017. Durante verano 2024, hubo un aumento de 47,2% en la Tipología 1, respecto de verano 2023. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron (~32,4%) en comparación a verano 2023. En el mismo sentido, se observó que la Tipología 3, disminuyó (~14,8%) respecto a verano 2023. Cabe destacar que en verano 2020 no hubo muestreo debido a la pandemia COVID-19.

A nivel de lagunas, la laguna La Punta, presentó 7 veces más tapetes que exhibieron la Tipología 1 respecto a verano 2023, en la cual presentó la menor prevalencia de esta tipología; por contraparte, la Tipología 2 se redujo completamente entre los mismos periodos, ya que no se observó ningún tapete con esta conformación tipológica, mientras que la Tipología 3 que en verano 2023 había exhibido 56% de las muestras, se redujo al 22%, con solo dos muestras (LP-24). Por otro lado, en la Laguna La Brava, la Tipología 1 aumentó 1,9 veces respecto a verano 2023, habiendo estaciones donde el 100% de los tapetes fue de Tipología 1 (LB-1 y LB-2), asimismo, la Tipología 2 anotó una disminución de 6 veces, respecto a verano 2023. Por el contrario, la Tipología 3, que había mostrado una prevalencia de 17% en verano 2023, no se observó en verano 2024. Así, se observa un aumento en la prevalencia de la Tipología 1, valores que se contraponen con la tendencia que se venía registrando en veranos anteriores (2017 a 2021), donde dicha Tipología se mantenía en rangos entre 37 a 89%. Las variaciones en las Tipologías 1, 2 y 3, se deberían principalmente al aumento de Tipología 1 en todas las estaciones del sector La Punta-La Brava.

De este modo, en el sector La Punta-La Brava, la disminución de tapetes tipología 1 observada desde verano 2019, se recupera, alcanzando un 88,9% en verano 2024. Esto, representa una

recuperación a niveles observados en verano 2017 (89%). La Tipología 2, redujo su prevalencia respecto a 2023, y se ve disminuida 3 veces respecto a verano 2017. Finalmente, hay que destacar que la Tipología 3, si bien, mostraba una estabilización en su prevalencia entre verano 2018 y 2019, y luego de un aumento de 2,5 veces en verano 2021 y de 2,5 veces respecto verano 2022, esta vez se ve reducida respecto a verano 2021, 2022 y 2023, está aumentada (7,4%) respecto a verano 2017 (**Figura N° 13-23**).

**Figura N° 13-23. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, Verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024.**



Fuente: Elaboración propia





de eventos detrimentales y, por consiguiente, de las capas de microorganismos que pueden disminuir y que se encuentran asociados a estas macro-zonas. Respecto a LB-3, se observó un aumento en la Tipología 1, a valores similares a verano 2019 y que se había reducido en verano 2021, mostrando recuperación de la macro-zona profunda (tonalidad marrón), destacando así, que LB-3 también es una estación que se caracteriza por presentar tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 13-29**).

**Tabla N° 13-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2024.**

Año/Muestra		LB-1																						
		2017			2018				2019			2021	2022					2023	2024					
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	2-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																						
		Verde																						
		Verde claro																						
		Verde oscuro																						
		Verde amarillo																						
		Verde opaco claro																						
		Amarillo																						
		Amarillo claro																						
		Rosado																						
		Marrón claro																						
	Intermedia	Blanco																						
		Rosado																						
		Rosado claro																						
		Púrpura																						
	Profunda	Verde claro																						
		Verde opaco																						
		Verde oscuro																						
		Verde opaco oscuro																						
		Blanco																						
		Marrón																						
Marrón claro																								
Marrón oscuro																								
Marrón naranja																								
Marrón naranja oscuro																								
Amarillo																								
Negro																								

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 13-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2024.**

Año/Muestra		LB-2																											
		2017			2018			2019			2021				2022				2023				2024						
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	1-P	3-P	1-C	2-C	1-P	2-P	1-C	2-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	[Orange]																										
		Verde	[Green]																										
		Verde claro	[Light Green]																										
		Verde oscuro	[Dark Green]																										
		Verde amarillo	[Yellow-Green]																										
		Verde opaco claro	[Light Opaque Green]																										
		Amarillo	[Yellow]																										
		Amarillo claro	[Light Yellow]																										
		Rosado	[Pink]																										
		Marrón claro	[Light Brown]																										
	Intermedia	Blanco	[White]																										
		Rosado	[Pink]																										
		Rosado claro	[Light Pink]																										
		Púrpura	[Purple]																										
	Profunda	Verde	[Green]																										
		Verde opaco	[Opaque Green]																										
		Verde oscuro	[Dark Green]																										
		Verde opaco oscuro	[Dark Opaque Green]																										
		Blanco	[White]																										
		Marrón	[Brown]																										
Marrón claro		[Light Brown]																											
Marrón oscuro		[Dark Brown]																											
Marrón naranja		[Orange-Brown]																											
Marrón naranja oscuro		[Dark Orange-Brown]																											
Amarillo	[Yellow]																												
Negro	[Black]																												

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 13-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2024.**

Año/Muestra		LB-3																							
		2017			2018			2019			2021			2022			2023				2024				
		1	2	3	1	2	3	1	3-P	1-C	3-C	1-P	2-P	3-P	2-C	3-C	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C				
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																							
		Verde																							
		Verde claro																							
		Verde oscuro																							
		Verde amarillo																							
		Verde opaco claro																							
		Amarillo																							
		Amarillo claro																							
		Rosado																							
		Marrón claro																							
	Intermedia	Blanco																							
		Rosado																							
		Rosado claro																							
		Púrpura																							
	Profunda	Verde claro																							
		Verde opaco																							
		Verde oscuro																							
		Verde opaco oscuro																							
		Blanco																							
		Marrón																							
Marrón claro																									
Marrón oscuro																									
Marrón naranja																									
Marrón naranja oscuro																									
Gris																									
Negro																									

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, ha exhibido siempre este tipo de tapetes, mientras que en verano 2021 y verano 2023, se hallaron más tapetes con esta tipología. No obstante, en verano 2024 no se evidenció tapetes con esta conformación tipológica. Específicamente, en verano 2023, este tipo de tapetes se observó tanto en LP-23 como en LP-24, todas en muestras de tapetes superficiales planos, lo cual se condice con lo observado en anteriores campañas de verano, principalmente 2021. Así, entre verano 2022 y 2023, en los tapetes con esta conformación macroscópica se observa que habrían perdido la macro-zona intermedia, principalmente, de tonalidad rosada (**Tabla N° 13-30**), contribuyendo a un aumento en la prevalencia de Tipología 2, a nivel general, lo cual representó un aumento de 4 veces respecto a lo registrado en verano 2022, lo cual también se tradujo en una disminución respecto a verano 2022 de los tapetes de Tipología 1 y en consecuencia, de las comunidades microbiológicas que podrían estar habitando el tapete, especialmente, en la zona autótrofa fotosintética anoxigénica del tapete (macro-zona intermedia).

Por tanto, el hecho de no hallar tapetes de Tipología 2 y un aumento en la Tipología 1, sugiere la restauración de dichas capas que se habían perdido. Cabe destacar que en LP-24, donde, junto a los tapetes superficiales planos, también existe registro constante de tapetes sumergidos o humedecidos, en verano 2023, al igual que en verano 2022, no se habían encontrado, ya que la zona de muestreo estaba desecada, lo cual redujo completamente la cantidad de muestras a considerar en cuanto al seguimiento en la evolución de esta estación de monitoreo, por ello, es de destacar que esta estación, mantenía tapetes embebidos en agua (**Tabla N° 13-30**).

Respecto a laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se observaron sólo en una de las tres estaciones estudiadas, esto es en tapetes superficiales planos de la estación LB-3, mostrando valores similares a los observados en verano 2019, y manteniendo notables variaciones, con respecto a los anteriores veranos (2021 a 2023), donde, se han encontrado, a lo menos, un 67% de tapetes con esta tipología. Ya que en la actual campaña hubo grandes variaciones respecto a verano 2023, al considerar las anteriores campañas (verano 2017 a 2019), se observa la disminución de 7 a 8 veces en prevalencia de esta tipología, al tomar en cuenta las tres estaciones, volviendo a los valores vistos en aquellas campañas.

Cabe destacar, que, salvo LB-3, las estaciones LB-1 y LB-2, se caracterizan por poseer, de manera constante, la Tipología 1 y también la Tipología 2, no obstante, el reducido hallazgo de estos últimos se ve representado en la recuperación de la macro-zona profunda (tonalidad marrón) y en menor de la macro-zona intermedia (tonalidades rosado y/o púrpura) (**Tabla N° 13-31**), por lo cual, existiría una variación en las comunidades microbiológicas que habitarían el tapete en la zona anoxigénica-anaerobia, correspondiente a la macro-zona profunda.

**Tabla N° 13-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2024.**

Año/Muestra		2017	2018		2019	2021					2022	2023							
		LP-24	LP-23	LP-24	LP-24	LP-23			LP-24 P		LP-24 P	LP-23		LP-24 P					
		3	3	2	3	1	2	3	2	3	3	2	3	1					
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																	
		Verde																	
		Verde claro																	
		Verde oscuro																	
		Verde opaco claro																	
		Amarillo																	
	Intermedia	Rosado																	
		Púrpura																	
		Verde oscuro																	
	Profunda	Verde oscuro																	
		Verde opaco claro																	
		Verde opaco oscuro																	
		Marrón																	
		Marrón claro																	
		Púrpura																	
		Gris																	
Verde																			

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

\*Tipología 2 no fue reportada en verano 2024 en LP-24

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2024.**

Año/Muestra		2017	2019	2021						2022						2023						2024						
		LB-1	LB-3	LB-1 P		LB-1 C		LB-2 C	LB-3 P		LB-3 C	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-3 P			LB-3 C			LB-1 P	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-3 C	LB-3 P		
		2	3	1	3	1	3	3	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	2	1	3		
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																										
		Verde																										
		Verde claro																										
		Verde oscuro																										
		Verde opaco claro																										
		Amarillo																										
	Interme	Rosado																										
		Rosado																										
		Púrpura																										
		Blanco																										
	Profunda	Verde oscuro																										
		Verde opaco claro																										
		Verde opaco oscuro																										
		Marrón																										
Marrón claro																												
Negro																												
Rosado																												

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

\*Tipología 2 no fue reportada en verano 2024 en LB-1 ni LB-2

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, la laguna La Punta exhibió esta tipología en dos muestras de tapetes superficiales planos, similar a lo observado en verano 2022 y 2021, donde la misma estación (LP-24) había exhibido muestras de tapetes. Por otro lado, se había observado muestras de Tipología 3 en laguna La Brava, donde tapetes de las estaciones LB-1 y LB-3 evidenciaron esta conformación macroscópica. La actual disminución en la prevalencia de esta tipología se debería a la recuperación de las macro-zonas intermedia (tonalidad rosada y/o púrpura) o profunda (tonalidad marrón) de tapetes que en veranos anteriores (2017-2021) habían presentado Tipología 2 o incluso 1. Dado que se había observado esta tipología en LB-1 y LB-3, se había sugerido mantener la atención en este sitio y en la posible recuperación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1, lo cual se puede observar en la presente campaña 2024 (Tabla N° 13-32).

**Tabla N° 13-32. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2024.**

Año/Muestra			2021			2022		2023				2024			
			LP-24 P		LP-24 C	LB-1 P	LP-24 P		LP-24 P		LB-1 P	LB-1 C	LB-3 C	LP-24 P	
			1	1	2	2	1	2	2	3	3	2	1	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde													
		Naranja													
		Amarillo													
		Rosado													
		Verde claro													

\*Tipología 3 no fue reportada en verano 2017 a 2019 en Laguna La Punta y Laguna La Brava

Fuente: Elaboración propia

### **13.3.3.2 Sector Tilopozo**

Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en el punto de muestreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016, motivo por el cual fueron ingresadas como estaciones adicionales al monitoreo. En este sector no se detectó la presencia de tapetes microbianos en verano 2024, al igual que en reportes anteriores (verano 2017 a 2023).

### **13.3.3.3 Sector Peine**

En el Sector Peine, se observó en todas las campañas de verano (2017 a 2022), las tipologías 1, 2 y 3, de las cuales, la Tipología 1 fue la más frecuente, excepto por verano 2019, donde predominó la Tipología 2. En estos tapetes, se observaron mayormente las tonalidades verde y naranja en la macrozona Subsuperficial, las tonalidades rosado y púrpura en la macrozona Intermedia y marrón en la macrozona Profunda. En todas las campañas, se observó tapetes de morfología plana.

No se entrega mayor análisis de la evolución de sector de Peine, dado que no hay información verano 2024 que permita hacerlo.

### 13.3.3 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para periodos de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2024 (Tabla N° 13-33. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024.

(+) Presencia, (-) No detección

Punto de Monitoreo	Registro visual																			
	Microbialito								Evaporita											
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024				
S-5	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso				
S-6A	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
S-9	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
SA-25	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
S-10	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
S-11	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
I-11	+	+	+						-	+	-						-	-	-	-
I-17	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
LP-23	+	+	+						+	+	+						+	-	-	-
LP-24	+	-	-						-	-	-						-	+	+	+
LB-1	+	+	+						+	+	+						+	-	-	-
LB-2	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
LB-3	-	-	-						+	+	-						-	-	-	-
TB-1	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
TB-2	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
TB-3	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-

---

) y en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector Peine, en la estación I-11 (para verano 2017 a 2021) y en el sector La Punta-La Brava, en la estación LP-23 y en las estaciones LB-1 y LB-3. Según lo observado entre periodos de verano se mantiene la presencia de microbialitos en la estación LB-1, en tanto, se mantiene la presencia de posibles microbialitos en la estación LB-3 en los periodos de verano 2021 y 2022.

Respecto a las evaporitas en este sector, se sigue consignando la presencia de posibles evaporitas en la estación LP-24 (Laguna La Punta). Estos resultados solamente sugieren la presencia de estas estructuras (evaporitas, microbialitos) ya que la denominación de microbialitos o evaporitas, requiere de análisis específicos de la estructura interna y composición de éstas.

**Tabla N° 13-33. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024.**

(+) Presencia, (-) No detección

Punto de Monitoreo	Registro visual																			
	Microbialito								Evaporita											
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024				
S-5	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso				
S-6A	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
S-9	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
SA-25	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
S-10	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
S-11	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
I-11	+	+	+						-	+	-						-	-	-	-
I-17	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
LP-23	+	+	+						+	+	+						+	-	-	-
LP-24	+	-	-						-	-	-						-	+	+	+
LB-1	+	+	+						+	+	+						+	-	-	-
LB-2	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
LB-3	-	-	-						+	+	-						-	-	-	-
TB-1	-	-	-						-	-	-						-	-	-	-
TB-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
TB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										

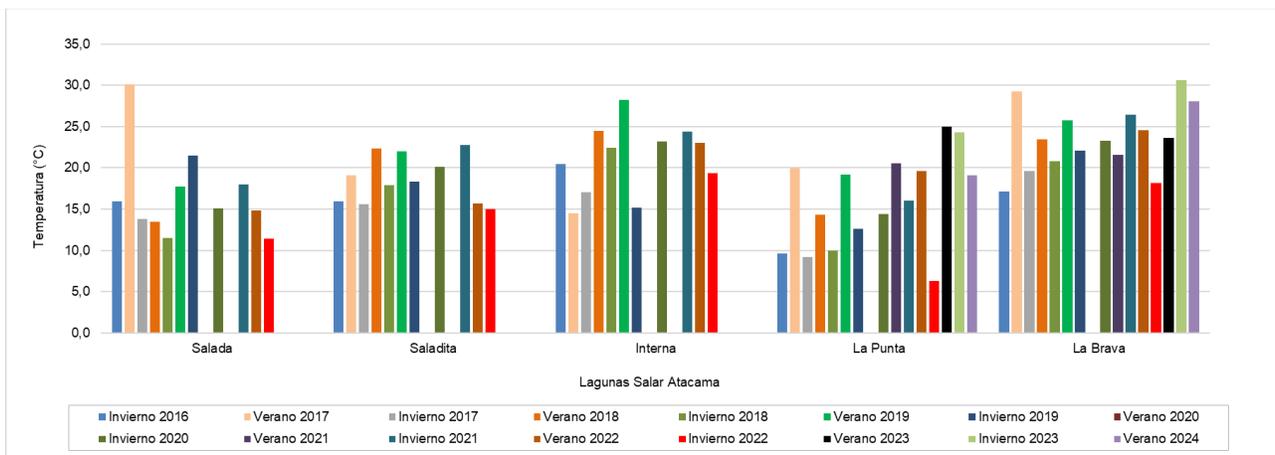
### 13.3.4 Evolución de Parámetros Físicos y Químicos (2016-2024)

A continuación, se describe la evolución histórica de la calidad de agua y sedimentos de algunas variables de importancia para los tapetes microbianos y por sector (Peine y la Punta-La Brava). Por otra parte, cabe mencionar que en el periodo de verano 2020 no se realizó el monitoreo debido a la pandemia COVID-19 y en el periodo invierno 2021 y en verano 2023 y 2024 no se pudo acceder a Peine debido al periodo reproductivo de los flamencos en el sector, en verano 2022 no se accedió a las estaciones de Peine S-9 y SA-25, por la presencia de flamencos.

- *Temperatura*

En relación con la temperatura promedio registrada en periodos invierno y verano, el valor máximo se observó en verano 2024, con un valor de 30,7 °C en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2022 con 6,3 °C en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava y en la laguna Interna y los menores en la laguna La Punta y laguna Salada (**Figura N° 13-24**). Cabe señalar que, el registro de temperatura del agua es variable durante el día, dependiendo de la hora en que se realiza la medición.

**Figura N° 13-24. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**

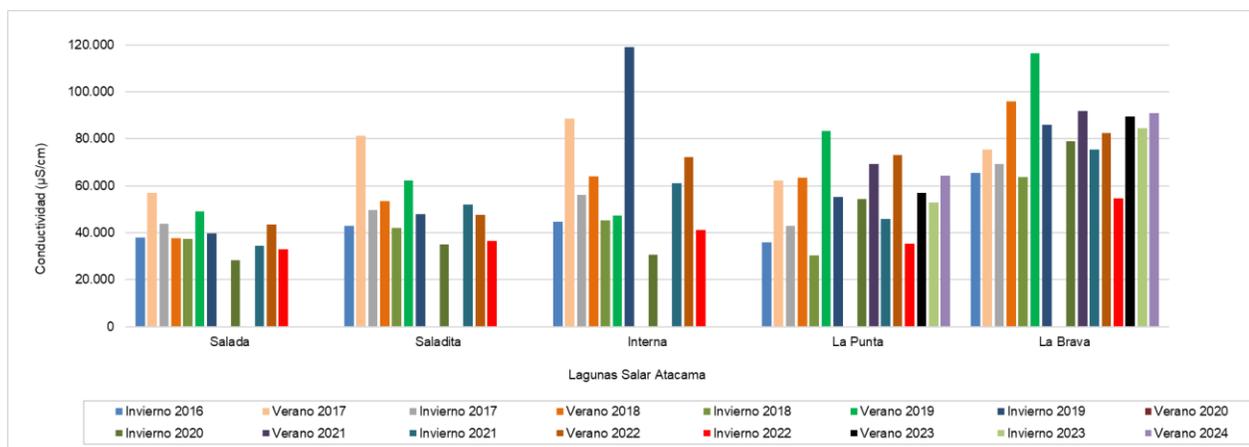


Fuente: Elaboración propia

- *Conductividad*

Para la conductividad registrada en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en invierno 2019, con un valor de 119.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la laguna Interna, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con 28.335  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la laguna Salada, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava, La Punta y laguna Interna y los menores en la laguna Salada (Figura N° 13-25).

**Figura N° 13-25. Variación promedio de la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**



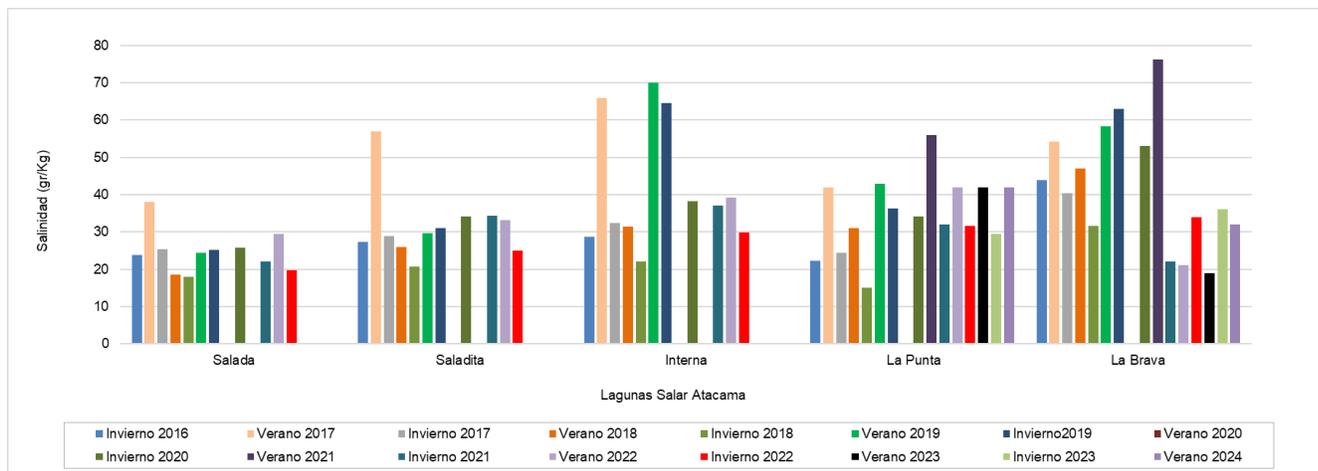
Fuente: Elaboración propia

- *Salinidad*

En relación con la salinidad registrada en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en verano 2021, con un valor de 76,3 gr/Kg en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2018 con en 15,0 gr/Kg la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava y los menores en la laguna Salada (Figura N° 13-26). Los valores obtenidos para la salinidad son coherentes con los obtenidos para la conductividad, ambos están correlacionados.

En relación con la salinidad, se sabe que la fluctuación de la salinidad afecta la diversidad bacteriana, las tasas de fotosíntesis, además del consumo de oxígeno disponible en el cuerpo de agua. La presencia de tapetes en ambientes con salinidades más altas puede sugerir una adaptación a esta variable por parte de los microorganismos, y puede estar relacionado con el cambio en la diversidad y la función de sus comunidades microbianas (Farias *et al.* 2017).

**Figura N° 13-26. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**

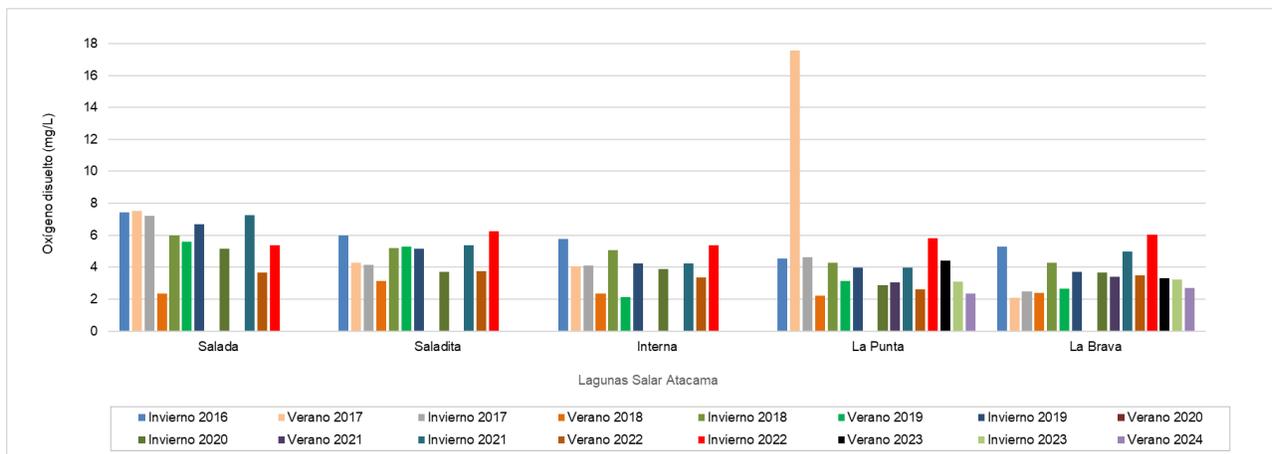


Fuente: Elaboración propia.

- *Oxígeno disuelto*

Respecto al oxígeno disuelto registrado en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en verano 2017, con un valor de 17,6 mg/L en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en verano 2017 con en 2,1 mg/L la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna Salada y los menores en la laguna La Brava (**Figura N° 13-27**). Esto se condice con los registros de salinidad y conductividad, en el sector La Brava donde se observan los mayores registros para estas variables y los menores registros de oxígeno disuelto, esto se explica debido a que en ambientes con mayor salinidad-conductividad el oxígeno disuelto presenta una menor solubilidad. Por ende, menor disponibilidad de oxígeno disuelto para la biota acuática.

**Figura N° 13-27. Variación promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**

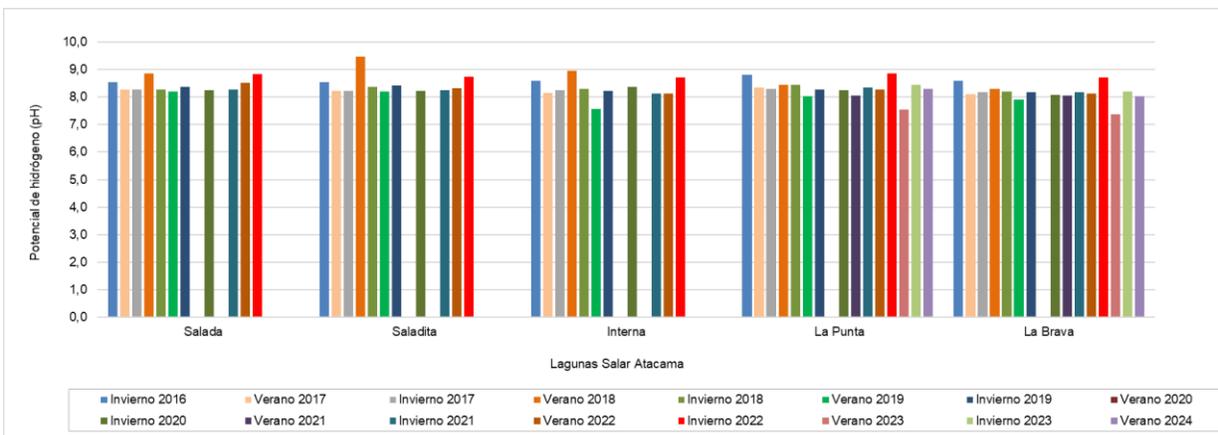


Fuente: Elaboración propia.

- *pH*

Para el pH registrado en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en verano 2018, con un valor de 9,5 unidades en la laguna Saladita, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en verano 2023 con un valor de 7,4 unidades la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna Saladita y los menores en la laguna La Brava (**Figura N° 13-28**). Entre sectores se mantuvieron registros constantes de pH, manteniéndose en valores de rangos de alcalinidad (8,2 y 8,5 unidades en promedio por sector) los que califican como moderadamente alcalinos según Hounslow (1995).

**Figura N° 13-28. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**

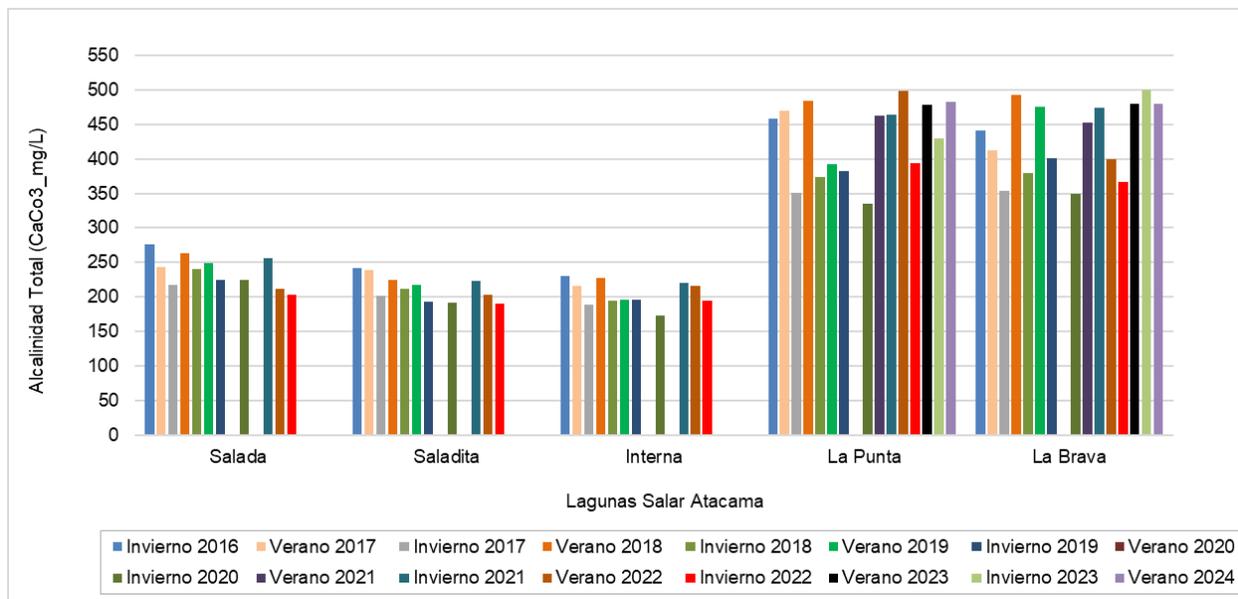


Fuente: Elaboración propia.

- *Alcalinidad Total*

Para la alcalinidad registrada en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en invierno 2023, con un valor de 500 mg/L en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con un valor de 174 mg/L en la laguna Interna, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en las lagunas La Punta y La Brava y los menores en la laguna Saladita (**Figura N° 13-29**). Entre sectores el sector Peine presentó menores registros. La alcalinidad en este tipo de ecosistemas hipersalinos contribuye a la precipitación de carbonatos por parte de los microorganismos y modela el equilibrio bicarbonato-carbonato en las aguas (Risacher, Alonso & Salazar 1999; Glunk et al, 2010).

**Figura N° 13-29. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO<sub>3</sub>\_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**

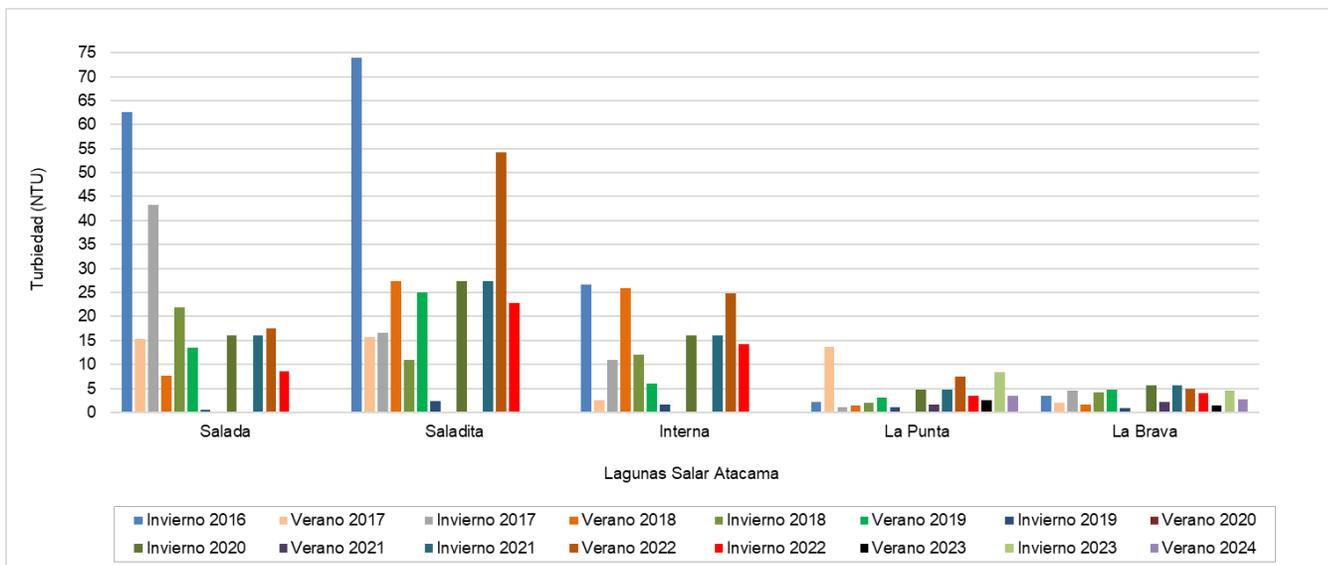


Fuente: Elaboración propia.

- *Turbiedad*

La turbiedad registrada en periodos invierno y verano, presentó un valor promedio máximo en invierno 2016, con un valor de 73,9 NTU en la laguna Saladita, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2019 con un valor de 0,6 NTU en la laguna Interna, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en las lagunas de Peine, en orden de importancia Saladita-Salada-Interna y los menores y con similares registros en las lagunas de La Punta-La Brava (**Figura N° 13-30**). La turbiedad afecta la penetración de luz e irradiación en la columna de agua. La reducción considerable de la disponibilidad de luz para los organismos fotosintéticos sumergidos puede inhibir su crecimiento (Demergasso *et al.* 2003).

**Figura N° 13-30. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**



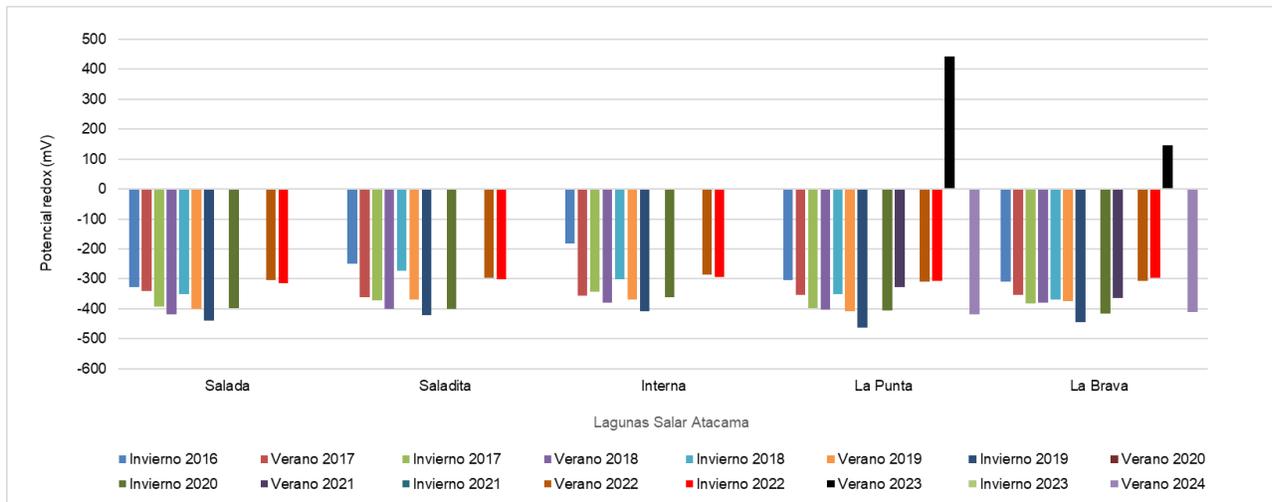
Fuente: Elaboración propia.

- *Potencial redox (ORP)*

Para el potencial redox (ORP) en periodos invierno y verano, se observó que el valor promedio máximo se registró en verano 2023, con un valor de 217 mV en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2019 con un valor de -464 mV en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores presentaron valores negativos y similares de potencial redox, considerados para ambientes de características reductoras. Sin embargo, en la campaña verano 2023, algunos sectores presentaron valores de ambientes oxigénicos, específicamente en las lagunas La Punta y La Brava (**Figura N° 13-31**).

El potencial redox con valores negativos es un indicador de ambientes de características reductoras y anoxigénicas, o sea propicio para el establecimiento de las macrozonas Intermedia y Profunda, que presentan principalmente grupos de bacterias y microorganismos tipo bacterias rojas sulfúreas, bacterias verdes no sulfúreas y sulfobacterias oxidantes no coloreadas en la macrozona Intermedia y de bacterias verdes sulfúreas (autótrofas fotosintéticas) y bacterias sulfurreductoras (anaerobias) en la macrozona Intermedia siguiendo la metodología propuesta en el presente informe tomada de Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, (2015).

**Figura N° 13-31. Variación promedio de potencial redox (mV) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2024.**



Fuente: Elaboración propia.

### 13.4 En relación con Suelo o Sustrato

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2023 (M15) y verano 2024 (M16), para el subcomponente ambiental suelo – sustrato.

Se separa la discusión de los resultados por sectores, de acuerdo con el siguiente detalle:

- Sector La Punta – La Brava: Puntos S 3; S4; S5 (La Punta) y S 6 (La Brava)
- Sector Peine: Puntos S 10; S 11; S 12 y S 14.
- Sector Tilopozo: Puntos S 1; S 2; S 7; S 8; S 9 y S 13.

Además, se presenta la evolución de los parámetros estudiados entre los monitoreos de invierno, (monitoreo M1, M3, M5, M7, M9, M13 y el actual M15), así como entre los monitoreos de verano (M2, M4, M6, M10, M12, M14 y el actual M16). Cabe señalar, que la campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para este componente debido a las restricciones por efecto de la situación sanitaria Covid-19 a nivel nacional, al igual que la campaña invernal 2021 (M11), cancelada por razones de seguridad por motivos internos de la compañía.

### **13.4.1 Análisis de evolución de resultados Sector La Punta - La Brava**

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, y sus rangos de medición, presentando información comparada con los 16 monitoreos realizados, tanto de invierno como de verano.

#### **13.4.1.1 Conductividad Eléctrica y Salinidad Sector La Punta - La Brava**

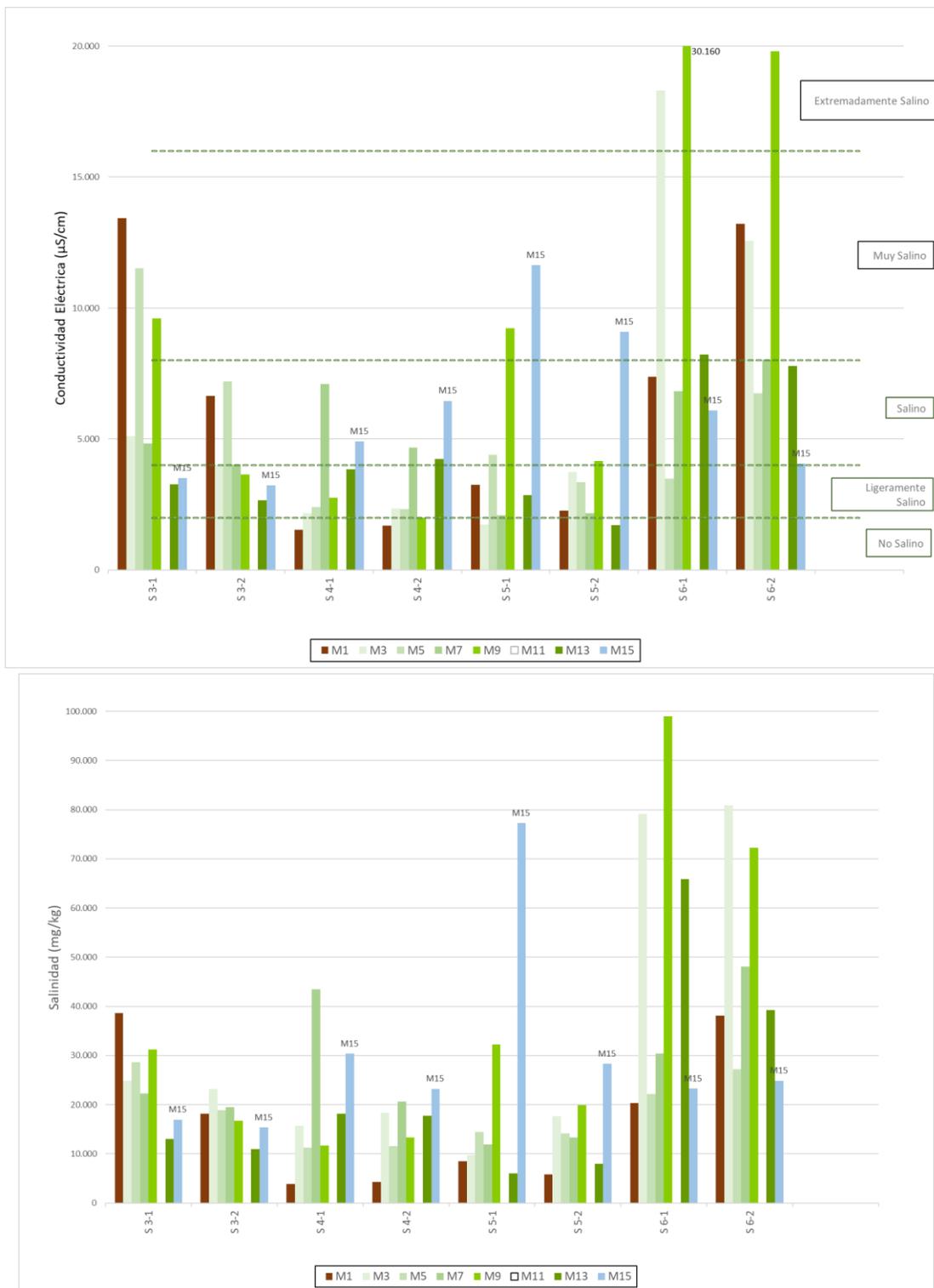
Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-32** se presenta la evolución de conductividad eléctrica y salinidad para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-33** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

En el caso del punto S 5, en ambos horizontes, los valores de conductividad eléctrica y salinidad se presentan por sobre los máximos históricos, y en el caso de la muestra S 4-2, la salinidad se presenta por sobre los máximos históricos. El resto de las muestras se presentan dentro de los rangos históricos de variación de los anteriores monitoreos registrados, y además se mantienen en general las diferencias comparativas entre puntos.

Los niveles de conductividad eléctrica y salinidad registrados son consistentes con las características químicas de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos.

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable, tanto para los presentes monitoreos (M15 y M16) como para los anteriores (M1 a M14).

**Figura N° 13-32. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-33. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.1.2 Nivel de pH Sector La Punta – La Brava

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-34** se presenta la evolución de pH en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-35** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Los valores se observan muy estables en comparación con la tendencia de los valores de anteriores monitoreos, tanto de invierno como de verano, y presentan una variabilidad muy baja entre diferentes monitoreos. Tanto el monitoreo de invierno (M15) como el de verano (M16) se presentan dentro de los rangos usuales de variación histórica para todos los monitoreos.

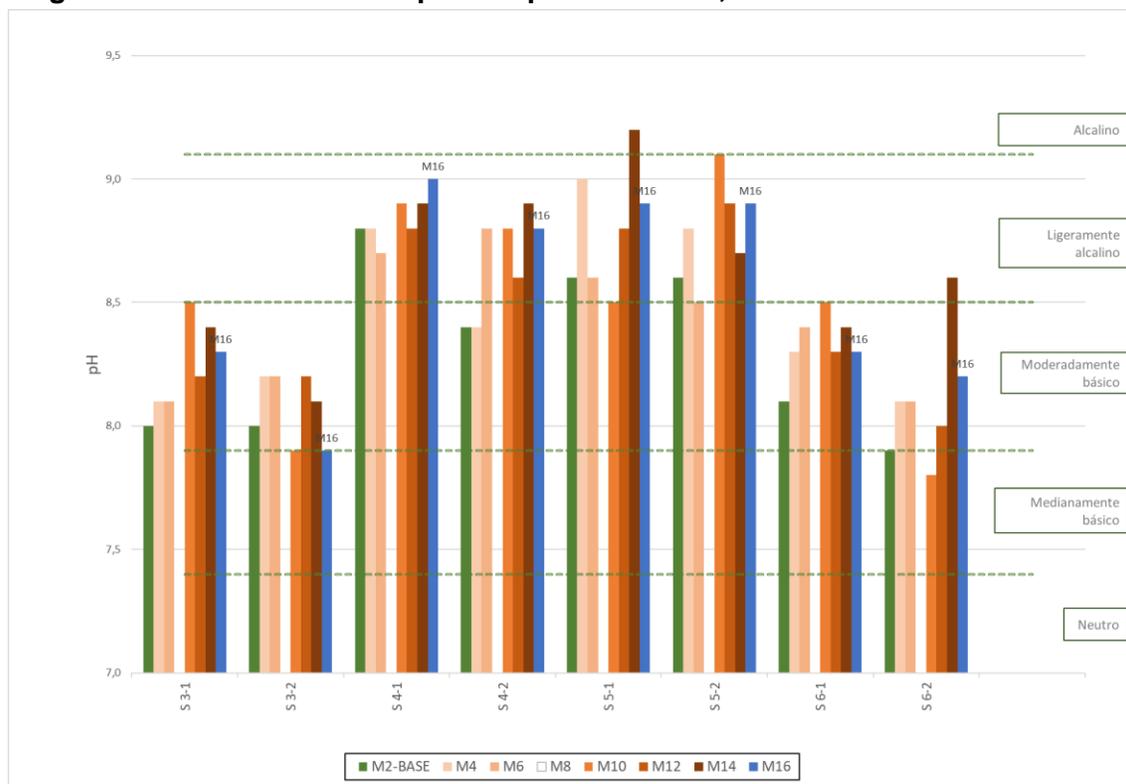
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-34. Resultados pH Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-35. Resultados pH Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.1.3 Materia Orgánica Sector La Punta La Brava

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-36** se presenta la evolución de Materia Orgánica en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-37** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Tres muestras en M16 presentan valores mayores que los máximos de los anteriores monitoreos para cada muestra, como los casos de las muestras S 3-1, S 3-2 y S 5-2. El resto de las muestras se presentan dentro de los rangos de los monitoreos, tanto de invierno como de verano.

En M15, los valores de las muestras se mueven entre el rango muy bajo a muy alto, en tanto, en M16, todas las muestras se presentan en el rango muy alto. En todos los puntos, para el monitoreo de verano (M16), se observan aumentos respecto a los tres últimos monitoreos (M13 a M15), y con valores dentro el rango de los resultados de los monitoreos M7 a M12. En

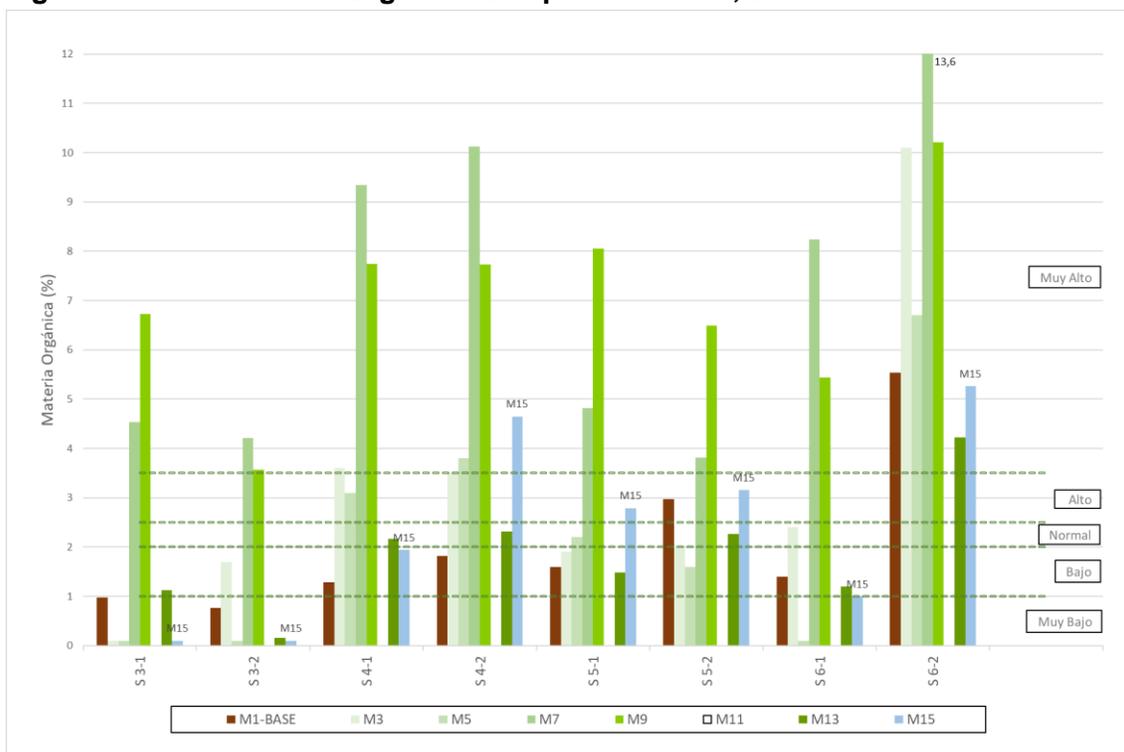
M7 y luego en M13 se produjeron cambios de laboratorio que ayudarían a explicar el quiebre de valores entre M6 y M7 y luego entre M12 y M13.

No es posible establecer una relación directa entre cobertura vegetal en superficie y niveles de materia orgánica como ocurre muy claramente en los otros sectores, pero si describe presencia de restos vegetales y acumulación orgánica en los perfiles muestreados, lo que se puede correlacionar con los resultados obtenidos. Además, se presentan diferencias en los perfiles muestreados, que se explican parcialmente en la heterogeneidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un cambio tendencial en Materia orgánica, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental, con contenidos diferenciales de materia orgánica, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

Los contenidos de materia orgánica descritos en M15 y M16 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14).

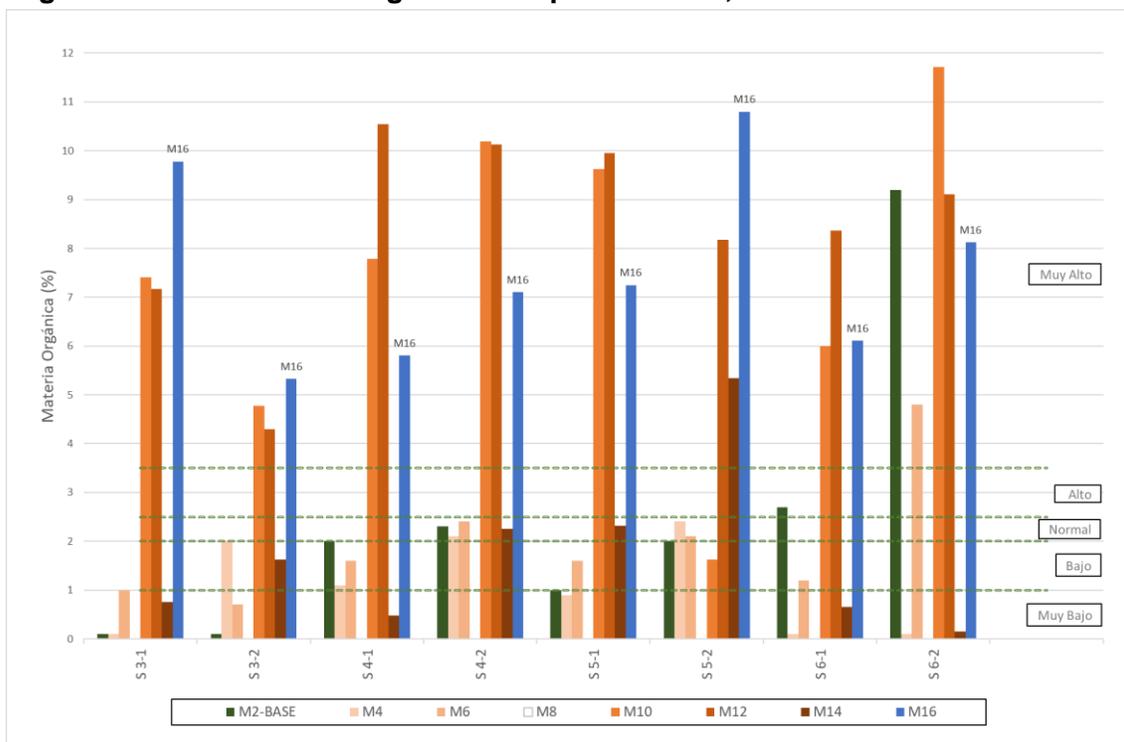
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-36. Materia Orgánica Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-37. Materia Orgánica Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 13.4.1.4 Nutrientes Sector La Punta La Brava (Nitrógeno, Fosforo y Potasio disponibles)

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-38** se presenta la evolución de Nitrógeno disponible en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-39** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

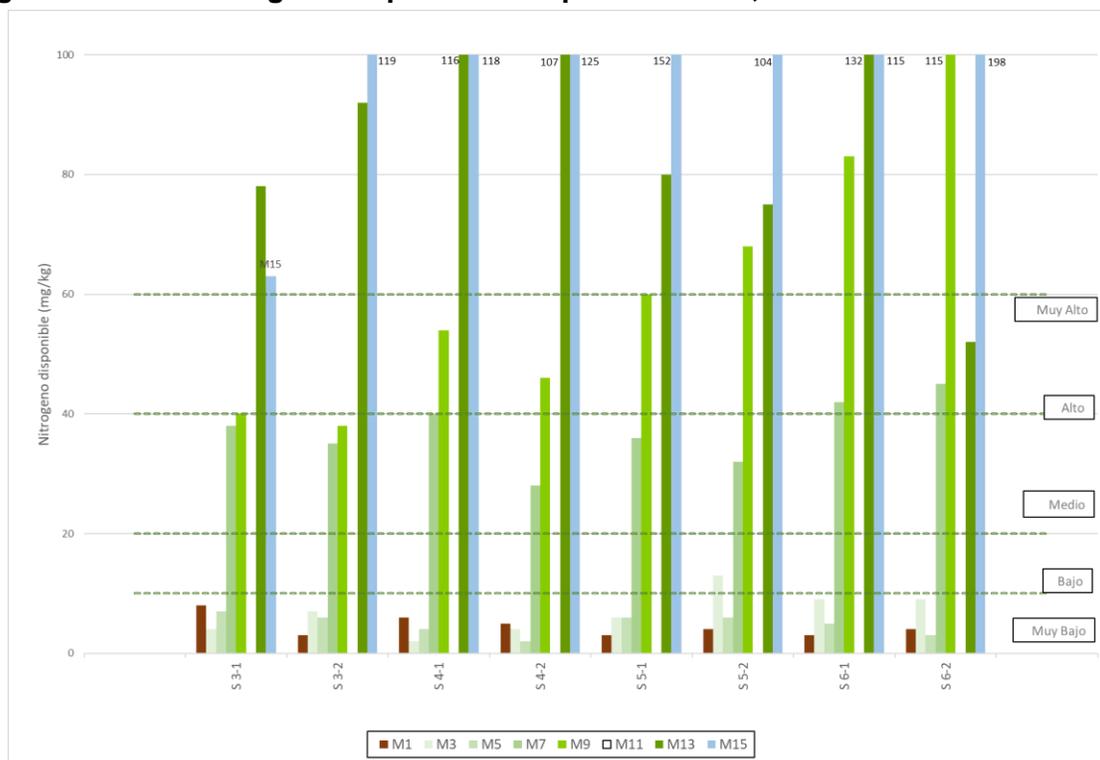
En el monitoreo de invierno M15, en nitrógeno disponible, se presentan los mayores valores del período de seguimiento en 6 de las 8 muestras, y en las dos restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. Todos los valores de nitrógeno se presentan mayores en invierno 2023 (M15) respecto a verano 2024 (M16), con algunas variaciones como en el caso de S 3-2 que es 3,7 veces mayor en M15 respecto a M16, lo que puede considerarse una variación anómala (fuera del rango de variación histórica) en la serie de datos para el periodo de monitoreo.

Para el monitoreo de verano 2024 (M16), los valores se presentan dentro de la variación histórica de los monitoreos del seguimiento, pero en general, en el rango alto de dicha variación.

Los contenidos de nitrógeno descritos en M15 y M16 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14). Los valores de Nitrógeno disponible para M15 son mayores que en M16 en todos los puntos de muestreo, verificándose algunos casos donde dichas variaciones son extremadamente altas, las cuales se explican sólo parcialmente desde la variabilidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Otras causas potenciales de variación en el nivel de nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas verde-azules), fijación simbiótica de nitrógeno (dependiente de la relación entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno), y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

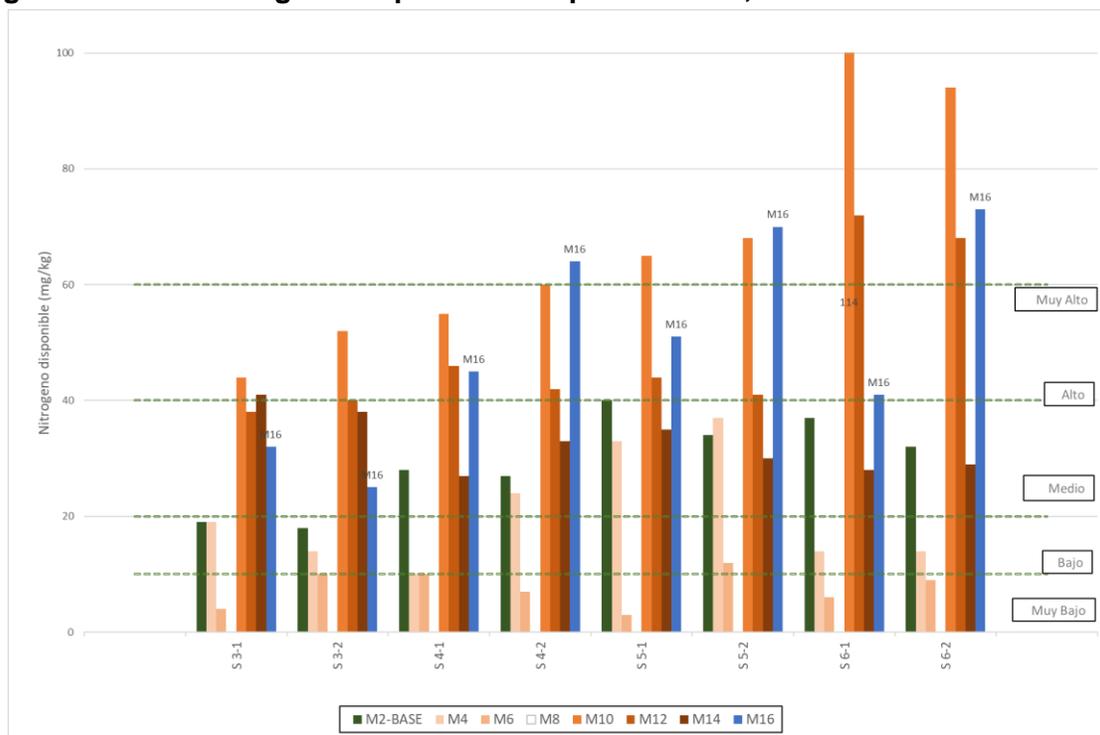
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-38. Nitrógeno disponible Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-39. Nitrógeno disponible Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-40**, se muestra la concentración de fósforo disponible en el sector de La Punta – La Brava, para todos los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-41** se presenta la misma información para los monitoreos de verano. La muestra S 6-2 para verano 2024 (M16) no registra datos por inconvenientes en laboratorio (**Ver Carta Laboratorio ALS en Anexo 1 Suelos o Sustrato**).

En seis de las siete muestras de fósforo con resultados para el monitoreo de verano 2024 (la muestra S 6-2 no tiene resultado por inconvenientes en laboratorio), el valor sobrepasa el rango de concentraciones obtenido a la fecha (históricos), y en la muestra restante (S 6-1), el valor es el segundo más alto luego de M10. El valor de S 5-2, dado el gran incremento respecto a valores anteriores, por lo que puede considerarse una variación anómala respecto a la serie de datos en el periodo de seguimiento. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como continúan los registros.

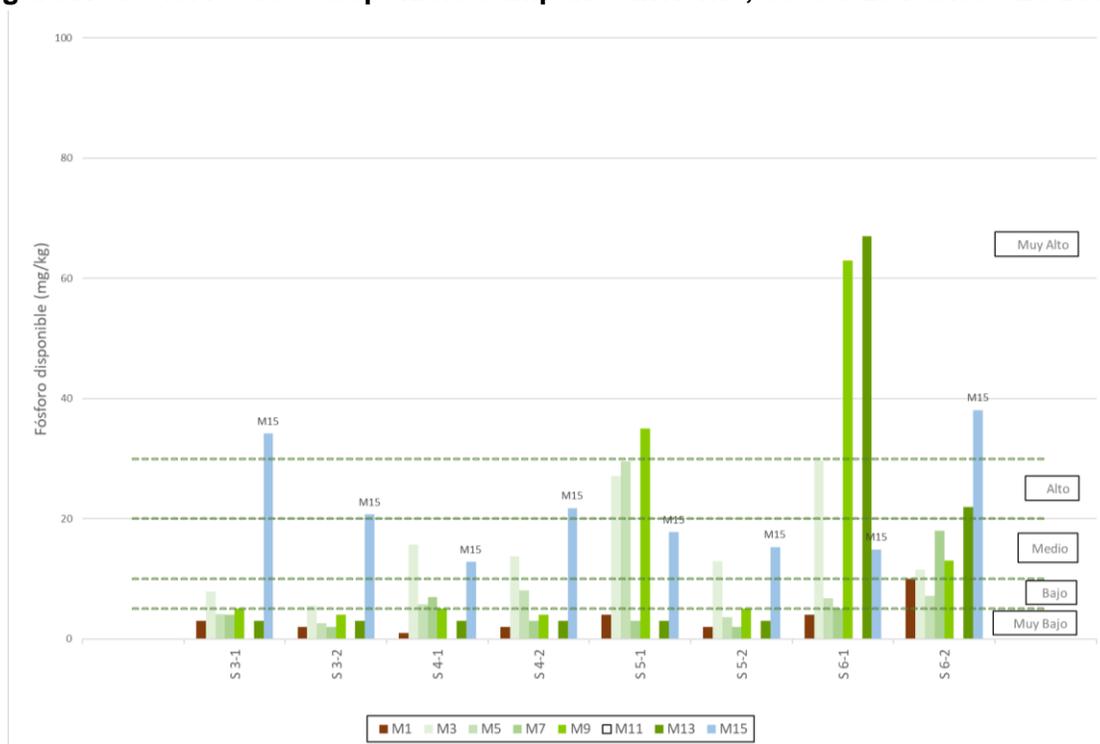
Se mantiene la tendencia de que los mayores valores de fósforo se presentan en la muestra S 6-1.

Los resultados de fósforo para invierno 2023 (M15), en general se encuentran por sobre el rango histórico observado excepto para S 5-1 y S 6-1, que son las primeras estratas en La Punta Norte. Es posible apreciar un aumento tendencial importante en los niveles de fósforo a partir de M15, lo que se explica sólo parcialmente desde la gran variabilidad del material

parental de los suelos caracterizados. Los niveles de Fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

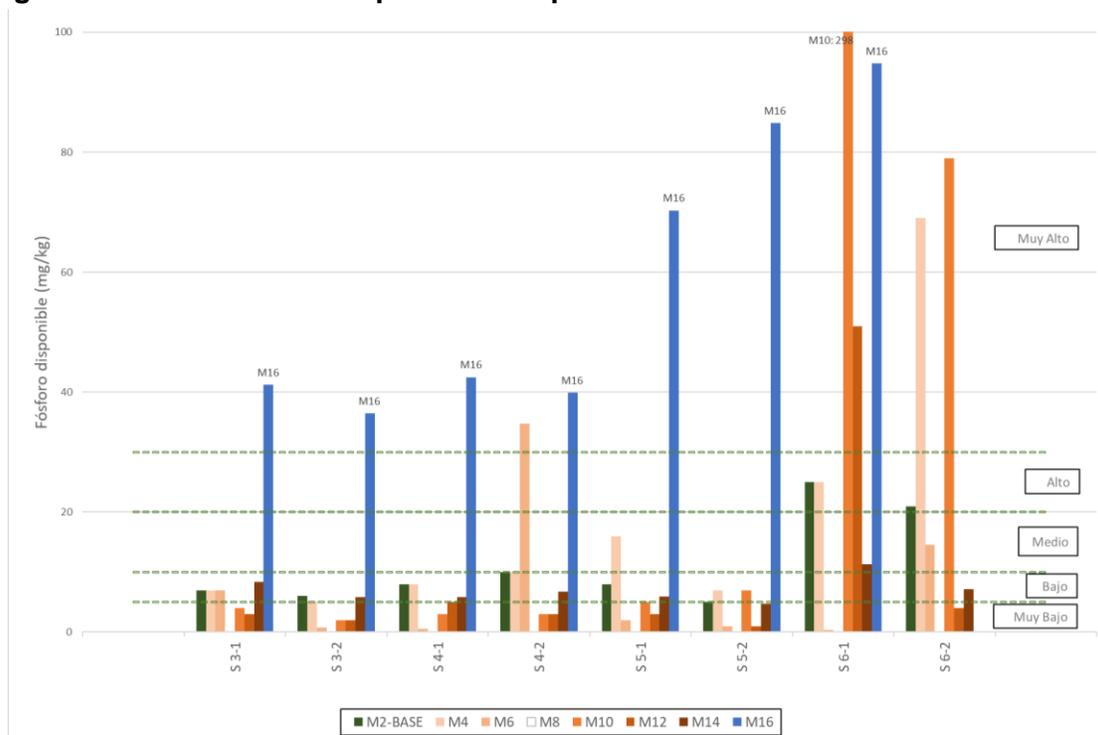
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-40. Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-41. Fósforo disponible Campañas Verano Sector La Punta – La Brava.**

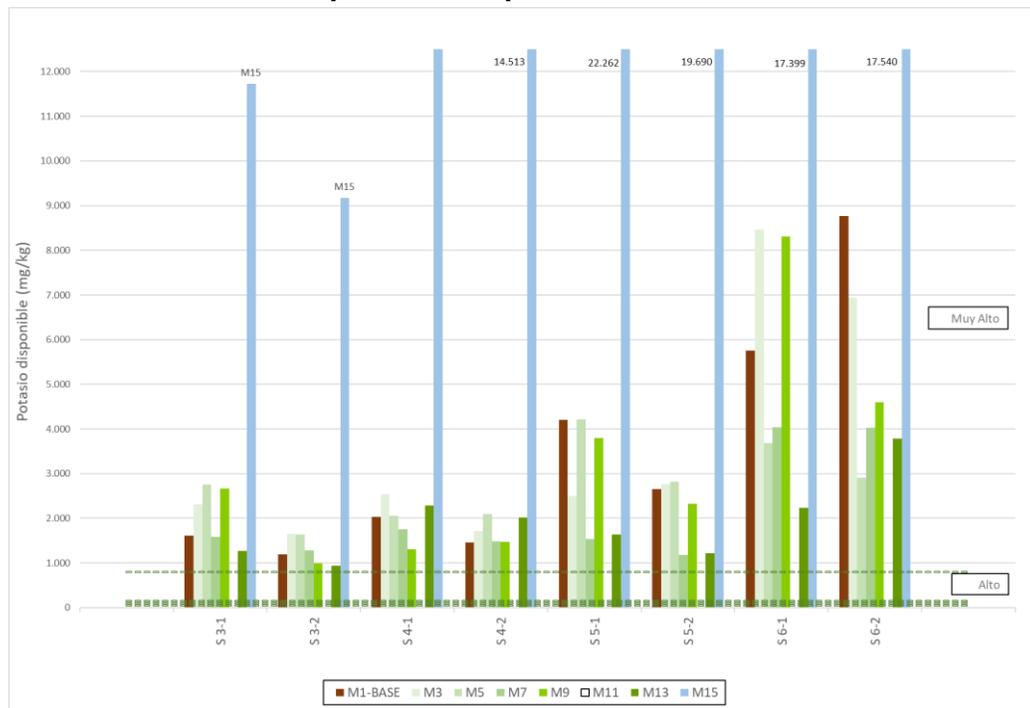


Fuente: Elaboración Propia. Muestra S 6-2 para M16 sin datos desde laboratorio.

La **Figura N° 13-42** gráfica la concentración de potasio disponible en el sector de La Punta – La Brava, para todos los monitoreos de invierno disponibles, en tanto, en la **Figura N° 13-43** se muestra para todos los monitoreos de verano disponibles. Para todas las muestras, el valor de M15 es mayor que los máximos históricos para todos los monitoreos, y para el caso de M16, los valores se presentan en el rango alto del periodo de seguimiento. Los elevados niveles de potasio que se presentan en M15 se encuentran muy por sobre el rango histórico de los datos para todos los monitoreos, con aumentos desde 20% (S 6-2) hasta 383% (S 5-1) de los anteriores máximos históricos. Estas variaciones se explican parcialmente por la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los tipos de arcillas condicionan la disponibilidad del potasio en el suelo, por lo que variaciones en el material parental, pueden provocar cambios significativos en la disponibilidad de este nutriente. Niveles altos de humedad y de materia orgánica se relacionan con mayores niveles de disponibilidad de potasio en el suelo. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Potasio disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de potasio desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

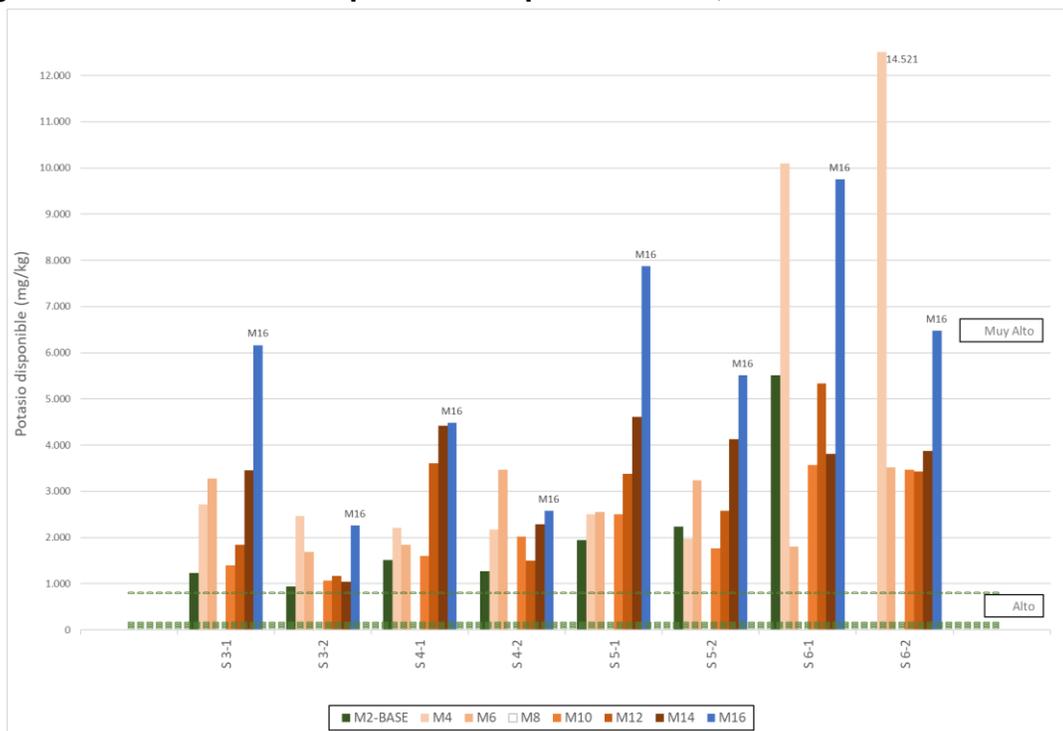
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-42. Potasio disponible Campañas Invierno Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-43. Potasio disponible Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

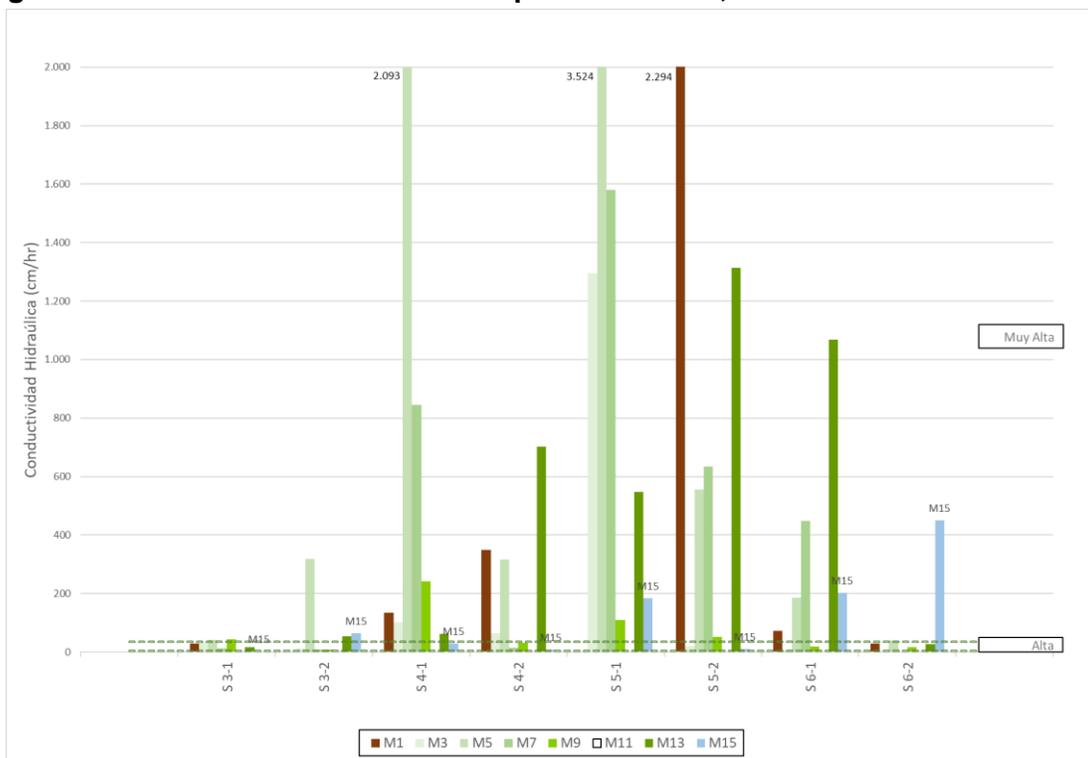
### 13.4.1.5 Conductividad Hidráulica y Textura Sector La Punta - La Brava

En la serie de datos temporales de conductividad hidráulica para el sector de **La Punta - La Brava** que se indica en la **Figura N° 13-44** y en la **Figura N° 13-45** para los monitoreos de invierno y verano respectivamente, se aprecia que todas las muestras presentan niveles muy por debajo de la tendencia de valores históricos, excepto para la muestra S 6-2 en el monitoreo de invierno, que se presenta un 575% por sobre el anterior máximo histórico. Tres de los ocho puntos analizados aumentan su conductividad eléctrica desde M15 a M16. A pesar de las diferencias en los valores absolutos registrados, en dos muestras (S 6-1 y S 6-2) se pasa de la categoría “muy alta” en M15 a “alta” en M16, y en la muestra S 4-2 se pasa desde “alta” a “muy alta” en el mismo periodo.

Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

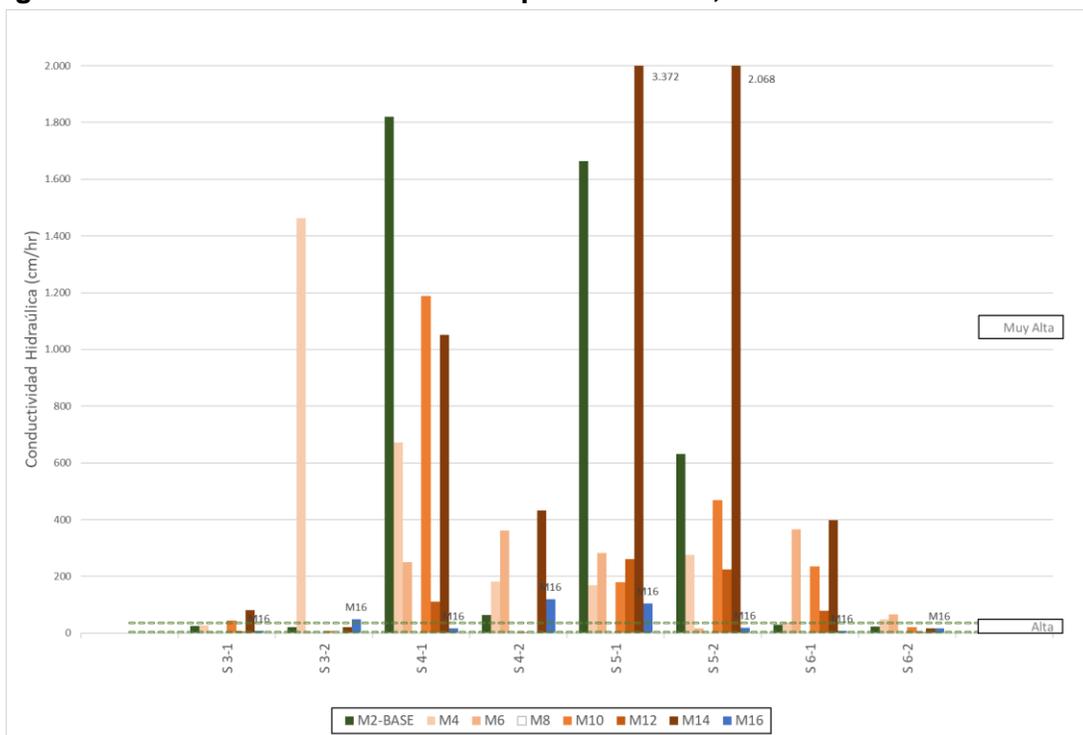
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-44. Cond. Hidráulica Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-45. Cond. Hidráulica Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**

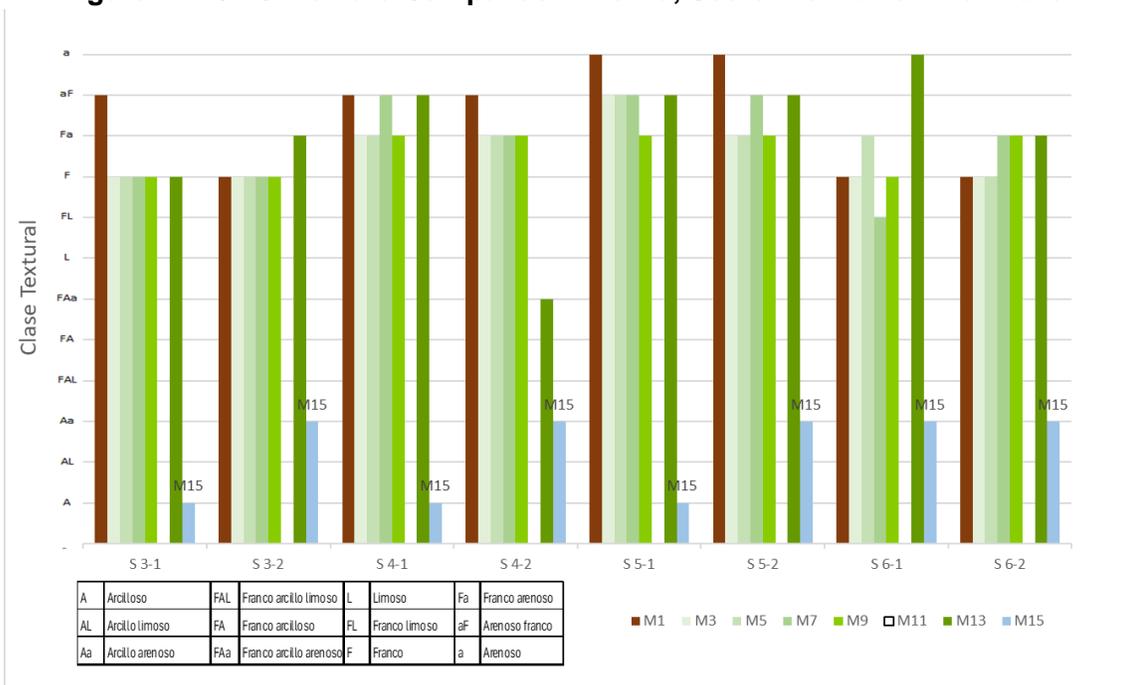


Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-46** y **Figura N° 13-47** se muestran los datos de clases texturales registrados en los monitoreos de invierno y verano respectivamente, para el sector de La Punta-La Brava. En el monitoreo M15 de invierno se aprecia un cambio hacia texturas más finas que en los anteriores registros del periodo de seguimiento, y en M16 de verano, se aprecia un cambio hacia texturas más gruesas que en M15, y acercándose a los valores más comunes de los registros históricos, que se mueven principalmente en el rango de texturas francas (medias), con la excepción de la muestra S 10-2, que se presenta principalmente en texturas arcillosas. Es necesario complementar más datos a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el retransporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

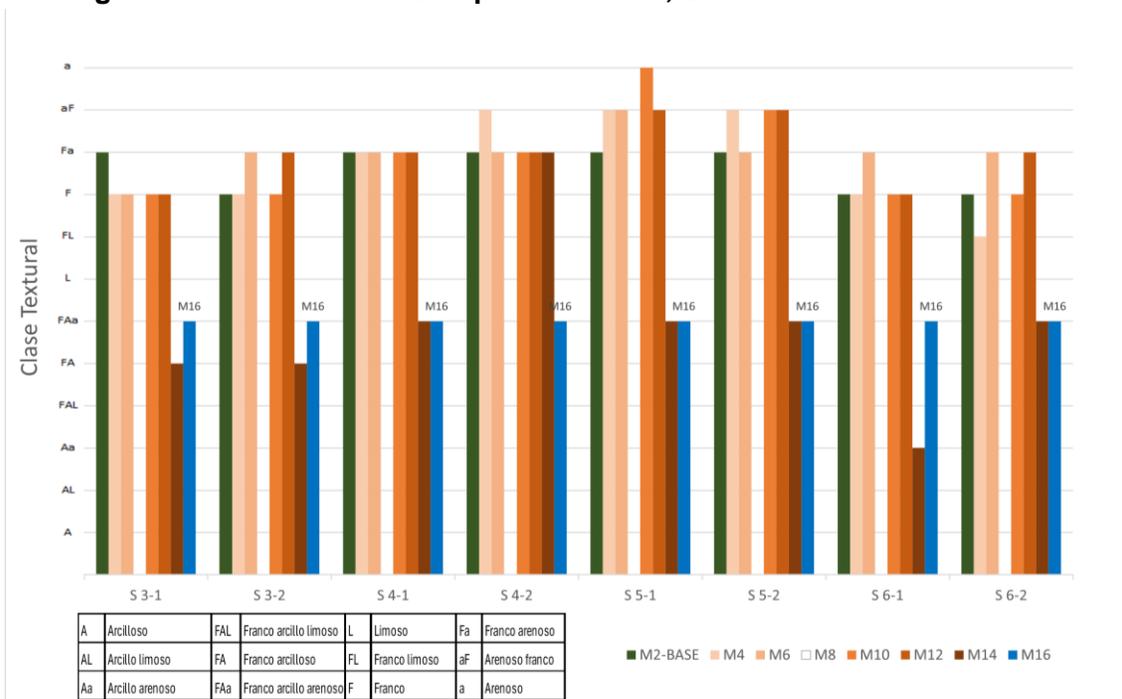
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-46. Textura Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-47. Textura Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.1.6 Humedad y Nivel Freático Sector La Punta - La Brava

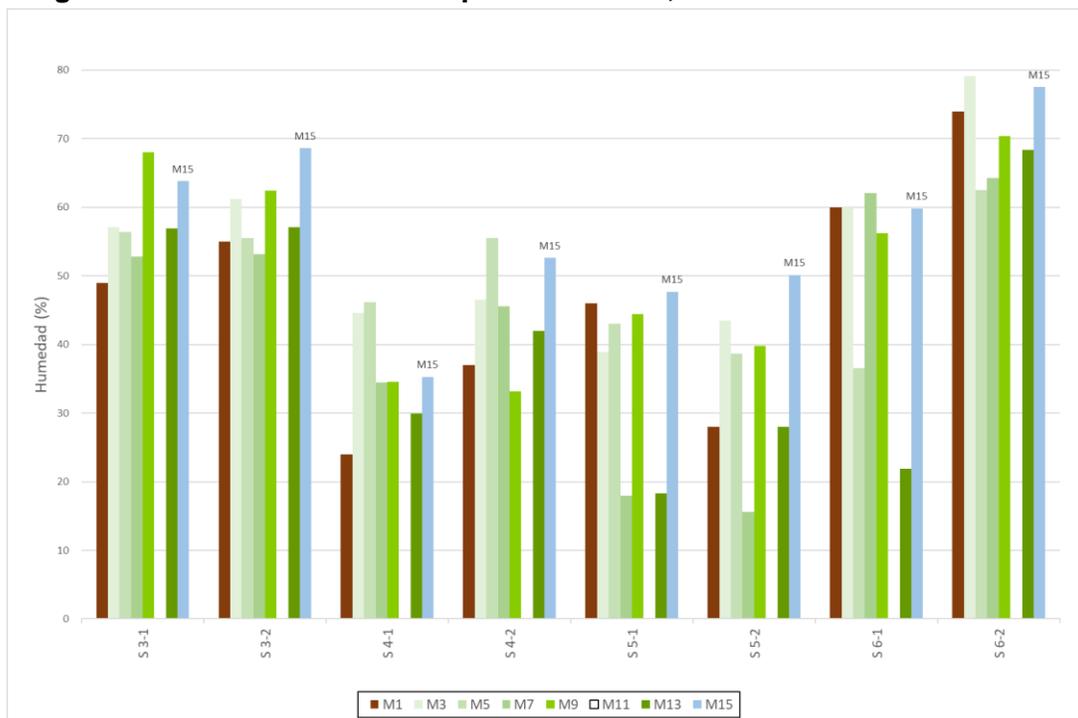
En la serie de datos de humedad para el sector **La Punta – La Brava** representados en la **Figura N° 13-48** (invierno 2023) y **Figura N° 13-49** (verano 2024) se aprecia que, en general, los resultados de los monitoreos de invierno y de verano se presentan dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro, con una gran consistencia de resultados al interior de cada muestra. Se aprecia una baja variabilidad entre M15 y M16 para una misma muestra, con los mayores valores en el punto S 3 y S 6 tanto para monitoreo M15 y M16. El menor valor se presenta en S 4-1, con 35 a 33% (M15 y M16) y los mayores registros se indican para S 6-2, con 78 a 69% entre M15 y M16.

Las texturas finas y presencia de nivel freático en todos los puntos explican razonablemente los porcentajes de humedad de los suelos, los que están en línea con lo esperado para suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos con nivel freático presente.

Los contenidos de humedad descritos en M15 y M16 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14), y con variaciones muy bajas entre los distintos monitoreos.

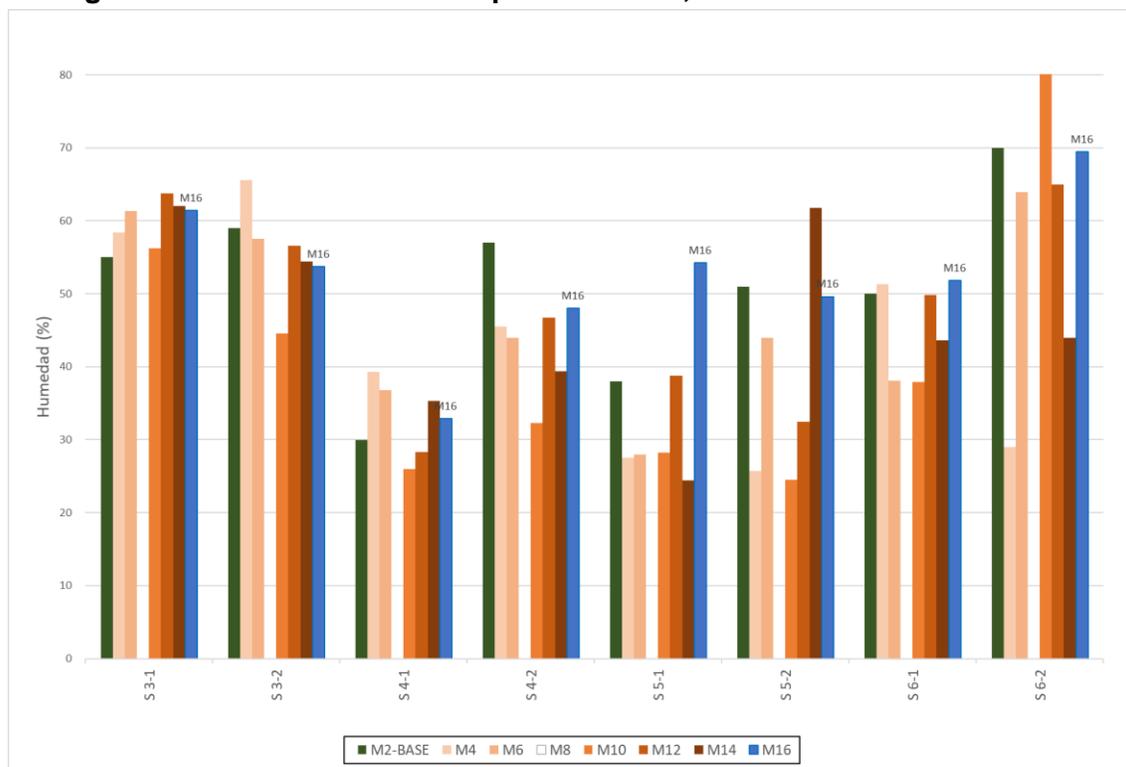
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-48. Humedad Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-49. Humedad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

En el sector de **La Punta - La Brava** se registró el **Nivel Freático** al momento de la toma de muestras, y se presenta el punto S 5 como el más alto (9 cm en M15 y 32 cm en M16) y el más bajo en el punto S 3 (60 cm en M15 y 54 cm en M16), tanto para el monitoreo de invierno M15 como para el de verano M16. Al comparar con todos los monitores de invierno (**Figura N° 13-50**) y de verano (**Figura N° 13-51**), se presenta en general la misma tendencia, con S 5 con los niveles freáticos más altos y S 3 y S 5 con los niveles más bajos.

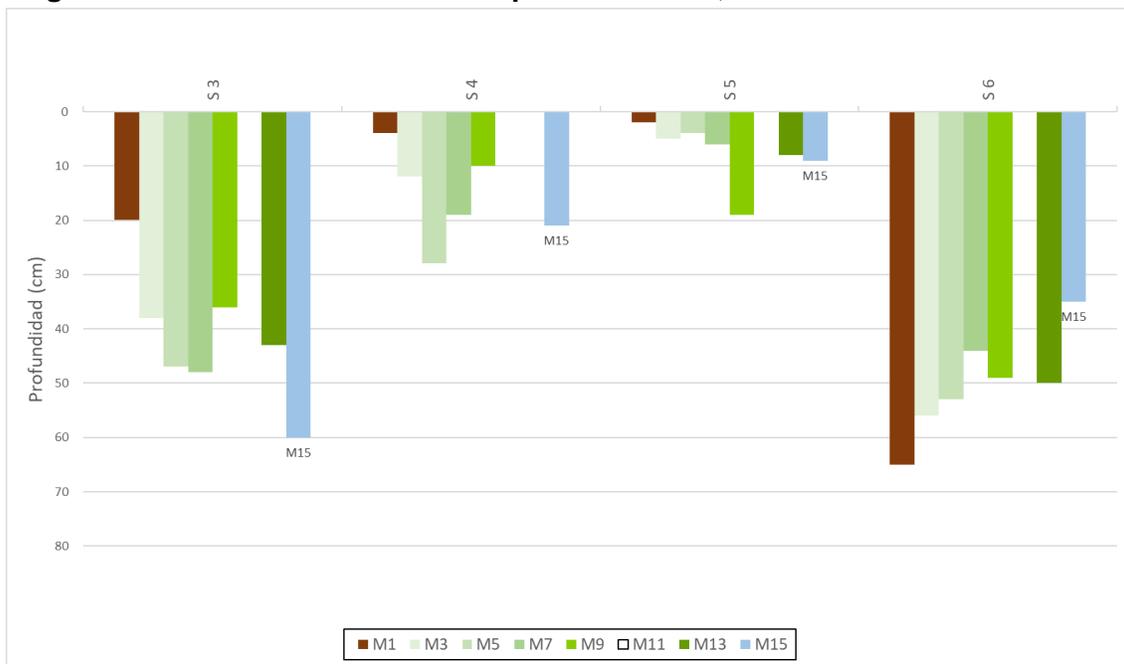
Para el punto S 3, el monitoreo de invierno M15 representa el nivel freático más profundo respecto a todos los monitoreos, lo cual es consistente con su ubicación en una zona de más al sur, en tanto que en S4 (zona lagunas), el monitoreo M16 representa el nivel más profundo registrado. En S 5 y S 6, los resultados de M15 y M16 se presentan dentro de la variación histórica de este parámetro.

Los niveles freáticos registrados son los esperables para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato a humedales salinos. Los registros corresponden a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo. Los casos que aparecen sin dato corresponden en realidad a niveles freáticos más profundos que los alcanzados por la excavación realizada durante la campaña de toma de muestras para monitoreo de suelo.

Es necesario aclarar que la metodología aquí descrita para registrar el nivel freático del perfil del suelo no forma parte de los compromisos ante la SMA.

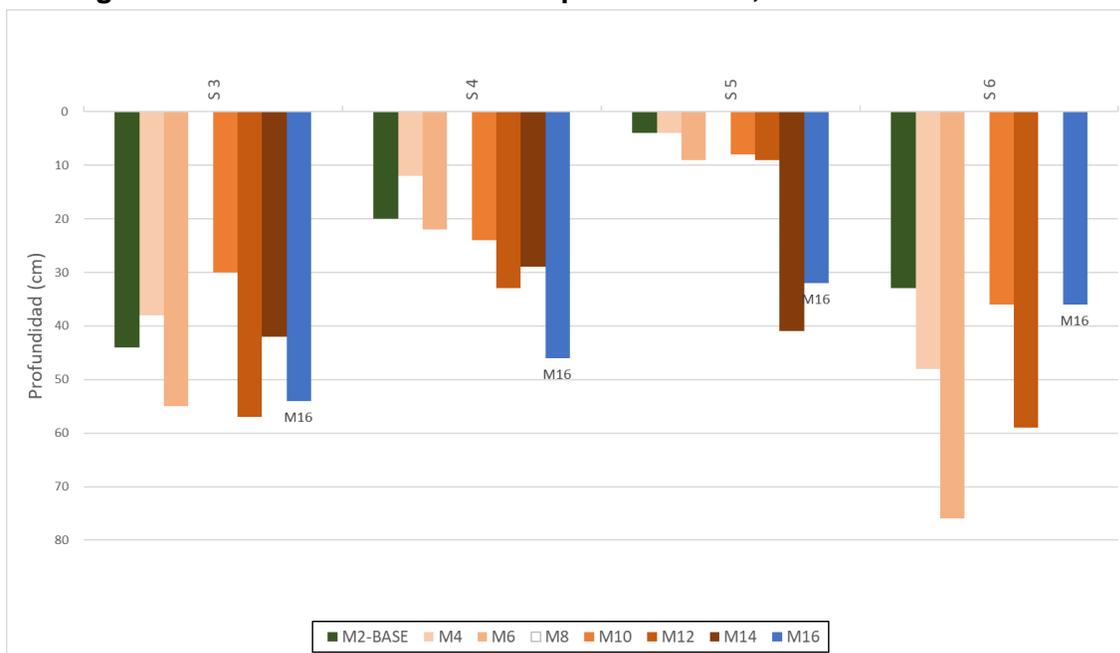
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-50. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-51. Nivel Freático Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.2 Análisis de evolución de resultados Sector Peine (veranos)

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, y sus rangos de medición, presentando información comparada con los 16 monitoreos realizados, tanto de invierno como de verano.

#### 13.4.2.1 Conductividad Eléctrica y Salinidad Sector Peine

Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-52** y **Figura N° 13-53** se presenta la evolución de conductividad eléctrica y salinidad para los monitoreos de invierno y verano respectivamente.

Tanto para invierno como para verano, en general, los valores de salinidad y conductividad eléctrica se presentan dentro de los rangos de variación histórica de anteriores monitoreos para cada muestra, excepto en el caso de las muestras S 10-1, S 10-2 y S 14-1, donde para el monitoreo M15 de invierno, se presentan valores de salinidad por sobre los máximos históricos. En el caso de S 14-1, su cercanía con el núcleo del Salar de Atacama puede explicar sus altos niveles de salinidad y conductividad eléctrica.

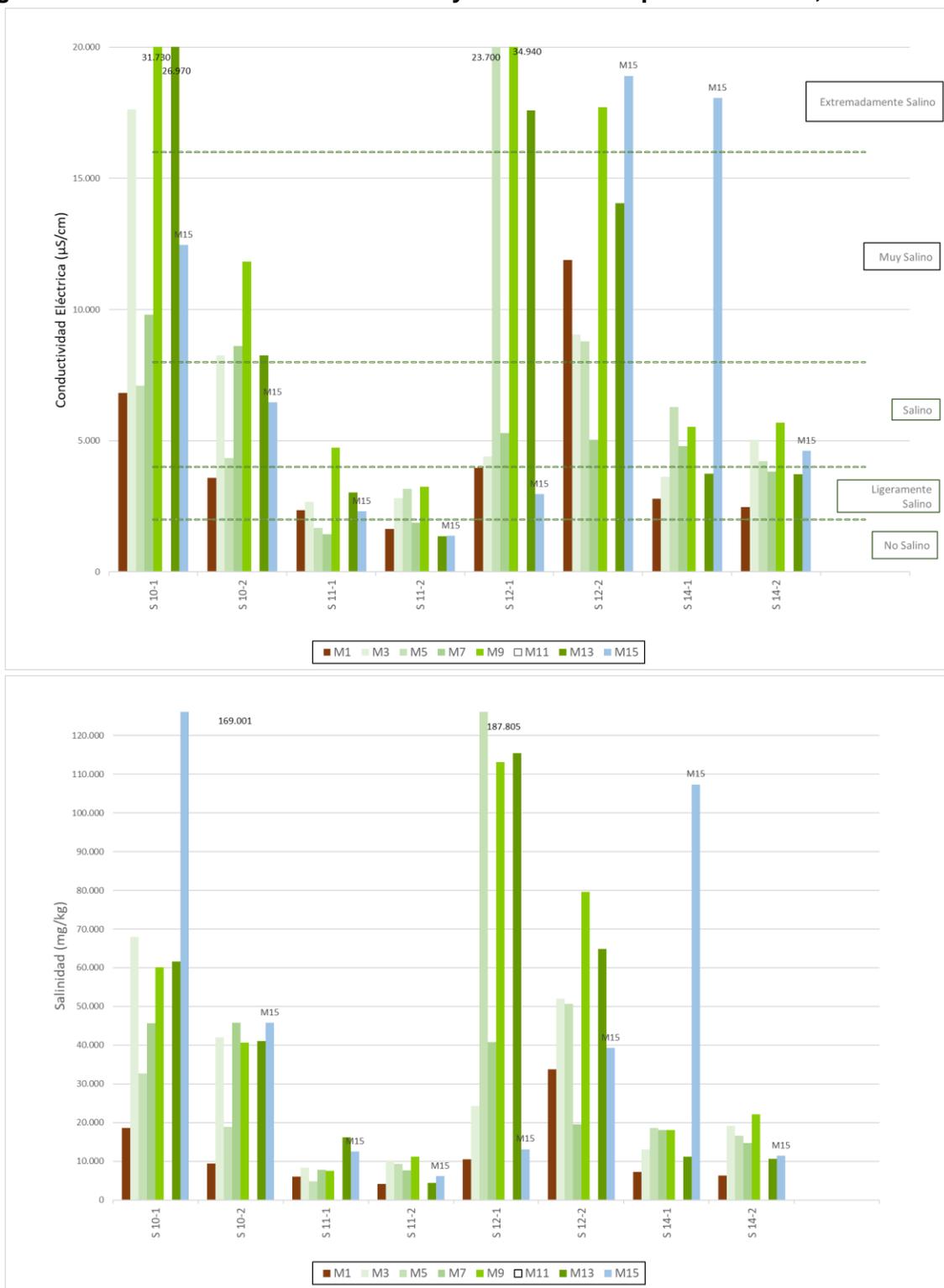
Los menores valores absolutos de conductividad eléctrica y salinidad se presentan en el punto S 11, asociado a formaciones vegetacional del tipo “vega” con mayor cobertura vegetacional, mayores niveles de humedad y nivel freático más somero respecto a los otros puntos. Los

mayores registros absolutos de conductividad eléctrica y salinidad se presentan en los puntos S 10 y S 12. Estos puntos corresponden a suelos con horizonte salino en S 10, y de origen aluvional para S 12, por lo que en ambos casos es posible asociar los elevados niveles de conductividad eléctrica y salinidad se asocian al origen del material parental salino y aluvional respectivamente.

Los niveles de conductividad eléctrica y salinidad registrados son consistentes con las características químicas de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos.

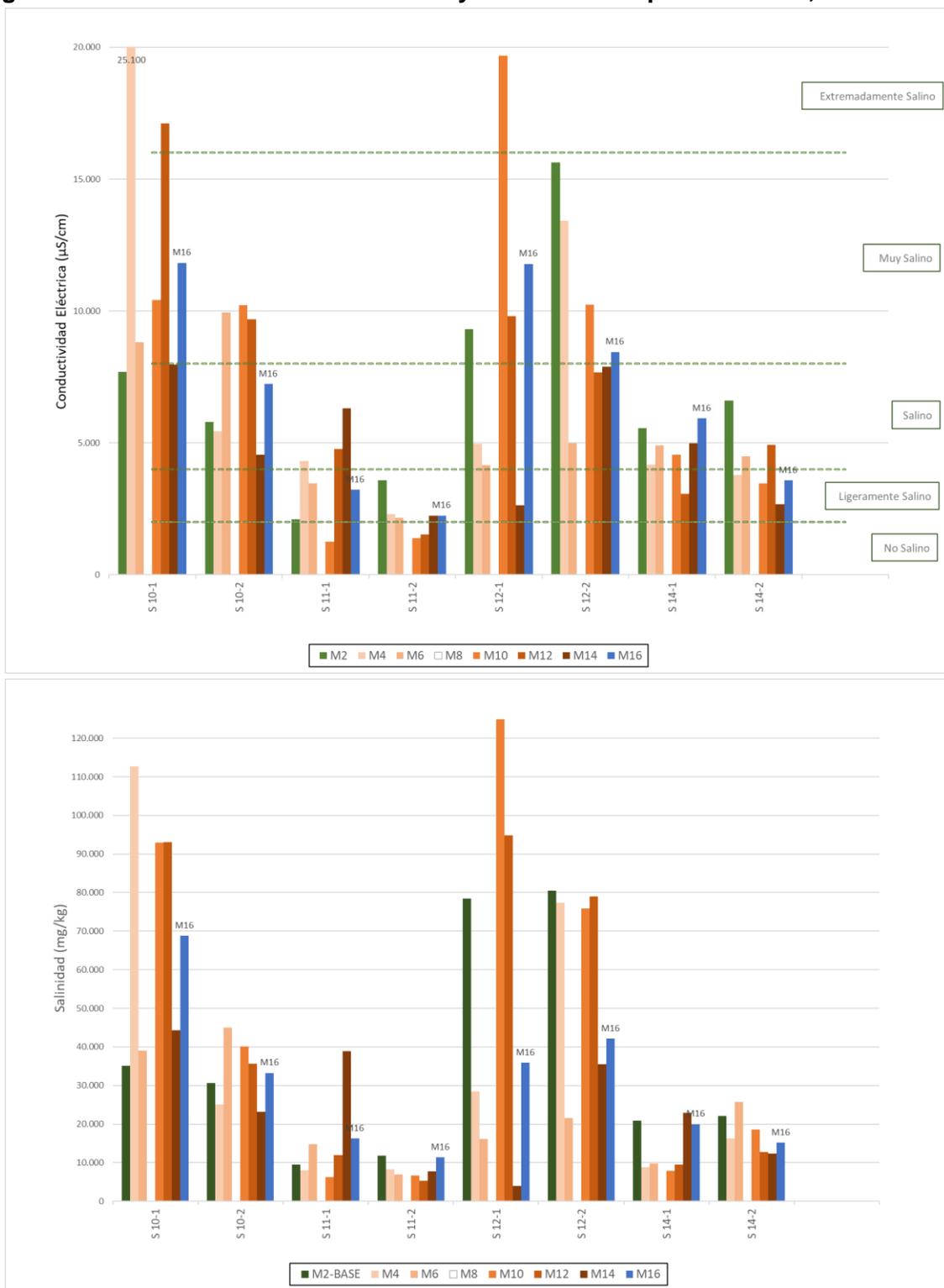
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable, tanto para el presente monitoreo (M16) como para los anteriores de verano.

**Figura N° 13-52. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-53. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

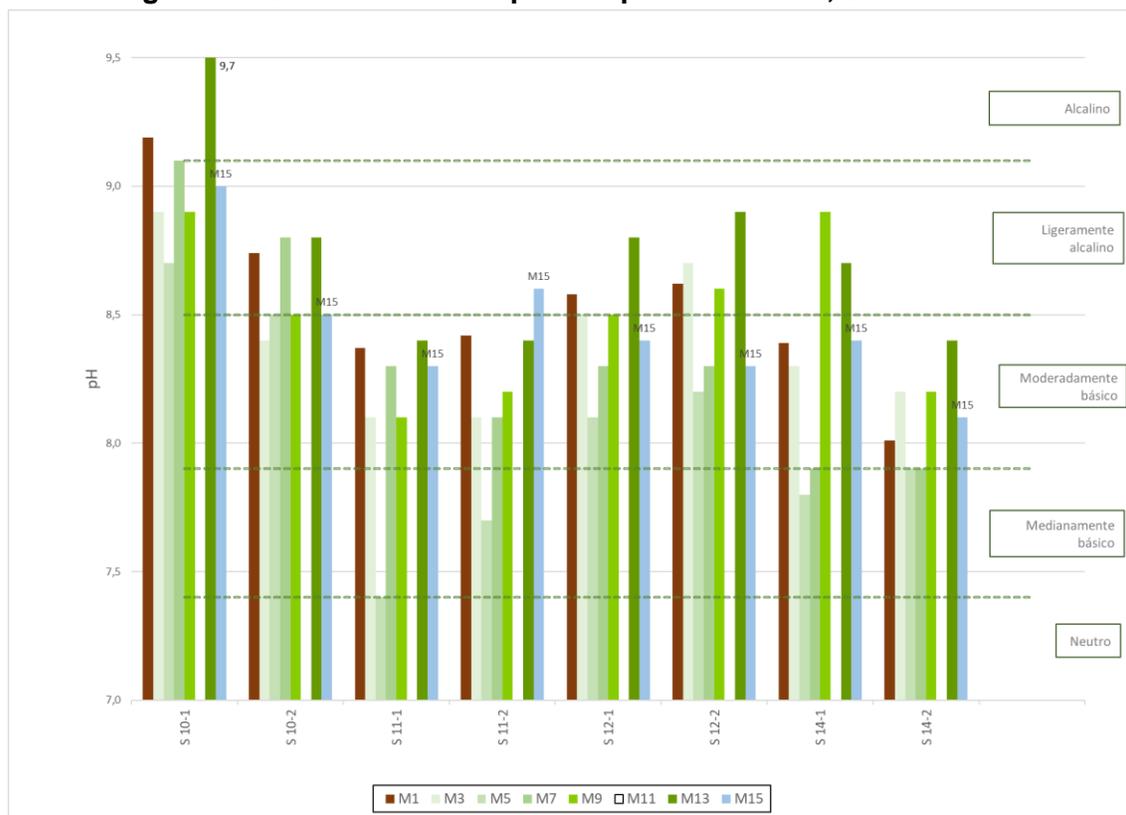
### 13.4.2.2 Nivel de pH Sector Peine

Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-54** se presenta la evolución de pH en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-55** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Los valores se observan muy estables en comparación con la tendencia de los valores de anteriores monitoreos, tanto de invierno como de verano, y presentan una variabilidad muy baja entre diferentes monitoreos. Tanto el monitoreo de invierno (M15) como el de verano (M16) se presentan dentro de los rangos usuales de variación histórica para todos los monitoreos para cada punto en particular.

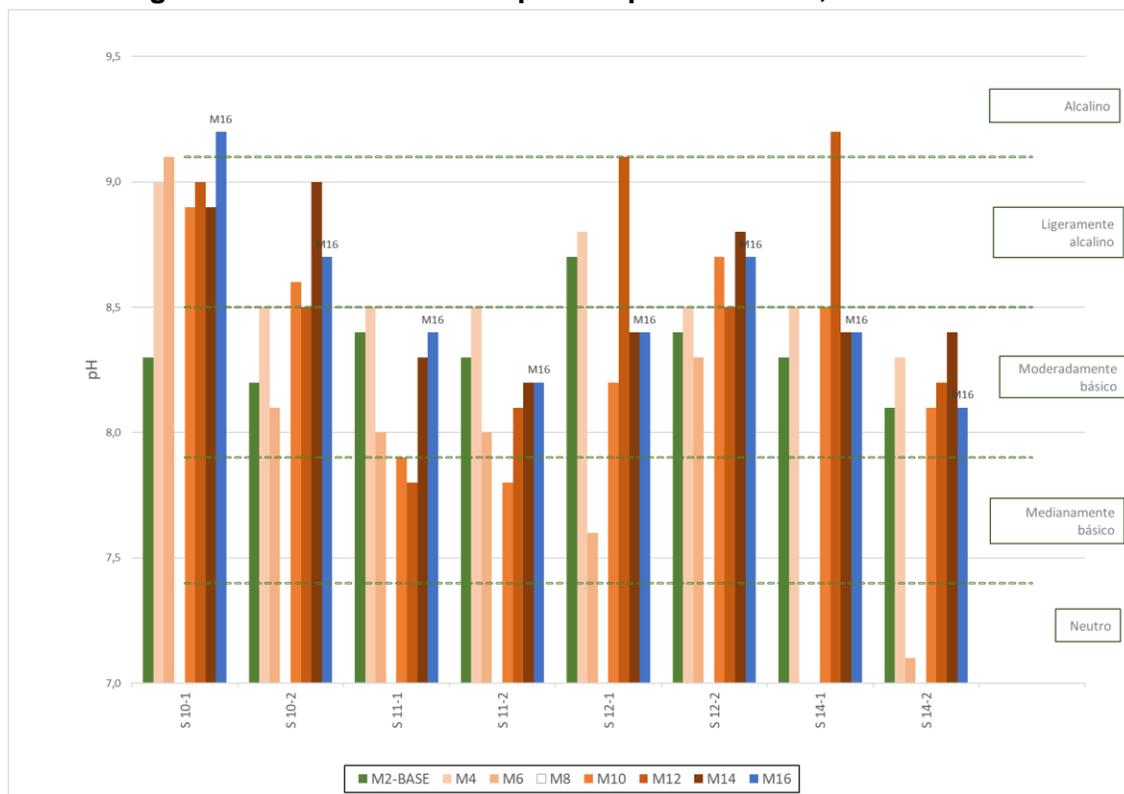
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-54. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-55. Resultados pH Campañas Verano, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.2.3 Materia Orgánica Sector Peine

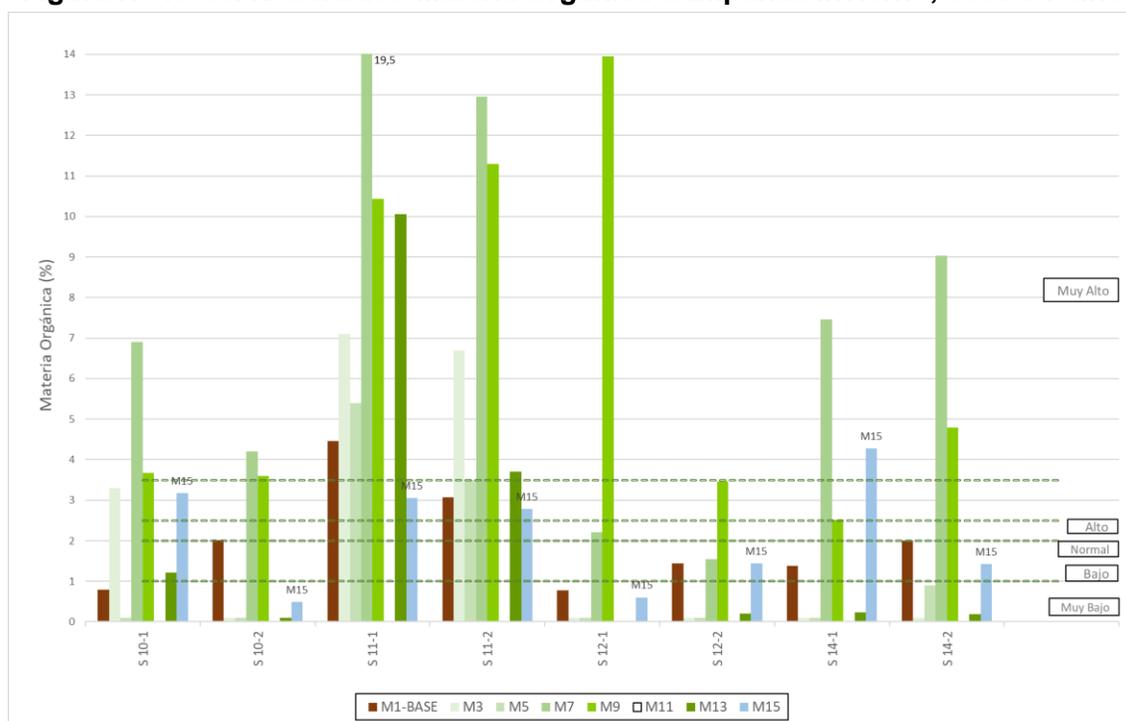
Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-56** se presenta la evolución de Materia Orgánica en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-57** se presenta la misma información para los monitoreos de verano. Todos los valores de materia orgánica, tanto en M15 como en M16, se presentan dentro del rango de la variación histórica de todos los monitoreos. Los mayores valores de materia orgánica se asocian al punto S 11, que presenta mayor cobertura vegetal en relación con el resto de los puntos del sector Peine.

En M15, los valores de las muestras se mueven entre el rango muy bajo a muy alto, en tanto, en M16, siete de las ocho muestras se presentan en el rango muy alto. En la mayor parte de las muestras, para el monitoreo de verano (M16), se observan aumentos importantes respecto a los tres últimos monitoreos (M13 a M15), y con valores en el rango de los resultados de los monitoreos M7 a M12. En M7 y luego en M13 se produjeron cambios de laboratorio que pudieran explicar el quiebre de valores entre M6 y M7 y luego entre M12 y M13. Además, se presentan ligeras diferencias en los perfiles muestreados, que son producto de la heterogeneidad natural de los suelos del sector.

Los contenidos de materia orgánica descritos en M15 y M16 en los cuatro puntos del sector de Peine se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14). Esta variabilidad se explica parcialmente por la heterogeneidad natural del material parental de los suelos monitoreados. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un cambio tendencial en Materia orgánica, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental, con contenidos diferenciales de materia orgánica, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

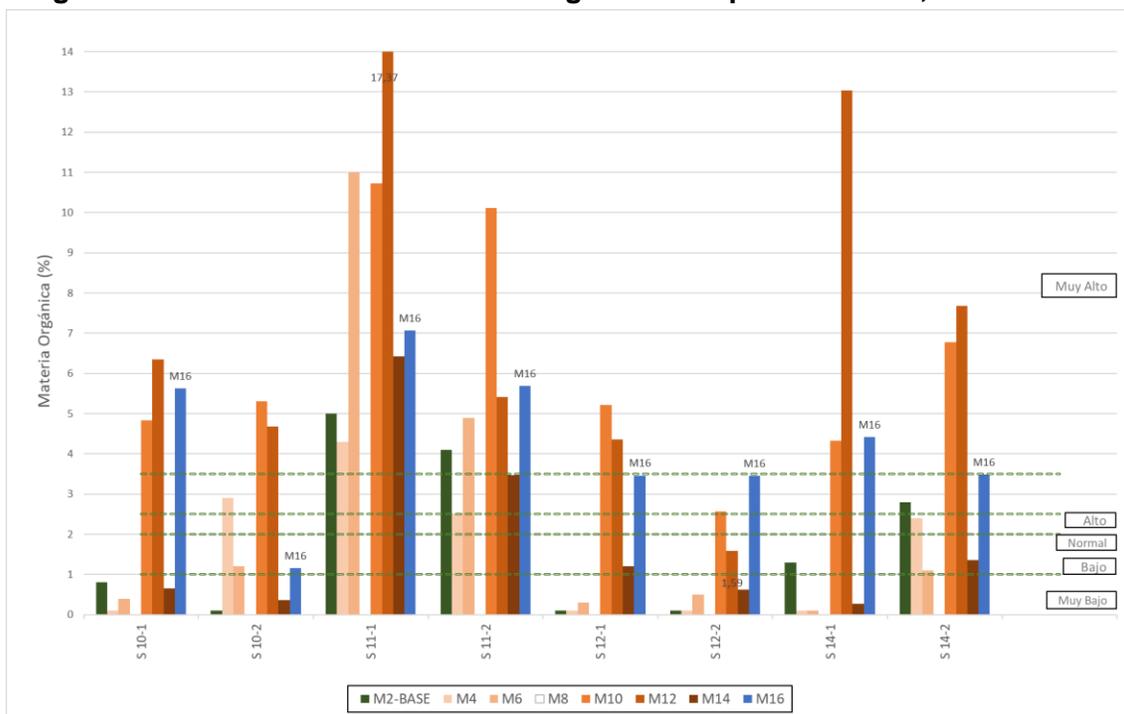
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-56. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Peine**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-57. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Peine**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 13.4.2.4 Nutrientes Sector Peine (Nitrógeno, Fosforo y Potasio disponibles)

Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-58** y **Figura N° 13-59** se presenta la evolución de Nitrógeno disponible en suelo para los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

En el monitoreo de invierno M15, en nitrógeno disponible, todos los valores están en el rango “muy alto”. Además, se presentan los mayores valores en el periodo de seguimiento en 2 de las 8 muestras, y en las restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En el caso de M16, los valores se presentan en todos los casos dentro del rango de variación histórica, en la parte media de dichos registros.

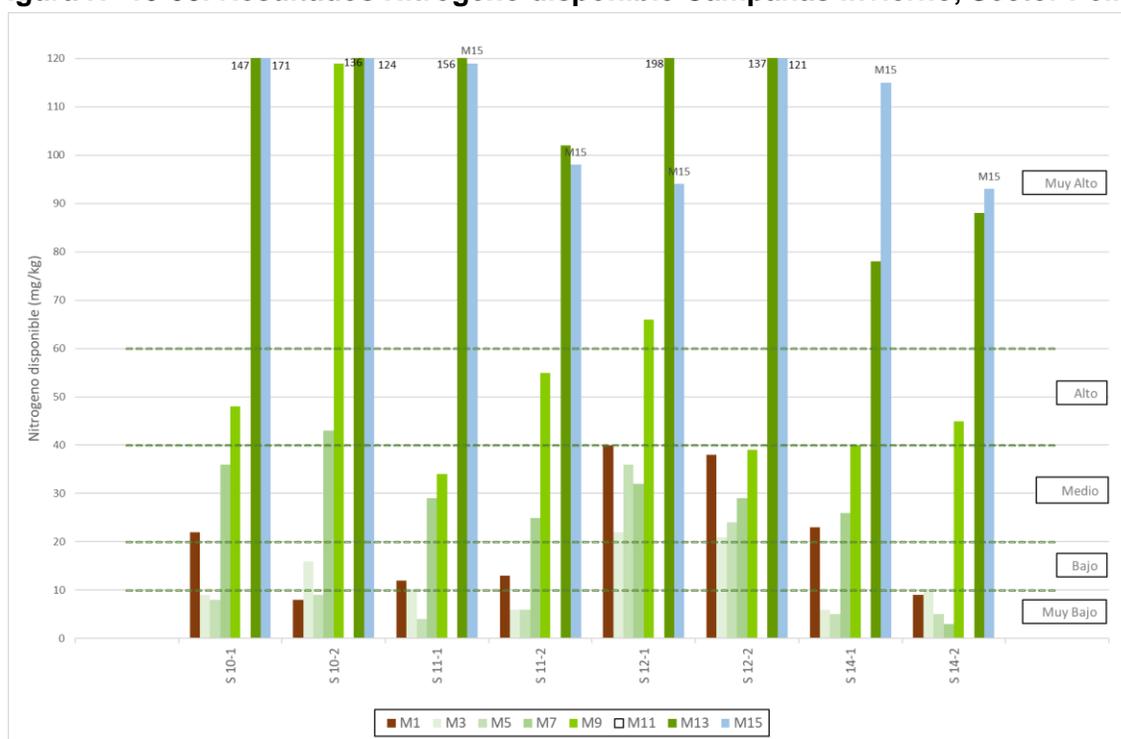
Todos los valores de nitrógeno se presentan mayores en invierno 2023 (M15) respecto a verano 2024 (M16), con algunas variaciones como en el caso de S 10-1 que es 6,7 veces mayor en M15 respecto a M16, lo que puede considerarse una variación anómala en la serie de datos para el periodo de monitoreo.

Los valores de Nitrógeno disponible para M15 son mayores que en M16 en todos los puntos de muestreo, verificándose algunos casos donde dichas variaciones son extremadamente altas, las cuales se explican sólo parcialmente desde la variabilidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Otras causas potenciales de variación en el nivel de

nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas verde-azules), fijación simbiótica de nitrógeno (dependiente de la relación entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno), y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

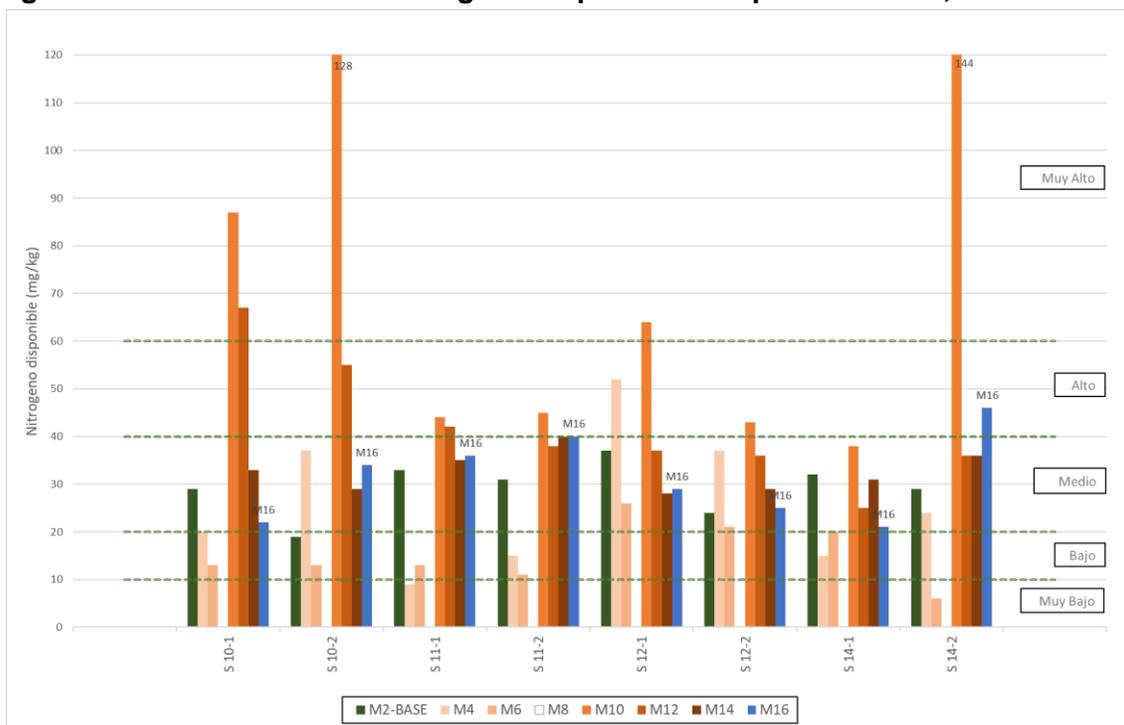
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-58. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-59. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Verano, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

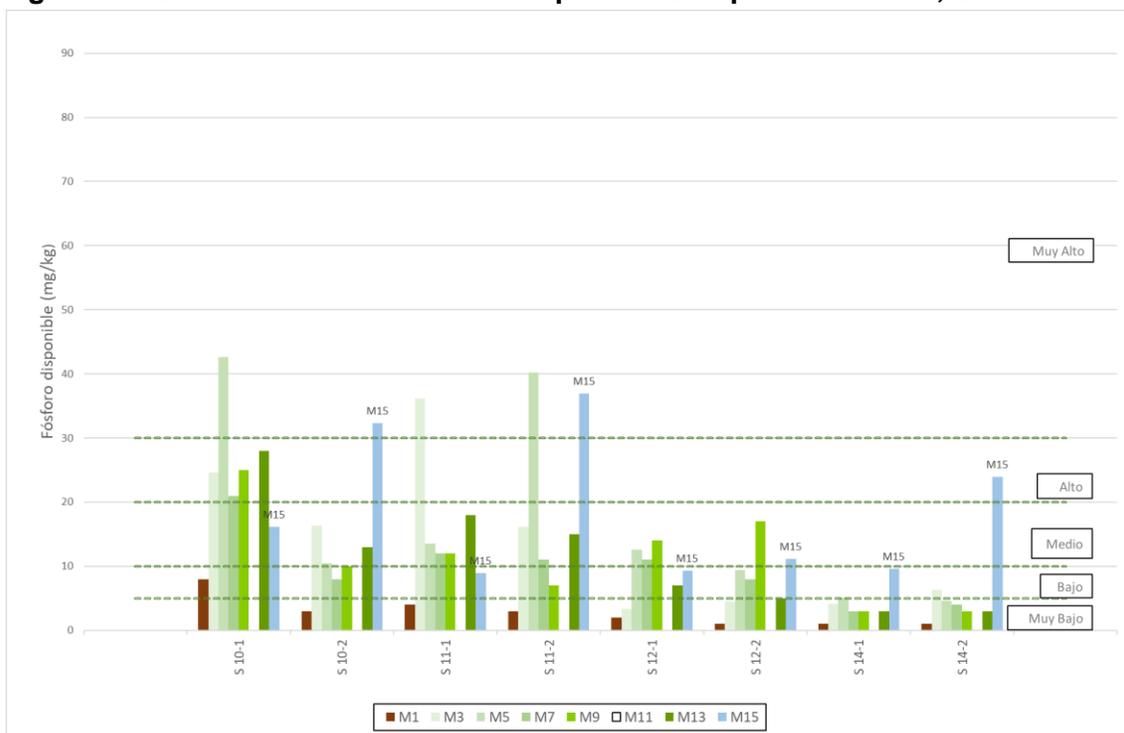
En la **Figura N° 13-60** y **Figura N° 13-61**, se muestra la concentración de fósforo disponible en el sector de Peine, para todos los monitoreos de invierno y de verano respectivamente. La muestra S 11-2 para M16 no registra datos por inconvenientes en laboratorio (**Ver Carta Laboratorio ALS en Anexo 1 Suelos o Sustrato**).

En cinco de las siete muestras de fósforo con resultados para M16 (la muestra S 11-2 no tiene resultado por inconvenientes en laboratorio), se sobrepasan los máximos del periodo de seguimiento, y en las muestras restantes (S 10-1 y S 12-2), se presentan resultados en el rango alto para dichos horizontes. Los resultados para las muestras S 14-1 y S 14-2 se muestran muy por sobre valores anteriores, por lo que pueden considerarse variaciones anómalas respecto a la serie de datos en el periodo de seguimiento. El aumento tendencial importante en los niveles de fósforo a partir de M15, se explica sólo parcialmente desde la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los niveles de Fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de fósforo

desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

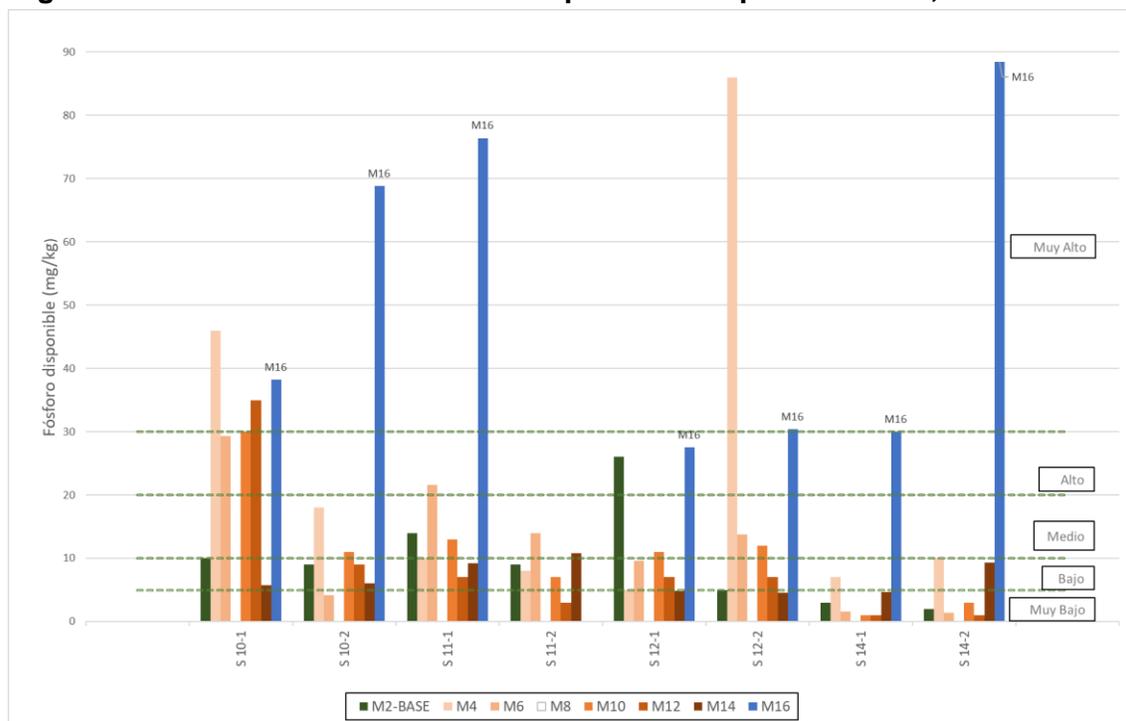
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-60. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-61. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Peine.**



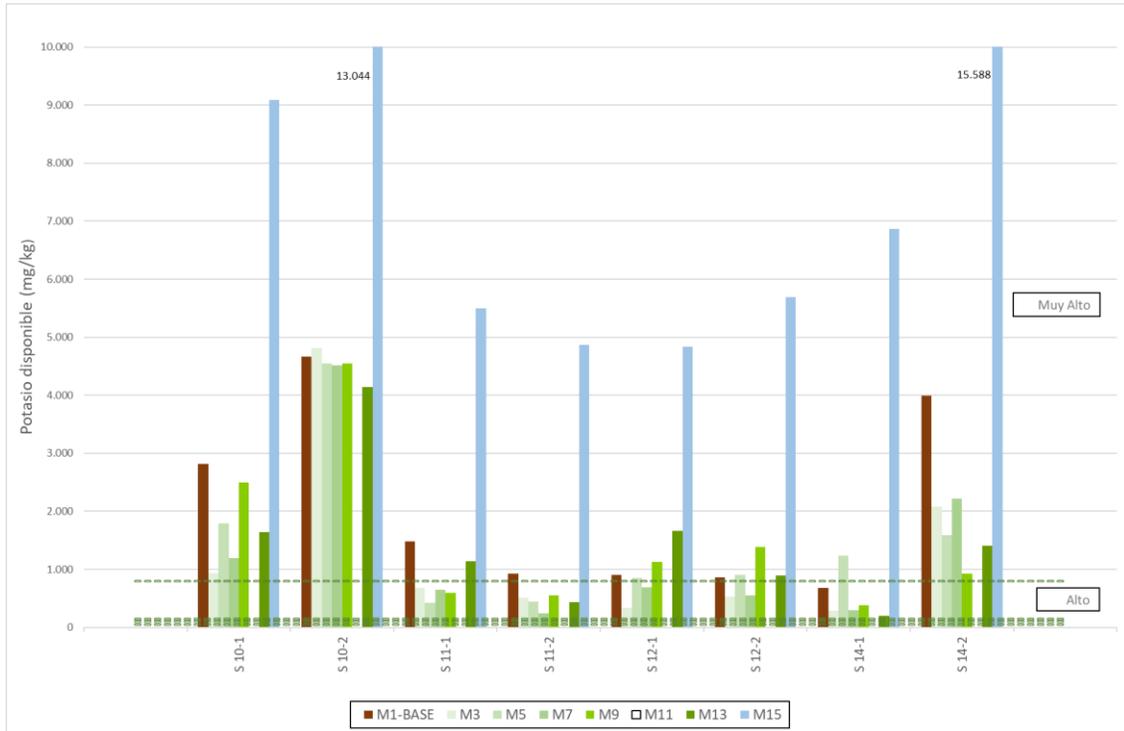
Fuente: Elaboración Propia. Muestra S 11-2 para M16 sin datos desde laboratorio.

La **Figura N° 13-62** grafica la concentración de potasio disponible en el sector de **Peine**, para todos los monitoreos de invierno disponibles, en tanto, en la **Figura N° 13-63** se muestra para todos los monitoreos de verano disponibles. Para todas las muestras, el valor de M15 es mayor que los máximos históricos para todos los monitoreos, y para el caso de M16, los valores se presentan en el rango alto de la tendencia histórica de los valores del periodo de seguimiento.

Para todas las muestras, el valor de M15 es mayor que los máximos históricos para todos los monitoreos, y para el caso de M16, los valores se presentan en el rango alto del periodo de seguimiento. Los elevados niveles de potasio que se presentan en M15 se encuentran muy por sobre el rango de datos para el periodo de seguimiento, con aumentos desde 83% (S 12-1) hasta 203% (S 12-2) de los anteriores máximos históricos. Estos valores por sobre los máximos del periodo de seguimiento, se explican parcialmente por la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los tipos de arcillas condicionan la disponibilidad del potasio en el suelo, por lo que variaciones en el material parental, pueden provocar cambios significativos en la disponibilidad de este nutriente. Niveles altos de humedad y de materia orgánica se relacionan con mayores niveles de disponibilidad de potasio en el suelo. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Potasio disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de potasio desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

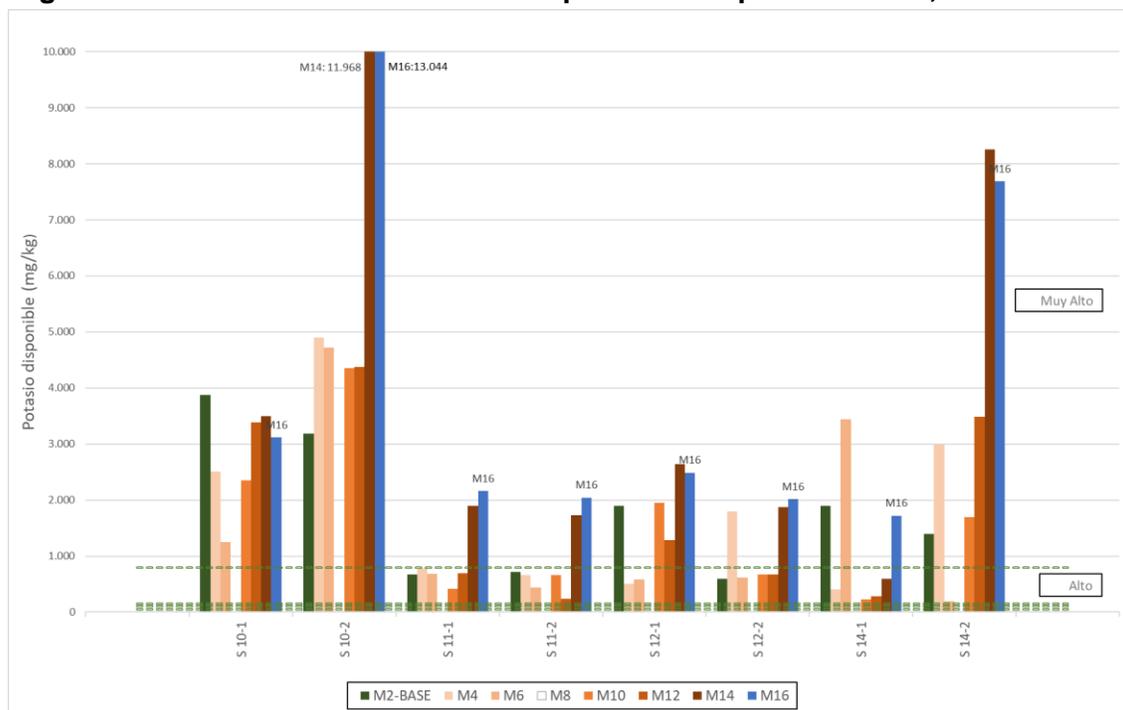
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-62. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-63. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

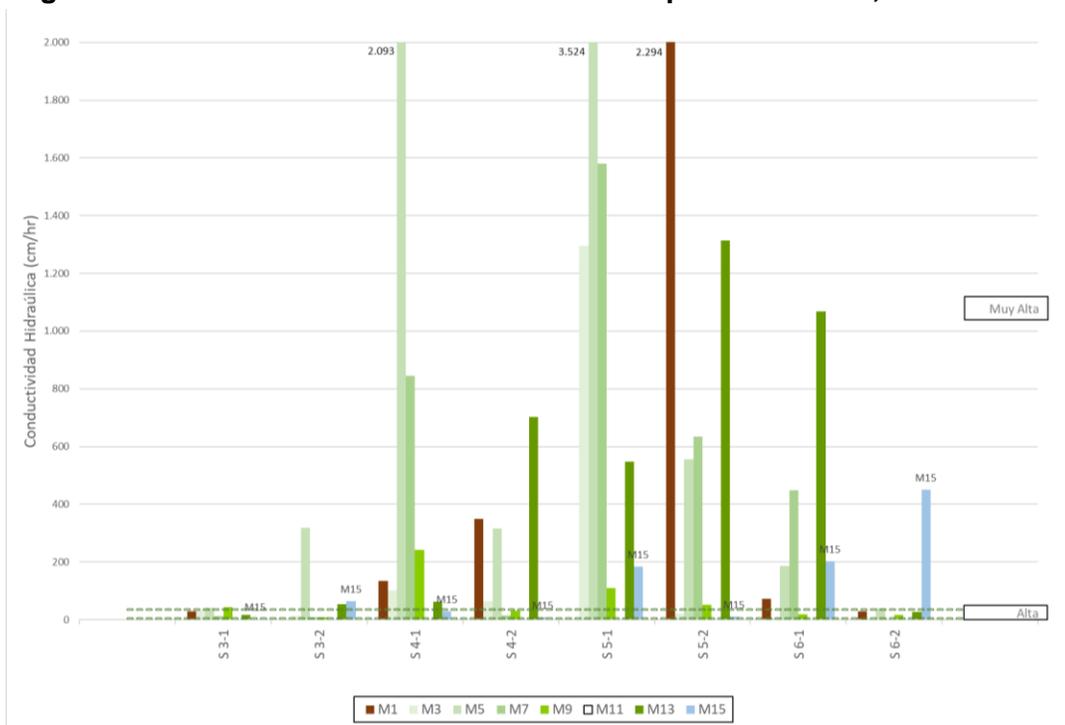
### 13.4.2.5 Conductividad Hidráulica y Textura Sector Peine

En la serie de datos temporales para el sector de **Peine** que se indica en la **Figura N° 13-62** y **Figura N° 13-64** y **Figura N° 13-65** para los monitoreos de invierno y verano respectivamente, se aprecia una gran dispersión de datos, tanto dentro de cada muestra, como entre diferentes puntos y muestras. En M16, se presentan dos muestras por sobre los resultados máximos del periodo de seguimiento (S 10-2 y S 11-1); y para M15, la muestra S 14-1, también se presenta por sobre los máximos históricos. Cinco de los ocho puntos analizados disminuyen su conductividad eléctrica desde M15 a M16. A pesar de las diferencias en los valores absolutos registrados en cada muestra, solo una muestra (S 12-2) cambia de categoría desde “muy alta” en M15 a “alta” en M16.

Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

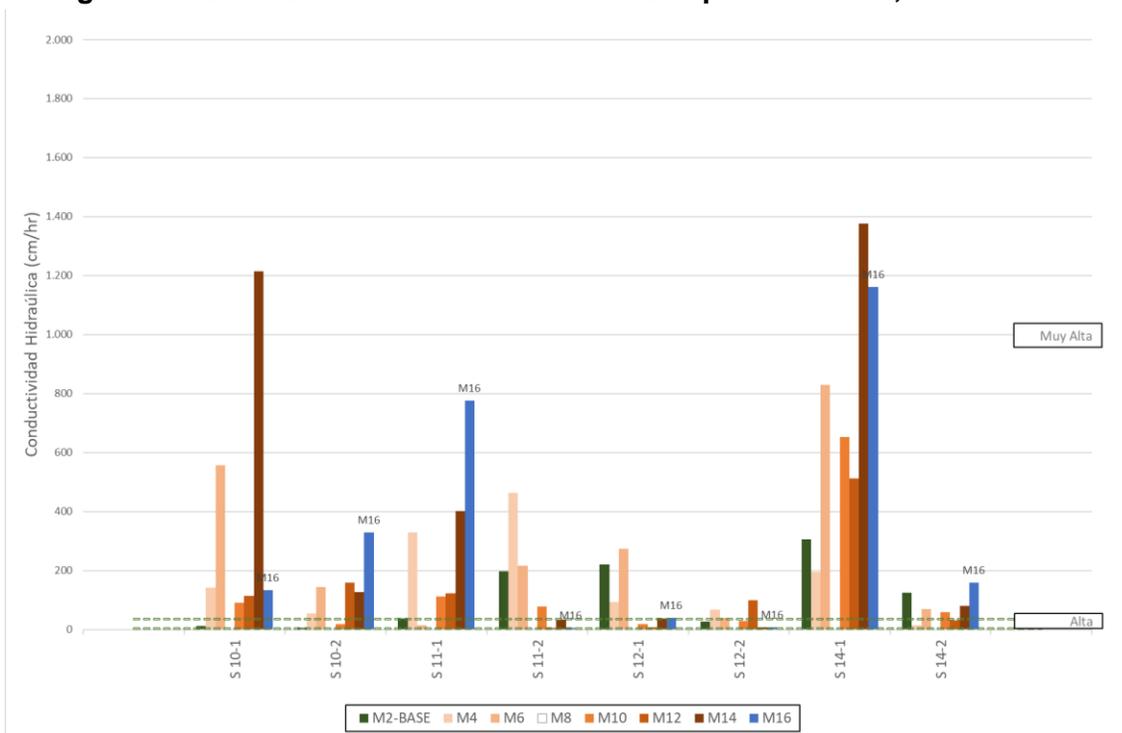
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-64. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-65. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Peine.**

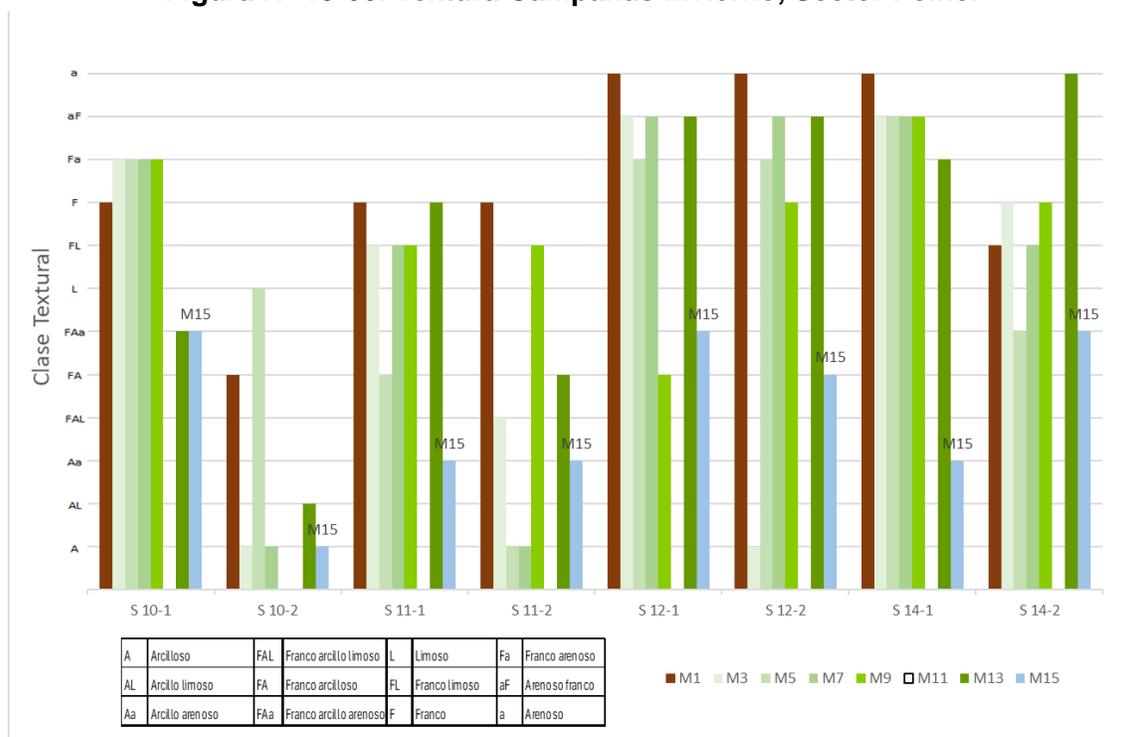


Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-66** y **Figura N° 13-67** se muestran los datos de clases texturales registrados en los monitoreos de invierno y verano respectivamente, para el sector de Peine. En el monitoreo M15 de invierno se aprecia un cambio hacia texturas más finas que en los anteriores registros del periodo de seguimiento, y en M16 de verano, se aprecia un cambio hacia texturas más gruesas que en M15, y acercándose a los valores más comunes de los registros históricos, que se mueven principalmente en el rango de texturas francas (medias), con la excepción de la muestra S 10-2, que se presenta principalmente en texturas arcillosas. Las variaciones de clase textural registrada en un monitoreo y otro, asociados a cortos períodos de tiempo (menos de un año), se explican sólo parcialmente desde la heterogeneidad natural del material parental de los perfiles de suelo muestreados. Es necesario complementar más datos a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el retransporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

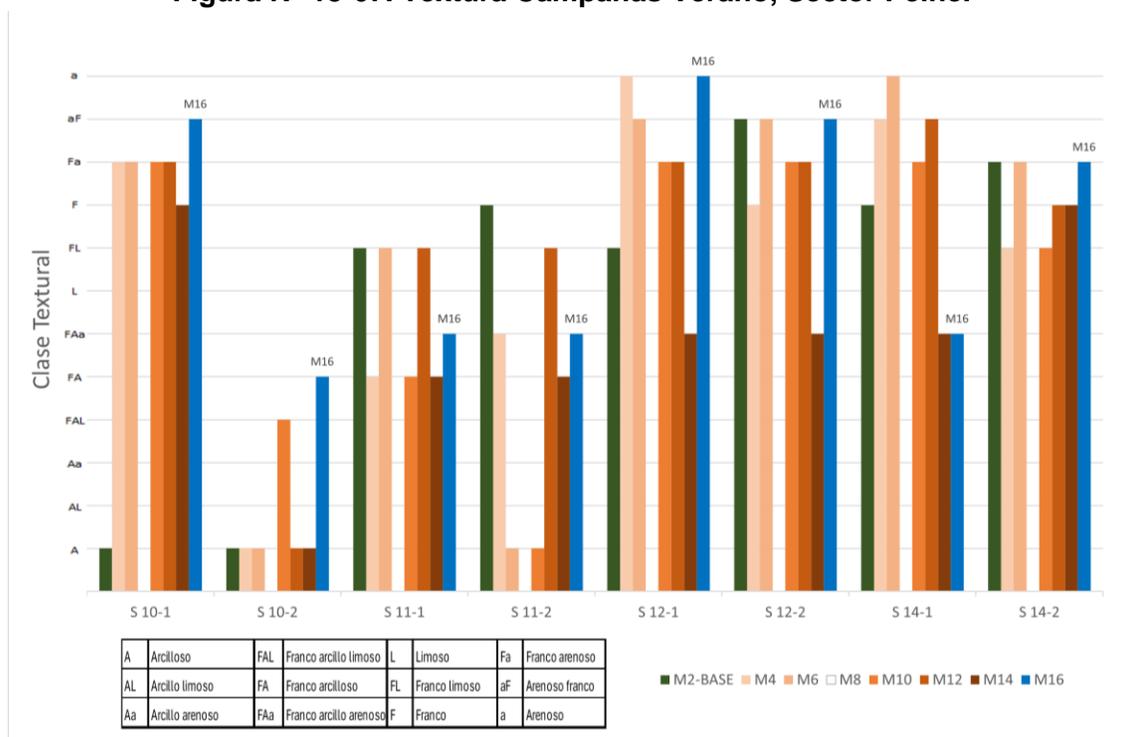
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-66. Textura Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-67. Textura Campañas Verano, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.2.6 Humedad y Nivel Freático Sector Peine

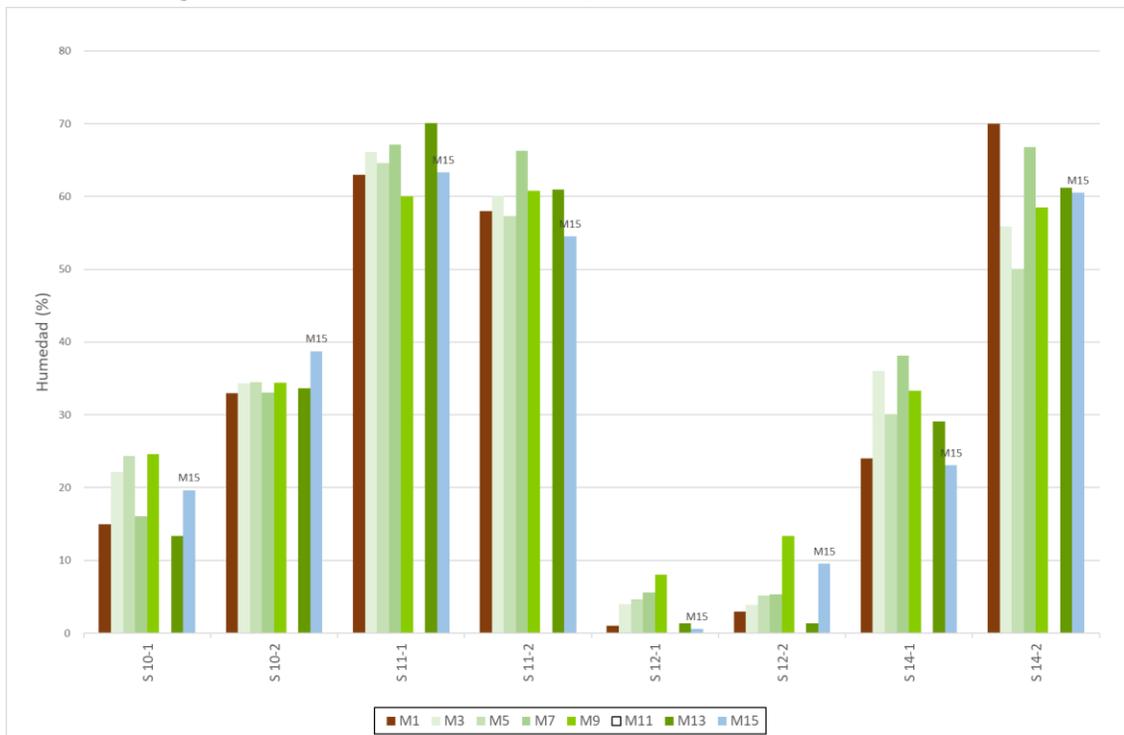
En la serie de datos temporales de humedad representados en la **Figura N° 13-68** (invierno) y **Figura N° 13-69** (verano) se aprecia que, en general, los resultados de los monitoreos de invierno y de verano se presentan dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro, con una gran consistencia de resultados al interior de cada muestra. Se registra una baja variabilidad entre el monitoreo M15 y M16 para una misma muestra.

Se observa una gran variabilidad entre puntos, con el punto S 11, asociado a formaciones vegetacionales del tipo “vega” con gran crecimiento y cobertura vegetal, que presenta valores de humedad por sobre 60% en el primer horizonte para M15 y M16, y de 50 a 52% en el segundo. Le sigue el punto S 14, con 28% en el primer horizonte y 58 a 64%, en el segundo horizonte, también con presencia de cobertura vegetación, menores que las registradas para el punto S 11. El punto S 10 presenta una humedad menor a los dos puntos ya indicados, y el punto S 12 presenta los menores valores, en torno a 1% en el primer horizonte y entre 5 y 8% en el segundo.

Los contenidos de humedad descritos en M15 y M16 en los cuatro puntos del sector de Peine se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14), y con variaciones muy bajas entre los distintos monitoreos.

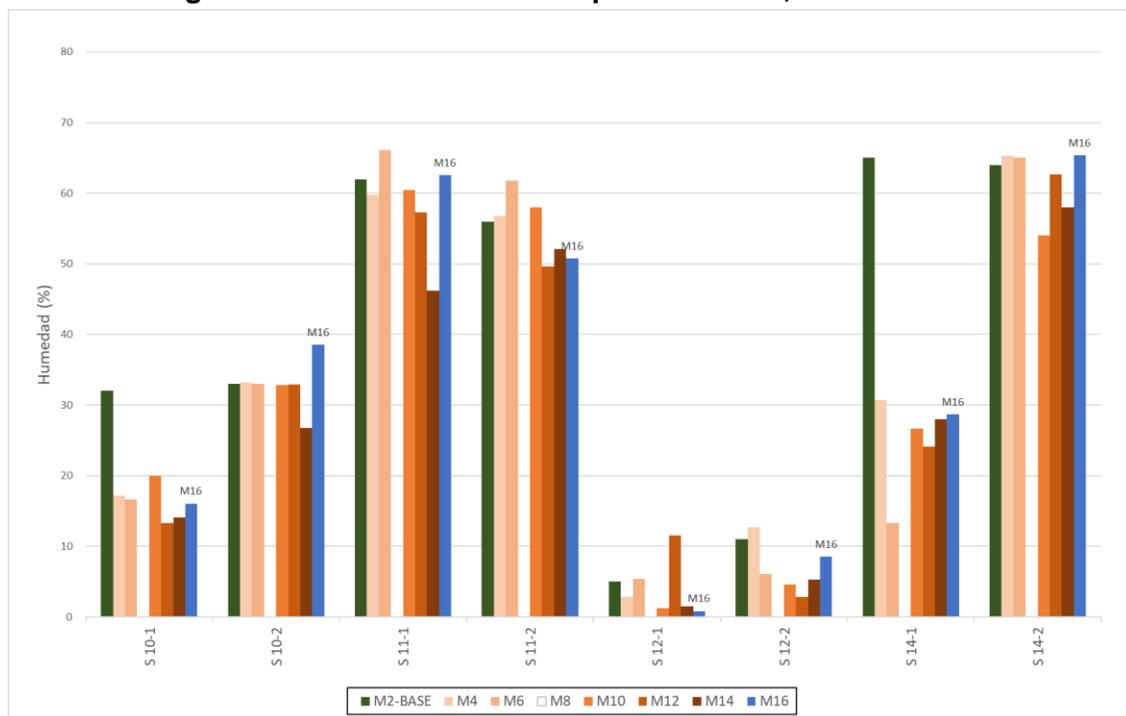
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-68. Humedad Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-69. Humedad Campañas Verano, Sector Peine.**



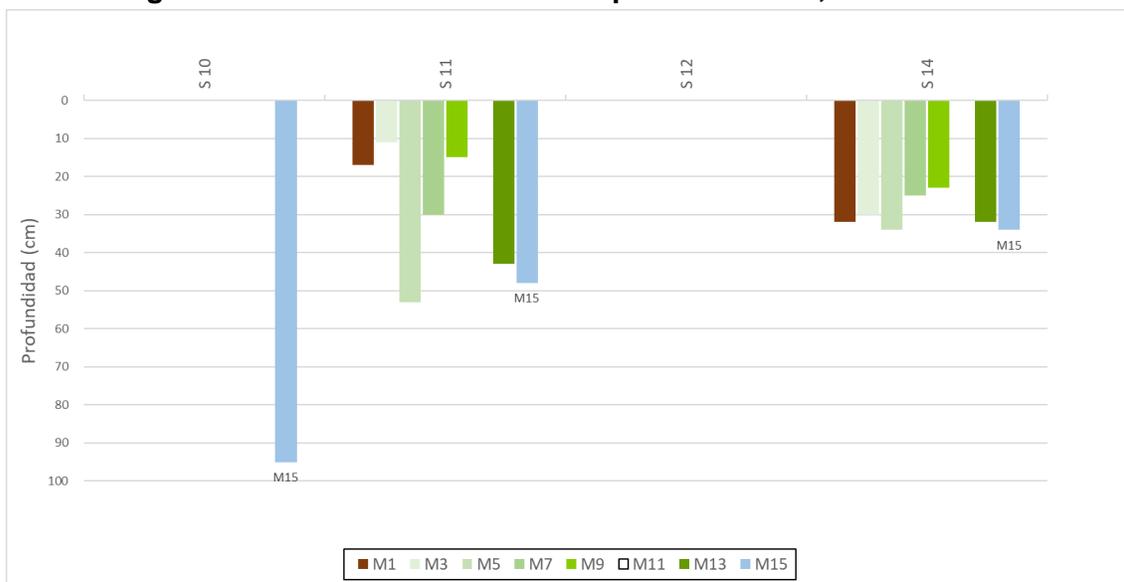
Fuente: Elaboración Propia.

Al momento de la toma de muestras de suelo en el sector de **Peine**, se registró el **Nivel Freático**, tanto para el monitoreo de verano e invierno. El registro histórico se muestra en la **Figura N° 13-70** y **Figura N° 13-71** respectivamente. Se presenta consistente con anteriores monitores para el punto S 11 y S 14, pero se registra la presencia de nivel freático en S 10 por primera vez en los registros históricos de verano e invierno. Esto se mantiene en el monitoreo de verano M16, donde también se registra nivel freático por primera vez en S 10 en muestreos de verano, y a profundidades equivalentes al registro de invierno. En el monitoreo M16, se aprecia una disminución importante en el nivel freático para el punto S 11 respecto a su tendencia histórica. En tanto, el punto S 12 no muestra nivel freático en M15 (hasta 76 cm de excavación para toma de muestra) y en M16 (hasta 71 cm de excavación).

Los niveles freáticos registrados son los esperables para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato a humedales salinos. Los registros corresponden a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo.

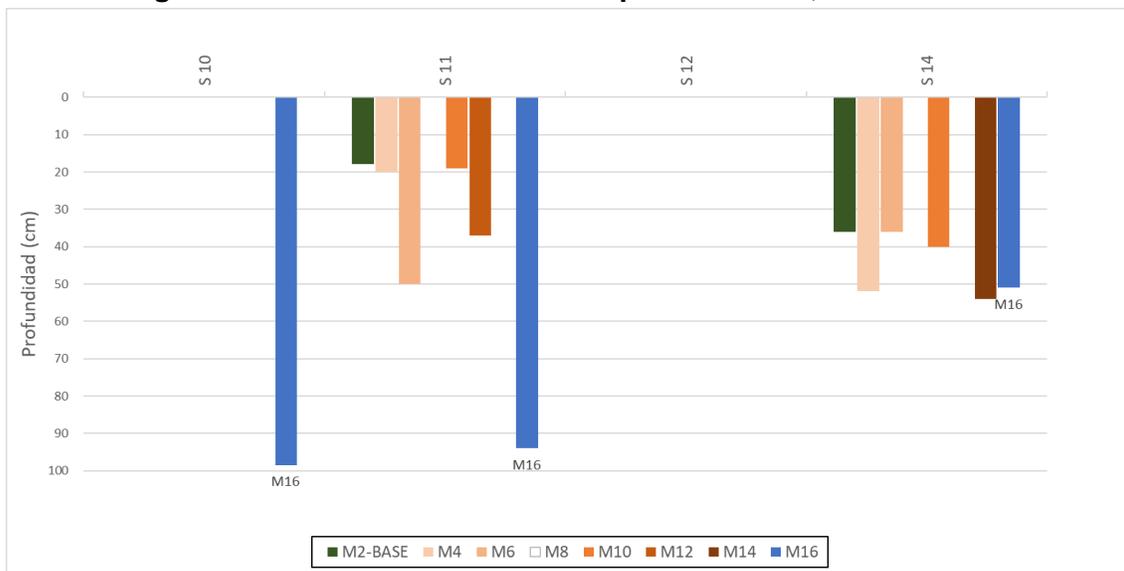
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para estas variables.

**Figura N° 13-70. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

**Figura N° 13-71. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

### **13.4.3 Análisis de evolución de resultados Sector Tilopozo (veranos)**

En el Anexo 2 Suelos o Sustrato, se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, y sus rangos de medición, presentando información comparada con los 16 monitoreos realizados, tanto de invierno como de verano.

#### **13.4.3.1 Conductividad Eléctrica y Salinidad Sector Tilopozo**

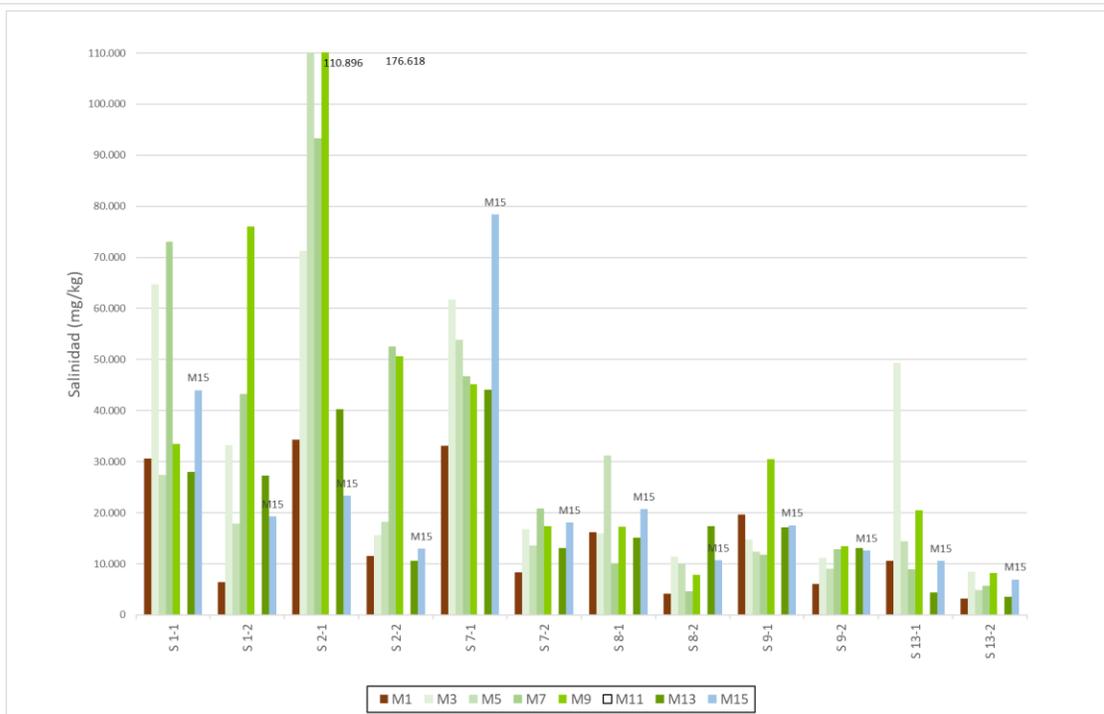
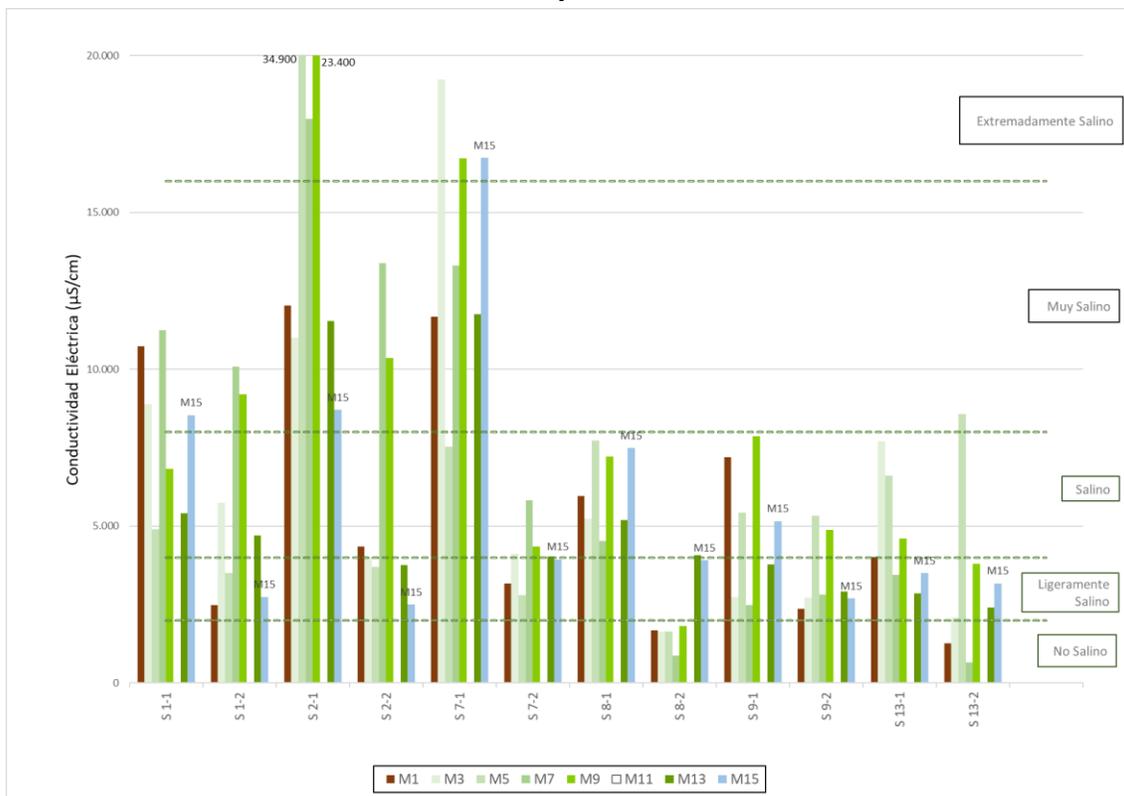
Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-72** se presenta la evolución de conductividad eléctrica y salinidad para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-73** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

En el caso de la muestra S 1-1, los valores de conductividad eléctrica y salinidad se presentan por sobre los máximos históricos. El resto de las muestras se presentan dentro de los rangos históricos de variación de los anteriores monitoreos registrados, y además se mantienen en general las diferencias comparativas entre puntos.

Los niveles de conductividad eléctrica y salinidad registrados son consistentes con las características químicas de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos.

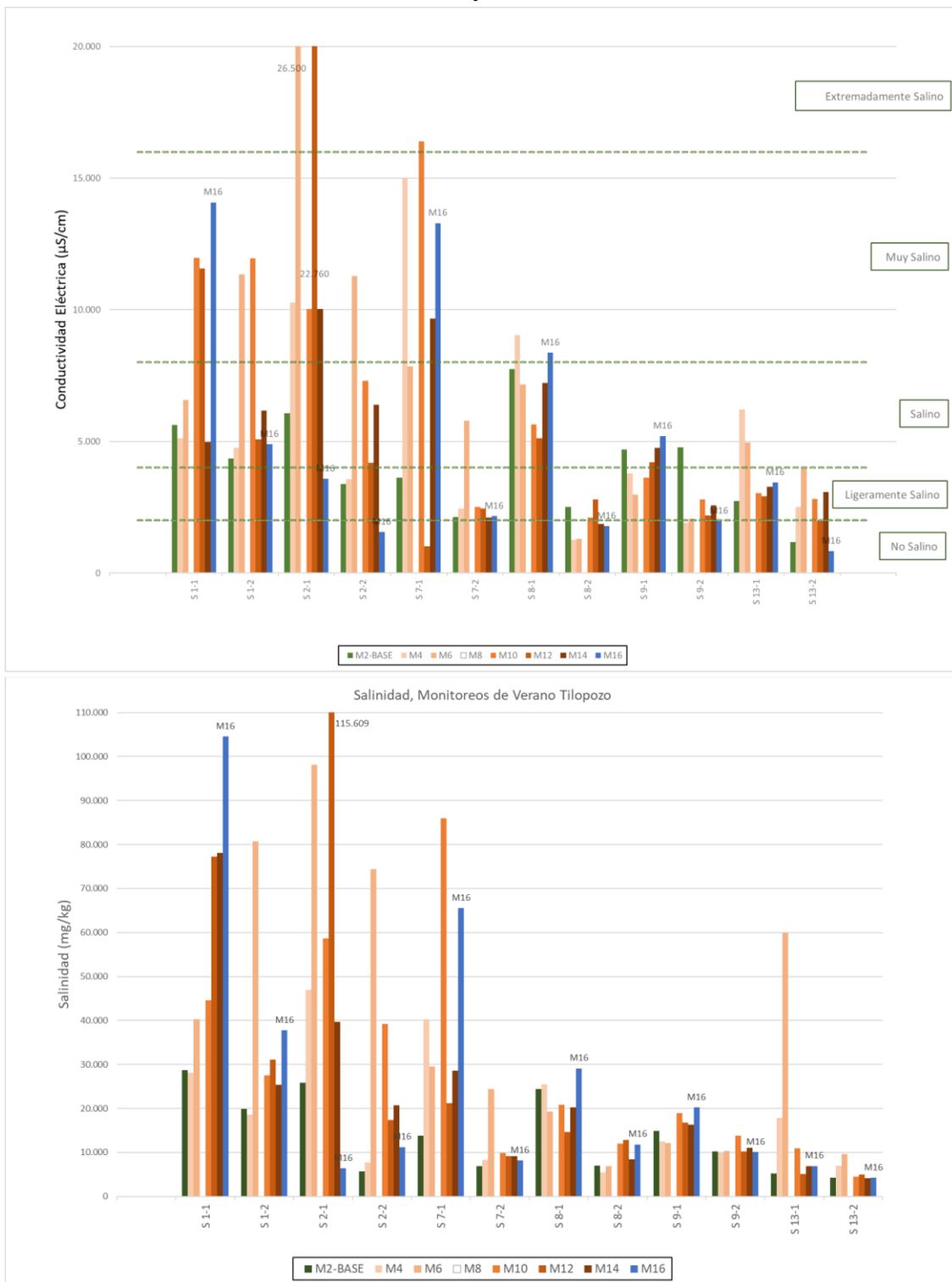
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable, tanto para los presentes monitoreos (M15 y M16) como para los anteriores (M1 a M14).

**Figura N° 13-72. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Inverno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-73. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.3.2 pH Sector Tilopozo

Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-74** se presenta la evolución de pH en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-75** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Los valores se observan muy estables en comparación con la tendencia de los valores de anteriores monitoreos, tanto de invierno como de verano, y presentan una variabilidad muy baja entre diferentes monitoreos. Tanto el monitoreo de invierno (M15) como el de verano (M16) se presentan dentro de los rangos usuales de variación histórica para todos los monitoreos, solo para el caso de M16, se aprecian valores mayores a los máximos históricos en la muestra S 7-2, S 8-2 y S 9-2, pero con aumentos menores, en el rango de 1 a 5%.

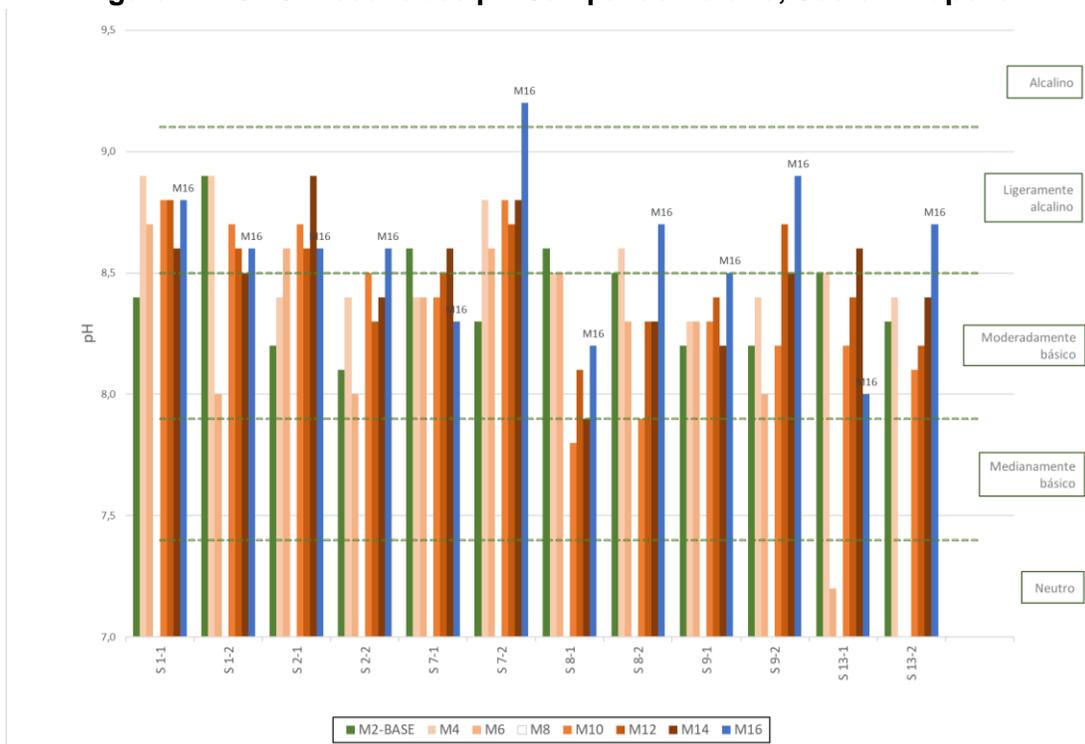
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-74. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-75. Resultados pH Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.3.3 Materia Orgánica Sector Tilopozo

Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-76** se presenta la evolución de Materia Orgánica en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-77** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Todos los valores de materia orgánica, tanto en M15 como en M16, se presentan en el rango de la variación histórica de todos los monitoreos (M1 a MN14). En la mayor parte de las muestras, en el monitoreo de verano (M16), se observan aumentos importantes respecto a los tres últimos monitoreos (M13 a M15), y con valores en el rango de los resultados de los monitoreos M7 a M12.

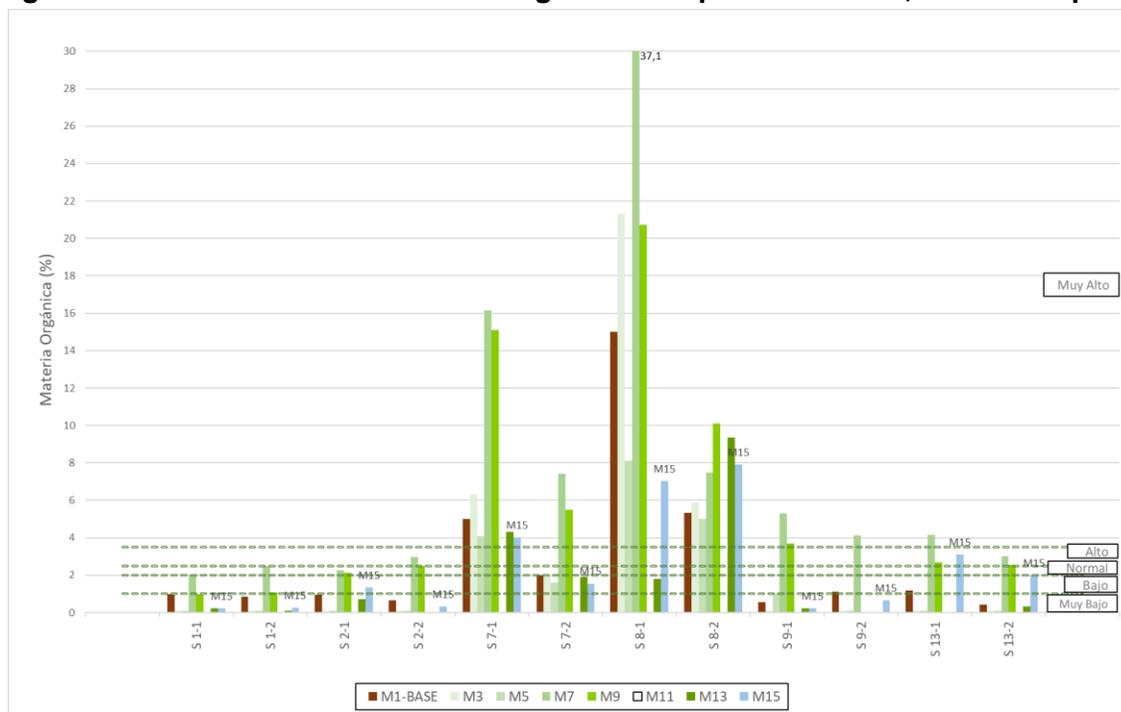
Los mayores valores para M15 y M16 se presentan en los puntos S 7 y S 8, lo que coincide con coberturas vegetacionales mucho mayores que el resto de los puntos y con importantes acumulaciones de raíces en estados intermedios de descomposición en el perfil de suelo analizado. El punto S 13, pese a tener actualmente una cobertura vegetal importante, presenta niveles de materia orgánica en el rango bajo del monitoreo, lo que puede relacionarse a

procesos diferenciales de acumulación de materia orgánica respecto al resto de los puntos, dada su posición geográfica más alejada de las vegas de Tilopozo.

Los contenidos de materia orgánica descritos en M15 y M16 en los seis puntos del sector de Tilopozo se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14). Esta variabilidad se explica parcialmente por la heterogeneidad natural del material parental de los suelos monitoreados. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un cambio tendencial en Materia orgánica, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental, con contenidos diferenciales de materia orgánica, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

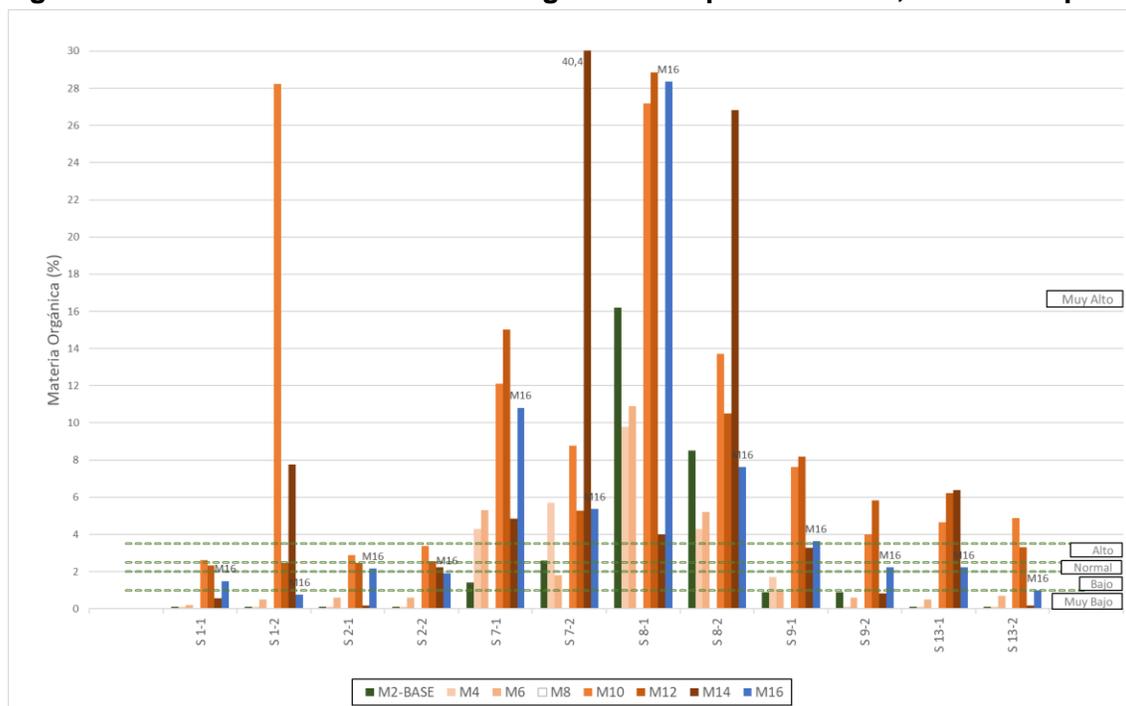
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-76. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-77. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 13.4.3.4 Nutrientes Sector Tilopozo (Nitrógeno, Fosforo y Potasio disponibles)

Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-78** y **Figura N° 13-79** se presenta la evolución de Nitrógeno disponible en suelo para los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

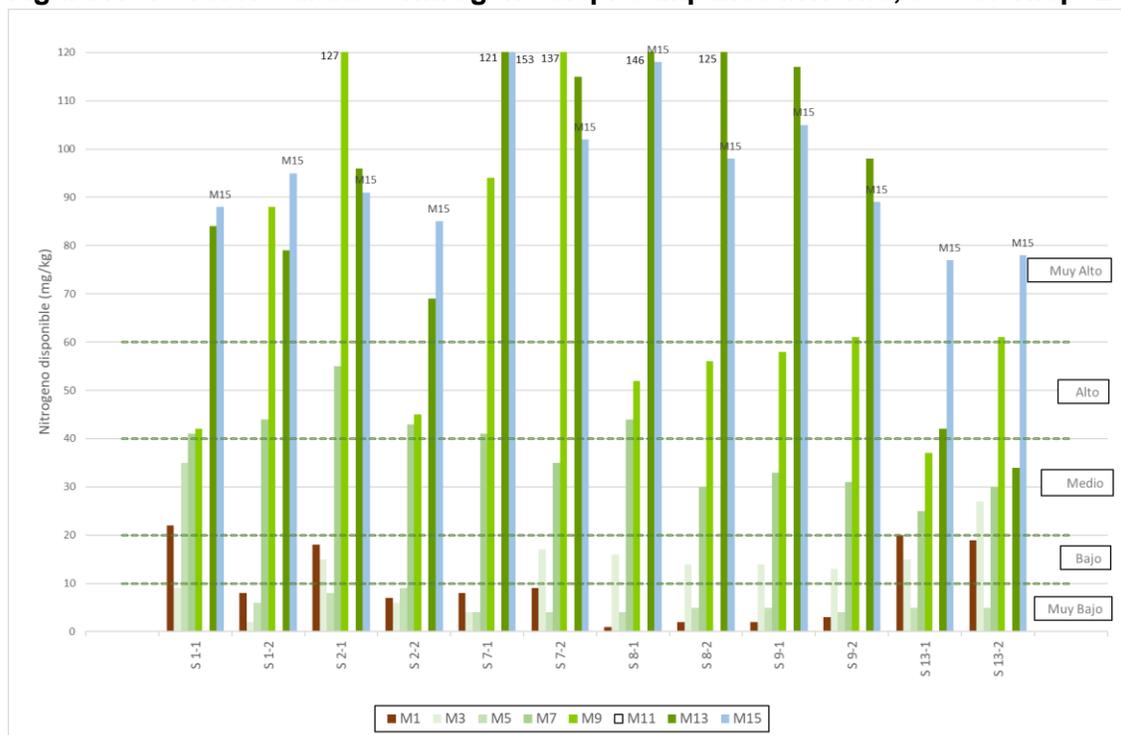
En el monitoreo de invierno M15, en nitrógeno disponible, todos los valores están en el rango “muy alto”, y en M16, los valores se presentan desde “medio” a “muy alto”. Además, en M15 se presentan los mayores valores en el periodo de seguimiento en 4 de las 12 muestras, y en las restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En el caso de M16, los valores se presentan menores a M15, y en todos los casos dentro de rango de variación histórica, en la parte media de dichos registros.

Todos los valores de nitrógeno se presentan mayores en invierno 2023 (M15) respecto a verano 2024 (M16), con algunas variaciones como en el caso de S 1-2 y S 2-2, que son 3,7 a 3,5 veces mayor en M15 respecto a M16, lo que puede considerarse una variación anómala en la serie de datos para el periodo de monitoreo. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como continúan los registros.

Los contenidos de nitrógeno descritos en M15 y M16 en los seis puntos del sector de Tilopozo se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14). Los valores de Nitrógeno disponible para M15 son mayores que en M16 en todos los puntos de muestreo, verificándose algunos casos donde dichas variaciones son extremadamente altas, las cuales se explican sólo parcialmente desde la variabilidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Otras causas potenciales de variación en el nivel de nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas verde-azules), fijación simbiótica de nitrógeno (dependiente de la relación entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno), y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

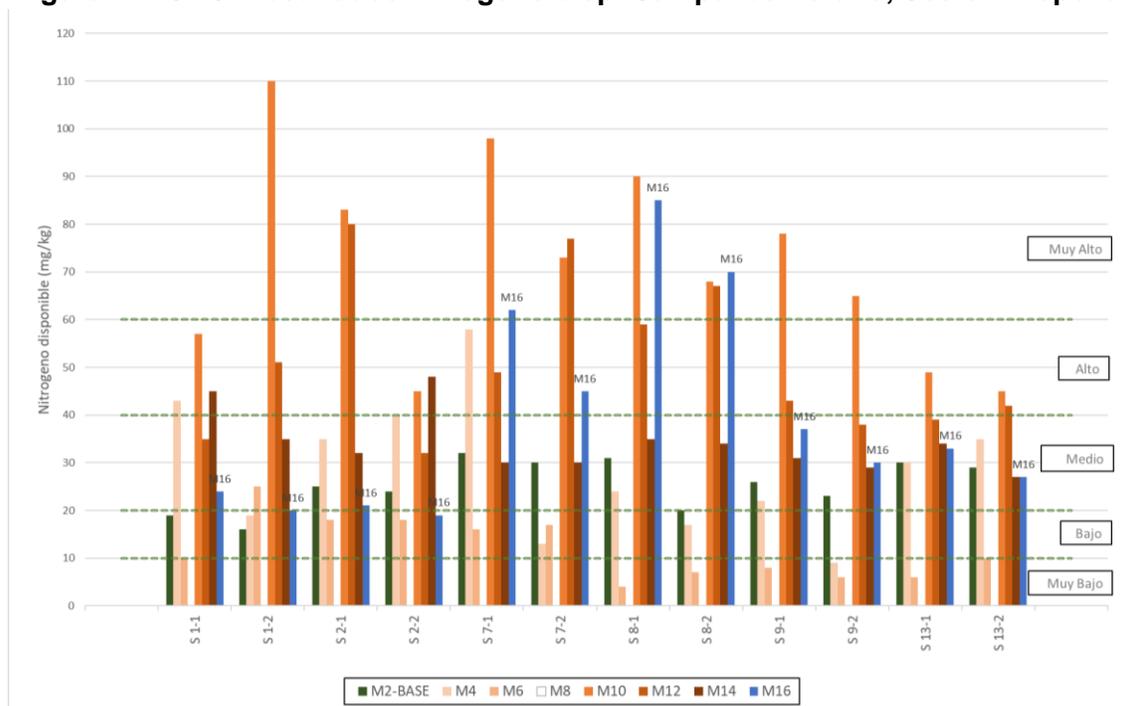
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-78. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-79. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-80** y **Figura N° 13-81**, se muestra la concentración de fósforo disponible en el sector de Tilopozo, para todos los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

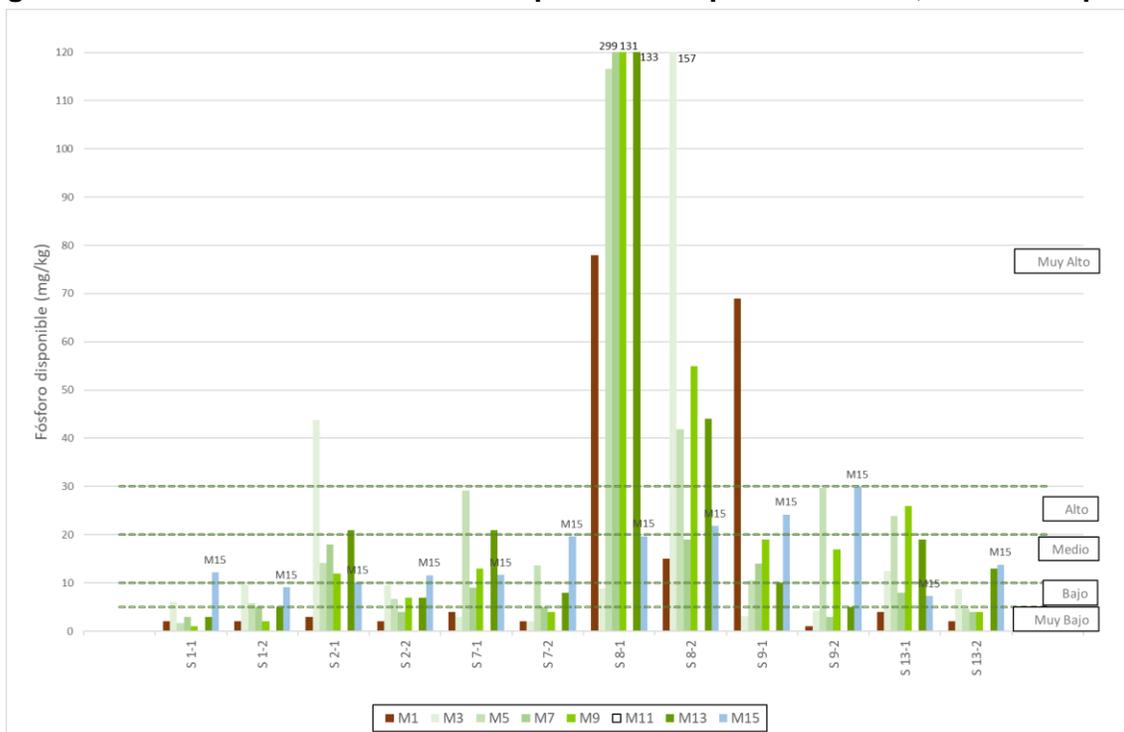
En ocho de las doce muestras de fósforo para M16, se sobrepasan los máximos históricos para todos los monitoreos, y en las muestras restantes, se presentan resultados en el rango alto para dichos horizontes. Los resultados para las muestras S 1-2, S 2-2 y S 7-2 se muestran muy por sobre valores anteriores, por lo que pueden considerarse variaciones anómalas respecto a la serie de datos en el periodo de seguimiento.

El monitoreo de Fósforo disponible realizado en invierno 2023 (M15), presenta valores que mayoritariamente están dentro del rango de variación histórica. Sin embargo, es posible apreciar un aumento tendencial importante en los niveles de fósforo a partir de M15, lo que se explica sólo parcialmente desde la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los niveles de Fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con

contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

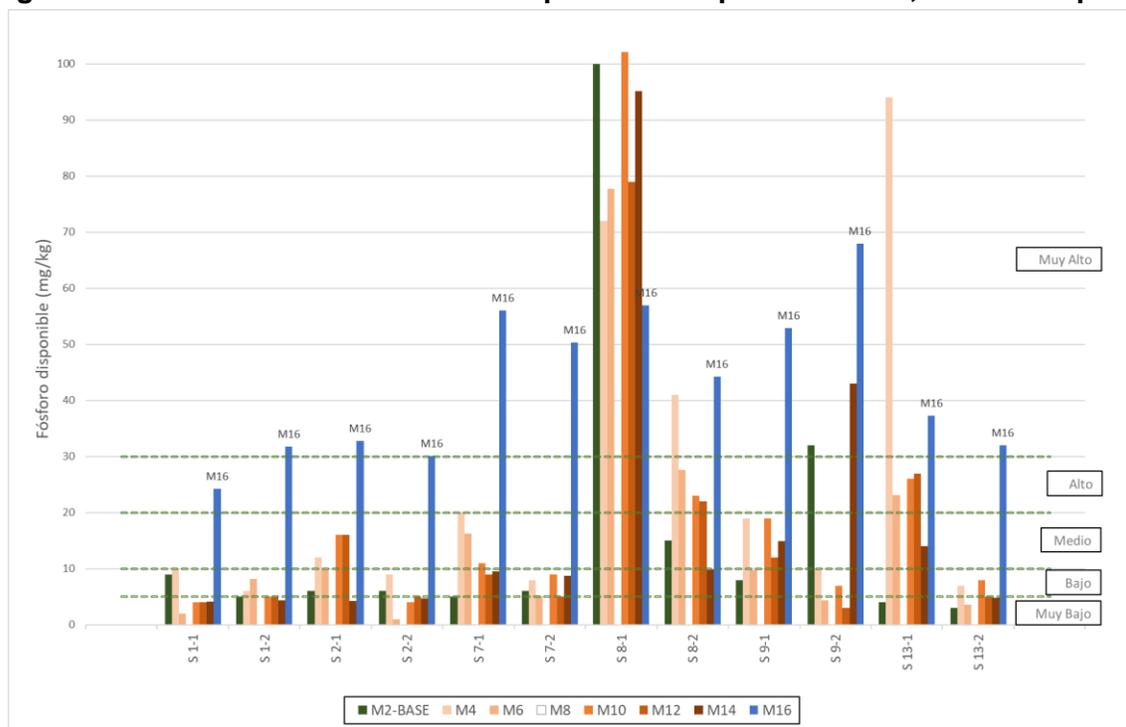
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-80. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-81. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo.**

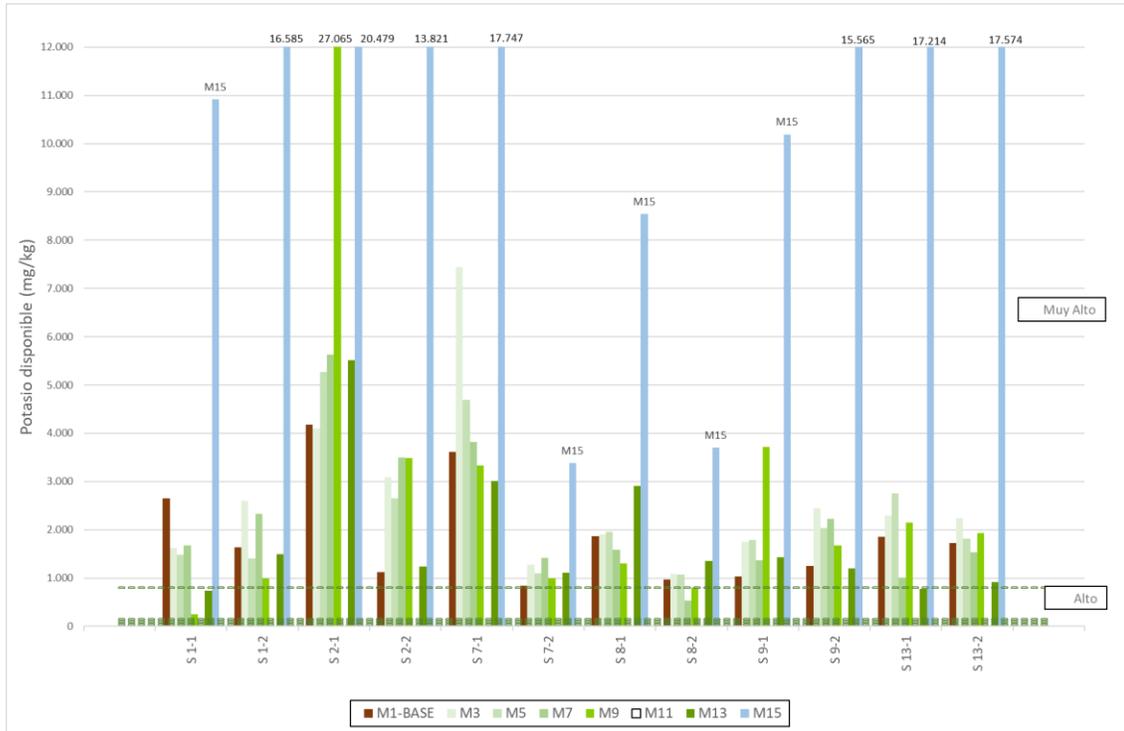


Fuente: Elaboración Propia.

La **Figura N° 13-82** grafica la concentración de potasio disponible en el sector de **Tilopozo**, para todos los monitoreos de invierno disponibles, en tanto, en la **Figura N° 13-83** se muestra para todos los monitoreos de verano disponibles. Para todas las muestras, excepto S 2-1, el valor de M15 es mayor que los máximos históricos para todos los monitoreos, y para el caso de M16, los valores se presentan en el rango alto de la tendencia histórica para el periodo de seguimiento. Los elevados niveles de potasio que se presentan en M15 se encuentran muy por sobre el rango histórico del periodo de seguimiento, con aumentos desde 56% (S 1-1) hasta 214% (S 13-2) y 537% (S 9-21) de los anteriores máximos históricos. Algunos de los valores por sobre los máximos del periodo de seguimiento pueden considerarse una variación anómala respecto a la serie de datos en el periodo de seguimiento, y se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como continúan los registros. Estas variaciones se explican parcialmente por la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los tipos de arcillas condicionan la disponibilidad del potasio en el suelo, por lo que variaciones en el material parental, pueden provocar cambios significativos en la disponibilidad de este nutriente. Niveles altos de humedad y de materia orgánica se relacionan con mayores niveles de disponibilidad de potasio en el suelo. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Potasio disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de potasio desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

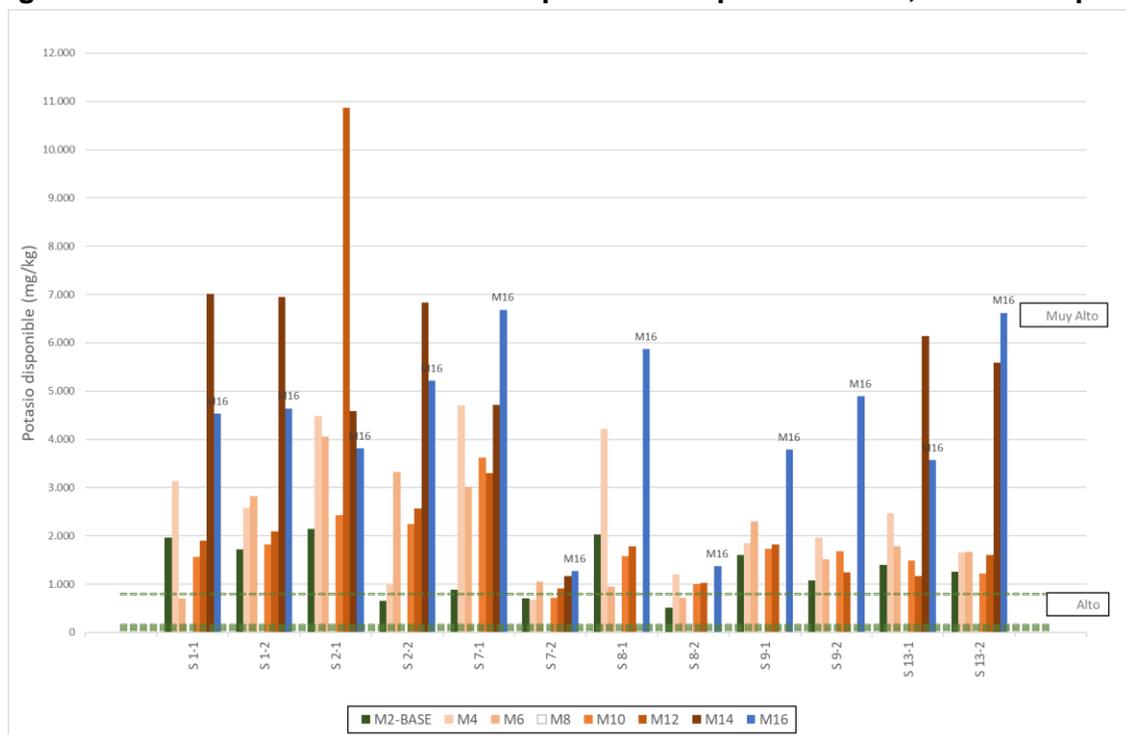
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-82. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-83. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 13.4.3.5 Conductividad Hidráulica y Textura Sector Tilopozo

En la serie de datos temporales para el sector de **Tilopozo** que se indica en la **Figura N° 13-84** y **Figura N° 13-85** para los monitoreos de invierno y verano respectivamente, se aprecia una gran dispersión de datos, tanto dentro de cada muestra, como entre diferentes puntos y muestras. En M15, se presentan dos muestras por sobre los resultados máximos históricos para todos los registros (S 8-1 y S 13-1); y para M16, las muestras S 1-1 y S 8-1, también se presentan por sobre los máximos históricos. En general, los valores de M15 se presentan en el rango alto de la serie de datos histórica, y con mayores valores que M16.

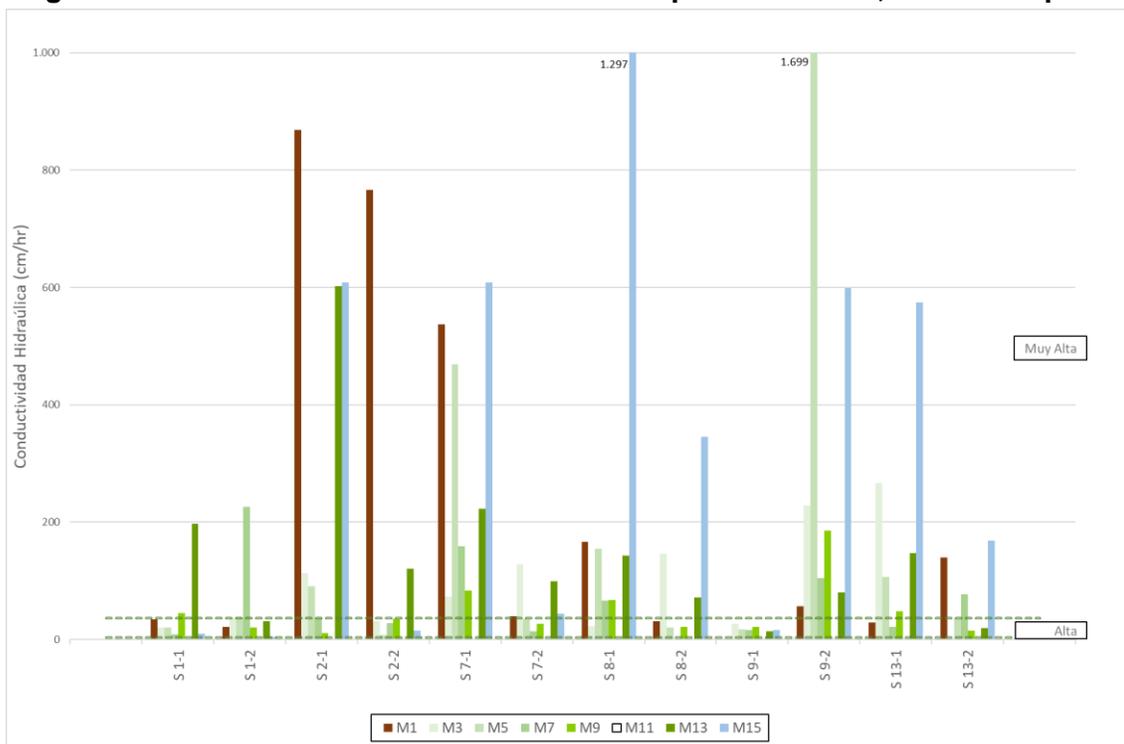
Ocho de los doce puntos analizados disminuyen su conductividad eléctrica desde M15 a M16. A pesar de las diferencias en los valores absolutos registrados en cada muestra, se producen cambios de categorías entre M15 y M16 en cuatro casos, con una muestra que sube (S 1-1, desde “alta” a “muy alta”) y tres que bajan: S 2-1 y S 13-2 (desde “muy alta” a “moderadamente alta”) y S 9-2 (desde “muy alta” a “alta”).

Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En

los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

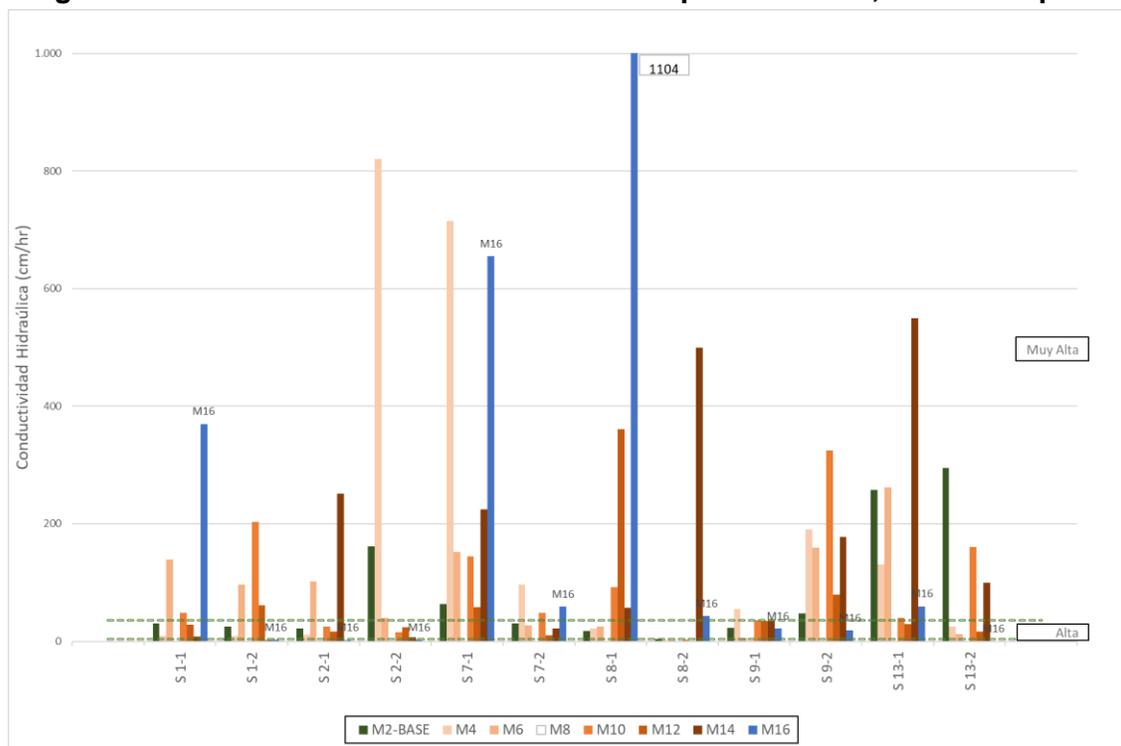
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-84. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-85. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Tilopozo.**

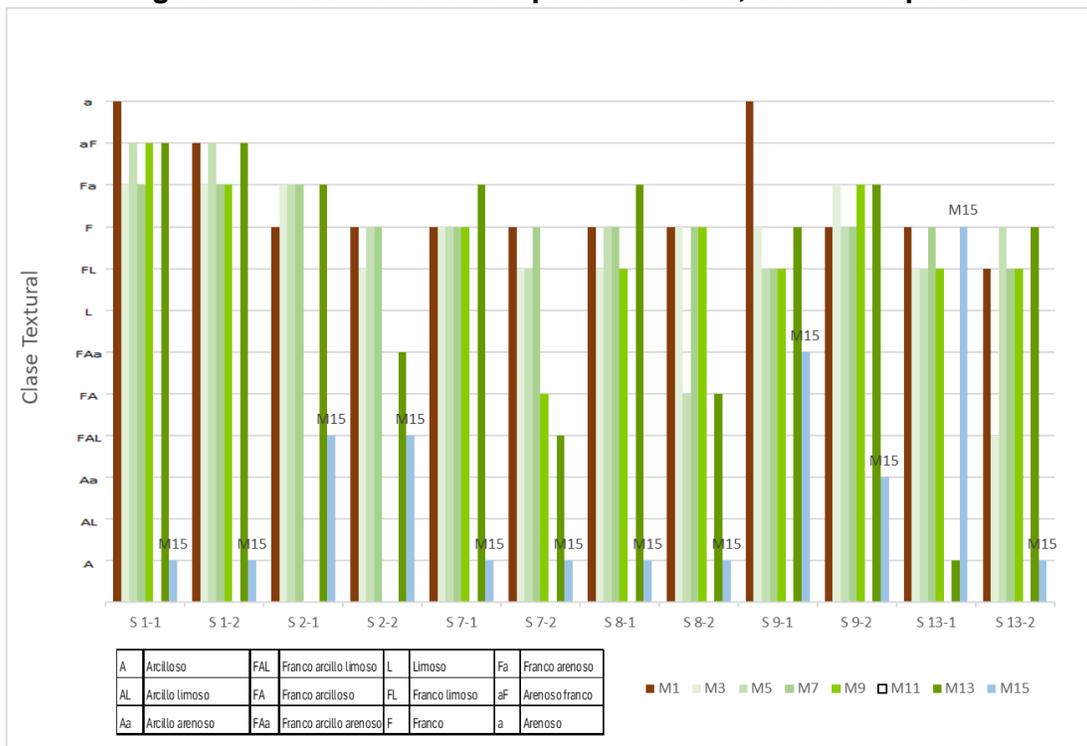


Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-86** y **Figura N° 13-87** se muestran los datos de clases texturales registrados en los monitoreos de invierno y verano respectivamente. En el monitoreo M15 de invierno se aprecia un cambio hacia texturas más finas que en los anteriores registros del periodo de seguimiento, y en M16 de verano, se aprecia un cambio hacia texturas más gruesas que en M15, y acercándose a los valores más comunes de los registros históricos, que se mueven principalmente en el rango de texturas francas (medias), con la excepción de la muestra S 10-2, que se presenta principalmente en texturas arcillosas. Las variaciones de clase textural registrada en un monitoreo y otro, asociados a cortos períodos de tiempo (menos de un año), se explican sólo parcialmente desde la heterogeneidad natural del material parental de los perfiles de suelo muestreados. Es necesario complementar más datos a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el retransporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

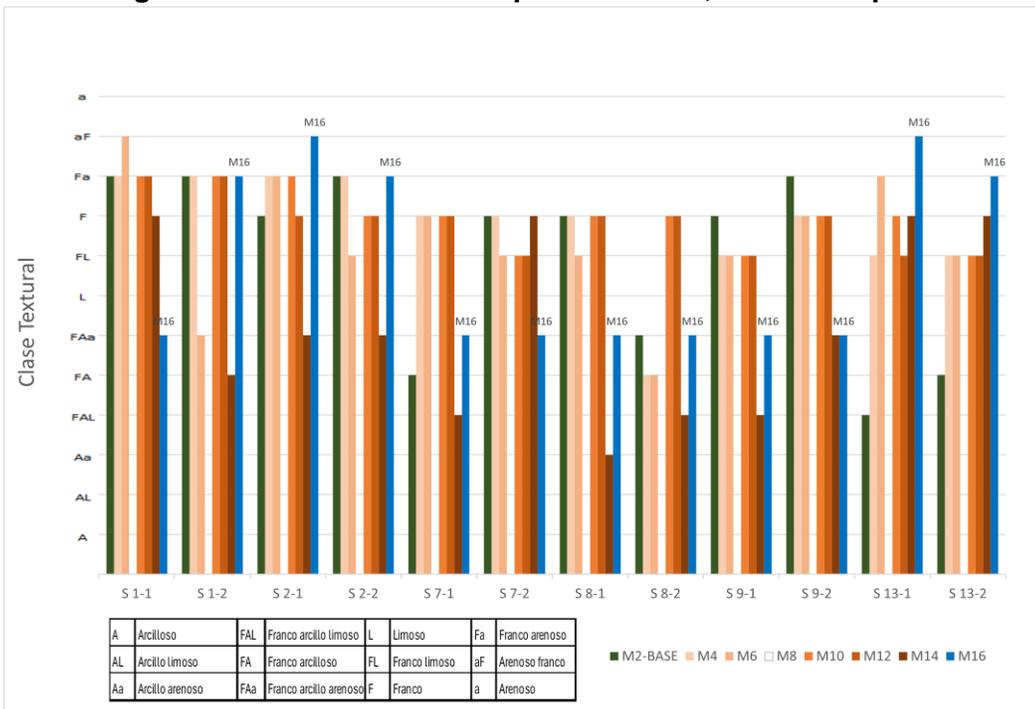
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-86. Textura Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-87. Textura Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

### **13.4.3.6 Humedad y Nivel Freático Sector Tilopozo**

En la serie de datos temporales de humedad que se resume en la **Figura N° 13-88** y **Figura N° 13-89** para monitoreos de invierno y verano respectivamente, todas las muestras presentan valores dentro del rango de variación histórica de datos de los muestreos de verano, con tres muestras de M15 (S 1-2, S 9-1 y S 9-2) con valores por sobre los máximos históricos para todos los monitoreos. En general, tanto para M15 como para M16, los resultados se presentan en el rango alto de la variación histórica de humedad para cada uno de los horizontes.

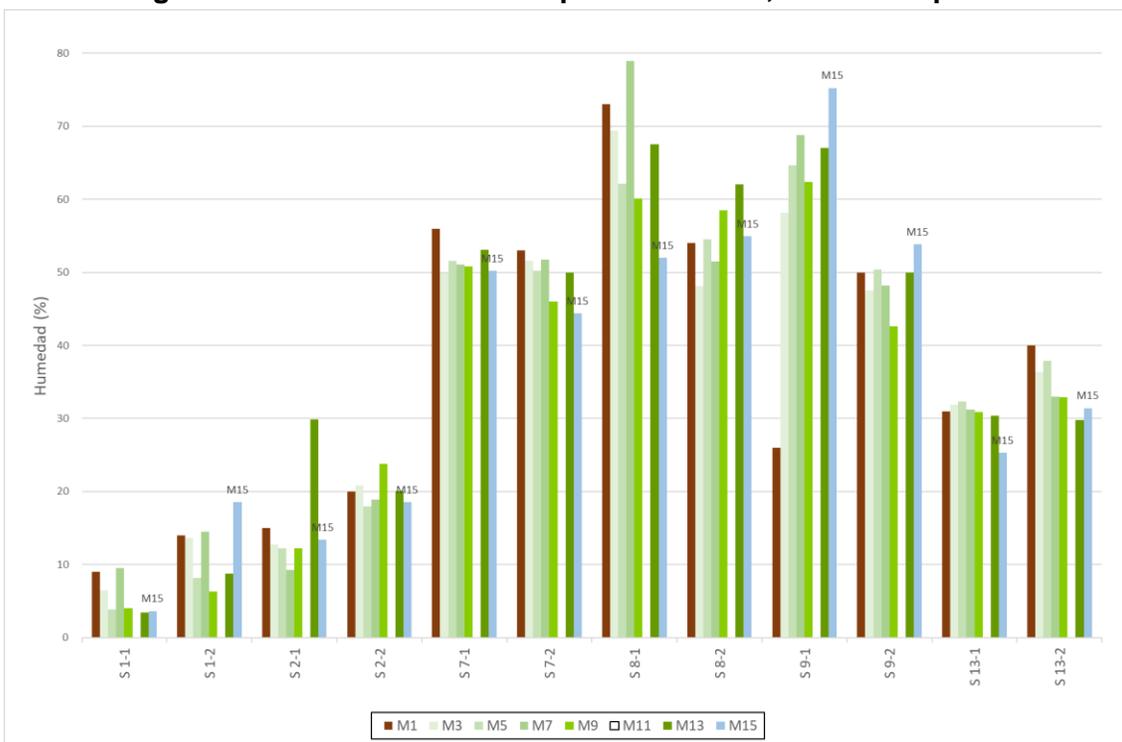
Se aprecia una gran variabilidad entre puntos, donde S 7, S 8, y S 9 presentan los mayores niveles de humedad dentro del sector de Tilopozo, sobre 50% en general, lo que coincide con la descripción de nivel freático y ubicación geográfica en sector de vegas. El punto S 13 se muestra en torno a 30% en la serie histórica de datos, lo que coincide con la presencia de nivel freático y vegetación en su entorno. En los puntos S 1 y S 2 presentan los menores niveles de humedad en el mismo sector, entre 10 a 20%, e incluso más bajos para S 1, lo que se asocia a su ubicación geográfica y ausencia de nivel freático.

Las texturas más gruesas y la ausencia de nivel freático explican el bajo contenido de humedad del punto S 1 y S 2. En los puntos S 7, S 8 y S 9, la presencia de nivel freático y texturas más finas explican razonablemente los porcentajes de humedad de los suelos, los que se corresponden con lo esperado para suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos con nivel freático presente.

El registro corresponde a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo.

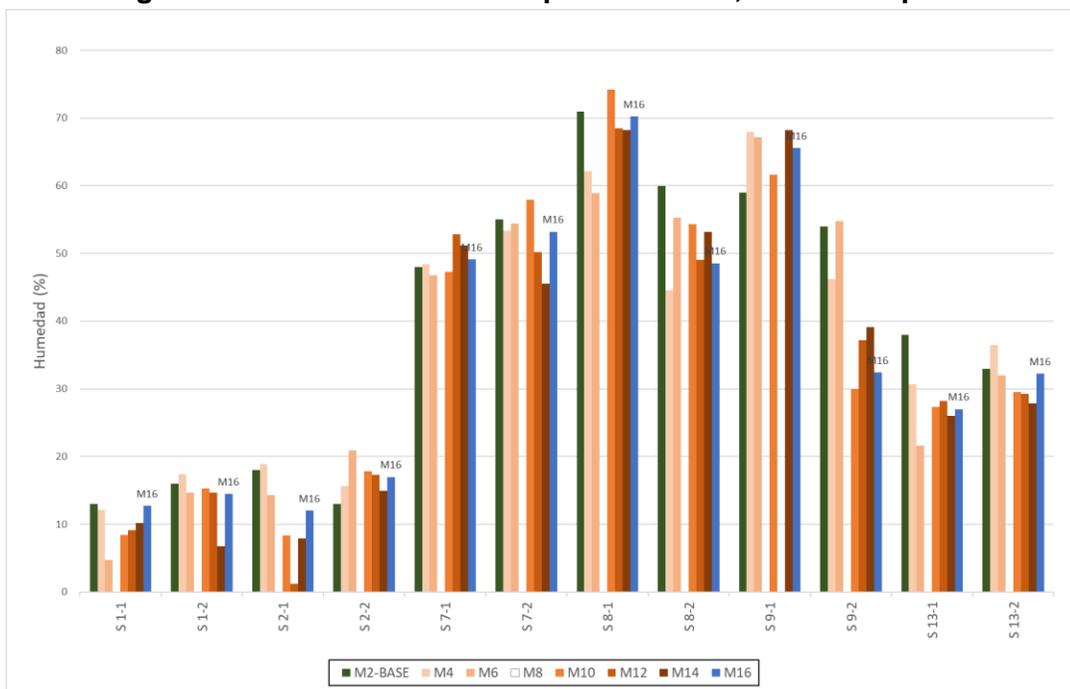
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-88. Humedad Campañas Invierno, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura N° 13-89. Humedad Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia.

Al momento de la toma de muestras de suelo en el sector de **Tilopocho**, se registró el **Nivel Freático**, tanto para el monitoreo de verano e invierno. El registro histórico se muestra en la **Figura N° 13-90** y **Figura N° 13-91** respectivamente.

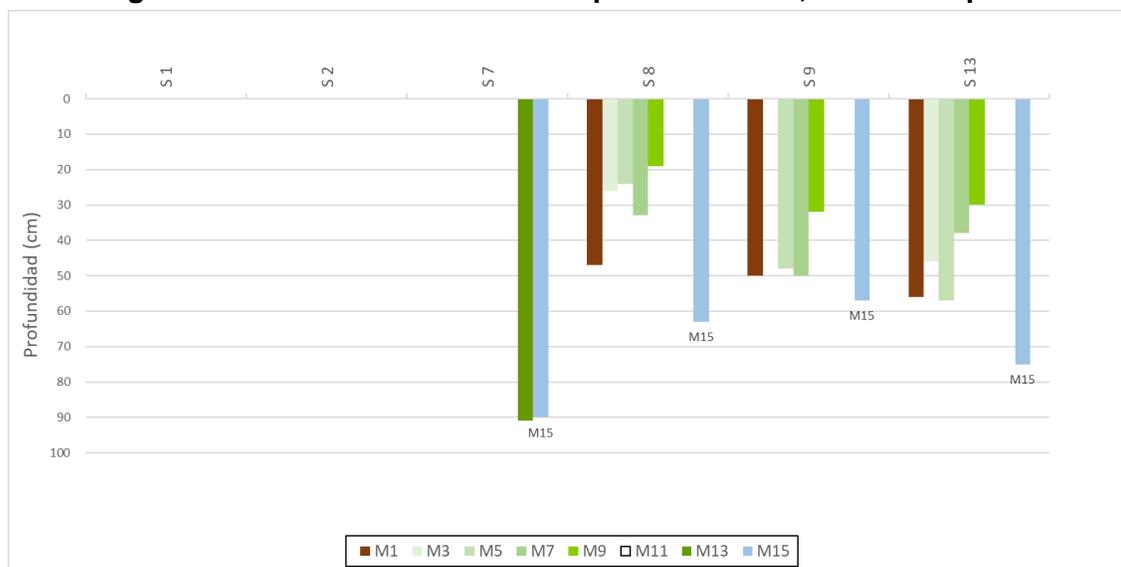
Los puntos S 7, S 8 y S 9 presentan un nivel freático similar a la tendencia de los valores usuales de los monitoreos de verano. El punto S 7 presenta nivel freático solo desde M13, luego no se registra en M14 y reaparece en M15 y M16. El punto S 13 presenta nivel freático de manera intermitente, reaparece en M15 y luego en M16 no se registra su presencia. La ausencia de registro debe interpretarse como nivel freático más profundo que la excavación realizada en terreno. Los puntos S 1 y S 2 no presentan nivel freático en la serie histórica de monitoreos, considerando para S 1 una profundidad de excavación de 80 cm (M15) y 88 cm (M16) y para S 2 hasta 84 cm (M15) y 109 cm (M16).

Los niveles freáticos registrados son los esperables para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato a humedales salinos. Los registros corresponden a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo.

La metodología utilizada para determinar niveles freáticos en el marco del monitoreo de suelos no forma parte del seguimiento comprometido ante la SMA. Los resultados de nivel freático en el marco del seguimiento del componente suelo, deben entenderse como información de carácter complementario, útil para la caracterización de los suelos.

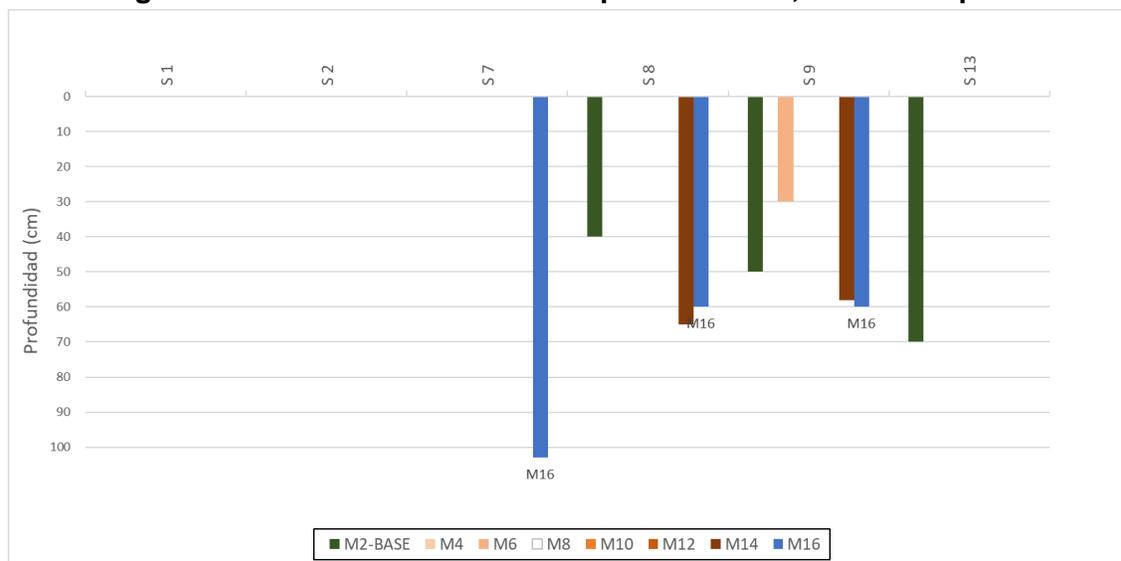
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

**Figura N° 13-90. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Tilopocho.**



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

**Figura N° 13-91. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

### 13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2023 como para el monitoreo de verano 2024, los parámetros físicos y químicos analizados en los sectores de estudio estuvieron en general dentro de los rangos determinados para estos sistemas según el marco de referencia de LB contemplado en el Plan de Manejo Biótico. Aun así, en algunos parámetros se observan valores fuera del rango de variación mínimo-máximo respecto a los registros recopilados en la Línea de Base de dicho PMB. Cabe mencionar que la calidad natural del agua superficial de la cuenca del Salar de Atacama, está fuertemente influenciada por la litología que es rica en sales y metales, la edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas y que en la cuenca se encuentran yacimientos de bórax, litio, sodio y potasio, lo que muestra que es muy rica en sales que intervienen en el aumento de la conductividad específica, cloruros y sulfatos (CADE-IDEPE Consultores, 2004).

Cabe destacar que, en la campaña de invierno 2023 y verano 2024, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9), laguna Saladita (SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible monitorearlas debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas, Actas y Programaciones**.

La **calidad de agua** en el sector La Punta y La Brava en ambas campañas, como es característico presentó en sus aguas una alta salinidad y conductividad (asociadas a las altas concentraciones de cloruro y sulfato), junto con un pH moderadamente alcalino. En laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 fueron las que presentan mayores conductividades

(>103.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) comparadas con el resto de las estaciones del sector. En la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la laguna La Brava, se registran los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos, en comparación con las otras estaciones del sector, en ambos monitoreos. Las temperaturas en laguna La Brava en general fueron altas, acorde con la baja profundidad del cuerpo de agua, registrándose los mayores valores en LB-2 y LB-3 (>30°C). Las concentraciones de oxígeno disuelto en el sector fueron principalmente bajas (<4 mg/L) acorde a las altas temperaturas de sus aguas, siendo la mayor registrada en LB-3 en verano 2024 (5,17 mg/L), lo que puede estar relacionado con la escorrentía en ese afluente que permite una mayor oxigenación del agua.

En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades altas también, pero menores que en La Brava. Las temperaturas fueron altas en esta laguna en invierno 2023 (>23 °C) y menores en verano 2024 (>17°C). Cabe mencionar que la clorofila “a”, presentó una variación en el sector de <0,02 a 2,17  $\mu\text{g}/\text{L}$ , con el mayor registro en LP-23 (La Punta) en verano 2024, lo que se relaciona con las actividades fotosintéticas particulares de cada estación. Según la Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas (DGA, 2016) este sector mostraría un sistema oligotrófico, a pesar de ser altos los valores de fósforo total y ortofosfato.

Para el sector Tilopozo, los valores obtenidos en el agua en invierno 2023 y verano 2024 muestran un sistema notablemente menos salino que La Punta y La Brava, lo que es esperable al ser una zona de vegas y pozas, registrándose valores menores de conductividad (entre 3.996 y 4.733  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y un pH neutro. Se observa que los resultados obtenidos en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 son similares en la mayoría de los parámetros de calidad de agua, exceptuando por el oxígeno disuelto que fue mayor en invierno 2023 (>3,32 mg/L) respecto al verano 2024 (<1,06 mg/L). Cabe destacar los valores de Clorofila "a" (9,43 y 3,58  $\mu\text{g}/\text{L}$  en TB-3) y Clorofila en Perifiton (58,94 mg cl-a/m<sup>2</sup> en TB-3 verano 2024). Tales valores podrían estar indicando algún grado de eutrofización, considerando además lo observado en terreno en veranos anteriores por la presencia de una abundante biomasa de macrófitas y una lama superficial de color amarillo en la poza de la estación TB-3. Según la Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas (DGA, 2016), sería un sistema de oligotrófico a mesotrófico, considerando los valores de fósforo total >0,1 mg/L y de clorofila “a” >3,5  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

Respecto a los resultados de la **calidad de sedimentos** descritos para las estaciones del sector La Punta y La Brava, en su mayoría se muestran por sobre del rango considerado como LB (2015), exceptuando por el Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, que en general estuvo dentro de los límites de la LB. Cabe mencionar lo acotado del registro de la LB que corresponde tan solo a una campaña realizada en verano de 2015. Tales valores de la LB deben tomarse solo como un registro puntual, considerando que los parámetros de calidad de sedimentos han mostrado durante los monitoreos del Plan de Manejo Biótico, valores habitualmente fuera de ese rango de la LB, evidenciando sedimentos ricos en fósforo, con

elevadas concentraciones de carbono orgánico y materia orgánica. En la campaña de verano 2024, el porcentaje de materia orgánica en todas las estaciones de La Punta – La Brava fue <10%, no así en la campaña anterior de invierno 2023 que en general fueron > 10%. Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en todas las estaciones se registraron valores negativos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones de reducción. En general, no se observó un gradiente o una tendencia clara de estos parámetros entre las estaciones del sector.

En relación con el análisis granulométrico (realizado en verano 2023), en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, respectivamente, correspondieron a *arena media* y *arena gruesa*, con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *arena media* y *arena gruesa*, con grados de selección en las estaciones de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado*. Los análisis granulométricos de la línea base (solo verano 2015 del PMB), indican que los tipos de grano medio para este sector estuvieron entre limo y arena muy gruesa con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*, el cual corresponde a un rango mayor de tamaño de grano medio a lo encontrado en este sector en verano 2024.

Para el sector Tilopozo, cabe señalar que no hay registros en la LB de calidad de sedimentos. En las estaciones de este sector (TB-1, TB-2 y TB-3) las concentraciones de COT y porcentaje de materia orgánica de sus sedimentos fueron mayores a los encontrados en el sector de La Punta y La Brava, a pesar de ser aguas con menor cantidad de sales. Los valores de nitrógeno total Kjeldahl también tendieron a ser elevados (> 1,9 g/Kg), al igual que las concentraciones de fósforo total (máximo 1.600 mg/Kg), los cuales fueron en general mayores a los encontrados en el sistema La Punta y La Brava. Los resultados granulométricos para el sector Tilopozo (verano 2024), muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondió a *arena fina* y a *arena media*, con grados de selección de *Pobremente seleccionado* a *Muy pobremente seleccionado*.

En términos generales, los valores registrados en los sectores del sistema corresponden a ambientes acuáticos alcalinos, con altas concentraciones de sales (para el caso de las lagunas más cercanas al núcleo del salar) y en general un sedimento con materia orgánica recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica. Los altos contenidos de fósforo pueden deberse a la misma razón, sumado a la capacidad particular de los sedimentos para retener el fósforo, cuyos valores más altos fueron registrados en las pozas de Tilopozo.

Para el caso de las comunidades biológicas, en general, mostraron valores dentro de los registros esperados de acuerdo con los estudios previos.

Las comunidades de microalgas, *fitobentos* y *fitoplancton*, en general presentaron valores de riqueza de géneros y abundancia dentro de los registros históricos de las campañas invierno

y verano de la línea de base contemplada en el Plan de Manejo Biótico. Cabe señalar que, la abundancia ha presentado en el tiempo una disminución de los registros para ambos subcomponentes en todos los sistemas, sin embargo, en el sector La Punta y La Brava, para fitobentos en la campaña invierno 2023 y verano 2024, se observó un incremento en las abundancias, con registros por sobre el valor máximo de la línea de base.

Para los invertebrados, zoobentos y zooplancton, en invierno 2023 y verano 2024, los valores de riqueza se encuentran dentro del rango determinado por la LB. En el caso del zooplancton en general las abundancias son bajas y son representados por unos pocos *taxa*, como el copépodo *Boeckella poopuensis* encontrado en laguna La Punta, el branquiópodo *Artemia franciscana* junto con copépodos *Tigriopus* sp. encontrados en laguna La Brava y el gasterópodo *Heleobia atacamensis* siendo el mayoritario en Vegas de Tilopozo. Respecto al zoobentos, sus riquezas de *taxa* fueron bajas y los organismos más representativos en el sector La Punta y La Brava fueron los ostrácodos Cypridae y los gasterópodos *Heleobia* sp., mientras que en las pozas de Tilopozo los organismos con las mayores abundancias fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, alcanzando altas abundancias en sus tres estaciones. Cabe mencionar que la especie *Heleobia atacamensis* (caracol de la Familia Cochliopidae) ha sido registrada históricamente como la única en el sector Tilopozo y es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA).

Las plantas vasculares acuáticas (macrófitas) registradas corresponden a *taxa* detectados en los estudios previos, y que no están clasificados en alguna categoría de conservación. En esta componente, se destaca la diferencia que presentaron las estaciones de la vega de Tilopozo respecto de las estaciones de La Punta y La Brava. En relación con las lagunas fue detectado el género *Ruppia*, taxón típico de ambientes salobres e hidrófito y las helófitas también de ambientes salobres *Sarcocornia fruticosa*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*.

En tanto, en las vegas se observaron especies de ambientes dulces a salobres como *Zannichellia palustris*, *Juncus balticus*, *Baccharis linearis*, *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*. En el contexto del monitoreo, las plantas vasculares acuáticas se mantuvieron más bien estables en el tiempo en cuanto a riqueza y abundancias. Cabe destacar que, las plantas vasculares acuáticas reportadas en los sectores estudiados (La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo), correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria.

Si bien, este estudio no contempló la evaluación de fauna íctica, ésta fue registrada por observación directa solamente en el Sector Tilopozo, en las estaciones TB-1 y TB-3 durante invierno y verano. Cabe señalar que no se realizó capturas de individuos, ni se efectuó pesca eléctrica, en ninguna de las estaciones de monitoreo.

Las observaciones corresponden a individuos del género *Gambusia*, un pequeño pez originario del hemisferio norte que ha sido introducido en distintos lugares del planeta con el

fin de ayudar en el control de mosquitos o zancudos que son vectores de enfermedades. No tiene algún grado de amenaza a su conservación de acuerdo con la legislación vigente.

### **13.5.1 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)**

#### **13.5.1.1 Calidad de agua**

Para el análisis de la calidad de agua de todos los monitoreos de invierno y verano, se consideró la comparación de los parámetros más preponderantes de los sistemas acuáticos salinos, con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la LB contemplados en el Plan de Manejo Biótico para las estaciones de invierno y verano. Para ello se utilizó la data de Línea Base de los periodos de invierno 2008, 2013 y 2014 y verano 2014 y 2015, del sector La Punta y La Brava y el Sector Peine. Estos datos fueron contrastados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo de invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 y los monitoreos de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024 excepto por el verano 2020, que no se realizó producto de la pandemia COVID-19.

Los registros obtenidos en las lagunas de **La Punta y La Brava**, durante todos los monitoreos de invierno y verano, han mostrado un sistema de lagunas caracterizado por aguas de alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 144.744 mg/L en La Punta (LP-24) en verano 2019 y un mínimo de 7.788 mg/L en LP-23 durante el invierno 2018. Se han observado mayores valores en conductividad y salinidad en las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava, respecto a las estaciones de laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y LB-3 de La Brava, registrándose un mínimo histórico de 25.770  $\mu\text{S/cm}$  en conductividad en LB-3 en verano 2024 y un máximo de 165.100  $\mu\text{S/cm}$  en La Brava (LB-2) en verano 2019. Respecto a la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se registraron menores valores para estos parámetros, sin embargo, se evidencia un incremento desde invierno 2018 al 2020, para disminuir nuevamente a partir de invierno 2021. En esta estación se han registrado valores entre 26.410  $\mu\text{S/cm}$  (invierno 2022) y 69.960  $\mu\text{S/cm}$  (invierno 2020).

Observando la evolución en el tiempo en este sector de La Punta y La Brava, se distinguen las estaciones LB-1 y LB-2 con comportamiento distinto a los demás puntos del sector, con mayores fluctuaciones entre inviernos, donde se alcanzaron los mayores valores en conductividad eléctrica y concentraciones de cloruro y sulfato del sector durante el invierno 2019 y el último invierno 2023, registrándose los valores menores de estos parámetros principalmente en invierno 2020 e invierno 2022. Por su parte, en la estación LB-3 ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se registraron durante los inviernos valores menores para estos parámetros, sin embargo, se evidencia un incremento desde invierno 2018 al 2020, para disminuir nuevamente en invierno 2021 y mantenerse con baja variación en invierno 2022 y 2023. En laguna La Punta (estaciones LP-23 y LP-24), se

observaron en invierno 2018 los menores valores para estos parámetros, los máximos en invierno 2019 y 2020, luego disminuir paulatinamente hasta invierno 2022 y aumentar nuevamente en invierno 2023 (**Figura N° 13-92 A**). Respecto a los veranos, se obtuvo un incremento de conductividad, cloruro y sulfato en verano 2019 respecto a los veranos 2017 y 2018 (en algunos casos por sobre la LB), para luego disminuir en verano 2021 y posteriormente mostrar un rango de variación menor en 2022, 2023 y 2024, observándose en las últimas campañas valores dentro del rango de la LB, exceptuando en LB-2 que en verano 2024 los parámetros de sulfato y cloruro sobrepasaron ese rango (**Figura N° 13-92 B**).

Tales fluctuaciones pueden ser atribuibles a la dinámica hidrogeológica de la zona marginal del Salar de Atacama. La disolución de sales en el agua infiltrada que luego aflora en las lagunas salinas es modulada tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar. Según los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto para los inviernos como veranos, esta agua se clasifica como hipersalina (>40 g/L) según el sistema de Venecia de 1959 (Ribera, 2016), lo que está en concordancia con los estudios de Farías *et al.* (2014) y Fernandez *et al.* (2016), quienes especifican que las condiciones ambientales dadas en la laguna La Brava se caracterizan por (1) una alta radiación solar debido a una menor presión barométrica a gran altura, (2) fluctuaciones extremas de la temperatura, típica de los ambientes desérticos, (3) cambios extremos en la salinidad debido a la evaporación neta que produce agua hipersalina y (4) altas concentraciones de litio, boro y arsénico.

En un contexto geoquímico, cabe señalar que el Salar de Atacama comprende dos unidades principales en su territorio: un núcleo y una zona marginal. El núcleo (1.100 km<sup>2</sup> y 900 m de espesor) consiste en un haluro poroso (90%) impregnado con una salmuera de cloruro de sodio rica en litio, potasio, magnesio y boro, la cual ocupa los intersticios del haluro. La zona marginal del Salar que rodea el núcleo consiste en sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996). En el caso de la laguna La Brava se encuentra ubicada en la zona marginal (Farías *et al.*, 2014), al igual que laguna La Punta y las lagunas Salada, Saladita e Interna del sistema de Peine. Esto concuerda con las altas concentraciones de sulfato encontradas en ambos sistemas. Cabe mencionar que las mayores conductividades, salinidades y concentraciones de sulfato, se registraron en las estaciones más cercanas al núcleo del salar (La Brava e Interna), en concordancia con lo descrito anteriormente.

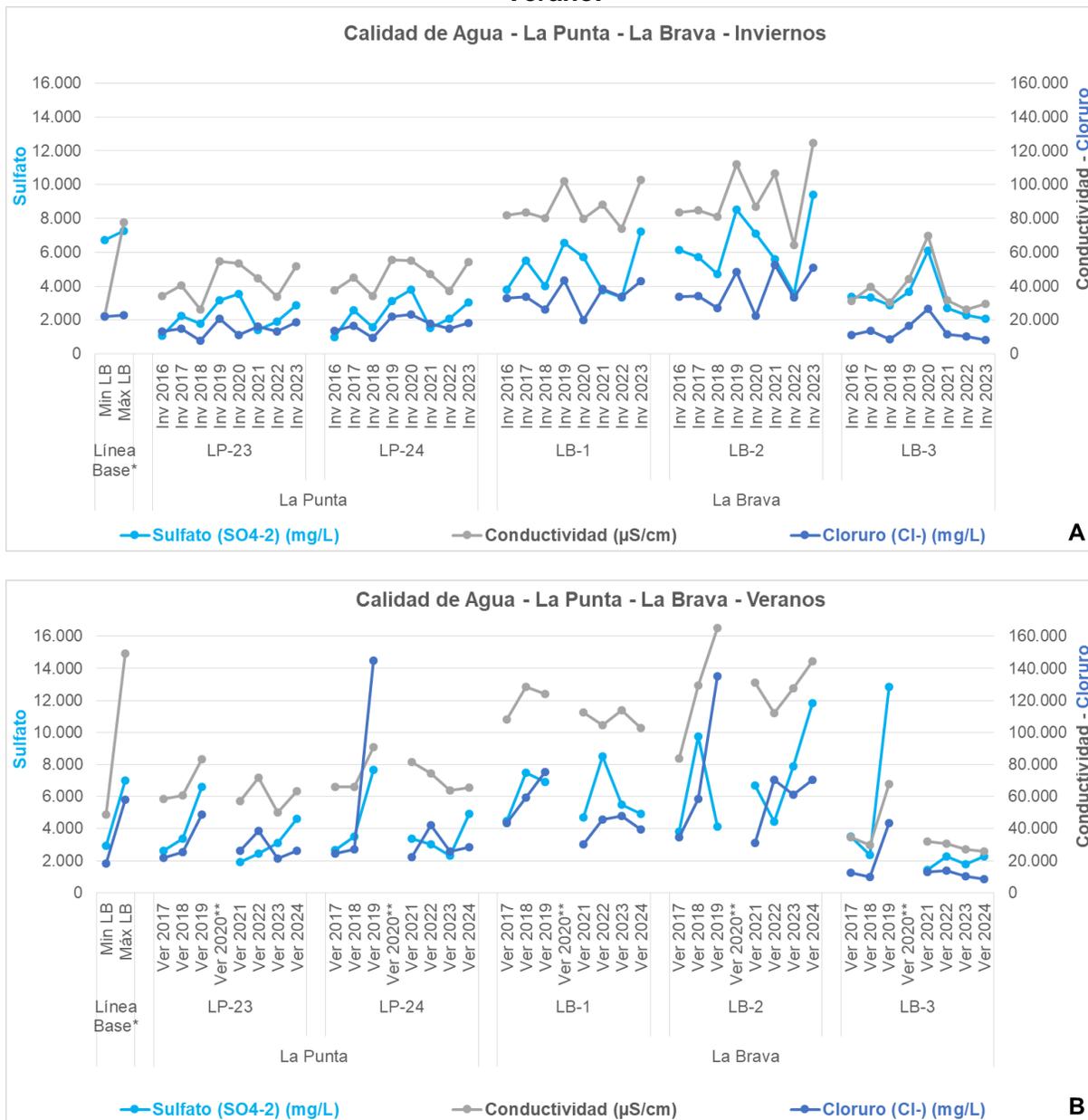
Las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores moderadamente alcalinos de pH para la gran mayoría de los puntos de monitoreo en verano e invierno, mostrando por lo general valores sobre 8, en concordancia con los altos valores de alcalinidad total, parámetro que a su vez varía según los aportes y equilibrio entre el bicarbonato y los carbonatos, registrándose los valores más altos de pH en invierno 2022 y los veranos de 2018, 2022 y 2024, tanto en laguna La Punta como en laguna la Brava. Respecto a los parámetros de bicarbonato y carbonatos, el PMB solo cuenta con valores de LB de una sola campaña (2015), por lo tanto,

las desviaciones respecto a estos registros podrían deberse a variaciones que ocurren de forma natural (**Figura N° 13-93**).

La temperatura del agua en este sector mostró una importante variabilidad, observándose un incremento en todas las estaciones desde el invierno 2016 al 2021, para bajar en invierno 2022 y luego aumentar nuevamente de manera considerable en todas las estaciones en invierno 2023 (máximo de 32,36 °C en LB-2 en invierno 2023), observándose también en todos los inviernos mayores temperaturas en laguna La Brava, respecto de La Punta (**Figura N° 13-94 A**). Respecto a los veranos, en laguna La Punta las mayores temperaturas registradas fueron en los veranos 2017, 2019, 2021 y 2023, mientras que las menores ocurrieron en verano 2018. En laguna La Brava, las mayores temperaturas ocurrieron en los veranos 2017 y 2024, observándose una alta variabilidad entre campañas (**Figura N° 13-94 B**).

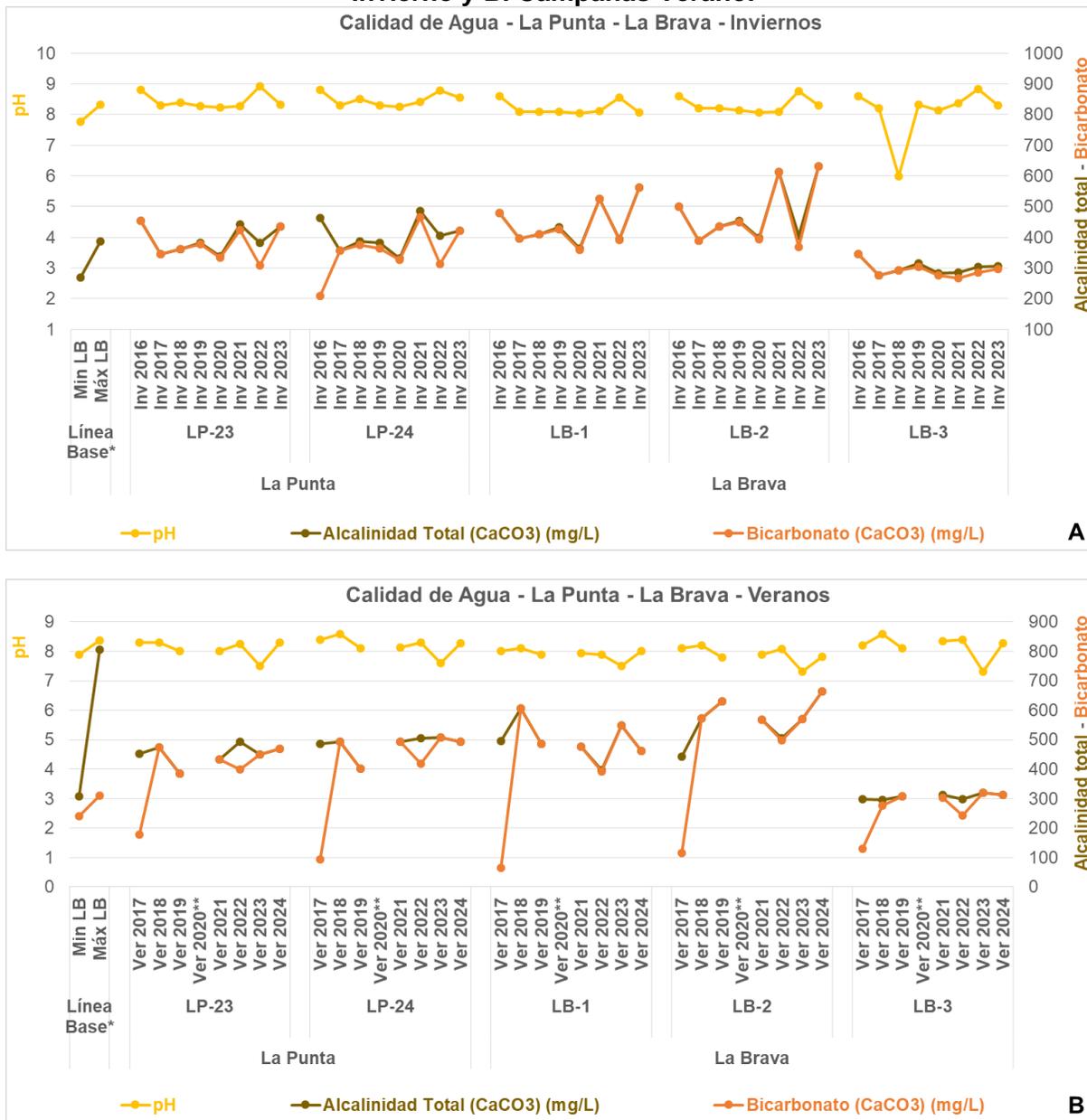
Respecto al oxígeno disuelto en los inviernos, este mostró en el sector concentraciones bajas, principalmente entre 2 y 5 mg/L (bajo el mínimo de la LB), exceptuando en invierno 2022 que se incrementó con valores por sobre los 5 mg/L en la mayoría de las estaciones. En la estación LB-3 en los inviernos de 2016, 2018 y 2021, se sobrepasaron los 8 mg/L de oxígeno disuelto. (**Figura N° 13-94 A**). En las campañas de verano, el oxígeno disuelto presentó concentraciones bajas, exceptuando por LB-3 en los veranos 2021, 2022, 2023 y 2024 (con valores >5 mg/L) y en LP-23 en verano 2017, con un valor muy superior a los otros veranos (incluso mayor que LB). Los valores más bajos de oxígeno disuelto ocurrieron en La Brava (LB-1 y LB-2) en los veranos 2017, 2018, 2023 y 2024, estando incluso bajo el mínimo establecido en la línea base (>2 mg/L) (**Figura N° 13-94 B**). Las concentraciones de clorofila “a” en este sistema fueron en general bajas (principalmente en La Punta), tanto en invierno como en verano, lo que se puede relacionar con una baja actividad fotosintética o productividad primaria microalgal (**Figura N° 13-94**).

**Figura N° 13-92. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



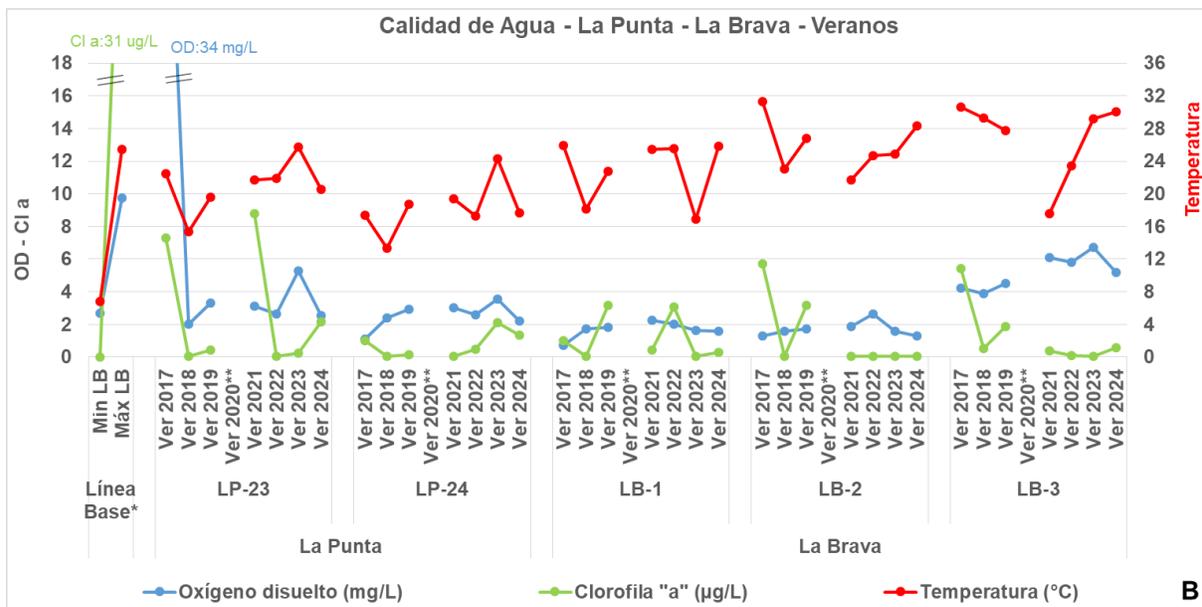
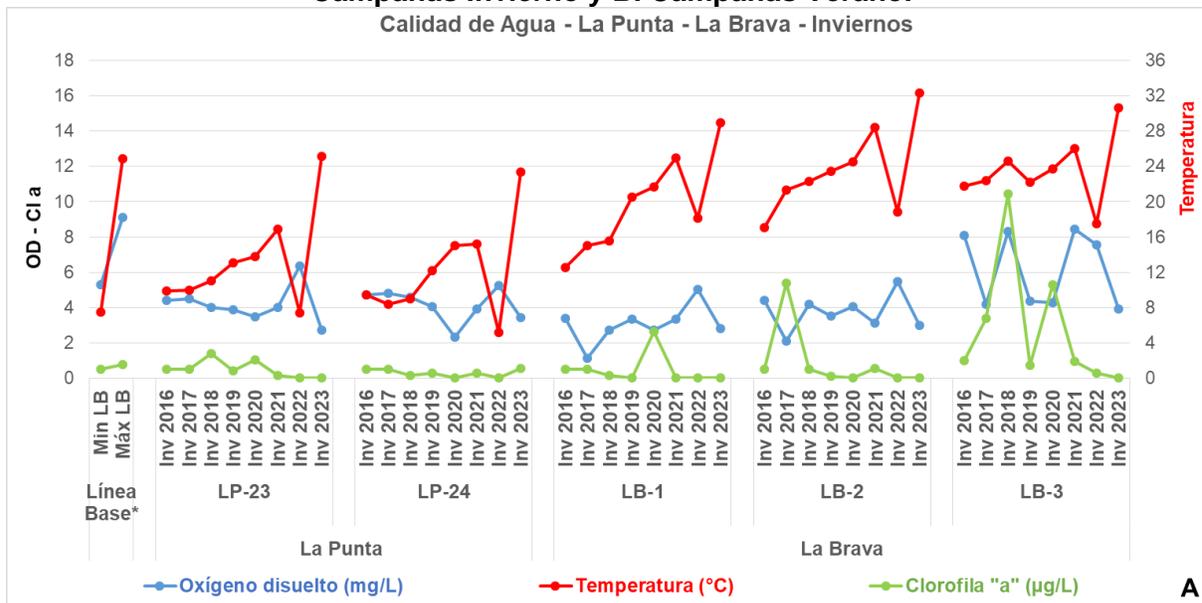
Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

**Figura N° 13-93. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

**Figura N° 13-94. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila “a” en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



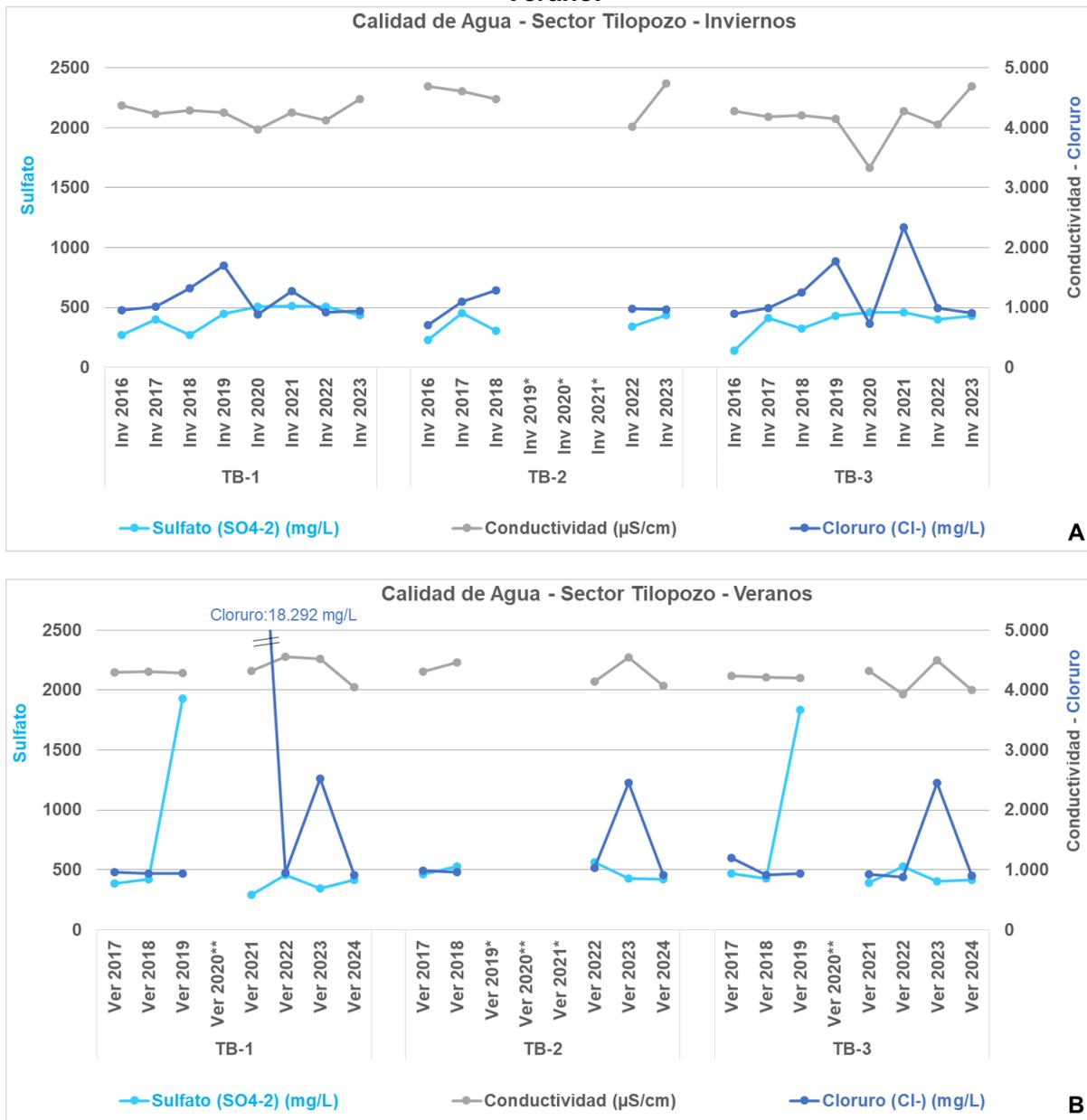
Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo**, muestran un sistema con menor conductividad (entre 3.336 y 4.733  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad (2 a 3 gr/Kg), sulfato (139 a 1926 mg/L) en comparación con los otros sectores de estudio, condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. El parámetro de cloruro se ha mantenido con valores  $<2600$  mg/L para en este sector, sin embargo, en la estación TB-1 en el verano de 2021 se registró una concentración de 18.292 mg/L, la cual no se condice con los valores bajos de salinidad y conductividad. Tal valor responde a un registro puntual, que no representa las condiciones de este sector, considerando los parámetros más conservativos como la conductividad (**Figura N° 13-95**). Se ha registrado un pH de neutro a moderadamente alcalino (6,34 a 9), con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 274 y 413 mg/L. Respecto a los parámetros mencionados para este sector, no se observaron importantes variaciones o diferencias entre las campañas de invierno y verano (**Figura N° 13-96**). Cabe mencionar que en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial y que la campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Las temperaturas en general fueron altas y cercanas a 25°C para TB-1 y TB-3, tanto en verano como en invierno, pero en el caso de TB-2 tuvo un registro más variable, entre 6,7°C en invierno 2018 y sobre los 25,9°C en invierno 2022 (**Figura N° 13-97**). Si bien las estaciones del sector Tilopozo se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares de los parámetros entre las estaciones TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación con la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con que las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de  $<2$  m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad.

Ahora bien, en verano 2018 la clorofila “a” en fitoplancton alcanzó un valor máximo de 182,84  $\mu\text{g}/\text{L}$ , este valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector (**Figura N° 13-97**), el cual correspondería a una condición de eutrofia (Smith et al. 1999 y Dods et al. 1998). Respecto de todas las estaciones de Tilopozo, según los valores registrados para Clorofila-a en Perifiton podrían estar indicando algún grado de eutrofización en estas pozas, según Smith et al. 1999 y Dods et al. 1998. Considerando que el sistema presenta una condición de oligotrofia, según los valores de nitrógeno total  $<700$  mg/L y fósforo total  $<25$  mg/L y de meso a eutrofia según los valores de clorofila-a perifiton  $>70$  mg/m<sup>2</sup> detectados para este estudio (Smith et al. 1999; Dods et al. 1998), además de lo observado en las campañas de terreno por la presencia de una abundante biomasa de macrófitas y de lamas microalgales superficiales de color amarillo sobre ellas.

**Figura N° 13-95. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



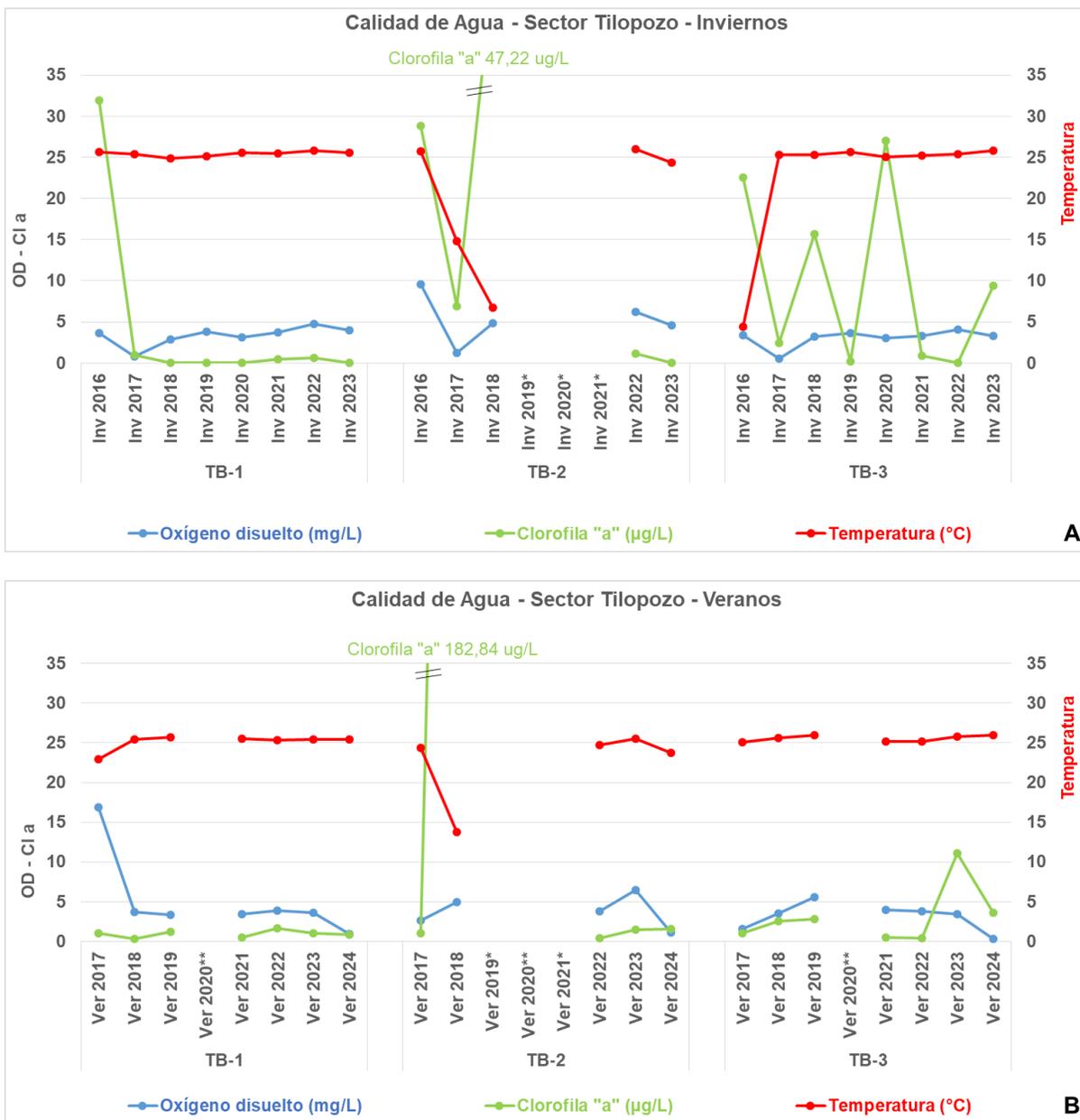
Fuente: Elaboración propia. (\*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

**Figura N° 13-96. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

**Figura N° 13-97. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila "a" en el Sector Vegas de Tilopozo. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

El sistema de lagunas del **Sector de Peine** se caracteriza por presentar en sus aguas una alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, observándose una tendencia a aumentar su concentración de sales desde laguna Salada hacia laguna Interna, tanto en invierno como en verano (**Figura N° 13-98 A y B**). Los registros de calidad de agua para los inviernos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 en este sector, mostraron que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruros tuvieron valores por sobre el máximo registrado en la LB en los inviernos 2017 y 2019 en la estación S-5, durante los inviernos 2017, 2019 y 2021 en las estaciones SA-25, S-10 e I-11, mientras que en la estación I-17 ocurrió en los inviernos 2016, 2017, 2019 y 2021, observándose también que la mayoría de los registros de los inviernos 2016, 2018 y 2022, los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro se encontraron dentro del rango de la línea de base.

En la campaña de invierno 2020 se registró la menor Conductividad para los monitoreos de invierno en este sector, sin embargo, los valores de Salinidad y concentración de Cloruro fueron menores en invierno 2018. Respecto al sulfato, este se ha mantenido bajo el límite máximo de la LB, exceptuando en los inviernos 2019 y 2020 en la estación I-17 (**Figura N° 13-98 A**). Estas variaciones están dadas por la dinámica hidrogeológica de la zona marginal del Salar de Atacama. La disolución de sales en el agua infiltrada que luego aflora en las lagunas salinas es modulada tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar. Cabe mencionar que los valores reportados son propios de lagunas salinas e hipersalinas (Alonso y Risacher 1996; Ribera, 2016) y la gran mayoría de estos valores son menores a los reportados durante las campañas de verano.

Los registros de parámetros de calidad de agua en el **Sector de Peine** para los veranos de 2017, 2018, 2019 y 2022, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (Plan de Manejo Biótico). Sin embargo, en la estación I-17 (Laguna Interna), se registraron durante el verano 2017 y 2019 valores altos de salinidad (superiores a línea base). En esta misma estación, se observaron en verano 2019 los valores más altos de conductividad y de cloruros en los monitoreos de verano realizados. Cabe mencionar que en verano 2022 los valores de estos parámetros volvieron a encontrarse dentro de los límites de la línea base. Los registros de sulfato se mantienen estables para todos los monitoreos y dentro de los rangos de línea base.

Este sistema de lagunas se caracteriza por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad eléctrica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, que muestran la misma tendencia de incrementarse hacia laguna Interna, acordes con el tipo de sedimentos de esta zona, ricos en sulfatos y yeso, dado por la cercanía de las lagunas al núcleo del salar (**Figura N° 13-98 B**). Según el Sistema de Venecia de 1959 (*The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity*) (Ribera, 2016), el agua del sistema de Peine se encuentra entre aguas mesohalinas a hipersalinas para el periodo estudiado.

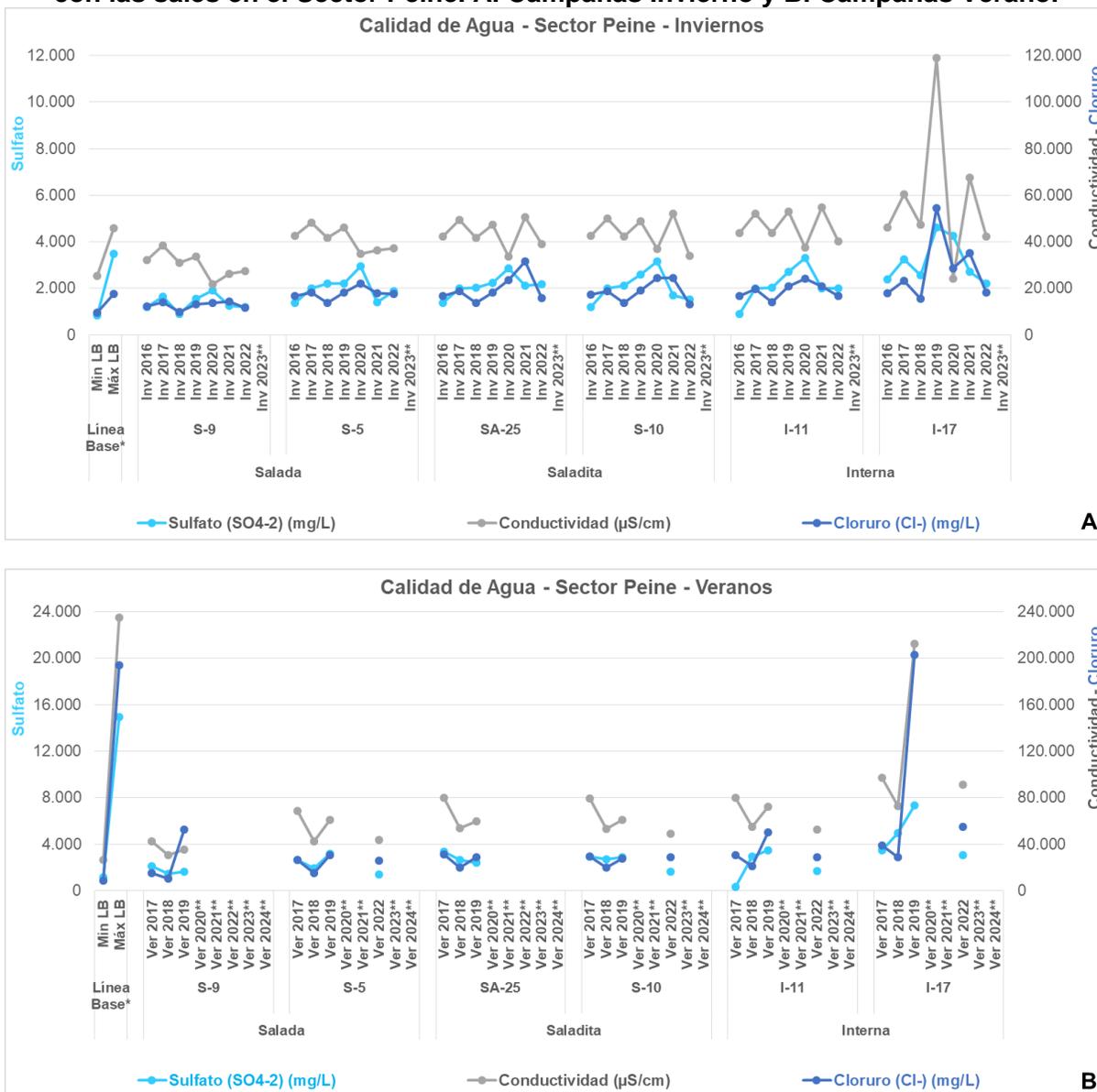
Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentan un pH moderadamente alcalino a alcalino en todas las campañas de verano e invierno, con valores principalmente entre 8 y 9 en todos los registros (con un máximo en verano 2018), esto en concordancia con los altos valores alcalinidad total registrados (menores al límite inferior de la LB), observándose para este parámetro una tendencia espacial a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, con sus máximos registros en invierno 2016 y 2021.

Se observa una concordancia entre los registros de alcalinidad total y bicarbonato en todas las estaciones desde el invierno 2017 al 2021, exceptuando en invierno 2016 donde las concentraciones de bicarbonatos son bajas para la alcalinidad total registrada, no obstante, tal alcalinidad estuvo dada por las mayores concentraciones de carbonatos registradas en esa campaña. En las campañas de verano, los valores más altos de alcalinidad total estuvieron dados en verano 2017 por la mayor concentración de carbonatos respecto de los bicarbonatos, mientras que en verano 2018, 2019 y 2022, fueron mayores las concentraciones de bicarbonatos respecto de los carbonatos (**Figura N° 13-99**).

Las altas temperaturas en este sistema están relacionadas con la baja profundidad que presentan sus cuerpos de agua, observándose en el verano 2017 en la estación S-9, la más alta registrada para este sector, sin sobrepasar el máximo de la LB. La temperatura fue variable durante todos los periodos de invierno, pero se mantuvo en general dentro de los límites de la LB y variación histórica, observándose los mayores registros para las estaciones S-9, S-5 y SA-25 en invierno 2019, para S-10 e I-11 en invierno 2021 y para I-17 en invierno 2018 y 2020. En todos los puntos desde S-5 a I-11 se observa que invierno 2022 respecto a los inviernos previos, la temperatura vuelve a bajar siendo similar a años anteriores.

Respecto al oxígeno disuelto, sus concentraciones están en su mayoría dentro de los valores de LB para todos los inviernos y veranos, observándose una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, lo cual se puede relacionar con las altas salinidades y temperaturas registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones de clorofila “a” en general fueron bajas y variables, las cuales se relacionan con la actividad fotosintética particular de cada laguna, ya que es una medida indirecta de la productividad primaria. De los datos de inviernos en el sector Peine no se observan tendencias claras, ya que los valores han sido variables y volviendo a concentraciones similares a las observadas en años anteriores (dentro del rango histórico) (**Figura N° 13-100**).

**Figura N° 13-98. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



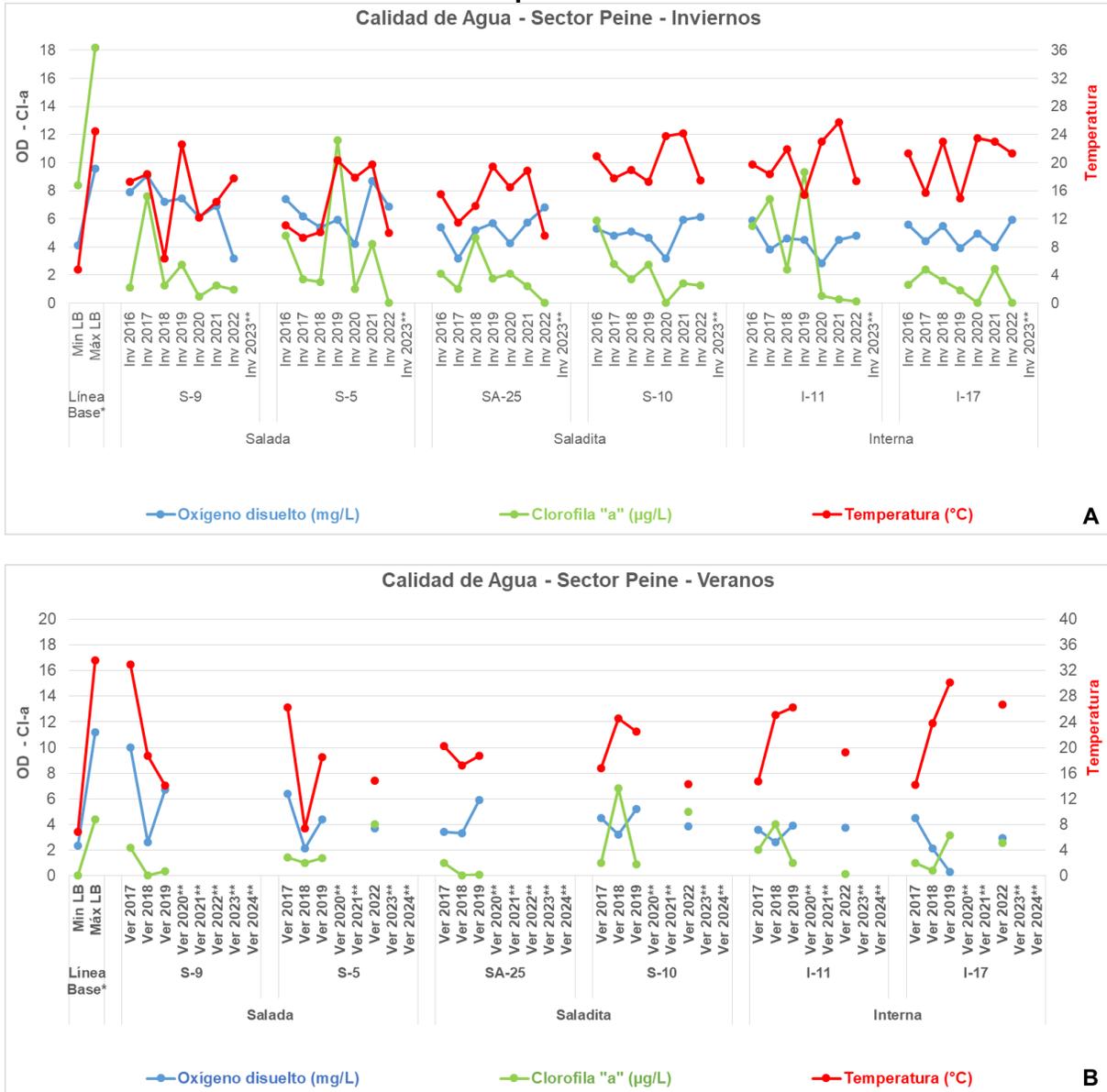
Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

**Figura N° 13-99. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

**Figura N° 13-100. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila "a" en el Sector Peine. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

### 13.5.1.2 Calidad de sedimentos

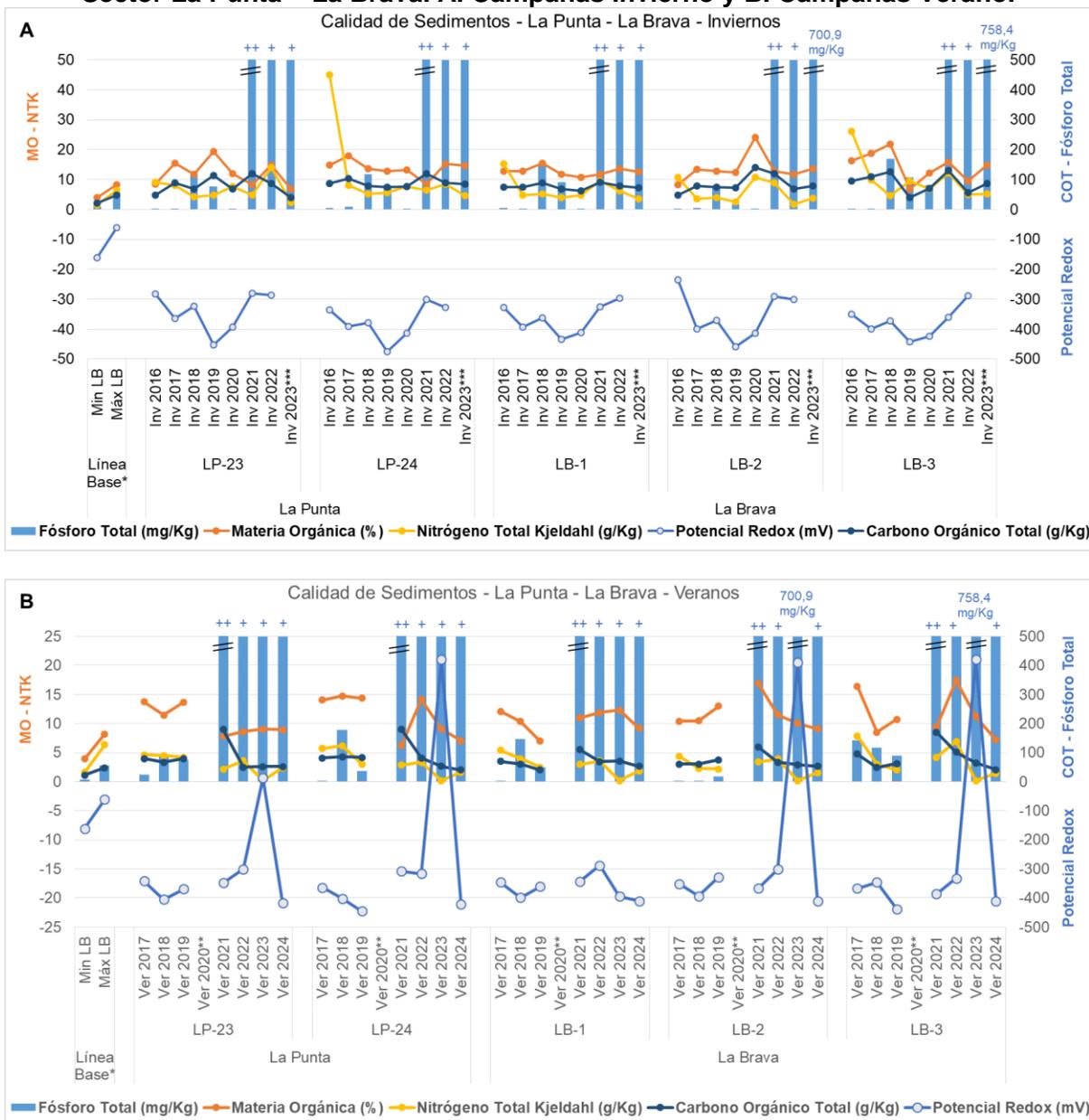
Es importante destacar, que en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en verano de 2015 para la elaboración de la LB, por lo que los desvíos con respecto a dichos datos pueden deberse a la variación natural de los sistemas.

Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica (MO) y fósforo total, muestran en general valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB), no observándose una tendencia clara a aumentar o disminuir los valores de estos parámetros, tanto temporal como espacialmente. En el caso del carbono orgánico total (COT) (entre 39,21 y 140,14 g/kg) y materia orgánica (entre 6,32 y 24,16%) tienen un comportamiento similar y en general presentaron altos valores (por sobre la LB de verano), siendo más variables estos parámetros en las estaciones de laguna La Brava durante las campañas de verano (**Figura N° 13-101**). Tales características del sedimento se relacionan con la actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halofílicos.

Cabe mencionar que los registros de fósforo total en las campañas 2021 todos fueron <1000 mg/Kg (límite de detección) y a partir de la campaña verano 2022 todos los registros correspondieron a <500 mg/Kg (límite de detección actual). En el caso del Nitrógeno Total Kjeldahl (g/Kg), este se encontró en las campañas de verano dentro de los límites de la LB de referencia y en las campañas de invierno se registró con mayor variación y generalmente por sobre los límites de la LB (**Figura N° 13-101**).

El potencial redox en todas las estaciones presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos de invierno (entre -475,1 y -235,7 mV), registrándose valores más negativos durante el monitoreo de invierno 2019, lo cual se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos. En verano, el potencial redox en la mayoría de las estaciones y monitoreos presentó características reductoras con valores negativos, exceptuando en la campaña de verano 2023 donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas (**Figura N° 13-101**). Cabe mencionar que en general los parámetros de calidad de sedimentos registrados han mostrado mayoritariamente valores fuera del rango de la línea base desde la primera medición del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden con ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota, con altas concentraciones de sales y con materia orgánica en su sedimento recalcitrante a su degradación.

**Figura N° 13-101. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) Registro de Línea Base solo en verano 2015. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1000 mg/kg (++) y desde invierno 2022 en adelante de 500 mg/kg (+), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. (\*\*\*) En invierno 2023 no se incluye en la entrega de resultados el parámetro potencial óxido-reducción (explicado en la Carta R06/2024 de la ETFA)

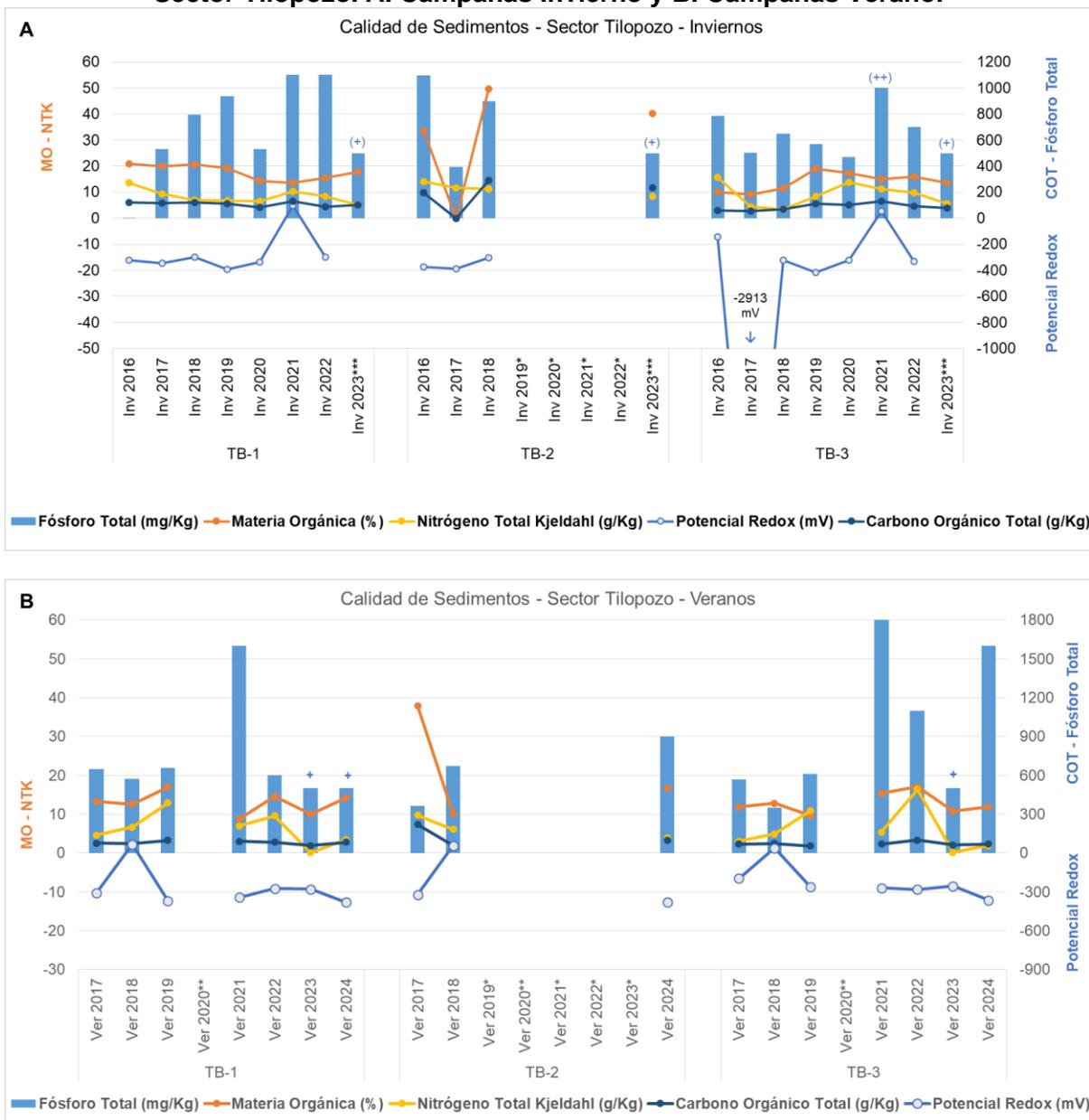
El sector de **Tilopozo** no posee registros en la LB respecto del componente calidad de sedimentos, por lo que se analiza su variación en el tiempo con los registros de los monitoreos de invierno y verano. En las estaciones de este sector, se registraron por lo general elevados valores para los parámetros de carbono orgánico total (de 53,3 hasta 288,5 g/kg) y materia orgánica (entre 8,76% y 49,74%) y altos valores en fósforo total (mayoritariamente entre 392 y 1800 mg/Kg). Por su parte el potencial óxido-reducción presentó valores negativos indicando características reductoras de los sedimentos en la mayoría de los monitoreos de invierno y verano, exceptuando en invierno 2021 y verano 2018 donde se registraron valores positivos (indicativo que se favorecen reacciones oxidativas). Esto puede estar relacionado con la ubicación del sector de Tilopozo respecto al núcleo del Salar permitiendo condiciones menos sulfatadas en los sedimentos y más oxidativas.

Cabe mencionar, que los registros de carbono orgánico total y materia orgánica tuvieron mayor variabilidad en TB-2, lo cual se relaciona con que esa estación se ubica en una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual ha variado su condición hídrica (en las campañas de invierno de 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021 se encontró sin agua superficial). Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de <2 m de profundidad, respectivamente, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos. En estas pozas, se registraron altos valores en fósforo total en invierno (la gran mayoría sobre los 392 mg/kg), exceptuando en TB-1 en invierno 2016 con un valor bajo el límite de detección, mientras que las concentraciones más altas de fósforo se registraron en verano 2021 (1800 mg/kg), para luego disminuir en verano 2022 y 2023, y aumentar nuevamente a 1600 mg/kg en verano 2024.

Las concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldahl han sido variables principalmente en verano, alcanzando un máximo de 16,38 g/Kg en TB-3 en verano 2022 y un mínimo de 0,13 g/Kg en TB-1 en verano 2023, observándose tanto en la estación TB-1 como en TB-3 un incremento de los valores desde verano 2017 al 2019, descender en 2021 para incrementarse nuevamente en 2022, luego descender al mínimo en 2023 y finalmente incrementarse levemente en 2024 (**Figura N° 13-102**).

Respecto a la granulometría, para los inviernos 2017, 2018 y 2021 se tiene registros, los cuales para este sector se encontraron mayoritariamente diámetros medios de *Arena Muy Fina* a *Grava Muy Fina*, con un grado de selección de Muy pobremente seleccionado a Bien seleccionado (Ver en Informes Semestrales N°3, N°5 y N°11).

**Figura N° 13-102. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



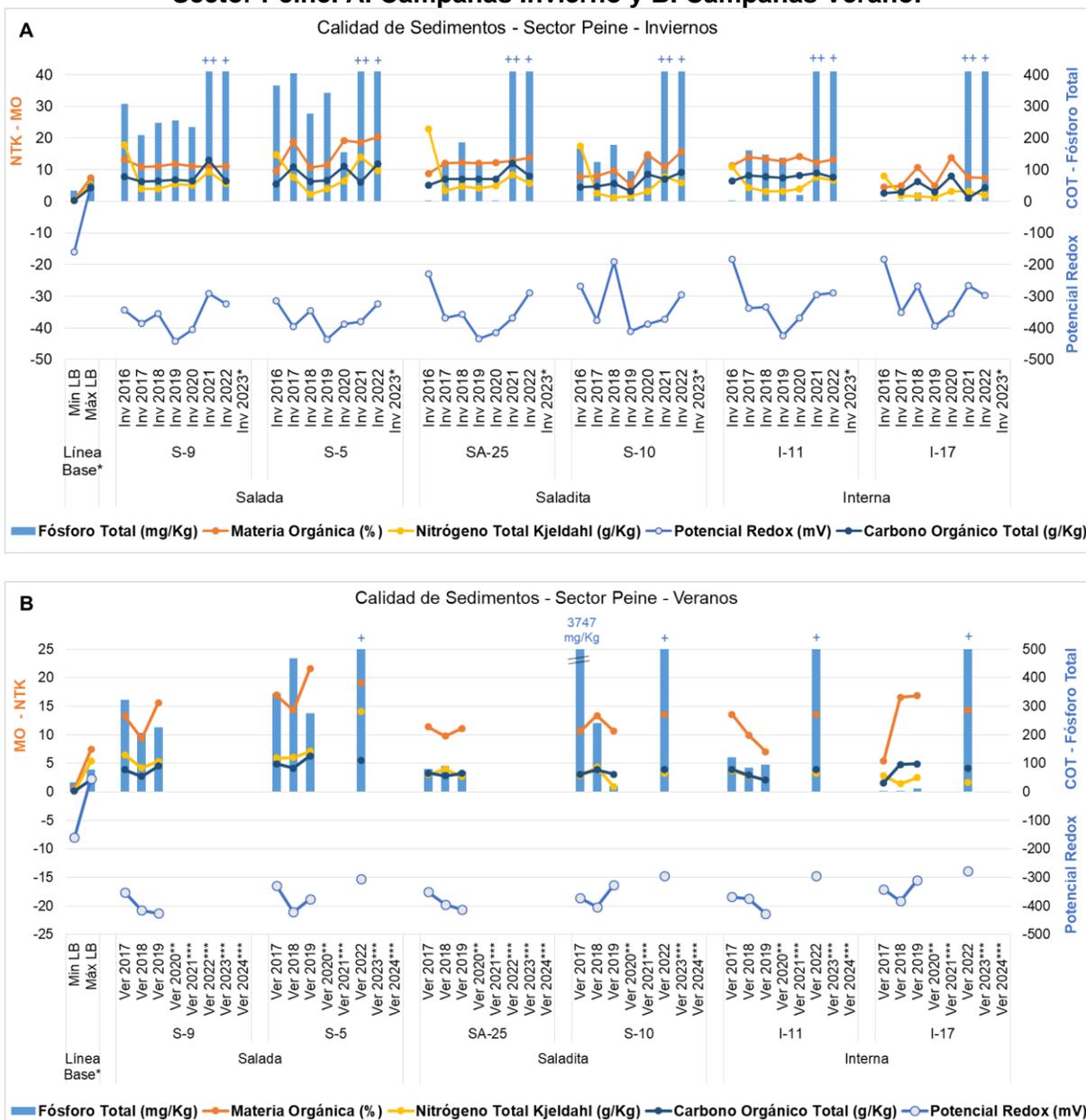
Fuente: Elaboración propia. El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1000 mg/kg (++) y desde invierno 2022 en adelante de 500 mg/kg (+), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. (\*) La estación TB-2 en los inviernos de 2019, 2020 y 2021 y veranos de 2019 y 2021 se encontró sin agua al momento del muestreo y en invierno 2022 y los veranos de 2022 y 2023, no fue posible obtener las muestras de sedimentos debido a la compactación y entramado de raíces del terreno. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (\*\*\*) En invierno 2023 no se incluye en la entrega de resultados el parámetro potencial óxido-reducción (explicado en la Carta R06/2024 de la ETFA).

Los resultados obtenidos para la calidad de sedimentos en los monitoreos de invierno y verano para el sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna), muestran que los parámetros de carbono orgánico total (entre 10 y 130 g/Kg), materia orgánica (de 4,57 a 21,61%) y fósforo total (<0,5 a 3747 mg/Kg), presentaron por lo general valores sobre el máximo registrado para la LB (**Figura N° 13-103**). En el caso de la materia orgánica y COT, están relacionados directamente con actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halofílicos, que por lo demás pueden afectar la morfología, cinética de precipitación y ocurrencia de minerales de evaporitas que se forman en estos sistemas. Aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica (Javor, 1989). El contenido de fósforo puede deberse a la misma razón.

Cabe mencionar que los últimos registros de verano e invierno 2022, todos corresponden a <500 mg/Kg (límite de detección actual), no observándose en las campañas anteriores una tendencia clara a aumentar o disminuir el contenido de fosforo, temporal y espacialmente. En el caso del nitrógeno total Kjeldahl, se observa que en todas las estaciones disminuye su concentración desde invierno 2017, manteniéndose en valores bajo los 7 g/Kg, para luego aumentar principalmente desde invierno 2020.

Respecto al potencial redox, este indicó valores de ambientes con características reductoras en todas las estaciones y monitoreos de invierno y verano (entre -442,2 y -182,6 mV), registrándose valores más negativos principalmente durante el monitoreo de invierno 2019. Esto se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996).

**Figura N° 13-103. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. El registro de Línea Base solo se realizó en Verano 2015. El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno y verano 2021 fue de 1000 mg/kg (++) y desde invierno y verano 2022 en adelante de 500 mg/kg (+), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. (\*) En la Campaña de Invierno 2023 no se realizó el monitoreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso. (\*\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

### 13.5.1.3 Biota acuática

Para el análisis comparativo entre línea de base y monitoreo de la biota acuática, se consideró la comparación de la riqueza y la abundancia total con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la línea de base (en adelante LB) contemplados en el Plan de Manejo Biótico. Para ello se utiliza la data de línea de base de los periodos de septiembre 2008, 2013, y julio 2014 como periodo de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como periodo de verano. Estos datos de LB serán comparados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo invierno 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5), 2019 (M7), 2020 (M9), 2021 (M11), 2022 (M13) y 2023 (M15). Por otro lado, se compararán las campañas de monitoreo verano de LB, con las respectivas campañas de monitoreo de verano 2017 (M2), 2018 (M4), 2019 (M6), 2021 (M10), 2022 (M12), 2023 (M14) y 2024 (M16).

Cabe señalar que, la campaña de verano 2020 (M8) no se pudo realizar producto de la pandemia COVID-19 y para las campañas de verano 2021, parte de la campaña de verano 2022, verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, no se obtuvieron datos de monitoreo para el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

También se aborda el detalle de los *taxa* dominantes (en abundancia y representatividad) de la Biota Acuática por período estacional de invierno y verano, los que se incluyen en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

#### 13.5.1.3.1 Fitobentos

En el sector **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2023 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2024 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares solo para la riqueza en el periodo estacional de verano y variables en periodos de invierno. En cambio, los registros para la abundancia fueron variables, tanto en invierno como en verano y se mantuvieron por sobre el rango de variación de la LB.

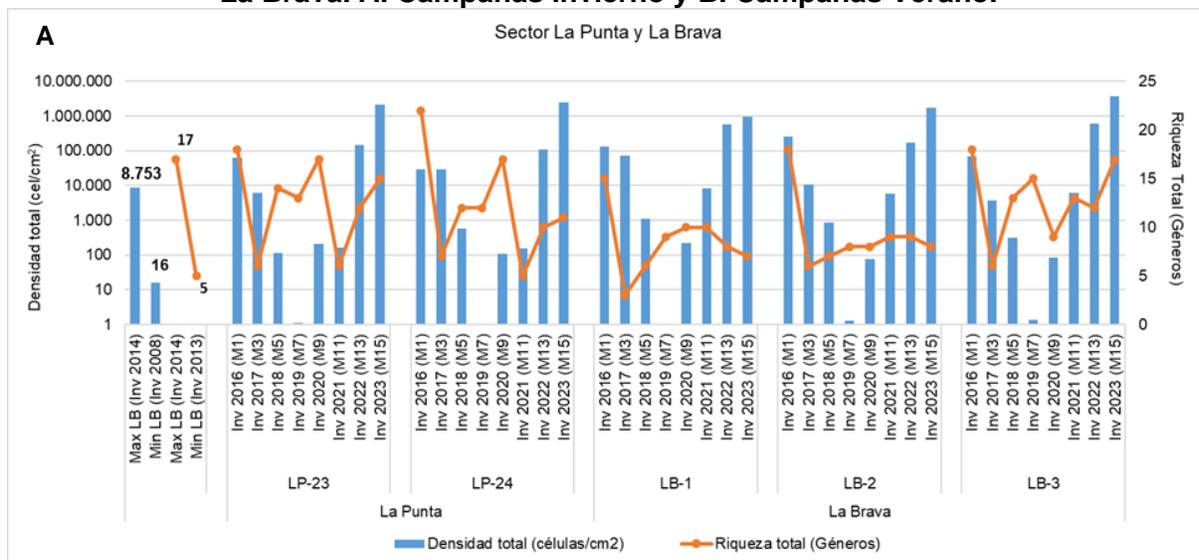
En invierno 2023, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 7; Max 17) en invierno 2023 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2023, todos los registros estuvieron por sobre lo observado en la LB. Rango (Min 956.500; Max 3.611.429) en invierno 2023 versus (Min 16; Max 8.753) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-104 A**).

En verano 2024, el valor mínimo de riqueza de géneros detectado con 9 géneros fue similar al límite mínimo de la LB, en tanto, el máximo (11 géneros) estuvo contenido dentro del rango de variación de la LB en periodos de verano (Min 9; Max 14). La riqueza en verano 2024 presentó

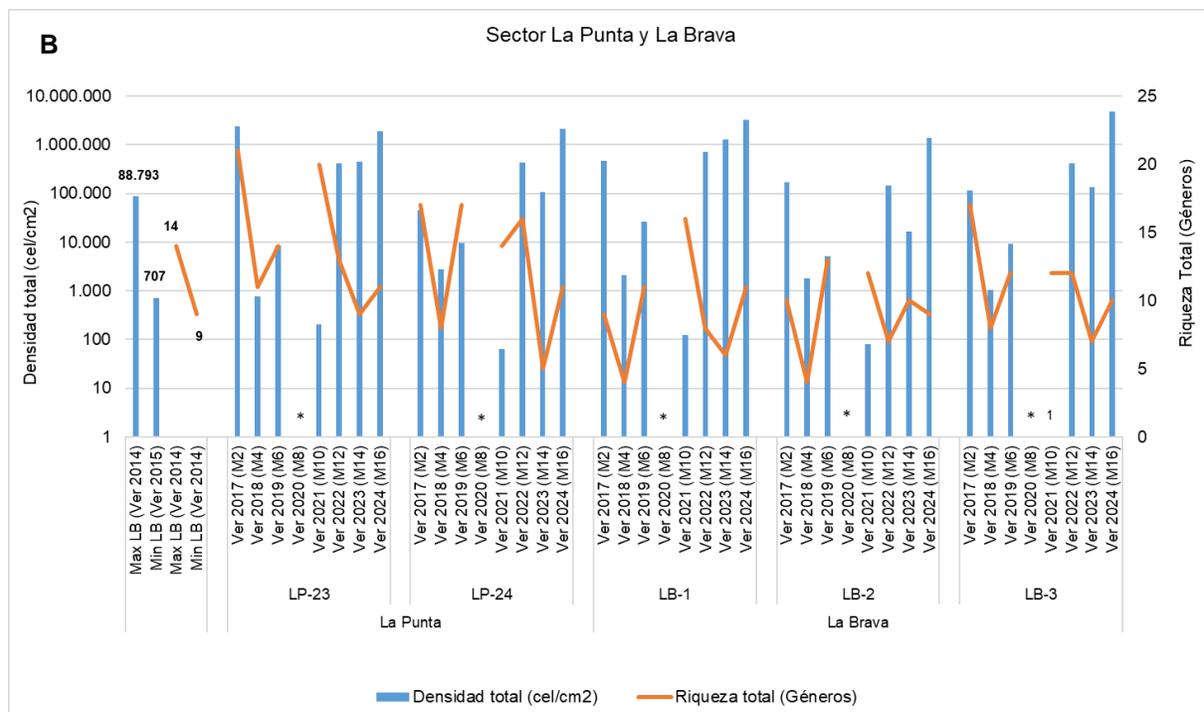
todos los valores dentro del rango de variación de la LB. Cabe señalar que los registros de riqueza han sido oscilantes en el tiempo, presentando en verano 2018 valores por debajo del límite mínimo de la LB, en las estaciones LB-1 y LB-2 y valores por sobre el límite máximo de la LB en verano 2017 y 2021 en LP-23 y verano 2021 en LB-1 (**Figura N° 13-104 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2024 (Min 1.394.167; Max 4.820.000), todos los valores registrados estuvieron por sobre el valor máximo de LB en periodos de verano (Min 707; Max 88.793) (**Figura N° 13-104 B**). Desde verano 2021 que las abundancias han aumentado en todas las estaciones de monitoreo del sector, presentando en verano 2024 la mayor abundancia registrada a la fecha, en la estación LB-3 (La Brava).

**Figura N° 13-104. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.



(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Fuente: Elaboración propia.

En relación con las mayores representatividades a nivel de géneros fitobentónicos, invierno y verano en el tiempo en el sector **La Punta-La Brava**, se detectó que los registros fueron recurrentes para algunos géneros, entre periodos estacionales de invierno y verano y la LB.

Respecto a los géneros, se observó que las diatomeas *Halamphora* y *Denticula* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2023, mientras que *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. De la misma manera las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2024, mientras que, *Denticula*, *Amphora* (ambas diatomeas) y *Oscillatoria* (cianobacteria), presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitobentos, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación con las campañas de monitoreo anteriores considerando el mismo periodo estacional. Cabe señalar que, la estación TB-2 en verano 2019 y 2021 no fue detectada agua superficial por lo que no presenta registro.

En periodos de invierno, los registros de riqueza de géneros entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y 2021 y los menores en invierno 2017 y 2019. Específicamente en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 se observó un alto valor de riqueza en invierno 2016 y en TB-1 en invierno 2021. Rango (Min 11; Max 12) en invierno 2016; (Min 3; Max 6) en invierno 2017; (Min 3; Max 9) en invierno 2018; (Min 0; Max 7) en invierno 2019; (Min 6; Max 10) en invierno 2020; (Min 6; Max 20) en invierno 2021; (Min 4; Max 7) en invierno 2022 y (Min 4; Max 8) en invierno 2023 (**Figura N° 13-105 A**).

Respecto de los periodos de verano, los registros de la riqueza de géneros observada en los veranos del período 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024 fueron variables, observándose los mayores valores en verano 2017 y 2019. Cabe resaltar que la estación TB-1 presentó altos registros de riqueza de géneros, con valores que oscilaron entre 6 y 12 géneros, con un valor máximo registrado en verano 2017. En tanto, la estación TB-2 mostró valores máximo y mínimo de 14 y 5 géneros en verano 2017 y 2023 respectivamente. Cabe señalar que los veranos de 2019 y 2021 la estación se encontró sin agua superficial. Por último, TB-3 presentó valores que oscilaron entre 2 y 12 géneros, habiendo sido registrados los valores extremos en verano 2018 y 2019, respectivamente. En general en el sector, se han registrado entre periodos de verano: Rango (Min 9; Max 14) en verano 2017, (Min 2; Max 6) en verano 2018, (Min 10; Max 12) en verano 2019, (Min 8; Max 8) en verano 2021, (Min 5; Max 8) en verano 2022, (Min 5; Max 9) en verano 2023 y (Min 5; Max 8) en verano 2024 (**Figura N° 13-105 B**).

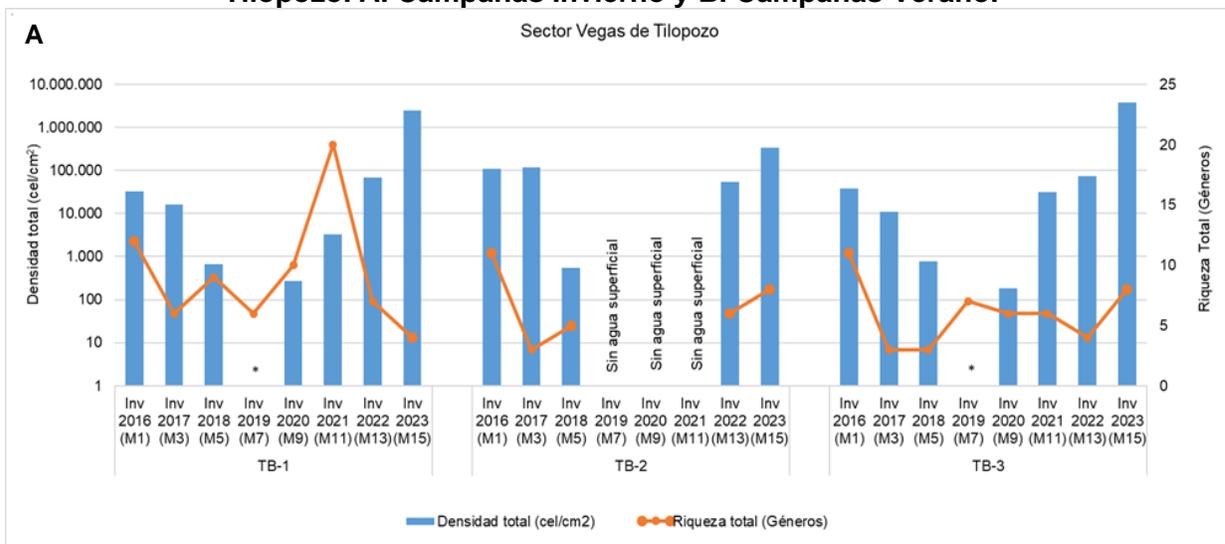
Así mismo, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 presentó diferencias, con valores

mucho menores en invierno 2019. En general, la abundancia ha presentado una disminución en el tiempo hasta la campaña de invierno 2020, posterior a esta se ha observado un aumento de la abundancia en todas las estaciones de monitoreo, siendo mayores en la campaña de invierno 2023. Rango (Min 32.466; Max 108.899) en invierno 2016; (Min 11.064; Max 117.068) en invierno 2017; (Min 543; Max 753) en invierno 2018; (Min 0; Max 0,61) en invierno 2019; (Min 0; Max 273,07) en invierno 2020; (Min 3.221; Max 31.650) en invierno 2021; (Min 53.400; Max 74.700) en invierno 2022 y (Min 334.487; Max 3.805.568) en invierno 2023 (**Figura N° 13-105 A**).

Por otro lado, en periodos de verano, la abundancia presentó diferencias entre campañas de monitoreo de verano, siendo menores en verano 2021 y mayores en verano 2024. Cabe resaltar que la estación TB-1 presentó registros de abundancia, con valores que oscilaron entre 1,54 y 1.630.377 cel/cm<sup>2</sup>, con un valor máximo registrado en verano 2024. En tanto, la estación TB-2 mostró valores intermedios de abundancia con un mínimo de 626 cel/cm<sup>2</sup> en verano 2018 y 1.061.218 cel/cm<sup>2</sup> en verano 2024. Los veranos 2019 y 2021 la estación se encontró sin agua superficial. Por último, TB-3 presentó valores que oscilaron entre 0,6 y 2.700.000 cel/cm<sup>2</sup> registradas en verano 2021 y 2024 respectivamente.

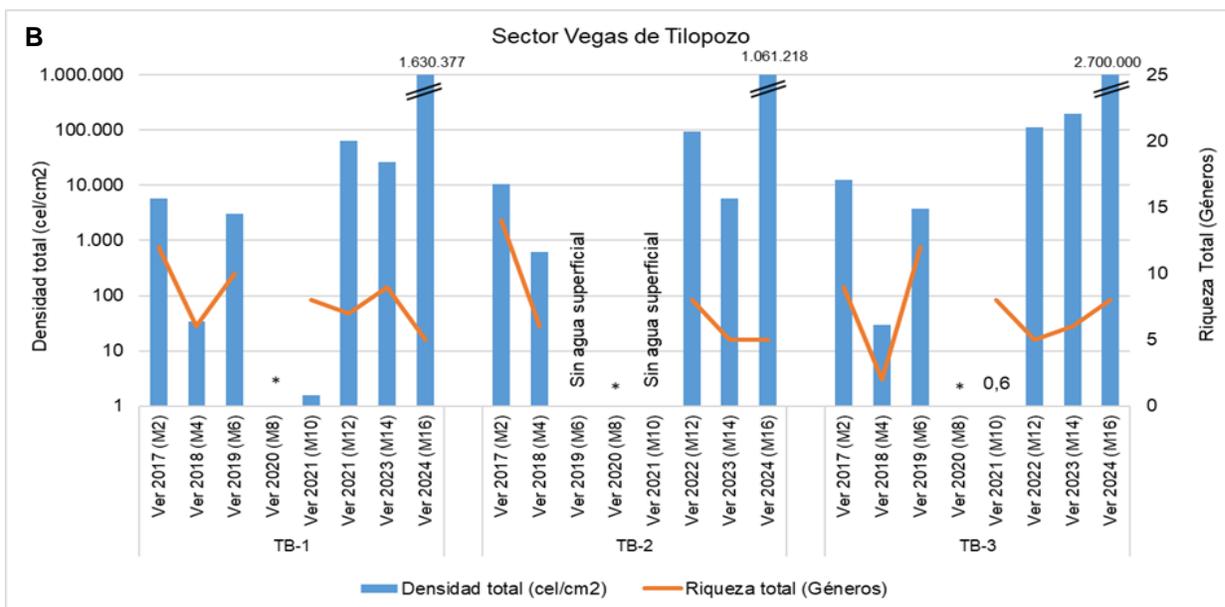
En general en el sector, se han registrado entre periodos de verano: Rango (Min 5.709; Max 12.480) en verano 2017, (Min 30; Max 626) en verano 2018, (Min 3.008; Max 3.724) en verano 2019; (Min 63.861; Max 111.750) en verano 2022; (Min 5.796; Max 196.653) en verano 2023 y (Min 1.061.218; Max 2.700.000) en verano 2024. Cabe destacar que la estación TB-2 en verano 2019 y 2021, no fue detectada agua superficial por lo que no presenta registro (**Figura N° 13-105 B**).

**Figura N° 13-105. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



\* Valores con órdenes de magnitud menor a 1 cel/cm<sup>2</sup>.

Fuente: Elaboración propia.



(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Fuente: Elaboración propia.

En el sector **vegas de Tilopozo**, las dominancias en el fitobentos fueron variables entre campañas de monitoreo y entre estaciones de muestreo presentando diferencias entre microalgas dominantes.

En invierno 2016 y 2017 se observó una alta predominancia de cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*) y zygnematoficea (*Mougeotia*) en las estaciones de las vegas. En invierno 2018 las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*, mientras que en invierno 2019 dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Diploneis*. En invierno 2020 dominaron las diatomeas *Fragilaria* y *Nitzschia*, en invierno 2021 dominaron las diatomeas *Pseudostaurosira* y *Nitzschia*, en invierno 2022 las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia*. Por último, en invierno 2023 dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*.

Por otra parte, en el periodo de verano, entre estaciones de muestreo fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes, siendo recurrentes en el tiempo algunos géneros como *Denticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. En verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Denticula*, la cianófito *Oscillatoria* y la clorófito *Mougeotia*, en tanto en verano 2018 dominaron las diatomeas *Craticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. En tanto en verano 2019, las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia*, *Achnantheidium* y *Cocconeis* y en verano 2021 las mayores representatividades fueron para las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis*. En tanto, en verano 2022 las dominancias estuvieron dadas por las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia*, en cambio, en verano 2023 por *Nitzschia* y *Fragilaria*. Por último, en verano 2024 las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis* tuvieron las mayores representatividades (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En relación con el fitobentos, en el **sector Peine** el rango de variación detectado en invierno 2022 presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 5; Max 9) en invierno 2022 versus (Min 2; Max 14) en periodos de invierno LB. En tanto, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2022, presentó valores con un valor máximo en todas las estaciones de Peine, sobre lo observado en el tiempo considerando LB y en la mayoría de los monitoreos. En invierno 2022, las estaciones S-5 (Salada) y SA-25 (Saladita) presentaron los registros máximos. Rango (Min 16.146; Max 198.375) en invierno 2022 versus (Min 47; Max 6787) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-106 A**).

Además, en las estaciones del sector Peine, si bien para la riqueza se observó una tendencia variable en el tiempo, para la abundancia esta tendencia ha ido en aumento desde invierno 2017, observándose valores similares o mayores a los registrados a la fecha para cada estación de monitoreo.

Cabe señalar que para la campaña invierno 2023 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.

Entre campañas de monitoreo en periodo de verano, se ha observado un rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros en un rango más amplio que lo observado en la LB, con un Rango (Min 4; Max 17) entre periodos de verano monitoreos versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada entre monitoreos de verano, se observó que han presentado registros por sobre lo observado en la LB, en su límite máximo. Rango (Min 346 cel/cm<sup>2</sup>; Max 18.0313 cel/cm<sup>2</sup>) versus (Min 123 cel/cm<sup>2</sup>; Max 61.190 cel/cm<sup>2</sup>) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-106 B**).

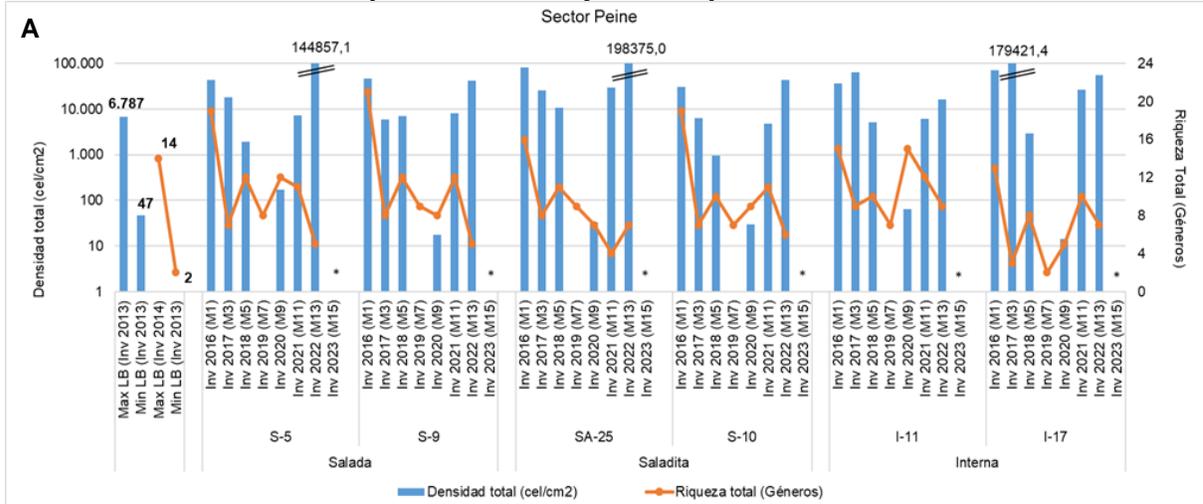
Respecto de las restantes campañas de verano, han presentado una alta variabilidad en los registros, sin embargo, han conservado sus rangos dentro de los obtenidos para la LB. Se debe considerar, además, que las campañas de verano 2020, no fue monitoreada por ocurrencia de la pandemia COVID-19, y las campañas 2021, 2023 y 2024, porque no se pudo acceder al sector.

En relación con los géneros que presentaron la mayor representatividad en periodo de invierno 2022, se observó que *Halamphora* y *Nitzschia* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias, diferente a lo mostrado en la LB para periodos de invierno. En la LB se observó la alta dominancia de las diatomeas *Achnanthes*, *Nitzschia* y *Navicula*.

En tanto, en periodos de verano se observó que las diatomeas *Halamphora*, *Denticula*, *Navicula* y *Nitzschia* (todas diatomeas) y *Oscillatoria* (cianobacteria) presentaron las mayores dominancias, mientras que, *Diatoma*, *Amphora*, *Navicula* y *Achnanthes*, todas diatomeas, presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos – Calidad de Agua**).

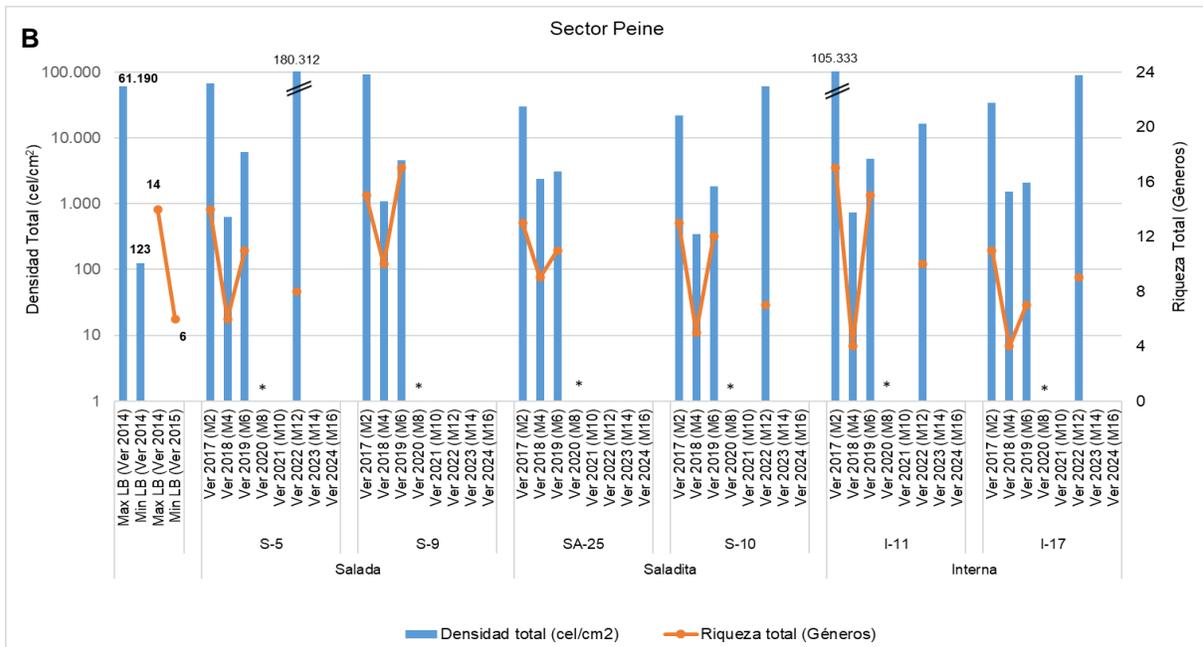
La variabilidad en las dominancias entre monitoreos, en general, se relacionan con las condiciones de hábitat al momento del muestreo. Sin embargo, los géneros consignados son *taxa* de ambientes halófilos. Finalmente, hay que destacar que para todos los monitoreos de invierno como de verano, la dominancia en el sector Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al.*1996).

**Figura N° 13-106. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



(\*) En la campaña invierno 2023, no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.

Fuente: Elaboración propia.



(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021, 2023 y 2024 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25). Fuente: Elaboración propia.

### 13.5.1.3.2 Fitoplancton

Dado que las microalgas fitoplanctónicas están constituidas por géneros y especies similares a las microalgas bentónicas presentan respuestas biológicas y una estructura y composición variable temporal y espacialmente, moduladas por las mismas forzantes que afectan a los ensamblajes fitobentónicos i.e. evaporación, salinidad, contenido de oxígeno y temperatura, tal como fue explicado para el fitobentos. Por otra parte, su importancia ecológica también es similar a la explicada para el fitobentos ya que corresponde de la misma manera a productores primarios dentro de los sistemas acuáticos.

En el **sector La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2023 y LB (periodos de invierno), estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. En tanto, la abundancia total presentó valores menores a lo consignado en el rango de variación la LB, con bajos registros en todas las estaciones de La Brava.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2023 presentó un rango dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 6; Max 9) en invierno 2023 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-107 A**). Las estaciones LP-23 y LP-24 (La Punta) presentaron registros de abundancia (888 y 732 cel/mL) dentro del rango de variación de la LB (Min 76; Max 4.905) en periodos de invierno. Por el contrario, las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (La Brava) tuvieron abundancias por debajo del valor mínimo de la LB (**Figura N° 13-107 A**).

En general para los tres sistemas estudiados (La Punta y La Brava, Vegas de Tilopozo y Peine) se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas). En tanto, respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados i.e. *Denticula*, *Haloroundia*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todas correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos (que se distribuyen a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009).

En periodo de verano, en el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre campaña de monitoreo verano 2024 y Línea Base (periodos de verano), se observó registros menores de riqueza y abundancia en verano 2024 al menos respecto de los monitoreos 2021 y 2022 en ambas lagunas. Solo algunas estaciones de monitoreo se mantuvieron dentro del rango de variación de la LB.

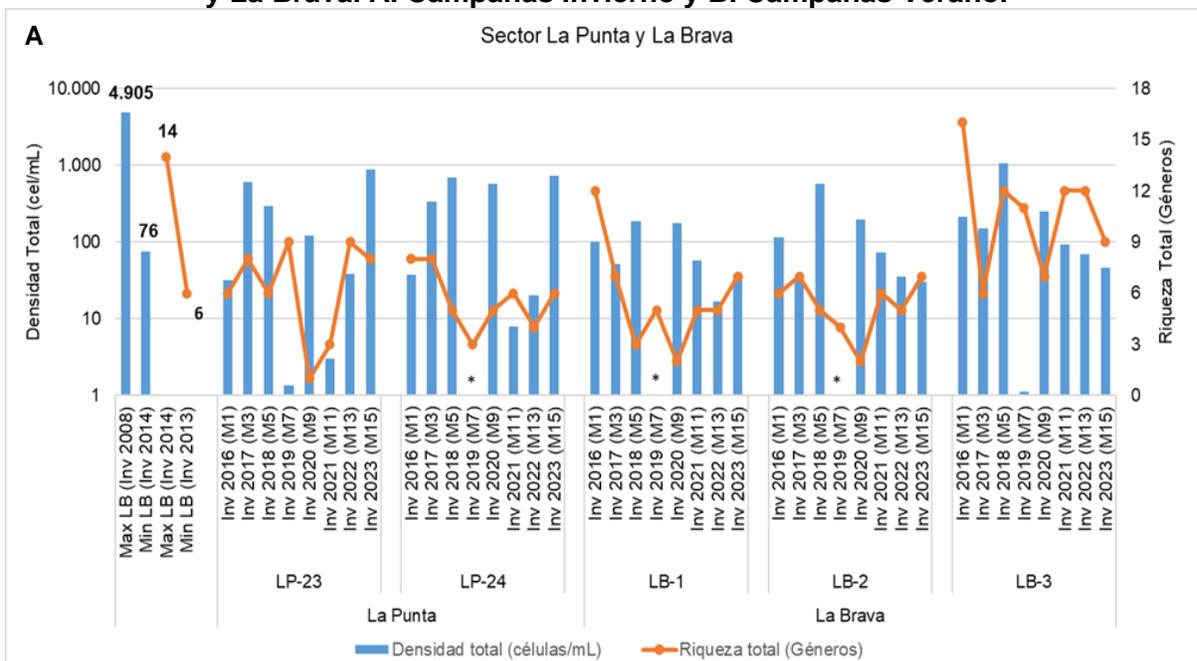
El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en verano 2024 (Min 4; Max 10), fue menor a lo observado en la Línea Base en periodos de verano (Min 6; Max 12). Cabe señalar que durante la campaña de verano de 2024 las estaciones LP-23 (La Punta),

LB-1 y LB-2 (ambas de La Brava) presentaron una riqueza entre 4 y 5 géneros, registros que estuvieron por debajo del mínimo de Línea Base (**Figura N° 13-107 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2024, estuvo contenida dentro de lo observado en el período de verano de la Línea Base (Min 24; Max 10.110) en tres estaciones de monitoreo (LP-24, LB-2 y LB-3, con un rango Min 26; Max 67). Las estaciones LP-23 (La Punta) y LB-1 (La Brava), en tanto, presentaron registros por debajo del límite mínimo de la LB (**Figura N° 13-107 B**).

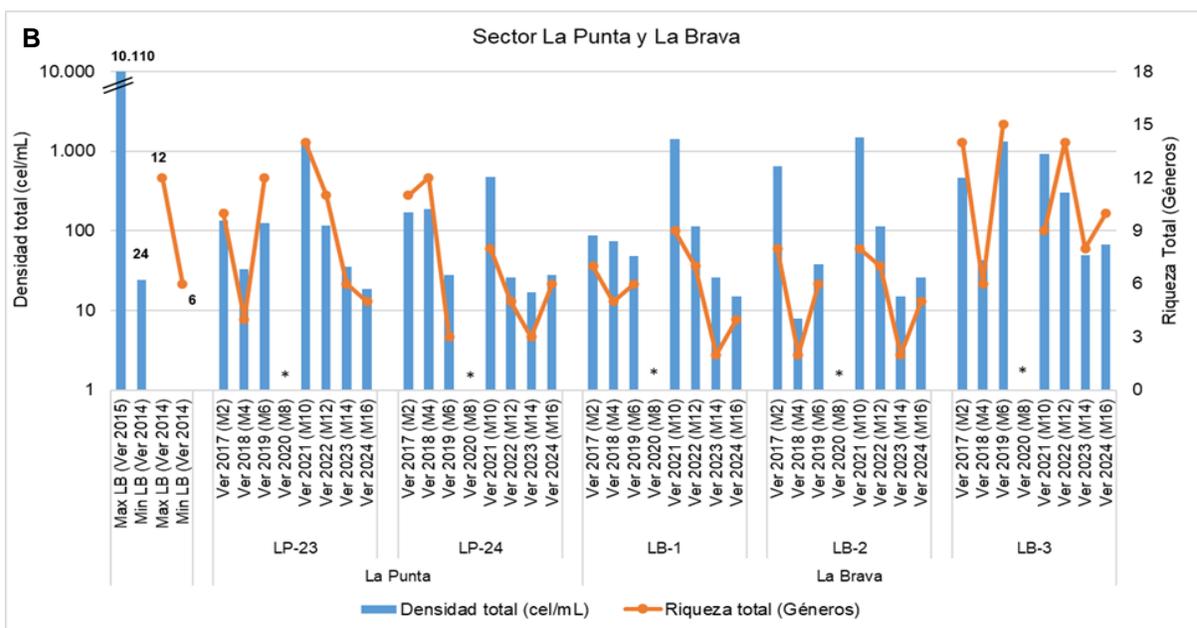
Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano, se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron menores en verano.

**Figura N° 13-107. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



\* Valores con órdenes de magnitud menor a 1 cel/mL.

Fuente: Elaboración propia.



(\* La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Fuente: Elaboración propia.

En relación con las mayores representatividades a nivel de géneros fitoplanctónicos, invierno y verano en el tiempo en el sector **La Punta-La Brava**, se detectó que los registros fueron diferentes, entre periodos de invierno y la LB y entre las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional.

Respecto a los géneros en periodo de invierno, se observó que las diatomeas *Halamphora* y *Denticula* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2023, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En periodo de verano, se observó que las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2024, mientras que las clorofíceas *Chlamydomonas* y *Botryococcus* y las diatomeas *Proschkinia*, *Cymbella* y *Denticula*, presentaron las mayores dominancias en la Línea Base y además en los monitoreos para periodos de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos, así como para la línea de base del fitoplancton en el sector La Punta y La Brava, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al.*1996).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitoplancton, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación con las campañas de monitoreo anterior considerando el mismo periodo estacional. Cabe señalar que la estación TB-2 no presentó agua superficial en las campañas de invierno 2019, 2020 y 2021.

Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron menores en verano.

El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros para los periodos invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023, presentó diferencias detectándose los mayores registros en invierno 2016 y mínimos en invierno 2020. Rango (Min 11; Max 13) en invierno 2016; (Min 3; Max 5) en invierno 2017; (Min 1; Max 9) en invierno 2018; (Min 0; Max 3) en invierno 2019, (Min 0; Max 1) en invierno 2020, (Min 2; Max 3) en invierno 2021, (Min 4; Max 7) en invierno 2022 y (Min 3; Max 8) en invierno 2023 (**Figura N° 13-108 A**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023, fueron mayores en invierno 2016 y menores en invierno 2019 y 2021. Rango (Min 232; Max 4.778) en invierno 2016; (Min 1; Max 325) en invierno 2017; (Min 44; Max 3.825) en invierno 2018; (Min 0; Max 0,66) en invierno

2019, (Min 0; Max 64,81) en invierno 2020, (Min 16; Max 26) en invierno 2021, (Min 27; Max 171) en invierno 2022 y (Min 36; Max 152) en invierno 2023 (**Figura N° 13-108 A**).

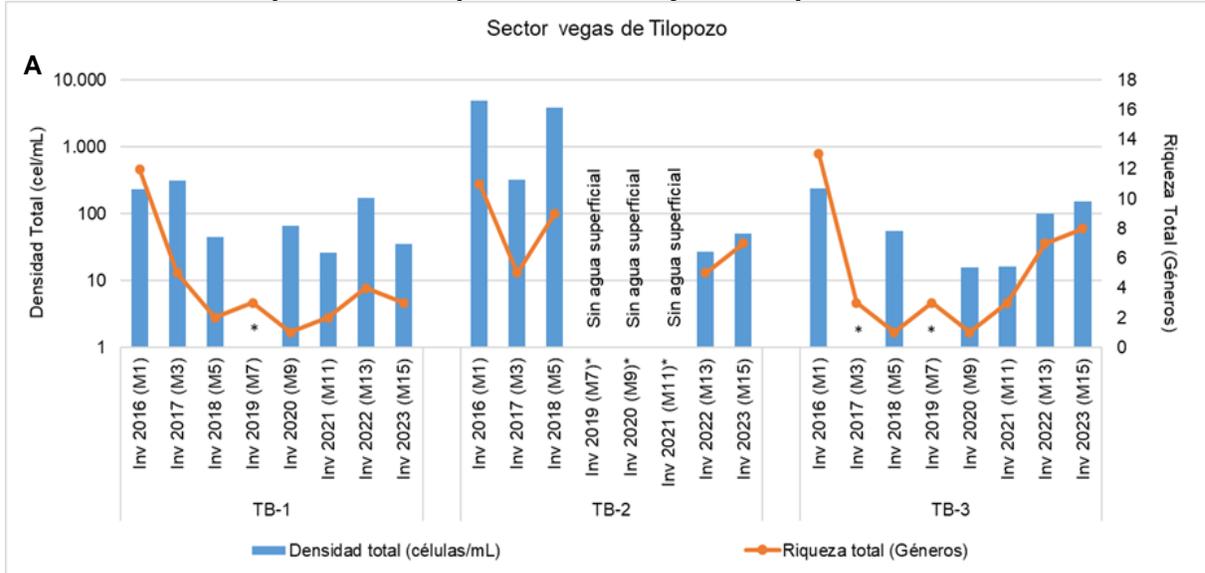
En tanto, para los periodos de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024 presentaron diferencias, aun cuando hay vacíos de información, especialmente en la estación TB-2. La riqueza de géneros presentó mayores valores en verano 2017 (TB-1 y TB-3) y los menores en verano 2023 y 2024 (TB-1), verano 2021 (TB-1, TB-3) y verano 2022 (TB-2), en tanto, la abundancia presentó mayores valores en verano 2018 observados en la estación TB-2 con 37.700 cel/mL, y los menores en verano 2018 en TB-1 (**Figura N° 13-108 B**).

Las dominancias cambiaron respecto de los géneros representativos entre los periodos de invierno y verano, observándose un recambio de géneros en las campañas monitoreadas en el sector vegas de Tilopozo.

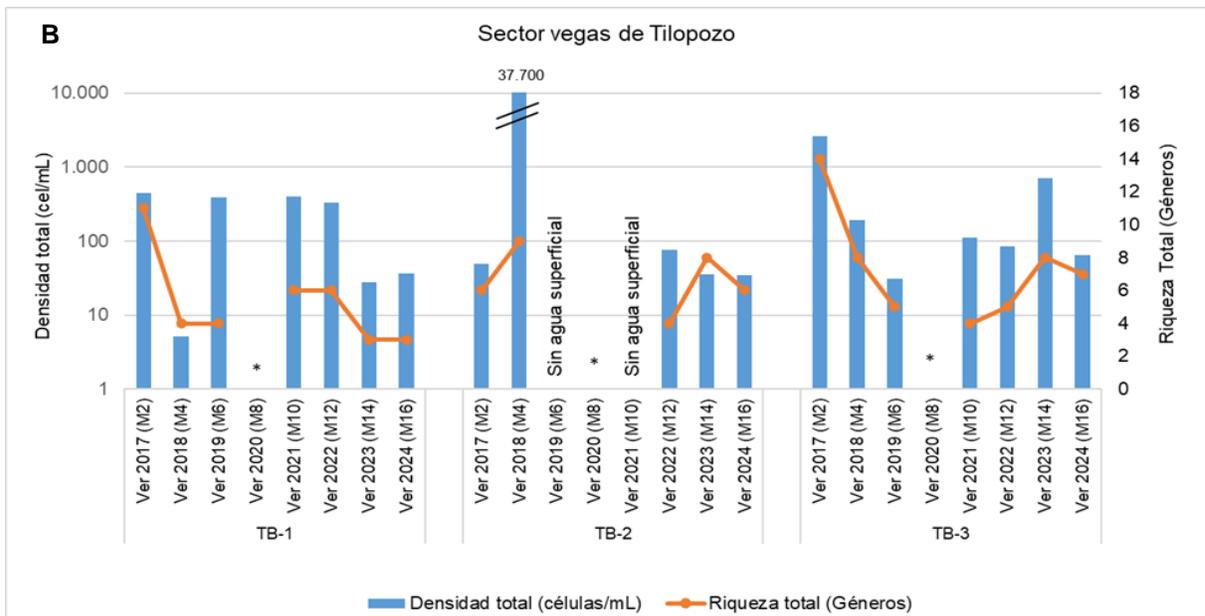
De acuerdo con lo anterior, en invierno 2016, dominaron los géneros *Anabaena* (cianofícea) y *Amphora* (diatomea). Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en invierno 2017 donde se observó una alta predominancia de la zygnematofícea *Mougeotia*, las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula* y las cianofitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*). En tanto, para invierno 2018, *Nitzschia* (diatomea), presentó la mayor abundancia relativa y en invierno 2019 las mayores representatividades las presentaron los géneros *Mougeotia* y *Spirogyra* ambas de la clase Zygnematophyceae. En la campaña de invierno 2020 la mayor representatividad fue para la diatomea *Diatoma* y en invierno 2021 la mayor representatividad se observó para la diatomea *Ulnaria* y para la zygnematofícea *Mougeotia*. En invierno 2022, los géneros *Halamphora* (diatomea) y *Oscillatoria* (cianofitas) y en invierno 2023, correspondió a las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*.

Por el contrario, en verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Amphora* y las cianobacterias *Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*. Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en verano 2018, donde se observó una alta predominancia de las diatomeas *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula*. Mientras que, para la campaña de verano 2019, predominó *Halamphora* (diatomea) y en verano 2021 la diatomea *Nitzschia* y la cianofita *Microcystis*. En verano 2022 se detectó la mayor dominancia de *Halamphora* y *Nitzschia*. En verano 2023 dominaron las cianobacterias *Microcystis* y *Merismopedia* y en verano 2024, correspondió a la diatomea *Cocconeis* y la zygnematofícea *Spirogyra*.

**Figura N° 13-108. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



\* Valores con órdenes de magnitud menor a 1 cel/mL.  
Fuente: Elaboración propia.



(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Fuente: Elaboración propia.

En el **Sector Peine** la riqueza de géneros de fitoplancton, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2022 y LB (periodos de invierno), respecto del rango de variación para la riqueza de géneros estuvo contenido dentro del observado en la LB, excepto para la estación de monitoreo (S-10) en que la riqueza fue menor a 4 géneros reportados históricamente. Rango (Min 3; Max 5) en invierno 2022 versus (Min 4; Max 12) en periodos de invierno LB. Para la abundancia total, el rango de variación mínimo y máximo detectada en invierno 2022, también estuvo dentro rango observado en la LB. Rango (Min 29; Max 85) en invierno 2022 versus (Min 29; Max 5.280) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-109 A**).

Cabe señalar que para la campaña invierno 2023 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.

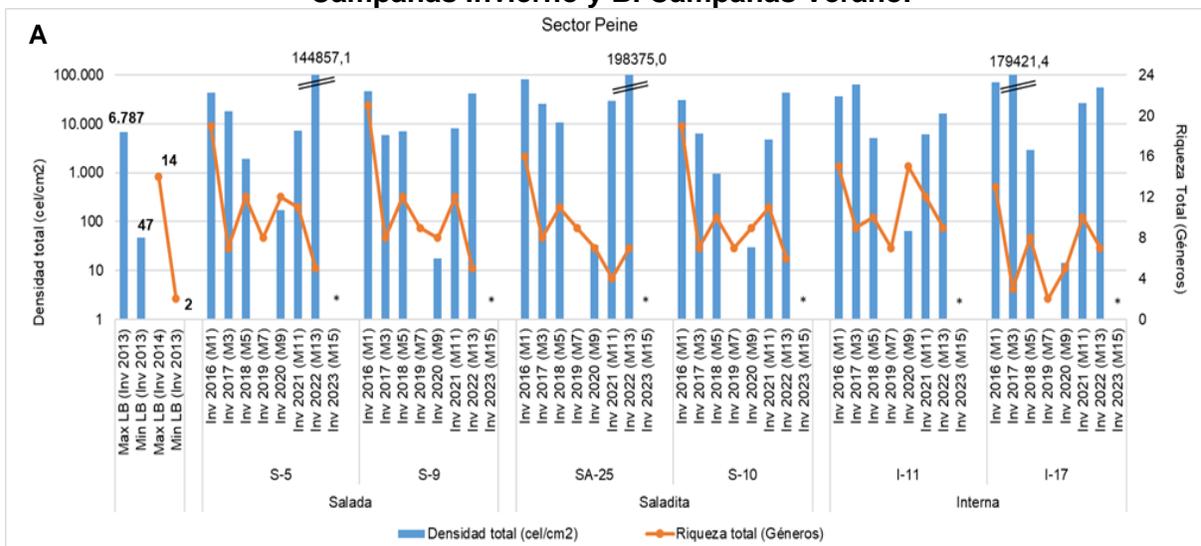
Respecto de las comparaciones entre campañas de monitoreo periodos de verano y LB (periodos de verano), se observó en su mayoría registros variables y en algunos bajo el límite inferior de la LB para la riqueza y valores bajos para la abundancia y en algunos casos bajo el límite inferior respecto de la LB.

Entre campañas de monitoreo en periodo de verano, se ha observado un rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros en un rango más amplio que lo observado en la LB, con un Rango (Min 3; Max 16) entre periodos de verano monitoreos versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-109 B**). Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada entre monitoreos de verano, se observó que han presentado registros por debajo de lo observado en la LB, en su límite mínimo. Rango (Min 5 cel/mL; Max 711 cel/mL) versus (Min 90 cel/mL; Max 8.121 cel/mL) en periodos de verano LB. Se debe considerar, además, que las campañas de verano 2020, no fue monitoreada por ocurrencia de la pandemia COVID-19, y las campañas 2021, 2023 y 2024, porque no se pudo acceder al sector (**Figura N° 13-109 B**).

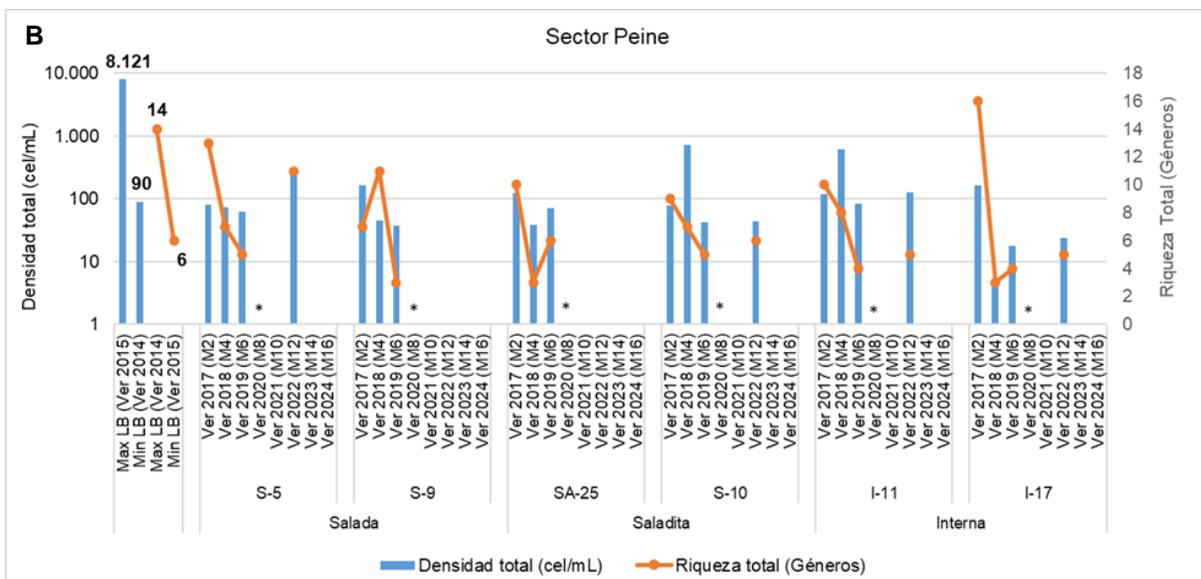
En relación con las mayores representatividades invierno y verano en el tiempo en el sector Peine, se detectó que los registros fueron similares observándose representaciones recurrentes de ciertos de géneros fitoplanctónicos, ya sea entre periodos estacionales y entre la LB y las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional. Se observó que las diatomeas *Amphora*, *Navicula* y *Nitzschia* fueron dominantes entre monitoreos de invierno, mientras que, *Amphora*, *Navicula* y *Achnanthes*, presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En tanto, se observó que las diatomeas *Amphora*, *Halamphora*, *Denticula*, *Navicula* y *Nitzschia* fueron dominantes entre monitoreos de verano, mientras que, *Cocconeis*, *Amphora*, *Navicula* y *Achnanthes*, presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos, así como para la línea de base del fitoplancton en el sector Peine, la dominancia en el sector fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson et al.1996).

**Figura N° 13-109. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



(\*) En la campaña invierno 2023, no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. Fuente: Elaboración propia.



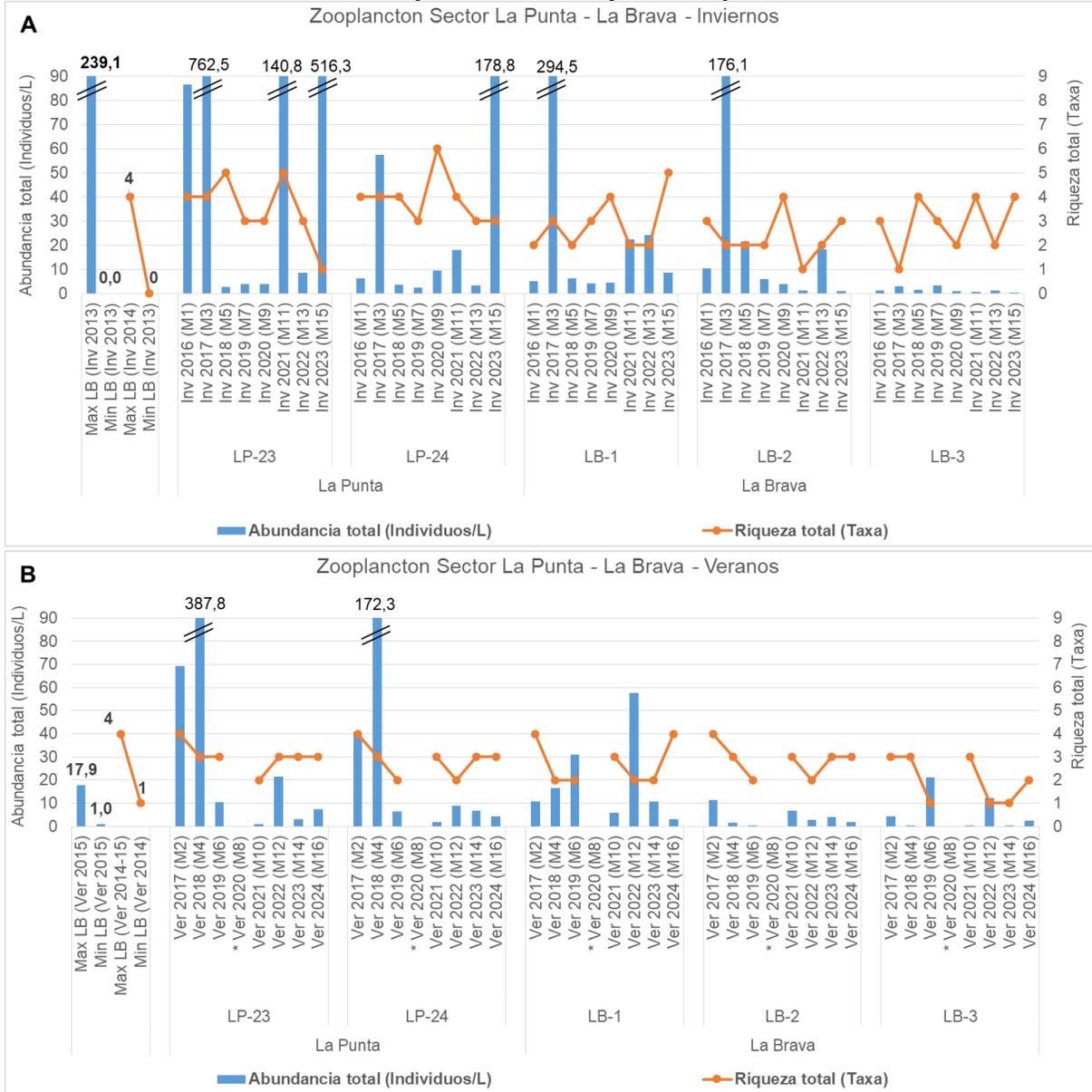
(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021, 2023 y 2024 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25). Fuente: Elaboración propia.

### 13.5.1.3.3 Zooplancton

La comunidad de zooplancton en La **Punta y La Brava**, también se registraron valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la línea base del PMB, excepto en invierno 2017 en las estaciones LP-23 y LB-1, en verano 2017 y verano 2018 en las estaciones LP-23 y LP-24, en verano 2019 en las estaciones LB-1 y LB-3, en verano 2022 en las estaciones LP-23 y LB-1 y en invierno 2023 en LP-23, donde se sobrepasó en abundancia total. Las riquezas fueron bajas, entre 1 y 4 *taxa* en los periodos de verano y entre 1 y 6 en los inviernos monitoreados (**Figura N° 13-110**). En este sistema se observó que en invierno 2017 dominaron los copépodos Harpacticoidea (principalmente en La Brava), mientras que en verano 2018 hasta verano 2022 dominaron copépodos del género *Boeckella* y *Artemia franciscana*, siendo dominantes absolutos en invierno 2023 los copépodos *Boeckella poopuensis*. Por su parte, en LB-1 y LB-2, el zooplancton ha sido representado principalmente por *Artemia franciscana* y por el copépodo Harpacticoidea *Tigriopus* sp. En las campañas de verano 2021 2023 y 2024, se registraron las menores abundancias totales dentro del Plan de Manejo Biótico, tanto en la laguna La Punta y como en La Brava.

Cabe mencionar que *Boeckella* se encontró mayoritariamente en laguna La Punta y *Artemia franciscana* en La Brava, lo que se puede relacionar con su nivel de tolerancia a la salinidad o bien, a las interacciones con otros organismos zooplanctónicos. Según la literatura especializada, algunos copépodos son animales omnívoros que filtran fitoplancton y también predan sobre protozoos y estadíos tempranos de desarrollo de otros zooplanctones, como es el caso de *Boeckella poopuensis* que preda sobre las larvas nauplio de *Artemia franciscana*, lo cual podría ser la causa que ambas especies no coexistan a pesar de que sus rangos de tolerancia a la salinidad lo permiten. Ahora bien, una característica importante de los cuerpos de agua en Chile es que se ha observado una mayor riqueza de zooplanctones en salinidades entre 5 g/L y 90 g/L, siendo posible encontrar conviviendo dos especies de copépodos. Sin embargo, sobre 90 g/L en salinidad, solo es posible encontrar presente a *Artemia franciscana* (De los Ríos-Escalante, 2010).

**Figura N° 13-110. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



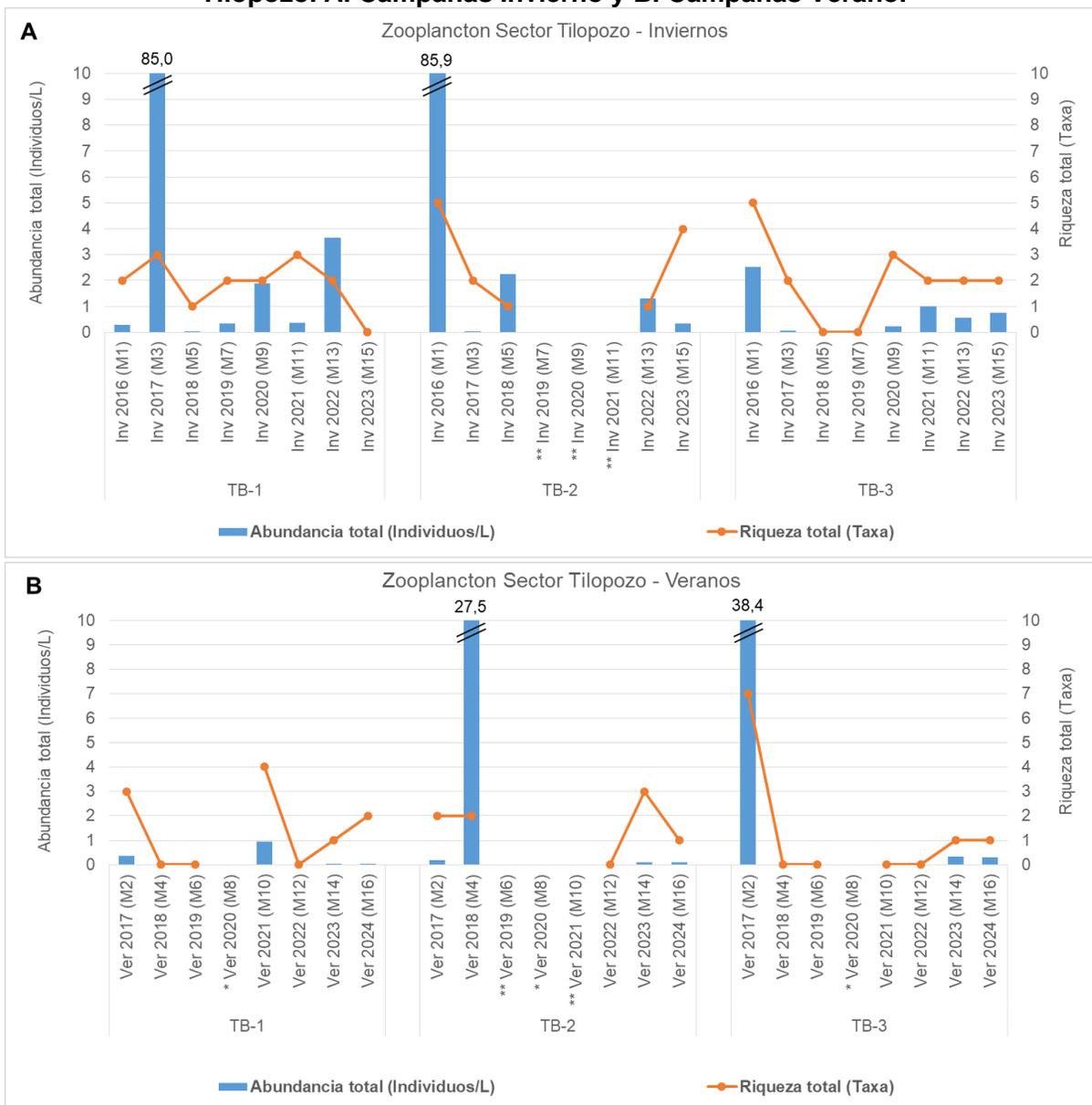
Fuente: Elaboración propia. (\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19.

Para el sector **Tilopozo**, las riquezas totales estuvieron en el rango de 0 a 5 *taxa* en las campañas de invierno y entre 0 y 7 en las campañas de verano, mostrando en general bajas abundancias totales (menores a 86 ind/L). En las campañas de invierno se registraron las mayores abundancias totales (en TB-2 en invierno 2016 y en TB-1 en invierno 2017), mientras que en verano las mayores abundancias totales se registraron en verano 2018 para TB-2 y en verano 2017 para TB-3, alcanzando el máximo en esta última de 38,4 ind/L. En las estaciones TB-1 y TB-3 (pozas), no se encontraron organismos zooplanctónicos en los veranos 2018, 2019 y 2022. Adicionalmente, en la estación TB-3 no se encontraron organismos zooplanctónicos en las campañas de invierno 2018, 2019 y verano de 2021. Cabe mencionar que la estación TB-2, en los veranos de 2019 y 2021 e inviernos de 2019, 2020 y 2021, se encontró sin agua superficial al momento del muestreo (**Figura N° 13-111**).

En invierno dominaron copépodos ciclopoideos en TB-1, en verano dominaron dípteros quironómidos en TB-2 (única estación con organismos zooplanctónicos). La ocurrencia de estos insectos en esa estación puede estar relacionada con el bajo nivel de agua encontrado en el sistema en ese periodo, catalogándose como pajonal hídrico. Cabe señalar que el sector de Tilopozo no posee registros de Línea Base dentro del Plan de Monitoreo Biótico, por lo que los resultados no se compararon con registros de este tipo.

En los últimos monitoreos desde verano 2023 en adelante, si bien se registraron bajas abundancias, el zooplancton registrado en el sector de Tilopozo, correspondió a fauna compuesta principalmente por organismos bentónicos y que eventualmente se encuentra en la columna de agua. Si bien, no es una situación extraña, cabe notar que entre los organismos se encontró a *Heleobia atacamensis*, que ha sido registrado históricamente como la única especie de gasterópodo en el sector Tilopozo, la cual es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA).

**Figura N° 13-111. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**

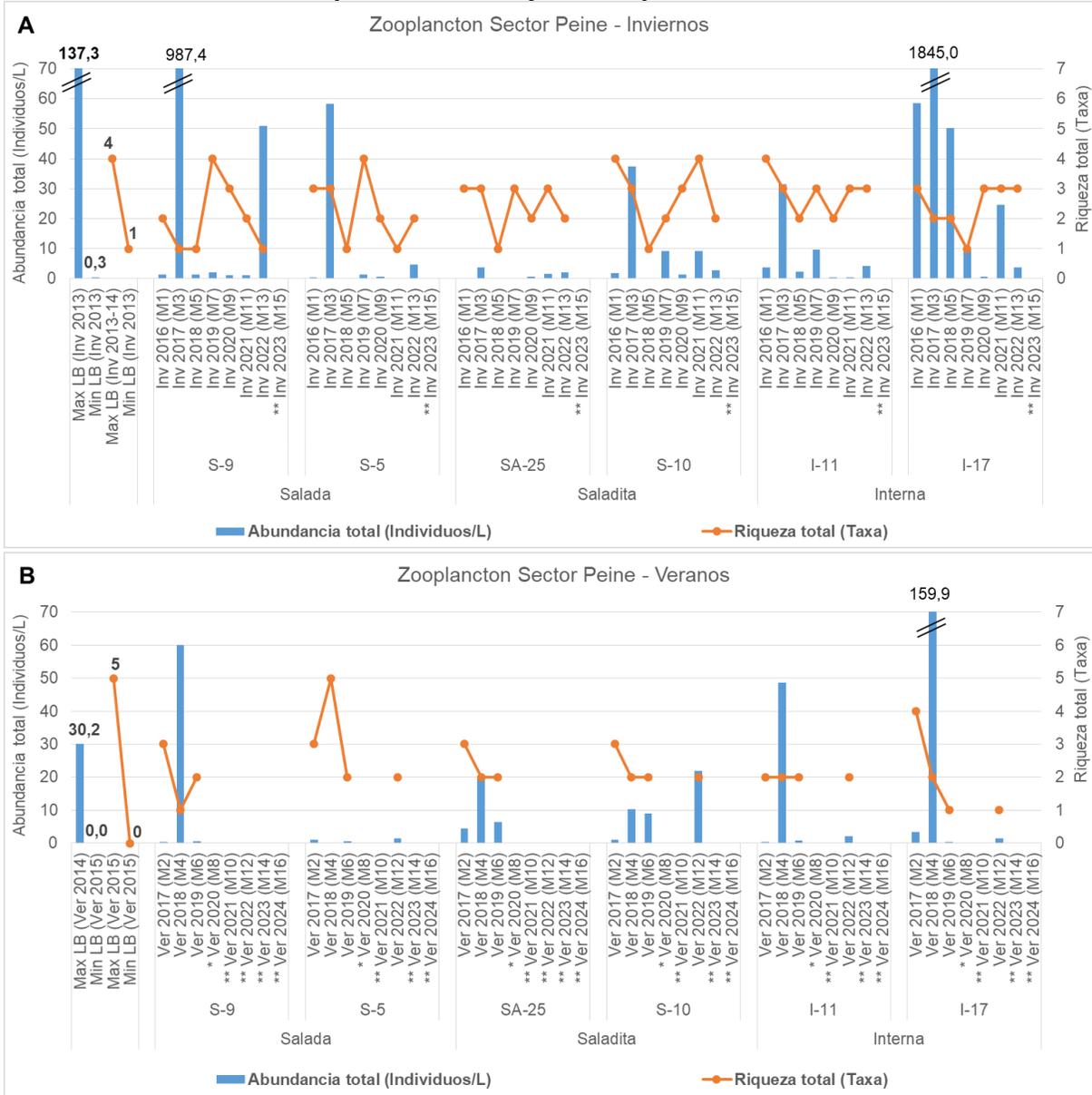


Fuente: Elaboración propia. (\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (\*\*) La estación TB-2, en invierno 2019, 2020 y 2021 y en verano 2019 y 2021, se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

La comunidad de zooplancton en el **Sector Peine** registró en general valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la LB para los inviernos del PMB, exceptuando por las abundancias registradas en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) durante el monitoreo de invierno 2017, las cuales estuvieron por sobre el máximo registrado en la LB. Sin embargo, la mayoría de las abundancias totales en este sector estuvieron bajo los 10 ind/L en las campañas de invierno, tanto en laguna Salada como laguna Saladita. Mientras que en laguna Interna, se registraron las mayores abundancias totales en todos los monitoreos de invierno. Tales mayores abundancias totales, en especial I-17, fueron dadas principalmente por el branquiópodo *Artemia franciscana* o copépodos harpacticoídeos. En la campaña de invierno 2022 solo la estación S-9 tuvo una abundancia mayor a 50 ind/L, dado por la mayor abundancia del copépodo Harpacticidae *Tigriopus* sp. Las abundancias en este sector han sido variables, no observándose una tendencia clara de incrementarse o disminuir a lo largo del PMB. Para las campañas de verano se registró en general valores de abundancia y riqueza dentro del rango establecido por la línea base del PMB, exceptuando por las abundancias registradas en S-9 (laguna Salada), I-11 e I-17 (laguna Interna) durante el monitoreo de verano 2018, las cuales estuvieron por sobre el máximo registrado en la LB. Tales mayores abundancias totales, principalmente en I-17, fueron dadas por el branquiópodo *Artemia franciscana*. Las menores abundancias totales se registraron en las campañas de LB de verano 2014 y 2015 y en el último monitoreo de verano 2019 (menores en general en este último). Las riquezas de *taxa* en general han sido bajas en todos los monitoreos de verano, con valores entre 1 y 5, con el máximo registro en laguna Salada (S-5) durante el verano 2018 Cabe mencionar que la campaña de verano 2020 no se realizó producto de la pandemia COVID-19 y tampoco las campañas 2021 y 2023 producto de las restricciones de acceso determinadas por la comunidad de Peine (**Figura N° 13-112**).

Cabe mencionar que en este sistema los zooplancteres más abundantes fueron copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Esta última fue más abundante en verano 2018, donde se constató un incremento de su abundancia desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual tiene relación con la misma variación en conductividad y salinidad dada en este sistema. Cabe considerar que esta especie se considera como halófila, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L (De los Ríos-Escalante, 2010).

**Figura N° 13-112. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



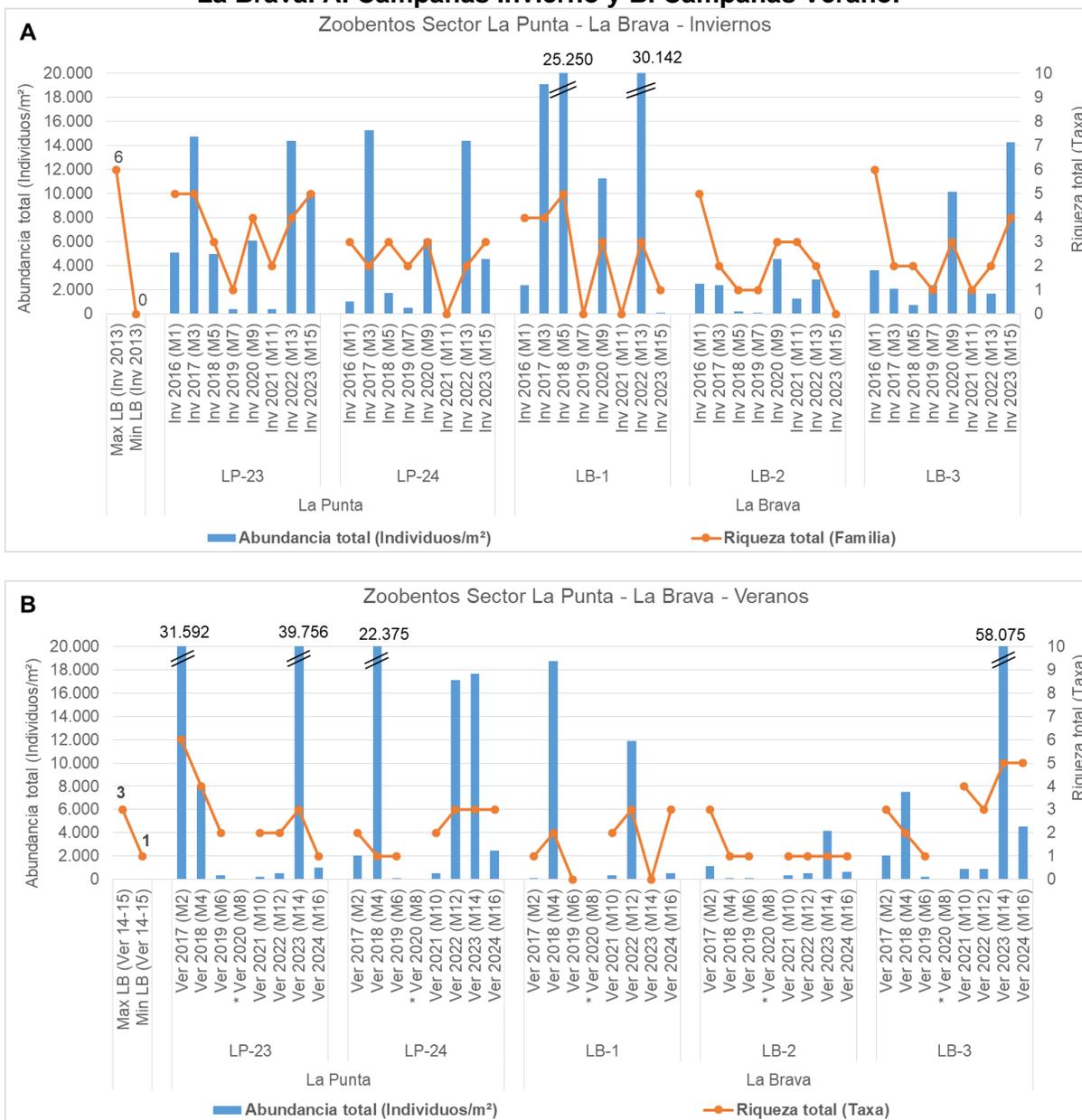
Fuente: Elaboración propia. (\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (\*\*) En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

#### 13.5.1.3.4 Zoobentos

La comunidad zoobentónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación también fueron bajas en ese sector en todos los periodos, con un máximo de 6 *taxa*. Las abundancias totales en La Punta y La Brava durante los inviernos y veranos monitoreados mostraron valores en general menores a los 20.000 ind/m<sup>2</sup>, sin embargo, se encontraron abundancias totales mayores a este valor en invierno 2018 e invierno 2022 (LB-1) y en verano 2017 (LP-23), verano 2018 (LP-24) y en verano 2023 (LP-23 y LB-3), alcanzando una máxima abundancia total de 58.075 ind/m<sup>2</sup> en LB-3 durante el verano 2023 (**Figura N° 13-113**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y la campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. Por su parte, en la estación LB-1 de La Brava, dominaron ampliamente en verano 2019 los copépodos bentónicos Canthocamptidae y en las estaciones LB-2 y LB-3 de La Brava, en invierno 2018, dominaron los dípteros Ceratopogonidae, mientras que en verano 2019 fueron dominantes los dípteros Stratiomyidae. En verano 2022 los *taxa* dominantes correspondieron principalmente a copépodos Harpacticoidea seguidos por gasterópodos Cochliopidae (*Heleobia* sp.) Históricamente los *taxa* dominantes correspondieron principalmente a copépodos Harpacticoidea, seguidos por gasterópodos *Heleobia* sp., sin embargo, en las campañas de 2023 en adelante los *taxa* dominantes han sido los ostrácodos Cypridae y el gasterópodo *Heleobia* sp.

**Figura N° 13-113. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



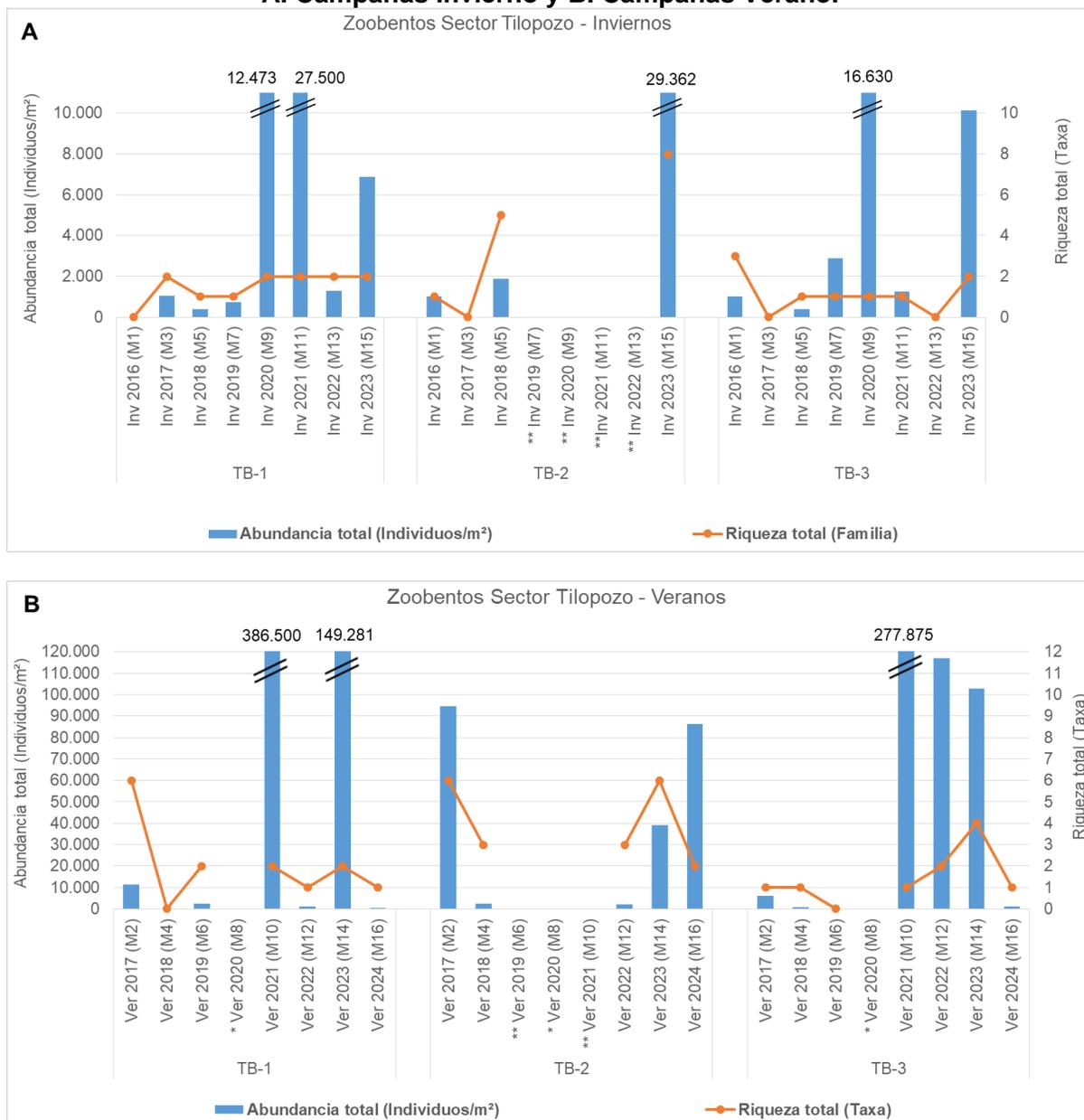
Fuente: Elaboración propia. La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en las campañas de invierno y verano se registraron bajas riquezas de *taxa*, 0 a 8 en invierno y de 0 y 6 *taxa* en verano, con el mayor valor de riqueza en las estaciones TB-1 y TB-2 en verano 2017. Las mayores abundancias totales ocurrieron en verano 2021 en las estaciones TB-1 (386.500 ind/m<sup>2</sup>) y TB-3 (277.875 ind/m<sup>2</sup>), en verano 2022 en TB-3 (116.875 ind/m<sup>2</sup>), en verano 2023 tanto en TB-1 (149.281 ind/m<sup>2</sup>) como en TB-3 (102.899 ind/m<sup>2</sup>) y en verano 2024 en TB-2 (86.139 ind/m<sup>2</sup>). Durante las campañas de invierno la máxima abundancia total fue registrada en TB-2 en invierno 2023, alcanzando los 29.362 ind/m<sup>2</sup> (**Figura N° 13-114**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Tilopozo durante estas campañas, se observó que en TB-1 y TB-3 dominó ampliamente el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano (ambas estaciones corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial). Las altas abundancias registradas en verano 2021, 2022 y 2023 en estas estaciones, corresponden casi exclusivamente a *H. atacamensis*. En la estación TB-2 (que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad) dominaron los dípteros entre los años 2016 y 2018, sin embargo en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, se ha registrado la dominancia de *H. atacamensis*. Cabe mencionar que esta estación se encontró sin agua superficial en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021.

La presencia de Cochliopidae, representado por *H. atacamensis* es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA) y ha sido descrita en literatura para el sector de Tilopozo. Su ciclo de vida es completamente acuático al respirar por branquias (Philippi, 1860), y es la única especie del género descrita en Chile y por ende endémica (Collado & Méndez, 2011). No se conocen datos sobre tendencias poblacionales salvo que no se registran antecedentes en otros sistemas hidrológicos del norte de Chile, sin embargo, su presencia ha sido descrita en el sector de Tilopozo (Biese, 1947), el cual es alimentado superficialmente por quebradas de orientación sur a norte mientras que el sector La Punta y La Brava es alimentada por la quebrada del Tucúcaro. Ambos sistemas no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que exista una pendiente de escorrentía desde el sector Tilopozo a La Punta y La Brava la cual permita el desplazamiento de *H. atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.

**Figura N° 13-114. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilpozo.**  
**A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**

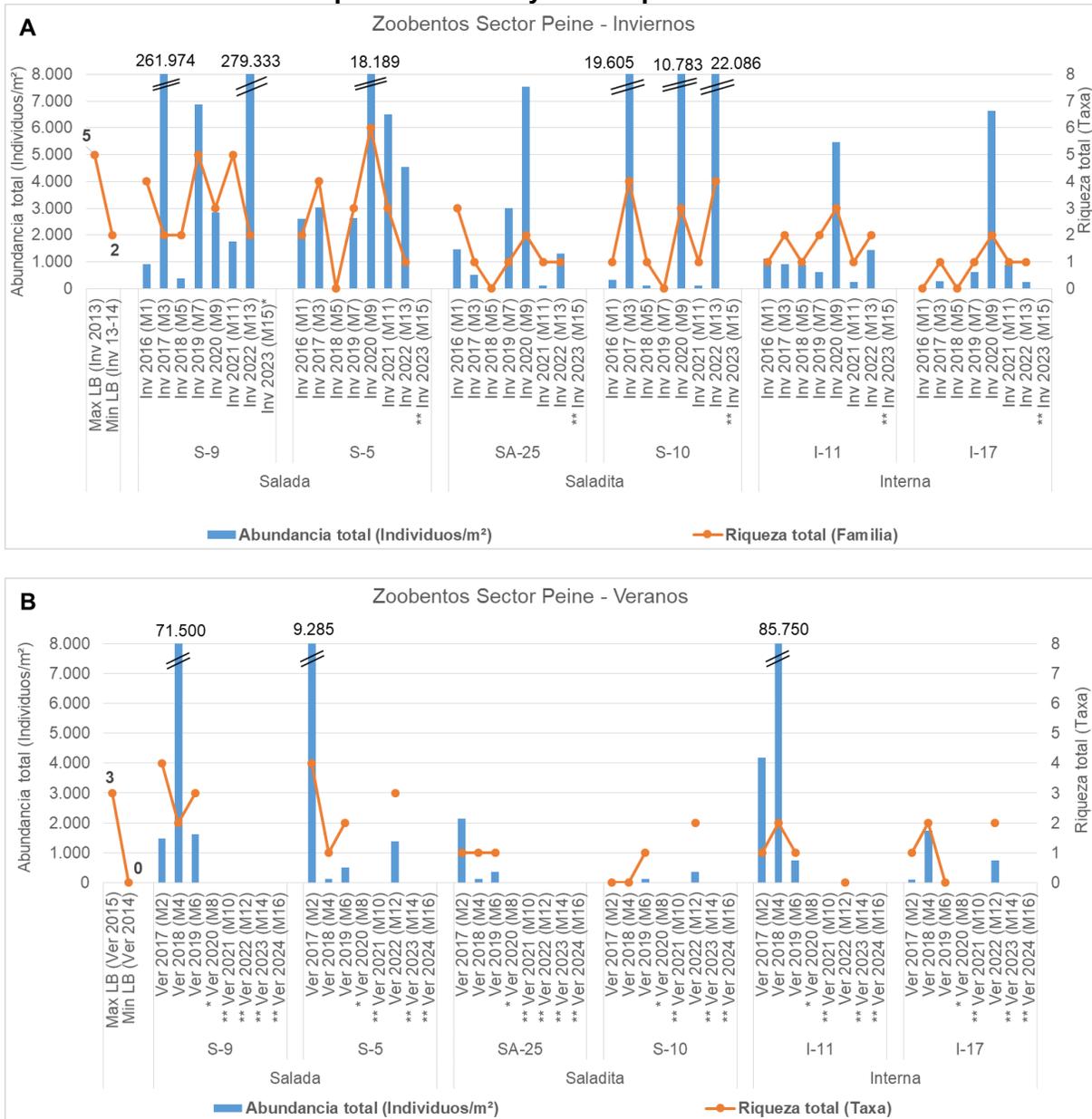


Fuente: Elaboración propia. (\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (\*\*) La estación TB-2, en verano 2019 y 2021 y en los inviernos de 2019, 2020 y 2021 se encontró sin agua superficial al momento de los muestreos, mientras que en invierno 2022 no fue posible obtener muestras de sedimentos debido a la compactación y entramado de raíces del terreno.

El zoobentos del **Sector Peine** tanto en las campañas de invierno como en verano, mostró en general bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 6 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada. Las abundancias totales en Peine durante los inviernos y veranos monitoreados mostraron valores en general bajo los 10.000 ind/m<sup>2</sup>, excepto en invierno 2017 para las estaciones S-9 y S-10, en verano 2018 en las estaciones S-9 e I-11, en invierno 2020 en las estaciones S-5 y S-10 y en invierno 2022 en las estaciones S-9 y S-10, registrándose un máximo de abundancia total de 279.333 ind/m<sup>2</sup> en S-9 en 2022. Cabe mencionar que, en la mayoría de las estaciones del sector, se incrementaron las abundancias notoriamente en invierno 2020, lo cual se puede relacionar con su ciclo reproductivo anual, considerando que las campañas de muestreo se realizaron al finalizar el invierno (casi comienzos de primavera), donde se encuentran las condiciones favorables para su reproducción y desarrollo larvario (**Figura N° 13-115**).

En relación con los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros, exceptuando por S-9 en verano 2019, donde dominaron los gasterópodos del género *Heleobia* sp. De los dípteros, cabe mencionar a las familias Stratiomyidae, Empididae y Ceratopogonidae para laguna Salada, las familias Empididae, Ceratopogonidae y Dolichopodidae para laguna Saladita y Ceratopogonidae y Ephydriidae para laguna Interna.

**Figura N° 13-115. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (\*\*) En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

### 13.5.1.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

En relación con el registro histórico de plantas vasculares acuáticas en los sectores La Punta y La Brava, vegas de Tilopozo y Peine, obtenidas en las campañas realizadas en la LB invierno (2008, 2013 y 2014) y los monitoreos invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023), se ha detectado un total de 11 especies. Mientras que, el registro histórico de plantas vasculares acuáticas en los sectores Peine, La Punta y La Brava y vegas de Tilopozo, entre las campañas realizadas en la línea de base verano (2014 y 2015) y los monitoreos verano (2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024), se ha detectado un total de 9 especies (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Las especies reportadas para ambos periodos estacionales son similares y corresponden a las especies reportadas corresponden a las hidrófitas *Ruppia filifolia*, *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata*, *Puccinellia frigida*, *Triglochin concinna*, *Baccharis linearis* y *Sarcocornia fruticosa*. Salvo excepciones como *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófita *Patosia clandestina* ambas reportadas en campañas de línea de base de invierno. En relación con el origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 13-34**).

**Tabla N° 13-34. Resumen de especies detectadas en los sectores La Punta, La Brava, vegas de Tilopozo y Peine, en campañas de línea de base y monitoreo.**

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton pectinatus</i> *	Espiga de agua	Hidrófita	Introducida
	Juncaceae	<i>Patosia clandestina</i> *	Cojín de vega	Helófita	Nativa
	Ruppiaceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis linearis</i>	Romerillo	Helófita	Nativa

\*Especies detectadas solo en Línea de Base en periodo de invierno.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la riqueza histórica total detectada en el sector **La Punta - La Brava** y periodo estacional, se observó en periodo de invierno un registro total de plantas vasculares acuáticas de 3 especies las que correspondieron a *Ruppia filifolia*, *Sarcocornia fruticosa* y *Triglochin concinna*. Mientras que para el periodo de verano se registraron 4 especies *R. filifolia*, *S. fruticosa*, *T. concinna* y *P. frigida*. Respecto de las coberturas totales estas fueron registradas desde invierno 2016 y verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

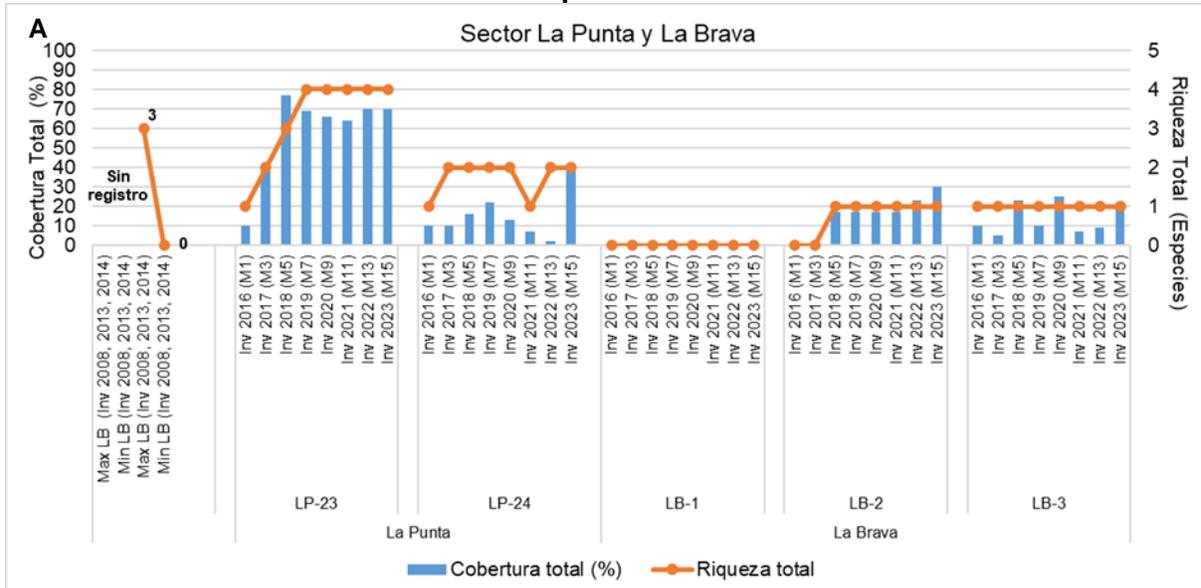
Cabe destacar que en las campañas de invierno y verano 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 (solo invierno), 2021, 2022, 2023 y 2024 se observó que la hidrófita *Ruppia filifolia*, siempre estuvo sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. Por otra parte, solo en las orillas de laguna La Punta se reportó la presencia de la helófita emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* fue reportada en invierno 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023 y en verano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024 en las lagunas La Punta y La Brava.

En las campañas de LB, invierno 2008 no se registraron plantas vasculares acuáticas. En invierno 2013 se registró la presencia de *R. filifolia* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava). En tanto en la laguna La Punta no se observó la presencia de plantas. Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus* y *P. clandestina* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (ubicadas en la Laguna La Punta). Cabe destacar que en estas campañas no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies (**Figura N° 13-116 A**). En las campañas de LB, verano 2014 y 2015 se registró la presencia de una especie de planta vascular acuática, *R. filifolia* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en LP-23 y LP-24 (ubicadas en la laguna La Punta) (**Figura N° 13-116 B**).

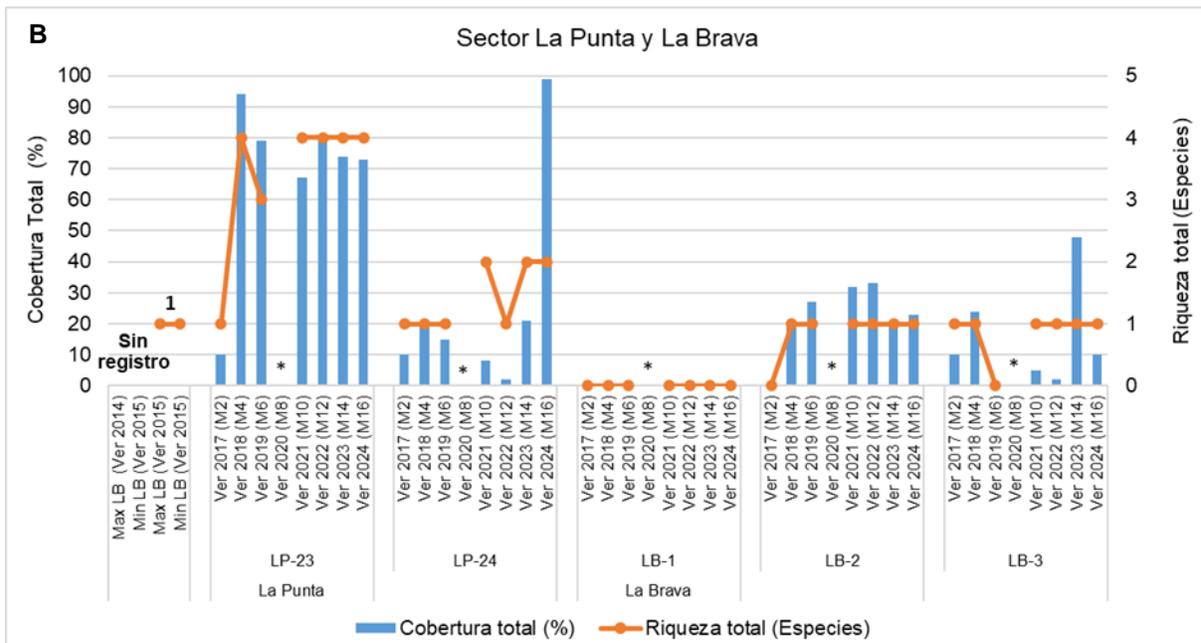
La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (LB 3 especies y monitoreos 4 especies) en periodo invierno y verano, presentando máximos de 4 especies en invierno 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 y verano 2018, 2021, 2022, 2023 y 2024 en la estación LP-23 (**Figura N° 13-116 A**). Se aprecia un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies en periodo de invierno y verano, lo que podría estar asociado a las condiciones del hábitat en el periodo, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

Respecto de las coberturas totales, si bien no existen registros de LB, se observa que la estación LP-23 ha presentado valores máximos en invierno con un 77% y en verano 2018 un 94%, manteniéndose normalmente con coberturas superiores a 60% (con excepción de la campaña de verano de 2017). Mientras que, para las restantes estaciones de monitoreo las coberturas presentaron valores diferentes entre campañas de invierno, con registros entre 2 y 23% y en campañas de verano con registros entre 2 y <50% (**Figura N° 13-116 B**).

**Figura N° 13-116. Rango de variación temporal por estación de monitoreo y LB, de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.



(\* ) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Fuente: Elaboración propia.

En relación con la riqueza histórica detectada en el sector **vegas de Tilopozo** se observó un registro de plantas vasculares acuáticas de 5 especies en invierno y 4 especies en verano. Las que correspondieron a la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* y las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus* (solo invierno), *Baccharis linearis* y *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. El sector de vegas de Tilopozo no presenta registro de línea de base, por lo que se analizan los registros de invierno 2016 y de verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

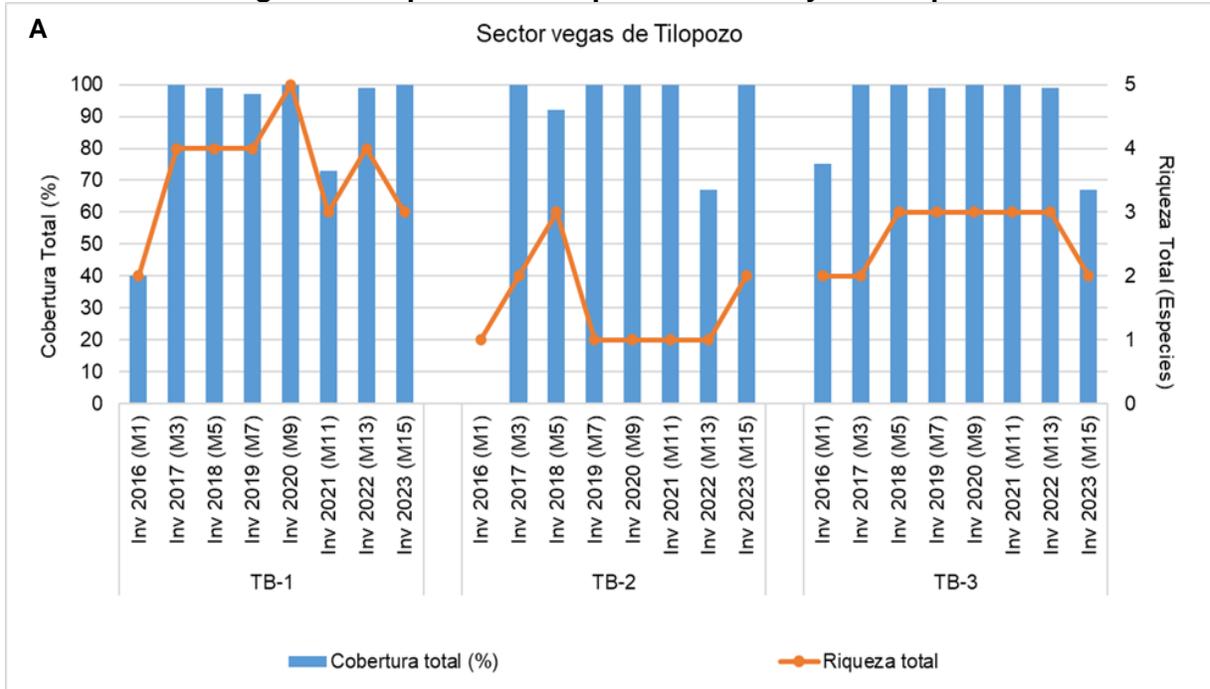
La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 5 especies en invierno y verano, encontrándose diferencias entre estaciones de muestreo. Cabe consignar que, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos tipo pozas y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico (**Figura N° 13-117 A y B**).

En relación las coberturas totales de las plantas acuáticas, en periodos de invierno y verano, el sector vegas de Tilopozo, se han mantenido más bien estables y con valores altos. En invierno las coberturas entre las estaciones de monitoreo oscilaron entre 75 y 100%, excepto para la campaña de invierno 2016 que presentó una cobertura total de 40%. Mientras que, en periodos de verano, los valores también fueron altos oscilando entre 80 y 100%, excepto para la campaña de verano 2017 donde se observó una cobertura total del 10% (**Figura N° 13-117 A y B**).

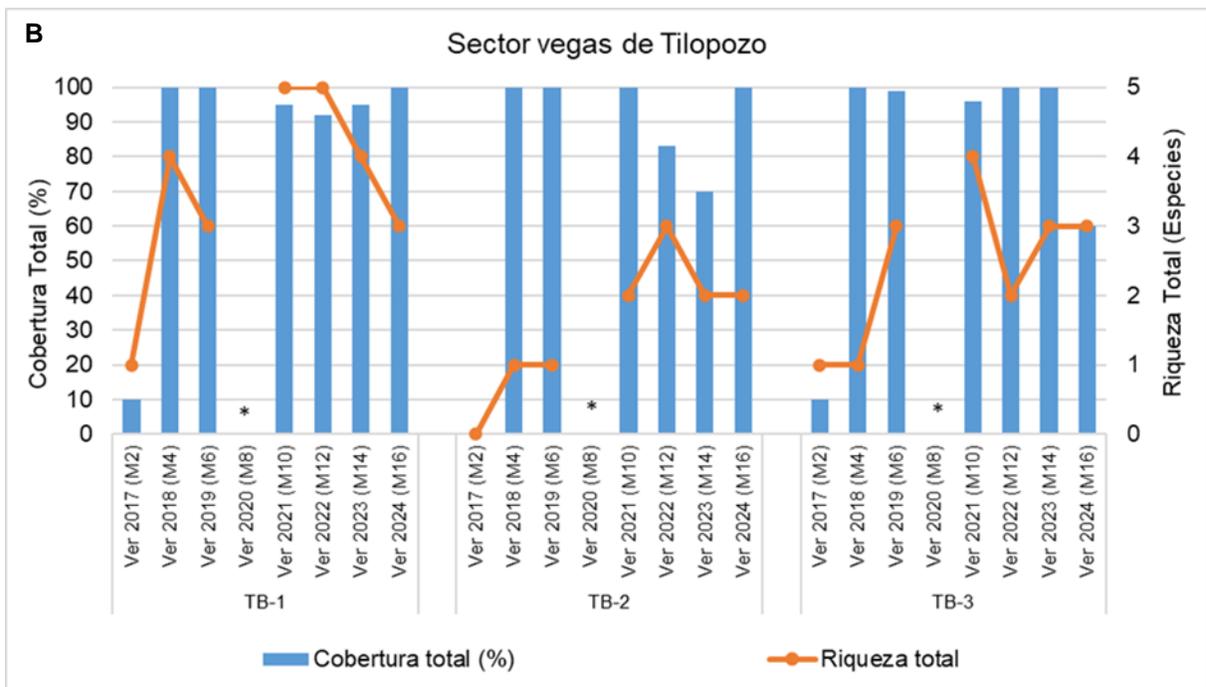
Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de LB) las estaciones de muestreo presentan altas coberturas de la hidrófita *Zannichellia palustris* como de las helófitas reportadas. *Z. palustris* durante el periodo de verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3. Además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces. Por otra parte, la estación TB-2, sigue presentando una alta cobertura de *S. californicus*, debido a que la estación sigue manteniendo agua subsuperficialmente manteniendo la disponibilidad para las plantas vasculares acuáticas.

Finalmente, en términos comparativos vegas de Tilopozo, registró un número mayor de especies respecto del sector Peine y menor a La Punta y La Brava, siendo este último sector el que presentó mayor riqueza de especies. Respecto de las plantas vasculares acuáticas reportadas en los tres sectores estudiados correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria (Ramírez y San Martín 2006).

**Figura N° 13-117. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.



(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la riqueza histórica detectada en el **sector Peine** se observó para la línea de base un bajo registro de plantas vasculares acuáticas en periodos de invierno, con 2 especies *Ruppia filifolia* y *Potamogeton pectinatus*, ambas detectadas de modo intermitente en periodo de invierno. Este comportamiento, estaría asociado a las condiciones del hábitat, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

En las campañas de invierno de LB respecto a la composición y riqueza de géneros, en invierno 2008 se observó *R. filifolia* únicamente en la estación S-5 (Laguna Salada), en invierno 2013 la misma especie fue registrada en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna y en la estación SA-25 (laguna Saladita). Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus* en las estaciones S-5 y S-9 ambas de la laguna Salada, en las estaciones S-10 y SA-25 ambas de la laguna Saladita y en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna (**Figura N° 13-118 A**). Por otra parte, en relación con la riqueza de géneros detectada en la campaña invierno 2022 y en las campañas históricas del PMB (2016-2021), solo se ha detectado la especie *R. filifolia* en algunas estaciones de monitoreo las que correspondieron a S-5 y S-9 (Laguna Salada), SA-25 y S-10 (Laguna Saladita). Cabe señalar que, en invierno 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022, en la estación S-10 solo ha sido reportada la presencia de *R. filifolia*, debido a que esta especie ha presentado parches en el centro de la laguna (**Figura N° 13-118 A**).

Con relación a la riqueza de géneros detectada en las campañas históricas de verano LB (2014 y 2015) y PMB (2017-2022), se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas, en la cual se han detectado solo 3 especies, las que correspondieron a *Ruppia filifolia*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa* (**Figura N° 13-118 B**). En las campañas de línea de base verano 2014 y 2015 en la mayoría de las estaciones de las lagunas Salada, Saladita e Interna, fue reportada la presencia de *R. filifolia*, *D. spicata* y *S. fruticosa* (verano 2014) y de *R. filifolia* (verano 2014 y 2015). En las campañas de monitoreo de verano (2017-2023), y coincidiendo con el periodo de invierno, solo fue detectada *R. filifolia*, en algunas estaciones de monitoreo las que correspondieron a S-5 (Laguna Salada), SA-25 y S-10 (Laguna Saladita). En tanto, en la laguna Interna durante la LB para la riqueza, si bien se observó la presencia de un máximo de 3 especies en periodos de verano, posteriormente en las campañas de monitoreos de invierno y verano (2016 a 2023), no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 13-118 B**).

Por último, hay que señalar que excepcionalmente, no se registraron monitoreos en la campaña verano 2021, 2023 y 2024, debido al cierre por el periodo reproductivo de flamencos. debido a restricciones determinadas por la comunidad de Peine, y en la campaña verano 2020 debido a la pandemia COVID-19.

En relación con las coberturas totales en periodo de invierno, comenzaron a ser registradas desde la campaña de invierno 2016 en adelante, en tanto, las campañas de invierno 2008 y 2014 no fueron consideradas. Por otro lado, para el periodo de verano se empezaron a

registrar desde verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Como se indicó el periodo de monitoreo de invierno, en Peine, solo ha sido detectada *Ruppia filifolia*, para la cual se han registrado coberturas totales en invierno 2016, en la estación S-5 (laguna Salada) y en las estaciones SA-25 y S-10 (ambas ubicadas en laguna Saladita) con porcentajes <10%. Así mismo, invierno 2017, se registró en la estación S-5 y en las estaciones SA-25 y S-10, coberturas entre 30 y 25% respectivamente. En invierno 2018, en las estaciones S-5 y SA-25 las coberturas para esta especie correspondieron a 73 y 25% y en invierno 2019 oscilaron entre 47 y 57% en las estaciones S-5 y SA-25 respectivamente. En tanto, en invierno 2020, se reportó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25 y S-10, con coberturas de 10 y 47% en S-5 y SA-25 respectivamente. Mientras que, en invierno 2021 fue detectada en S-5 (13%), S-9 (23%) y SA-25 (55%). En invierno 2022, se detectó *R. filifolia* en las estaciones de Salada, Saladita e Interna, excepto en la estación I-17 que no presentó plantas acuáticas. Las coberturas presentaron registros variables los que oscilaron entre 4 y 77%. Por último, se reportó la presencia de *S. fruticosa* en la estación S-9 en invierno 2022 (**Figura N° 13-118 A**).

Cabe señalar que, en invierno 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022, en la estación S-10 solo ha sido reportada la presencia de *R. filifolia*, dado que esta especie presentó parches en el centro de la laguna y en la estación S-9, en la campaña de invierno 2021 y 2022 fue detectada la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 13-118 A**).

Con relación a la riqueza histórica detectada en periodo de verano, como se señaló anteriormente no hubo acceso en verano 2023 y 2024, por tanto, se realizará el comparativo entre las campañas históricas de verano LB (2014 y 2015) y PMB (2017-2022). En la LB se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas, en la cual se han detectado solo 3 especies, *Ruppia filifolia*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. En las campañas de línea de base verano 2014 y 2015 en la mayoría de las estaciones de las lagunas Salada, Saladita e Interna, fue reportada la presencia de *R. filifolia*, *D. spicata* y *S. fruticosa* (verano 2014) y de *R. filifolia* (verano 2014 y 2015).

La riqueza de especies por estación de monitoreo, han oscilado en términos temporales (línea de base y monitoreos) en periodos de verano entre 0 y 3 especies. Cabe destacar que, en la laguna Interna en los monitoreos de verano no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas.

Respecto de las coberturas totales, han sido registradas desde verano 2017 en adelante, no existiendo registros de línea de base (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

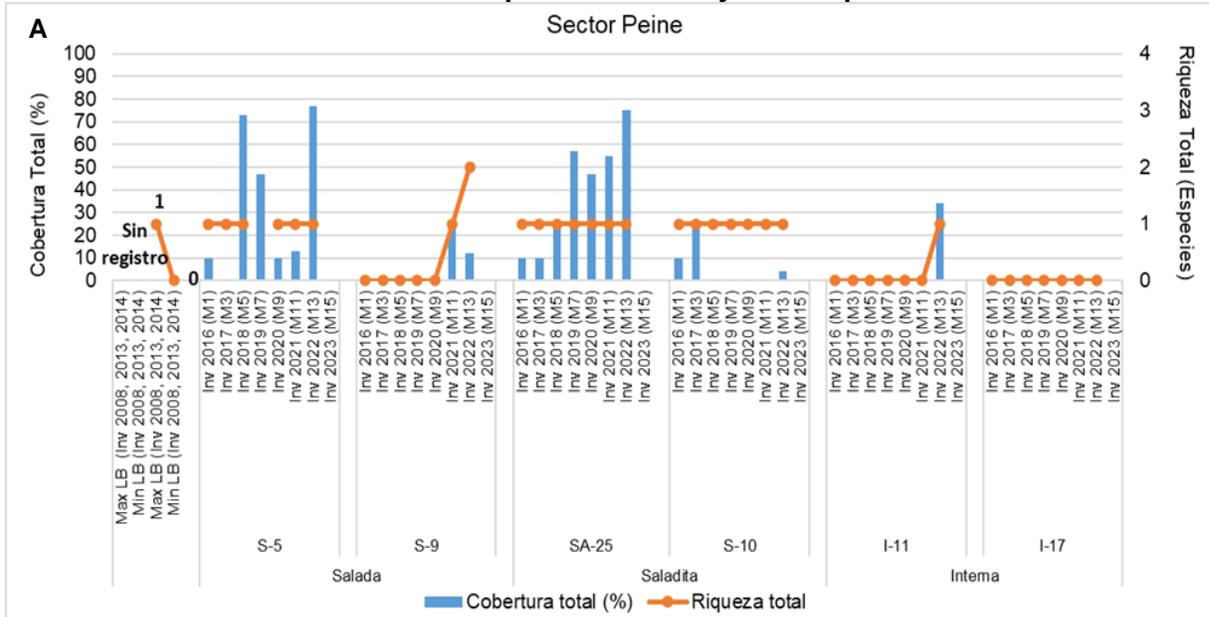
En periodo de verano desde 2017 a 2022, en la estación S-5, se registraron coberturas de *R. filifolia* entre 10 y 80%, en tanto, en la estación S-9 se tiene coberturas solo para verano 2019

del orden del 80%. Por otro lado, en la laguna Saladita, estación SA-25, se observaron coberturas entre 10 y 70%, en tanto, en S-10 en verano 2019 se reportó una cobertura del 10%, y en los restantes periodos de verano solo ha sido registrada la presencia en la parte del centro de la laguna (**Figura N° 13-118 B**). Cabe destacar, que en las campañas de línea de base de verano 2014 y 2015 no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies.

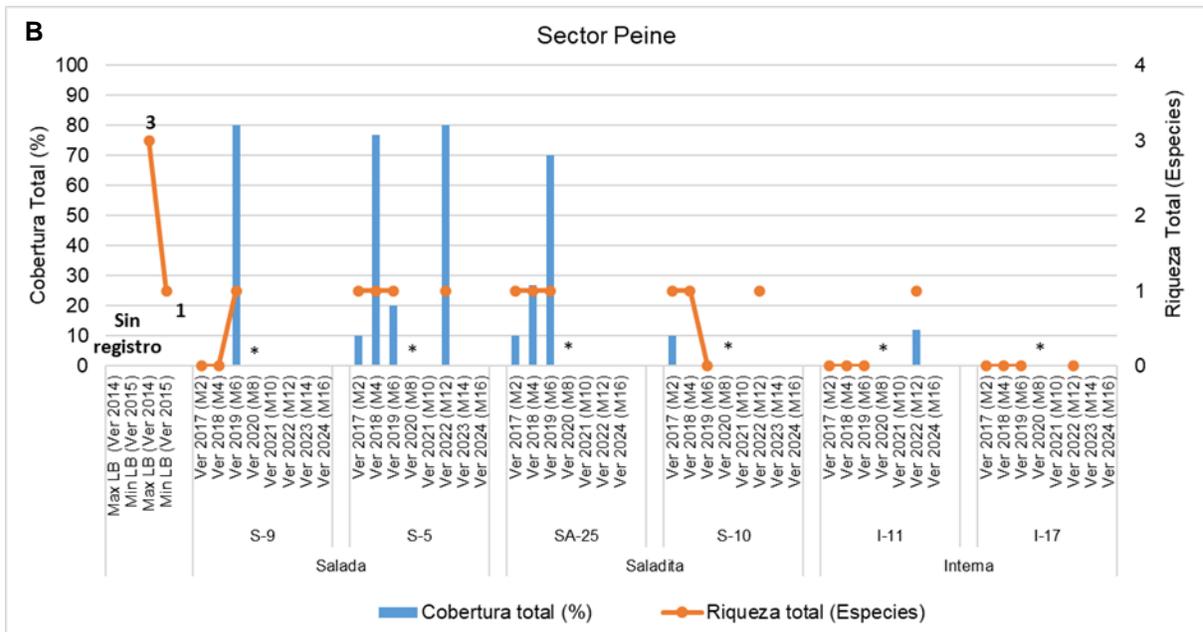
Para las coberturas, en monitoreos de verano en la estación S-5 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), se ha observado un aumento en términos temporales, hasta sus registros de 2019 (**Figura N° 13-118 B**). Cabe señalar que no se han registrado campañas de monitoreo en verano 2020, 2021, 2022 (solo algunas estaciones), 2023 y 2024 por no acceso y por la pandemia COVID-19.

Para las coberturas, en monitoreos de verano en la estación S-5 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), se ha observado un aumento en términos temporales, hasta sus registros de 2019. Cabe señalar que no se han registrado campañas de monitoreo en verano 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 por impedimentos en el acceso y por la pandemia COVID-19.

Figura N° 13-118. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(\*) Para la campaña de invierno 2023 no se realizó monitoreos en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.  
Fuente: Elaboración propia.



(\*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021, 2023 y 2024 no se realizó monitoreos en lagunas de Peine debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25). Fuente: Elaboración propia.

## 13.6 En relación con Área de Lagunas

### 13.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el octavo año de monitoreo 2023 con respecto a los registros históricos se presenta en la Tabla N°13-35.

**Tabla N°13-35. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales y datos obtenidos en el monitoreo 2023 (invierno y verano), respecto de los registros históricos (Adenda 5 RWL, 2015).**

Sistema Lagunar	Superficies Lagunares (ha) - Mínima Histórica - Adenda 5**		Superficies Lagunares (ha) - Monitoreo Fase Operación*			
			Invierno 2023		Verano 2023/2024	
	ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>
<b>Imágenes alta resolución</b>						
La Punta y La Brava	31,6 feb-14	316.000	45,5	455.090,3	26,6	266.615,0
Peine	48,9 mar-06	489.000	29,4	293.950,5	22,0	220.413,0
<b>Imágenes media resolución</b>						
La Punta y La Brava	19,2 mar-73	192.000	39,4	393.827,2	28,8	287.706,7
Peine	25,4 nov-75	254.000	62,2	621.914,9	26,9	268.952,2

Dónde: \*Superficies a partir de modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2023 y diciembre 2023.

(\*\*): Las fechas en que se obtuvieron los registros históricos, corresponden a las que se presentaron en el "Apéndice B.

*Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de agua* del "Anexo 2 Plan de Manejo Biótico" y que se presentaron para el PSAH en el "Apéndice L. Monitoreo de dinámica espaciotemporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de imágenes satelitales LANDSAT", para AR y MR respectivamente, 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

De los resultados de las campañas para el año 2023, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno 2023 se encuentran por sobre el mínimo histórico en los sectores La Punta – La Brava y bajo el mínimo histórico en los sectores Peine; y para la estación de verano (diciembre 2023) los sistemas presentaron superficies bajo el mínimo histórico. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies de referencia en AR son las determinadas en meses distintos (marzo – abril) a los reportados semestralmente en el PMB (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en los sistemas lagunares. En el caso de las imágenes satelitales de media resolución los resultados muestran que en ambos sectores y para las temporadas de invierno y verano, las superficies se encuentran sobre el mínimo histórico.

Las diferencias señaladas respecto a la situación a los registros históricos, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan: i) variabilidad estacional intranual, ii) variabilidad estacional interanual, dado que ambas condiciones tienen directa relación con la recarga del acuífero en cada periodo; iii) a la metodología del procesamiento de las imágenes, que favorece la mayor definición de las respuestas espectrales de las diferentes coberturas, y iv) validación en terreno y análisis visual, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado.

Con el objetivo de fortalecer el análisis de la serie temporal que abarca las superficies de las lagunas, y teniendo en cuenta que durante la evaluación del proyecto (Anexo 1 Apéndice L) se recopilaban datos que forman parte de los registros históricos, se incorporan al análisis comparativo las superficies de las lagunas obtenidas a partir de imágenes Landsat desde 1972 hasta 2014.

Este enfoque tiene como objetivo principal explorar la evolución de las superficies lagunares y principalmente sus tendencias de mediano y largo plazo, considerando a su vez los últimos ocho años de seguimiento semestral. Se busca determinar si estas variaciones forman parte de una variabilidad histórica tanto interanual como intranual. Este análisis se realiza considerando todos los factores que influyen en el funcionamiento de las lagunas en cada uno de los sistemas que conforman el área de estudio.

Es importante destacar que, además de las imágenes de alta resolución ya disponibles, se han incorporado imágenes de media resolución, provenientes de Landsat, para ampliar la perspectiva y enriquecer la comprensión de las dinámicas lagunares. El análisis de estas imágenes se integra en la presente discusión, contribuyendo así a una evaluación más completa y robusta de la evolución temporal de las superficies lagunares en el contexto del PMB.

De esta forma, y desde el punto de vista de las imágenes Landsat, se cuenta con los siguientes conjuntos de información, cuyo alcance metodológico particular para el análisis de la superficie lagunar se describe brevemente a continuación:

1. Superficie mediante imágenes Landsat, 1972-2014, Adenda 5 RWL (2015).

La comparativa de los datos históricos desde 1972 a 2014, realizados durante la evaluación del proyecto (Apéndice L de Anexo 1, por SGA y Argongra), estudió la evolución de las superficies lagunares en fechas representativas de la máxima y mínima extensión de las lagunas (invierno, verano; julio y diciembre, respectivamente). La metodología empleada establece un proceso de clasificación en función de un índice de agua (NDWI) y un proceso de depuración de las zonas obtenidas, mediante fotointerpretación (gabinete). El resultado, son las superficies de los cuerpos de agua en metros cuadrados ( $m^2$ ) de los sistemas lagunares La Punta - La Brava y Peine, permitiendo con ello la visualización de la evolución temporal interanual de los sistemas estudiados (*Apéndice L. Monitoreo de dinámica espaciotemporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de imágenes satelitales LANDSAT, del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5*).

2. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2023, PMB N°7 (serie complementaria Adenda 5 RWL (2015)).

Como complemento al análisis mencionado previamente, se incluye en este PMB la serie temporal interanual correspondiente a los años 2016 a 2023. En este contexto, la metodología empleada se asemeja a la aplicada en la Adenda 5 RWL (2015). Se mantiene la referencia a los meses de máxima y mínima extensión lagunar (agosto y diciembre; inviernos y veranos), así como la estimación de la superficie lagunar a través del índice NDWI. No obstante, en esta ocasión, la estimación de la superficie lagunar se realiza mediante la creación de "máscaras de agua", es decir, una clasificación binaria que distingue entre valores de agua y no agua. El resultado final implica el análisis de la frecuencia de píxeles con valores positivos para agua ( $NDWI > 0$ , con un umbral establecido en 0) y su conversión a metros cuadrados ( $m^2$ ). El valor de umbral se determinó a través de la observación de histogramas, el muestreo aleatorio de píxeles y la verificación de los umbrales utilizados en los monitoreos realizados entre 2016 y 2023. Este ejercicio permitió identificar que los píxeles con valores positivos reflejan la variación del índice NDWI en áreas ocupadas por la laguna, mientras que los valores negativos están mayormente asociados a otros tipos de cobertura.

Para todas las imágenes, la automatización del proceso de adquisición de los registros de NDWI se llevó a cabo mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE). Dentro de las etapas metodológicas y durante el preprocesamiento de cada imagen Landsat, se aplicó la corrección

atmosférica de la reflectancia superficial. Este proceso elimina los efectos de la atmósfera en las mediciones de la luz reflejada por la superficie terrestre.

Utilizando algoritmos especializados dentro de la plataforma GEE, se estimaron y ajustaron los efectos atmosféricos en las bandas espectrales, lo que permitió obtener valores de reflectancia más precisos y comparables entre diferentes imágenes y momentos de captura, de acuerdo con los valores de georreferenciación ya determinados.

### 3. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2023, PMB N°1 a N°8 (seguimiento RCA 21/2016)

En tercer lugar, se dispone de los resultados obtenidos de superficie lagunar mediante imágenes Landsat, los cuales han sido reportados en el marco de la RCA 21/2016 en los informes PMB N°1 a N°8, y cuya metodología se explica en detalle en la sección 11.1.5 de este informe. Como puede desprenderse de dicha sección, la metodología considera un modelo de clasificación supervisada basado en una serie de parámetros espectrales, así como la validación en terreno y/o fotointerpretativa.

De esta forma, las superficies resultantes del PMB entregan en mayor detalle las superficies de los cuerpos de agua, ya que cuentan con la combinación de cuatro índices espectrales y el trabajo en terreno y/o fotointerpretativo como base para la definición de áreas del recubrimiento agua. No obstante, estas pueden ser contrastadas referencialmente con la serie de tiempo de NDWI histórica (1972 – 2014) y su complemento (2016 – 2023), ya que estas establecen los rangos ocupados por cuerpos de agua en un contexto de larga data.

A pesar de que las áreas determinadas a partir de las imágenes Landsat involucran diversas metodologías utilizadas por distintos proveedores en su análisis para Albemarle en el pasado, estas diferencias no constituyen obstáculos para ampliar la perspectiva global sobre el comportamiento histórico de los sistemas lagunares. Las principales diferencias radican en la automatización del proceso y la validación fotointerpretativa como parte del cálculo de superficies.

En consecuencia, se sostiene que la información recopilada a partir de las imágenes Landsat ofrece una visión comprensiva del comportamiento histórico, y por ende, se analiza de manera conjunta. Este enfoque busca ampliar el espectro de variabilidad en las superficies lagunares en comparación con el análisis basado en imágenes de alta resolución (AR).

Es importante señalar que las imágenes de alta resolución corresponden únicamente a 4 o 5 entre los años 2006 y 2015. Además, es pertinente destacar que estas imágenes se tomaron específicamente en marzo-abril para el sistema Peine, y entre enero - abril para La Punta - La Brava.

En síntesis, de manera complementaria al análisis interanual realizado con imágenes Landsat, en la presente sección se realiza un análisis por sector de la variación intranual que toma como

referencia la máxima cantidad de imágenes Landsat disponibles por año (Ver **Anexo Área de Lagunas**) tomando en consideración aquellas que no presenten errores de origen o alta cobertura de nubes. La serie intranual permite visualizar los cambios entre periodos secos – lluviosos y su posible relación con variables ambientales (precipitación).

Finalmente, se presenta para cada sector un análisis de los resultados de superficie lagunar obtenidos en el marco de PMB, utilizando imágenes de alta resolución, los cuales son contrastados referencialmente con datos de superficie lagunar determinados mediante imágenes de alta resolución en el Anexo 2 de la Adenda 5. Al respecto, es importante destacar que existen diferencias metodológicas en la determinación de ambas series de superficies (PMB y Adenda 5), siendo los principales aspectos para considerar: diferentes tipos de imágenes de alta resolución, diferente metodología de clasificación supervisada, que la validación de terreno sólo se realiza en PMB y temporalidad de las imágenes.

Considerando lo anterior, a continuación se describe brevemente para cada sistema lagunar, su funcionamiento y dinámica y su análisis considerando los registros históricos tanto interanuales como intranuales. Esta caracterización ha sido extraída del *Apéndice I: Funcionamiento Lagunar, del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, de la Adenda 5.*

#### **13.6.1.1 La Punta - La Brava**

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

De acuerdo con la información histórica, el origen de la alimentación de las lagunas del Sistema La Punta - La Brava se sitúa en las zonas distales en el extremo sur de la cuenca a mayor altura, caracterizadas por aguas cloruradas sódicas, dulces a salobres y de composición isotópica ligera representativa de las aguas de recarga de la región, provenientes de los acuíferos de Monturaqui y Negrillar. Después de atravesar los acuíferos de Monturaqui y Negrillar, las aguas alcanzan la Zona Marginal de manera subterránea a través del Callejón de Tilopozo, no existiendo evidencias de un cauce activo que pudiese producir escorrentía superficial. En menor medida, también se producen entradas procedentes del Cordón de Lila en la zona de Tucúcaro.

Una vez que las aguas subterráneas llegan a la Zona Marginal, en las proximidades de las Vegas de Tilopozo, comienza a producirse evaporación directamente desde el terreno, comenzando la dinámica de disolución y precipitación de sales. La evolución de la composición química del agua de sur a norte indica que el enriquecimiento en sales se produce principalmente por fenómenos de disolución hasta llegar a las lagunas.

En la mayor parte de la Zona Marginal la evaporación es suficiente para mantener los niveles por debajo de la superficie. Sin embargo, en el área de las lagunas de este sistema, debido a la magnitud del flujo subterráneo procedente del sur y al encuentro con la salmuera, se genera una interfase salina que se dispone perpendicular al flujo por lo que el agua dulce-salobre se ve forzada a ascender, aflorando en superficie y dando origen a las lagunas. Ocasionalmente se produce un mayor caudal de entrada a las lagunas, después de períodos húmedos y coincidiendo con la época invernal, lo que produce flujos subsuperficiales hacia el Núcleo que alcanzan el límite con la costra de cloruros formando los “open pools”, donde se evapora y disuelve la costra, enriqueciéndose en sales disueltas que avanzan en el tiempo hacia el interior del Núcleo, convirtiéndose en salmuera.

Finalmente, se indica que la superficie de las lagunas está condicionada principalmente por la variación estacional de la evaporación, y en menor medida por la ocurrencia de episodios de lluvia, que lo que provocan es un aumento general de los máximos y mínimos anuales en función de si se está en un período húmedo o uno seco.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria)

En la Figura N°13-119 se presenta la serie histórica entre los años 1972 - 2023 de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, asociadas al índice NDWI. Esta serie permite analizar tendencias o evolución. En ella se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno (indicados en colores celestes); y con los registros más bajos en general en verano, dándose en marzo 1973 (192.469 m<sup>2</sup>), diciembre 2016 (130.500 m<sup>2</sup>) y diciembre 2020 (99.900 m<sup>2</sup>).

Se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), y para las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan una variabilidad en sus valores con cierta tendencia al descenso de los valores desde el verano del año 2000. En general, se observa que la diferencia entre superficies entre los inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 2008, mostrando un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno, con un descenso en las coberturas estimadas.

**Figura N°13-119. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5 RWL (2015); y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2023.

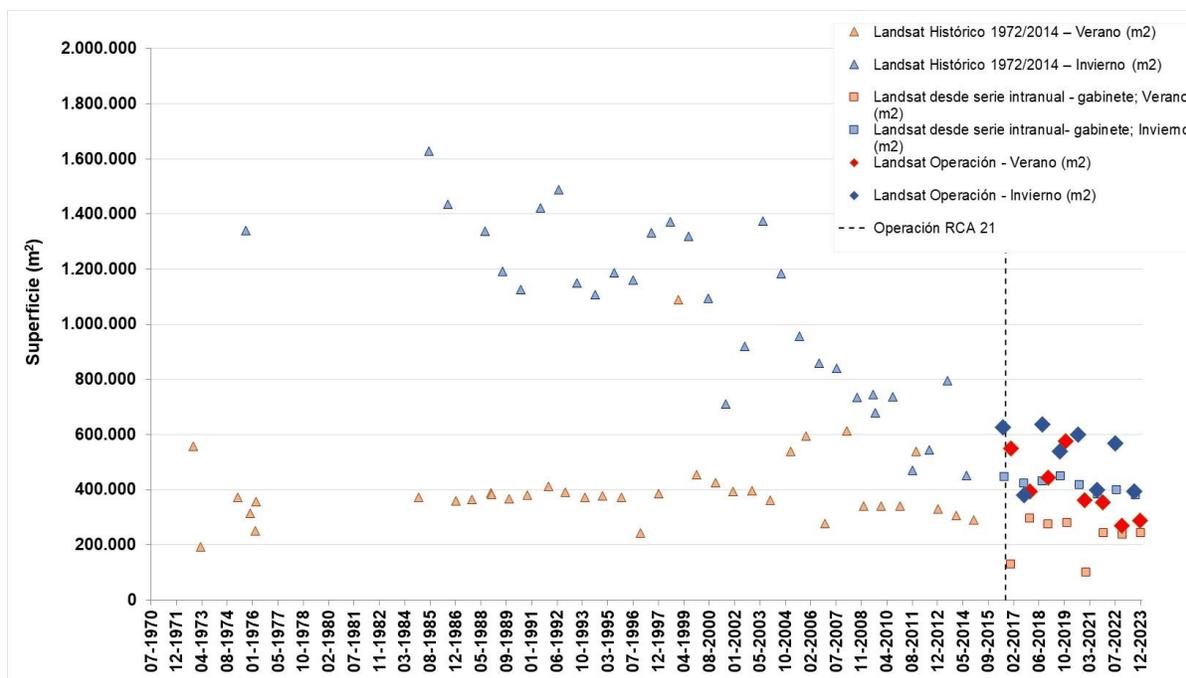
- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria)

Los registros de superficies estimadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2023, como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI para el sector La Punta - La Brava y similares a los datos históricos, tanto en invierno y verano, considerando las superficies históricas de 1972 - 2014 y también las superficies Landsat de los años 2016 - 2023, como se observa en la **Figura N°13-120**.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PMB, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presentan combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno (cuando se cuentan con las autorizaciones de acceso a las áreas de interés) y análisis visual (fotointerpretación en imagen de alta resolución y/o imagen dron UVA), cuya contribución corresponde a la depuración de

los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado.

**Figura N°13-120. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector La Punta - La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5 RLW (2015); y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2023.

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

En relación con las variaciones intranuales, la Figura N°13-121 muestra la fluctuación de las superficies lagunares, considerando el índice NDWI a partir de imágenes Landsat, tal como se presentó en el proceso de evaluación del proyecto, para los años 2013-2014. Para el presente análisis, se ha llevado a cabo un ejercicio similar para el periodo enero 2016 - diciembre 2023, estableciendo una relación con las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de la Planta Salar Albemarle y los datos pluviométricos por sector.

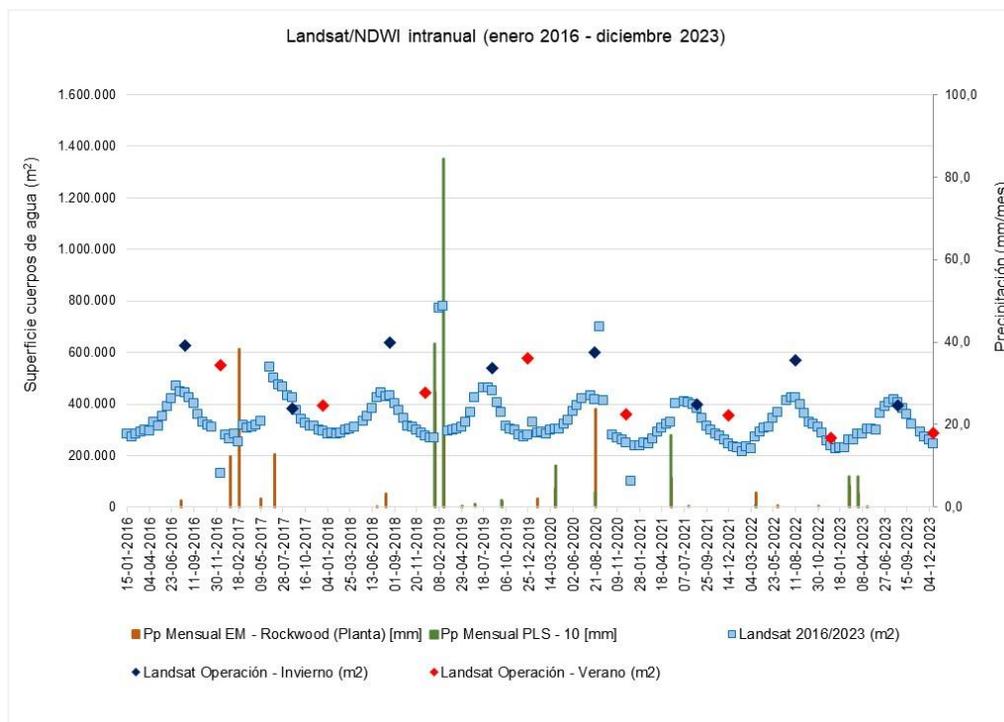
Desde este análisis intranual, se observa que durante los años 2016-2023 (Figura N°13-121), si bien se observa aumentos de superficie lagunar en invierno y descensos en período de verano, la amplitud de la variación es pequeña y no se observa una correspondencia directa entre las superficies observadas con la precipitación medida en la Estación Meteorológica Planta Salar, sino más bien se da una respuesta puntual e inmediata, como se verifica en el abrupto aumento de la superficie producto de la precipitación caída en invierno en agosto 2020

(23,8 mm estación planta; 3, 68 mm pluviómetro sector LPLB). Posterior a ello, la superficie lagunar retoma la tendencia previa al evento de lluvia. Los datos resultantes de los pluviómetros por sector muestran correspondencia en los eventos de precipitaciones de febrero 2019, agosto 2020 y mayo 2021 con las variaciones en las superficies lagunares, pero con la consiguiente baja abrupta a estos eventos.

No se han registrado a la fecha eventos de precipitaciones, entre agosto de 2023 y diciembre de 2023, que puedan generar un aporte a las superficies lagunares en seguimiento como lo observado en las fechas citadas.

En general, se observa que las superficies más altas se tienen en los meses de invierno, entre julio hasta mediados de septiembre y los valores más bajos en primavera – verano, entre noviembre – marzo. De lo anterior, se puede señalar que la variación intranual de las superficies lagunares de La Punta-La Brava, tendría una relación más directa con la evapotranspiración y por ende con los niveles de aguas subsuperficiales, dejando la precipitación como un factor secundario dado que esta produce variaciones significativas de la superficie sólo para eventos de “alta precipitación” y de muy corto plazo. Este comportamiento es coherente con el observado en los niveles de pozos y barrenos del sector. De los registros de superficies calculadas semestrales del PMB durante los monitoreos 2016 – 2022, Figura N°13-121, se observa que coinciden temporalmente con las variaciones en la serie de tiempo de NDWI intranual y el mayor aporte de precipitaciones (agosto 2020).

**Figura N°13-121. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, y a modo de complemento, la Figura N°13-122 siguiente presenta la serie Landsat histórica período 1985-2024, estimada por HIDROMAS, 2024 para Informe<sup>39</sup> de Investigación N°4 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (Mayo 2024), con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo con mayor frecuencia de imágenes y de larga data. Los registros obtenidos fueron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

Al igual que para la serie 2016-2023 del seguimiento PMB, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7, 8 y 9 entre los años 1985 y 2024. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (Surface Reflectance, Level-2), una resolución espacial de 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo con su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

<sup>39</sup> Informe Técnico de Investigación N°4 Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Mayo 2024)- Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 1049249 del 29-05-2024.

De la variación histórica, Figura N°13-122, se observan dos periodos de descenso en las áreas máximas anuales (áreas de invierno), previo al año 2012. El primer período desde el año 1994 a 2000 con una reducción de 1.400.000 m<sup>2</sup> a 705.000 m<sup>2</sup> aprox. y el segundo período de 2003 a 2012 con una reducción de 890.000 m<sup>2</sup> a 420.000 m<sup>2</sup> aprox. En el segundo periodo el área mínima de verano muestra además una reducción en el orden de 60.000 m<sup>2</sup>.

Los dos periodos se encuentran interrumpidos por 2 años (2001 y 2002) donde se aumenta el tamaño máximo de las lagunas hasta 1.230.000 m<sup>2</sup> en julio de 2002. El aumento en el tamaño coincide con 81,7 mm de lluvia caída en marzo de 2001 y 20 mm en marzo de 2002 en la estación de EM – SCL.

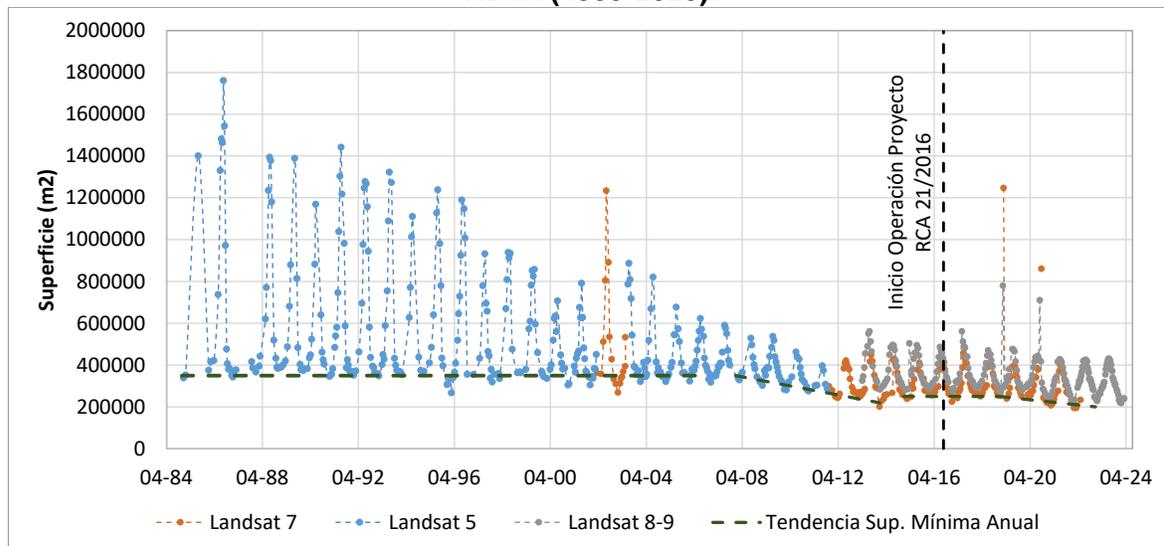
Posteriormente, entre 2004-2005 y 2012 hubo un fuerte descenso de la superficie lagunar máxima, lo que también se evidencia, aunque en una menor tasa, para las superficies basales (verano) desde el año 2007 aproximadamente. Cabe señalar que estas se mantuvieron relativamente estables para todo el período anterior, de 1984 a 2006.

Para el período de 2013 a la actualidad, se puede observar que las superficies lagunares determinadas a partir de las imágenes satelitales Landsat 8-9 (en gris) son levemente superiores a las de Landsat 5-7, debido a diferencia en las características de sus sensores, por lo que se debe tener precaución al evaluar este período en relación con el anterior. Si bien los registros presentan una mayor estabilidad que en los años previos, las superficies máximas de invierno muestran una tendencia al descenso a partir del año 2018, mientras que las superficies mínimas de verano también presentan una tendencia a la disminución desde 2020. En este sentido, cabe destacar que este período (hasta 2020) ha sido caracterizado como un período de mayor precipitación, de acuerdo con los registros históricos. Asociado a esto último, actualmente las mayores superficies de inundación están relacionadas con eventos de precipitación y no al llenado del sistema durante el invierno

Finalmente, dada la escala del gráfico y la ventana temporal presentada histórica (1985-2024), en el periodo 2013 a 2024, considerando las variaciones previas del sistema lagunar La Punta - La Brava, se observa una cierta estabilidad en el tamaño máximo y mínimo del área de las lagunas, que es lo que se visualizaba antes de tener toda la serie, que podría estar asociado al efecto amortiguador de los eventos de precipitaciones que ha ocurrido con una frecuencia de 2 años durante los meses de verano de 2013, 2015, 2017, y 2019 (y también agosto de 2020) (Ver Figura N°13-121).

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2024 para el Sistema Lagunar La Punta y La Brava, se observa una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización pero que a escala más pequeña de tiempo sigiendo presentando disminución.

**Figura N°13-122. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2023).**



Fuente: HIDROMAS, 2024 para Albemarle.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

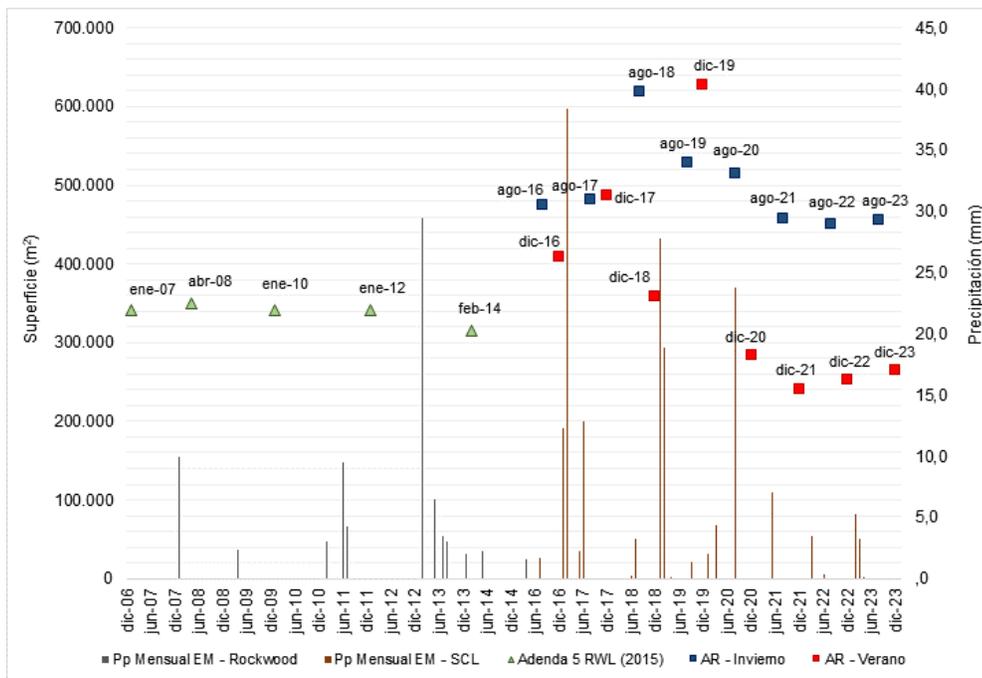
Con respecto a la variación de las superficies lagunares semestrales del PMB, en la Figura N°13-123 se presentan las imágenes de alta resolución para el sector La Punta - La Brava, junto a las superficies históricas AR presentadas en la Adenda 5 RWL (2015). Las superficies semestrales derivadas de imágenes de alta resolución del PMB muestra variaciones con respecto las superficies lagunares de los registros históricos, especialmente durante los meses de verano.

Hasta el verano de diciembre de 2019, estas superficies se encontraban por encima de los registros de AR previos históricos. No obstante, a partir del verano de 2020, se ha observado que se sitúan por debajo de dichos valores. Para los meses de invierno no hay variaciones, con valores sobre los registros de la Adenda 5 RWL (2015). Es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución fueron determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PMB (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

De los aportes de precipitaciones en el periodo 2016 – dic 2023, los cuales se presentaron en general en el periodo de los meses de enero – marzo y mayo - julio; solo uno puede asociarse temporalmente al aumento de superficie lagunar, el cual corresponde a las lluvias de junio y julio de 2018 (3,5 mm acumulados). Por otra parte, las menores superficies registradas en el mes de diciembre de los años 2020 a 2023 no presentan lluvias asociadas. Sin embargo, de dicha información no se puede asegurar una relación entre el bajo aporte de precipitaciones y

la baja en las superficies señaladas, ya que los años para los cuales se cuenta con áreas históricas de AR (Figura N°13-123) coinciden con el periodo de menos lluvia y épocas de verano, pero también con el periodo de quiebre en la tendencia de las superficies lagunares (2008-2014).

**Figura N°13-123. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

- Comparación de imágenes de la representación espacial de las superficies lagunares entre monitoreos 2016 al 2023

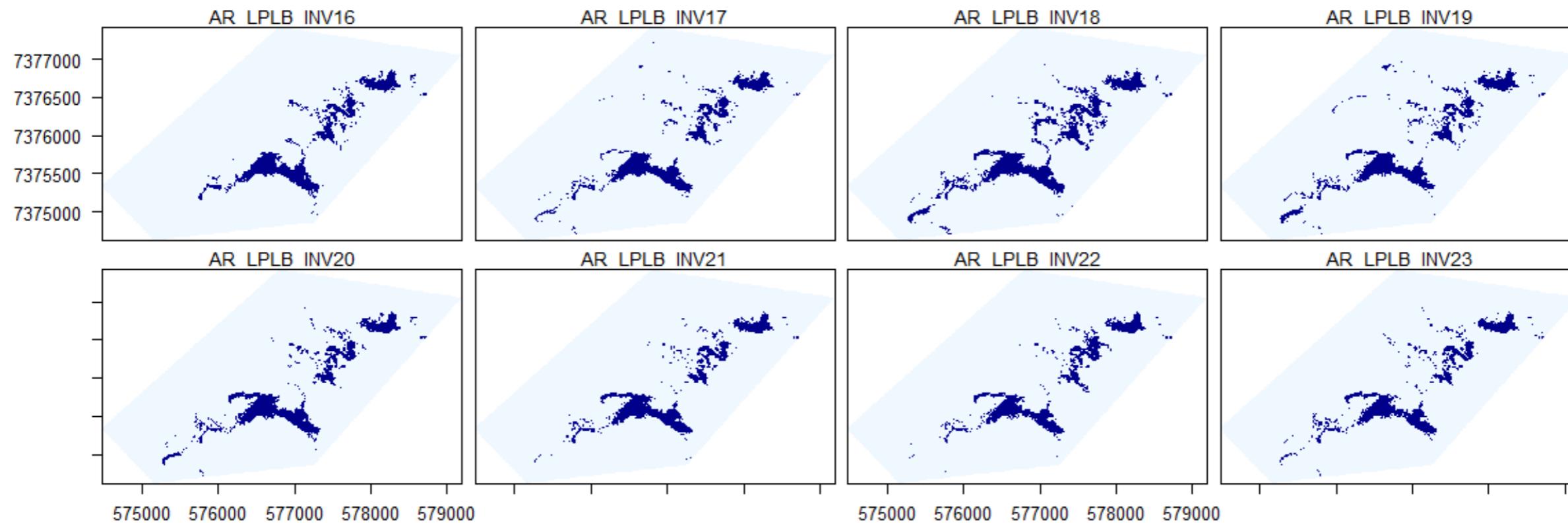
Las Figura N°13-124 a la Figura N°13-127, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo, desde 2016 a la fecha y su representación espacial respectivamente. Para el sector de La Punta - La Brava, la comparación de la superficie calculada en este sistema revela patrones cíclicos. En los registros de invierno entre 2016 e invierno de 2023, se evidencia un crecimiento constante hasta 2018, seguido de una disminución continua hasta invierno de 2021. Aunque se observa una ligera recuperación en invierno de 2023, se mantiene dentro del rango de los últimos tres inviernos.

Entre los veranos de 2016 y 2023, se observa una variación estacional al descenso, con registros desde el verano de 2020 hasta la fecha mostrando coberturas menores en comparación con los veranos de 2016 a 2019. Sin embargo, se destaca un leve aumento en las coberturas de cuerpos de agua en el verano de 2023 con respecto a 2021 y 2022.

El seguimiento de verano de 2019 exhibe la máxima cobertura lagunar registrada hasta la fecha. La diferencia marcada entre 2019 y 2021 se atribuye al aumento de precipitaciones, expandiendo los límites naturales de lagunas y canales.

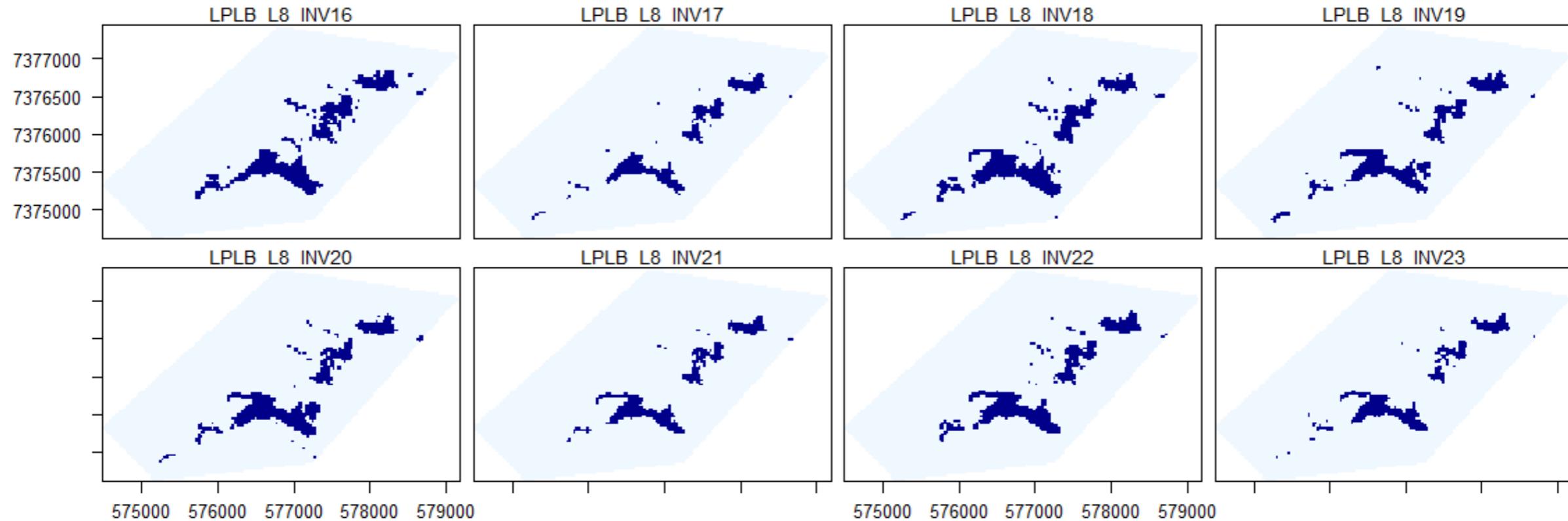
En resumen, la tendencia general a lo largo del tiempo muestra un patrón de crecimiento inicial, seguido de una disminución constante y, finalmente, una estabilización en los últimos años (ver **Anexo Variaciones Anuales AR PMB**).

**Figura N°13-124. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A.**



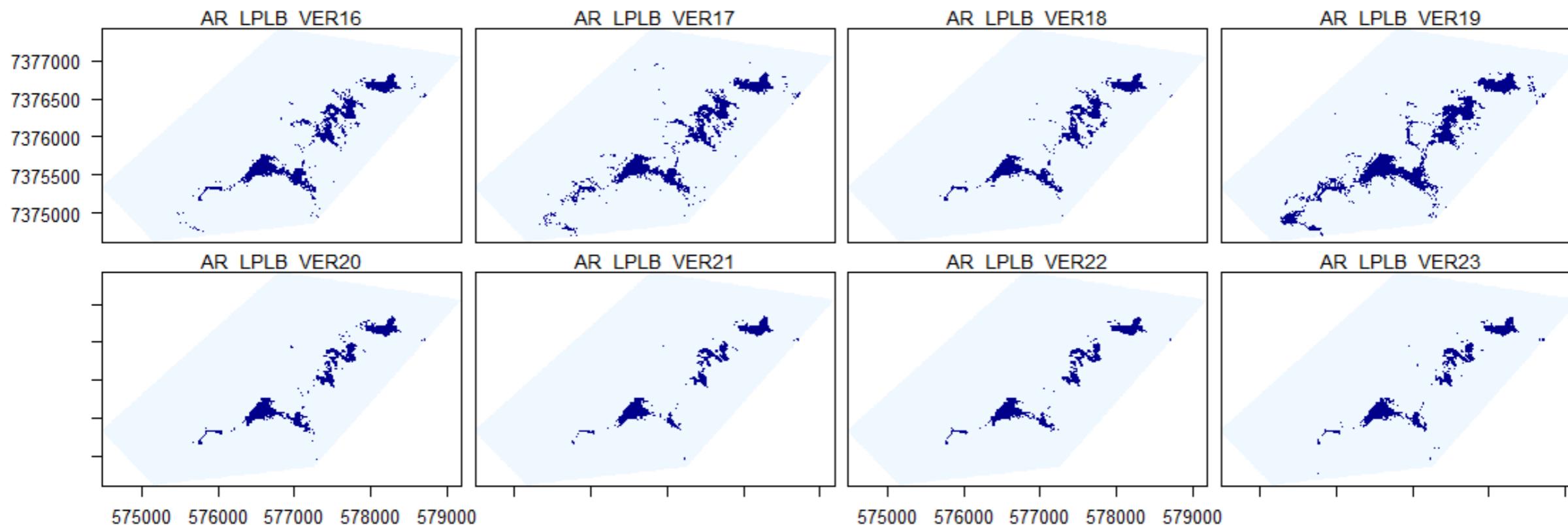
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2023

Figura N°13-125. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



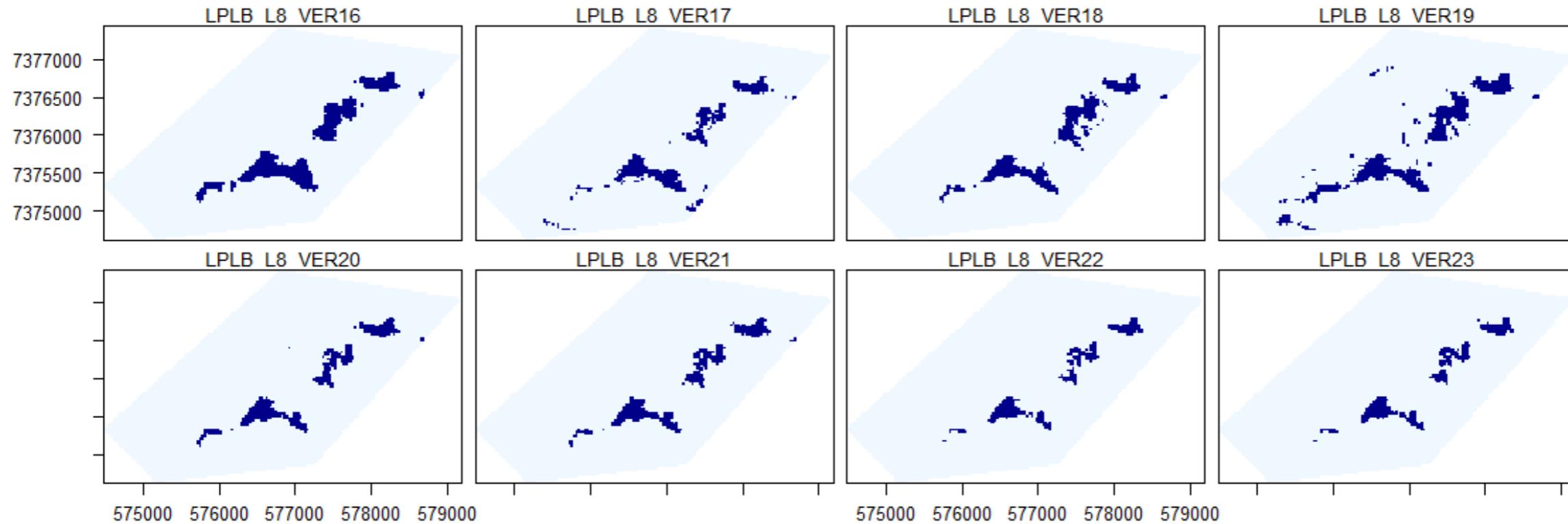
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2023

Figura N°13-126. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2023

Figura N°13-127. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2023

### 13.6.1.2 Peine

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

El Modelo conceptual del funcionamiento del Sistema Peine indica 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 los 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.

Junto con lo anterior, además se observa que en los meses estivales se produce precipitación de sales por sobresaturación debida a evaporación, mientras que en los meses de invierno y primavera es cuando mayor es el caudal hacia la Laguna Interna, produciéndose disolución.

Las columnas litológicas obtenidas en las perforaciones realizadas en la zona (Adenda 5 RWL (2015)), han mostrado la existencia de sedimentos finos laminados; principalmente limos carbonatados y materia orgánica, cuyo origen es la deposición en el fondo de antiguas lagunas. Este tipo de sedimentos presenta valores bajos de conductividad hidráulica vertical por lo que la conexión entre el acuífero y el fondo de las lagunas no es buena. El aporte principal es por tanto superficial, ya sea a través de los canales existentes, o bien a través de las orillas de las lagunas.

Para las lagunas de Peine, del modelo conceptual se tiene que existiría una cierta correlación entre el área ocupada por las lagunas, y la precipitación registrada. No se observa una variación estacional de la superficie lagunar por influencia de la evaporación, si fuese así se observaría un aumento de superficie en julio de 2014 (**Figura N°13-128**) lo cual se corrobora con el análisis intranual año 2016-2023 de la misma Figura.

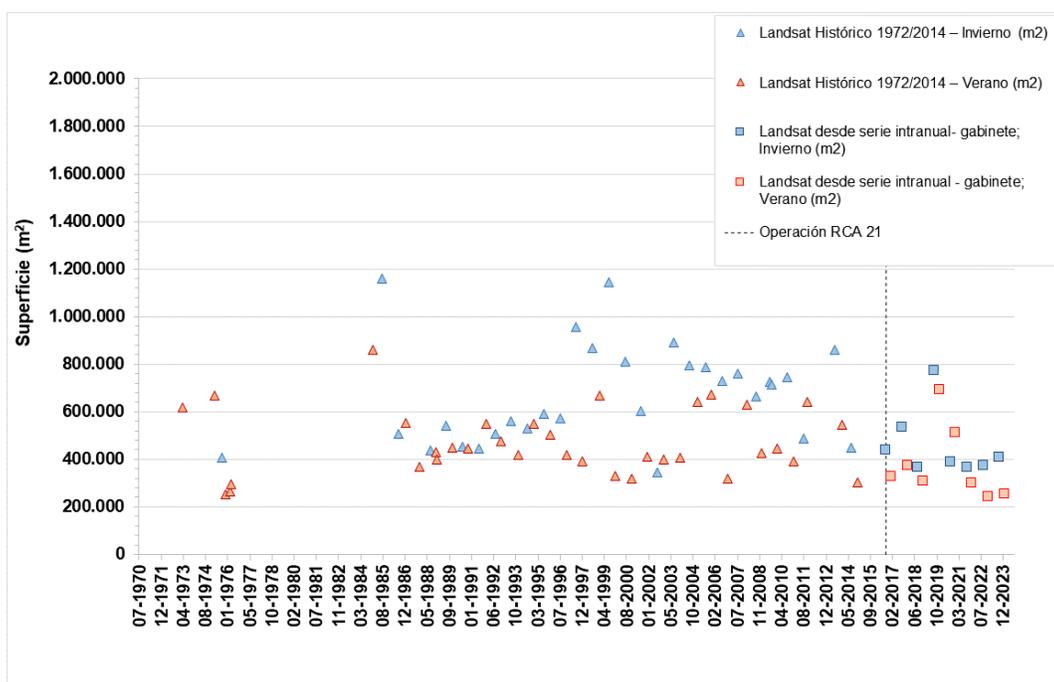
De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5 RWL (2015), se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, *“las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose en invierno. Mientras que el contenido isotópico y químico de la Laguna Salada tiende a ser menos evidente a los cambios de temperatura y de evaporación”*. La explicación para esto se encontraría dada su cercanía a la fuente que da origen a estas lagunas.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria)

En la **Figura N°13-128**, se presenta la serie histórica (1972 – 2023) de imágenes de mediana resolución. Durante los inviernos hasta 2014, se observa una variabilidad marcada, con cifras máximas alcanzadas en 1985, registrando una extensión de 1.158.818 m<sup>2</sup>, y cifras mínimas en 1975, con tan solo 405.419 m<sup>2</sup>. Este periodo invernal muestra fluctuaciones notables, destacando años como 1997, con una cifra máxima de 956.845 m<sup>2</sup>.

En contraste, los veranos hasta 2014 revelan una dinámica estacional diferente, con patrones de crecimiento y decrecimiento en las extensiones lagunares. Sin embargo, la serie temporal a partir de 2015 hasta 2023 muestra una tendencia a la baja en ambas estaciones (invierno y verano), con una cifra máxima importante en el invierno de 2019, alcanzando 774.900 m<sup>2</sup>. La comparación entre inviernos y veranos posteriores a 2014 revela, en su mayoría, valores que disminuyen con el tiempo, en ambas estaciones (m<sup>2</sup>) (ver **Figura N°13-128**).

**Figura N°13-128. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

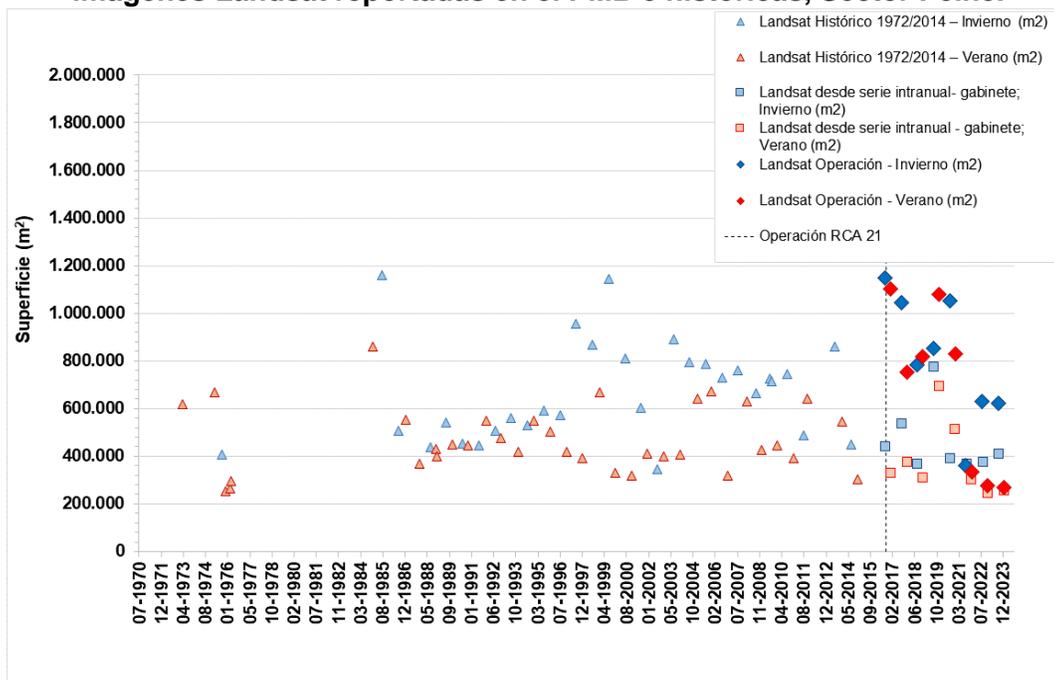
- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria).

En la Figura N°13-129 se presentan las superficies lagunares determinadas en el PMB entre los años 2016-2023, con relación a las superficies históricas determinadas mediante NDWI – Landsat (1972-2023). Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2023 como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según la variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 - 2023.

Para los años 2016, 2017 y 2020 las superficies de invierno reportadas se encuentran en el rango de las superficies máximas, así como los registros de verano de 2016 y 2019; mientras que las mínimas se presentan en los registros de invierno y verano de 2021 y veranos de 2022 y 2023, siendo los veranos los que presentan un mayor descenso.

Las diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados derivados de los informes semestrales dentro del marco del PMB encuentran su origen en diversos factores. Entre estos, se destaca la robustez adquirida en la metodología de procesamiento de imágenes. La inclusión de otros índices espectrales desempeña un papel fundamental, especialmente al considerar áreas con combinaciones variadas de recubrimientos, como la intersección entre vegetación y agua. La validación en terreno, realizada en conformidad con las autorizaciones para acceder a áreas de interés, y el análisis visual, que abarca la fotointerpretación de imágenes de alta resolución y/o imágenes capturadas por drones UVA, contribuyen significativamente. Estas contribuciones se traducen en la depuración precisa de los límites de los cuerpos de agua y la calibración efectiva del modelo de clasificación en función de las observaciones realizadas en el terreno.

**Figura N°13-129. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector Peine.**



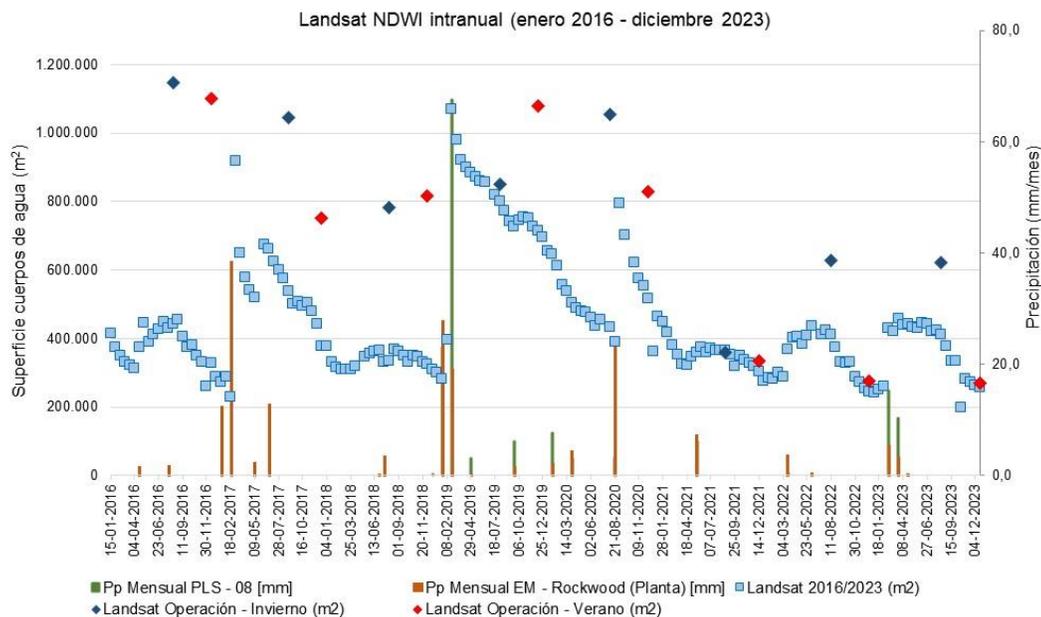
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Respecto a las variaciones intranuales para el sector Peine, en la Figura N°13-130 se observa la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat, durante los años 2016 – 2023 y junto con ello las precipitaciones de la estación ubicada en Planta Salar Albemarle y pluviométricos sector Peine. De este análisis intranual, la serie Landsat/NDWI muestra un aumento significativo entre febrero 2019 y enero 2020, seguido por una disminución hasta agosto 2020. Se destaca un fuerte incremento en septiembre 2020, seguido de fluctuaciones que mantienen las superficies alrededor de 340,000 m<sup>2</sup> desde marzo 2021 hasta finales de 2021. Estas variaciones se relacionan con eventos de precipitación, como se refleja con los datos pluviométricos importantes de febrero 2019, agosto 2020 y febrero 2023. Desde septiembre 2020 hasta la fecha, no se han reportado aumentos significativos, siguiendo un ciclo observado desde abril de 2021.

En relación con las fluctuaciones en las superficies de lagunas según el índice Landsat/NDWI entre 2016 y 2023, así como los registros calculados como parte del PMB, se destaca que estos últimos se sitúan dentro de los valores máximos y mínimos registrados hasta diciembre de 2023.

**Figura N°13-130. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, y tal como se han estudiado las lagunas La Punta y La Brava, con el objetivo de analizar la evolución histórica que ha tenido el sistema Peine, es que durante el año 2023 Albemarle encomendó el estudio de las superficies lagunares de este sistema desde una ventana temporal más amplia, con el objetivo de obtener la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares en un análisis de larga data. La Figura N°13-131 presenta esta serie Landsat histórica período 1985-2024, estimada para el Informe<sup>40</sup> de Investigación N°4 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (Mayo 2024). Los registros se obtuvieron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), y considerando todo el sistema Peine en su conjunto, es decir, lagunas Salada, Saladita e Interna.

Al igual que para la serie Landsat PMB 2016-2023, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7, 8 y 9 entre los años 1985 y Marzo 2024. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (*Surface Reflectance, Level-2*), una resolución espacial de 30m de

<sup>40</sup> Informe Técnico de Investigación N°4 Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Mayo 2024)- Entregado a la SMA a través de Comprobante 1049249 del 29-05-2023.

píxel, y se filtraron de acuerdo con su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

Analizando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI (1985-2024), Figura N°13-131, en general se observan tres periodos. El primer período entre 1985 a 1996, marcado por descensos y ascensos tanto de las superficies mínimas de verano como de las de invierno, llegando a un mínimo de casi 200.000 m<sup>2</sup> en el año 1996. El segundo período entre 1996 a 2013, caracterizado por una variabilidad estacional más o menos en rangos estables, entre 400.000 m<sup>2</sup> a 600.000 m<sup>2</sup> aproximadamente, con la excepción de una subida abrupta en marzo del año 2002. Finalmente, un tercer período desde el 2013, en el cual la laguna cambia su comportamiento, presentando una variación no estacional y con aumentos abruptos de superficies en promedio cada 2 años aprox. Estos aumentos o peaks de áreas, han coincidido con las precipitaciones del último período (Ver Figura N°13-130).

Es importante mencionar que las superficies obtenidas desde Landsat 8-9 (del periodo abril 2013 a marzo 2024) son diferentes (mayores) que las de Landsat 5-7, dado que provienen de diferentes satélites, con resoluciones espectrales diferentes, por lo que se recomienda no comparar sus resultados en cuanto a magnitudes absolutas, sino que sus tendencias. En relación con esto último, se observa consistencia en cuanto a la tendencia observada en ambos registros.

El sistema lagunar Peine se compone de 3 lagunas, además de una zona de inundación terminal (Avance Interna) y la Figura N°13-131 da cuenta de una caracterización del sistema en su totalidad, pero no necesariamente representa la variabilidad de cada subsistema individual, estando los registros dominados por las lagunas o cubetas de mayor extensión espacial.

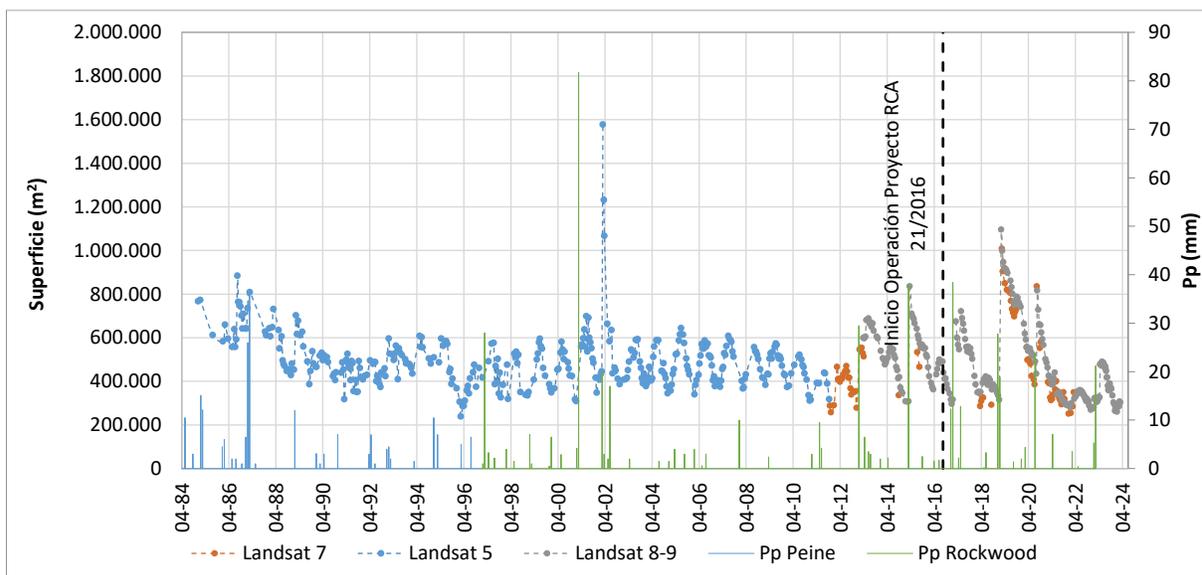
Como fue mencionado, desde el 2013 comienza un ciclo distinto, con altas precipitaciones de verano ocurridas cada 2 años. Lo anterior, provoca una respuesta del sistema, en donde las superficies ascienden en el corto plazo, y luego descienden para retomar nuevamente las superficies previas a la precipitación. Como fue indicado previamente, en este periodo se mantiene la estacionalidad de la superficie lagunar, pero la magnitud de los cambios estacionales es muy inferior a la de los cambios asociados a los eventos de precipitación.

Finalmente, luego de las precipitaciones de agosto de 2020, disminuyeron los eventos de precipitación, lo que se tradujo en una reducción de la superficie lagunar, principalmente por los cambios en las zonas de inundación.

Las variaciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2024 para el Sistema Lagunar Peine, se puede observar una variabilidad histórica y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas, y que en el último período 2013 - 2023 se ve relacionado con el aporte y escasez de precipitaciones.

**Figura N°13-131. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2023)**



Fuente: HIDROMAS, 2024 para Albemarle.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

En relación con las variaciones de las superficies semestrales del PMB a través de imágenes de alta resolución para el sector Peine (ver Figura N°13-132), se evidencia también una cierta variabilidad estacional manifestada por la diferencia entre las áreas de invierno y verano. Esta variación es apreciable en la mayoría de los años, a excepción de los períodos 2017 y 2018. Estos hallazgos, respaldados por los resultados obtenidos a partir de imágenes Landsat, revalidan el modelo conceptual formulado durante la evaluación del proyecto. Según dicho modelo, en general, no se observa una variación estacional significativa en la superficie lagunar de Peine debido a la influencia de la evaporación.

En relación con las magnitudes de las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), se observa que las superficies semestrales del PMB, desde el invierno de 2021 hasta la fecha, se sitúan por debajo de los registros previos mínimo histórico en AR, de 489,000 m<sup>2</sup>. Es importante resaltar en esta comparativa que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses diferentes a los informados semestralmente en el PMB, específicamente en agosto y diciembre. Este aspecto es significativo considerando la variabilidad intranual previamente demostrada, ya que las condiciones pueden diferir notablemente entre los meses mencionados.

Con respecto a las precipitaciones para el sector<sup>41</sup>, y considerando las precipitaciones registradas por estación Peine y en los últimos años la estación de Albemarle, observando la Figura N°13-132, se desprende que las precipitaciones de mayor aporte no siempre se relacionan temporalmente a superficies máximas o variaciones significativas en los cuerpos de agua del sector Peine, por lo que no puede relacionarse directamente el aporte de precipitaciones a la superficie lagunar.

Las mediciones de precipitaciones registradas por la estación meteorológica en la Planta Albemarle revelan ciertos patrones durante varios periodos. En los meses de enero a junio de 2017, se observa un aumento con un total acumulado de 65,7 mm para ese periodo (en contraste, la estación DGA - Peine reporta 45 mm acumulados en febrero de 2017). A pesar de este incremento, no se evidencia un efecto directo en las superficies de agua para los meses de agosto y diciembre de 2017, ya que estas se mantienen dentro del rango estimado para el sector.

En el caso de las precipitaciones de enero a abril de 2019, con un acumulado de 46,8 mm (5,5 mm según DGA - Peine), podría existir una relación con el aumento de las superficies según los informes semestrales de agosto y diciembre de 2019. Sin embargo, este volumen es menor en comparación con otras cifras reportadas que no han generado un aumento en las superficies lagunares del sector.

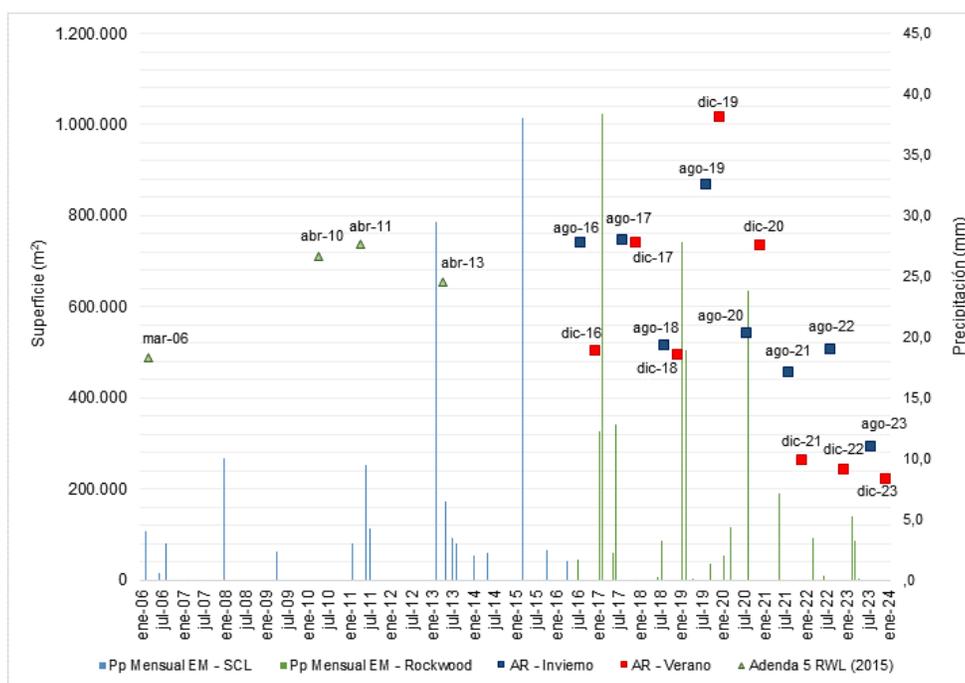
En agosto de 2020, con precipitaciones de 23,8 mm, se podría inferir un aumento en las superficies informadas en diciembre de 2020. En el periodo de enero a diciembre de 2021, solo se registran precipitaciones en mayo de 2021 (7,1 mm según datos de la Planta Salar), lo que podría indicar un leve aumento en las superficies para agosto de 2021. Para el año 2022, no se reportan precipitaciones, y en el periodo de 2023, las precipitaciones se registran en febrero y marzo, con un acumulado de 8,5 mm, sin generar variaciones significativas en las superficies de las lagunas.

---

<sup>41</sup> La recopilación de información de precipitaciones anuales de la estación meteorológica DGA – Peine, actualizada en línea hasta mayo de 2020, posterior a esta fecha no existen datos en DGA, encontrándose en estado de suspensión (diciembre 2023); por lo tanto, se agregan datos de las estaciones meteorológicas Planta Albemarle para contextualización.

Estos hallazgos revelan respuestas diversas y variaciones puntuales en las superficies, en algunos casos asociadas a eventos de precipitaciones, pero no de manera consistente. Esto sugiere una relación entre ambas variables, aunque se reconoce la influencia de otros factores como la evapotranspiración y los niveles subsuperficiales.

**Figura N°13-132. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.**



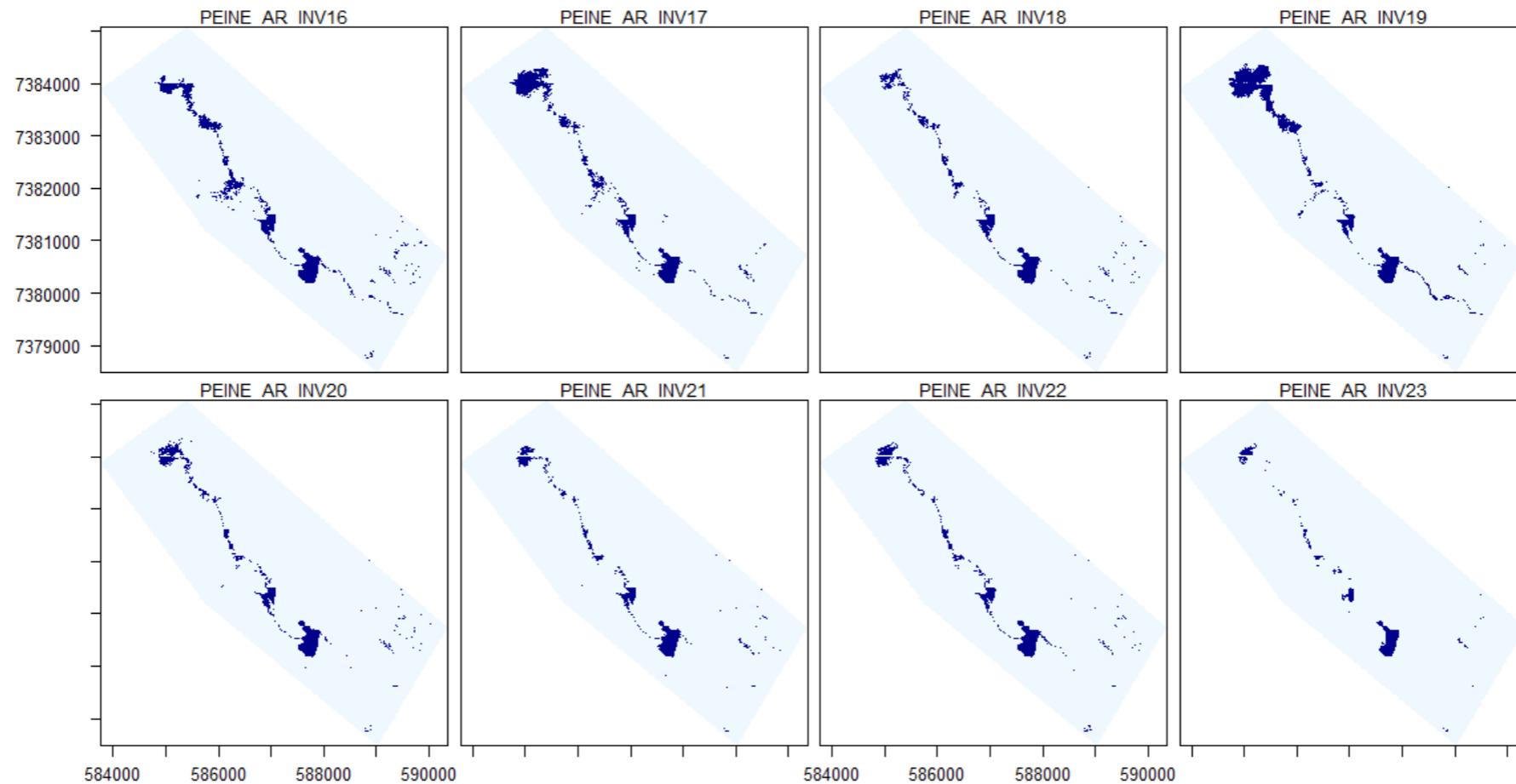
Fuente: Elaboración Propia

- Comparación de imágenes de la representación espacial de las superficies lagunares entre monitoreos 2016 al 2023

La **Figura N°13-132** a la **Figura N°13-136**, muestran el análisis de las superficies de lagunas en el sector Peine, evidenciando variaciones significativas en su extensión a lo largo de los años. Se observa un menor crecimiento en los inviernos de 2016 y 2017, seguido por una disminución en 2018. En el invierno de 2019, se registra un aumento considerable debido a las precipitaciones. A partir de 2020, se observa nuevamente una disminución persistente hasta 2021. Aunque se presenta una recuperación en el invierno de 2022, en 2023 se experimenta una nueva disminución. Estas fluctuaciones indican la influencia de condiciones climáticas y otros factores en la dinámica de las lagunas. La Laguna Interna destaca como una parte significativa de los cambios, mostrando variaciones notables en su zona de inundación. En el verano de 2023, se observa una mayor disminución en las zonas de interconexión entre

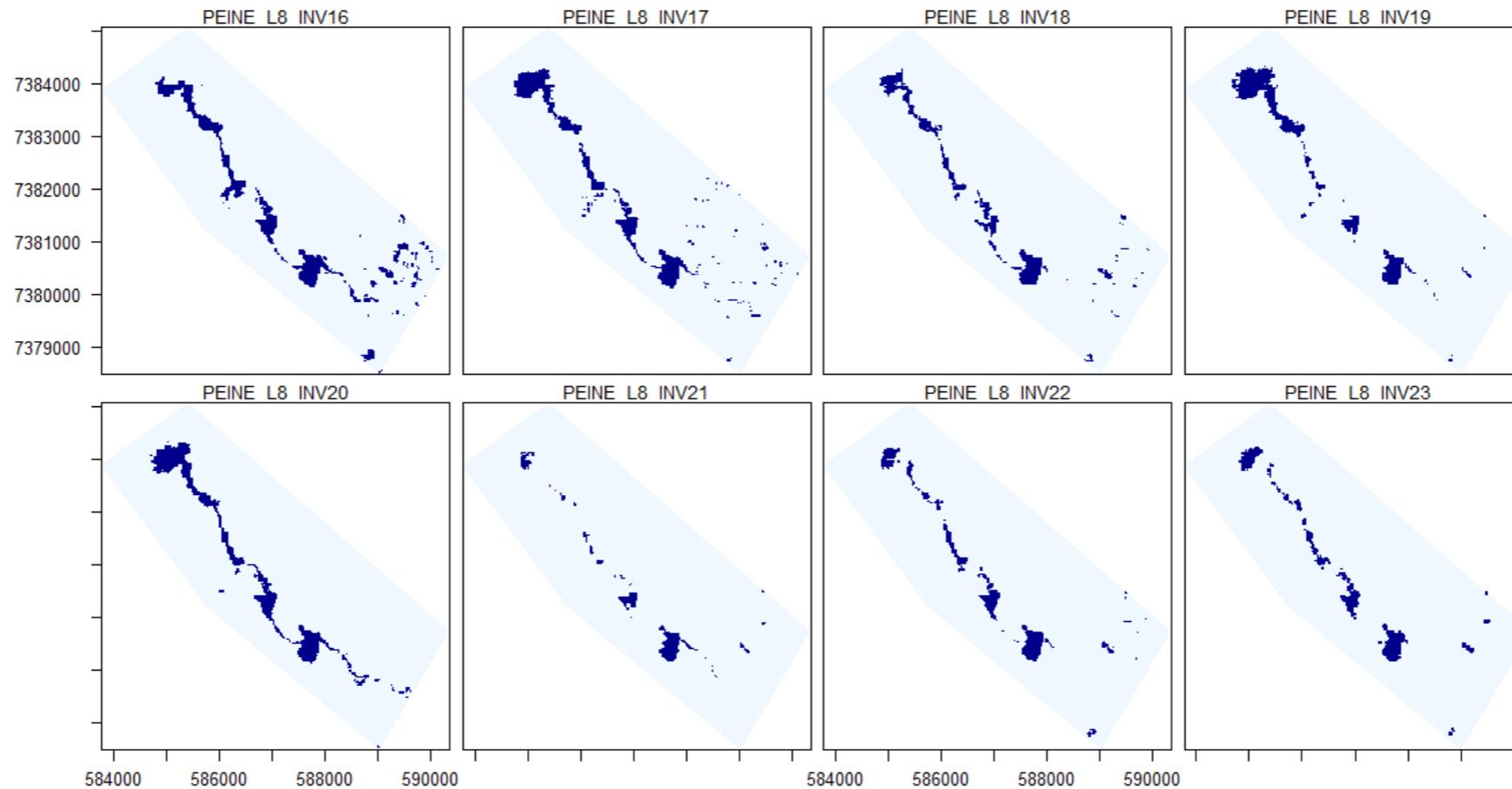
la Laguna Interna y la Laguna Salada. Además, el análisis de imágenes de alta resolución revela una reducción en las coberturas de cuerpos de agua desde el verano de 2021, especialmente en las áreas de Laguna Interna y Saladita, debido a variaciones en la inundación (ver **Anexo Variaciones Anuales AR PMB**).

**Figura N°13-133. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A.**



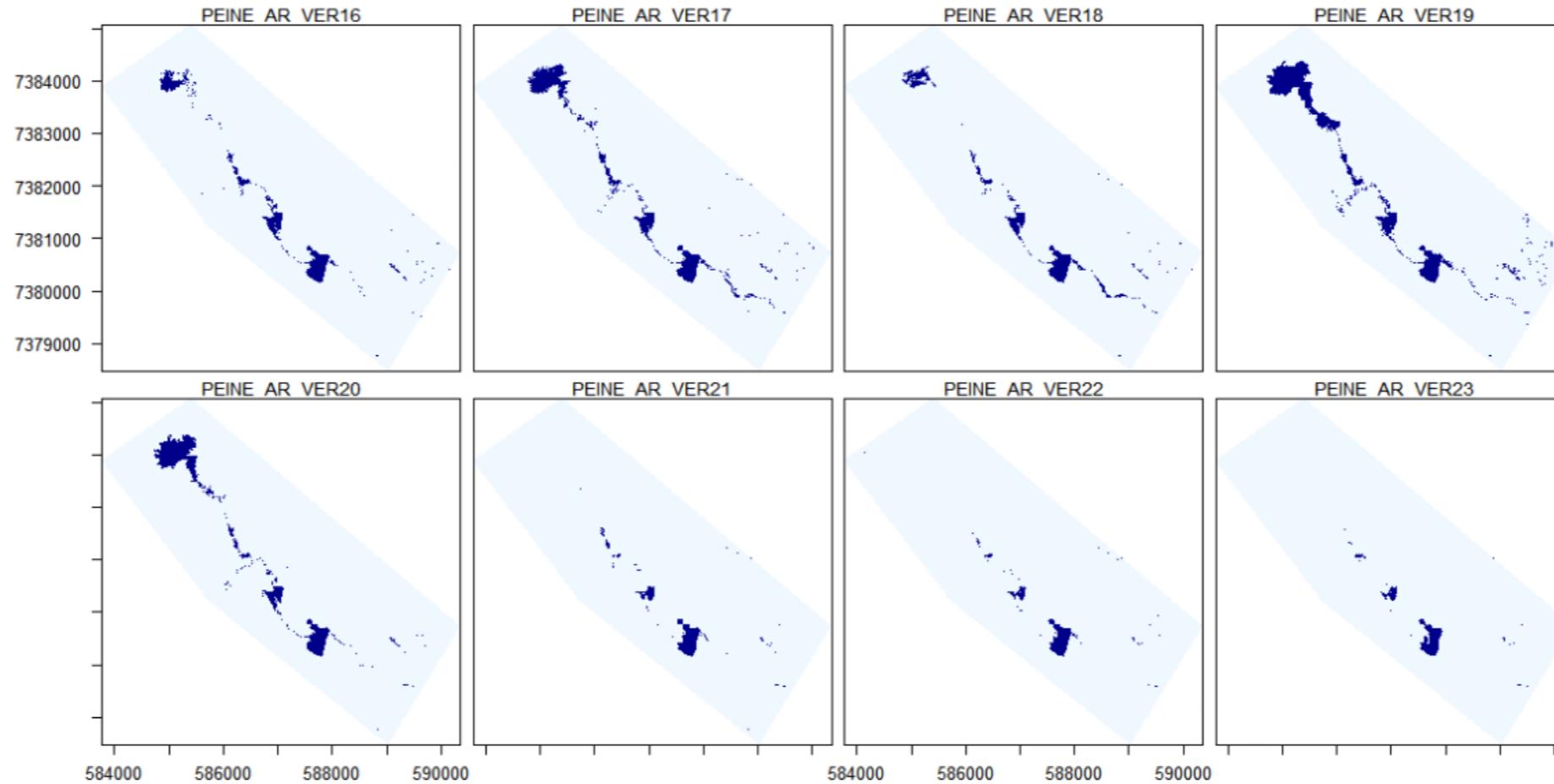
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2023.

**Figura N°13-134. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.**



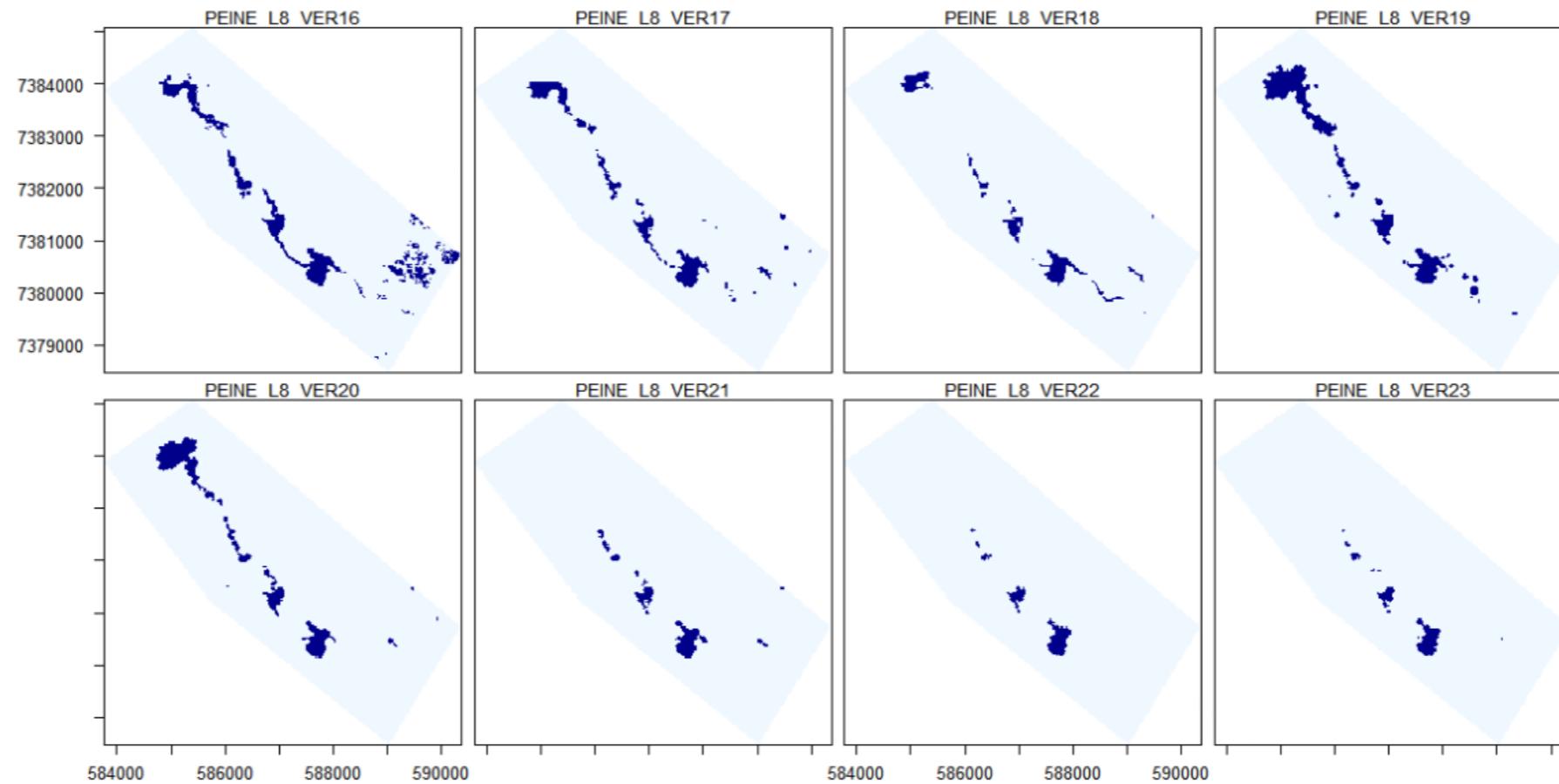
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2023.

Figura N°13-135. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2023.

Figura N°13-136. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2023), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2023.

### 13.6.2 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

En general, el modelo de clasificación presenta ajustes que van de *moderado a considerable*<sup>42</sup> para los sistemas lagunares, con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2023 que van entre 0,82 (Peine) y 0,65 (La Punta - La Brava) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo *moderado* de 0,41 en La Punta - La Brava para diciembre de 2012 y un valor máximo *casi perfecto* de 0,96 para Peine en agosto 2020. Respecto de Landsat 8, los valores promedio del índice *Kappa* observados en el periodo 2016 – 2023 van entre 0,78 (Peine) y 0,57 (La Punta - La Brava), presentando un valor mínimo de 0,41 en La Punta - La Brava para agosto de 2023 y un valor máximo de 0,93 para Peine en agosto de 2021.

De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinados en terreno o por fotointerpretación visual. Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, esto ocurre especialmente en invierno o en aumentos de las superficies inundadas, periodos en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies combinados con otros recubrimientos (vegetación); sin embargo, otro factor sería el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes como microorganismos, o que en las que se acentúa la discontinuidad de las inundaciones generando parches que no son captados como unidades independientes, disminuyendo la precisión en sitios de transición seca - húmeda.

<sup>42</sup> Los rangos de valores para *Kappa* son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

**Tabla N°13-36. Consolidado de índices *Kappa* de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8.**

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar	
			La Punta - La Brava	Peine
PLEIADES 1A - AR	ago-16	Superficie (ha)	47,4	74,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,45	0,89
	dic-16	Superficie (ha)	40,9	50,2
		<i>Índice Kappa</i>	0,82	0,91
	ago-17	Superficie (ha)	48,1	74,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,86
	dic-17	Superficie (ha)	48,6	74,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,73	0,83
	ago-18	Superficie (ha)	61,9	51,5
		<i>Índice Kappa</i>	0,78	0,88
	dic-18	Superficie (ha)	35,9	49,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,83	0,80
	ago-19	Superficie (ha)	52,8	86,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,66	0,83
	dic-19	Superficie (ha)	62,7	101,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,79	0,91
	ago-20	Superficie (ha)	51,4	54,2
		<i>Índice Kappa</i>	0,64	0,96
	dic-20	Superficie (ha)	28,4	73,5
		<i>Índice Kappa</i>	0,62	0,73
	ago-21	Superficie (ha)	45,8	45,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,80	0,92
	dic-21	Superficie (ha)	24,1	26,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,61	0,78
	ago-22	Superficie (ha)	45,1	50,5
		<i>Índice Kappa</i>	0,67	0,90
	dic-22	Superficie (ha)	25,3	24,2
		<i>Índice Kappa</i>	0,41	0,71
ago-23	Superficie (ha)	45,5	29,4	
	<i>Índice Kappa</i>	0,56	0,52	
dic-23	Superficie (ha)	26,6	22,0	
	<i>Índice Kappa</i>	0,46	0,62	
<b>Promedio Kappa</b>			<b>0,65</b>	<b>0,82</b>
LANDSAT 8 - MR	ago-16	Superficie (ha)	62,6	114,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,47	0,83
	dic-16	Superficie (ha)	55,0	110,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,62	0,83
	ago-17	Superficie (ha)	38,2	104,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,74
	dic-17	Superficie (ha)	39,3	75,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,54	0,59
	ago-18	Superficie (ha)	63,7	78,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,55	0,73
	dic-18	Superficie (ha)	44,4	81,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,84	0,83
	ago-19	Superficie (ha)	53,8	85,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,54	0,79
	dic-19	Superficie (ha)	57,7	107,8
		<i>Índice Kappa</i>	0,59	0,76
	ago-20	Superficie (ha)	60,0	105,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,56	0,77
	dic-20	Superficie (ha)	36,1	83,0
		<i>Índice Kappa</i>	0,44	0,73
	ago-21	Superficie (ha)	40,0	36,0
		<i>Índice Kappa</i>	0,92	0,93

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar		
			La Punta - La Brava	Peine	
	dic-21	Superficie (ha)	35,5	33,4	
		Índice Kappa	0,50	0,87	
	ago-22	Superficie (ha)	56,9	62,8	
		Índice Kappa	0,59	0,83	
	dic-22	Superficie (ha)	26,9	27,7	
		Índice Kappa	0,46	0,75	
	ago-23	Superficie (ha)	39,4	62,2	
		Índice Kappa	0,41	0,75	
	dic-23	Superficie (ha)	28,8	26,9	
		Índice Kappa	0,57	0,72	
			<b>Promedio Kappa</b>	<b>0,57</b>	<b>0,78</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### 13.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas

En la Figura N° 12-3 y Figura N° 12-4, se observa gráficamente la variación temporal del nivel freático desde el año 2013 a la fecha (marzo 2024). Es importante tener presente que, si bien se cuenta con alrededor de 11 años de registros, la línea base presentada en el Anexo 3 de la Adenda 5 se extendió por 2 años y 4 meses (entre mayo de 2013 y agosto de 2015). Considerando que la construcción del Proyecto comenzó en abril de 2016, esto implica un total de 3 años de mediciones históricas (mayo 2013 a abril de 2016), entendiendo por período “Histórico” al previo al inicio del Proyecto.

#### 13.7.1 Análisis comparativo invierno 2023 y verano 2024

Los registros de los pozos se presentan en la Figura N° 12-3 y Figura N° 12-4. En estas se observa para el presente período de monitoreo (abril 2023 a marzo 2024) que el nivel freático mantuvo una variabilidad natural cíclica (estacional), con valores de cota de nivel generalmente más altos (agua más somera) en invierno (junio a agosto) y más profundos en verano (diciembre a marzo), dando cuenta del efecto de la evapotranspiración en el nivel freático. La variabilidad antes mencionada es muy marcada para los pozos del sector La Punta – La Brava, con ciclos anuales bien definidos. En el caso del Sector Peine, se observa esta estacionalidad en BA-22, mientras que en BA-21 se aprecia una mayor influencia de las precipitaciones, en tanto que el efecto de la evapotranspiración es de menor magnitud, presentando una muy baja variabilidad estacional. Esto puede observarse en los cambios en el nivel freático, luego de eventos de precipitación tales como marzo 2015, marzo 2017, enero-febrero 2019 y agosto 2020.

Con respecto a la amplitud de la variación estacional del nivel freático para el período 2023-2024, en La Punta - La Brava el rango varió entre 11 cm (BA-16) y 7 cm (BA-07), aumentando estos valores respecto al año previo. Para los pozos del Sector Peine, no es posible determinar una amplitud representativa de la variabilidad estacional, dado que no se cuenta con registros del período de mayor profundidad del nivel freático (diciembre – marzo), por la imposibilidad

de acceso desde noviembre de 2023, debido a que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso por corresponder a la época de reproducción de flamencos. La diferencia entre los valores máximos y mínimos registrados entre abril de 2023 y octubre de 2023 correspondieron a 1,6 cm en BA-22 y 1,5 cm en BA-21.

### 13.7.2 Análisis comparativo con valores históricos

En esta sección se realiza un análisis de la variación del nivel freático por piezómetro y por sector, respecto de los valores previos al inicio de la operación del proyecto.

#### 13.7.2.1 Nivel freático en Sector La Punta - La Brava.

Para el **Sistema La Punta - La Brava**, en la Tabla N° 13-1 se presentan los valores de línea base e “histórico” (correspondiendo este último al período previo al inicio de la construcción del Proyecto), incluyendo los mínimos registrados y el valor mínimo y promedio en el período del último año de monitoreo.

**Tabla N° 13-1: Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB**

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 - Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013 - Marzo 2016)		Abril 2023 - Marzo 2024 (m s.n.m) <sup>1</sup>
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-05	LP-LB	2.300,148	2.300,131	2.300,152
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990	2.299,964
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,860

<sup>1</sup>En el caso de meses con más de un registro, se utilizó el primer dato del mes. En el caso de septiembre de 2023, se utilizaron ambos registros, considerando el primero (5 de septiembre) como característico de agosto.

Fuente: Elaboración propia.

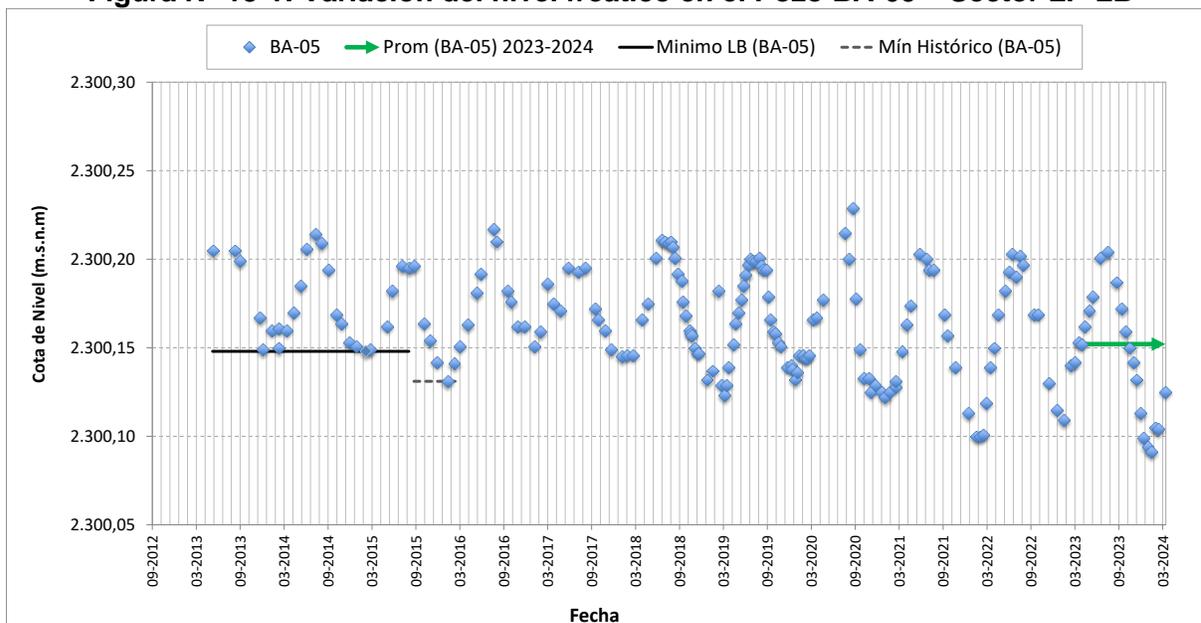
Respecto a los registros de la Tabla N° 13-1, se debe señalar que los valores de línea base corresponden al periodo desde abril 2013 hasta agosto 2015, de acuerdo a lo señalado en el Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del proyecto (Numeral 4.2.7.1 Anexo 2). Asimismo, el período “Histórico” corresponde a todo el período con registros previo al inicio de la fase de construcción del Proyecto (abril 2016). La mantención del monitoreo posterior a la línea base definida en la Adenda 5, fue para entregar continuidad a los registros de niveles mensuales, y también para poder mostrar la variabilidad y cambios que se pudieran producir previo al inicio de la fase de construcción (abril 2016) y operación del Proyecto (28 de septiembre de 2016). Tal como se observa de la Tabla N° 13-1, los registros mínimos de los pozos BA-05 y BA-16 del período septiembre 2015 – marzo 2016 (posteriores a la línea base en la Adenda 5 y previos al inicio de la fase de construcción del Proyecto), fueron inferiores a los de la Línea Base.

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector La Punta - La Brava, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran

las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-05** (Figura N° 13-1) los registros muestran una leve tendencia general al descenso y un mínimo del período “histórico” en enero del año 2016 (2.300,131 m s.n.m.), inferior al valor mínimo de la línea base, indicado con línea discontinua (este registro corresponde al valor mínimo previo a la etapa de construcción y operación del proyecto). Desde el año 2019 se han registrado durante el período de verano diferentes mediciones inferiores al mínimo del período previo al inicio del Proyecto, con un valor mínimo igual a 2.300,091 m s.n.m, en enero de 2024. Esto da cuenta de una profundización del registro mínimo en relación el año previo. El valor promedio anual del nivel freático durante el último año (abril 2023 – marzo 2024) fue levemente superior a los valores mínimos de línea base y del periodo histórico.

**Figura N° 13-1: Variación del nivel freático en el Pozo BA-05 – Sector LP-LB**

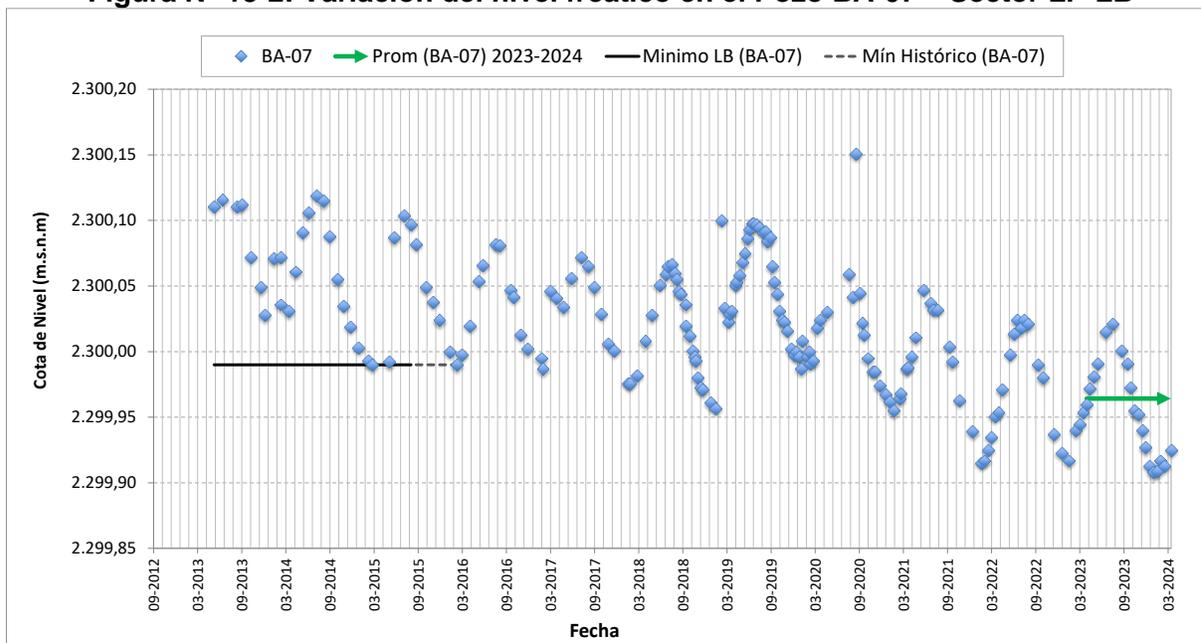


Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07** (Figura N° 13-2), los registros de la serie presentaron una tendencia al descenso desde mayo 2013 hasta enero 2019, lo que produjo que fueran registrados valores mínimos inferiores a los del período “Histórico”. Luego del peak de febrero de 2019, asociado a las lluvias del mismo año, el pozo presentó una recuperación en su nivel freático. Sin embargo, desde el año 2020 volvió a mostrar tendencia a la profundización. Si bien durante los últimos dos años se verificó una estabilización del nivel en el pozo, reduciéndose la tendencia al descenso, el nivel mínimo registrado en el período abril 2023 - marzo 2024 fue inferior (nivel más profundo) que el mínimo del año previo y corresponde al registro más bajo medido desde mayo de 2013. El promedio anual del período abril 2023 - marzo 2024 es inferior al nivel mínimo del período “Histórico” y al de línea base. Cabe señalar que la profundización

del nivel freático de este pozo, dio origen a la activación del PAT sector Acuífero en el período abril 2023 – marzo 2024.

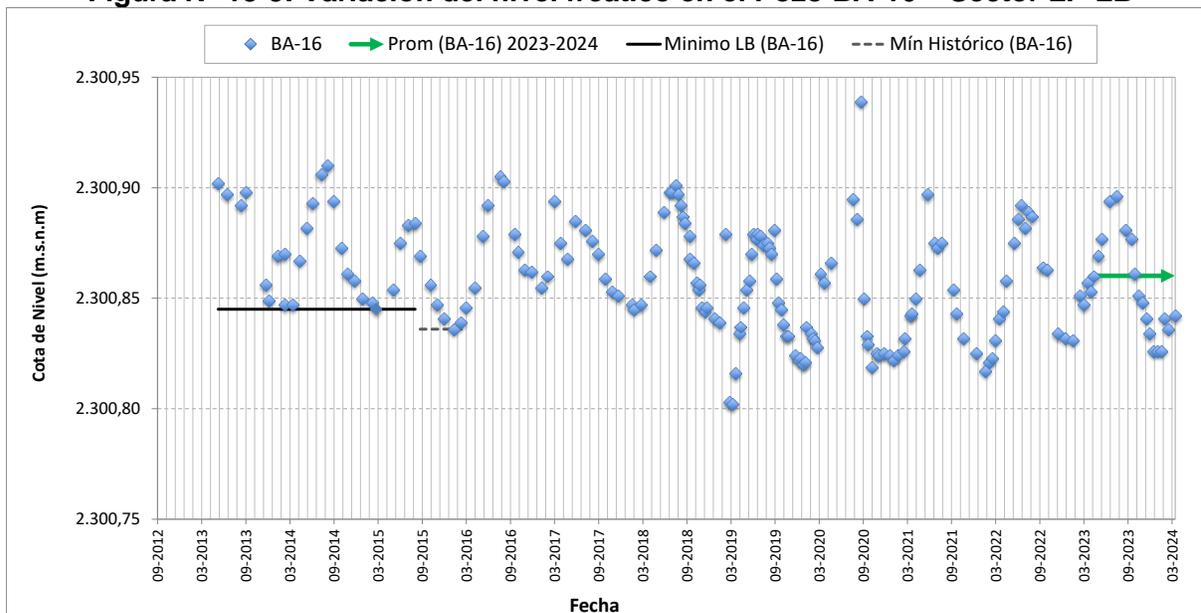
**Figura N° 13-2: Variación del nivel freático en el Pozo BA-07 – Sector LP-LB**



Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16** (Figura N° 13-3) presenta variabilidad estacional y en su tendencia, similar a la del pozo BA-05, con un valor mínimo del período previo al inicio del Proyecto, que es posterior al período de línea base presentado en la Adenda 5 (enero del 2016). Para el período de análisis, abril 2023 a marzo 2024, los niveles fueron similares a los del año previo. Mientras el registro máximo (invierno de 2023) fue superior al del año previo (invierno 2022), el mínimo (verano de 2024) fue inferior (verano de 2023). En general se observa una cierta estabilización del nivel en el pozo desde el año 2019. No obstante lo anterior, los registros mínimos medidos en este período fueron inferiores al mínimo de línea base y también al mínimo del período histórico (previo al inicio de la construcción del Proyecto). Sin perjuicio de lo anterior, el promedio anual para BA-16 fue superior al registro mínimo de la línea base.

**Figura N° 13-3: Variación del nivel freático en el Pozo BA-16 – Sector LP-LB**



Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, abril 2023 a marzo 2024, el nivel freático mínimo medido en los pozos BA-05, BA-07 y BA-16 presentó una leve profundización en relación a los valores registrados el año anterior. En el caso particular de BA-05 y BA-07, estos valores corresponden a los inferiores medidos en estos pozos en todo el período de registros (desde mayo de 2013). Respecto a los valores del período de invierno, los pozos BA-05 y BA-16 muestran valores máximos superiores a los del período previo, mientras que en el caso del pozo BA-07, el registro máximo de invierno fue levemente inferior al del año previo.

Los valores promedio de los registros del período anual abril 2023 - marzo de 2024 fueron superiores a los valores mínimo de línea base y del período “histórico” en los pozos BA-05 y BA-16, mientras que en el caso del pozo BA-07 dicho valor medio fue inferior a los registros de línea base y del período “histórico”.

### 13.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine

Los registros del período 2023-2024 de los pozos BA-21 y BA-22, ubicados en el **Sistema Lagunar Peine**, no dan cuenta de toda la variabilidad del nivel freático del sistema, debido que no fue posible realizar mediciones en el periodo estival en este sector, período en el que se presentan los registros mínimos del nivel freático, debido a la que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso al sector donde se ubican los pozos, por corresponder a la época de reproducción de los flamencos.

Los registros del período en el que se tuvo acceso (abril 2023 – octubre 2023), muestran que en el pozo BA-22 el valor máximo (2.300,300 m s.n.m, medido en julio) fue superior al del año anterior (2.300,294 m s.n.m), mientras que en BA-21 el valor máximo (2.300,081 m s.n.m, en el mes de junio) fue inferior al del año previo (2.300,093 m s.n.m), aunque este último habría estado influenciado por un evento de precipitación ocurrido en febrero-marzo de 2023. Tal como se indicó previamente, ambos pozos presentan una dinámica diferente, correspondiendo la evapotranspiración a la forzante principal del nivel en el pozo BA-22, que muestra una dinámica estacional, mientras que en el caso del pozo BA-21 su principal forzante es la precipitación, presentando una baja estacionalidad.

En la Tabla N° 13-2 se presentan los valores mínimos, para línea base y para el periodo denominado “Histórico”, correspondiente al período previo al inicio de la construcción del Proyecto (abril de 2016), así como también el promedio en el período de los registros del último año de monitoreo, que solamente consideran el período abril 2023 – octubre 2023, por lo que no son característicos del promedio anual del nivel freático.

**Tabla N° 13-2: Valores Mínimos y Promedio de la Serie – Sector Peine**

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Abril 2023 – Oct 2023 <sup>1</sup> (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,075
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,293

<sup>1</sup>En el caso de meses con más de un registro, se utilizó el primer dato del mes. Solamente se cuenta con registros hasta octubre de 2023.

Fuente: Elaboración propia.

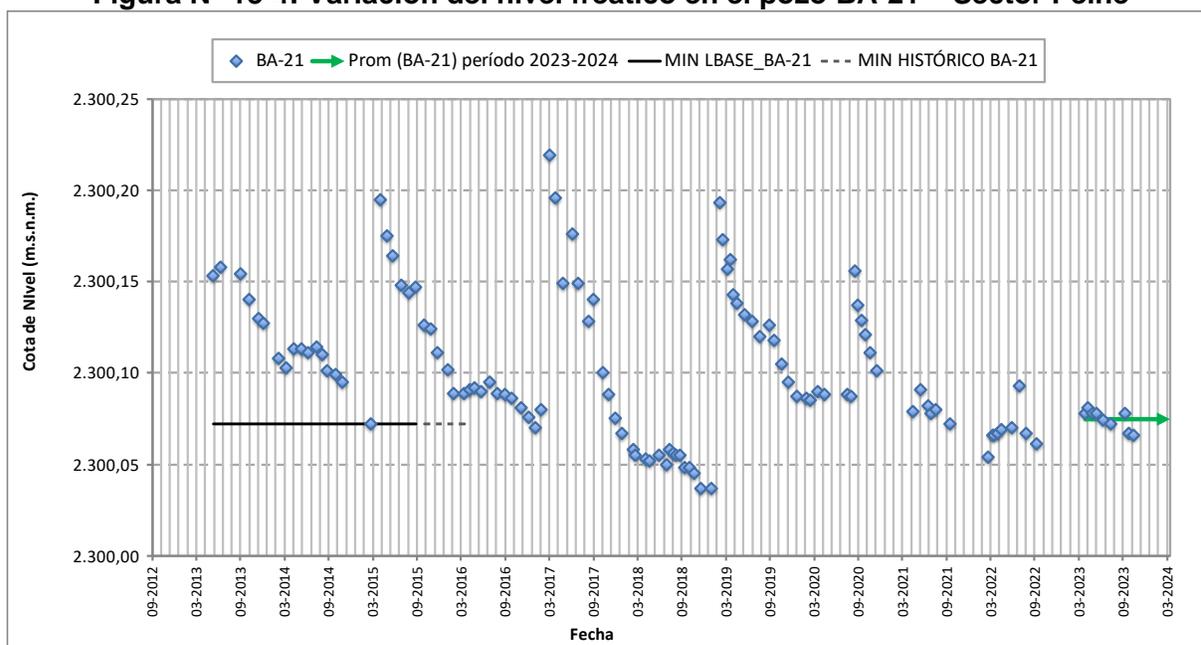
Como fue señalado de manera previa, se desarrolló una continuidad del monitoreo posterior a la línea base presentada en la Adenda 5, que permitió contar con información previa a la entrada de fase construcción (abril 2016) y operación del Proyecto (septiembre 2016), pero posterior a la línea base. Esto permitió verificar la existencia de registros de mayor profundidad que los reportados en la línea base presentada en la Adenda 5, pero previos al inicio del Proyecto. En particular, esto se observó para el pozo BA-22 (ver Tabla N° 13-2).

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector Peine, junto con los estadígrafos antes indicados.

Para el **pozo BA-21** (Figura N° 13-4), se observa una dinámica diferente a la de los pozos ubicados en el Sector La Punta – La Brava, mostrando el nivel freático una baja estacionalidad y una alta influencia de los eventos de precipitación de alta intensidad, como se aprecia en el incremento abrupto del nivel freático luego de las lluvias de los años 2015, 2017, 2019 y 2020. Con posterioridad al incremento del nivel luego de dichos eventos, en todos los casos indicados se produjo una profundización del nivel freático. Esta dinámica se asemeja a la dinámica de los pozos ubicados en el Núcleo del Salar de Atacama.

Los registros de nivel freático del pozo BA-21 muestran que hasta el año 2019 se produjo una disminución del valor mínimo anual, observándose una recuperación en el año 2020. Desde el año 2021 no se han llevado a cabo mediciones en el período estival, por lo que no es posible verificar la tendencia actual de los registros mínimos anuales. Respecto al período de invierno, luego de las precipitaciones de agosto del año 2020 hubo una disminución del nivel freático, debido a la ausencia de nuevos eventos de precipitaciones de alta intensidad. Esto se manifiesta en la consistente disminución (profundización) de los valores medidos en los años posteriores al evento del año 2020, aunque esta se ha dado con una tendencia leve en los últimos tres períodos, siendo en promedio los registros de abril 2023 - octubre 2023 superiores a los del año previo. Por otra parte, se debe señalar que el promedio de los registros del último año (abril 2023 – octubre 2024), que por lo descrito previamente no es característico del promedio anual, es levemente superior al valor mínimo de línea base e histórico.

**Figura N° 13-4: Variación del nivel freático en el pozo BA-21 – Sector Peine**



Fuente: Elaboración propia.

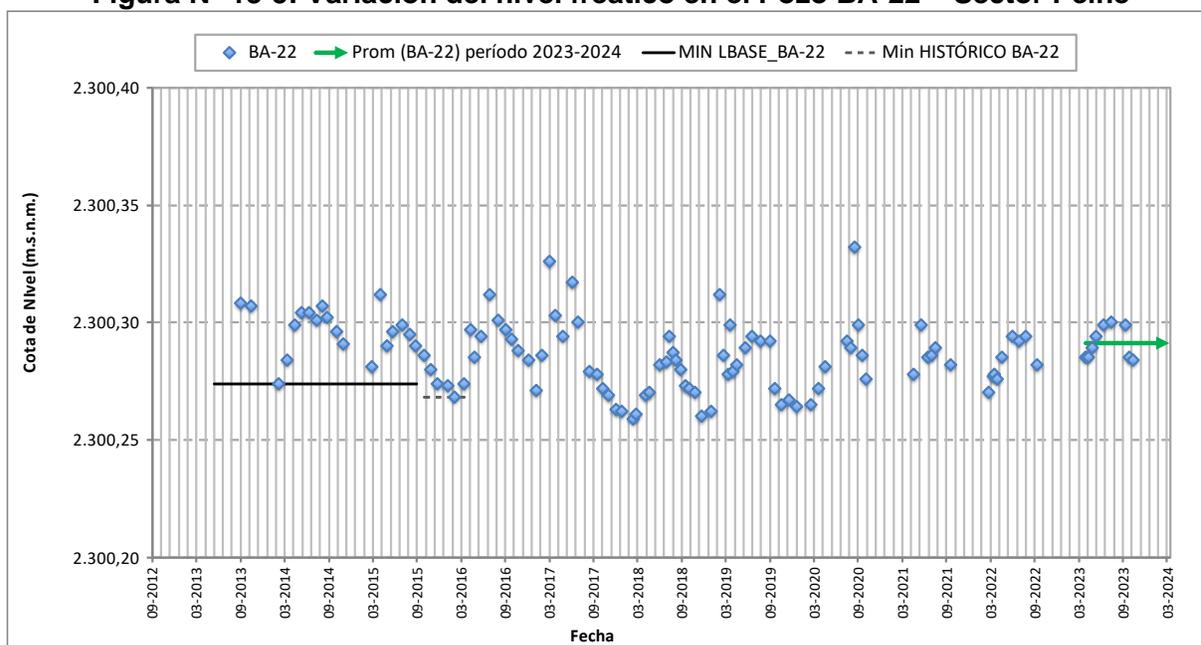
Para el **pozo BA-22** (ver Figura N° 13-5), la serie presenta oscilaciones estacionales dentro de un rango de variación estable del nivel freático, aumentando en los meses de invierno (máximos entre junio y agosto) y disminuyendo en la temporada de verano (mínimos regularmente en enero-febrero).

Tal como fue señalado para el pozo BA-21, no se cuenta con registros del período estival desde el año 2021, debido a las restricciones de acceso ya detalladas, lo que no permite desarrollar una conclusión certera respecto a la dinámica del nivel freático en esta época con la información disponible. Los registros mínimos de los años previos fueron levemente inferiores al valor mínimo del período previo al Proyecto, como se constató en los años 2018,

2019 y 2020. Al respecto, se debe destacar que entre 2018 y 2020 hubo un incremento en los niveles mínimos anuales, correspondiendo el valor de este último año a 2.300,264 m s.n.m. Desde 2021 en adelante, solamente se cuenta con información para el período de otoño – invierno y la primera etapa de la primavera, que normalmente dan cuenta de los valores más altos del nivel freático.

Considerando solo los valores que se dispone, se observa estabilidad en los registros de los últimos años, siendo similares al menos desde 2018 en adelante, con algunos datos puntuales fuera de rango, como la medición de septiembre de 2020, posterior a las lluvias de agosto del mismo año, que corresponden al nivel máximo medido en el pozo. Entre abril de 2023 y octubre de 2023 (data disponible para el último año) los registros son similares a los del año previo, con una amplitud acotada (1,5 cm), debido a la ausencia de datos de verano. El valor promedio de los registros de nivel freático con los datos existentes se encuentra por sobre el valor mínimo de la línea base e histórico.

**Figura N° 13-5: Variación del nivel freático en el Pozo BA-22 – Sector Peine**



Fuente: Elaboración propia

### 13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

Dentro de los compromisos del seguimiento ambiental o monitoreo del estado ecológico (*Ref. Anexo 2 PMB de Adenda 5*), quedó comprometido evaluar la detección de cambio de estado ecológico en el numeral “4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico”. Para ello, se definieron a partir del Modelo Ecológico Funcional, tres variables denominadas de “estado”, como indicadores del estado ecológico o indicadores bióticos de los ecosistemas terrestres (azonal) y acuáticos, estas variables son: niveles freáticos, vegetación azonal y superficie de lagunas.

Las variables de “estado” y el análisis del estado ecológico han sido incluidas en los informes anuales del PMB (capítulo 13.8), desde el tercer año de seguimiento ambiental, debido a que los criterios del análisis, estipulados en el Anexo 2 del PMB, incluyen un análisis de tendencia y que para el caso de la vegetación azonal y superficie de lagunas, se deben considerar 3 años consecutivos con información.

Como una manera de contextualizar el análisis del estado ecológico (AEE) del sistema, se entregan algunas de las principales conclusiones del documento anterior entregado en el año 2023 “*Complemento Informe Anual PMB N°7 con Análisis Estado Ecológico*” del año 2023 (Cod SMA 1036722, del 08.11.23) con relación al mismo, algunas de las conclusiones más relevantes son:

Para el caso del Sector La Punta - La Brava, considerando la variable nivel freático y los registros del pozo BA-07, el criterio establecido para la evaluación indica un promedio anual inferior a los registros mínimos del período previo al inicio de la operación del Proyecto de Albemarle, por lo que según dicho criterio no se mantiene el estado ecológico. Al respecto, cabe señalar que dicho pozo presenta una tendencia al descenso desde los primeros registros medidos y previo al inicio de la operación del Proyecto.

Respecto a las superficies lagunares Sector La Punta - La Brava, y de acuerdo con los resultados obtenidos a partir del análisis de imágenes satelitales de alta resolución, se observa que las superficies lagunares promedio anuales de los años 2016 a 2022 están sobre el valor mínimo de línea de base, lo que indica que, en general, las superficies lagunares se mantienen dentro de los registros históricos. Sin embargo, se observa una disminución en los promedios móviles a partir del periodo 2018 - 2020. Cabe señalar que el análisis de la superficie lagunar del período 1985 – 2023, realizado a partir de imágenes obtenidas de satélites Landsat, de mediana resolución, muestra que existe una tendencia de disminución de la superficie lagunar de larga data, que se extendería desde antes del año 2000. En efecto, la media móvil anual de la superficie lagunar muestra una tendencia al descenso entre los años 1997 y 2012, previo a la operación del proyecto RCA 21/2016.

En base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación y considerando el criterio establecido en el PMB, se puede concluir para los sectores de Tilopozo y La Punta

y La Brava que se presenta una tendencia al descenso de acuerdo con la variación de la cobertura vegetal medida en campo (transectas), pero no se observa un cambio en la estructura comunitaria ni en el sustrato salino, ni tampoco en la cobertura de la vegetación activa.

En relación con el Nivel Freático evaluados para el Sector Peine (en los pozos establecidos para aquello), no se cuenta con registros del nivel freático en los períodos de verano desde el año 2021, debido a imposibilidad de acceso al Sector, por corresponder este a un período de reproducción de flamencos. Esto genera que la evaluación de las condiciones medias anuales del nivel freático sea incompleta, ya que los registros no dan cuenta de toda la variabilidad del nivel freático y en consecuencia no es posible evaluar con precisión y certeza su variación en el tiempo.

Respecto a las superficies lagunares del sector Peine, los promedios anuales observados entre 2016 a 2020 se sitúan por encima del valor mínimo de referencia, sin embargo, durante el último período comprendido entre 2020 y 2022, este promedio disminuye ligeramente por debajo de la línea de referencia. Los promedios móviles obtenidos se sitúan por encima del valor mínimo de referencia y en el último período año 2022, este promedio disminuye ligeramente por debajo de la línea de referencia. La disminución de las superficies lagunares del último período, podría estar condicionada a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar, en donde la superficie de Avance Interna tiene un peso considerable en el contexto del sistema, especialmente durante eventos de precipitación intensa.

En relación con la vegetación azonal en el sector Peine se observa una mantención de la vegetación activa por sobre el rango de línea base, la cual ha permanecido en promedio estable producto del análisis de medias móviles de tres años. La riqueza también se ha observado estable a lo largo de los siete años de monitoreo, con apariciones puntuales de especies acompañantes en determinadas campañas. En base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación y considerando el criterio establecido en el PMB, se puede concluir para el sistema de Peine que no se observan cambios de tendencia en las variables evaluadas, cobertura, composición de las especies y sustrato salino durante todo el periodo de seguimiento.

En línea con lo mencionado previamente, ALB también tiene un Plan de Seguimiento Hídrico y un Plan de Alerta Temprana del mismo, el que se ha activado en el sector de Alerta Acuífero, específicamente en el sistema La Punta – La Brava, a raíz de los descensos en el punto BA-07. En particular, su última activación se produjo el 31 de enero de 2024 avisando a la SMA a través de carta ALB-GMA-2024-SMA-008. Cabe señalar que Albemarle ha dado cumplimiento a todos sus compromisos ambientales y ha presentado su último Informe de Investigación de las Causas en Mayo del presente año 2024 (Código SMA 1049249 del 29.05.24).

Considerando lo anterior, y al igual que para el año 2023, este año 2024 se considera que el análisis de estado ecológico (AEE) como parte del Informe Anual N°8, requiere una mirada extraordinaria, por lo que se presenta el AEE en un documento independiente, como un complemento de Análisis de Estado Ecológico al Informe Anual PMB N°8, el que será entregado posterior al presente informe.

Sin perjuicio de que en el PMB Anual N°6 (año 2022) no evidenciaba cambio en el estado ecológico en ninguna de las variables indicadoras, Albemarle a partir del año 2022 comenzó de manera preventiva a aplicar las “*acciones frente a detección de cambio estado ecológico*”, indicadas en el numeral 4.2.8 del Anexo 2 de Adenda 5. Dichas acciones dicen relación con aumentar la frecuencia de muestreo de acuerdo con la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA-SAG-DGA, 2011).

Es así como, a partir del cuarto trimestre de 2022, se comenzó a gestionar el aumento de frecuencia de monitoreo para las variables indicadas en la Guía antes mencionada.

## 14 CONCLUSIONES.

### 14.1 En relación con Flora y Vegetación

A continuación, se presentan las principales conclusiones del octavo año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle, correspondiente a los monitoreos de invierno 2023 (M15) y verano 2024 (M16), además de un análisis sobre la evolución del componente con los valores históricos del monitoreo base (MB0-2016) y los monitoreos de los ocho años de seguimiento (M1 a M16; 2016 a 2024). Las conclusiones se presentan de manera ordenada por subcomponente, siguiendo la línea de presentación de este informe.

**En cuanto a la Carta de Ocupación de Tierras (COT)**, al octavo año de monitoreo anual se observa una estabilidad general en las formaciones vegetales caracterizadas en términos de su estructura y composición, además de la distribución de éstas en el área de estudio. En este año de monitoreo se describen 36 formaciones vegetales en invierno 2023, y 35 en verano 2024 (35 en total). La cantidad de formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido similar, ya que los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales azonales mixtos y Vegas.

Las principales variaciones se observan en la cobertura y composición de especies dentro de las formaciones, que implica el ajuste de los límites de las formaciones en algunos casos, y el cambio en la dominancia de especies en otros, representando diferencias no biológicas y reorganizando la configuración de las unidades en estudio.

Particularmente, el aumento de 32 formaciones en verano 2021 (M10) a 37 formaciones en el verano 2022 (M12) fue a causa de algunos cambios en la denominación o composición de algunas formaciones por el levantamiento de nuevos puntos COT desde el verano 2022 en

polígonos no visitados anteriormente, generando una actualización general en la cartografía de vegetación como parte del robustecimiento del método COT en el área de estudio y, manteniéndose similar en el invierno siguiente (M13), mientras que el cambio en M14 se debe a la diferenciación en dos formaciones vegetales azonales en Tilopozo, que suman especies en su composición dominante (matorral hídrico - vega de *Sarcocornia fruticosa*, *Distichlis spicata* y *Baccharis juncea* y vega de *Distichlis spicata*, *Baccharis juncea* y *Schoenoplectus californicus*), a diferencia del último año donde disminuyen las formaciones vegetales respecto al Anual 6 y 7, ya que cambia la denominación de los formaciones mixtas de Matorral hídrico - Vega de *S. fruticosa* con *T. concinna* y *D. spicata* y Matorral hídrico - Vega de *T. absinthioides*, *L. humile* y *D. spicata* a formaciones de Matorral – Vega en invierno 2023 y se mantienen en verano 2024, además que se homologa una formación de vega descrita con la dominancia de *D. spicata* con *J. balticus* a la formación de Vega de *J. balticus* con *D. spicata*.

**En relación a las formaciones vegetales caracterizadas a través de transectas**, para el Año N°8 (M15 y M16) corresponden a las mismas observadas en el Monitoreo Base 0, y conservan las características fisonómicas y de composición de especies determinadas como condición inicial de la vegetación en la etapa pre-operacional del proyecto. Estas son: herbazal de *Schoenoplectus californicus*, herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Distichlis spicata*, herbazal de *Triglochin concinna*, matorral de *Sarcocornia fruticosa* y matorral de *Tessaria absinthioides*.

**Las conclusiones en cuanto a las condiciones generales de la vegetación del área de estudio (transectas)**, indican en términos generales que las comunidades con mayor contenido de humedad del suelo son las que continúan presentando mayor cobertura vegetal, correspondiendo a las formaciones de *Schoenoplectus californicus* y algunas transectas con formaciones de herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Triglochin concinna* y matorral de *Sarcocornia fruticosa*, además de algunas transectas localizadas en cercanías a cuerpos de agua, en los sectores La Punta y Aguas de Quelana.

En relación a la composición comunitaria, la **riqueza florística** de las formaciones vegetales se mantiene similar en los ocho años de monitoreo a nivel de sectores y formaciones vegetales, con algunas diferencias puntuales entre transectas, aunque sin demostrar una variación estacional. En el quinto año de monitoreo se registró una especie adicional en Tilopozo (T29; *Eleocharis* sp.) en verano 2021 (M10), manteniéndose este registro en el monitoreo de verano 2022 (M12) e invierno 2022 (M13), pero sin registro desde el verano 2023 (M14 a M16). Por otro lado, destaca que *Puccinellia frigida* que se observaba como acompañante en las transectas del sector La Punta y La Brava (<2% de cobertura) no se ha registrado desde el monitoreo de invierno 2019 (M7 a M16) y aparece en el verano 2022 (M12) en dos transectas de Peine (T01 y T02), manteniéndose en los inviernos 2022 y 2023 (M13 y M15) en la transecta T01.

Respecto a la evolución general de las **coberturas vegetales** en el periodo de seguimiento (2016-2024), se puede observar un descenso de las coberturas vegetales para varias de las

transectas respecto al monitoreo inicial-MB0 (exceptuando la transecta T21 en Tilopozo), aunque al considerar el monitoreo inicial de verano 2017-M2, se observan menos variaciones hasta el último verano (M16), manteniéndose incluso con mayor cobertura en el verano 2024 en algunas transectas (T02 en Peine, T18, T31, T20, T22, T27 y T24 en Tilopozo). En relación a la cobertura de rastros, se observa un aumento en el tiempo desde MB0 (exceptuando la transecta T27 en Tilopozo) y al considerar la variación desde el verano 2017-M2, en el último verano 2024 la cobertura de rastrojo es menor en dos transectas (T27 en Tilopozo y T02 en Peine). Sin embargo, también se observan fluctuaciones entre monitoreos en algunas transectas, con alzas y disminuciones, que demuestran comportamientos dinámicos entre las formaciones vegetales en los periodos de seguimiento.

Al analizar la **cobertura promedio por sector**, también se registra una disminución de la cobertura vegetal desde MB0 (invierno 2016), aunque el **sector Peine** presenta variaciones dinámicas entre monitoreos, con una cobertura vegetal promedio estable en su evolución en los primeros 7 años, observándose no obstante una disminución en este último periodo (M15 y M16), asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (en transectas T02 y T04). El **sector La Punta y La Brava**, es el que presenta una disminución más paulatina de la cobertura vegetal al sexto año de seguimiento (verano 2022-M12), recuperándose levemente en el séptimo año (M13 y M14) y para el octavo año, en invierno 2023 el descenso observado es solo referencial ya que el muestreo fue incompleto para el sector (dos de cuatro transectas), y en verano 2024, se observa una menor cobertura promedio respecto al año anterior. Por su parte, el **sector Aguas de Quelana** presenta igualmente una disminución de la cobertura vegetal en el tiempo, desde MB0, aunque cabe destacar que entre el año 3 y 7 se tiene sólo una campaña de muestreo por año, lo que influye en la interpretación sobre su evolución en estos ocho años de seguimiento, aunque en el último año se observa un descenso, donde el último invierno 2023 (M15) registra la menor cobertura promedio del seguimiento. Por último, el **sector Tilopozo**, presentaba hasta el quinto año de seguimiento (verano 2021-M10) una estabilidad en su cobertura vegetal, aunque desde el invierno 2019 (M9) se registra un descenso paulatino hasta el último año, con un mínimo registrado en invierno 2022 (M13) recuperándose levemente en el último verano, sumado a un aumento del rastrojo a causa del deterioro de la cobertura vegetal observado en los herbazales de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29).

Al analizar solo las **coberturas de invierno** desde MB0 a M15, la evolución de las coberturas promedio por sector presentan mayor variabilidad en el tiempo. En Peine, el mayor descenso ocurre en el primer invierno (M1; 62,5%) después de un anómalo porcentaje de vegetación registrado en el monitoreo inicial realizado en invierno del mismo año (MB0; 91,8%), ya que años posteriores los valores están más relacionados a los registros desde el año 1 de monitoreo (2016-2017). Por otro lado, en Tilopozo destaca la cobertura vegetal registrada en invierno 2022 (M13; 13,2%), valor influenciado por el deterioro específico de la vegetación observado en las transectas T19 y T29 en herbazales de *S. californicus*, mostrando en inviernos anteriores mayor estabilidad (entre 31-39% aproximadamente) y una leve

recuperación en el último año (15,8% en M15). En Aguas de Quelana existen menos datos en invierno (MB0-M1 en 2016 a M7 en 2019), a causa de las restricciones de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos de CONAF, no obstante, destaca que entre los inviernos evaluados se observa la mayor estabilidad en las coberturas de vegetación promedio hasta el cuarto año (35-40% aproximadamente) y en este último invierno-M15 la cobertura promedio desciende a 23,9%.

En el caso de los veranos, al analizar el primer **monitoreo de verano** (M2; 2017) como monitoreo referencial, se observa mayor estabilidad entre las coberturas registradas (M2 a M16). En Peine, del descenso registrado en verano 2018 (M4; 62,5%) se presenta una recuperación en los monitoreos siguientes (M6 a M12 con 72,5% a 70,1%) y posteriormente se presenta un leve descenso en el verano M14 (65,2%) y un mayor descenso en verano M16 (58,4%). En Tilopozo se presenta estable la cobertura promedio del sector entre el verano 2017 al 2021 (M2 a M10; 30-35% aproximadamente), presentando un descenso paulatino en los últimos veranos (26,1% en M12; 17,9% en M14; 16,7% en M16), principalmente a causa del deterioro del herbazal de *S. californicus* ya mencionado. En La Punta y La Brava, se observa más estable la cobertura promedio al comparar los veranos, registrándose en el verano 2022 el mayor descenso (M12; 17,9%) de un máximo registrado en el verano 2018 (M4; 29,1%), mientras que en M16 se observa estable de acuerdo a los últimos registros en verano (18,4%). En el sector Aguas de Quelana se observa un descenso al observar los veranos que presentan datos, desde una cobertura promedio de 35,5% en el primer verano de 2017 (M2) a un 26,3% en último verano (M16).

Con respecto a **variaciones estacionales**, en general los matorrales registran mayor fluctuación, con registro de una mayor cobertura en invierno que en los veranos, destacando cuatro transectas con variaciones significativas, las transectas T23 y T25 en matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo y en matorrales de *Sarcocornia fruticosa* las transectas T12 en subsector La Punta y T17 en Aguas de Quelana. Para los herbazales, solo la transecta T13 del subsector La Punta, en un herbazal de *Juncus balticus* registra una mayor variación entre estaciones y con una variación significativa, también indicando una mayor cobertura vegetal en invierno que en verano.

Cabe destacar, que la variabilidad estacional no estaría influenciando mayormente las fluctuaciones de cobertura en las formaciones vegetales azonales, presentando desde el 2016 a 2024 variaciones enmarcadas a la evolución del monitoreo. En el caso de que los matorrales sí respondan a una mayor cobertura vegetal en los inviernos, puede deberse a factores climáticos, en el caso de los matorrales de *T. absinthioides*, factores como las precipitaciones y temperaturas que son forzantes para una mejor respuesta de vigor sobre la cobertura vegetal en formas de vida de carácter más zonal, mientras que los matorrales de *S. fruticosa* podrían estar más influenciados por el agua directamente, ya que estas formaciones se desarrollan generalmente en cercanías a los cuerpos de agua, y si las lagunas se mantienen estables durante el invierno, podrían contribuir al mantenimiento en este tipo de formaciones.

En relación con la cobertura vegetal absoluta, se observa que las transectas con baja cobertura vegetal, así como las de mayor cobertura vegetal como los herbazales de *S. californicus*, presentan las mayores fluctuaciones de cobertura en el tiempo. Por una parte, se puede inferir que la baja cobertura que presentan algunas formaciones, son indicador de una vegetación que probablemente ya se encuentra estresada, dadas las condiciones extremófilas del salar, o bien el hábitat ya no permite un mejor desarrollo de ésta. Por otro lado, los herbazales de *S. californicus* han demostrado presentar una dinámica de alta variación estacional e interanual, con registros de alta cobertura de rastrojo en algunos monitoreos, cambiando drásticamente al año siguiente, así como episodios de alteración antrópica (quemadas controladas y pastoreo) que han generado efectos en la vigorosidad de la vegetación a corto plazo.

En este sentido, la caracterización inicial de la vegetación es importante para reconocer que tipo de ambientes podrían estar con mayor predisposición a fluctuaciones en el corto plazo, ya sea por alteraciones antrópicas o naturales del sistema. Asimismo, la antropización que recibe el sistema de vegas en el salar, es importante considerarla como un factor de estudio, ya que si bien se han registrado efectos que ocurren en el corto plazo, también pueden incidir a mediano y largo plazo, y es preciso evaluar junto a otros factores, como la extracción de agua, para evitar la degradación del sistema.

**Considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el NDVI de imágenes de alta resolución, en las áreas de los 4 sectores (LP-LB, Peine, Tilopozo, Soncor y Quelana),** se observa que el 27,9% de la superficie total en estudio está cubierta por vegetación activa o de alto vigor, equivalente a 1.798,7 hectáreas. En general, se observa un aumento en la superficie de vegetación activa en la mayoría de los sectores, como Peine, que presenta un incremento del 26,1%, y Tilopozo, con un aumento del 40,3%. Sin embargo, este aumento no es uniforme. Algunas formaciones, como las azonales en el sector Peine, muestran una disminución en vigor respecto a 2023, particularmente en formaciones dominadas por *Sarcocornia fruticosa* y *Schoenoplectus californicus*.

Estos hallazgos sugieren una respuesta dinámica de la vegetación a las condiciones ambientales cambiantes, destacando su capacidad adaptativa. Aunque las lluvias pueden haber sido escasas, su distribución temporal y espacial puede haber sido favorable para ciertos sectores, permitiendo un mejor aprovechamiento del agua por la vegetación. No obstante, es importante considerar la variabilidad estacional del NDVI y la posibilidad de interpretaciones variadas de los valores del índice, subrayando la necesidad de análisis complementarios y temporales para una interpretación precisa de los datos.

De acuerdo con los registros históricos de monitoreo en los sectores de Tilopozo – La Punta, La Brava, Peine y Aguas de Quelana, las superficies de vegetación activa en el verano de 2024 se mantienen dentro de los rangos históricos y superan el mínimo histórico. En el sector Soncor, aunque se observa una tendencia constante en la superficie de vegetación activa comparada con años anteriores, sigue siendo inferior al mínimo histórico debido a mejoras en la precisión del mapeo y la corrección de imágenes.

Finalmente, la superficie de vegetación activa en las formaciones de vegas de *Schoenoplectus californicus* en el verano de 2024, comparada con datos históricos y de línea de base, muestra una superficie menor en los sectores de La Punta - La Brava, Tilopozo y Peine, siendo este el valor más bajo registrado hasta la fecha.

#### 14.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

El área de estudio se divide en tres sectores: a) La Punta y La Brava; b) Peine (lagunas Salada, Saladita e Interna, además de dos puntos de ambientes terrestres), ambos sectores ambientes de humedales; y c) Tilopozo (en su mayoría ambientes terrestres, con excepción de un ambiente de humedal, el humedal pajonal). A su vez, en estos sectores se delimitaron seis ambientes de fauna: área desprovista de vegetación (costra salina), herbazal, humedal salar, humedal pajonal, matorral y quebrada.

Cabe mencionar, que de las 16 campañas semestrales programadas y realizadas, han existido una serie de campañas en las que se ha visto limitado el acceso, **lo que tiene implicancias relevantes al momento de poder evaluar la evolución de esta componente, lo que conlleva a un análisis parcial y no completo**. En verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia, en verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo (no se muestrearon las lagunas de Peine) y en verano 2022 e invierno 2023 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo (no se completaron los muestreos de las lagunas de Peine, debido a la prohibición de acceso por activación del ciclo reproductivo de flamencos), por lo que las comparaciones deben considerarse con dichas restricciones, sobre todo, para aves acuáticas en general, y flamencos en particular.

Considerando el total acumulado para las 16 campañas (de invierno 2016 a verano 2024), la riqueza es de 68 especies de vertebrados, con una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 49 especies de aves y 16 especies de mamíferos. La riqueza total acumulada en este octavo año sobrepasa la riqueza histórica anterior al monitoreo, con 62 especies registradas en la línea base y varios años entre 2006 y 2015. Además se han observado 22 especies nuevas, no registradas en dicho periodo.

Los tres sectores presentan una riqueza acumulada que varía entre 51 especies en el sector de Tilopozo, a 26 especies en el sector de La Punta y La Brava, y con 35 especies en Peine, aunque la composición es muy diferente: en los sectores que contienen ambientes de humedal salar dominan las aves acuáticas, y en aquellos que contienen ambientes terrestres, los mamíferos.

A la escala de similitud de los ambientes (con mayor sentido biológico que la división de sectores) se forman dos grandes agrupaciones: los dos sistemas acuáticos de humedal salar, y los restantes ambientes terrestres junto con el humedal pajonal. La única agrupación no esperada es el de ADV costra salar, la que a pesar de ser el ambiente con muy baja riqueza

(sólo dos especies), se agrupa a los dos ambientes de humedal salar, por un sesgo del programa de agrupamiento (en rigor, debiera ser el ambiente más diferente a todo el resto).

En cuanto a la caracterización de la fauna detectada en todo el monitoreo PMB (posterior al histórico) se puede concluir que:

De acuerdo a su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile (los dos reptiles), en tanto que otras 62 especies son nativas, y finalmente, cuatro especies son catalogadas como introducidas y/o domesticadas.

De las 68 especies de fauna detectadas, 27 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 24 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las tres especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Rottmann & López-Callejas (1992) o Cofré & Marquet (1999).

Del total de 27 especies en categoría de conservación, 12 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable y Casi amenazada. Por su parte, 15 especies se catalogan sin amenaza (precautorias). El desglose de las categorías de conservación de las especies amenazadas es el siguiente:

- Reptiles (una especie): en categoría En peligro, *Liolaemus fabiani* (lagartija de Fabián).
- Aves (seis especies): en categoría Vulnerable: *Phoenicoparrus andinus* (parina grande), *Phoenicoarrus jamesi* (parina chica) y *Recurvirostra andina* (caití) y en categoría Casi Amenazada: *Fulica cornuta* (tagua cornuda), *Oreopholus ruficollis* (chorlo de campo) y *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno).
- Mamíferos (cinco especies): en categoría En Peligro crítico: *Chinchilla chinchilla* (chinchilla cordillerana); Vulnerable: *Lama guanicoe* (guanaco) y *Vicugna vicugna* (vicuña) y en categoría Casi amenazada, *Puma concolor* (puma) y *Myotis atacamensis* (murciélago de Atacama).

Ninguna de las especies registradas se considera Monumento Natural.

Del total de especies, cuatro corresponden a especies de baja movilidad, cinco a especies de movilidad media, y 59 a especies con alta movilidad. En relación con las especies especialistas de hábitat, 22 especies se consideran especialistas, como por ejemplo el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*; en ambientes de humedal), la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar), 19 aves (asociadas a ambientes de humedal) y un mamífero (la chinchilla cordillerana, habitante de roqueríos).

Finalmente, en cuanto al Índice de Riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo (*Liolaemus fabiani*, Lagartija de Fabián), en tanto que otras

cinco se encuentran clasificadas con un riesgo alto, 11 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 47 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A las especies introducida y/o domesticadas, no les aplica un índice de riesgo.

Además de la caracterización de fauna, y en relación con las abundancias y frecuencias, las dos especies de reptiles registradas presentan abundancias y frecuencias notoriamente diferentes, siendo mayor en las campañas de invierno 2024 (49 ejemplares) y menor en invierno 2022 (ocho individuos). En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza, a excepción de verano 2022 e invierno 2023, en el cual no se pudieron completar los muestreos de salares, ambiente específico de esta especie.

En relación con las aves, la abundancia fue mayor en invierno 2021 (806 individuos) y menor en verano 2023 (105 ejemplares, sin censo en las lagunas de Peine), destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas (salvo en veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024, además de invierno 2023, en que no se pudo ejecutar Peine, o se ejecutó parcialmente).

Considerando las abundancias totales por ambiente (y estandarizadas por transecto), en el caso de los reptiles, la mayor abundancia relativa se registró en el ambiente de humedal pajonal, seguido por el humedal salar, la quebrada, el herbazal y el matorral.

En el caso de las aves, y para todas las campañas<sup>43</sup>, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, seguido por el matorral, el humedal pajonal y la quebrada. Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal y el área desprovista de vegetación costra salar.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió, entre 0,8% a 13,3%. En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% a un 21,7%.

En particular, para las aves, los parámetros son mayores en el Monitoreo PMB que en la Línea de Base (ej. mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos)<sup>44</sup>, con amplias variaciones estacionales naturales, las cuales pueden explicarse fundamentalmente por el comportamiento móvil, en algunas especies esporádico y sobre todo, migratorio de las especies de aves (como la de los flamencos y pollito de mar).

---

<sup>43</sup> Excluyendo el monitoreo de los veranos 2021, 2022, 2023 y 2024, junto con invierno 2023, sin muestreo o incompleto de las lagunas de Peine por restricción de acceso (**Ver Anexo Cartas, Actas y Programaciones**).

<sup>44</sup> Ídem nota 6.

Las campañas de verano 2021, 2022, 2023 y 2024, junto con invierno 2023 serían la excepción en abundancia absoluta de aves, asociado a que no se pudo completar el número total de puntos de muestreo en sistemas que sustentan una importante cantidad de aves.

En general, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene en los monitoreos efectuados. Sin embargo, para el sistema Peine no podrían compararse los veranos de 2021, 2022, 2023 y 2024, junto con invierno 2023, dado que no se efectuó monitoreo de aves en el sector.

El patrón de dominancia de flamencos y la comparación de Monitoreo PMB versus Línea de Base se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema lagunar Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares, al menos en la primera etapa del monitoreo completo, hasta 2019). Analizando el sistema lagunar de La Punta y La Brava (con menor abundancia absoluta de aves, con algunas decenas de ejemplares, por lo que esto no afecta el análisis global dentro del rango histórico), si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base (aunque con una sola campaña a comparar, lo que implica cautela), pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos en La Punta y La Brava, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base (lo que está dado particularmente por la parina chica), exceptuando el monitoreo de invierno 2016, 2019, 2021 y 2022, donde en el monitoreo se presentó una mayor cantidad de flamencos que en la línea base.

Comparando con los valores y criterios especificados en el Plan de Manejo Biótico (PMB), en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones con la línea de base (campañas previas), y por sobre todo pese a la falta de información por no acceder a las zonas en las campañas de los últimos años, las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en la riqueza, composición y sobre todo, abundancia de fauna, se concluye que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base).

### **14.3 En relación con Tapetes Microbianos**

A continuación, se presentan las principales conclusiones del octavo año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle. Las conclusiones se presentan de manera ordenada por subcomponente, siguiendo la línea de presentación de este informe.

- *En relación con Tapetes Microbianos, microbialitos y evaporitas*

Las campañas de invierno tardío 2023 y verano 2024, evidenciaron la presencia de tapetes microbianos en los sistemas lagunares del sector La Punta-La Brava, principalmente de

Tipología 1. Por otro lado, el sector vegas de Tilopozo, nuevamente, y por octavo año consecutivo, no registró presencia de tapetes microbianos. Cabe resaltar, que sólo se hallaron tapetes microbianos en la campaña Invierno 2016. El sector Peine, no pudo ser muestreado en ninguna de las dos campañas debido a restricciones de acceso.

Por otro lado, a través de la identificación visual, tanto en la campaña invierno tardío 2023 como verano 2024, se observa la presencia de microbialitos en el sector de La Punta-La Brava (LP-23, LB-1) y de evaporitas (LP-24). No se observan este tipo de estructuras en el sector Tilopozo, al igual que en todas las campañas anteriores.

- *En relación con los cambios observados, considerando todas las campañas de monitoreo*

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos se observa la presencia de tapetes Tipología 1, 2 y 3 en las quince campañas realizadas a la fecha.

En el **sector La Punta-La Brava**, la Tipología 1 predominó desde invierno 2016 ininterrumpidamente hasta verano 2019, mientras que la Tipología 2 predominó desde invierno 2019 hasta invierno 2021, como consecuencia de la disminución de tapetes de Tipología 1. Posteriormente desde verano 2022 hasta la última campaña (verano 2024), ha predominado nuevamente la Tipología 1.

En general, los tapetes de Tipología 1, durante las 16 campañas de monitoreo, se caracterizaron por presentar en la macrozona Subsuperficial capas de tonalidad verde y naranja, en la macrozona Intermedia, capas de tonalidad rosada y/o púrpura. Respecto a la macrozona Profunda se observó variación en las capas pigmentadas según sector (i.e. Peine, La Punta-La Brava) y entre puntos de monitoreo de un mismo sector, las capas más comunes corresponden a tonalidades marrón y en menor medida, negro o verde claro.

Respecto a la estructura de pigmentación de los tapetes que presentaron dos macrozonas (Tipología 2), en las quince campañas, se caracterizaron por presentar generalmente capas Subsuperficiales de tonalidad verde y naranja y capas Intermedias de tonalidad púrpura y/o rosada. En casos donde se evidenció la macrozona Profunda (y no la Intermedia), predominó la tonalidad marrón.

En el **Sector La Punta-La Brava**, el número de capas promedio se mantuvo sin variación en Laguna La Brava, en invierno tardío 2023 respecto al invierno anterior (2022), y con una capa promedio más, que en inviernos 2019, 2020 y 2021. Por otro lado, Laguna La Punta, mantiene un ascenso en las capas promedio desde que se registró su nivel más bajo en invierno 2019,

pero sin llegar a alcanzar los niveles de inviernos 2016 a 2018. En verano 2024, se observa una tendencia similar a inviernos, donde tanto Laguna La Brava como Laguna La Punta, muestran una tendencia al aumento del número de capas promedio, que se ha sostenido desde verano de 2021, alcanzando niveles similares a los observados en verano 2017 y 2018.

En el **Sector Peine**, considerando que no se tienen resultados para campañas invierno tardío 2023 y verano 2024, no es posible obtener conclusiones, ni tampoco de la evolución respecto de años previos, donde también es escasa la información (especialmente para campañas de verano), debido a la dificultad que existe para acceder a los puntos de monitoreo debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.

A partir de la totalidad de campañas de monitoreo (16), se distinguen principalmente dos tipos de morfología de tapetes microbianos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo coriácea (rígida), los cuales predominan en Laguna La Brava (LB-1).

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, se sugiere la presencia de microbialitos, en invierno tardío 2023 y verano 2024, tanto en el sector Peine (I-11, en invierno 2022) como en el sector La Punta-La Brava (LB-1, LP-23). Respecto a las evaporitas, se sugiere la presencia de estas estructuras en las campañas de invierno y verano para el sector La Punta - La Brava en Laguna La Punta (LP-24). Dichas observaciones también se han evidenciado en las previas campañas de verano e invierno.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 1 en los tapetes microbianos, se podrían atribuir a las fluctuaciones naturales de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Otras variables de importancia que podrían estar modulando la presencia de tipologías corresponden a la alcalinidad, el potencial redox, el nivel y la disponibilidad de agua en las lagunas.

Cabe mencionar que, si bien se estudia la tipología, el número de capas y espesor de los tapetes, no necesariamente la tipología se asocia o correlaciona directamente con el número de capas, sino más bien, con la coloración que exhiben los tapetes, los cuales representan la funcionalidad de las comunidades, las cuales, a su vez, se asocian con las macrozonas de estas estructuras. En ese contexto, si se observan capas verdes y/o naranja (macrozona Subsuperficial), seguido de capas rosada y/o púrpura (macrozona Intermedia) y luego negro y/o café (macrozona Profunda), entonces se habla de Tipología 1. Si el tapete exhibe sólo dos macrozonas, entonces correspondería a Tipología 2, y si sólo exhibe una, entonces sería Tipología 3. Si bien, las capas pueden variar, mientras exista la presencia de, al menos, una capa representante de alguna macrozona, entonces se establece la presencia de ésta. Por ejemplo, un tapete puede tener 3 capas, cada una correspondiente a una macrozona, y ser

considerado Tipología 1, mientras que otro tapete, puede tener 6 capas, pero pertenecientes a dos macrozonas, pues entonces, sería considerado Tipología 2.

Con todo lo anterior, es posible observar variaciones para esta componente a lo largo de lo que va del seguimiento y se sigue analizando para generar información a través del PMB.

#### **14.4 En relación con Suelo o Sustrato**

En los monitoreos de invierno 2023 (M15) y de verano 2024 (M16), se lograron monitorear todos los puntos de muestreo y todos los parámetros comprometidos en la RCA 21/2016.

Cabe señalar que, para la campaña de verano 2024 (M16), se produjo un atraso en la entrega de resultados de análisis de parámetros de suelos por parte del laboratorio encargado (ALS Life Sciences Chile S.A), que redundó en un retraso en la etapa de análisis que en consecuencia impidió la presentación de estos en el informe semestral del PMB, sin embargo en el presente Informe Anual se incluye la información de la componente “suelos” del PMB para esta campaña. En Anexo Cartas y Prohibiciones de este informe Anual N°8 se incluye carta justificación de laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A.

Además de este retraso en los resultados, se produjo el extravío de dos muestras para el parámetro de fósforo disponible (ALS Life Sciences Chile S.A), según se indica en los resultados de Anexo 2, por lo que en dichos puntos (S 6-2 y S 11-2) se utiliza la información anterior para el análisis.

Para salinidad y conductividad eléctrica, tanto para el monitoreo de invierno (M15) como para verano (M16), en general, los valores de se presentan dentro de los rangos de variación histórica de anteriores monitoreos para cada muestra, excepto en el caso de algunas muestras que se presentan sobre los máximos históricos en los tres sectores.

Respecto del pH, la mayor parte de los suelos en todos los sectores se clasifican como moderadamente básico a ligeramente alcalino, registrándose variaciones muy menores en los niveles de pH, con la mayor parte de los resultados dentro de la variación histórica de los monitoreos de invierno y de verano.

En general, para materia orgánica se presenta una gran dispersión de datos, tanto entre diferentes monitoreos como entre puntos. Los mayores contenidos de materia orgánica para M15 y M16 se presentan en los puntos S 7 y S 8 en Tilopozo, lo que coincide con coberturas vegetacionales mucho mayores que el resto de los puntos y con importantes acumulaciones de raíces en estados intermedios de descomposición en el perfil de suelo analizado. Otros sectores asociados a coberturas vegetales en Peine, como S 11, también presenta los mayores niveles de materia orgánica dentro de su sector, tanto en M15 como en M16. En el sector de La Punta – La Brava, los mayores niveles se presentan en la muestra S 5-2 y S 3-1, donde no es posible establecer una relación directa entre cobertura vegetal en superficie y

niveles de materia orgánica como ocurre muy claramente en los otros sectores, pero si describe presencia de restos vegetales y acumulación orgánica en los perfiles muestreados, lo que se puede correlacionar con los resultados obtenidos. Además, en todos los sectores se presenta variabilidad en los resultados de los parámetros analizados para los perfiles muestreados. Esta variabilidad se explica parcialmente por la heterogeneidad natural del material parental de los suelos monitoreados. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un cambio tendencial en Materia orgánica, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental, con contenidos diferenciales de materia orgánica, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

En el monitoreo de nitrógeno disponible, en el sector de La Punta – La Brava, en M15 se presentan valores por sobre los máximos registrados a la fecha, y en las dos restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En Peine, en M15, también se presentan valores por sobre los máximos históricos (en 2 de las 8 muestras), y en las restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En Tilopozo, se presentan valores por sobre los máximos históricos en 4 de las 12 muestras, y en las restantes, los valores se encuentran cerca de dichos máximos. En todos los sectores, para M16, los valores se presentan dentro del rango de variación histórica, en la parte media de dichos registros.

Los valores de Nitrógeno disponible para M15 son mayores que en M16 en todos los puntos de muestreo, verificándose algunos casos donde dichas variaciones son extremadamente altas, las cuales se explican sólo parcialmente desde la variabilidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Con la información a la fecha, los valores fuera del rango histórico de invierno 2023 (M15) se consideran anómalos y habrá que esperar el siguiente invierno para poder verificar dichas concentraciones. Otras causas potenciales de variación en el nivel de nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas verde-azules), fijación simbiótica de nitrógeno (dependiente de la relación entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno), y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

En el monitoreo de fósforo disponible, en el sector de La Punta – La Brava, en verano 2024 (M16) en general, se presentan valores por sobre los máximos registrados, también en sector Peine y Tilopozo, con algunas excepciones. En el caso de los datos de invierno 2023 (M15), los valores se presentan en todos los casos dentro del rango de variación histórica, en la parte media alta de dichos registros. El monitoreo de Fósforo disponible realizado en invierno 2023 (M15), presenta valores que mayoritariamente están dentro del rango de variación histórica. Sin embargo, es posible apreciar un aumento tendencial importante en los niveles de fósforo a partir de M15, lo que se explica sólo parcialmente desde la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como dicha tendencia de aumento en el contenido de Fósforo disponible se confirma

en el tiempo. Los niveles de Fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

Los resultados para potasio disponible en el sector de La Punta – La Brava, Peine y Tilopozo indican que, para todas las muestras, los valores de invierno 2023 (M15) son mayores que los máximos históricos para todos los monitoreos, excepto solo una muestra en Tilopozo, pero que, de todas formas, presenta un elevado valor muy similar al máximo para dicho registro. En M16, los valores se presentan en el rango alto de la tendencia histórica de monitoreos de verano. Los elevados niveles de potasio que se presentan en M15 se encuentran muy por sobre la tendencia histórica de los datos para todos los monitoreos, con aumentos desde 0,5 a 5 veces los anteriores máximos históricos. Con la información a la fecha, los valores fuera del rango histórico de invierno 2023 (M15) se consideran anómalos y habrá que esperar el siguiente invierno para poder verificar dichas concentraciones. Estas variaciones se explican parcialmente por la gran variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los tipos de arcillas condicionan la disponibilidad del potasio en el suelo, por lo que variaciones en el material parental, pueden provocar cambios significativos en la disponibilidad de este nutriente. Niveles altos de humedad y de materia orgánica se relacionan con mayores niveles de disponibilidad de potasio en el suelo. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Potasio disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el retransporte de material parental con contenidos diferenciales de potasio desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

Los resultados de conductividad hidráulica para los monitoreos de invierno y verano muestran una gran dispersión de datos, tanto dentro de cada muestra, como entre diferentes puntos y muestras. En general, los valores de M15 se presentan en el rango alto de la serie de datos histórica, y con mayores valores que M16. A pesar de las diferencias en los valores absolutos registrados, en el Sector de La Punta – La Brava, en dos muestras se pasa de la categoría “muy alta” en M15 a “alta” en M16, y en una muestra se pasa desde “alta” a “muy alta” en el mismo periodo. En Peine solo una muestra cambia de categoría desde “muy alta” en M15 a “alta” en M16 y en Tilopozo se producen cambios de categorías entre M15 y M16 en cuatro casos, con una muestra que sube desde “alta” a “muy alta” y tres que bajan, dos muestras desde “muy alta” a “moderadamente alta”) y una muestra desde “muy alta” a “alta”. Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En

los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

En los resultados de clases texturales registrados, en todos los sectores se aprecia en el monitoreo de invierno M15 un cambio hacia texturas más finas, y luego en M16 de verano, un cambio hacia texturas más gruesas que en M15, y acercándose a los valores más comunes de los registros de la serie de datos históricos, que se mueven principalmente en el rango de texturas francas (medias). Es necesario complementar más datos a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el retransporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

En la serie de datos temporales de humedad para el sector La Punta – La Brava se aprecia que, en general, los resultados de los monitoreos de invierno y de verano se presentan dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro, con una gran consistencia de resultados al interior de cada muestra. En Peine también se presenta una gran consistencia de resultados con la tendencia histórica de cada muestra, pero se aprecia una gran variabilidad entre muestras, con los mayores valores en el punto S11, asociado a veces con gran crecimiento, y el punto S 14, pero en el segundo horizonte. En Tilopozo, los puntos S 7, S 8, y S 9 presentan los mayores niveles de humedad, lo que coincide con la descripción de nivel freático y ubicación geográfica en sector de vegas. En los puntos S 1 y S 2 presentan los menores niveles de humedad en el mismo sector, lo que se asocia a su ubicación geográfica (alejadas de zonas con vegetación y cerca de borde núcleo) y ausencia de nivel freático. En los monitoreos durante el periodo de seguimiento, se mantienen las diferencias indicadas entre las muestras al interior de cada sector para M15 y M16, pero con una baja variabilidad de datos dentro de los registros para cada muestra.

En la variación de nivel freático, que corresponde al nivel que es posible evaluar al momento de excavar para la toma de muestra de suelo (en caso contrario el nivel de agua está a mayor profundidad) tanto para el monitoreo de invierno como de verano, en La Punta – La Brava, todos los puntos presentan nivel freático y en Peine tres de cuatro puntos presentan nivel freático. En Tilopozo, en M15, cuatro puntos presentan nivel freático y en M16, solo se presenta en tres de ellos. El punto S 13 no registra nivel freático en M16, aunque si lo hace en M15. En general, las profundidades de los niveles freáticos registrado se encuentran dentro de la variación registrada en la serie de datos históricos. Los niveles freáticos de los puntos de muestreo tienen relación con su cercanía relativa a cuerpos lagunares, y en general se aprecian ligeras variaciones en algunos registros. La metodología utilizada para determinar niveles freáticos en el marco del monitoreo de suelos no forma parte del seguimiento comprometido ante la SMA. Los resultados de nivel freático en el marco del seguimiento del componente suelo, deben entenderse como información de carácter complementario, útil para la caracterización de los suelos.

En general, para todos los parámetros registrados en este informe, para un mismo punto de muestreo se registraron valores principalmente dentro de su rango de variación histórica en

los anteriores monitoreos, lo que en algunos casos generan cambios de categoría para el parámetro monitoreado. Es esperable que los resultados de los parámetros analizados muestren variaciones entre monitoreos. Muchos de estos cambios están asociados a la variabilidad natural que presentan los suelos analizados, sin embargo en algunos casos, la magnitud de dichas variaciones, y lo inusual o aisladas de las mismas, abren la posibilidad de considerarlas como variaciones anómalas dentro de la serie de datos del periodo de seguimiento. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como continúan los registros.

#### **14.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)**

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2023 como para el monitoreo de verano 2024, los parámetros físicos y químicos analizados en los sectores de estudio estuvieron en general dentro de los rangos determinados para estos sistemas según el marco de referencia de LB contemplado en el Plan de Manejo Biótico. Aun así, en algunos parámetros se observan valores fuera del rango de variación mínimo-máximo respecto a los registros recopilados en la Línea de Base de dicho PMB.

La **calidad de agua** en el sector La Punta y La Brava en ambas campañas, como es característico presentó en sus aguas una alta salinidad y conductividad, asociadas a las altas concentraciones de cloruro y sulfato, junto con un pH moderadamente alcalino relacionado con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total. En laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 presentaron la mayores conductividades ( $>103.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) y en la estación LB-3, se registran los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades altas, pero menores que en LB-1 y LB-2. Las temperaturas en general fueron altas, acorde con la baja profundidad de los cuerpos de agua, registrándose los mayores valores en LB-2 y LB-3 ( $>30^\circ\text{C}$ ). Históricamente se distinguen las estaciones LB-1 y LB-2 con comportamiento distinto a los demás puntos del sector, con mayores fluctuaciones principalmente en invierno, donde se alcanzaron los mayores valores en conductividad eléctrica y concentraciones de cloruro y sulfato del sector durante el invierno 2019 y el último invierno 2023, registrándose los valores menores de estos parámetros principalmente en invierno 2020 e invierno 2022. En laguna La Punta las variaciones en invierno han sido menores y en los veranos solo en verano 2019 se registraron altos valores referidos a sales, para posteriormente mostrar fluctuaciones moderadas. En LB-3 después del año 2021 se han visto a la baja las concentraciones, tanto en invierno como en verano, pero dentro de los límites de la LB.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema con menor conductividad (entre  $3.336$  y  $4.733 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad y sulfato en comparación con los otros sectores de estudio, además de un pH de neutro a moderadamente alcalino, condición esperable dada las

características propias de estas estaciones de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. Históricamente, los valores registrados en las estaciones TB-1 y TB-2 han sido estables, tanto en invierno como en verano, a diferencia de TB-2 que tuvo un registro más variable. Si bien las estaciones del sector Tilopozo se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares de los parámetros entre las estaciones TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación con la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con que las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial con condiciones estables y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial.

Con los resultados obtenidos al octavo año de monitoreo, se puede señalar que no existen cambios en los parámetros evaluados de calidad de aguas que puedan ser asociados a las operaciones de Albemarle. Si bien, hubo diferencias en algunos parámetros respecto a los registros de LB, tales diferencias pueden deberse a cambios propios de la variación natural de estos sistemas acuáticos salinos, dados tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar.

El análisis de **calidad de sedimentos**, si bien contó con sólo una campaña de LB previa de referencia (verano 2015) para los sectores de Peine y La Punta y La Brava; y para el sector de Tilopozo no hubo registros de LB respecto a la calidad de sedimentos, se cuenta con los monitoreos de verano del PMB (2017 a 2024). Estos muestran sedimentos relativamente ricos en carbono orgánico total y materia orgánica, siendo esta última aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica, además de concentraciones de fósforo variables, sin una tendencia clara de aumentar o disminuir los valores de estos parámetros, tanto temporal como espacialmente dentro de cada sector, aunque Tilopozo mostró las mayores concentraciones de fósforo. El potencial redox presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos, exceptuando en la campaña de verano 2023 en La Punta y La Brava, donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas. Las diferencias entre el actual registro y la LB estarían sujetas a la variación natural de los sistemas acuáticos que contienen sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos y yeso.

En cuanto a las **comunidades biológicas** y en términos históricos y campañas de monitoreo, se detectaron riquezas en general dentro de los rangos establecidos previamente en la línea de base, y abundancias variables en función del sector evaluado.

En cuanto a las comunidades biológicas en invierno 2023 y verano 2024, en el sector La Punta y La Brava, tanto para fitobentos como para fitoplancton, se registraron riquezas dentro del

rango de la LB del PMB. Excepto para fitoplancton en verano 2024 donde se detectaron riquezas por debajo del límite mínimo de la LB. Respecto de la abundancia, para fitobentos, en invierno 2023 y verano 2024 se detectaron altas abundancias en todas las estaciones de monitoreo, con registros por sobre el límite máximo de la LB. Obteniendo en invierno 2023 y verano 2024, las mayores abundancias registradas a la fecha, de la misma manera, se ha observado un aumento de la abundancia en el tiempo desde la campaña de invierno 2019 y verano 2021, en todas las estaciones de La Punta y La Brava.

En tanto, para fitoplancton se detectaron en invierno 2023 y verano 2024, abundancias bajas, incluso con valores por debajo del límite mínimo consignado previamente en la LB, dichos registros fueron observados en todas las estaciones de La Brava, además en este sector para periodos de invierno, desde el invierno 2020, la abundancia esta presentado una disminución. En tanto, para periodos de verano el fitoplancton está presentado una disminución, en todas las estaciones desde el verano 2021.

El sector de Tilopozo en invierno 2023 y verano 2024, mostró tanto para fitobentos como para fitoplancton, riquezas dentro del rango de variación en relación con los monitoreos de invierno y verano anteriores. En tanto, la abundancia de fitobentos ha presentado una disminución en el tiempo hasta la campaña de invierno 2020, posterior a esta se ha ido observando un aumento de la abundancia en todas las estaciones de monitoreo, obteniendo en invierno 2023 los mayores registros a la fecha. En tanto, en periodos de verano, el fitobentos, ha presentado un aumento de la abundancia en todas las estaciones, obteniendo en verano 2024 los mayores registros a la fecha. Por último, para fitoplancton, la abundancia se ha mantenido dentro del rango de variación en relación con los monitoreos de invierno y verano anteriores.

Respecto de los índices comunitarios en la campaña de invierno 2023 en La Punta y La Brava, para fitobentos y fitoplancton la mayor diversidad y equidad se observó en la Laguna La Brava. Para el sector Tilopozo, los valores de diversidad de la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-3, y en el fitoplancton en la estación TB-2. En tanto, la equidad fue mayor en la estación TB-1 en el fitobentos y en TB-1 para fitoplancton. Al contrario, en verano 2024 en La Punta y La Brava, los valores de diversidad y equidad de la comunidad de fitobentos, fueron mayores en la estación LP-24, y para el fitoplancton en la estación LB-3. Para el sector Tilopozo, los valores de diversidad y equidad del fitobentos, fueron mayores en la estación TB-2 y para el fitoplancton en TB-3.

En invierno 2023 y verano 2024 como en los anteriores monitoreos, se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), en los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo para ambos componentes, fitobentos y fitoplancton. En relación con los géneros frecuentes y dominantes, estos correspondieron a los históricamente reportados, todos relacionados a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos.

Por último, en relación con las variaciones obtenidas en el presente monitoreo anual para los componentes fitobentos y fitoplancton y en relación con la riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, se sugiere que las variaciones estacionales dadas entre invierno y verano (muestreo post lluvias), serían propias de la dinámica natural de las comunidades microalgales, las que aumentan o disminuyen en función de las precipitaciones, evaporación y condiciones del hábitat entre periodos estacionales (Cepeda-Pizarro 2013; Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004). A una escala menor, la salinidad, alcalinidad, oxígeno disuelto, conductividad, entre otras. Afectan la diversidad microalgal y bacteriana y las tasas de fotosíntesis. La conjunción de todos estos factores, y dependiendo del sector y estación de monitoreo, estarían surtiendo un efecto sobre las riquezas y abundancias de las comunidades microalgales (Farias *et al.* 2017).

Respecto al *zooplancton* encontrado, en general se han registrado bajas riquezas en los sistemas monitoreados (históricamente de 0 a 6 *taxa*) y en general valores de abundancia total dentro del rango establecido por la línea base del PMB, aunque en las campañas de verano 2021 2023 y 2024, se registraron las menores abundancias totales dentro del Plan de Manejo Biótico, tanto en la laguna La Punta y como en La Brava. En este sector, tanto en invierno como en verano han dominado los copépodos del género *Boeckella* y *Tigriopus*, junto con *Artemia franciscana*. Los copépodos *Boeckella poopuensis* se encontraron mayoritariamente en laguna La Punta y *Artemia franciscana* en La Brava, lo que se relaciona con su nivel de tolerancia a la salinidad. En Tilopozo se observaron en general bajas abundancias totales, registrándose principalmente copépodos ciclopoideos durante invierno y dípteros quironómidos en verano. En los últimos monitoreos desde verano 2023 en adelante, si bien se registraron bajas abundancias, el zooplancton registrado en el sector de Tilopozo, correspondió a fauna compuesta principalmente por organismos bentónicos, entre ellos *Heleobia atacamensis*.

El *zoobentos* tanto en invierno 2022 como en verano 2023, mostró en general bajas riquezas (entre 0 y 6 *taxa*), con abundancias variables entre invierno y verano y entre los distintos sistemas. Históricamente, tanto en Peine como en La Punta y La Brava, dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros (varias familias), siendo en distintas oportunidades dominantes los dípteros Ceratopogonidae, los copépodos Harpacticoidea, los ostrácodos Cyprididae y el gasterópodo *Heleobia* sp. En el sector de Tilopozo dominó ampliamente el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano, en las estaciones que corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial. En el pajonal hídrico de baja profundidad dominaron los dípteros y *Heleobia atacamensis*. La presencia de Cochliopidae, representado por *Heleobia atacamensis* es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA), y se presume que *Heleobia* sp. corresponde a esta especie, ya que ha sido descrita en literatura para el sector de Tilopozo de forma específica (Collado *et al.*, 2011) y registrada históricamente durante el PMB.

Respecto de las *plantas vasculares acuáticas* y en términos comparativos entre invierno 2023 y verano 2024 e históricamente (campañas 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023), en el sector vegas de Tilopozo, se registró un número mayor de especies respecto del sector Peine y menor a La Punta y La Brava, con especies distintas entre sistemas debido a la diferencia de salinidad presentada entre pozas y lagunas. Cabe mencionar que las plantas reportadas en los tres sectores correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria. Como resultado de los monitoreos, las plantas vasculares acuáticas se mantuvieron más bien estables en el tiempo (periodos invierno y verano), en cuanto a riqueza y abundancias entre los sectores estudiados.

Los resultados de este monitoreo invierno 2023 y verano 2024, corresponden a parte del seguimiento de estos sistemas, los resultados mostraron algunas variaciones respecto a los monitoreos previos y los límites de referencia de la LB, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran en general dentro de los rangos de variación para estos sistemas. La continuidad de estas evaluaciones, tanto estivales como invernales, permitirá evidenciar patrones de las dinámicas naturales y detectar eventuales cambios asociados a la operación en los sistemas en estudio.

#### 14.6 En relación con Área de Lagunas

De los resultados de las campañas para el año 2023, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno (agosto 2023) se encuentran por sobre el mínimo histórico para el sector La Punta – La Brava y bajo el mínimo histórico para el sector Peine. En el caso de la estación de verano (diciembre 2023) ambos sistemas presentaron superficies bajo el mínimo histórico. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies consideradas como históricas en AR fueron las determinadas en Anexo 2, Apéndice B de Ad5 del Proyecto, las que considera meses distintos (marzo – abril) a los reportados semestralmente en el PMB/PSAH (agosto y diciembre), debido al compromiso de lagunas en PSAH, aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en la discusión de este informe.

De la validación de las coberturas determinadas para el año 2023, con relación a los datos recabados en terreno, mediante el índice *Kappa*, se concluye de los valores obtenidos una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderada a considerable*<sup>45</sup>.

Los resultados de la correlación entre las superficies calculadas desde de alta resolución (Pleiades 1-A) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de

<sup>45</sup> Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

Pearson, muestran relaciones positivas entre las variables en todos los sectores. En el caso del sector La Punta - La Brava, se observó una correlación de 0,763, indicando una relación positiva moderada, respaldada por un valor p significativo y un coeficiente de determinación del 0,582. De manera similar, en el sector Peine se identificó una correlación de 0,748 indicando relaciones positivas y respaldada por un valor p significativo, junto con un coeficiente de determinación del 0,560. Estos resultados subrayan la consistencia estadística de las asociaciones entre las variables Pleiades y Landsat en los sectores analizados.

- Sector La Punta-La Brava

La serie histórica de superficies lagunares entre 1972 y 2023, basada en imágenes satelitales Landsat y el índice NDWI, ofrece una visión detallada de las variaciones estacionales. Se destaca la máxima extensión durante los inviernos y los registros más bajos generalmente en verano, con eventos destacados en marzo 1973, diciembre 2016 y diciembre 2020. La tendencia histórica muestra una disminución de las superficies invernales desde el año 2000, y la brecha entre inviernos y veranos se ha acortado desde 2008 en adelante. Considerando el período 2013 a 2023, se observa un quiebre en la tendencia de las superficies lagunares en 2021-2023, respecto a lo previo.

Las observaciones durante el monitoreo (2016-2023) muestran que las superficies calculadas con Landsat en el marco del PMB están dentro de los registros históricos, tanto en invierno como en verano, siendo consistentes con los datos NDWI. Las diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los informes semestrales del PMB se atribuyen a mejoras metodológicas, como el robustecimiento del procesamiento de imágenes y la validación en terreno, que han depurado límites de cuerpos de agua y calibrado los modelos de clasificación.

En cuanto a las variaciones intranuales NDWI/Landsat 2016/2023, muestra una relación menos directa entre las precipitaciones y las superficies lagunares. Aunque se observan aumentos de superficie en invierno y descensos en verano, la amplitud de la variación es pequeña. La falta de una correspondencia directa entre las superficies y la precipitación, excepto en casos puntuales, sugiere que otros factores, como la evaporación y los niveles de aguas subsuperficiales, podrían desempeñar un papel más significativo en las variaciones intranuales.

La variación semestral de las superficies lagunares determinadas en el PMB, evaluada con imágenes de alta resolución, muestra divergencias con los registros históricos, especialmente en verano desde 2020. Para los meses de invierno no hay variaciones, con valores sobre los registros de la Adenda 5 RWL (2015). A pesar de los aportes de precipitaciones registrados entre 2016 y 2023, la relación entre estas y las variaciones en las superficies lagunares no es determinante.

- Sector Peine

La serie histórica de imágenes de mediana resolución (1972-2023) revela importantes fluctuaciones en las superficies lagunares durante los inviernos hasta 2014, destacando máximos en 1985 y mínimos en 1975. Posteriormente, tanto inviernos como veranos muestran una tendencia a la baja desde 2015 hasta 2023. El PMB entre 2016-2023 presenta registros de superficies calculadas con Landsat que se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según la variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 - 2023.

Las diferencias entre la serie histórica NDWI-Landsat y las superficies reportadas en los informes semestrales del PMB se atribuyen a robustas mejoras en la metodología de procesamiento, la inclusión de índices espectrales y la validación en terreno. Las variaciones intranuales para el sector Peine muestran un aumento puntual en las superficies lagunares en 2013 y 2020 asociado a eventos de precipitación. Posterior al 2020, se presenta una reducción de la superficie lagunar total, las que se atribuyen a la disminución de los eventos de precipitación, principalmente por los cambios en las zonas de inundación.

La comparación de las superficies semestrales del PMB con las históricas en AR muestra que, desde el invierno de 2021, estas están por debajo del mínimo histórico en AR. Las variaciones estacionales en Peine, respaldadas por imágenes Landsat, confirman el modelo conceptual formulado durante la evaluación del proyecto. Aunque se observa cierta relación entre las precipitaciones y las variaciones en las superficies lagunares en algunos casos, la falta de consistencia sugiere la influencia de otros factores, como la evaporación y los niveles subsuperficiales.

#### **14.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas**

El PMB considera el monitoreo del nivel freático en cinco (5) puntos ubicados en el entorno de los Sistemas Lagunares La Punta – La Brava y Peine. Del análisis realizado para los registros del período abril 2023 – marzo 2024, es importante tener en consideración que el período con registros previo al inicio del Proyecto se extiende por solamente 3 años (mayo 2013 – marzo 2016), en dos de los cuales se presentaron eventos de alta intensidad de precipitación (2013 y 2015), siendo el nivel freático de dicho período representativo de estas condiciones particulares.

Para el Sector Peine, no es posible hacer una evaluación de la condición media anual, ni del período de verano, debido a la imposibilidad de desarrollar mediciones en dicha época, por corresponder a la época de reproducción de flamencos.

Respecto al período con registros (abril 2023 – octubre 2024), ambos pozos presentaron valores similares a los del año previo. En el caso de BA-21, si bien el nivel máximo fue inferior al del año anterior, en promedio los registros fueron superiores a los medidos en dicho período.

Para el sector La Punta – La Brava, se sigue observando una tendencia al descenso en los pozos BA-05 y BA-07, los que presentaron sus registros inferiores en todo el período con mediciones. En el caso del pozo BA-16, muestra una condición relativamente estable en los últimos años, de manera posterior a las precipitaciones de 2019.

## 15 REFERENCIAS

### 15.1 Flora y Vegetación

ANEXO 2, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE B. DEL PROYECTO RWL 2015. “*Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*”. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.

AHUMADA, M. y L. Faúndez. Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión Altiplánica (SVAHT). Santiago, Chile: Unidad de Asuntos Públicos Corporativos, Servicio Agrícola y Ganadero, 2009.

BLACKMAN, G. E. (1935). *A study by statistical methods of the distribution of species in grassland associations*. Annals of Botany, 49(196), 749-777.

CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Monitoreo de flora y vegetación: Seguimiento de transectas de vegetación azonal en el salar de Atacama para el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016a.

CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Determinación espacio temporal de cuerpos de agua en Salar de Atacama para el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016b.

CHANDER G., B. Markham, D. Helder. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp. 2009.

CHUVIECO E. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. España: Ariel Ciencia. 594 pp. 2002.

- CONAF, Corporación Nacional Forestal, Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), Universidad Austral de Chile (UACH), Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y Universidad Católica de Temuco (UCT). Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Santiago, Chile. 1999.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal. Guía de Evaluación Ambiental. Criterios para la participación de CONAF en el SEIA. Santiago, Chile. 2014.
- DEGANO, C. (1999). Respuestas morfológicas y anatómicas de *Tessaria absinthioides* (Hook. et Arn.) DC. a la salinidad. Rev. Brasil. Bot. Sao Paulo, 22, 357-363.
- ETIENNE, M. & Prado, C. Descripción de la vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras (COT). Conceptos y Manual de uso práctico. [Publicaciones Misceláneas N° 10]. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Escuela de Agronomía. 1982
- FONT QUER, P. Diccionario de Botánica. Barcelona-Buenos Aires, España-Argentina. 1965.
- GAJARDO, R. Vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, 1994.
- GODRON, M., P. Daget & L. Emberger. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Paris, France : Centre National de la recherche scientifique.1968.
- GONZAGA, C. (2014). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. Universidad Nacional de La Plata, Ecuador.
- GOODALL, D. W. (1952). Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Australian Journal of Biological Sciences, 5(1), 1-41.
- GREIG-SMITH, P. (1983). *Quantitative plant ecology* (Vol. 9). Univ. of California Press.
- JULIÁ, C., Montecinos, S. y Maldonado, A. Características climáticas de la región de Atacama, Capítulo 3 en Libro Rojo de flora nativa y de los sitios prioritarios para la conservación: Región de Atacama. Eds. F.A. Squeo, G. Arancia y J.R. Gutiérrez. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena Chile. 2008. 3: 25-42.
- KENDALL, M.G., Rank correlation methods. 3 ed. Ed. Hafner Publishing Company. New York, 1962.

- KRIGE, D. G. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand: By DG Krige (Doctoral dissertation, University of the Witwatersrand). 1951.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.
- LUEBERT, F y P. Pliscoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Universitaria. 2017.
- MANN. H.B., Non-parametric tests against trend, *Econometría*, 13, pp. 245–259, 1945. [22]
- MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.
- MUELLER-DUMBOIS, D y H. Elleberg. Aims and methods of vegetation ecology. John Willey, Nueva York, 1974. 547 p.
- MUÑOZ Marín, C. M. Análisis de la variabilidad en series hidrometeorológicas en una cuenca de cabecera del Río Segura. 2008.
- RAHMAN, M y A. Islam. *NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment*. University of Rajshahi Bangladesh, Dept. of Geography and Environmental Studies, 1995.
- RAMSAR. Documento informativo Ramsar No. 1. Ramsar, Irán, 1971. Consultado en septiembre de 2016 del sitio web: <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp:01.pdf>
- SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en agosto de 2023 del sitio web: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/pleiades-1/>
- SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en mayo de 2024 del sitio web: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/pleiades-1/>
- TUCKER, J. *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. Remote Sensing of the Environment 8 (2), 127-150 pp. 1979.

WOENSBY, C. E. (1973). Modified step-point system for botanical composition and basal cover estimates. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 26(4), 302-303.

## 15.2 Fauna Vertebrados Terrestres

### Artículos científicos y capítulos de libros

Araya, B. & Millie, G. (1998). *Guía de campo de las aves de Chile* (8ª. Ed.). Santiago, Chile: Universitaria.

Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. (1996). *Ecology: Individuals, Populations and Communities* (3ª. Ed.). Oxford, UK: Blackwell Science.

Benavides, E., Ortiz, J.C. & Formas, J.R. (2002). A new species of *Telmatobius* (Anura: Leptodactylidae) from Northern Chile. *Herpetológica*, 58(2), 210-220.

Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2015) Plan de Manejo Biótico. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico.

Cei, J.M. (1962). *Batracios de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.

Clements, F.E. (1905). *Research Methods in Ecology*. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska Publishing Company.

Cofré, H. & Marquet, P. (1999). Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: An assessment. *Biological Conservation*, 88, 53-68.

Cuevas, C. & Formas, R. (2002). *Telmatobius philippii*, una nueva especie de rana acuática de Ollagüe, norte de Chile (Leptodactylidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1), 245-258.

De la Maza, M. & Bonacic, C. (Eds.) (2014). *Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile*. Santiago, Chile: Ediciones UC.

Díaz-Páez, H. & Ortiz, J.C. (2003). Evaluación del estado de conservación de los anfibios en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 509-525.

Donoso-Barros, R. (1966). *Reptiles de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.

- 
- Glade, A. (Ed.) (1993). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile*. Santiago, Chile: CONAF.
- Iriarte, A. (2008). *Mamíferos de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.
- Iriarte, A. & Jaksic, F. (2012). *Los carnívoros de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna y CASEB.
- Iriarte, A., Lagos, N. & Villalobos, R. (2011). *Los Mamíferos de la Región de Antofagasta*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna Chile Limitada.
- Jaramillo, A. (2005). *Aves de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.
- Johnson, A.W. & Goodall, J.D. (1965). *The birds of Chile and Adjacent regions of Argentina, Bolivia, and Perú, Volume I*. Buenos Aires, Argentina: Platt Establecimientos Gráficos.
- Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, EEUU: Springer Netherlands.
- Mann, G. (1978). Los pequeños mamíferos de Chile (marsupiales, quirópteros, edentados y roedores). *Gayana zoológica*, 40, 1-342.
- Martínez, D. & González, G. (2005). *Las aves de Chile. Nueva guía de campo*. Santiago, Chile: Ediciones del naturalista.
- Martínez, D & González, G (2017). Martínez-Piña, D. & González-Cifuentes, G. (2017). *Las aves de Chile. Guía de campo y Breve Historia Natural*. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2010). *Huellas y signos de mamíferos de Chile*. Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Muñoz-Pedrerros, A. & Yáñez, J. (2009). *Mamíferos de Chile (2ª. Ed.)*. Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Núñez, H., Maldonado, V. & Pérez, R. (1997). Reunión de trabajo con especialistas de herpetología para categorización de especies según estados de conservación. *Noticiero mensual Museo Nacional de Historia Natural*, 329, 12-19.
- Pincheira-Donoso, D. & Núñez, H. (2005). *Las especies chilenas del género Liolaemus. Taxonomía, sistemática y evolución*. Santiago, Chile: Atenas.

Pincheira-Donoso, D., Scolaro, J.A. & Sura, P. (2008). *A monographic catalogue on the systematics and phylogeny of the South American iguanian lizard family Liolaemidae (Squamata, Iguania)*. Auckland, NZ: Magnolia press.

PMB 2015, Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B Proyecto RWL 2015. “Plan de Manejo Biótico”. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada.

Podani, J. (2000). *Introduction to the exploration of multivariate biological data*. Leiden: Backhuys.

Rottman, J. & López-Callejas, M.V. (1992). *Estrategia Nacional de Conservación de Aves. Serie Técnica 1*. Santiago, Chile: SAG, División de Protección de los Recursos Naturales Renovables.

Rudran, R., Kunz, T.H., Southwell, C., Jarmann, P. & Smith, A.P. (1996). Chapter 6. Observational techniques for nonvolant mammals. En D.E. Wilson, F.R. Cole, J.D. Nichols, R. Rudran & M.S. Foster (Eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals* (pp.81-104). Washington, DC, EEUU: Smithsonian.

Spotorno, A.E. & Patton, J.L. (2015). Superfamily Chinchilloidea Bennett. En J.L. Patton., U.F.J, Pardiñas. & G, D'Elía (Eds.), *Mammals of South America. Volume 2: Rodents* (pp.762-783). Chicago, IL, EEUU: [s.n].

Utrera, A. (2004). Metodología para evaluar sensibilidad de hábitat basada en el recurso fauna silvestre. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 22, 56-72.

Vidal, M. & Labra, A. (2008). *Herpetología de Chile*. Santiago, Chile: ScienceVerlag.

### **Servicios Públicos, Convenciones, Leyes y Decretos**

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2009). *Minuta Prelación para efectos del SEIA de las clasificaciones y/o categorizaciones de las especies de flora y fauna*. Santiago, Chile: Autor.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (1988). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (30 de junio de 2006). Declara Monumento Natural a las especies de fauna silvestre huemul, chinchilla costina, chinchilla cordillerana, cóndor,

---

picaflor de Arica y picaflor de Juan Fernández. Decreto Supremo N° 2 de 2006 (D.S. N°02/2006 MINAGRI). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (27 de febrero de 2012). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, quinto proceso. Decreto Supremo N° 33 de 2011 (D.S. N°33/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de abril de 2012). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, sexto proceso. Decreto Supremo N° 41 de 2011 (D.S. N°41/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de abril de 2012.). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, séptimo proceso. Decreto Supremo N° 42 de 2011 (D.S. N°42/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de febrero de 2013). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, octavo proceso. Decreto Supremo No. 19 de 2012 (D.S. N°19/2012 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (25 de julio de 2013). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, noveno proceso. Decreto Supremo No. 19 de 2012 (D.S. N°13/2013 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (29 de agosto de 2014). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo proceso. Decreto Supremo N° 52 de 2014 (D.S. N°52/2014 MMA). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (04 de diciembre de 2015). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, undécimo proceso. Decreto Supremo N° 38 de 2015 (D.S. N°38/2015 MMA). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (30 de septiembre de 2016). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, duodécimo proceso.

Decreto Supremo N° 16 de 2016 (D.S. N°16/2016 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (16 de marzo de 2017). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo tercer proceso. Decreto Supremo N° 6 de 2017 (D.S. N°6/2017 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (02 de agosto de 2018). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo cuarto proceso. Decreto Supremo N° 79 de 2018 (D.S. N°79/2018 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (30 de julio de 2019). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo quinto proceso. Decreto Supremo N° 23 de 2019 (D.S. N°23/2019 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (3 de agosto de 2020). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo sexto proceso. Decreto Supremo N° 16 de 2020 (D.S. N°16/2020 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (12 de octubre de 2021). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo séptimo proceso. Decreto Supremo N° 44 de 2021 (D.S. N°44/2021 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (6 de abril de 2023). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo octavo proceso. Decreto Supremo N° 10 de 2023 (D.S. N°10/2023 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (3 de enero de 2024). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimonoveno proceso. Decreto Supremo N° 02 de 2024 (D.S. N°02/2024 MMA).

Ministerio de Relaciones Exteriores (MINREL). (4 de octubre 1967). Convención para la protección de la flora, la fauna y las bellezas escénicas naturales de América. Firmado en Washington el 12 de Octubre de 1940, promulgada por Decreto Supremo No.531 de 1967 (D.S. N°531/1967 MINREL). *Diario oficial de la República de Chile.*

Ministerio de Relaciones Exteriores (MINREL). (12 de diciembre 1981). Promulga el convenio sobre la conservación de especies migratorias de la fauna salvaje. Decreto Supremo N°868 de 1981 (D.S. N°868/1981 MINREL). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (9 de marzo de 1994). Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente (Santiago, Chile), Ley 19.300

(Modificada por Ley 20.417 MINSEGPRES, 2010). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (7 de diciembre de 2002). Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental (Santiago, Chile). Decreto Supremo N° 95 de 2002 (D.S. N°95/2002 MINSEGPRES). (Modificado por el Decreto Supremo N°40 de 2012; D.S. N°40/2012 MMA). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (11 de mayo de 2005). Reglamento para la clasificación de especies silvestres (Santiago, Chile). Decreto Supremo N° 75 de 2005 (D.S. N°75/2005 MINSEGPRES). (Modificado por el Decreto Supremo N°29 de 2012; D.S. N°29/2012 MMA). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (24 de marzo de 2007). Aprueba y oficializa nómina para el primer proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Decreto Supremo N° 151 de 2007 (D.S. N°151/2007 MINSEGPRES). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (30 de junio de 2008). Aprueba y oficializa nómina para el segundo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Decreto Supremo N° 50 de 2008 (D.S. N°50/2008 MINSEGPRES). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (30 de junio de 2008). Aprueba y oficializa nómina para el tercer proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Decreto Supremo N° 51 de 2008 (D.S. N°51/2008 MINSEGPRES). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). (7 de mayo de 2009). Aprueba y oficializa nómina para el cuarto proceso de clasificación de especies silvestres según su estado de conservación. Decreto Supremo N°23 de 2009 (D.S. N°23/2009 MINSEGPRES). *Diario oficial de la República de Chile*.

*Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas*. (1971). Ponencia presentada en Oficina de Normas Internacionales y Asuntos Legales Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Ramsar, Iran.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2012a). *La ley de caza y su reglamento*. (Ley N°19.473 y D.S. N°5/1998 MINAGRI). Santiago, Chile: Autor.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2012b). *Guía de Evaluación Ambiental: componente fauna silvestre*. Santiago, Chile: Autor.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2016). *Guía de Evaluación Ambiental Componente Fauna Silvestre D-PR-GA-01*. Santiago, Chile: Autor

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2015). *Guía para la descripción de los componentes Suelo, Flora y Fauna de ecosistemas terrestres*. Santiago, Chile: Autor.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2012). *Categorías y criterios de la lista roja de la UICN*. Gland, Suiza: Autor.

### 15.3 Tapetes Microbianos

AL-THANI R, AL-NAJJAR MA, AL-RAEI AM, FERDELMAN T, THANG NM, AL SHAIKH I, AL-ANSI M, DE BEER D. 2014. Community structure and activity of a highly dynamic and nutrient-limited hypersaline microbial mat in Um Alhool Sabkha, Qatar. *PLoS One*, 9: e92405.

BOLHUIS H, CRETOIU MS, STAL LJ. 2014. Molecular ecology of microbial mats. *FEMS microbiology ecology*, 90: 335-350.

BURNE R, L MOORE. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 241-254.

CARDOSO DC, CRETOIU MS, STAL LJ, BOLHUIS H. 2019. Seasonal development of a coastal microbial mat. *Scientific reports*, 9: 9035.

CHEN R, WONG HL, KINDLER GS, MACLEOD FI, BENAUD N, FERRARI BC, BURNS BP. 2020. Discovery of an Abundance of Biosynthetic Gene Clusters in Shark Bay Microbial Mats. *Front Microbiol*, 11: 1950.

DEMERGASSO C, ESCUDERO L, CASAMAYOR EO, CHONG G, BALAGUE V, PEDROS-ALIO C. 2008. Novelty and spatio-temporal heterogeneity in the bacterial diversity of hypersaline Lake Tebenquiche (Salar de Atacama). *Extremophiles*, 12: 491–504.

DORADOR C, REMONSELLEZ F, VILA I, IMHOFF, J, WITZEL K. 2010. Unique clusters of Archaea in Salar de Huasco, an athalassohaline evaporitic basin of the Chilean Altiplano. *FEMS Microbiology Ecology*, 73: 291-302.

- EYMARD I, ALVAREZ MDP, BILMES A, VASCONCELOS C, ARIZTEGUI D. 2020. Tracking Organomineralization Processes from Living Microbial Mats to Fossil Microbialites. *Minerals*; 10: 605.
- FARIAS M, CONTRERAS M. 2013. Ecosistemas Microbianos. ¿Nuevo patrimonio de la Humanidad? *Revista Bitacora Ecológica Vol:1* (Chile).
- FARIAS ME, CONTRERAS M. 2017. Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos. Centro de Ecología. Proyecto “Análisis de Adaptación al Cambio Climático en Humedales Andinos”, código BIP N° 30126735-0.
- FARIAS ME, RASUK MC, GALLAGHER KL, CONTRERAS M, KURTH D, FERNANDEZ AB, POIRÉ D, NOVOA F, VISSCHER PT. 2017. Prokaryotic diversity and biogeochemical characteristics of benthic microbial ecosystems at La Brava, a hypersaline lake at Salar de Atacama, Chile. *PLoS ONE* 12: e0186867.
- GERARDI M, LYTLE B. 2015. Purple and Green Sulfur Bacteria. The Biology and Troubleshooting of Facultative Lagoons, First Edition. United States, New Jersey. 215p.
- GISCHLER E, GOLUBIC S, GIBSON M, OSCHMANN W, HUDSON H. 2010. Microbial Mats and Microbialites in the Freshwater Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 187–205.
- GLUNK C, DUPRAZ C, BRAISSANT O, GALLAGHER KL, VERRECCHIA EP, VISSCHER PT. 2010. Microbially mediated carbonate precipitation in a hypersaline lake, Big Pond (Eleuthera, Bahamas). *Sedimentology*, 58: 720-736 pp.
- GUEDES AC, AMARO HM, MALCATA FX. 2011. Microalgae as Sources of Carotenoids. *Marine Drugs*, 9: 625.644.
- KONHAUSER K. 2007. Introduction to Geomicrobiology. Blackwell Science. Australia. 425 pp.
- MAANA A, AREF M. 2022. Microbial mats and evaporite facies variation in a supralittoral, ephemeral lake, Red Sea coast, Saudi Arabia. *Facies*, 68: 3.
- MADIGAN M, MARTINKO J, DUNLAP P, CLARK D. 2009. Brock *Biología de los Microorganismos*. 12<sup>th</sup> ed. Pearson Educación. Madrid, España. 1259 p.
- PAERL HW, YANNARELL AC. 2010. Environmental Dynamics, Community Structure and Function in a Hypersaline Microbial Mat. In: Seckbach J., Oren A. (eds) *Microbial Mats. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, vol 14. Springer, Dordrecht.

- PRIETO-BARAJAS C, VALENCIA-CANTERO E, SANTOYO G. 2018 Microbial mat ecosystems: Structure types, functional diversity, and biotechnological application. *Electronic Journal of Biotechnology*, 31: 48-56
- RIDING R, AWRAMIK SM. 2000. *Microbial Sediments*. Springer-Verlag, Berlin. 331pp.
- RISACHER F., ALONSO H., SALAZAR C. 1999. *Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones - Chile. Volumen III: Estudio de Cuencas de la II Región. Convenio de Cooperación DGA – UCN – IRD (S.I.T. N° 51)*, 299 pp.
- RODRÍGUEZ-ARANDA J, SANZ-MONTERO M. 2015. Tapices microbianos: los organismos que fabrican estromatolitos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23: 208-219.
- ROGOZIN D, ZYKOV V, TARNOVSKII M. 2016. Dynamics of purple sulfur bacteria in a meromictic saline Lake Shunet (Khakassia, Siberia) in 2007–2013. *Microbiology*, 85: 93-101
- SAONA LA, VILLAFANE PG, CARRIZO D, CÓNSOLE GONELLA C, NÉSPOLO RF, FARÍAS ME. 2024. Geomicrobiological characterization of the evaporitic ecosystem in the hypersaline lake Laguna Verde (Andean Puna, Northwestern Argentina). *Ecol Evol*; 14: e10931.
- WONG H, AHMED-COX A, BURNS BP. 2016. Molecular Ecology of Hypersaline Microbial Mats: Current Insights and New Directions. *Microorganisms*, 4: 6.

#### **15.4 Suelo o Sustrato**

- Acevedo, P. et al., 2004. Suelos Salinos del Norte de Chile. Parte I. Origen, Distribución y Características de los Depósitos. V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.
- AGROLAB. 2017. Rosa Espinoza. Comunicación personal.
- Ahumada, M. y Faúndez, L. 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118p.
- Bernier, R. 2000. Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. INIA Remehue.
- CADE-IDEPE, 2004. Cuenca Salar de Atacama: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. MOP, Dirección General de aguas.

- CIREN.1995. Descripción de suelos. Materiales y Símbolos.
- CNA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Determinación de nitrógeno disponible, extraíble en KCl
- CNA, 2007. Método de análisis de lodos y de suelos. Método 5.0 of.2007. Ministerio de Agricultura.
- CNA, 2007. Método de análisis de lodos y de suelos. Método 4.0 pH. Ministerio de Agricultura.
- INIA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 7.1 Oxidación con dicromato en medio ácido y determinación colorimétrica del cromato reducido.
- INIA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 6.1 determinación de fósforo disponible.
- INIA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 4.1 determinación de potasio disponible.
- MMA – ONU Medio Ambiente, 2022. Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile. Elaborada mediante consultoría Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile” por EDÁFICA Suelos y Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 200 p.
- Rioja Molina, A. (2002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., España.
- SAG, 2011. Pauta para Estudio de Suelos. Servicio Agrícola y Ganadero.
- U.S.D.A. 2012. Field book for describing and sampling soils. Version 3.0.

### **15.5 Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)**

- Alonso, H. & Risacher, F. (1996) Geoquímica del Salar de Atacama, parte 1: origen de los componentes y balance salino. Revista Geológica de Chile 23:113–122.
- Araya, J.M. & L. Zúñiga. (1985). Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Limnológico de Chile, UACH 110 p.
- Biese, W.A. (1947). Revisión de los moluscos terrestres y de agua dulce provistos de concha de Chile. Parte II, Familia Amnicolidae (continuación). Boletín del Museo de Historia Natural 23: 63-77.
- Bertrand, H. (1995). Les insectes aquatiques d'Europe. Encyclopédie Entomologique. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris). 543 pp.

- Blott, S.J. & Pye, K. (2001). Gradstat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Boletín CIIFEN. Pronóstico Climático Estacional. <https://ciifen.org/>
- CADE-IDEPE Consultores. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile. 141 pp.
- Cepeda-Pizarro, J. (2013). Variabilidad temporal de algunos parámetros físicos e hidroquímicos de un prado húmedo alto-andino del norte-centro de Chile. *Idesia (Arica)*, 31(2), 89-97. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000200013>
- Collado, G.A., Méndez, M. A., Letelier, S. L., Véliz, D. y Sabando, M. C. (2011). Morfología peniana y taxonomía de especies chilenas del género *Heleobia* Stimpson, 1865 (Caenogastropoda: Cochliopidae) junto a una revisión de los ejemplares tipo del Museo Nacional de Historia Natural de Chile. *Amici Molluscarum (Número especial)*: 49-58.
- De los Ríos-Escalante, P. R. (2010). Crustacean Zooplankton Communities in Chilean Inland Waters. *Crustaceana Monographs*, 12, 109.
- De Los Ríos-Escalante, P., Adamowicz, S. & Witt, J. (2010). Aquatic fauna in the driest desert on earth: first report on the crustacean fauna of the Loa river (Atacama desert, Antofagasta region, Chile). *Crustaceana* 83(3): 257-266.
- Díaz-Quiroz, C., & Rivera-Rondon, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381–394.
- Dodds, W.K., Jones, J.R., Welch, E.B. (1998). Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research* 32: 1455-1462.
- DGA. (2016). Atlas del Agua: Chile 2016. Parte 2. Dirección General de Aguas <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/4371>
- Domínguez, E., Molineri, C, Pescador, M., Hubbard, M. & Nieto, C. (2006). Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSOF, Sofia, Moscow. 646 pp.
- Farías, M. E., Contreras, M., Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Poiré, D. G., Novoa, F. & Visscher, P. T. (2014). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. *Extremophiles*, 18(2), 311–329.

- Fernandez, A., Rasuk, M., Visscher, P., Contreras, M., Novoa, F., Poire, D., Patterson, M., Ventosa, A. & Farias, M. (2016). Microbial diversity in sediment ecosystems (evaporites domes, microbial mats, and crusts) of Hypersaline Laguna Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–18.
- Fernández, H. R. & Dominguez, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán - Facultad de Ciencias Naturales y Instituto Miguel. Lillo. 282p.
- González, E. & Watling, L. (2003). Two new species of *Hyaella* from Lake Titicaca, and redescription of four others in the genus (Crustacea: Amphipoda). *Hydrobiologia* 497: 181–204.
- Javor, B., (1989). *Hypersaline Environments: Microbiology and Biogeography*. Springer-Verlag Berlin, Germany, 328 pp.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. (1986). Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Moltenhauer (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, G. Fischer, Jena.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. (1991). Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Moltenhauer (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, G. Fischer, Jena *Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd. 2/3: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag*
- Lange-Bertalot, H. (2001). *Navicula sensu stricto*, 10 genera separated from *Navicula sensu lato Frustulia*. In: H Lange-Bertalot (ed.) *Diatoms of Europe (Vol. 2)* ARG Gantner Verlag, Ruggell. 526 p.
- Lopretto, E. & G. Tell. (1995). *Ecosistemas de Aguas Continentales*. Tomo III. Ediciones Sur. La Plata, Argentina. 1401 p.
- Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. (1995). Three distinctive new genera of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from South America. *Annals Limnologie* 31: 233-243.
- Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. (1999). Revision of South American species of Baetidae (Ephemeroptera) previously placed in *Baetis* Leach and *Pseudocloeon* Klapálek. *Ann Limnol* 35:257-262.
- Maidana, Nora I, & Seeligmann, Claudia T. (2015). Diatomeas (Bacillariophyceae) en humedales de altura de la Provincia de Catamarca (Argentina): III. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 50(4), 447-466.
- Merrit, R.W. & K.W. Cummins. (1996). *An introduction to the Aquatic Insect of North America*. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.

- MMA. (2011). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Ministerio de Medio Ambiente. Chile. 47 pp.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P. & Orellana, M. (1982-1983). Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 1, Cyanophyceae, 1982; Vol. 2, Chrysophyceae-Xanthophyceae, 1982; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae, 1982; Vol. 4, Bacillariophyceae, 1982; Vol. 5 (partes 1 y 2), Chlorophyceae, 1983.
- Parra, O. O., & Bicudo, C. E. . (1996). Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática. (Universidad de Concepción, Ed.).
- Philippi, R.A. (1860). Reise durch die Wueste Atacama auf Befehl der chilenischen Regierung im Sommer 1853–54. Halle: E. Anton. 192 + 62 pp., 28 láminas.
- PMB. (2015). Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales. Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium - CEA. Santiago, Chile, octubre 2015.
- Pennak, R.W. (1989). Fresh-water invertebrates of the United States. Third Edition. John Wiley & Sons, New York, New York.
- Pereira, I. & O. Parra. (1984). Algas filamentosas dulceacuícolas de Chile I. Algas bentónicas de la Región de Concepción. Gayana Bot. 41 (3/4): 201-224.
- Prescot, G.W. (1970). How to to know the fresh-water algae. Brown company publishers. Dubuque, Iowa.
- Ribera, F. (2016). Salinidad y aguas subterráneas. In FCIHS (Ed.), Hidrogeología emergente. 50 Aniversario CIHS. (pp. 97–110). FCIHS.
- Rivera, P. (1983). A guide for references and distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28' S and 58°S. Bibliotheca Diatomologica, Band 3. J. Kramer, Vaduz. 386 p.
- Round, F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. (1996). The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 p.
- Rumrich, U., H. Lange-Bertalot & M. Rumrich. (2000). Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/Feuerland. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), Iconographia Diatomologica Vol. 9, 673 p., A.R.G. Gantner Verlag K.G.

- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C. & Ortega, H. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. (Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural, Ed.). Lima.
- Santibáñez, F., Roa, P. & P Santibáñez (2008). El medio físico. En: Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos. CONAMA.
- Simonsen, R. (1987). Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt. J. Cramer, Berlin & Stuttgart, 1: 525 pp, 2: 597, 3: 619.
- Smith, V.H, Tilman, G.D. & J.C. Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100 (1-3): 179-196.
- Stevenson J, M. Bothwell & R. Lowe. (1996). *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem*. Academic Press. Pp 753.
- SUBPESCA. (2018). Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile. Proyecto FIPA N° 201646. Subsecretaria de Pesca y Acuicultura. Pp 122.
- Teillier S. & P. Becerra. (2003). Flora y Vegetación del salar de Ascotán, Andes del Norte de Chile. *Gayana Bot.* v.60 n.2.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- Wetzel, R.G. & Likens, E.(1991). *Limnological analyses*. Springer–Verlag. New York, USA.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*, Third Edition. Academic Press.

## 15.6 Área de Lagunas

- ANEXO 1, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE I, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Funcionamiento Hidrogeológico de los Sistemas Lagunares La Punta – la Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor. Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, Sector Sur del Salar de Atacama. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada – SGA, Soluciones y Gestión ambiental. Región de Antofagasta, 246 pp.

- 
- ANEXO 1, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE L, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Monitoreo de dinámica espacio – temporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de Imágenes Satelitales. Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, Sector Sur del Salar de Atacama. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada – SGA, Soluciones y Gestión ambiental. Región de Antofagasta, 246 pp.
- ANEXO 2, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE B, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.
- ANEXO 3, ADENDA 5 EIA, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Plan de seguimiento ambiental y Plan de alerta temprana de los recursos hídricos. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium – SGA. Región de Antofagasta.
- ALBEMARLE - VAI, 2023. Informe Técnico de Investigación N°3 Activación PAT Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (julio 2023)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – HIDROMAS. Junio 2023.
- CHANDER G., B. Markham, D. Helder, 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp.
- CHUVIECO, E. 2006. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, Barcelona, España.
- CONGALTON, R. G., ODERWALD, R. G. & MEAD, R. A. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 49: 1671-1678.
- CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37: 35-46.

- 
- CORNELLÀ, O., SALAS, J., ARAVENA, R., GUZMÁN, E., GUIMERÁ, J., TORE, C., VON IGEL, W., HENRÍQUEZ, A, FOCK, A. Hidrogeología de los sistemas lagunares del margen E del Salar de Atacama. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 22-26 de noviembre, 2009.
- CRIST, E. P. AND CICONE R.C. 1984. Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data, Photogrammetric, Eng. Remote Sens Vol. 50(3), 343-352.
- CRIST, E. P., LAURIN, R., AND CICONE, R.C. 1986. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In Proceedings of IGARSS' 86 Symposium, 1465- 70.
- DGA, Dirección General de Aguas. 2014. División de Estudios y Planificación. Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. Santiago, 2014.
- FLORES CARTAGENA, D. 2002. Identificación y Análisis de Cambios en Bofedales de la Cordillera Occidental y del Altiplano de Bolivia. Tesis Maestría en Ciencias, Conservación de Cuencas.
- HERNÁNDEZ, H. J. Apuntes de clases de SIG y Percepción Remota. Magíster en áreas silvestres y conservación de la naturaleza. Universidad de Chile. 2005.
- HUDSON, W. D. & RAMM, C. W. 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 53: 421-422.
- IZUMI, 2021. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle. Anexo D, Albemarle-VAI, 2021.
- KAUTH, R. J., & THOMAS, G. S. (1976). The tasseled cap a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data, LARS, Purdue University, West Lafayette, IN (pp. 441 - 451).
- LANDIS J, KOCH G, 1977: The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977; 33:159-74.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la

titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.

MORAGA, A.; CHONG, G.; FORTT, M.A.; HENRIQUEZ, H. 1974. Estudio geológico del salar de Atacama, Provincia de Antofagasta. Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, 29, 56p.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.

ORTIZ, C., ARAVENA, R., BRIONES, E., SUAREZ, F., TORE, C. & MUÑOZ, J.F., 2014. Sources of surface water for the Soncor ecosystem, Salar de Atacama basin, northern Chile. Hydrological Sciences Journal, 59 (2), 336 – 350.

RCA N°21/2016. Resolución exenta N°21, Antofagasta, 2016. Calificación ambiental del Proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramientos de Sistema de Pozas de Evaporación Solar, en el Salar de Atacama”.

ALB, Albemarle. 2016a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año I, agosto de 2016.

ALB, Albemarle. 2016b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año I, diciembre de 2016.

ALB, Albemarle. 2017a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año II, agosto de 2017.

ALB, Albemarle. 2017b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año II, diciembre de 2017.

- 
- ALB, Albemarle. 2018a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año III, agosto de 2018.
- ALB, Albemarle. 2018b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año III, diciembre de 2018.
- ALB, Albemarle. 2019a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año IV, agosto de 2019.
- ALB, Albemarle. 2019b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año IV, diciembre de 2019.
- ALB, Albemarle. 2020a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año V, agosto de 2020.
- ALB, Albemarle. 2020b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año V, diciembre de 2020.
- ALB, Albemarle. 2021a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VI, agosto de 2021.
- ALB, Albemarle. 2021b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VI, diciembre de 2021.

- ALB, Albemarle. 2022a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VII, agosto de 2022.
- ALB, Albemarle. 2022b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VII, diciembre de 2022.
- ALB, Albemarle. 2023a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VIII, agosto de 2023.
- ALB, Albemarle. 2023b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VIII, diciembre de 2023.
- WANG, Q., LI, P., CHEN, X., 2012. Retrieval of soil salt content from an integrated approach of combining inversed reflectance model and regressions: an experimental study. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*. 50, 3950–3957.
- XU, HANQIU, 2007. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27:14, 3025-3033.

### **15.7 Nivel Freático en Lagunas**

- PMB, 2015. Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas base. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales. Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium - CEA. Santiago, Chile, octubre 2015.
- PMB, 2023. Informe Semestral N°15 – Nivel Freático en Lagunas – Monitoreo Invierno 2023 del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico. Febrero 2024. Comprobante SMA Cód. N°1043320 de fecha 21 de febrero 2024.

---

PMB, 2024. Informe Semestral N°16 – Nivel Freático en Lagunas – Monitoreo Verano 2024 del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico. Julio 2024. Comprobante SMA Cód. N°1052789 de fecha 31 de julio 2024.

PSAH, 2024. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual N°8 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico. Comprobante SMA Cód. N°1045612 de fecha 28 de marzo 2024 y Carta **ALB-GMA-2024-SMA-023 del 21 de marzo 2024**.

## 16 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Anual N°8 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.