



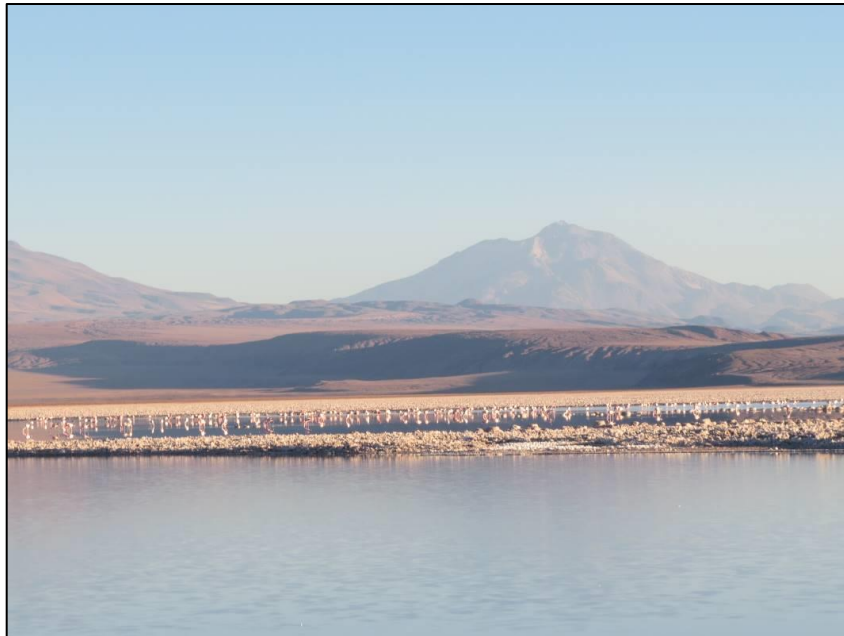
Plan de Manejo Biótico

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

(RCA N°21/2016)”

Monitoreo Invierno 2022 – Verano 2022-2023

Informe Anual N°7



Región de Antofagasta

Agosto de 2023

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	1
2	INTRODUCCION.....	1
3	OBJETIVO	13
4	ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME	13
5	GLOSARIO	14
6	FLORA Y VEGETACIÓN.....	16
6.1	MATERIALES Y MÉTODOS	17
6.1.1	<i>Cobertura y Vegetación (COT).....</i>	<i>17</i>
6.1.2	<i>Flora y Vegetación (Transectas)</i>	<i>35</i>
6.1.3	<i>Distribución y Cobertura de la Vegetación Azonal – Uso de Imágenes Satelitales - NDVI 53</i>	
6.2	RESULTADOS	63
6.2.1	<i>Resultados cobertura y vegetacion (COT).....</i>	<i>63</i>
6.2.2	<i>Resultados Flora y Vegetación (Transectas).....</i>	<i>97</i>
6.2.3	<i>Resultados de Distribucion y Cobertura de la Vegetación Azonal - NDVI.....</i>	<i>133</i>
6.2.4	<i>Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación</i>	<i>137</i>
7	FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES.....	138
7.1	MATERIALES Y MÉTODOS	139
7.1.1	<i>Descripción del área de estudio.....</i>	<i>139</i>
7.1.2	<i>Ubicación de puntos muestreo.....</i>	<i>141</i>
7.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i>	<i>147</i>
7.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i>	<i>147</i>
7.1.5	<i>Materiales y equipos utilizados</i>	<i>159</i>
7.1.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i>	<i>159</i>
7.2	RESULTADOS	160
7.2.1	<i>Resultados del monitoreo campaña de invierno 2022</i>	<i>160</i>
7.2.2	<i>Resultados del monitoreo campaña de verano 2023.....</i>	<i>179</i>
7.2.3	<i>Límites considerados en la evaluación</i>	<i>198</i>
8	TAPETES MICROBIANOS.....	199
8.1	MATERIALES Y MÉTODOS	200
8.1.1	<i>Descripción del Área de Estudio</i>	<i>200</i>
8.1.2	<i>Estaciones de Monitoreo.....</i>	<i>201</i>
8.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i>	<i>202</i>
8.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i>	<i>203</i>
8.1.5	<i>Materiales y Equipos Utilizados</i>	<i>206</i>
8.1.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i>	<i>206</i>
8.2	RESULTADOS	206

8.2.1	<i>Resultados Campaña Invierno 2022</i>	206
8.2.2	<i>Resultados Campaña Verano 2023</i>	257
8.2.3	<i>Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos</i>	288
9	SUELO O SUSTRATO	290
9.1	MATERIALES Y MÉTODOS	290
9.1.1	<i>Descripción del área de estudio</i>	290
9.1.2	<i>Ubicación de puntos de muestreo (calicatas)</i>	290
9.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i>	293
9.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i>	294
9.1.5	<i>Materiales y equipos utilizados</i>	300
9.1.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i>	301
9.2	RESULTADOS	302
9.2.1	<i>Resultados campaña de invierno 2022</i>	302
9.2.2	<i>Resultados campaña de verano 2023</i>	330
9.2.3	<i>Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato</i>	358
10	LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)	359
10.1	MATERIALES Y MÉTODOS	360
10.1.1	<i>Descripción del área de estudio</i>	360
10.1.2	<i>Ubicación de puntos muestreo</i>	360
10.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales</i>	363
10.1.4	<i>Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control</i>	363
10.1.5	<i>Materiales y equipos utilizados</i>	369
10.1.6	<i>Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro</i>	369
10.2	RESULTADOS	370
10.2.1	<i>Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2022 y verano 2023</i> ...	370
10.2.2	<i>Resultados del muestreo campaña de invierno 2022 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)</i>	383
10.2.3	<i>Resultados del muestreo campaña de verano 2023 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)</i>	412
10.2.4	<i>Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)</i>	434
11	AREA DE LAGUNAS	438
11.1	MATERIALES Y MÉTODOS	442
11.1.1	<i>Descripción del área de estudio</i>	442
11.1.2	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua</i>	444
11.1.3	<i>Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua</i>	444
11.1.4	<i>Materiales y equipos utilizados</i>	446
11.1.5	<i>Metodología de muestreo y/o medición</i>	446
11.1.6	<i>Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua</i>	464
11.1.7	<i>Fechas de medición</i>	465
11.2	RESULTADOS	465

11.2.1	<i>Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....</i>	465
11.2.2	<i>Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar.....</i>	469
11.2.3	<i>Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua</i>	475
12	NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS.....	475
12.1	MATERIALES Y MÉTODOS	477
12.1.1	<i>Área de Estudio</i>	477
12.1.2	<i>Ubicación de Puntos de Monitoreo.</i>	478
12.1.3	<i>Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables.....</i>	479
12.1.4	<i>Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.</i>	479
12.1.5	<i>Materiales y Equipos utilizados</i>	480
12.1.6	<i>Fechas de medición, muestro y/o análisis.</i>	480
12.2	RESULTADOS	481
12.2.1	<i>Resultados período abril 2022 a marzo 2023</i>	481
12.2.2	<i>Límites considerados en la evaluación</i>	485
13	DISCUSIÓN.....	486
13.1	En relación con Flora y Vegetación.....	486
13.1.1	<i>Análisis Vegetación (COT)</i>	486
13.1.2	<i>Análisis Flora y Vegetación (Transectas).....</i>	497
13.1.3	<i>Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI</i>	518
13.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	525
13.2.1	<i>Representatividad del muestreo.....</i>	525
13.2.2	<i>Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres.....</i>	526
13.2.3	<i>Análisis por clase.....</i>	535
13.2.4	<i>Composición por ambiente.....</i>	537
13.2.5	<i>Similitud</i>	541
13.2.6	<i>Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas).....</i>	542
13.2.7	<i>Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas).....</i>	553
13.2.8	<i>Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres</i>	558
13.3	En relación con Tapetes Microbianos	586
13.3.1	<i>Aspectos generales.....</i>	586
13.3.2	<i>Análisis Año 7: Monitoreo invierno 2022 y verano 2023.....</i>	587
13.3.3	<i>Análisis evolución inviernos 2016 a 2022</i>	596
13.3.4	<i>Análisis evolución veranos 2017 a 2023.....</i>	626
13.3.5	<i>Evolución de Parámetros Físicos y Químicos (2016-2023).....</i>	644
13.4	En relación con Suelo o Substrato	651
13.4.1	<i>Comparación monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14)</i>	651
13.4.2	<i>Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 - 2018 – 2019 – 2020- 2021, 2022 y 2023.....</i>	667
13.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)	714
13.5.1	<i>Comparación Invierno 2022 y Verano 2023.....</i>	716
13.5.2	<i>Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo).....</i>	731
13.6	En relación con Área de Lagunas	783
13.6.1	<i>Comparación de monitoreos con registros históricos de la Adenda 5 (2015)</i>	783

13.6.2	<i>Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua</i>	804
13.7	En relación con Nivel Freático en Lagunas.....	806
13.7.1	<i>Análisis comparativo invierno 2022 y verano 2023.....</i>	806
13.7.2	<i>Análisis comparativo con valores históricos.....</i>	807
13.8	En relación con el Estado Ecológico del Sistema	814
14	CONCLUSIONES.....	816
14.1	En relación con Flora y Vegetación.....	816
14.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	821
14.3	En relación con Tapetes Microbianos	825
14.4	En relación con Suelo o Sustrato	829
14.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)	835
14.6	En relación con Área de Lagunas	839
14.7	En relación con Nivel Freático en Lagunas.....	841
15	REFERENCIAS.....	842
15.1	Flora y Vegetación.....	842
15.2	Fauna Vertebrados Terrestres	844
15.3	Tapetes Microbianos	850
15.4	Suelo o Sustrato	852
15.5	Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)	853
15.6	Área de Lagunas	857
15.7	Nivel Freático en Lagunas.....	862
16	ANEXOS	862

FIGURAS

Figura N° 2-1. Delimitación de las Areas de Estudio del Plan de Manejo Biótico	2
Figura N° 2-2. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Area Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal).....	8
Figura N° 2-3. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Area Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo	9
Figura N° 6-1. Área de estudio Vegetación y Flora	19
Figura N° 6-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.....	40
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	41
Figura N° 6-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama	42
Figura N° 6-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama	43
Figura N° 6-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama	44
Figura N° 6-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama	45
Figura N° 6-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama.....	55
Figura N° 6-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2023 en el Salar de Atacama.....	58
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	68
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	69
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.....	70

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	85
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.....	86
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.....	87
Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en el sector Peine	105
Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Tilopozo	106
Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector La Punta y La Brava	107
Figura N° 6-19. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Aguas de Quelana	108
Figura N° 6-20. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 13 (invierno 2022)	113
Figura N° 6-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en el sector Peine	122
Figura N° 6-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Tilopozo	123
Figura N° 6-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector La Punta y La Brava	124
Figura N° 6-24. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Aguas de Quelana	125
Figura N° 6-25. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 14 (verano 2023).....	131
Figura N° 7-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).....	140
Figura N° 7-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio.	145
Figura N° 7-3. Categorías de conservación de la UICN.....	155

Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2022...	175
Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2023.	194
Figura N° 8-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos.	202
Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.....	205
Figura N° 8-3. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2022.	208
Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos (□), Invierno 2022.	209
Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2022.	210
Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava, Invierno 2022.	211
Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.	252
Figura N° 8-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.	253
Figura N° 8-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.	254
Figura N° 8-10. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos.....	259
Figura N° 8-11. Espesor de tapetes microbianos (□). Verano 2023.	260
Figura N° 8-12. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava.....	261
Figura N° 8-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2023.	262
Figura N° 8-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2023.....	285
Figura N° 8-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2023.....	286
Figura N° 8-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2023.....	287
Figura N° 9-1. Localización original y actual de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.	293

Figura N° 9-2: Clases texturales del suelo.....	300
Figura N° 10-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.....	362
Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2022).	392
Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).....	394
Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2022).....	395
Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2022).....	397
Figura N° 10-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).....	399
Figura N° 10-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2022).	400
Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2022).	402
Figura N° 10-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).....	403
Figura N° 10-10. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2022).	405
Figura N° 10-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2022).....	407
Figura N° 10-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2022).....	408
Figura N° 10-13. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2022). ...	409
Figura N° 10-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).....	419
Figura N° 10-15. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2023).....	420
Figura N° 10-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).....	422
Figura N° 10-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2023)..	424
Figura N° 10-18. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2023).....	426
Figura N° 10-19. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Tilopozo (verano 2023).	428
Figura N° 10-20. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2023).....	430

Figura N° 10-21. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2023).....	432
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).....	443
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, invierno 2022.....	447
Figura N° 11-3. Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector Peine, invierno 2022.	448
Figura N° 11-4. 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 2022	449
Figura N° 11-5. Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector Peine- subsector Laguna Interna, verano 2022.	450
Figura N°11-6. 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 2022.....	452
Figura N°11-7. 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 2022.....	453
Figura N°11-8. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2022 (izquierda – RGB) y verano 2022 (derecha - RGB).....	454
Figura N°11-9. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.....	457
Figura N°11-10. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (<i>raster</i>) a polígonos (<i>shape</i>).	464
Figura N° 11-11. Superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava (2016-2022).....	470
Figura N° 11-12. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto 2022 – diciembre 2022.....	471
Figura N° 11-13. Superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine (2016-2022). ...	473

Figura N° 11-14. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2022.	474
Figura N° 12-1. Área de Estudio.....	477
Figura N° 12-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine.....	479
Figura N° 12-3. Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava	484
Figura N° 12-4. Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar Peine	485
Figura N° 13-1. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Tilopozo	490
Figura N° 13-2. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector La Punta y La Brava.....	492
Figura N° 13-3. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Peine	494
Figura N° 13-4. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Aguas de Quelana	495
Figura N° 13-5. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Soncor.....	496
Figura N° 13-6. Cobertura absoluta de las especies y rastrojo en los monitoreos de invierno y verano (M13-M14) en el año 7 de seguimiento, sector Peine.	503
Figura N° 13-7. Cobertura absoluta de las especies y rastrojo en los monitoreos de invierno y verano (M13-M14) en el año 7 de seguimiento, sector Tilopozo.	505
Figura N° 13-8. Cobertura absoluta de las especies y rastrojo en los monitoreos de invierno y verano (M13-M14) en el año 7 de seguimiento, sector La Punta y La Brava.	507
Figura N° 13-9. Cobertura promedio de vegetación, rastrojo, otros recubrimientos y riqueza por sector	512
Figura N° 13-10. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Peine	514
Figura N° 13-11. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Tilopozo.....	515
Figura N° 13-12. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector La Punta y La Brava.....	516
Figura N° 13-13. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Aguas de Quelana.....	517

Figura N° 13-14. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2023).....	541
Figura N° 13-15. 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.....	572
Figura N° 13-16. 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.....	576
Figura N° 13-17. 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.....	580
Figura N° 13-18. 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.	581
Figura N° 13-19. 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.....	582
Figura N° 13-20. 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.	583
Figura N° 13-21. 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.	584
Figura N° 13-22. 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).	585
Figura N° 13-23. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2022 y Verano 2023 (Peine y La Punta-La Brava).....	592
Figura N° 13-24. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2022 y Verano 2023 (Peine y La Punta-La Brava).....	593
Figura N° 13-25. Espesor (□) de tapetes microbianos. Invierno 2022 y Verano 2023 (Peine y La Punta-La Brava).	594
Figura N° 13-26. Espesor (□) de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2022 y Verano 2023 (La Punta-La Brava).	595

Figura N° 13-27. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2022.	598
Figura N° 13-28. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2022.	600
Figura N° 13-29. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.	602
Figura N° 13-30. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.	615
Figura N° 13-31. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2023.	628
Figura N° 13-32. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2023.	629
Figura N° 13-33. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, Verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023.	632
Figura N° 13-34. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	644
Figura N° 13-35. Variación promedio de la conductividad (µS/cm) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	645
Figura N° 13-36. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	646
Figura N° 13-37. Variación promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	647
Figura N° 13-38. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	648
Figura N° 13-39. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO₃_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	649
Figura N° 13-40. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	650
Figura N° 13-41. Variación promedio de potencial redox (mV) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.	651
Figura N° 13-42. Resultados análisis laboratorio Conductividad Eléctrica (µS/cm). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	652
Figura N° 13-43. Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	654

Figura N° 13-44. Resultados análisis laboratorio pH. Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	655
Figura N° 13-45. Resultados análisis laboratorio Salinidad (mg/kg). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	656
Figura N° 13-46. Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica (cm/hr). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	658
Figura N° 13-47. Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible (mg/kg). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	659
Figura N° 13-48. Resultados análisis laboratorio Potasio disponible (mg/kg). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	661
Figura N° 13-49. Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	662
Figura N° 13-50. Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	663
Figura N° 13-51. Resultados profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).	666
Figura N° 13-52. Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.	668
Figura N° 13-53. Resultados C.E. (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.	669
Figura N° 13-54. Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6 M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	671
Figura N° 13-55. Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.	673
Figura N° 13-56. Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.	674
Figura N° 13-57. Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	676
Figura N° 13-58. Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.	678
Figura N° 13-59. Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.	679
Figura N° 13-60. Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M 14. Sector Tilopozo.	681

Figura N° 13-61. Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.....	683
Figura N° 13-62. Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.....	684
Figura N° 13-63. Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	685
Figura N° 13-64. Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.	687
Figura N° 13-65. Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.....	688
Figura N° 13-66. Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	689
Figura N° 13-67. Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.....	691
Figura N° 13-68. Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.....	693
Figura N° 13-69. Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	695
Figura N° 13-70. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.....	697
Figura N° 13-71. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.....	698
Figura N° 13-72. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.....	700
Figura N° 13-73. Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.....	702
Figura N° 13-74. Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.....	703
Figura N° 13-75. Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	705
Figura N° 13-76. Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.....	707
Figura N° 13-77. Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.....	708

Figura N° 13-78. Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.	709
Figura N° 13-79. Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo.	712
Figura N° 13-80. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	734
Figura N° 13-81. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua in situ, los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	735
Figura N° 13-82. 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.....	738
Figura N° 13-83. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua <i>in situ</i> , los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	739
Figura N° 13-84. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	741
Figura N° 13-85. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua <i>in situ</i> , los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	742
Figura N° 13-86. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	744
Figura N° 13-87. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	746
Figura N° 13-88. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	747
Figura N° 13-89. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	750
Figura N° 13-90. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	752
Figura N° 13-91. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	755
Figura N° 13-92. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	757

Figura N° 13-93. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	760
Figura N° 13-94. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	762
Figura N° 13-95. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	764
Figura N° 13-96. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	766
Figura N° 13-97. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	768
Figura N° 13-98. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	770
Figura N° 13-99. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	771
Figura N° 13-100. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	773
Figura N° 13-101. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	778
Figura N° 13-102. 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.....	780
Figura N° 13-103. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano... ..	782
Figura N° 13-104. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.	788
Figura N° 13-105. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector La Punta - La Brava.	789
Figura N° 13-106. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.	790
Figura N° 13-107. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava.	792
Figura N° 13-108. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades - 1A.	793

Figura N° 13-109. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	793
Figura N° 13-110. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades - 1A.	794
Figura N° 13-111. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	794
Figura N° 13-112. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.	796
Figura N° 13-113. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector Peine.	798
Figura N° 13-114. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.	799
Figura N° 13-115. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.	801
Figura N° 13-116. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades - 1A.	802
Figura N° 13-117. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.	802
Figura N° 13-118. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades - 1A.	802
Figura N° 13-119. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.	803
Figura N° 13-120: Variación del nivel freático en el Pozo BA-05 – Sector LP-LB.	808
Figura N° 13-121: Variación del nivel freático en el Pozo BA-07 – Sector LP-LB.	809
Figura N° 13-122: Variación del nivel freático en el Pozo BA-16 – Sector LP-LB.	810
Figura N° 13-123. Variación del nivel freático en el Pozo BA-21 – Sector Peine.	812
Figura N° 13-124. Variación del nivel freático en el Pozo BA-22 – Sector Peine.	813

TABLAS

Tabla N° 2-1. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo al Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016.	5
Tabla N° 2-2. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis	10
Tabla N° 2-3. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas.	11
Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2022 y verano 2023	21
Tabla N° 6-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes	23
Tabla N° 6-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación	23
Tabla N° 6-4. Rango de valores para la cobertura vegetal	24
Tabla N° 6-5. Categorías de posición topográfica	24
Tabla N° 6-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales	25
Tabla N° 6-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno	29
Tabla N° 6-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio	29
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	32
Tabla N° 6-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV)	32
Tabla N° 6-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT	33
Tabla N° 6-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales	33
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)	34
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	37
Tabla N° 6-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector	46
Tabla N° 6-16. Contenido de humedad del suelo	49

Tabla N° 6-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A-1B.....	57
Tabla N° 6-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo.....	60
Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2022	65
Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2022.....	67
Tabla N° 6-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2023	82
Tabla N° 6-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2023.....	84
Tabla N° 6-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....	98
Tabla N° 6-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 13 (invierno 2022), en cada subsector	99
Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 13 (invierno 2022)	114
Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 13 (invierno 2022)	115
Tabla N° 6-27. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....	116
Tabla N° 6-28. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 14 (verano 2023), en cada subsector	117
Tabla N° 6-29. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 14 (verano 2023)	132
Tabla N° 6-30. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 14 (verano 2023).....	133
Tabla N° 6-31. Superficies de vegetación activa (NDVI) en base a la COT de verano 2023, por sector.	134
Tabla N° 7-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19.	142
Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2022. Se indica presencia (X) en cada sector.....	162
Tabla N° 7-3. Especies de fauna registradas por ambiente (invierno 2022). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.....	173

Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2022).	177
Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. (invierno 2022).	179
Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2023). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.	181
Tabla N° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2023). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.	192
Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2023).	196
Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2023).	197
Tabla N° 8-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB.	201
Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. Invierno 2022.	207
Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2022.	212
Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S6-A. (S/C: sin capas pigmentadas).	216
Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-9. (S/C: sin capas pigmentadas).	218
Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	221
Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).	223
Tabla N° 8-8. Caracterización de las capas de tapetes microbianos asociados a base vegetal en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).	224
Tabla N° 8-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	226
Tabla N° 8-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	227
Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (S/C: sin capas pigmentadas).	229

Tabla N° 8-12. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2022.....	230
Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2022.....	231
Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2022.....	231
Tabla N° 8-15. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).....	234
Tabla N° 8-16. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....	236
Tabla N° 8-17. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....	237
Tabla N° 8-18. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....	239
Tabla N° 8-19. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....	240
Tabla N° 8-20. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....	242
Tabla N° 8-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....	243
Tabla N° 8-22. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....	245
Tabla N° 8-23. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....	245
Tabla N° 8-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2022.....	246
Tabla N° 8-25. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2022.....	248
Tabla N° 8-26. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2022.....	249
Tabla N° 8-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Invierno 2022.....	249
Tabla N° 8-28. Calidad de agua para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.....	256

Tabla N° 8-29. Calidad de sedimentos para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.	256
Tabla N° 8-30. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. Campaña verano 2023.	258
Tabla N° 8-31. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.	263
Tabla N° 8-32. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).....	267
Tabla N° 8-33. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....	269
Tabla N° 8-34. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....	272
Tabla N° 8-35. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....	273
Tabla N° 8-36. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....	275
Tabla N° 8-37. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....	276
Tabla N° 8-38. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....	278
Tabla N° 8-39. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....	279
Tabla N° 8-40. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2023.....	280
Tabla N° 8-41. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2023.....	281
Tabla N° 8-42. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2023.....	282
Tabla N° 8-43. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2023.....	282
Tabla N° 8-44. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2023.....	289
Tabla N° 8-45. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2023.....	289

Tabla N° 9-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M14, puntos de muestreo suelo.	292
Tabla N° 9-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo	293
Tabla N° 9-3. Laboratorios utilizados análisis monitoreos M13 y M14.....	295
Tabla N° 9-4. Parámetros evaluados, laboratorio y método de análisis par M13 y M14. Componente Suelo.....	297
Tabla N° 9-5: Valores de Materia orgánica (%).....	298
Tabla N° 9-6: Interpretación del pH	298
Tabla N° 9-7: Categorías de Salinidad.....	298
Tabla N° 9-8: Niveles de Fosforo (mg/kg)	298
Tabla N° 9-9: Niveles de Nitrógeno (mg/kg).....	299
Tabla N° 9-10: Niveles de Potasio (mg/kg).....	299
Tabla N° 9-11: Rangos de conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h).....	299
Tabla N° 9-12: Tamaño de partículas que determina la textura del suelo	299
Tabla N° 9-1. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 1. Monitoreo invierno 2022.	304
Tabla N° 9-2. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 2. Monitoreo invierno 2022.	306
Tabla N° 9-3. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 7. Monitoreo invierno 2022.	308
Tabla N° 9-4. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 8. Monitoreo invierno 2022.	310
Tabla N° 9-5. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 9. Monitoreo invierno 2022.	311
Tabla N° 9-6. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 13. Monitoreo invierno 2022.	313
Tabla N° 9-7. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 3. Monitoreo invierno 2022.	316
Tabla N° 9-8. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 4. Monitoreo invierno 2022.	317
Tabla N° 9-9. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 5. Monitoreo invierno 2022.	320
Tabla N° 9-10. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 6. Monitoreo invierno 2022.	322
Tabla N° 9-11. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 10. Monitoreo invierno 2022.	324
Tabla N° 9-12. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 11. Monitoreo invierno 2022.	326
Tabla N° 9-13. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 12. Monitoreo invierno 2022.	327

Tabla N° 9-14. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 14. Monitoreo invierno 2022.	329
Tabla N° 9-15. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 1. Verano 2023.	331
Tabla N° 9-16. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 2. Verano 2023.	333
Tabla N° 9-17. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 7. Verano 2023.	335
Tabla N° 9-18. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 8. Verano 2023.	337
Tabla N° 9-19. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 9. Verano 2023.	339
Tabla N° 9-20. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 13. Verano 2023.	341
Tabla N° 9-21. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 3. Verano 2023.	343
Tabla N° 9-22. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 4. Verano 2023.	345
Tabla N° 9-23. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 5. Verano 2023.	347
Tabla N° 9-24. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 6. Verano 2023.	349
Tabla N° 9-25. Resultados análisis laboratorio. calicata S 10. Verano 2023.	351
Tabla N° 9-26. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 11. Verano 2023.	353
Tabla N° 9-27. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 12. Verano 2023.	355
Tabla N° 9-28. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 14. Verano 2023.	357
Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2022 y verano 2023.	361
Tabla N° 10-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.	364
Tabla N° 10-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.	365
Tabla N° 10-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).	366
Tabla N° 10-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.	366
Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición <i>in situ</i> de parámetros del agua	369
Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.	369
Tabla N° 10-8. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2022).	383
Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).	385

Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2022).	386
Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2022).	388
Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).	388
Tabla N° 10-13. Resultados calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2022).	389
Tabla N° 10-14. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2022).	391
Tabla N° 10-15. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).	393
Tabla N° 10-16. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2022).	395
Tabla N° 10-17. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2022).	397
Tabla N° 10-18. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).	398
Tabla N° 10-19. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2022).	400
Tabla N° 10-20. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2022).	401
Tabla N° 10-21. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).	403
Tabla N° 10-22. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2022).	404
Tabla N° 10-23. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (invierno 2022).	406
Tabla N° 10-24. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).	407
Tabla N° 10-25. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2022).	409
Tabla N° 10-26. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2022).	410
Tabla N° 10-27. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2022).	411

Tabla N° 10-28. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2023.....	413
Tabla N° 10-29. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.	414
Tabla N° 10-30. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2023.	416
Tabla N° 10-31. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.	416
Tabla N° 10-32. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).	418
Tabla N° 10-33. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2023).....	420
Tabla N° 10-34. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).	421
Tabla N° 10-35. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2023).....	423
Tabla N° 10-36. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2023.	426
Tabla N° 10-37. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.	427
Tabla N° 10-38. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m ²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2023.	429
Tabla N° 10-39. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m ²) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.	431
Tabla N° 10-40. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2023).	433
Tabla N° 10-41. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 2023).....	434
Tabla N° 10-42. Fechas de muestreo de cada una de las variables.....	436
Tabla N°11-1. Resumen de Componentes y Variables	439
Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.....	440
Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2022, 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.....	445
Tabla N°11-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2022, 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.....	446
Tabla N°11-5. Características técnicas del sensor Pleiades - 1A.....	451
Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8.	454
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 2022.	461
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, 2022.	467
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, 2022.	467
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, 2022.	468
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, 2022.	468
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 2022 (invierno y verano).....	469
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 2022 (invierno y verano).....	469
Tabla N° 12-1: Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas	478
Tabla N° 12-2: Materiales y Equipos.....	480
Tabla N° 12-3: Fechas de Medición del Año	481
Tabla N° 12-4: Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava	481
Tabla N° 12-5: Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine	483

Tabla N° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por monitoreo	486
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 2023	487
Tabla N° 13-3. Variaciones en los rangos de cobertura COT en transectas, entre invierno 2022 y verano 2023	499
Tabla N° 13-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos Alta Resolución por sector	520
Tabla N° 13-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en verano 2023, en relación a las formaciones de seguimiento según PMB, por sector.	521
Tabla N° 13-6. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de <i>Schoenoplectus californicus</i>, en relación a los registros históricos de alta resolución	524
Tabla N° 13-7. Lista Sistemática Acumulada de especies de fauna registradas a lo largo de las 14 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2023). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector.	529
Tabla N° 13-8. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.	538
Tabla N° 13-9. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.	545
Tabla N° 13-10. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.	549
Tabla N° 13-11. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 14 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2023).	554
Tabla N° 13-12. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.	556
Tabla N° 13-13. 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 y verano 2023.	560
Tabla N° 13-14. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas de línea de base (LB) (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2023).	563

Tabla N° 13-15. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas de línea de base (LB) (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2023).	567
Tabla N° 13-16. 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.	569
Tabla N° 13-17. 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.	574
Tabla N° 13-18. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.	578
Tabla N° 13-19. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector Peine, invierno 2022 y verano 2023.	589
Tabla N° 13-20. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2022 y verano 2023.	591
Tabla N° 13-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2022.	604
Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022.	608
Tabla N° 13-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022.	610
Tabla N° 13-24 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022.	611
Tabla N° 13-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022.	613
Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2022.	616
Tabla N° 13-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2022.	618
Tabla N° 13-28 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2022.	619
Tabla N° 13-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2022.	621
Tabla N° 13-30 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2022.	622

Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava, inviernos 2016 a 2022.....	623
Tabla N° 13-32. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2022. (S/C: sin capas pigmentadas).	624
Tabla N° 13-33. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.	625
Tabla N° 13-34. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2023.....	633
Tabla N° 13-35. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2023.....	634
Tabla N° 13-36. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2023.	635
Tabla N° 13-37. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2023.	636
Tabla N° 13-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2023.	637
Tabla N° 13-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2023.....	639
Tabla N° 13-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2023.....	640
Tabla N° 13-41. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2023.....	641
Tabla N° 13-42. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023.	643
Tabla N° 13-43. Resultados análisis de laboratorio textura. Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).....	664
Tabla N° 13-44. Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14.....	711
Tabla N° 13-45. Resumen de especies detectadas en los sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo en campañas de línea de base y monitoreo.	774
Tabla N°13-46. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades - 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2022 (invierno y verano), respecto de los registros de la Adenda 5 (2015).....	783

Tabla N° 13-47. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8.....	805
Tabla N° 13-48: Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB	807
Tabla N° 13-49: Valores Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine.....	811

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 6-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar	48
Fotografía N° 6-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastros	50
Fotografía N° 6-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación	51
Fotografía N° 6-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2022.....	72
Fotografía N° 6-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2022.....	77
Fotografía N° 6-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio	79
Fotografía N° 6-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.....	79
Fotografía N° 6-8. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2023.....	90
Fotografía N° 6-9. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2023.....	95
Fotografía N° 6-10. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio	96
Fotografía N° 6-11. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.....	97
Fotografía N° 6-12. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en invierno 2022, en distintas transectas de estudio.....	101
Fotografía N° 6-13. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	101
Fotografía N° 6-14. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	102
Fotografía N° 6-15. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	102

Fotografía N° 6-16. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> * en invierno 2022, en transectas de estudio.....	103
Fotografía N° 6-17. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en invierno 2022, en transectas de estudio.....	103
Fotografía N° 6-18. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en verano 2023, en distintas transectas de estudio.....	119
Fotografía N° 6-19. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....	119
Fotografía N° 6-20. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....	120
Fotografía N° 6-21. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....	120
Fotografía N° 6-22. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....	120
Fotografía N° 6-23. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en verano 2023, en transectas de estudio.....	121
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).....	146
Fotografía N° 7-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo.	152
Fotografía N° 7-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.....	152
Fotografía N° 7-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).....	167
Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: Caití (superior, izquierda), Dormilona de nuca rojiza (superior, derecha), Parina Chica (inferior, izquierda) y chorlo de la puna (inferior, derecha).	169
Fotografía N° 7-6. Macromamíferos en el área de estudio: zorro chilla (arriba), zorro culpeo (abajo).	171
Fotografía N° 7-7. Micromamífero del área de estudio: ratón andino.....	172
Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (arriba), lagartija de Fabián (abajo).	186

Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: pitotoy chico (superior, izquierda), cazamoscas tijereta (superior, derecha), aguilucho (abajo, izquierda) y parina grande (inferior, derecha).	188
Fotografía N° 7-10. Macromamífero en el área de estudio: zorro culpeo.	190
Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón orejudo amarillo (izquierda) y ratón andino (derecha).	191
Fotografía N° 8-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.	205
Fotografía N° 8-2. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, invierno 2022.	214
Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo S-6A; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2022.	215
Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo S-9; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2022.	217
Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2022.	219
Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano; c. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2022.	220
Fotografía N° 8-7. a. Estación de monitoreo SA-25; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2022.	222
Fotografía N° 8-8. a. Estación de monitoreo I-11; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna Interna, invierno 2022. ..	225
Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano y d, Muestra sedimento. Laguna Interna, invierno 2022.	228
Fotografía N° 8-10. 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 2022.	233
Fotografía N° 8-11. 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 2022.....	235
Fotografía N° 8-12. 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 2022.	238

Fotografía N° 8-13. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2022.....	241
Fotografía N° 8-14. 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 2022.	244
Fotografía N° 8-15. 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 2023.....	266
Fotografía N° 8-16. 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 2023.....	268
Fotografía N° 8-17. 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 2023. .	270
Fotografía N° 8-18. 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 2023.....	274
Fotografía N° 8-19. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2023.....	277
Fotografía N° 9-1. Materiales utilizados para extraer muestras de suelo para conductividad hidráulica (permeabilidad).....	301
Fotografía N° 9-2. Vista general sitio Calicata S 1. Monitoreo invierno 2022.....	303
Fotografía N° 9-3. Vista general perfil calicata S 1, Monitoreo invierno 2022.....	304
Fotografía N° 9-4. Vista general sitio calicata S 2. Monitoreo invierno 2022.	305
Fotografía N° 9-5. Vista general perfil calicata S 2, Monitoreo invierno 2022.....	306
Fotografía N° 9-6. Vista general sitio calicata S 7. Monitoreo invierno 2022.	307
Fotografía N° 9-7. Vista general perfil calicata S 7, Monitoreo invierno 2022.....	308
Fotografía N° 9-8. Vista general sitio calicata S 8. Monitoreo invierno 2022.	309
Fotografía N° 9-9. Vista general perfil calicata S 8, Monitoreo invierno 2023.....	310
Fotografía N° 9-10. Vista general sitio calicata S 9. Monitoreo invierno 2022.	311
Fotografía N° 9-11. Vista general perfil calicata S 9. Monitoreo invierno 2022.....	312

Fotografía N° 9-12. Vista general sitio calicata S 13. Monitoreo invierno 2022.	313
Fotografía N° 9-13. Vista general perfil calicata S 13, Monitoreo invierno 2022.....	314
Fotografía N° 9-14. Vista general sitio calicata S 3. Monitoreo invierno 2022.	315
Fotografía N° 9-15. S 3, Monitoreo invierno 2022.	316
Fotografía N° 9-16. Vista general sitio calicata S 4, Monitoreo invierno 2022.	317
Fotografía N° 9-17. Vista general perfil calicata S 4, Monitoreo invierno.....	318
Fotografía N° 9-18. Vista general sitio calicata S 5. Monitoreo invierno 2022.	319
Fotografía N° 9-19. Vista general perfil de suelo calicata S 5, Monitoreo invierno 2022.	320
Fotografía N° 9-20. Vista general sitio calicata S 6. Monitoreo invierno 2022.	321
Fotografía N° 9-21. Vista general perfil calicata S 6, Monitoreo invierno 2022.....	322
Fotografía N° 9-22. Vista general sitio calicata S 10. Monitoreo invierno 2022.	323
Fotografía N° 9-23. Vista general perfil sitio calicata S 10, Monitoreo invierno 2022.	324
Fotografía N° 9-24. Vista general sitio calicata S 11. Monitoreo invierno 2022.	325
Fotografía N° 9-25. Vista general perfil calicata S 11. Monitoreo invierno 2022.....	326
Fotografía N° 9-26. Vista general sitio calicata S 12. Monitoreo invierno 2022.	327
Fotografía N° 9-27. Vista general perfil calicata S 12, Monitoreo invierno 2022.....	328
Fotografía N° 9-28. Vista general sitio calicata S 14. Monitoreo invierno 2022.	329
Fotografía N° 9-29. Vista general perfil calicata S 14, Monitoreo invierno 2022.....	330
Fotografía N° 9-30. Vista general sitio calicata S 1. Verano 2023.	331
Fotografía N° 9-31. Vista general perfil calicata S 1. Verano 2023.	332
Fotografía N° 9-32. Vista general sitio calicata S 2. Verano 2023.	333
Fotografía N° 9-33. Vista general perfil calicata S 2. Verano 2023.	334
Fotografía N° 9-34. Vista general sitio calicata S 7. Verano 2023.	335
Fotografía N° 9-35. Vista general perfil calicata S 7. Verano 2023	336
Fotografía N° 9-36. Vista general sitio calicata S 8. Verano 2023.	337
Fotografía N° 9-37. Vista general perfil calicata S 8. Verano 2023.	338

Fotografía N° 9-38. Vista general sitio calicata S 9. Verano 2023.	339
Fotografía N° 9-39. Vista general perfil calicata S 9. Verano 2023.	340
Fotografía N° 9-40. Vista general sitio calicata S 13. Verano 2023.	341
Fotografía N° 9-41. Vista general perfil calicata S 13. Verano 2023.	342
Fotografía N° 9-42. Vista general sitio calicata 3 (S 3). Verano 2023.	343
Fotografía N° 9-43. Vista general perfil calicata S 3. Verano 2023.	344
Fotografía N° 9-44. Vista general sitio calicata S 4. Verano 2023.	345
Fotografía N° 9-45. Vista general perfil calicata S 4. Verano 2023.	346
Fotografía N° 9-46. Vista general sitio calicata S 5. Verano 2023.	347
Fotografía N° 9-47. Vista general perfil calicata S 5. Verano 2023.	348
Fotografía N° 9-48. Vista general sitio calicata S 6. Verano 2023.	348
Fotografía N° 9-49. Vista general perfil calicata S 6. Verano 2023.	350
Fotografía N° 9-50. Vista general sitio calicata S 10. Verano 2023.	350
Fotografía N° 9-51. Vista general perfil calicata S 10. Verano 2023.	352
Fotografía N° 9-52. Vista general sitio calicata S 11. Verano 2023.	352
Fotografía N° 9-53. Vista general perfil calicata S 11. Verano 2023.	354
Fotografía N° 9-54. Vista general sitio calicata S 12. Verano 2023.	354
Fotografía N° 9-55. Vista general perfil calicata S 12. Verano 2023.	356
Fotografía N° 9-56. Vista general sitio calicata S 14. Verano 2023.	356
Fotografía N° 9-57. Vista general perfil calicata S 14. Verano, 2023.	358
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..	362
Fotografía N° 10-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2022 a. Panorámica de la estación y b. Sustrato fino, bajo flujo y baja profundidad.	371
Fotografía N° 10-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2022. a. Panorámica de la estación. b. Presencia de hidrófitas.	371
Fotografía N° 10-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Hidrófita sumergida centro laguna.	372

Fotografía N° 10-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación en invierno. b. Parche de la hidrófita <i>Ruppia</i> en línea de costa y sustrato fino.	373
Fotografía N° 10-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Hidrófita sumergida.	373
Fotografía N° 10-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2022. A. Vista panorámica de la estación. B. Sustrato fino, sin hidrófitas y helófitas	374
Fotografía N° 10-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2022 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas y Campaña Verano 2023 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.	375
Fotografía N° 10-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2022 y Verano 2023. a y c. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófita: <i>Triglochin concinna</i>).	376
Fotografía N° 10-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2023. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita.	377
Fotografía N° 10-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche <i>Sarcocornia fruticosa</i> (helófita). Campaña Verano 2023. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófita (<i>Ruppia</i>).	378
Fotografía N° 10-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2022 y Verano 2023. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas.	379
Fotografía N° 10-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2022 y Verano 2023 a y c. Vista panorámica de la estación b y d. Parche <i>Zannichellia palustris</i> (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua.	380
Fotografía N° 10-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófita <i>Schoenoplectus californicus</i>. Campaña Verano 2023. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de <i>S. californicus</i> y d. Esgurrimiento al costado de la estación de monitoreo.	381
Fotografía N° 10-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2022 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 2023 c. Vista panorámica de la estación, presencia de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis</i> sp. en línea de costa. y d. Interior de la poza.	382
Fotografía N° 13-1. Panorámica desde el punto COT RPV015 donde se observa a distancia el ambiente de la transecta T14	498

Fotografía N° 13-2. Fisonomía de las formaciones vegetales en las transectas T30 y T29, con evidencias de huellas de camionetas y de ganado 501

1 RESUMEN

El presente informe corresponde al Séptimo 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 Limitada¹ (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 seguimiento a las componentes y subcomponentes, definidas en el Plan de Manejo Biótico (Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto).

El presente Informe Anual N°7 da cuenta de las campañas de invierno 2022 y verano 2022-2023, las cuales se desarrollaron respectivamente durante el mes de agosto del 2022 (campaña invierno – M13); en el mes de diciembre del 2022 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-abril del 2023 (campaña verano – M14). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2022 a marzo 2023.

La campaña correspondiente a invierno 2022 (Monitoreo M13), se desarrolló entre los días 09 al 30 de agosto de 2022, constituyendo la decimotercera campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto. La campaña semestral de monitoreo de componentes bióticas fue realizada en tres fases como medida para evitar recargar las áreas sensibles en el salar, evitando aglomeraciones de equipos de trabajo en terreno. Por una parte, la primera fase corresponde a la campaña de invierno 2022 del componente **Área de Lagunas**, cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días 9 y 10 de agosto de 2022. Por otra parte, la segunda fase considerando los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, se desarrolló en terreno entre el **15 al 21 de agosto de 2022**, y la tercera fase que consideró los componentes **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas) y suelos o sustrato**, fue llevada a cabo entre los días **21 y 30 de agosto de 2022**. En cuanto a niveles freáticos en la zona de lagunas, se reportan las mediciones desde **abril a septiembre 2022**.

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.

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

Por su parte la campaña semestral Verano de monitoreo de componentes bióticas 2022-2023², (Monitoreo M14), considera su desarrollo entre los días 12 diciembre de 2022 al 19 de abril de 2023, constituyendo la decimocuarta campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto.

La campaña semestral de Verano fue realizada igualmente en tres fases. 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 2022**. 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 18 de marzo de 2023**, en estacionalidad de verano. Por otra parte, la tercera fase considera los componentes **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas) y suelos o sustrato**, fue llevada a cabo entre los días **09 y 19 de abril de 2023**, correspondiente a 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 2022 a marzo 2023.

Por su parte para el caso de este último componente **Nivel Freático en Lagunas**, se presentan registros de mayor frecuencia de medición para el mes de abril 2022 y marzo 2023, debido a la activación del Plan de Alerta Temprana (PATH) Sector Alerta Acuífero (**Ver en Anexo Cartas y Prohibiciones, Carta ALB-GMA-2022-SMA-010 y ALB-GMA-2023-SMA-007 Activación PATH**). Esto se enmarca en lo comprometido para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH³).

Cabe destacar, que desde el año 2021 a la fecha, (es decir sin datos de verano 2021, 2022 y 2023) la campaña de verano **en el sector de lagunas de Peine** (Salada, Saladita e Interna), se encuentra incompleta 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 por esta

² Cabe complementar para los monitoreos de verano, 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, si bien 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, en todos los análisis gráficos se deja estipulada de igual manera la campaña M8, de manera de no perder de vista la ausencia de datos donde corresponda.

³ El PATH (Plan de Alerta Temprana Hídrico), tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieran llegar a afectar los sistemas objeto de protección (cuerpos lagunares) y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. Existen 3 sectores de alerta PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente si lo hace SQM.

restricción, 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.

Respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, como fue mencionado previamente, 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 y Prohibiciones**). Por esta razón, para esta campaña Verano 2023, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Igualmente, en la campaña de verano (diciembre 2022) del componente **Superficie Área de Lagunas**, sólo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en el sector de la Laguna Interna. Se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso completo al sector Peine (lagunas Salada y Saladita), reduciendo las posibilidades de validación en este sector principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose como ya se indicó previamente realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA sólo en un sector de Laguna Interna (por fuera del área delimitada), dado que no presentaba restricciones de acceso. Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine: Salada y Saladita) (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Por el mismo motivo, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a partir de octubre de 2022 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta marzo 2023. Esto implica que se cuenta con menos datos durante este semestre para el análisis de niveles en esos barrenos (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

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 31 de marzo de 2023 y su complemento el 4 de abril de 2023⁴.

⁴ Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 31 de marzo de 2023 y 4 de abril de 2023. División de Fiscalización SMA. Cod: 1019267 y 1019459.

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 operaciones⁵. 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 séptimo 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 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 (2020 – 2023) 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 los principales y más relevantes resultados, análisis y conclusiones del Informe Anual N°7 del Plan de Manejo Biótico - PMB, según estas subcomponentes o variables monitoreadas:

⁵ 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.

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 séptimo año del plan de seguimiento, correspondiente al monitoreo de invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14), 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 séptimo 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 el séptimo año de monitoreo se describen 39 formaciones vegetales en verano 2023 (M14) y 37 en invierno 2022 (M13), y en general, se tiene que la cantidad de formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido similar, y 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 M13 a M14 donde el cambio se debe a la diferenciación en dos formaciones vegetales azonales en Tilopozo, que se 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*).

En la COT de **invierno 2022 (M13)**, 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 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; 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 seis 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 1.626,8 hectáreas (4,9%) 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 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.

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 muy escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a muy densa (5% a 100%) en su estrato herbáceo. En contraste, el matorral de *Atriplex imbricata*, la vega con dominancia de *Triglochin concinna*, la vega de *Phragmites australis*, *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata*, el matorral hídrico – vega con dominancia de *T. concinna* y el matorral hídrico – vega de *Tessaria absinthioides*, *Lycium humile* y *Distichlis spicata* (Quelana), están representados por una unidad cartográfica en el área de estudio.

Descrito lo anterior, el monitoreo semestral de invierno 2022 describe 37 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 2021 con 32 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 2023 (M14)**, 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 (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).

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 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; y los matorrales – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* con 2.141,1 hectáreas (6,5%), 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 522,7 ha (1,6%), distribuida solo en el sector Aguas de Quelana.

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 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*, la vega de *Phragmites australis* y *Distichlis spicata*, y el matorral hídrico - vega de *Tessaria absinthioides*, *Lycium humile* y *Distichlis spicata* (Quelana), 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 2023 describe 39 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, en general, se registra un descenso de las coberturas vegetales absolutas al séptimo año, con las excepciones de T21 y T22 en Tilopozo respecto de MB0. Respecto al último verano (M14) también son excepciones los aumentos en las transectas T13, T18, T30, T31, T22, T26 y T05 respecto al anterior monitoreo de verano (M12). Por otro lado, se observa en general, una similar riqueza 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 y M13 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 (M13 y M14), se observa que el herbazal de *Schoenoplectus californicus* sigue presentando las mayores coberturas vegetales del área de estudio (cercanas o sobre el 100%), similar a lo registrado entre MB0 y M12 en el sector de Peine. 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 M13 (13,8%) y en T19 en el verano M14 (44,0%), con una alta cobertura muerta en ambos monitoreos y con signos de perturbación por pisoteo de ganado. En La Punta y La Brava se observa en general una cobertura vegetal con tendencia al descenso considerando la disminución de la cobertura en el verano de 2017 (M2), respecto a MB0, con un leve aumento de la cobertura en el matorral de *S. fruticosa* en M13, pero más estables entre los monitoreos de verano. Por su parte, en Aguas de Quelana la variación más importante ocurre en M2 (verano 2017) donde disminuye sus coberturas respecto MB0, y si bien se observa una tendencia leve al descenso en el tiempo, entre los monitoreos de verano las coberturas promedio se observan en un rango menos variable. **Cabe señalar que la comparación respecto a MB0 es solo referencial, ya que este monitoreo fue**

realizado en invierno 2016, mientras que el resto de las campañas analizadas han sido realizadas en verano.

En relación con la evolución desde MB0 a M14, en general, al analizar la **cobertura promedio de la vegetación**, se observa una disminución al considerar de referencia la cobertura MB0, ya que hay que recordar que MB0 es de invierno 2016, aunque con diferencias entre sectores. En Peine, sector con mayor cobertura vegetal y variaciones dinámicas entre monitoreos, registra en el último periodo (M13-M14) coberturas mayores a las registradas en los primeros descensos en invierno 2016 (M1) y verano 2018 (M4), presentándose finalmente como uno de los sectores donde la cobertura vegetal promedio es estable dentro de su evolución.

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 último periodo (M13 y M14), sumado a un aumento del rastrojo a causa del deterioro de la cobertura vegetal observada en los herbazales de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29). Si bien se observa un descenso general de la cobertura desde MB0 a M14, 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.

En La Punta y La Brava, la evolución de la cobertura promedio de vegetación, se observa con variaciones leves de cobertura promedio, aunque con consistencia a la baja. 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 el último periodo invierno 2022 y verano 2023 (M13 y M14; 21% aproximadamente).

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).

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 M13 y M14, respecto de su evolución en los monitoreos. Los mayores registros de cobertura muerta por sector se encuentran en Tilopozo, con un máximo de 26,3% en invierno 2022-M13, seguido de un 23,4% en verano 2023-M14. Seguidamente, se observa una cobertura de 22,6% en Peine, registrada en invierno 2019-M7, mientras que para los sectores La Punta y La Brava y Aguas de Quelana el mayor registro de rastrojo ocurre en M14 (12,7% y 9,7%,

respectivamente). 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, por lo tanto desde M7 (invierno 2019) que no se registra agua superficial en el sector.

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 (matorrales de *Tessaria absinthioides*, T06 en Peine y T23, T24 y T25 en Tilopozo y T16 y T17 en matorrales de *S. fruticosa* 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.

Al analizar la variación de cobertura vegetal en las transectas, en general, se observa en algunas transectas una disminución desde MB0 a M14, con excepción en algunos casos, como por ejemplo mayor cobertura en M14 en el herbazal de *D. spicata* (T21 y T22 en Tilopozo), en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0). En seis transectas las variaciones registradas hasta M14 presentan menos del 10% de variación en la cobertura según lo registrado en MB0 (T09 y T05 en Peine, T31, T20, T26, T27 y T31 en Tilopozo) y es importante considerar que en varias de estas transectas las mayores coberturas se registran en otros monitoreos distintos a MB0, presentando en general fluctuaciones de la cobertura en los 7 años de monitoreo para éstas. En 10 transectas las variaciones son entre un 10 y 20% de la cobertura vegetal, respecto a MB0 e indicando en general una variación en aumento desde monitoreos anteriores (T23, T25 y T28 en Tilopozo, T08 y T07 en Peine, T10 en La Brava, T11 en La Punta y T15, T16 y T17 en Aguas de Quelana), ocho transectas con una variación entre un 20% y 50% de cobertura, también con una variación en aumento (T02, T03, T04 y T06 en Peine, T18, T30 y T24 en Tilopozo y T12 y T13 en La Punta) y tres

transectas con una variación mayor al 50% (T01 en Peine y T19 y T29 en Tilopozo), respecto de MB0 pero son transectas que han presentado fluctuaciones con alzas y disminuciones entre monitoreos.

No obstante, entre estas variaciones, la transecta T26 en Tilopozo y T10 en La Brava, sí representan un descenso mayor de su cobertura (mayor al 90% de su cobertura original) aunque son formaciones que desde un inicio presentaban baja cobertura vegetal (T10, 14,6% y T26, 7,8%, en MB0 y M1). La transecta T06 en Peine, presenta igualmente un descenso importante de su cobertura original (mayor al 80%), la cual registraba una cobertura absoluta de 24,6% en el primer invierno (MB0-M1) disminuyendo al verano siguiente a menos de un 40% de su cobertura (M2; 14,2%) y un mínimo de 3,4% en M14. Por otro lado, se ha descrito que los herbazales de *S. californicus* presentan una alta variabilidad entre monitoreos, registrando uno de los mayores descensos de cobertura vegetal en Tilopozo en el último año (M13 y M14), junto a un aumento del rastrojo. No obstante, así como se han registrado anteriormente grandes fluctuaciones en este tipo de formaciones, es preciso continuar con el monitoreo para observar su dinámica en próximos monitoreos, registrando igualmente, factores ambientales y antrópicos que pudieran incidir en el estado de la vegetación.

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), el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 19,4% (1.405,9 hectáreas) de la COT (7.238 ha), y en base a la evolución en el tiempo, se concluye en base considerando la NDVI que existiría una mantención general de las superficies de vegetación activa, dentro del rango de los registros históricos de línea de base en los sectores de estudio en que se encuentran.

En cuanto a los valores históricos mínimos (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015) desde imágenes de alta resolución, la superficie de vegetación activa en los sectores de **Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine**, se encuentran dentro del rango histórico en los seis años de monitoreos. En relación a las superficies activas registradas en el monitoreo verano 2023 y los resultados del monitoreo verano 2022, se observa un aumento de la vegetación activa en los sectores Aguas de Quelana, Soncor y La Punta y La Brava, y una disminución en Tilopozo y Peine.

En el sector de **Aguas de Quelana**, el valor de superficie de vegetación activa está por sobre el rango mínimo histórico, superando incluso el valor máximo histórico en los siete períodos (2017-2023), diferencia que se debe al aumento de la superficie del área de muestreo para el monitoreo. En cambio, para el sector **Soncor**, el resultado de superficie de vegetación activa, para las formaciones particulares de seguimiento, es menor en los siete años de monitoreos, a la superficie mínima histórica definida. No obstante, esto se

debe al mayor detalle definido por la COT en las campañas posteriores a la RCA, en los ajustes y precisiones realizadas a este instrumento en el contexto del PMB.

En particular, en cuanto a las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, comprometidas en el seguimiento (Adenda 5 2015) como formaciones indicadoras por su condición de hidromorfismo, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los siete años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico, levemente menor a lo observado en 2021 y 2022 y sobre los registros de 2018 a 2020. De acuerdo con las observaciones realizadas a la formación vegetal, se puede señalar que estos descensos podrían estar asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales.

En relación con Fauna Vertebrados Terrestres:

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 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 las aves acuáticas, aves terrestres, mamíferos, reptiles y 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° 204/2022 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta (ver acápite 1.1 **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

La décimo tercera campaña de monitoreo, invierno 2022 (en adelante M13), se realizó entre el 15 al 21 de agosto de 2022, con un equipo integrado por seis especialistas, divididos en tres grupos. Se muestrearon 25 de 25 puntos de muestreo, con la metodología de transectos (en los 25 puntos) y muestreos complementarios: trampeos de micromamíferos (en nueve puntos), y trampas cámara con atrayente olfativo para micromamíferos (en 12 puntos), no se realizaron monitoreos nocturnos. Además, para el muestreo de aves se establecieron puntos censales, tanto para las acuáticas como para las terrestres (sólo en ambiente de lagunas).

Se registró una riqueza total de 27 especies, identificándose: dos especies de reptiles, 16 especies de aves y nueve 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, las especies en categoría de conservación corresponden a dos especies de reptiles, cinco especies de aves y seis especies de mamíferos. En cuanto a su origen geográfico, dos de las especies registradas en la campaña son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles); otras 23 especies se clasifican como nativas (19 especies de aves y cuatro especies de mamíferos), mientras que dos especies son catalogadas como introducidas.

En esta campaña de invierno 2022 se registraron cuatro nuevas especies, no observadas en monitoreos previos del seguimiento (el Carancho cordillerano, la Llama, el Perro y la Chinchilla cordillerana o de cola corta). De ellas, el Carancho cordillerano si se había registrado en la Línea de Base del PMB (2015).

En relación con la riqueza por sector, se registraron 16 especies en el sector Tilopozo, 14 especies en Peine y 12 especies en La Punta y La Brava, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En invierno 2022, y en cuanto a la composición por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), variando entre 10 especies en el humedal pajonal de Tilopozo, y nueve especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, junto con en el humedal salar de Peine.

La décimo cuarta campaña de monitoreo semestral de fauna vertebrada terrestre, verano 2023 (en adelante M14), se realizó entre el 12 y 18 de marzo de 2023, con un equipo integrado por 6 especialistas, divididos en 3 grupos. Se realizaron 20 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso al sector de lagunas de Peine, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**). 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, por lo que se debe considerar dicha brecha para el seguimiento del PMB.

Para verano 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, 11 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, cinco se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a dos especies de reptiles, cuatro especies de aves y cinco especies de mamíferos.

En esta campaña de verano 2023 se registraron dos especies nuevas, no observadas en el monitoreo (el Murciélago de Atacama y la Bandurrilla). De ellas, el murciélago tampoco se había registrado en la Línea de Base del PMB (2015).

En relación a la riqueza por sector, se registraron 16 especies en el sector Tilopozo, nueve especies en La Punta y La Brava y sólo cuatro especies en Peine, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la riqueza comparada por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), variando entre 15 especies en el humedal pajonal de Tilopozo, y nueve especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, junto con el matorral de Tilopozo.

En el área de estudio, y en relación con la riqueza acumulada en las 14 campañas de monitoreo, ésta asciende a un total de 66 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 47 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 en el cual no se pudieron completar los muestreos de salares por restricciones de acceso definidas por la comunidad de Peine. 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 y 2023, en que no tuvieron muestreos completos de los sistemas lagunares, debido a las restricciones totales (2021 y 2023) y parciales (2022) de la comunidad de Peine 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 flamencos en particular.

Comparando las 14 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 trapeados, 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 66 especies registradas en total para las 14 campañas de monitoreo (de 2016 a 2023⁶) 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 21 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, composición y sobre todo, abundancia de fauna, se concluye para la evolución y seguimiento para este año N°7 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 y 2023, con menor monitoreo, debido a las restricciones de acceso a lagunas de Peine), los parámetros son mayores en el Monitoreo del PMB que en la Línea de Base, como por ej. 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 2023, 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,

⁶ 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.

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 14 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia Covid-19 y en los veranos 2021, 2022 y 2023 se efectuaron 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).

En relación con Tapetes microbianos:

El presente informe anual correspondiente a invierno 2022 y verano 2023, 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 2022 (18, 19 y 20 de agosto de 2022) y verano post-lluvias 2023 (14, 15 y 16 de marzo de 2023), que corresponde al séptimo informe de monitoreo anual del subcomponente tapetes microbianos. Durante verano 2023, 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 restricciones impuestas por la comunidad de Peine (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**). 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 por restricciones de acceso y 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, debido a las mismas restricciones.

Se analizaron muestras *in situ* de 16 puntos de monitoreo en invierno 2022, y de 8 de los 16 puntos en verano 2023, distribuidos en los sistemas lagunares nombrados. Las muestras de tapetes microbianos fueron obtenidas a través de testigos de PVC para muestras de sedimento y con espátula para el caso de tapetes superficiales expuestos. Posteriormente, se realizó *in situ* el conteo y caracterización pigmentaria de las laminaciones estratificadas

que presentó cada tapete y determinación del espesor total de cada tapete a través de una regla milimetrada de precisión. Los datos obtenidos fueron registrados en una ficha tipo de monitoreo de cada laguna que se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**. Para efectos de caracterización de la estructura pigmentaria de los tapetes se establecieron criterios de identificación de zonas macroscópicas pigmentadas según zonación teórica propuesta por literatura especializada.

Complementariamente, se obtuvieron datos de parámetros físicos y químicos de columna de agua y de sedimentos para cada laguna, así como datos de radiación solar del área-salar durante el período de monitoreo.

Los resultados de los monitoreos indican para este periodo la presencia de tapetes microbianos en 11 de las 16 estaciones de monitoreo establecidas (68,8%) para invierno 2022 y en 5 de las 8 estaciones de monitoreo establecidos (62,5%) en verano 2023. Las características macroscópicas de los tapetes microbianos analizados *in situ* en las dos condiciones estacionales indican la presencia de tapetes con tres macrozonas de pigmentación (Tipología 1). En el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, estos 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, la macrozona Profunda, presentaron pigmentación de tonalidad predominantemente marrón.

Respecto al espesor máximo obtenido en los tapetes, el mayor valor de invierno 2022 fue registrado en Laguna La Punta (LP-23), con 9 mm, mientras que en verano 2023, el mayor espesor se observó en Laguna La Brava (LB-1) con 15 mm.

El sector Tilopozo en las campañas invierno 2022 y verano 2023, nuevamente y por sexto 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 2022 y verano 2023, presencia de microbialitos en el Sector Peine (I-11, sólo invierno 2022) y 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 2023, 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 trece campañas semestrales en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava. Sector Peine, no pudo ser muestreado en verano 2020 debido a las restricciones por pandemia COVID-19, en verano 2021 y parcialmente verano 2022, debido a imposibilidad de acceder a dicho sector. Los tapetes de Tipología 1 predominaron en 2016, 2017, 2018, sin embargo, en la campaña verano 2021 disminuyeron respecto a lo observado en campañas anteriores, a razón de una mayor detección de tapetes Tipología 2 y un incipiente aumento de tapetes de Tipología 3. A su vez, esta disminución se observó principalmente en el Sector Peine (invierno 2020). No obstante, se volvió a notar un aumento en la Tipología 1, en dicho sector a partir de invierno 2021 y en Sector La Punta-La Brava (verano 2022).

En general, los tapetes Tipología 1 durante las trece 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. De los cambios importantes detectados en la estratificación de capas pigmentadas de tapetes microbianos en las estaciones de monitoreo, se observó una disminución en el número de capas observadas en La Punta-La Brava (Laguna La Punta), en verano 2023 (4 capas promedio), respecto a invierno 2022 (5 capas promedio), mientras que en verano 2022 se registró un menor número de capas promedio (3 capas promedio). No obstante, en campañas anteriores (invierno 2016 a invierno 2021) el rango fluctuó entre 4 y 7 capas promedio.

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 restricciones de acceso principalmente, en verano 2021, parcialmente en verano 2022, y en verano 2023. Sumado a las temporadas anteriores, debido a las restricciones producto de la Pandemia COVID-19, tampoco se tienen datos para la campaña de verano 2020.

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 trece 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, verano 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 y verano 2023.

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 incluye, la variable Tapetes Microbianos fue incorporada con 3 puntos de monitoreo voluntariamente 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 periodo reportado para la componente de Suelos (subcomponente sustrato), en el presente informe anual, se enmarca entre los días 21 al 26 de agosto de 2022, fecha entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno (M13), y la campaña de verano realizada entre los días 12 al 18 de marzo de 2023, correspondiente al monitoreo 14 (M14).

Para el área de estudio, se evaluaron 14 calicatas de una profundidad máxima de 93 cm (M13) y 84 cm (M14). En cada una de ellas se extraen muestras de suelo a dos profundidades diferentes, las cuales se definen en función del número y potencia de los estratos u horizontes, independiente de su número. El muestreo se realiza siempre en 2 horizontes, teniendo en consideración que las muestras sean tomadas lo más próximo a las profundidades de muestreo establecidas en el PMB.

Las calicatas se confeccionan en forma manual apoyado con pala, picota y chuzo. Luego se toman las muestras, las cuales son debidamente etiquetadas y embaladas en forma adecuada para enviar a laboratorio vía terrestre (Santiago) para los análisis de los parámetros establecidos en el PMB (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, salinidad, conductividad hidráulica (permeabilidad), nitrógeno, fósforo, potasio, humedad y textura).

El área de estudio comprende tres sectores:

- 1 Tilopozo, con las calicatas: S 1 (VT6)⁷, S 2 (VT5), ubicados más hacia el núcleo y norte del área; y S 7 (VT1), S 8 (VT2), S 9 (VT3) y S 13 (VT4) en la zona de las vegas de Tilopozo;
- 2 Peine, en que se encuentran las calicatas: S 10 (VTM1), S 11 (VB01), S 12 (VB02) y S 14 (VB03), y;
- 3 La Punta-La Brava: las calicatas S 3 (VLP3), S 4 (VLP2), S 5 (VLP1) y S 6 (VLB2).

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

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

En relación con el análisis comparativo de los parámetros de suelo de todas las campañas que se han realizado del PMB (2016-2017-2018-2019-2020-2021-2022-2023) se tiene que:

En el sector de **La Punta-La Brava**, la **conductividad eléctrica** de la mayoría de los puntos ha sido inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las distintas campañas de monitoreo, es decir, suelos categorizados como salinos, o con un grado de salinidad menor, de acuerdo a Sierra, Céspedes y Osorio (2001). y sólo en algunos puntos de muestreo es superior (es decir, corresponden a suelos muy salinos), mientras que en S 6, ubicado en laguna La Brava, ocurre lo contrario, es decir, la mayoría de los registros medidos en las campañas de monitoreo presentan valores superiores a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, suelos muy salinos o categoría superior.

En **Peine**, en la mitad de las calicatas (S 11 y S 14) el 100% de los registros ha presentado una conductividad eléctrica inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, corresponde a suelos no salino hasta salinos. Mientras que, en las restantes, un 60,4% de los datos medidos presentan una conductividad eléctrica superior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que los suelos dominantes son muy salinos y extremadamente salinos.

En el sector de **Tilopozo**, la conductividad eléctrica para los puntos de muestreo S 7-2, S 8-1, S 8-2, S 9-1, S 9-2, S 13-1 y S 13-2 ha sido siempre inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, excepto

⁷ Entre paréntesis se indica **código original de la calicata (PMB, 2015)**

en S 8-1 (M4) y S 13-2 (M5), lo que implica que para estos puntos los suelos dominantes son no salino hasta salinos. En los restantes puntos de muestreo, la variación es más amplia, con valores desde 2.490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 34.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, determinando en estos últimos la presencia de 4 categorías de salinidad de los suelos, la cual varía desde ligeramente salinos a extremadamente salinos.

Para todos los sectores, no se observa una estacionalidad marcada en término de resultados, presentándose algunos valores muy altos tanto en invierno como en verano.

Respecto a la **materia orgánica** el sector **La Punta-La Brava**, presenta una gran variabilidad de los resultados para los mismos puntos entre estaciones de muestreo, observándose similitud entre monitoreos invernales y estivales. Situación similar se presenta para los otros 2 sectores. Para el área de estudio se observa en general un aumento en la concentración a partir de M7 a M12, lo cual fue coincidente con el cambio de laboratorio, por lo que, el aumento en el porcentaje de materia orgánica en los suelos del área de estudio pudiera ser atribuible en parte a esta modificación y no completamente a cambios en el contenido de los suelos. A partir de M13 se observa una brusca caída del contenido de materia orgánica, a valores similares a los de los primeros 6 monitoreos. Cabe señalar que esto también coincide con un cambio de laboratorio de análisis.

Respecto al **pH**, en el sector de **La Punta- La Brava**, en todos los monitoreos, excepto M5, los suelos son **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino** y en un reducido número de muestreos **alcalino** y en M5, debido a la acidificación del suelo, la mayoría de ellos presenta la primera categoría indicada anteriormente, como también **medianamente básico**. En el sector de **Peine**, los **pH** más frecuente corresponde a **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino** en la mayoría de los puntos en todas las evaluaciones, existiendo un reducido número de muestras en los monitoreos M1, M6, M7, M12 y M13, en los cuales éste se encontró fuera de dicho rango, siendo en algunos casos más ácido y en otros más alcalino.

En **Tilopozo**, y al igual que en los otros sectores, los **pH** dominantes son **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, con un reducido número de muestreos donde éste es más ácido (principalmente en campaña M6).

Respecto a la concentración de **sales solubles (salinidad)**, en el sector **La Punta-La Brava** en general se presenta un aumento a partir de M2 en la mayoría de los puntos respecto a M1, excepto en S 3-1 que presenta siempre valores inferiores a M1 y en un número menor de puntos de medición que presentan un comportamiento variable, es decir, suben en algunos monitoreos y disminuyen en otros. Esta misma situación se presenta en **Peine** y **Tilopozo**, y ambos sectores se caracterizan por presentar un amplio rango entre los valores máximos y mínimos, siendo constantes este comportamiento entre los diferentes monitoreos.

En relación con la **conductividad hidráulica**, en el sector de **La Punta-La Brava** no se identifica una relación entre los resultados de los diferentes monitoreos según estación, ni entre los mismos puntos para las diferentes evaluaciones, observándose resultados muy variables. Igual situación se presenta en **Peine** y **Tilopozo**. En general la **permeabilidad** dominante para el área de estudio es **muy alta**, en una menor proporción **alta**, y en algunos puntos **moderadamente alta**.

Respecto al **nitrógeno** disponible, para el sector **La Punta-La Brava**, en los monitoreos M1, M3, M5 y M6 la mayoría de los puntos presentan una disponibilidad **muy baja**, aumentando a **baja** y **media** en M2 y M4. Mientras que, a partir de M7 las categorías son **media** y **alta**, adicionando la **muy alta** en M9 y solo las dos mayores (**alta** y **muy alta**) para M10, M12 y M14, excepto S 3-1 donde se presenta una disponibilidad media. Este aumento en la concentración pudiera ser atribuible en parte al cambio de laboratorio encargado de los análisis, por lo que se estima que ante la ausencia de condiciones ambientales que favorecen el aumento de este macroelemento en el suelo, tanto naturales como antrópicas, la diferencia estaría fundamentada sólo por el cambio de laboratorio.

Para el sector de **Peine**, las disponibilidades **muy baja**, **baja** y **media** son las más frecuentes en los monitoreos M1 a M6, cambiando mayoritariamente a **media** y **alta** en M7 y adicionando la categoría **muy alta** a partir de M9 a M13, y en M14 volver a mayoritariamente a **media**.

En **Tilopozo**, el nitrógeno disponible es principalmente **muy bajo** y **bajo** en los monitoreos M1, M3, M5 y M6, mientras que en M2 y M4 dominan la categorías **baja** y **media** y las restantes muy escasa, aumentando a una disponibilidad **alta** y **muy alta** y en algunos puntos y **media** para M7, M9, M10, M12 y M13, mientras que en M14 la categoría más frecuente es **media** y la **alta** muy escasa.

La disponibilidad de **potasio** para el sector de **La Punta-La Brava**, es **alta** en la totalidad de los monitoreos para todos los puntos. En cambio, en **Peine**, tanto la categoría **alta** como **adecuada** son las de mayor frecuencia y en **Tilopozo** la categoría **alta** es la de mayor frecuencia, aun cuando se observan algunos puntos donde la disponibilidad es **adecuada**.

En lo referente al **fósforo**, en el sector de **La Punta-La Brava** se observa un aumento en la concentración a partir de M2 con un máximo en M3, descendiendo a valores mínimos en M6 y nuevamente con un leve aumento a partir de M7 hasta M13, alcanzando máximos similares a M2 en M14.

En relación a la disponibilidad, esta es mayoritariamente **muy baja** en M1, M6, M7, M10, M12 y M13 y en los restantes monitoreos es principalmente **baja** y **media**. Mientras que en **Peine** y **Tilopozo**, se observa un aumento en la concentración de fósforo en la mayoría de los puntos a partir de M2.

Respecto a la **humedad** del suelo para el sector de **La Punta-La Brava**, se observa una variabilidad entre los puntos para los diferentes monitoreos, no existiendo similitudes entre ellos o una marcada estacionalidad. Para el sector de **Peine**, en todos los monitoreos la **humedad** presenta un comportamiento similar en términos de porcentajes altos y bajos, correspondiendo en general a los mismos puntos los que presentan los valores extremos (máximo – mínimo), igual situación se presenta en **Tilopozo**.

En relación al nivel freático, es necesario señalar que a partir de M10 se observa una disminución de los puntos de muestreo donde se identifica nivel freático a profundidad de trabajo, situación que se presentan principalmente en Tilopozo y con una menor frecuencia en Peine. En cambio, en La Punta-La Brava en todas las calicatas se detectó nivel freático, en donde la profundidad es variable para todos los monitoreos.

Cabe señalar que esta condición es coincidente con una disminución de las precipitaciones en los últimos años.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en todos los monitoreos se detectó nivel freático a profundidad de trabajo en los puntos S 3, S 4, S 5 y S 6, donde la profundidad es variable y no hay relación entre ésta y la estación del año en que se realizó el muestreo.

En el sector de **Peine**, en la mitad de los puntos de muestreo, se determinó nivel freático a profundidad de trabajo (S 14 y S 11). En estos, y al igual que en el sector anterior, no hay relación entre la profundidad del agua y la estación en la cual se realizó el monitoreo, destacando que para M12 en el punto S 14 no se detectó nivel freático, igual situación se presenta para S 11 en M14.

En el sector de **Tilopozo**, en 4 puntos de muestreo, se detectó nivel freático a profundidad de trabajo. Al respecto, se destaca que en los monitoreos (M4, M10 y M12 no fue detectado el nivel freático en ninguno de los puntos del sector. Destaca el punto S 7, que a la fecha sólo se detectó nivel freático en M13.

En relación con Limnología

El presente análisis da cuenta del monitoreo del séptimo 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 (ex Rockwood Lithium Ltda.). 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 14 campañas semestrales en las cuales se evalúan los subcomponentes biota acuática, calidad de aguas y sedimentos, realizadas en los periodos de agosto de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 correspondiente a la época de invierno, y marzo de 2017, 2022 y 2023 y abril 2018, 2019 y 2021, correspondientes ambos a la época de verano post lluvias. Cabe señalar que la campaña verano post lluvias 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Por su parte, para las campañas estivales de 2021 y 2023, no se realizó monitoreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine. En tanto, en la campaña verano 2022 no fue posible acceder a las estaciones de Peine, ubicadas en la laguna Saladita (SA-25) y Salada (S-9), debido a la presencia de flamencos y a las restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine, situación que afecta la comparación de los datos históricos del monitoreo en el sector Peine (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

El área estudiada se encuentra dividida en tres sectores: Sector Peine, que consta de seis estaciones; Sector La Punta-La Brava, que consta de cinco estaciones; y Sector Tilopozo que presenta tres estaciones.

Las variables del subcomponente calidad de agua y sedimento, fueron evaluadas *in situ* y en laboratorio, a través de la toma de una muestra en cada estación. Mientras que, para biota acuática, se tomó muestras de las distintas comunidades a evaluar y se identificó y cuantificó los *taxa in situ* y en laboratorio.

- Calidad de Agua

En este séptimo informe consolidado, los resultados del componente agua de las campañas de monitoreo de invierno 2022 y verano 2023, 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 detallan a continuación.

En general, los registros de parámetros de calidad de agua en invierno 2022 y verano 2023, tanto para el sector de Peine, como en sector de La Punta y La Brava y el sector de Tilopozo, estuvieron dentro de los rangos de línea de base. Estos sistemas de lagunas se caracterizaron por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, además de altas temperaturas en varios de los puntos de monitoreo, acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua.

El **Sector de Peine**, en invierno 2022 presentó aguas con alta salinidad y conductividad, con altas concentraciones de cloruros y sulfatos, además de temperaturas acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua. La conductividad mostró en general un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna, alcanzando los 42.120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17. En el caso del oxígeno disuelto, se registraron valores entre 3,19 y 6,85 mg/L, que

principalmente disminuyó desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual se relaciona con la solubilidad del oxígeno que disminuye en ambientes hipersalinos (Javor 1989).

Por otra parte, las lagunas de ese sector presentaron todas un pH alcalino (>8), lo cual se relaciona con los valores obtenidos para la alcalinidad total, que están dados principalmente por la concentración de bicarbonato. El Nitrógeno Total Kjeldhal mostró valores entre 0,7 y 1,3 mg/L con su máximo en la estación I-17. Por su parte la clorofila "a", presentó una variación en el sector de <0,02 a 1,24 µg/L, con su máximo registro en S-10, mientras que la clorofila en Perifiton mostró un rango entre <0,02 y 12,7 mg cl-a/m² con su máximo en S-9 (laguna Salada), lo que se relaciona con actividades fotosintéticas particulares en cada estación.

En los casos del fósforo y el ortofosfato mostraron, valores bajo el límite de detección. 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. Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentan un marcado carácter básico en todas las campañas de verano e invierno, con un pH entre 8 y 9 en todos los registros (con máximos en invierno 2022), esto en concordancia con los 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.

El **Sector La Punta y La Brava**, en invierno 2022 y verano 2023 se caracterizó por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, además de temperaturas con variabilidad horaria, estando los mayores registros acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua. Se

observó un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava (excepto en LB-3), alcanzando los 127600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LB-2 en verano de 2023. En La Brava, las mayores diferencias se distinguen en la estación LB-3 respecto a las otras estaciones de muestreo, que corresponde a un punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando menor valor en aquellos parámetros vinculados a conductividad y salinidad. La Punta y La Brava, presentaron valores de pH entre 7,32 y 8,91 (este último en invierno 2022 en LP-23), esto en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados.

En este sistema, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más bajas en verano 2023 respecto de invierno 2022 (mínimo 1,57 mg/L en LB-2 en verano 2023 y máximo 7,56 mg/L en LB-3 en invierno 2022), lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en las distintas campañas que afecta la solubilidad del oxígeno en el agua. Históricamente, se ha observado un incremento en conductividad y salinidad desde laguna La Punta hacia La Brava, con mínimos históricos registrados de 26.360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y 13 g/Kg de salinidad en La Punta (LP-23) en invierno 2018, para alcanzar los máximos de 165.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 81,4 g/Kg, respectivamente, 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 en invierno 2021. En esta estación se han registrado valores entre 26.410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (invierno 2022) y 69.960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (invierno 2020) Temporalmente en este sector de La Punta y La Brava, se tuvo un incremento de conductividad en verano 2019 respecto a verano 2017, para luego disminuir en verano 2021, 2022 y 2023, observándose en las últimas campañas en general valores dentro del rango de la LB. Tales fluctuaciones pueden ser atribuibles a las variaciones de precipitación y evaporación propias del salar. En términos de dinámica espacial de las lagunas de este sector, se observó en general un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava (sin considerar LB-3) tanto en invierno como en verano.

Por otra parte, las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH para todos los puntos de monitoreo en todos los veranos (>8) y para la mayoría de las estaciones de monitoreo de inviernos, con registros principalmente entre 8 y 8,9 unidades (mayores valores en invierno 2022), esto en concordancia con los valores de alcalinidad total y bicarbonato, siendo los más altos registros de bicarbonato en los veranos de 2018 y 2023. Se registraron mayores temperaturas en las estaciones de laguna La Brava respecto a las estaciones de laguna La Punta, en la gran mayoría de los periodos monitoreados, las cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 31,3°C en LB-2 en verano 2017 y mínimo de 5,16°C en LP-24 en invierno 2022) y concentraciones de oxígeno disuelto comparativamente más bajas en los monitoreos de verano respecto de los de invierno, en la mayoría de las estaciones de este sistema lagunar (exceptuando por el

máximo de 34 mg/L en LP-23 en verano 2017), lo cual se relaciona con las mayores temperaturas registradas en verano que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

Otro parámetro para considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, observándose una tendencia de incrementarse desde laguna La Punta a La Brava (exceptuando LB-3). 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.

Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo** para invierno 2022 y verano 2023, corresponden a las estaciones TB-1 y TB-3, las cuales son pozas de <2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, junto a la estación TB-2, que corresponde a una zona inundada de baja profundidad formando un pajonal hídrico. Este sector muestra un sistema notablemente menos salino que Peine y La Punta y La Brava, lo que es esperable al ser una zona de vegas y por su lejanía del núcleo del salar, donde se registraron valores menores de conductividad (entre 4.011 y 4.539 \square S/cm), salinidad (de 2,2 a 2,3 g/Kg), un pH neutro (6,34 a 7,85) y con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 333 y 349 mg/L. Se observa que los resultados obtenidos en las estaciones de Tilopozo son similares en la mayoría de los parámetros y en ambas campañas, como las temperaturas que en general fueron altas (entre 25,39 y 25,95 °C) y un oxígeno disuelto que presentó concentraciones entre 3,4 y 6,44 mg/L (valores máximos en TB-2). Cabe destacar los valores obtenidos de Nitrato (entre 3,57 mg/L y 4,4 mg/L para ambos monitoreos) y clorofila-a en Perifiton (máx. 732,52 mg/m² en TB-3, verano 2023). Tales valores podrían estar indicando algún grado de eutrofización en estas pozas. Si bien el sistema presenta una condición de oligotrofia según los valores de nitrógeno total <700 mg/L y fósforo total <25 mg/L consignados en el presente estudio, muestra una condición de mesotrofia a eutrofia, según los valores de clorofila-a en perifiton >70 mg/m² registrados en 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.

Desde un punto de vista histórico, en Tilopozo 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° en verano 2023. 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.

- Calidad de Sedimentos

Respecto a la calidad de sedimentos, los resultados descritos para las estaciones del sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna) en invierno 2022, presentaron porcentajes de materia orgánica en su mayoría sobre un 10%, con un máximo registrado de 20,25% en S-5 (laguna Salada). De igual forma el contenido de carbono orgánico total (COT) tuvo un máximo de 117,5 g/Kg en la misma estación. Ahora bien, los resultados descritos en las estaciones del sector Peine tanto para los monitoreos de invierno y verano desde el año 2016, muestran que los parámetros de carbono orgánico total, materia orgánica y fósforo total presentaron por lo general valores sobre el máximo registrado para la LB, siendo parámetros variables a lo largo del PMB (históricamente) y sin una tendencia clara. 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

Los resultados de sedimentos para las estaciones del **sector La Punta y La Brava**, muestran que el parámetro de materia orgánica tendió a ser variable al comparar invierno 2021 y verano 2022, con registros entre 9,06% en LP-23 (verano 2023) y 15,16% en LP-24 (invierno 2022). Respecto al carbono orgánico total (COT) también se registraron valores mayores en invierno 2022 (55,2 a 87,9 g/Kg) respecto al verano 2023 (52,55 a 71,4 g/Kg), registrándose los mayores valores en La Punta en invierno 2022. Por su parte, los valores de nitrógeno total Kjeldahl también fueron más altos en invierno 2022 (1,62 a 14,09 g/Kg) respecto al verano 2023 (0,182 a 0,198 g/Kg), observándose una variabilidad mayor en La Brava. Respecto al fósforo total, en invierno 2022 y verano 2023 correspondió a <500 mg/Kg en todas las estaciones monitoreadas. Respecto al potencial redox, este mostró sedimentos con características reductoras en invierno 2022 con valores negativos entre -327 y -287 mV, mientras que en verano 2023 se registraron valores mayoritariamente positivos (entre -395 y 420 mV) mostrando una condición de ambiente de características oxidativa. Desde un punto de vista histórico, al igual que para el sector de Peine, los valores en la mayoría de los parámetros analizados se encuentran fuera de los rangos establecidos en la línea base (carbono orgánico total COT, materia orgánica, fosforo total y potencial óxido reducción), siendo parámetros variables a lo largo del PMB y sin una tendencia clara. Sin embargo, estos parámetros han mostrado generalmente valores fuera del rango de la línea base en los monitoreos realizados del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden a ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota, con altas concentraciones de sales y con materia orgánica en su sedimento recalcitrante a su degradación.

Es importante destacar que, en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en el año 2015 para la elaboración de la LB del PMB, por lo que los desvíos con respecto a dichos datos pueden deberse a la variación natural de los sistemas. 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 la ocurrencia de muchos 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. El alto contenido de fósforo puede deberse a la misma razón.

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron en ambas campañas (invierno 2022 y verano 2023) valores moderados para los parámetros de carbono orgánico total (COT) y materia orgánica, con máximos de 92,4 g/Kg de COT y 15,93% de materia orgánica, ambos en TB-3 y en invierno 2022. El fósforo total por su parte alcanzó los 1100 mg/Kg en la estación TB-1 en invierno 2022, registrándose también en el sector concentraciones elevadas de nitrógeno total Kjeldahl en invierno 2022 (entre 8,39 y 9,83 g/Kg) y bajas en verano 2023 (entre 0,13 y 0,17 g/Kg).

Por su parte, el potencial redox mostró sedimentos con características reductoras tanto invierno 2022 como en verano 2023 (entre -333 y -255 mV). Históricamente se han registrado altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total en los sedimentos, este último alcanzando los 1.800 mg/Kg en la estación TB-3 en verano 2021, además de importantes concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl en el sector (máximo de 16,38 g/Kg en verano 2022 en TB-3). Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en la mayoría de los periodos en las tres estaciones de monitoreo. Cabe mencionar que los registros de carbono orgánico total y materia orgánica fueron más altos en TB-2, esto podría estar relacionado con que esa estación está ubicada a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual se encontró sin agua superficial en verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021. Por su parte las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de menos de 2 m de profundidad, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos.

- Biota Acuática

A continuación, se comentan las variables de riqueza y abundancia de las distintas comunidades del componente de biota acuática, las cuales 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 solo fue monitoreado en invierno 2022, en tanto, en verano 2023 no fue posible acceder al sector.

En general, para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) y entre periodos de monitoreo 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 2022 y verano 2023, para ambos componentes, correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Brachysira*, *Amphora*, *Halamphora*, *Pseudostaurosira*, *Navicula* y *Nitzschia* (de estos últimos géneros solo algunas especies), 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 por los géneros *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Lyngbya* y *Chroococcus*, 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).

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), estarían en estrecha relación con las diferencias entre evaporación y precipitación entre periodos estacionales, las variaciones en los niveles y disponibilidad del agua y las condiciones del hábitat principalmente relativos a la conductividad y la salinidad (Cepeda-Pizarro 2013; Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004).

Cabe destacar que en ambas campañas se observaron diferencias en la abundancia, presentando altas abundancias para el fitobentos sobre todo en periodo de verano y abundancias menores para el fitoplancton en comparación con el fitobentos, en tanto, las riquezas para ambos componentes presentaron registros en general similares.

La comparación de la composición y la riqueza total de la **comunidad fitobentónica y fitoplanctónica** entre invierno 2022 y verano 2023 considerando el sector **La Punta y La Brava**, presentaron registros con diferencias entre el periodo de invierno y verano con 22 y 17 géneros para *fitobentos* y 16 y 12 géneros en total para *fitoplancton*.

En tanto para **vegas de Tilopozo** también se observaron diferencias en las riquezas totales entre invierno y verano, con registros entre 9 y 13 géneros para *fitobentos* y 10 y 12 géneros para *fitoplancton*.

Las comunidades de microalgas, *fitobentos* y *fitoplancton*, en la campaña invierno 2022, presentaron riquezas similares a lo observado en la línea de base en el **sector Peine y La Punta-La Brava**, con excepción, de lo obtenido para fitoplancton en la estación S-10

(Peine, laguna Salada) donde se registró una riqueza de géneros menor al límite mínimo de la línea de base. Respecto de las abundancias, en el **sector Peine**, fueron mayores al límite máximo consignado en la línea de base para fitobentos, en tanto, para el fitoplancton se observaron dentro del rango de variación, aunque con registros bajos y cercanos al límite mínimo de la línea de base. Mientras que, en el **sector La Punta-La Brava**, las abundancias fueron mucho mayores respecto de la línea de base para fitobentos, en tanto, para fitoplancton fueron menores al límite mínimo consignado para la línea de base.

En verano 2023, como se mencionó el **sector Peine** no fue monitoreado, por tanto, se obtuvo información solo para el **sector La Punta y La Brava**, el que presentó riquezas variables en relación con lo observado en la Línea Base, registrando riquezas por debajo del límite mínimo de la LB (La Punta: LP-24; La Brava: LB-1 y LB-3), en tanto, el máximo estuvo contenido dentro del rango de variación de la LB. Mientras que, las abundancias fueron mucho mayores respecto de la Línea Base para fitobentos, en tanto, para fitoplancton fueron menores incluso con algunos registros por debajo del límite mínimo consignado para la Línea Base, específicamente en LP-24 (La Punta) y LB-2 (La Brava). En **vegas de Tilopozo** invierno 2022 y verano 2023, para fitobentos y fitoplancton, se presentaron registros variables para las riquezas y las abundancias.

Respecto de los índices comunitarios en la campaña de invierno 2022, en Peine, las mayores diversidades (número de taxa y abundancias) y equidades (homogeneidad de abundancias) se observaron en Laguna Interna para fitobentos y en la Laguna Saladita para fitoplancton. En tanto en **La Punta-La Brava** para fitobentos la mayor diversidad se observó en la Laguna La Punta, en tanto para fitoplancton, se registró un patrón similar de diversidad y equidad entre ambas lagunas y estaciones de monitoreo. Para el sector **Tilopozo**, los valores de diversidad en la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-1 y en el fitoplancton en la estación TB-2. En tanto, la equidad fue mayor en la estación TB-3 en el fitobentos y en TB-2 para el fitoplancton.

Por otra parte, en la campaña de verano 2023, en La Punta-La Brava, específicamente, para fitobentos y fitoplancton, se registró un patrón similar de diversidad y equidad entre ambas lagunas y estaciones de monitoreo. Para el sector **Tilopozo**, en verano 2023, los valores de diversidad en la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-1 y en el fitoplancton en la estación TB-2. En tanto, la equidad fue mayor en la estación TB-2 en el fitobentos y en TB-1 para el fitoplancton.

En el contexto histórico solo analizando inviernos entre 2016-2022 en el sector **Peine**, para el fitobentos 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. Para fitoplancton, en tanto, para la riqueza y para la abundancia se observó en general la tendencia a la disminución de los registros en el tiempo respecto de la línea de base.

En el sector **La Punta-La Brava**, históricamente la riqueza ha presentado una tendencia variable en inviernos y veranos, mientras que, para la abundancia del fitobentos esta tendencia ha ido en un progresivo aumento para ambos periodos desde el año 2017 al 2023, presentando en invierno 2022, verano 2022 y 2023 las mayores abundancias registradas a la fecha. Para fitoplancton se ha observado la tendencia a la disminución entre periodos de invierno y verano, con unos de los menores registros en invierno 2022 y en verano 2018, 2019 y 2023.

En **vegas de Tilopozo** entre periodos de invierno, el fitobentos como componente, presentó registros variables para las riquezas, en tanto, para las abundancias se ha observado una disminución en el tiempo hasta la campaña de invierno 2020, posterior a esta se observó un aumento en todas las estaciones de monitoreo, siendo mayores en invierno 2022, no así el fitoplancton para el cual se observaron riquezas y abundancias con una tendencia a la disminución entre periodos de invierno. Entre periodos de verano, la riqueza entre estaciones de monitoreo ha presentado valores variables, observándose los mayores en verano 2017 y 2019 para fitobentos y en verano 2017 para fitoplancton. En tanto para la abundancia, en el caso de los fitobentos se observaron diferencias entre campañas de monitoreo de verano, siendo menores en verano 2018 y 2021 y mayores en verano 2022 y 2023. Respecto al fitoplancton, presentó mayores valores en verano 2018, mientras que, los menores registros se presentaron en verano 2023. Cabe destacar que la estación TB-2, no presentó agua superficial, por lo que no se obtuvo registro de riqueza y abundancia en los periodos de verano 2019 y 2021.

Por último, en invierno 2022 y verano 2023 como en las anteriores campañas de invierno y verano, se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), en los sectores Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo para ambos componentes fitobentos y fitoplancton. En relación con los géneros frecuentes y dominantes históricamente reportados, éstos correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Achnantheidium*, *Cocconeis*, *Haloroundia*, *Halumphora*, *Navicymbula*, *Cymbellonitzschia*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), y a las cianobacterias *Chroococcus* y *Oscillatoria* todos relacionados a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos.

En general, la alta variación observada para la riqueza y las abundancias microalgales, se atribuyen y serían propias de la dinámica natural de las comunidades microalgales, las que aumentan o disminuyen en función de las precipitaciones y la evaporación de las lagunas monitoreadas. A una escala menor, la salinidad, alcalinidad, oxígeno disuelto entre otras afectan la diversidad microalgal y bacteriana y las tasas de fotosíntesis. La conjunción de todos estos factores, podrían surtir un efecto sobre las riquezas abundancias de las comunidades microalgales (Farias *et al.* 2017).

La comunidad de **zooplancton** en el **Sector Peine** en invierno 2022, presentó riquezas entre 1 y 3 *taxa* en las estaciones de muestreo. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta principalmente por copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp., por el

branquiópodo *Artemia franciscana* y gusanos Nematoda. Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton variaron entre 1,96 ind/L en SA-25 (laguna Saladita) y 50,83 ind/L en S-9 (laguna Salada). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en las tres lagunas de Peine fueron los copépodos *Tigriopus* sp., obteniendo su máximo registro en S-9. Por su parte *A. franciscana* se encontró en bajas abundancias, registrándose su máxima densidad en laguna Interna (I-17) con 0,25 ind/L.

Históricamente, 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. 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. Las riquezas de *taxa* fueron en general bajas, con valores entre 1 y 5 *taxa* en los periodos monitoreados de invierno y verano. Cabe mencionar que en este sistema los zooplancteres más abundantes fueron copépodos Harpacticoida 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

La comparación entre invierno 2022 y verano 2023 de la comunidad zooplanctónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación fueron bajas en este sector en ambos periodos, con un máximo de 3 *taxa* principalmente en laguna La Punta y un mínimo de 1 *taxa* en LB-3 (verano 2023) Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron en general más bajas verano 2023 (min 0,2 ind/L y max 10,65 ind/L) respecto a las de en invierno 2022 (min 1,17 ind/L y max 24,04 ind/L). La menor abundancia total se registró en LB-3 (verano 2023) y la mayor en LB-1 (invierno 2022). En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, durante la campaña de invierno 2022 y verano 2023, se observó que las representatividades de los distintos *taxa* fueron diferentes dependiendo de la laguna. En invierno 2022, la estructura comunitaria del zooplancton en este sector mostró que el grupo dominante en La Punta fueron los copépodos Cyclopoida y *Tigriopus* sp., mientras que en La Brava principalmente fue *Tigriopus* sp. Para el verano 2022, el grupo dominante en laguna La Punta fueron los copépodos *Boeckella poopoensis*, mientras que en La Brava principalmente fueron los copépodos Harpacticoida y el branquiópodo *Artemia franciscana*.

Respecto de la evolución histórica de 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, LB-1 y LB-2, 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 y en verano 2022 en las estaciones LP-23 y LB-1, 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. 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*. Por su parte, en LB-1 y LB-3 en verano 2019, el zooplancton fue representado principalmente por *Artemia franciscana* y el copépodo Harpacticoidea *Tigriopus* sp. En la campaña de verano 2021, 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 zooplancteres, como es el caso de *Boeckella poopoenis* 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 zooplancteres 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*.

En las estaciones muestreadas del **Sector de Tilopozo** en invierno de 2022, se registraron riquezas entre 1 y 2 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, mientras que en verano 2023 la riqueza fue de 1 y 3 *taxa* por estación. Si bien las abundancias totales de zooplancton por estación fueron bajas en ambos periodos, en invierno 2022 fueron mayores y tuvieron un rango de 0,55 a 3,65 ind/L, siendo el organismo más abundante el ostrácodo Cyprididae con 2 ind/L en TB-1. Por su parte, en verano 2023 las abundancias totales estuvieron entre 0,03 y 0,32 ind/L. La fauna zooplanctónica en este sector durante invierno 2022 estuvo compuesta por copépodos Cyclopoida, *Tigriopus* sp., ostrácodos Cyprididae y por insectos Chironomidae, siendo taxón con mayor frecuencia el copépodo *Tigriopus* sp. que se encontró en TB-2 y TB-3.

En verano 2023, la fauna zooplanctónica estuvo compuesta por el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52

MMA del 2014), ostrácodos Cyprididae y por insectos Chironomidae y Coenagrionidae (Odonata). El taxón con mayor frecuencia fue *Heleobia atacamensis* que se encontró en TB-2 y TB-3. 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 90 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 invierno dominaron copépodos ciclopoídeos 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.

El zoobentos del **Sector Peine** en invierno 2022 registró una riqueza entre 1 y 4 *taxa*, encontrándose el máximo en la estación S-10 (laguna Saladita). La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por copépodos *Tigriopus* sp. e insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Dolichopodidae y Ephydriidae. Las abundancias totales por estación tuvieron valores entre 260 ind/m² en I-17 a 279.333 ind/m² en S-9. Los organismos más abundantes fueron los copépodos *Tigriopus* sp, alcanzando los 266.991 ind/m² en S-9 (laguna Salada) y 20.658 ind/m² en S-10 (laguna Saladita), siendo también importante de mencionar a los dípteros Ceratopogonidae que alcanzaron los 12.343 ind/m² en S-9. Históricamente, el Sector Peine 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/m², 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/m² 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. En relación a los *taxa* dominantes, 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*. 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.

La comunidad zoobentónica en el sector **La Punta y La Brava**, mostró que las abundancias totales fueron menores en invierno 2021 respecto a verano 2022. El menor registro fue de

0 ind/m² en LB-1 en verano 2023 y las mayores abundancias totales ocurrieron en el mismo monitoreo alcanzando 39.756 ind/m² en LP-23 y 58.075 ind/m² en LB-3, dadas por las altas abundancias registradas de ostrácodos Limnocytheridae y por gasterópodos *Heleobia* sp. Las diversidades y equidades estimadas en general fueron bajas para ambos periodos debido a las bajas riquezas (entre 0 y 5) y lo disímil de sus abundancias. En invierno 2022 los *taxa* dominantes por cada estación fueron los dípteros Chironomidae en LP-23, los copépodos *Tigriopus* sp. como dominantes en LB-2 y ostrácodos de la familia Cyprididae en la estación LB-3. En verano 2022, los *taxa* dominantes fueron *Heleobia* sp. en LP-24, *Heleobia* sp. junto a los ostrácodos Limnocytheridae en LP-23 y LB-3, mientras que en LB-2 dominó el insecto díptero Ephydridae. Históricamente este sector 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 bajo los 20.000 ind/m², 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/m² en LB-3 durante el verano 2023. Históricamente los *taxa* dominantes correspondieron principalmente a copépodos Harpacticoidea, seguidos por gasterópodos *Heleobia* sp., sin embargo, en la campaña 2023 los *taxa* dominantes fueron los ostrácodos Limnocytheridae y el gasterópodo *Heleobia* sp.

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en invierno 2022 solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zoobentónicos (riqueza total de 2 *taxa*), donde se registraron los dípteros Ceratopogonidae (como dominantes) y Chironomidae (*Cricotopus* sp.), alcanzando una abundancia total de 1.299 ind/m². Por su parte, en verano de 2023, el zoobentos presentó una riqueza de 2 a 6 *taxa*, ocurriendo el máximo en la estación TB-2 y el mínimo en TB-1. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Limnocytheridae, anfípodos *Hyalella* sp. e insectos de las familias Elmidae (Coleoptera), Coenagrionidae (Odonata) y los dípteros Ceratopogonidae y Dolichopodidae. Los organismos con las mayores abundancias y dominantes fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, alcanzando altas densidades en las tres estaciones, con un máximo de 132.521 ind/m² en TB-1. Los ostrácodos Limnocytheridae también se encontraron en altas abundancias en las tres estaciones, alcanzando un máximo de 16.760 ind/m² en TB-1. Históricamente en este sector se registraron bajas riquezas de *taxa*, 0 a 5 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. La mayor abundancia total ocurrió en TB-1 en verano 2021 (386.500 ind/m²), en TB-3 durante esa misma campaña (277.875 ind/m²) y en TB-3 en verano 2022 (116.875 ind/m²). En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Tilopozo durante el PMB, se observó que en TB-1 y TB-3 dominaron ampliamente los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano. Las altas abundancias registradas en verano 2021, 2022 y 2023 en estas estaciones, corresponden casi exclusivamente a *Heleobia atacamensis*. En la estación TB-2 (que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad) dominaron los dípteros. Esta

estación se encontró sin agua superficial en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021.

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 la literatura para el sector de Tilopozo en específico (Collado *et al.*, 2011), y registrado históricamente durante el monitoreo PMB. Su ciclo de vida es completamente acuático al respirar por branquias (Philippi, 1860) y no se conocen datos sobre tendencias poblacionales, salvo que no se registran antecedentes en otros sistemas hidrológicos del norte de Chile (Biese, 1947). Como se mencionó, su presencia ha sido descrita en el sector de Tilopozo, el cual es alimentado superficialmente por quebradas de orientación sur a norte. Los Sectores Tilopozo y La Punta – La Brava no presentan comunicación superficial, aunque no se descarta que pudiera existir una pendiente de escorrentía entre estos la cual permita el desplazamiento de *Heleobia atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.

Respecto de las plantas vasculares acuáticas, en los tres sectores evaluados en las campañas de invierno 2022 y verano 2023, 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* sp. 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 helófito *Patosia clandestina* sólo han sido reportadas en campañas de línea de base de invierno.

En invierno 2022 y verano 2023, los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza. Cabe destacar que, en esta ocasión Peine solo fue monitoreado en invierno 2022 en todas sus estaciones y en verano 2023 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 helófito 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* sp., *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*.

Caber 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. Cabe destacar que, 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 2022.

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 y verano de 2022, 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, Transformada *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 del índice *Kappa*⁸ se consideran adecuados, y para las campañas se tuvo valores de: 0,90 (PE) y 0,67 (LPLB) para imágenes de alta resolución y de 0,92 (PE) y 0,59 (LPLB) para imágenes de resolución media en agosto de 2022. Respecto de diciembre de 2022, este índice tuvo una variación entre 0,71 (PE) y 0,41 (LPLB) para imágenes de alta resolución y de 0,75 a 0,46 (PE y LPLB) para imágenes de media resolución. Todos los valores indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderada a casi perfecto*.

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución, en invierno de 2022 correspondieron a: (1) 45,1 ha en La Punta - La Brava, (2) 50,5 ha en Peine; y para verano de 2022 las superficies son: (1) 25,3 ha en La Punta - La Brava, (2) 24,2 ha en Peine.

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de media resolución, en invierno de 2022 correspondieron a: (1) 56,9 ha en La Punta - La Brava, (2) 62,8 ha en Peine; y para verano de 2022 las superficies son: (1) 26,9 ha en La Punta - La Brava, (2) 27,7 ha en Peine.

En relación con la evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria semestral (2016 – 2022)), se tiene que las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2022, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, en ambos sectores de estudio, tanto en las superficies de invierno como de verano. En 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. Las variaciones entre las superficies de inviernos y veranos son variables. En general, se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies en la condición de invierno, donde por ejemplo en Sistema La Punta – La Brava, las diferencias entre superficies de inviernos y veranos ha disminuido y se ven acortadas hasta la fecha actual.

En relación con la evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (series semestrales PSAH y PMB) y las superficies históricas serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria semestral (2016 – 2022)), las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2022, como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros

⁸ 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).

máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, en ambos sectores de estudio, tanto en las superficies de invierno y verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y 2016 - 2022.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales de media resolución en el marco del PMB/PSAH, 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 presenta combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la 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. En ese sentido, la validación en terreno implementada en el marco del PMB/PSAH ha sido fundamental, como por ejemplo, para mejorar la delimitación en el subsector Laguna Interna, proceso que no ha sido considerado en la metodología NDWI-Landsat histórica, pudiendo implicar en este caso una subestimación del área total en comparación con la metodología del PMB/PSAH.

En relación a la variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución, la variación de las superficies semestrales de alta resolución del PMB/PSAH para el sector La Punta – La Brava, y en relación con las superficies AR de la Adenda 5 (2015), se observa que las superficies se presentan en general sobre dichos registros, a excepción de los meses de diciembre de los años 2020, 2021 y 2022. Para el sector Peine, la comparativa muestra que las superficies semestrales de invierno 2021, verano 2021 y verano 2022, se presentan bajo el mínimo de la Adenda 5 (2015). Dentro de la comparativa anterior, es importante destacar que las superficies en AR (de la línea base) fueron en meses distintos a los comprometidos a reportar semestralmente en el PMB/PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual observada en los sectores en seguimiento.

En general, se observa una variación estacional en inviernos de mayor área de ocupación lagunar y en veranos con menor superficie lagunar, tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, en donde estas últimas han sido consideradas para evaluar tendencias.

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 2022 a marzo 2023**.

La metodología continúa siendo la misma de los últimos 5 años: 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 del mismo. 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.

Durante el periodo abril 2022 a marzo 2023, para algunos de los pozos evaluados, hubo una mayor frecuencia en la medición, la que pasó de ser mensual a quincenal, en los meses de: abril 2022, junio 2022 y julio 2022; y para el año 2023, en marzo 2023. En el caso de los monitoreos quincenales de abril de 2022, estos se debieron al aumento de frecuencia en el monitoreo producto de la activación del PAT del Sector Alerta Acuífero en enero de 2022 y los monitoreos quincenales de marzo de 2023, se debieron al aumento en la frecuencia de medición por activación del PAT del mismo sector, pero en enero de 2023. En ambos casos, fue informado a la Autoridad mediante las cartas **ALB-GMA-2022-SMA-010** y **ALB-GMA-2023-SMA-007** respectivamente, las que se presentan en el Anexo **Cartas y Prohibiciones**. del presente Informe. En el caso de los meses de junio y julio de 2022, la mayor frecuencia de medición estuvo asociada al inicio de la toma de registros por parte de la ETFA SGS, como período de marcha blanca, ya que desde agosto 2022 la ETFA sería la encargada del monitoreo. Para el mes de febrero 2023, si bien correspondía hacer medición quincenal como una de las medidas de activación de PAT, no se logró acceso con la comunidad, lo que se encuentra respaldado en carta **ALB-GMA-2023-SMA-015**.

En relación a lo anterior, es importante destacar que, en el caso del monitoreo del Sistema Peine (pozos BA-21 y BA-22), no fue posible medir entre octubre de 2022 y marzo de 2023 (ambas fechas inclusive), debido a que la Comunidad de Peine cerró el ingreso⁹ a las Lagunas, dada la época de reproducción de flamencos. Esto se encuentra respaldado mediante un correo electrónico enviado por el Encargado de la Unidad de Control Ambiental Peine, fechado el 13 de octubre de 2022 (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

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 – 2023). Si bien en los tres pozos se observó un grado de recuperación del nivel freático en el último año (en el caso del pozo BA-07, solamente durante el período de verano), lo que implica que todos los datos del período abril 2022 – marzo 2023 están dentro del rango de variación de los registros previos, la magnitud y forma en que se manifestó dicha recuperación fue diferente entre los distintos pozos.

El pozo BA-05 presenta una leve recuperación del nivel freático en el período abril 2022 – marzo 2023, en relación al año anterior, manifestado en niveles similares en el período de

⁹ Verificadores no autorización de ingreso a lagunas de Peine.

invierno y en un aumento leve del nivel durante el período estival. En particular, el nivel mínimo registrado en el verano de 2023 fue superior en 2 cm al registro mínimo del verano del año 2022. No obstante, los valores mínimos del último año se encuentran en general por debajo de los mínimos de los años precedentes.

El pozo BA-07 presenta una tendencia al descenso de sus niveles desde el año 2013, cuya tasa se incrementó luego de la recuperación del nivel freático asociado a las lluvias de enero y febrero de 2019. En relación al período abril 2022 – marzo 2023, se verificó que los registros de invierno mantuvieron la tendencia al descenso de los años previos. Sin embargo, para el período de verano el nivel freático fue similar al del año anterior, presentando durante 2023 un valor mínimo levemente superior al mínimo medido en el verano de 2022. Lo anterior, produjo una disminución de la amplitud de la variación estacional del nivel freático en el pozo.

En el caso del pozo BA-16, si bien presenta una tendencia al descenso considerando todo el período con registros (2013-2023), se observa una cierta recuperación en el último año, principalmente durante el período de verano (con valores mínimos mayores al verano previo). En efecto, el nivel mínimo registrado en el período abril 2022 – marzo 2023, fue superior al nivel mínimo anual medido desde el año 2019 en adelante.

Para el **Sistema Peine**, no se cuenta con información para todo el período de evaluación, debido a que entre octubre de 2022 y marzo de 2023 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, 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 septiembre de 2022. Cabe destacar que todos los datos medidos entre abril de 2022 y marzo de 2023 se encuentran dentro del rango de variación de los registros previos, aunque en el caso del pozo BA-21, el valor mínimo del período es inferior al registro mínimo del período previo al inicio del Proyecto.

A diferencia de los restantes pozos incluidos en el monitoreo comprometido en el PMB, el nivel freático del pozo BA-21 está dominado por el efecto de los eventos de precipitación de alta intensidad, como los registrados en los años 2015, 2017, 2019 y 2020, en los que se verificó un incremento abrupto del nivel en el pozo, alcanzando un nivel máximo. Una vez obtenido este valor máximo, el nivel se profundiza a una tasa relativamente constante, mostrando una baja o nula estacionalidad, dando cuenta de una dinámica similar a la de los pozos de Albemarle ubicados en el Núcleo del Salar de Atacama. Esta dinámica estaría relacionada con la ubicación del pozo, en el Sector intermedio entre las lagunas Salada y Saladita.

Durante el período abril 2022 – marzo 2023 se produjeron eventos de precipitación en febrero y marzo de 2023, cuyo efecto en el nivel del pozo BA-21 se puede apreciar en datos medidos en abril de 2023, pero que no fueron registrados de forma inmediatamente

posterior a la precipitación. Al respecto, se destaca que el nivel en abril de 2023 fue superior en 12 cm al de abril de 2022. Si bien se observa una tendencia al descenso en el nivel del pozo desde el año 2019, los registros del período abril 2022 – marzo 2023 podrían haber sido superiores a los del año anterior, de contarse con los datos post-precipitación del verano de 2023.

El pozo BA-22, al igual que los pozos del Sector La Punta – La Brava, presenta una dinámica estacional. De este modo, la ausencia de información del período estival desde el año 2021, no permite evaluar la variación del nivel freático en la época de registros mínimos anuales. Los datos del período abril 2022 – marzo 2023 (con información hasta septiembre de 2022) fueron similares a los registrados al menos desde el año 2018, si no se consideran las mediciones inmediatamente posteriores a los eventos de precipitación.

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, considerados como referencia, están influenciados y podrían ser representativos de estas condiciones particulares.

2 INTRODUCCION

El presente informe corresponde al Séptimo 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 del proyecto.

Albemarle inició sus campañas del PMB en agosto de 2016, en etapa de Construcción, previo al inicio de operaciones¹⁰. 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°7, 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):

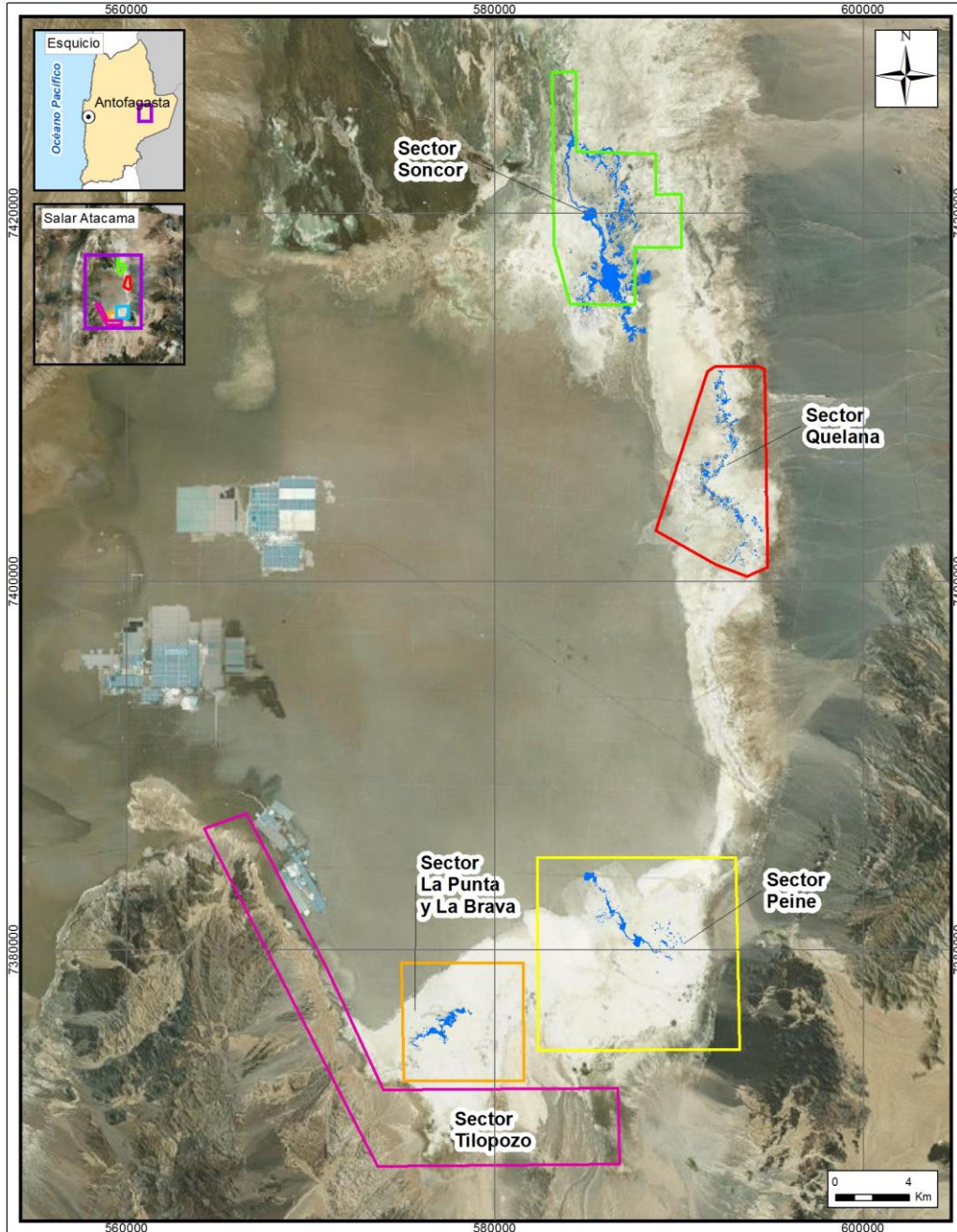
- 4) Sistema Soncor (*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
- 5) Quelana (*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

(*) 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

¹⁰ 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 Areas de Estudio del Plan de Manejo Biótico



Fuente: Elaboración Propia

El presente Informe Anual N°7 da cuenta de las campañas de invierno 2022 y verano 2022-2023, las cuales se desarrollaron respectivamente durante el mes de agosto del 2022 (campaña invierno – M13); en el mes de diciembre del 2022 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-abril del 2023 (campaña verano – M14). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2022 a marzo 2023.

La campaña correspondiente a invierno 2022 (Monitoreo M13), se desarrolló entre los días 09 al 30 de agosto de 2022, constituyendo la decimotercera campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto. La campaña semestral de monitoreo de componentes bióticas fue realizada en tres fases como medida para evitar recargar las áreas sensibles en el salar, evitando aglomeraciones de equipos de trabajo en terreno. Por una parte, la primera fase corresponde a la campaña de invierno 2022 del componente **Área de Lagunas**, cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días 9 y 10 de agosto de 2022. Por otra parte, la segunda fase considerando los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, se desarrolló en terreno entre el **15 al 21 de agosto de 2022**, y la tercera fase que consideró los componentes **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas) y suelos o sustrato**, fue llevada a cabo entre los días **21 y 30 de agosto de 2022**. En cuanto a niveles freáticos en la zona de lagunas, se reportan las mediciones desde **abril a septiembre 2022**.

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.

Por su parte la campaña semestral Verano de monitoreo de componentes bióticas 2022-2023¹¹, (Monitoreo M14), considera su desarrollo entre los días 12 diciembre de 2022 al 19 de abril de 2023, constituyendo la decimocuarta campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto.

La campaña semestral de Verano fue realizada igualmente en tres fases. 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 2022**. La segunda fase, corresponde a la campaña de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres, biota acuática (limnología,**

¹¹ Cabe complementar para los monitoreos de verano, 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, si bien 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, en todos los análisis gráficos se deja estipulada de igual manera la campaña M8, de manera de no perder de vista la ausencia de datos donde corresponda.

tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento) y suelos o sustrato, la que se desarrolló en terreno entre el **12 y 18 de marzo de 2023**, en estacionalidad de verano. Por otra parte, la tercera fase considera los componentes **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas) y suelos o sustrato**, fue llevada a cabo entre los días **09 y 19 de abril de 2023**, correspondiente a 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 2022 a marzo 2023.

Por su parte para el caso de este último componente **Nivel Freático en Lagunas**, se presentan registros de mayor frecuencia de medición para el mes de abril 2022 y marzo 2023, debido a la activación del Plan de Alerta Temprana (PATH) Sector Alerta Acuífero (**Ver en Anexo Cartas y Prohibiciones, Carta ALB-GMA-2022-SMA-010 y ALB-GMA-2023-SMA-007 Activación PATH**). Esto se enmarca en lo comprometido para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH¹²).

Cabe destacar, que desde el año 2021 a la fecha, (es decir sin datos de verano 2021, 2022 y 2023) la campaña de verano **en el sector de lagunas de Peine** (Salada, Saladita e Interna), se encuentra incompleta 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.

Respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, como fue mencionado previamente, 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 y Prohibiciones**). Por esta razón, para esta campaña Verano 2023, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

¹² El PATH (Plan de Alerta Temprana Hídrico), tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieran llegar a afectar los sistemas objeto de protección (cuerpos lagunares) y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. Existen 3 sectores de alerta PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente si lo hace SQM.

Igualmente, en la campaña de verano (diciembre 2022) del componente **Superficie Área de Lagunas**, sólo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en el sector de la Laguna Interna. Se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso completo al sector Peine (lagunas Salada y Saladita), reduciendo las posibilidades de validación en este sector principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose como ya se indicó previamente realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA sólo en un sector de Laguna Interna (por fuera del área delimitada), dado que no presentaba restricciones de acceso. Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine: Salada y Saladita) **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

Por el mismo motivo, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a partir de octubre de 2022 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta marzo 2023. Esto implica que se cuenta con menos datos durante este semestre para el análisis de niveles en esos barrenos **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

El Plan de Manejo Biótico (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° 2-1** presenta resumidamente todos los componentes y subcomponentes de las variables comprometidas, así como frecuencia y estaciones a monitorear en cada campaña, de acuerdo a los 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° 2-1. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo al 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 voluntarias	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	68**	-	68**
	Fauna Terrestre	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia	16	9	25

Componente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Número Estaciones PMB	Estaciones voluntarias	Número de Estaciones Totales
	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 previo, en 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 planificados en la campaña invierno 2022 y verano 2023. El número efectivo de puntos de monitoreo para validación COT corresponde al total de 59 puntos de monitoreo COT previamente definidos en campañas anteriores; Estos puntos COT corresponden a 30 puntos realizados en la posición de las transectas azonales, más 38 puntos de monitoreo de vegetación, previamente definidos en campañas anteriores para actualizar la cartografía de vegetación. Cabe señalar, que para invierno 2022 en cuatro transectas del sector Soncor y Quelana (T14, T15, T16 y T17) y en cuatro puntos de vegetación en el sector de Soncor y Quelana (RPV015, CAC032, CAC034 y CAC036) no fue posible realizar la validación del monitoreo COT por ausencia de autorización de la Administración CONAF para el ingreso al área de la Reserva Nacional Los Flamencos.

***: 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.

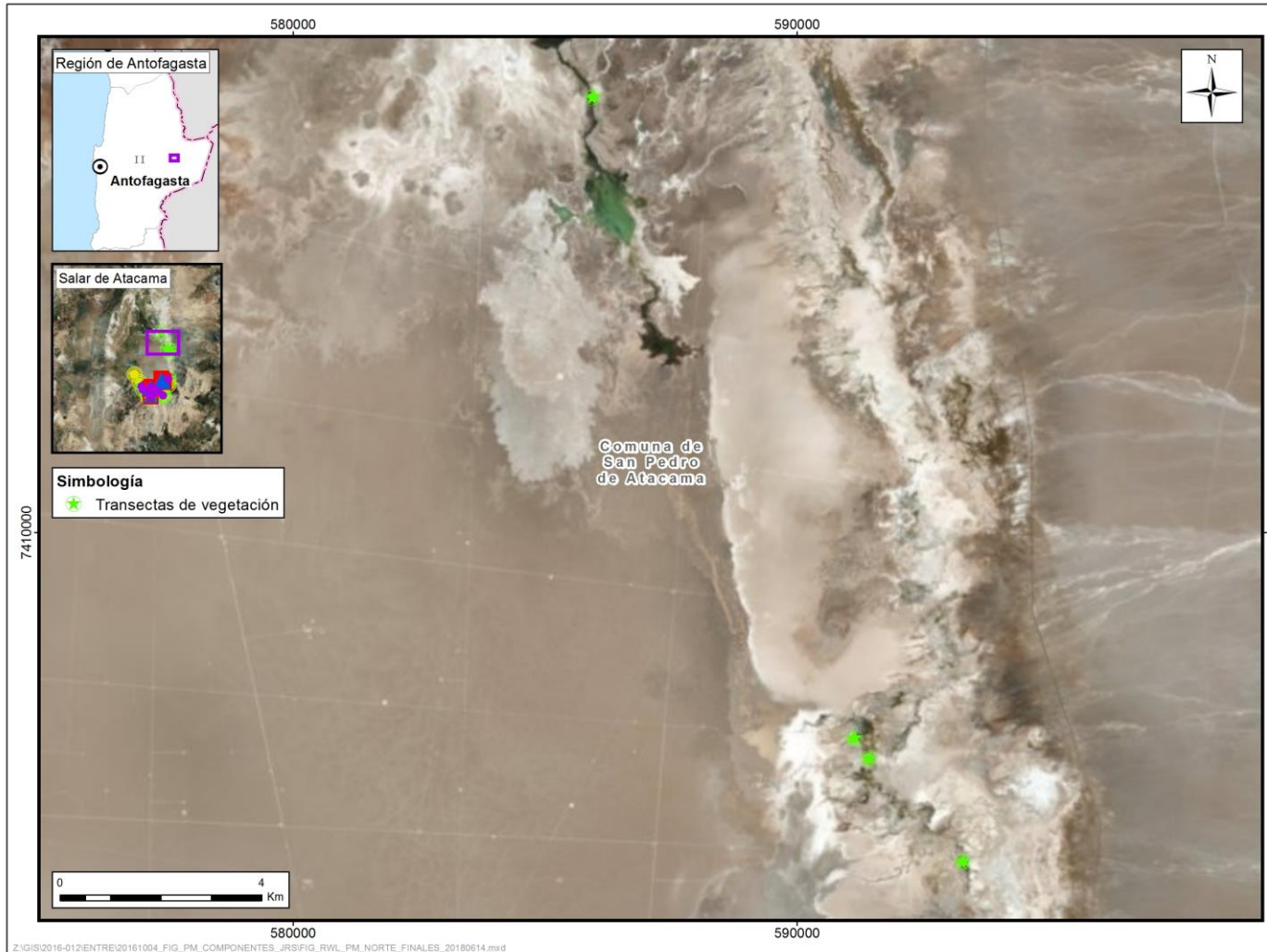
El estado ecológico, de acuerdo a lo establecido en el PMB, se evalúa en términos de tres variables de estado: (1) nivel freático, (2) vegetación azonal¹³, y (3) superficie de las lagunas, las cuales se analizan en el **capítulo 13.8** de este informe.

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° 2-1**, 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.

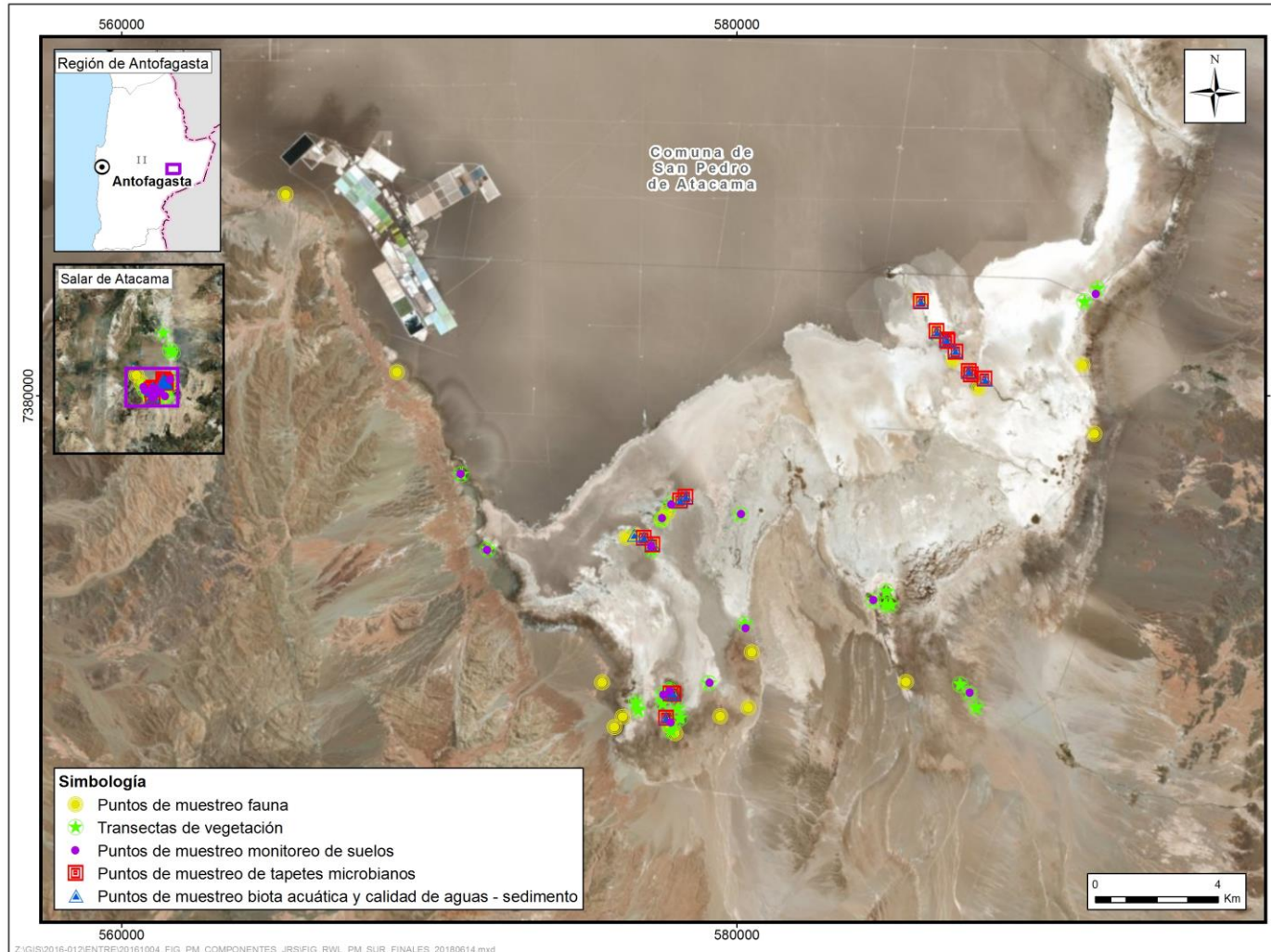
¹³ La definición de puntos de transectas de vegetación azonal, para la subcomponente de flora terrestre, se realiza en levantamiento previo realizado en terreno en el mes de julio de 2016, denominado en adelante "Monitoreo Base 0 – MBO" (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la 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. Area 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. Area 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° 2-2** se identifican los responsables y ejecutores de las mediciones, muestreo y/o análisis realizados en las campañas de invierno 2022 y verano 2022-2023 reportadas en el presente informe consolidado anual, de acuerdo a 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° 2-2. 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 / AquaExpert
Tapetes microbianos	Caracterización de tapetes	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Limnológica Estudios Ambientales EIRL
Sustrato	Físicas y químicas	SGS Chile Ltda (ETFA) / Cedrem Consultores	SGS Chile Ltda (ETFA) / Cedrem Consultores	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.)

Subcomponente	Variable	Medición	Muestreo	Análisis
Lagunas	Nivel de agua	SGS Chile Ltda.	No aplica	No aplica
	Superficie	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 2-3** se transcriben los Considerandos de la RCA que dan origen al presente Informe Anual.

Tabla N° 2-3. 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.

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
		<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>
	<p>7.- FÍSICO Parámetros fisicoquímicos del agua (pág. 58, 59)</p>	<p>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.</p>
	<p>7.- FÍSICO parámetros fisicoquímicos del sedimento (pág. 59)</p>	<p>Sedimento 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.</p>
	<p>7.- BIÓTICO, Biota acuática (pág. 59)</p>	<p>Estructura comunitaria de macrófitas en 12 puntos. Con procedimiento de medición de muestras cualitativas. 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. 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. 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>
	<p>7.- Componentes Especiales (pág. 60)</p>	<p>Tapetes microbianos en 10 puntos, con procedimiento de medición de Puntos de descripción de la estratificación. Microbialitos en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual. Evaporitas en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual. 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>
<p>Adenda 5, Anexo 2</p>	<p>4.2.4. Niveles Freáticos 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>

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
		<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)

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°7 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 2022 y a la estación de verano 2022-2023, 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 y los resultados, 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 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 (2020 – 2023) 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.

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 Brava¹⁴, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana¹⁵ (**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 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

¹⁴ 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*.

¹⁵ 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.

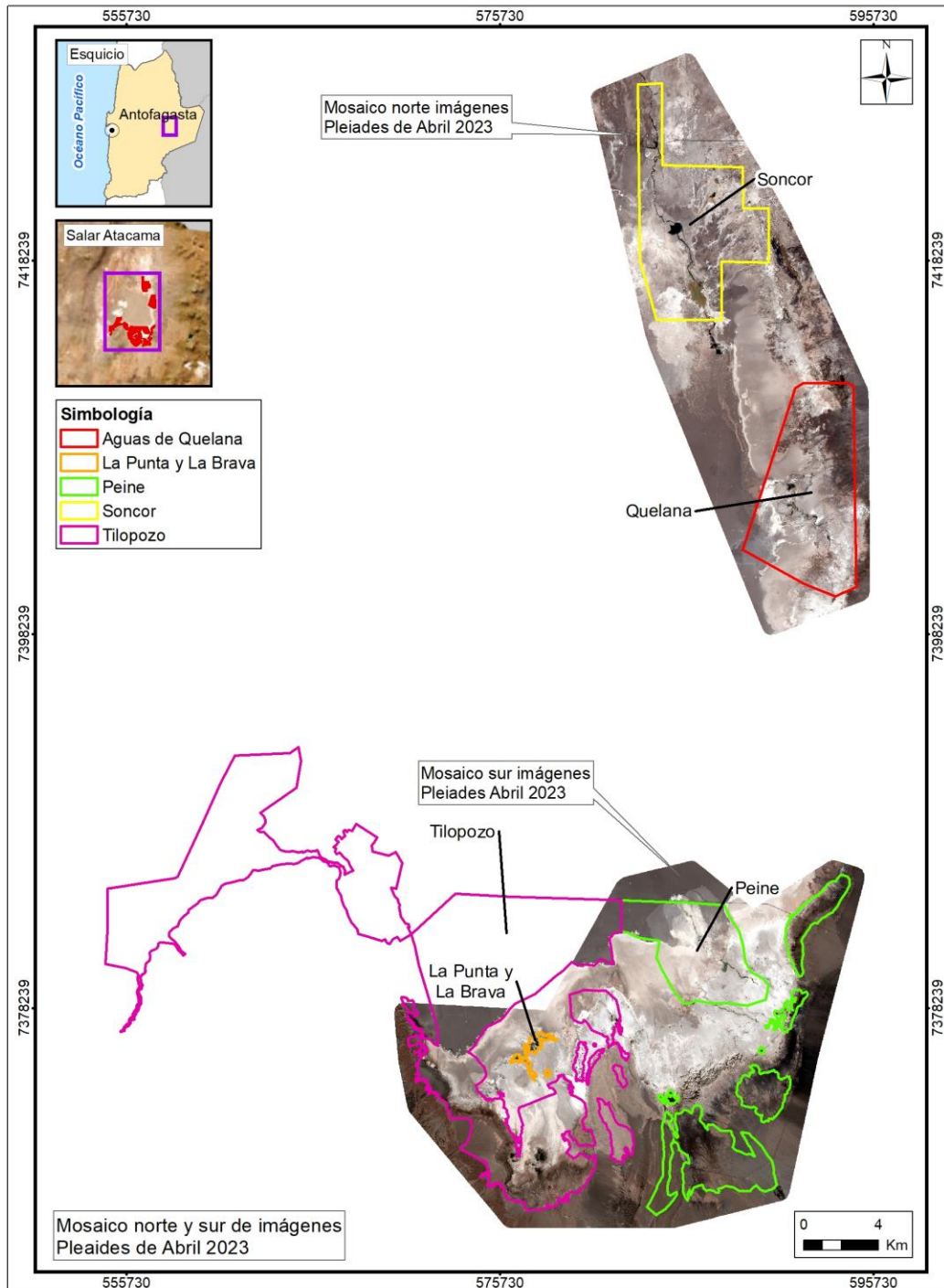
y Vegetación del Proyecto RWL”; y en la cual se determinaron las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales del Plan de Seguimiento Biótico del Proyecto (PMB).

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 2022¹⁶ 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.

¹⁶ 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
Aguas de Quelana	QE001*	T15	593317	7403472
	QE002*	T16	591112	7405899
	QE003*	T17	591450	7405511
	QE005*	CAC032	594640	7401839
	QE006*	CAC034	594624	7402441
	QE008*	CAC036	594578	7403454
Soncor	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 suelo¹⁷ 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:
- 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.
 - 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.

¹⁷ 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		
VEGETACIÓN ZONAL	Formación matorral	Matorrales	Matorral	4.1
VEGETACIÓN AZONAL	Formación herbazal	Humedales	Vega	5.1
	Formación matorral	Matorral - humedal	Matorral hídrico	6.1
			Matorral hídrico - Vega	6.2
			Matorral - Vega	6.3
OTROS RECUBRIMIENTOS	Misceláneos	Áreas industriales	Centros industriales	1.1
			Suelos removidos	1.2
	Humedales	Cuerpos de agua	Lagunas, Lagos, Embalses	2.1
	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Salares	3.1
			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
RECUBRIMIENTOS DE SUELO	
<i>Áreas industriales</i> ¹	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> ¹	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> ¹	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> ^{4 y 7}	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
RECUBRIMIENTOS DE SUELO	
<i>Humedales</i> ⁶	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</i> ⁶	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.
TIPOS DE FORMACIONES	
<i>Matorral</i> ^{1, 2, 3 y 4}	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</i> ⁵	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</i> ⁶	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>	Especies dominantes	Altura Vegetal Mediana (Rango)*		Cobertura Vegetal Mediana (Rango)*	
		LB	H	LB	H
<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	7372583	2.309	SE
						T28f		
	VT2	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T29	T29i	577865	7370468	2.308	SO
						T29f		
	VT1	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T30	T30i	577602	7369977	2.309	NE
						T30f		
					T31	T31i	576807	7369755
				T31f	576807	7369807		

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

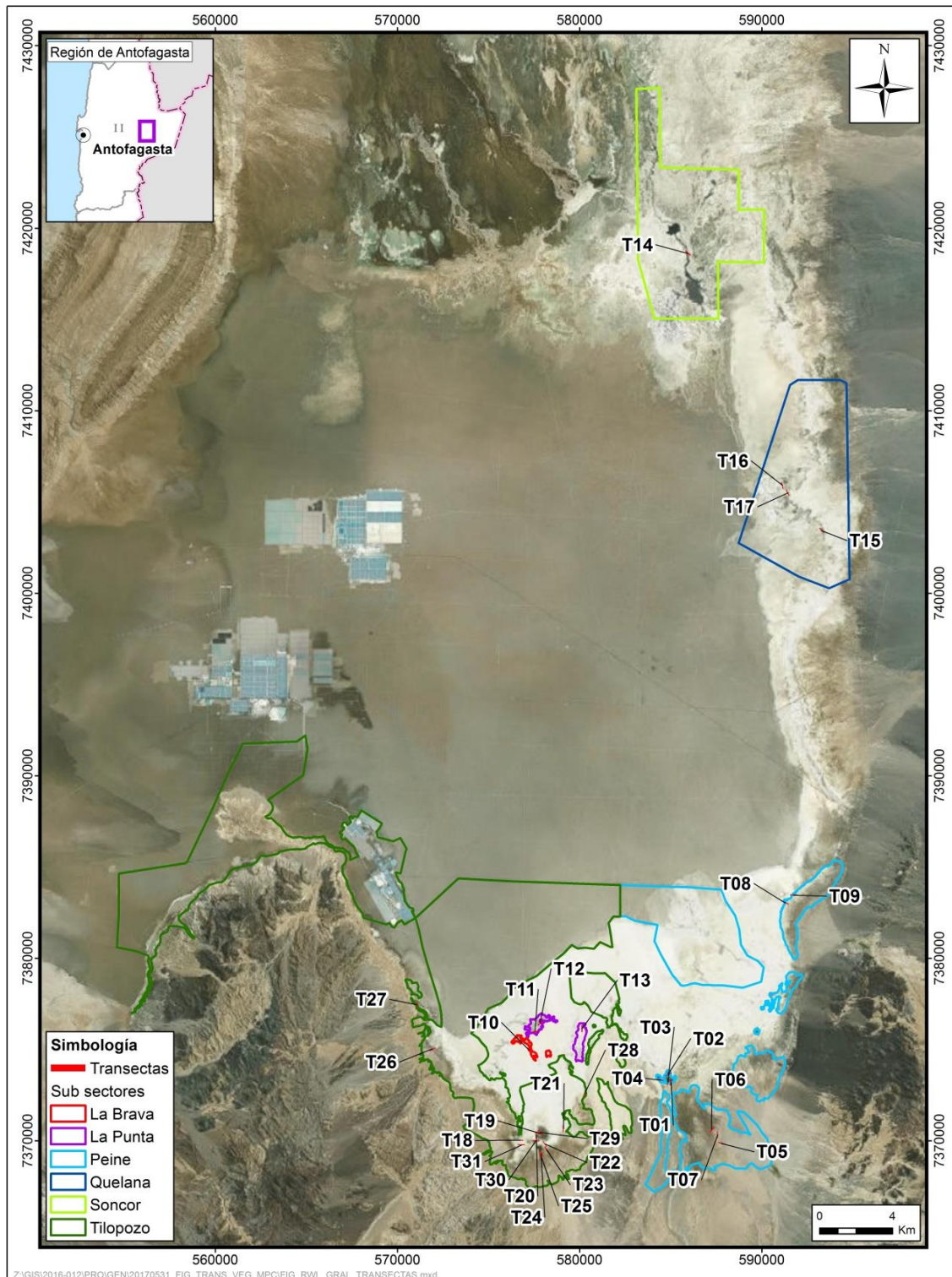
VTM1*: Cabe señalar que en Plan de Manejo Biótico (PMB 2015) esta transecta fue identificada para el sector Peine, la cual se muestra en el sector de Tilopozo para efectos del Seguimiento, por mayor cercanía a este sector, identificando la transecta T28 al sector Tilopozo;

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.

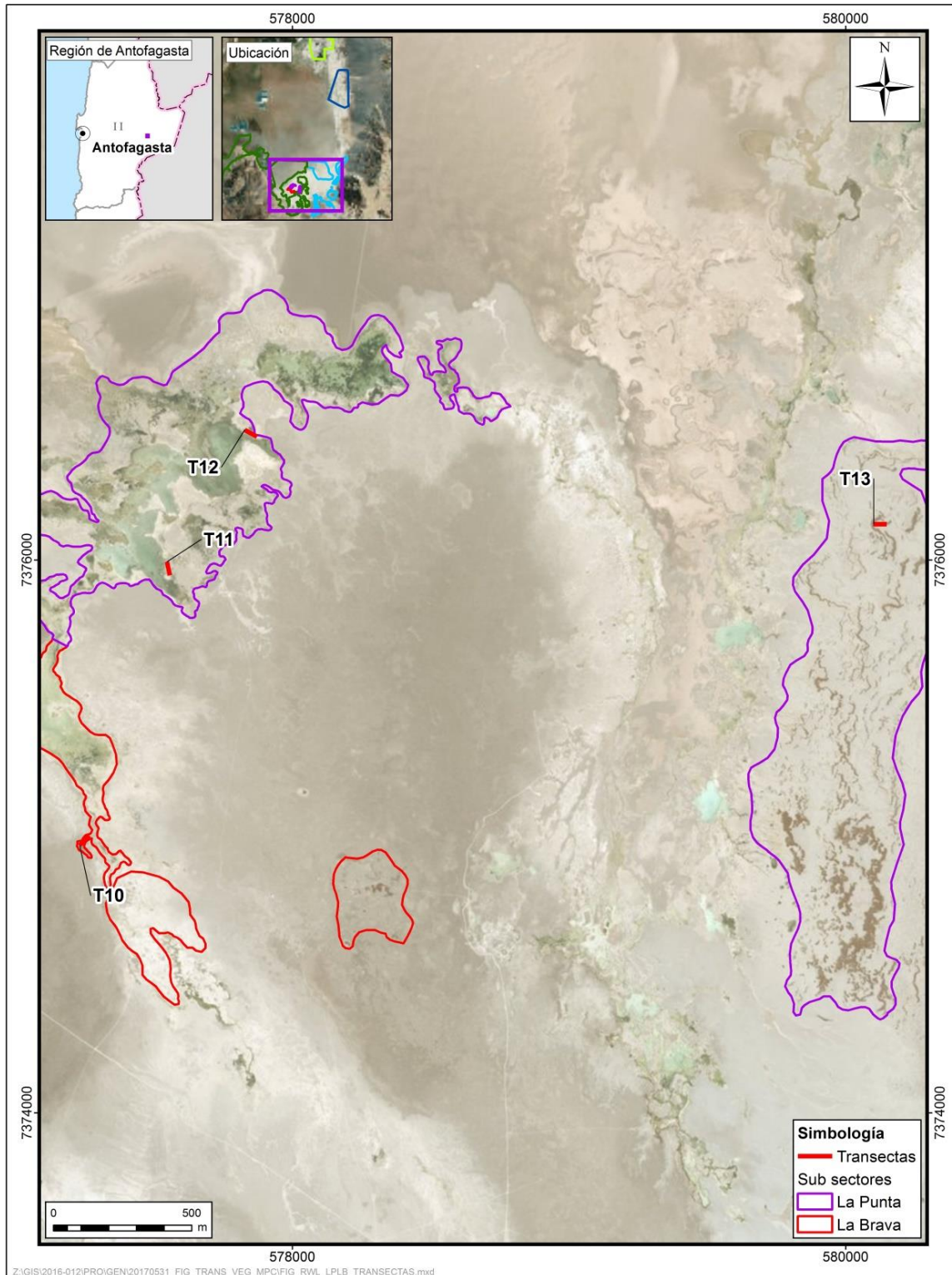
Fuente: Elaboración propia.

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



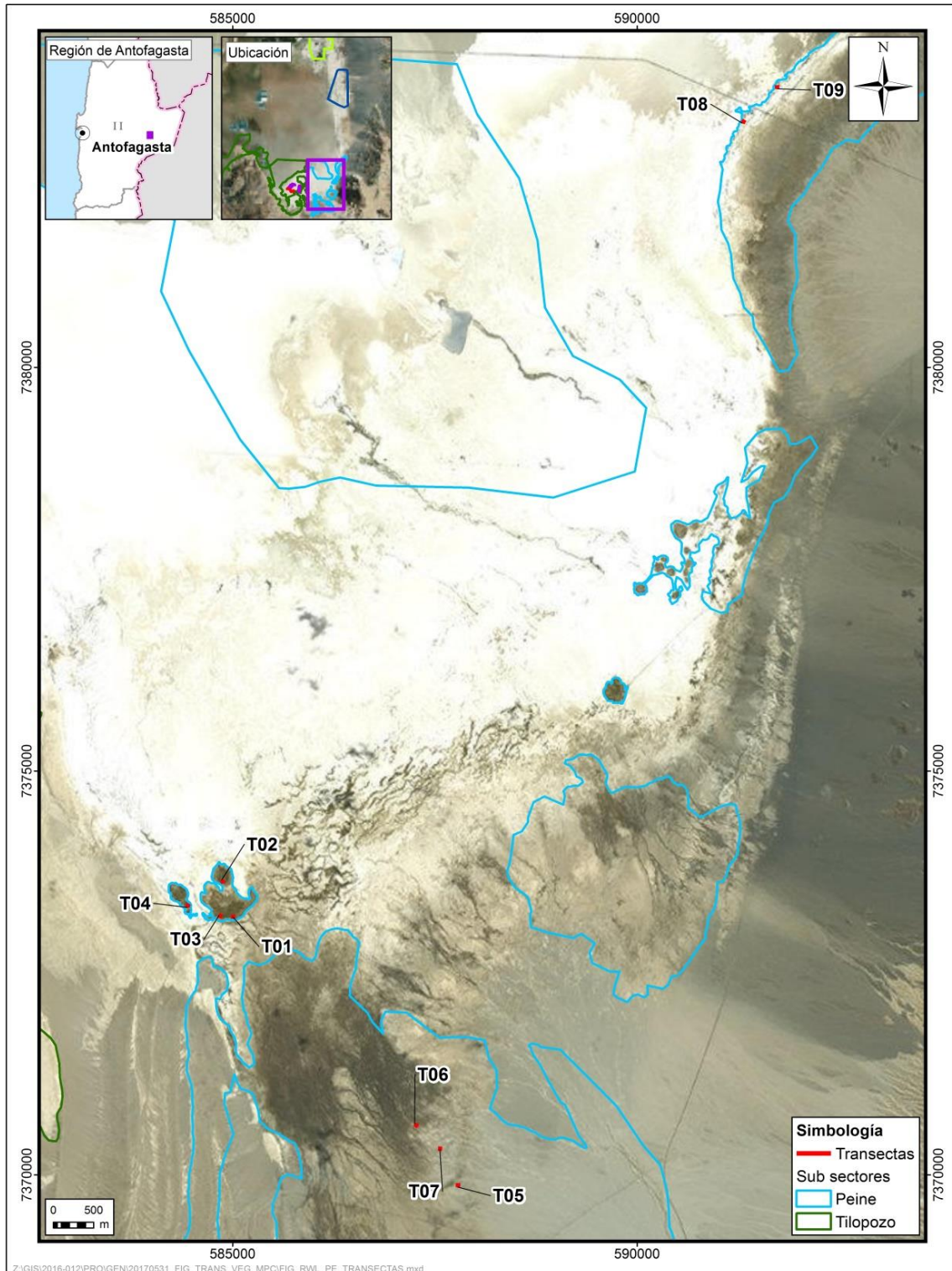
Fuente: Elaboración propia.

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



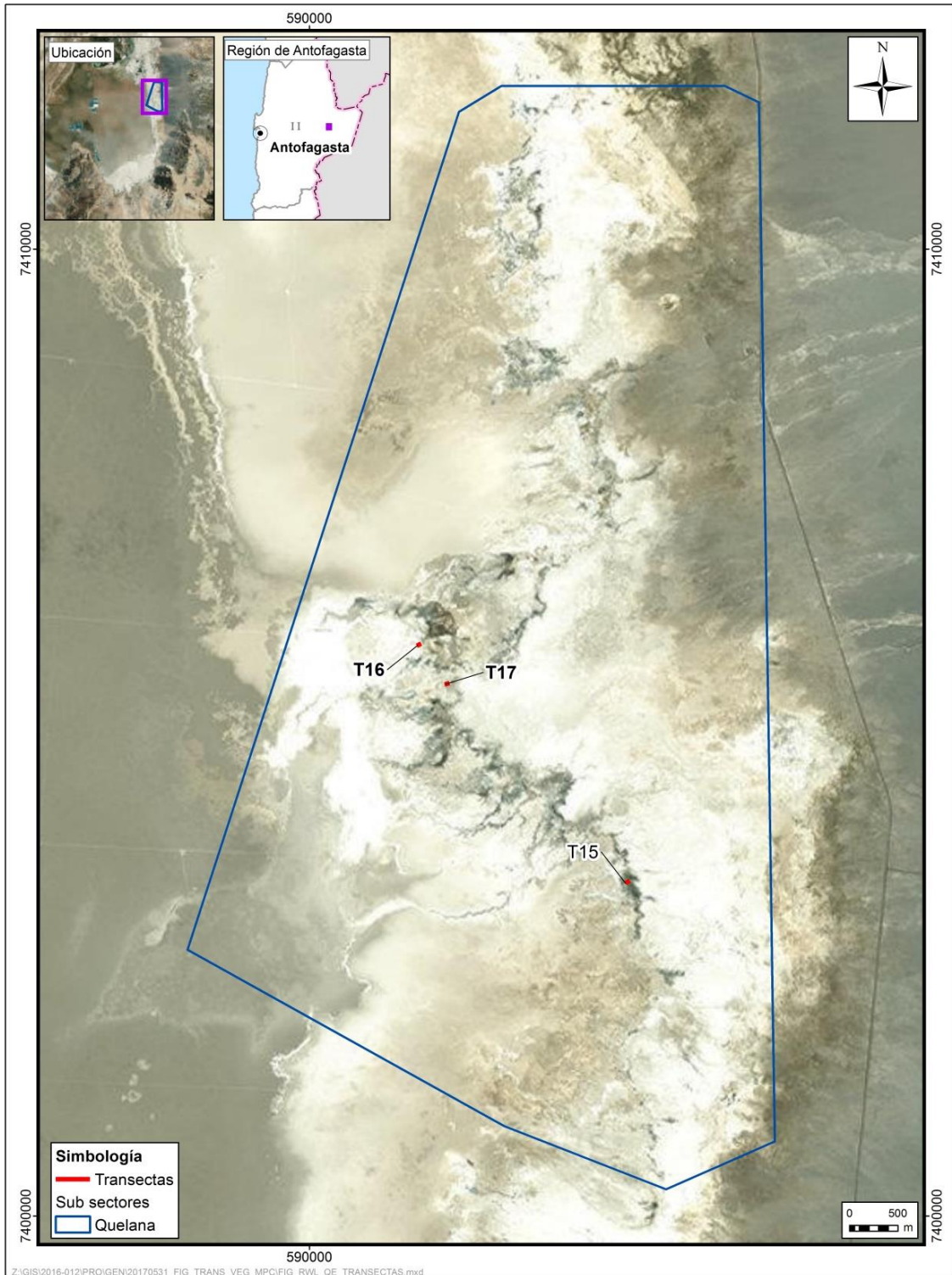
Fuente: Elaboración propia.

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



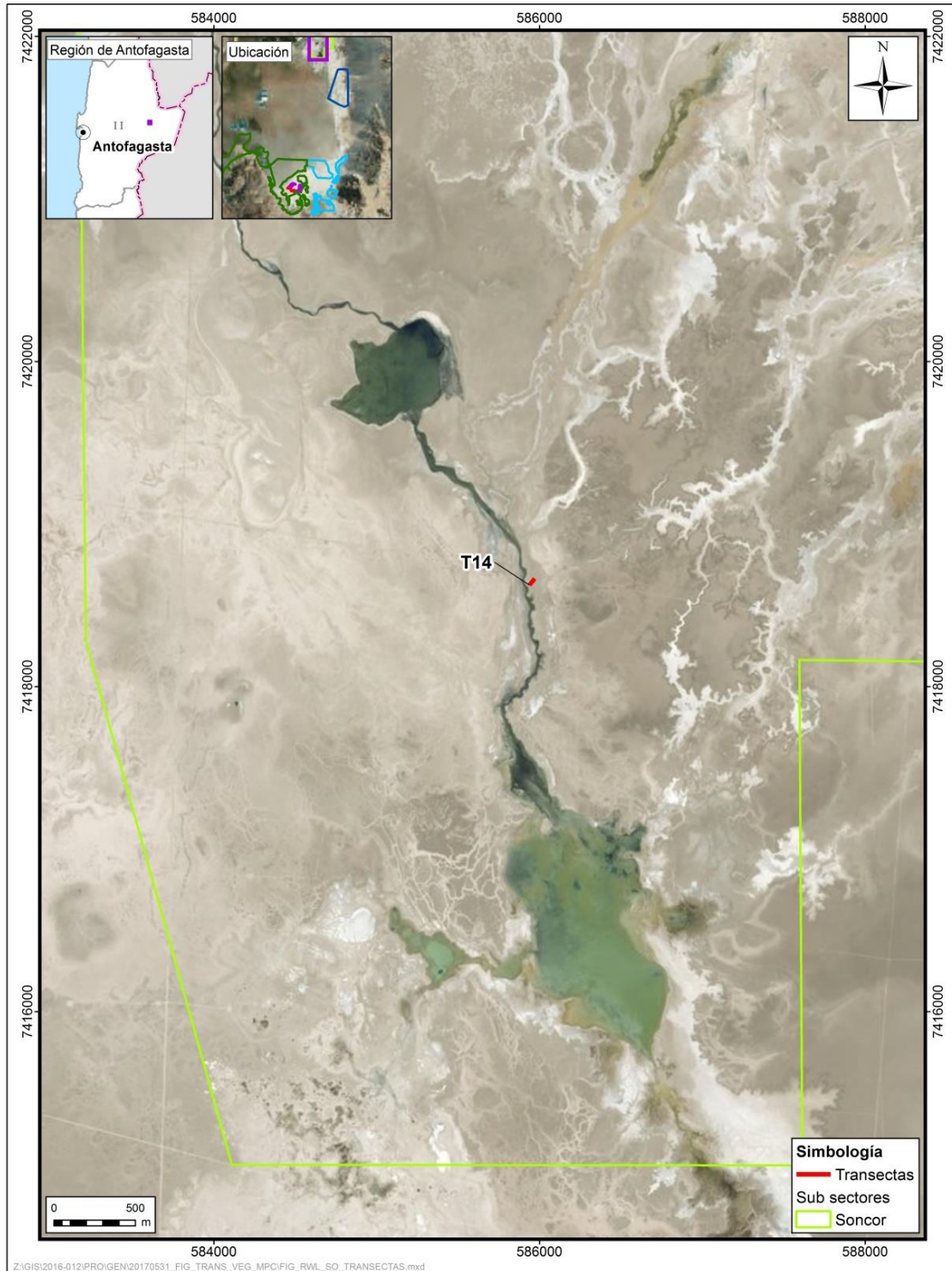
Fuente: Elaboración propia.

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



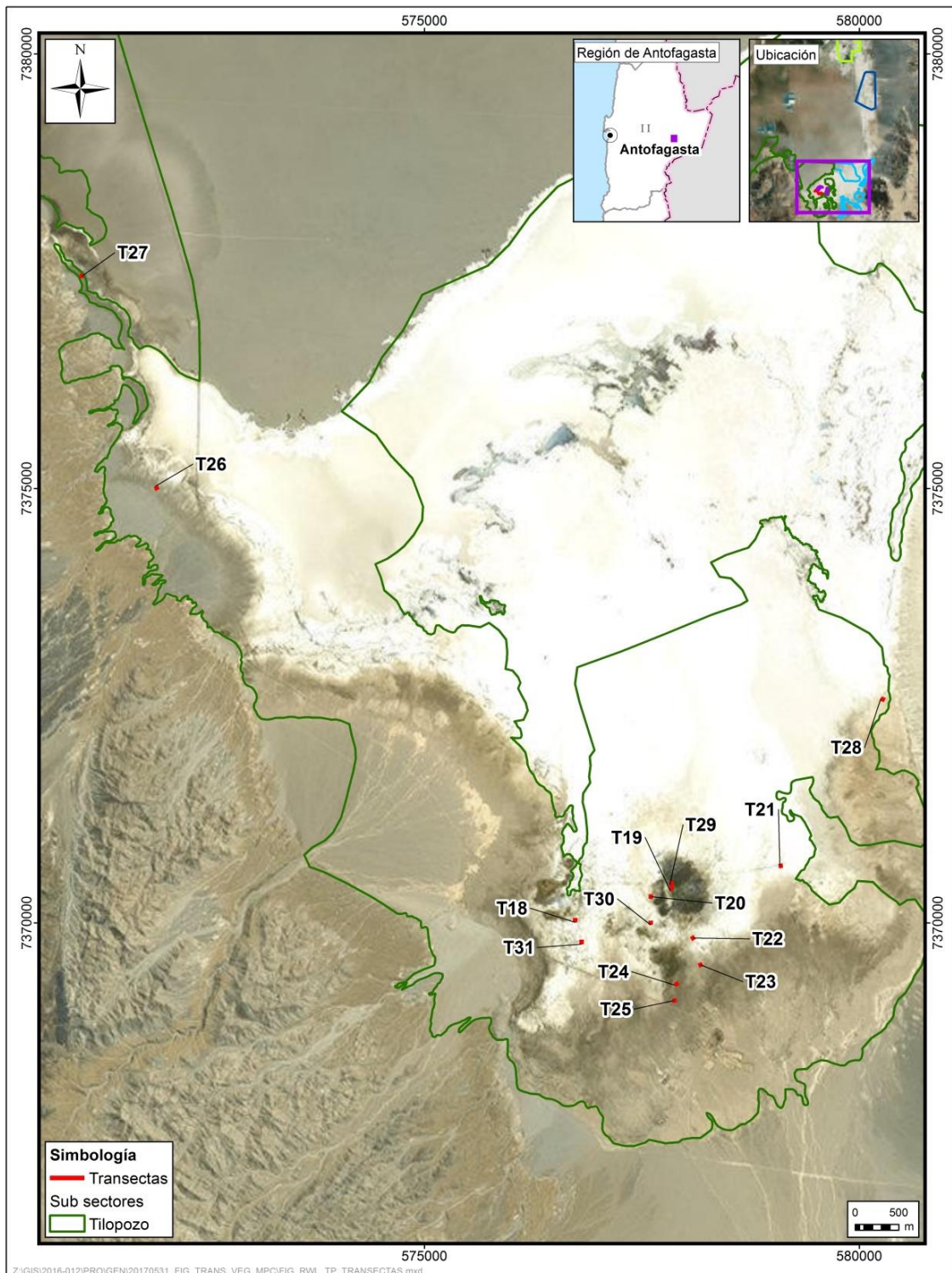
Fuente: Elaboración propia.

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 a 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	
	Total en subsector Tilopozo			14
	La Brava	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	1	
	Total en subsector La Brava			1*
	La Punta		Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	1
			Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	1*
			Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	1*
Total en subsector La Punta			3	
Peine	Peine	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	2	
		Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	4	
		Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	3	
	Total en subsector Peine			9
Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	3	
	Total en sector Aguas de Quelana			3*
Soncor	Soncor	Área desprovista de vegetación	1	
	Total en subsector Soncor			1*
Total			31	

* Transectas de control de la vegetación en sectores de lagunas, identificando su formación vegetal de acuerdo a 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 (rastrojo).

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.

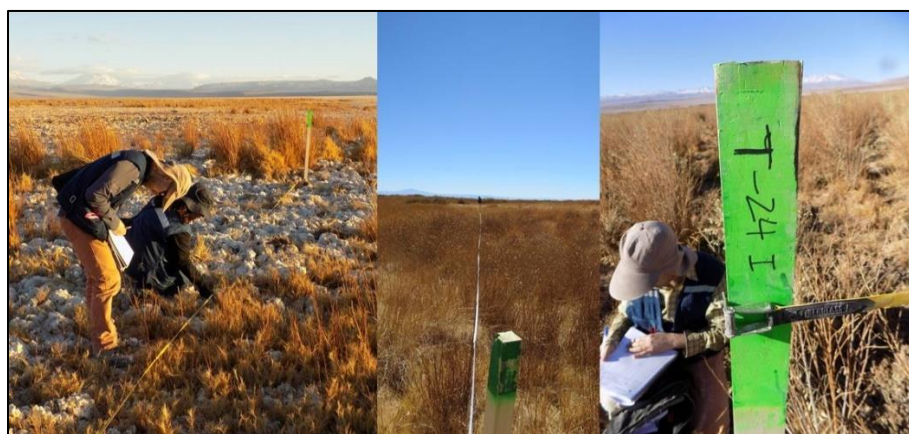
El método de intercepto de puntos en transectos, entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, para la misma cantidad de puntos muestreados (Blackman, 1935; Goodall, 1952; Greg- Smith, 1983). Por lo anterior, el método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat”, 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 a 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

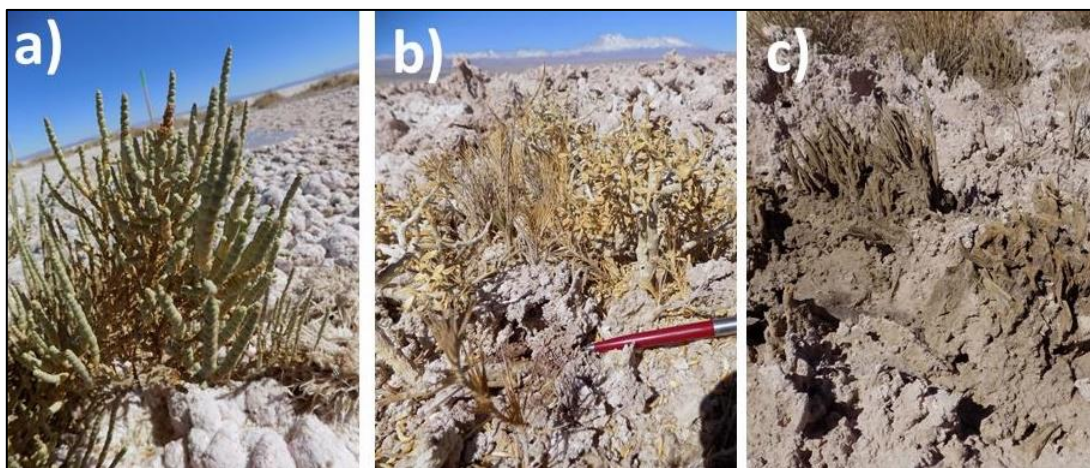
Para el levantamiento de la información, las transectas se marcan utilizando una huincha métrica (**Fotografía N° 6-1**). Seguidamente, se visita cada punto de muestreo y se proyecta una línea perpendicular al suelo, para registrar todos los taxa que se interceptan con esta vertical.

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.

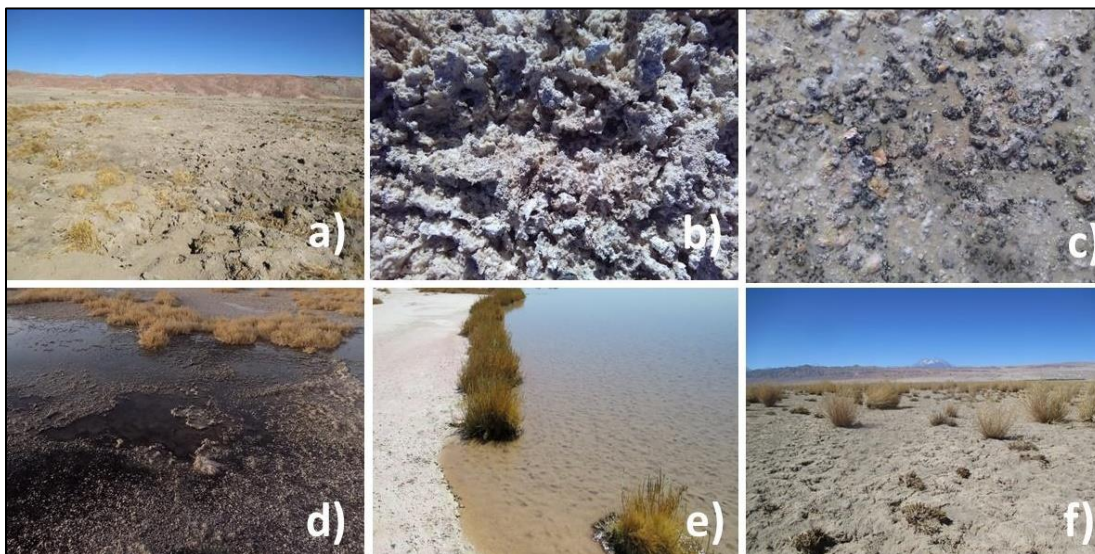
Fuente: Elaboración propia

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 coordenadas¹⁸ 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.

¹⁸ 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

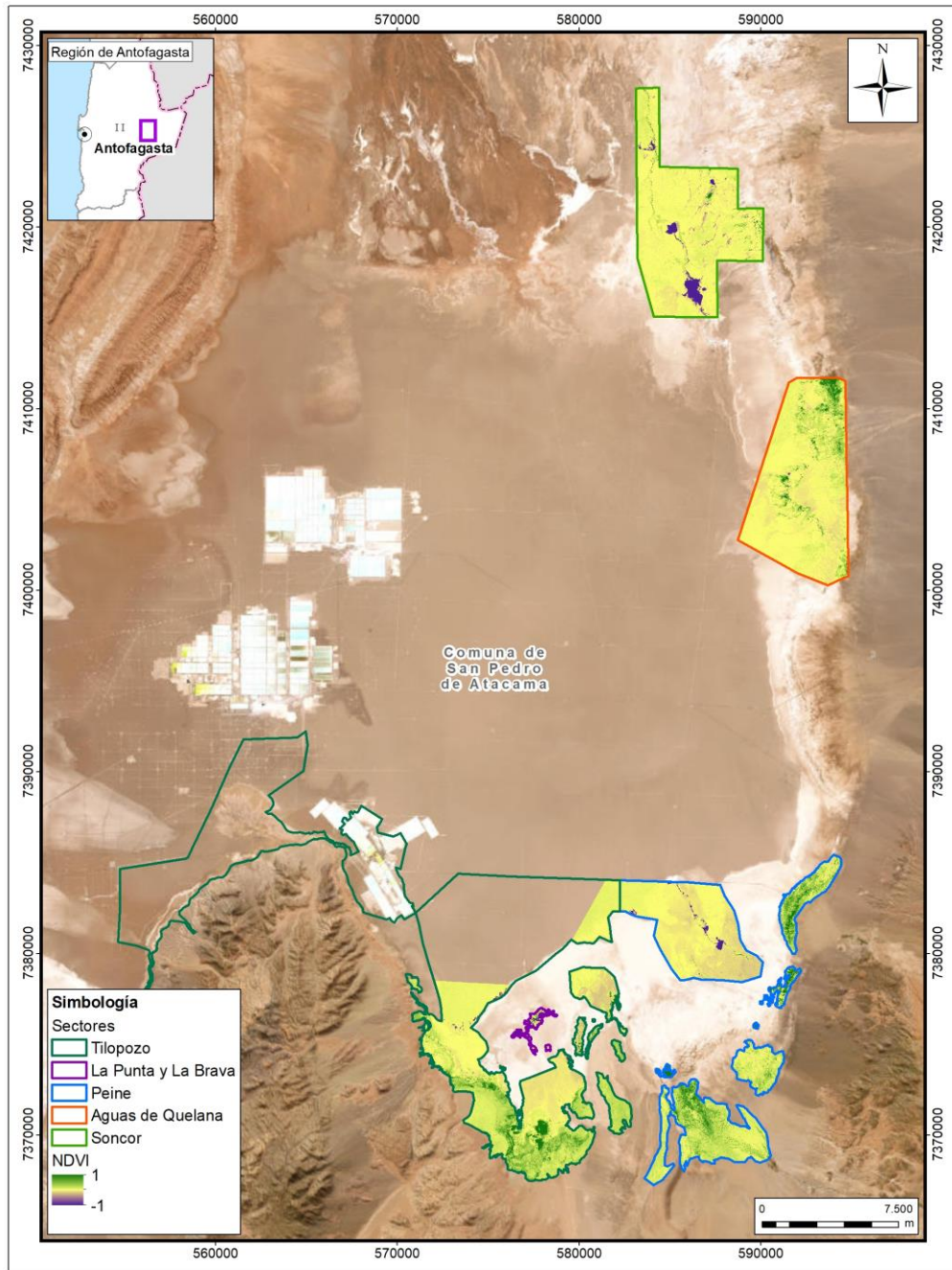
NDVI, dado que para este efecto la COT usada solo nos señala ubicación y superficie de una determinada formación vegetal.

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).

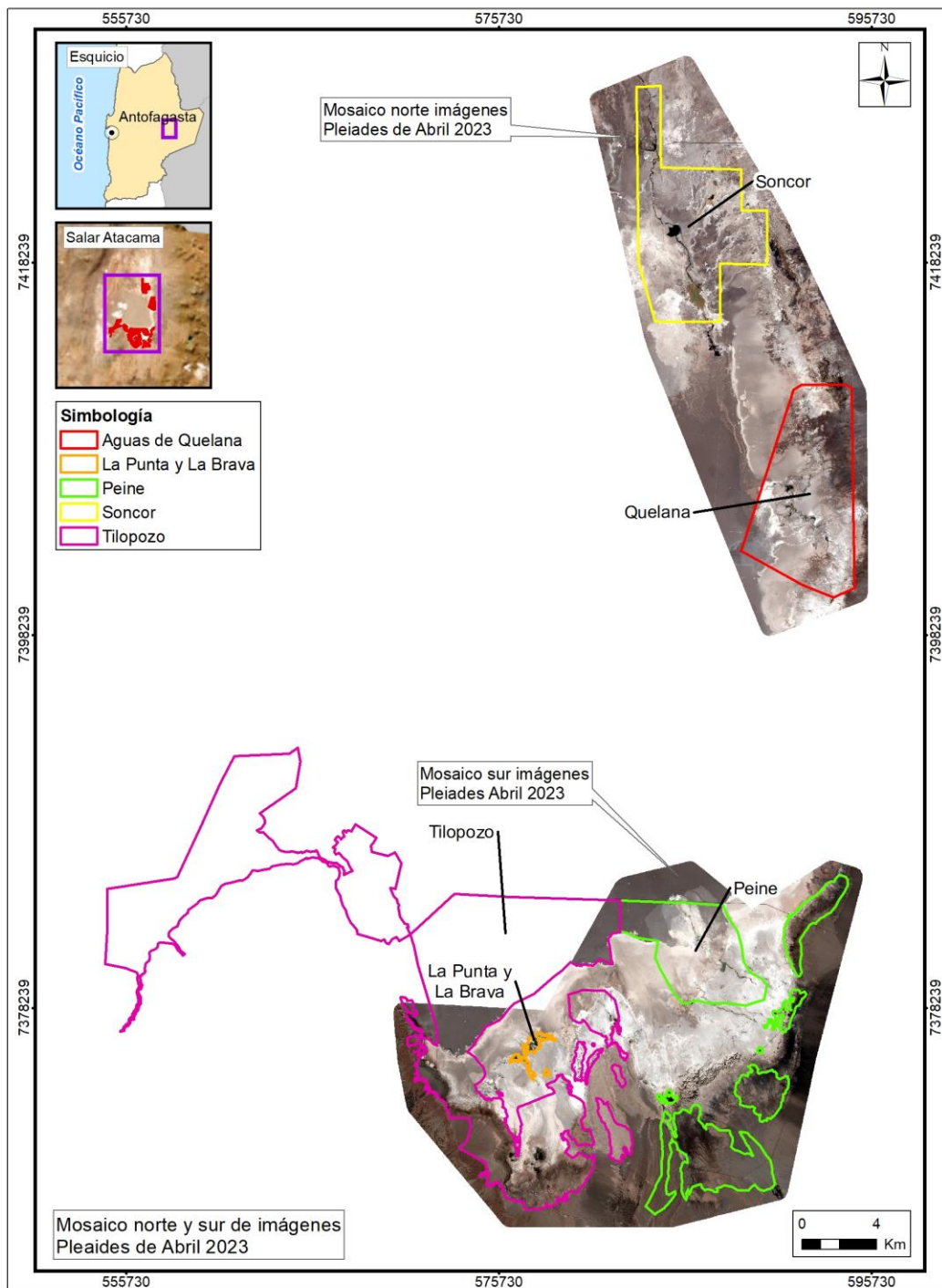
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales con resolución de 2 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 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 ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)¹⁹. 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

¹⁹ Dónde: W: Watts; m²: 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*”²⁰, 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

²⁰ 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 - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>		>0,114	>0,114	>0,11			
	Matorral - Humedal	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 a 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 a 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 al 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	%
OTROS RECUBRIMIENTOS	14.408,0	59,2	2.936,0	3.435,4	4.993,5	94	25.832,1	78,1
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	13.088,6	19,4	2.832,6	3.410,1	4.762,0	51	24.112,7	72,9
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
AREAS INDUSTRIALES	1.245,2					4	1.245,2	3,8
Centros industriales	1.198,1					1	1.198,1	3,6
Suelos removidos	47,1					3	47,1	0,1
CUERPOS DE AGUA	74,2	39,8	103,4	25,4	231,5	39	474,2	1,4
Lagunas	74,2	39,8	103,4	25,4	231,5	39	474,2	1,4
VEGETACIÓN ZONAL	583,0		2.181,0	114,8		28	2.878,7	8,7
MATORRALES	583,0		2.181,0	114,8		28	2.878,7	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>	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
VEGETACIÓN AZONAL	2.063,2	59,3	808,0	1.404,0	24,8	108	4.359,3	13,2
HUMEDALES	880,9	4,6	108,3	203,9	16,9	68	1.214,7	3,7
<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
MATORRAL - HUMEDAL	1.182,3	54,7	699,7	1.200,1	7,8	40	3.144,6	9,5
<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 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
Total general (ha)	17.054,1	118,5	5.925,0	4.954,2	5.018,2	230	33.070,1	100
Total general (%)	51,6	0,4	17,9	15,0	15,2	100		

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*, 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

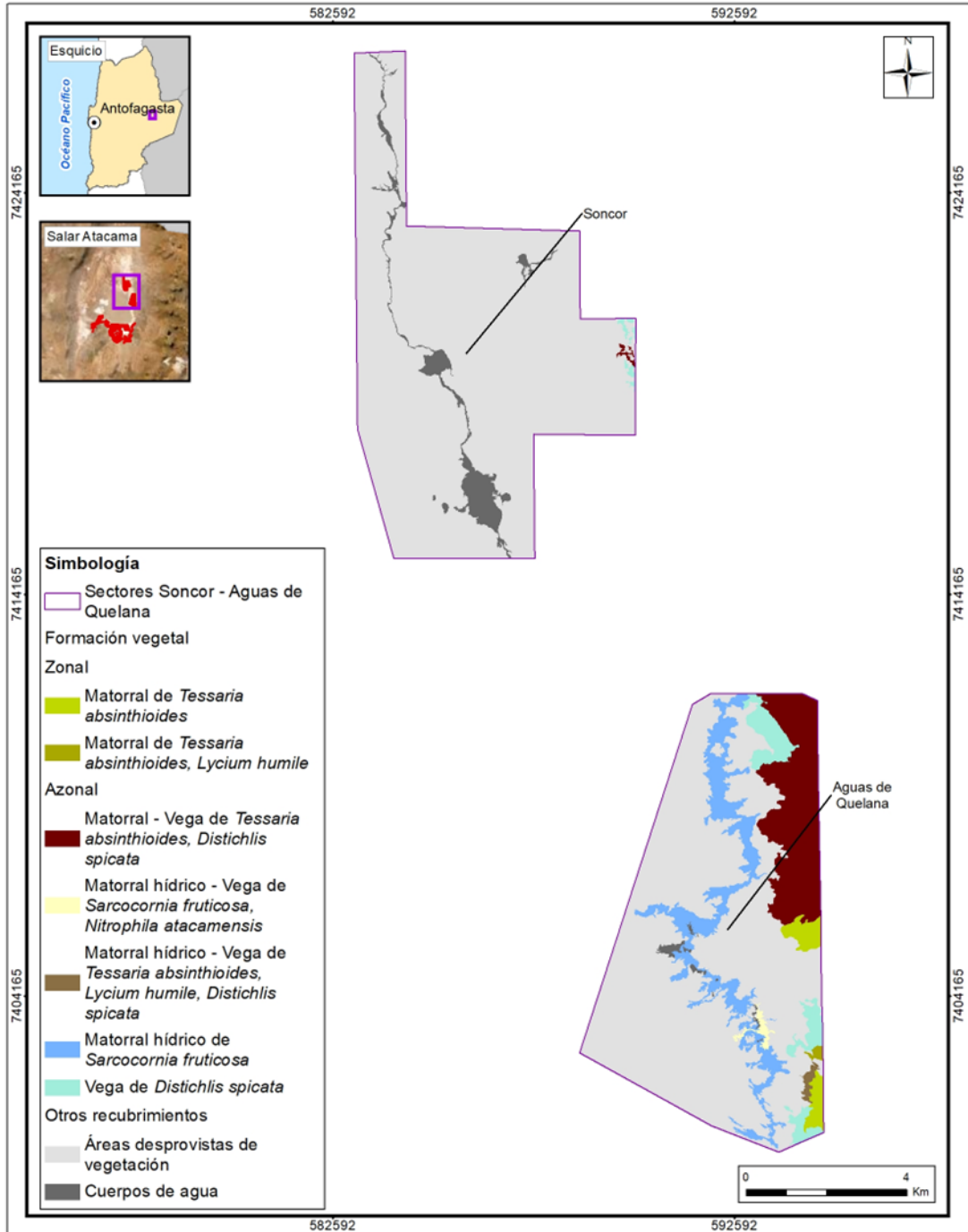
RECUBRIMIENTO DE SUELO <i>Formación vegetal</i>	Especies dominantes	Cobertura vegetal	
		LB	H
VEGETACIÓN ZONAL			
MATORRALES			
<i>Matorral con dominancia de Aa</i>	Aa cid Tt	4(3-4)	4
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>	Ad Aa Ai cis cid	3	4
<i>Matorral de Ai</i>	Ai cid	3	2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	Eb dp	2(2-3)	2
<i>Matorral con dominancia de Tb</i>	Tb Aa Lh	4(2-5)	1
VEGETACIÓN AZONAL			
HUMEDALES			
<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
MATORRAL - HUMEDAL			
<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
Total Unidades cartográficas con cobertura vegetal			

*: 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):
1	muy escasa (1-5)	Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):	bj <i>Baccharis juncea</i>
2	escasa (5-10)	Aa	cid <i>Cistanthe densiflora</i>
3	muy clara (10-25)	Ad	cis <i>Cistanthe salsoloides</i>
4	clara (25-50)	Ai	dp <i>Distichlis spicata</i>
5	poco densa (50-75)	Eb	jb <i>Juncus balticus</i>
6	densa (75-90)	Lh	nia <i>Nitrophila atacamensis</i>
7	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.

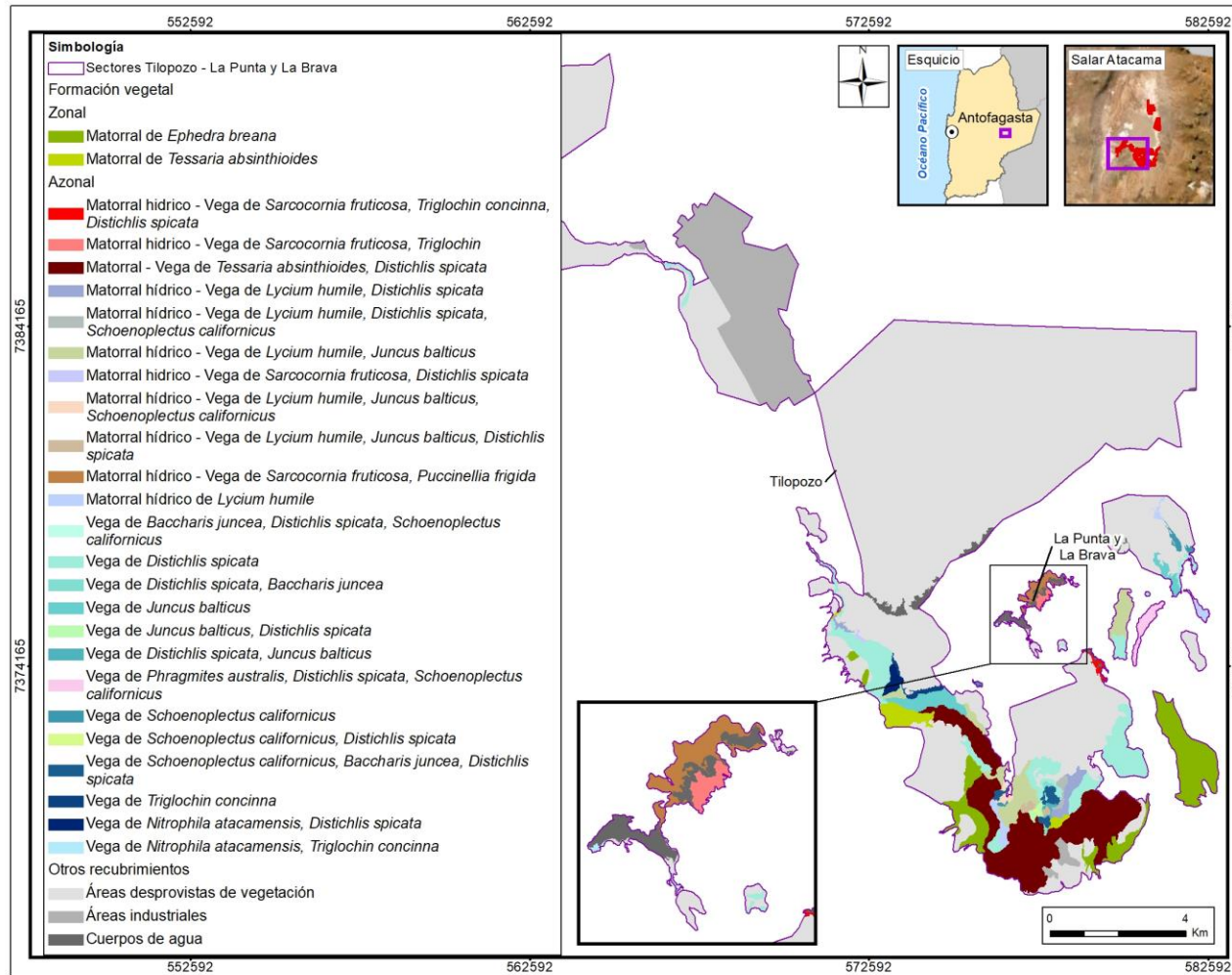
Figura N° 6-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio²¹. Invierno de 2022



Fuente: Elaboración propia.

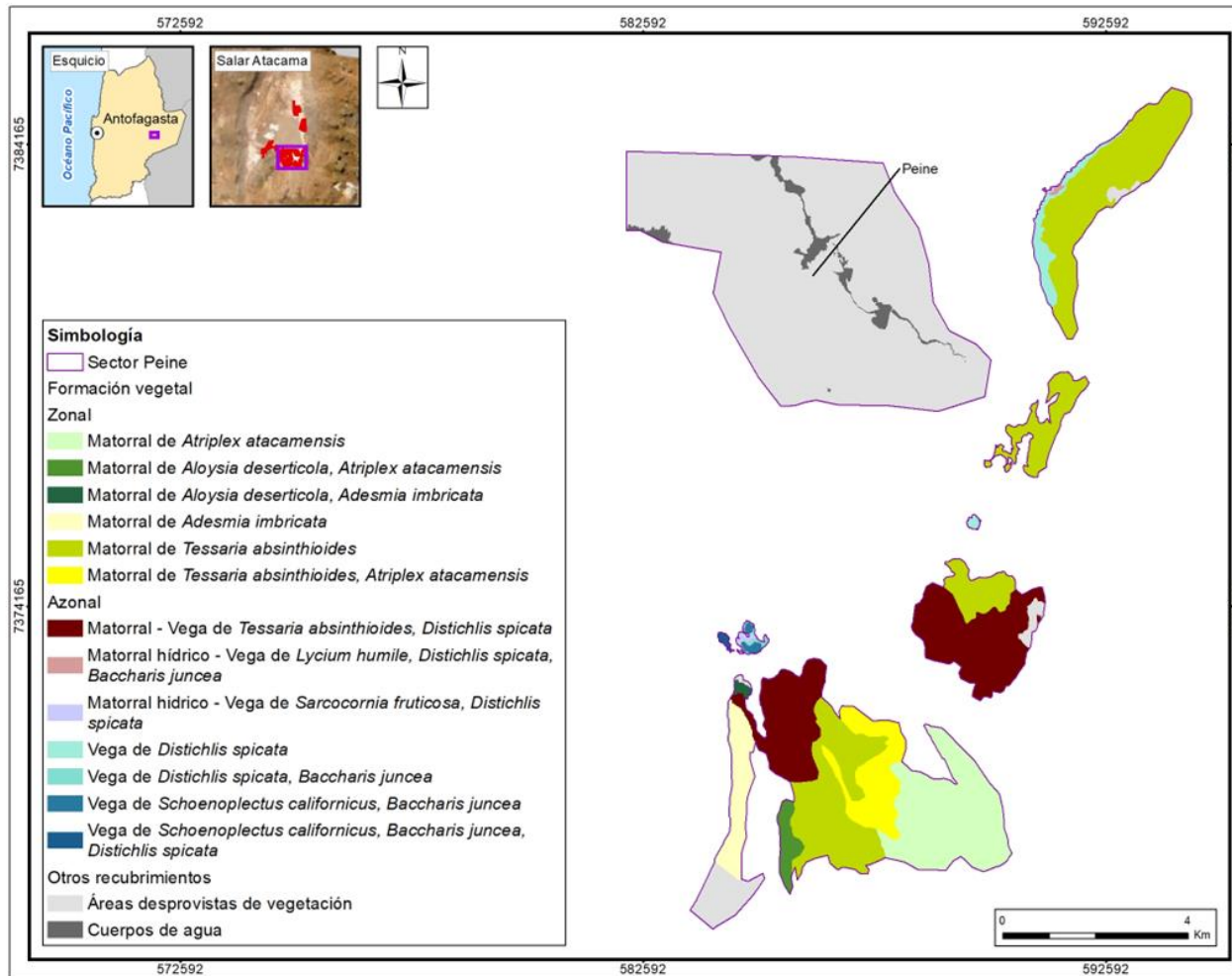
²¹ Esta área norte, si bien no fue muestreada en este monitoreo de invierno 2022, fue revisado con las imágenes satelitales para verificar la delimitación de las unidades, sin encontrar cambios cartografiados.

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 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° 6-10**, **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.

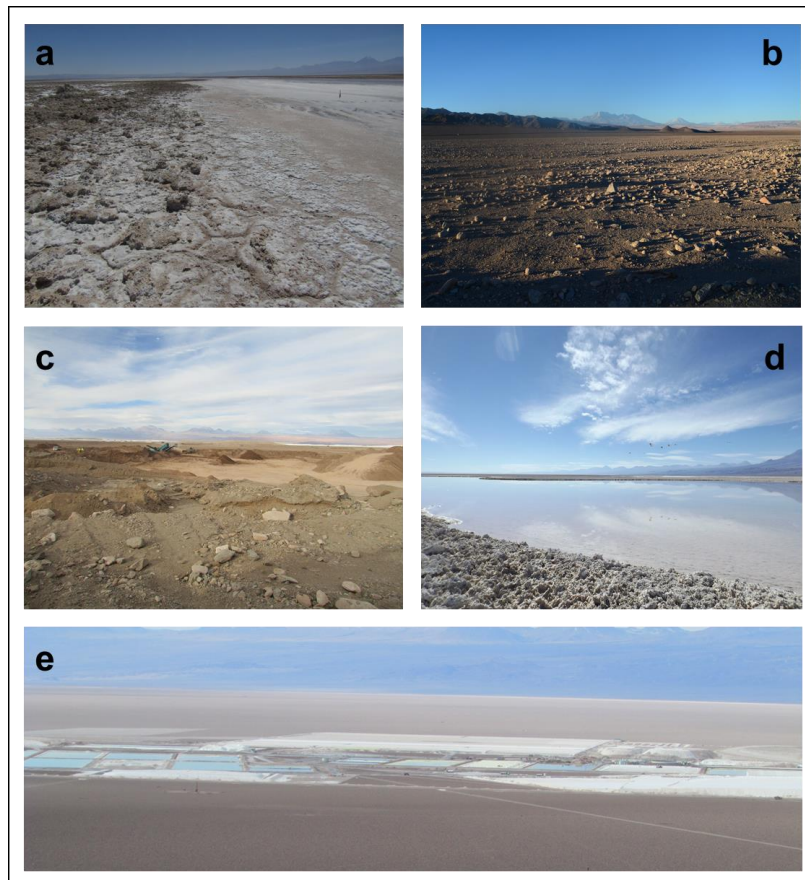
Este recubrimiento abarca una superficie de 1.245,2 hectáreas, lo que representa un 3,8% del área de estudio, con las cuatro unidades localizadas en el sector Tilopozo (**Tabla N° 6-19**).

- 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 hectáreas²² (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**).

²² 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	%
OTROS RECUBRIMIENTOS	14.408,0	59,2	2.936,0	3.435,4	4.993,5	94	25.832,1	78,1
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	13.088,6	19,4	2.832,6	3.410,1	4.762,0	51	24.112,7	72,9
<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
ÁREAS INDUSTRIALES	1.245,2					4	1.245,2	3,8
<i>Centros industriales</i>	1.198,1					1	1.198,1	3,6
<i>Suelos removidos</i>	47,1					3	47,1	0,1
CUERPOS DE AGUA	74,2	39,8	103,4	25,4	231,5	39	474,2	1,4
<i>Lagunas</i>	74,2	39,8	103,4	25,4	231,5	39	474,2	1,4
VEGETACIÓN ZONAL	581,2		2.181,0	114,8		28	2.876,9	8,7
Matorrales	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
VEGETACIÓN AZONAL	2.064,9	59,3	808,0	1.404,0	24,8	112	4.361,1	13,2
Humedales	880,9	4,6	108,3	203,9	16,9	71	1.214,7	3,7
<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
<i>Matorral - Humedal</i>	1.184,1	54,7	699,7	1.200,1	7,8	41	3.146,4	9,5
<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
Total general (ha)	17.054,1	118,5	5.925,0	4.954,2	5.018,2	234	33.070,1	100,0
Total general (%)	51,6	0,4	17,9	15,0	15,2	100,0		

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
VEGETACIÓN ZONAL						
MATORRALES						
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
VEGETACIÓN AZONAL						
HUMEDALES						
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
MATORRAL - HUMEDAL						
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)

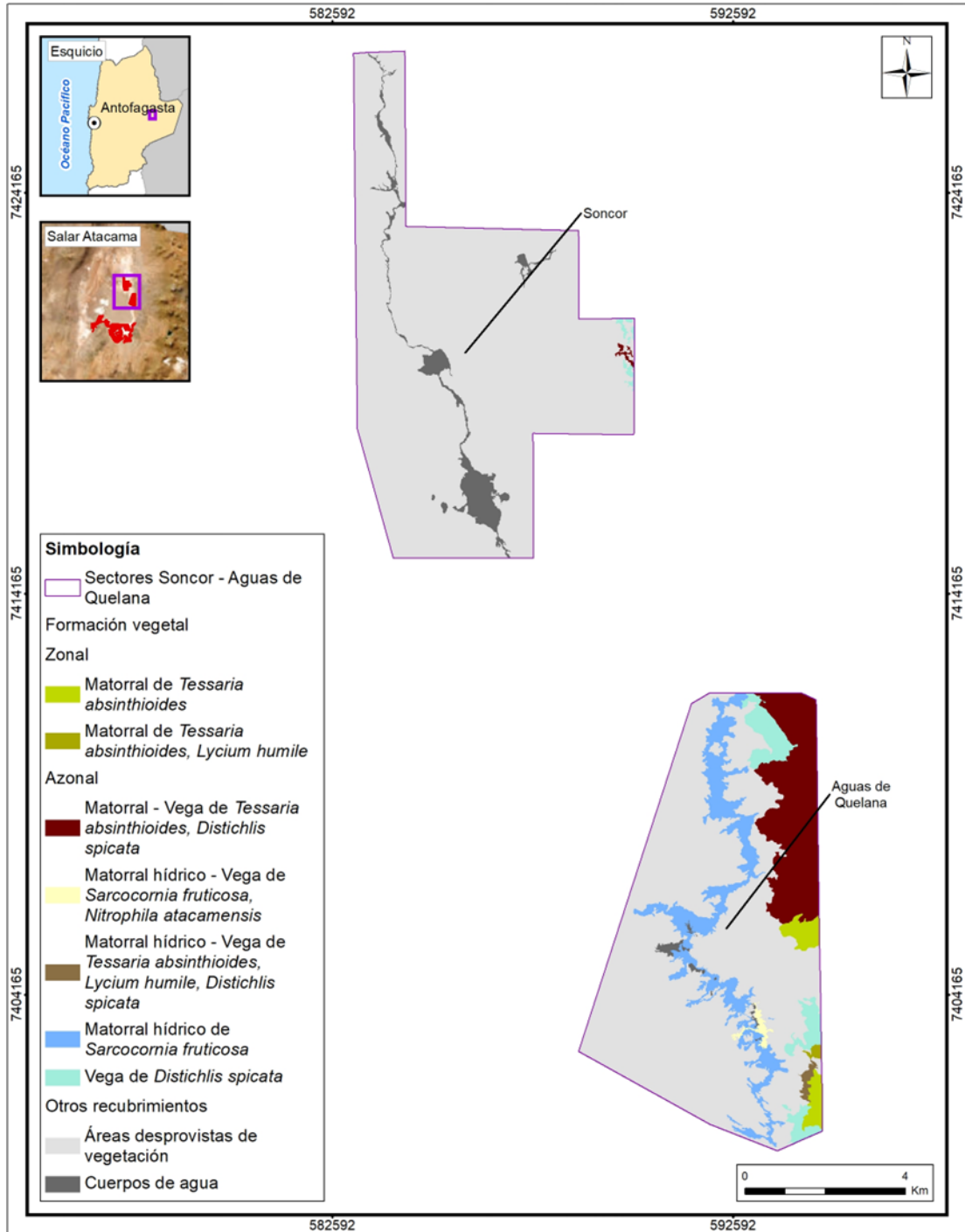
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Cobertura vegetal (%)	Altura vegetal	Códigos de especies	Herbáceas (H):
1 muy escasa (1-5)	1 < 5 cm	Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):	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>

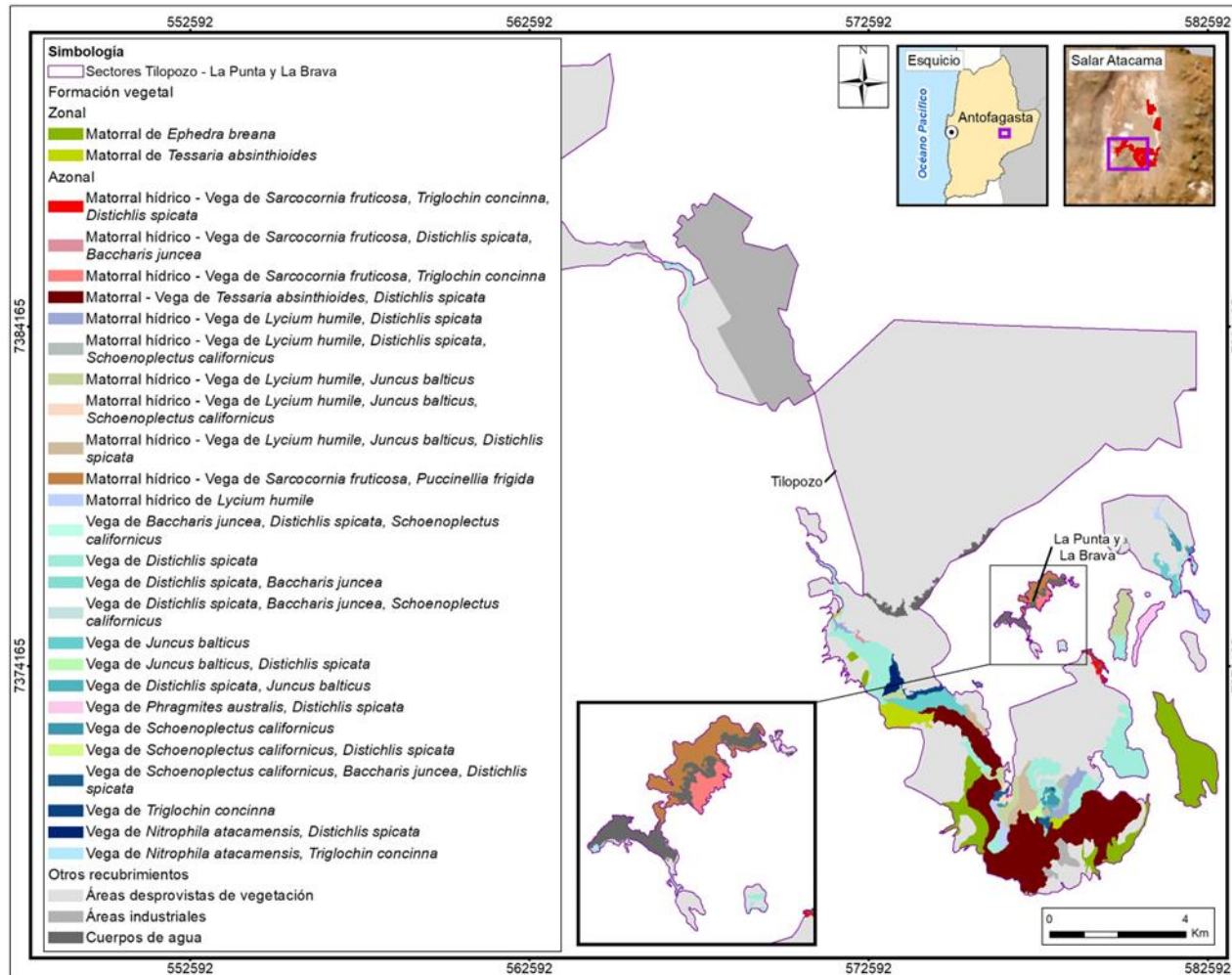
Fuente: Elaboración propia.

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



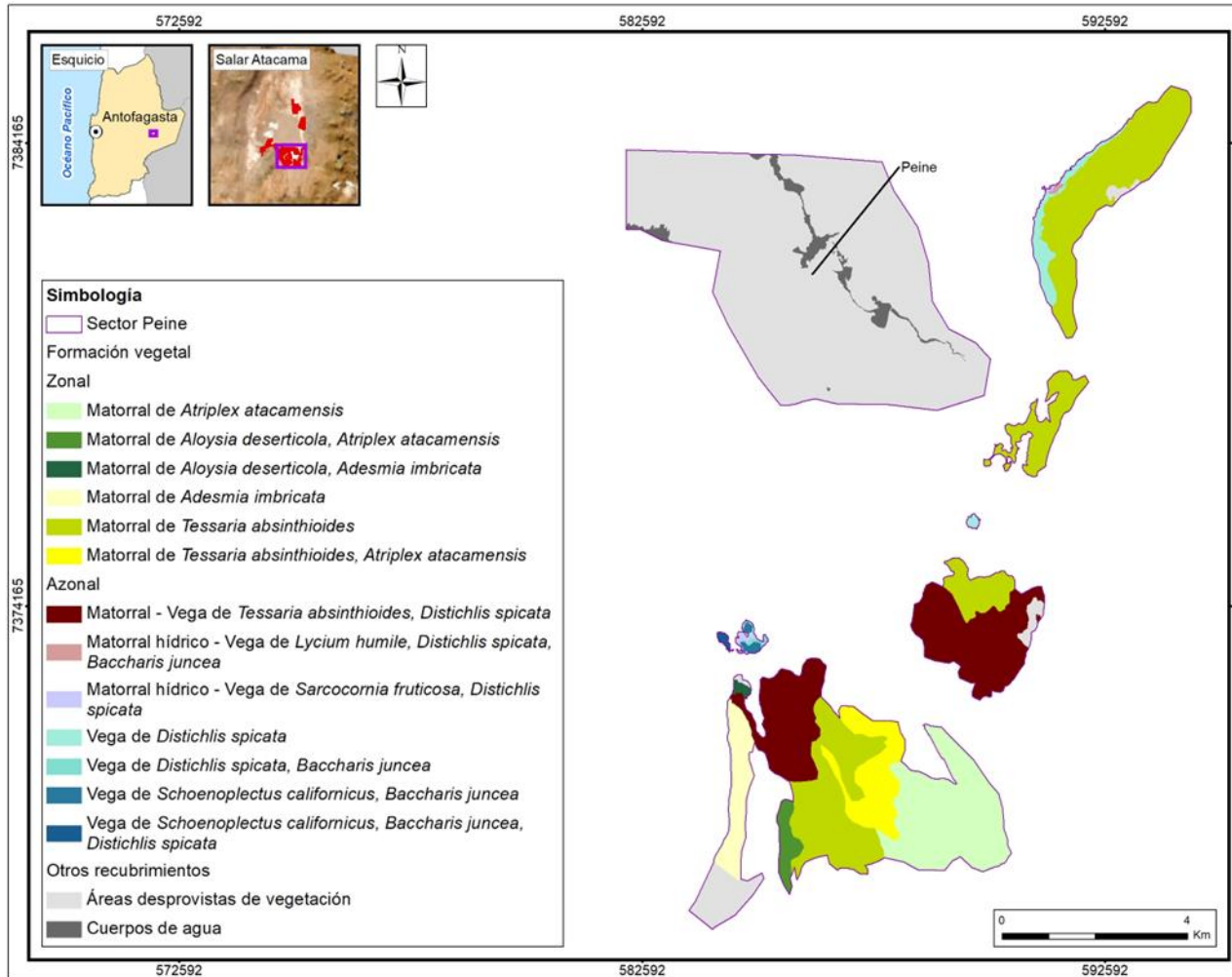
Fuente: Elaboración propia.

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 densa (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 halófila 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**.

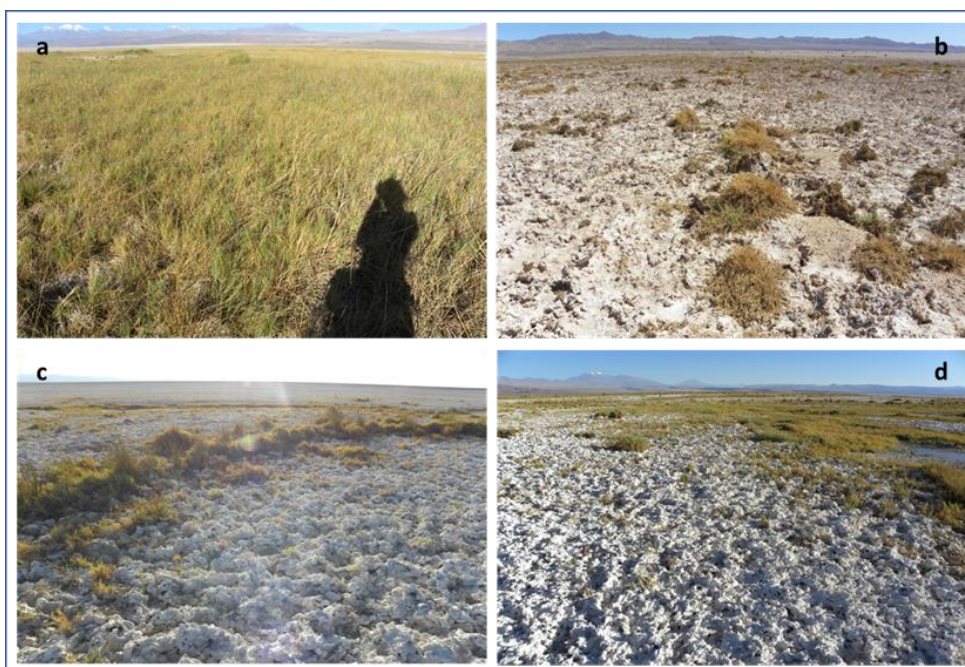
Esta formación se observó en seis unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 89,8 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 6-21**).

- *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

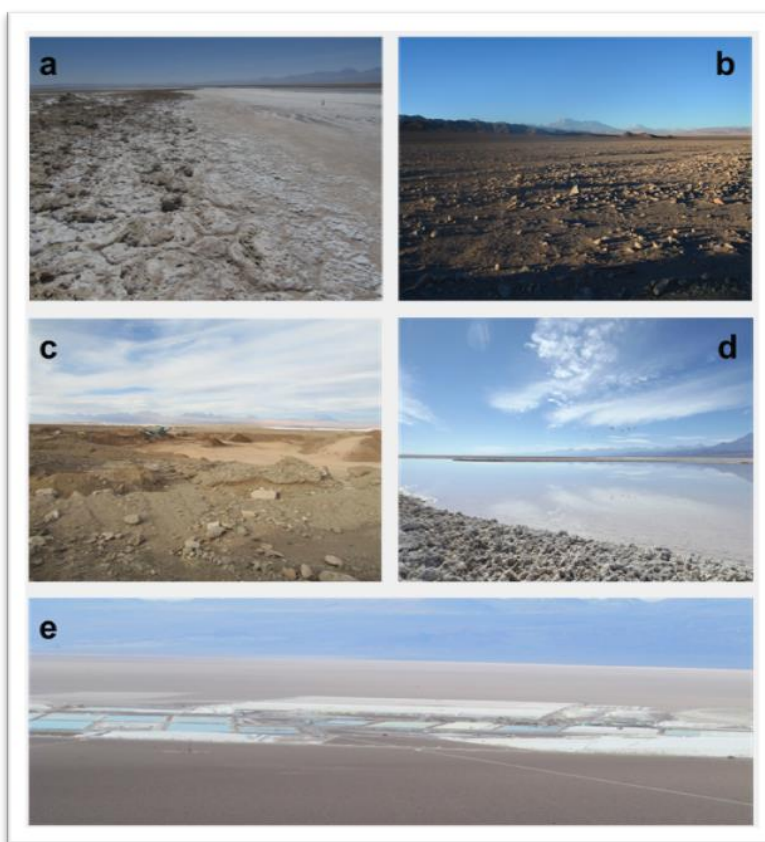
El recubrimiento de áreas industriales está representado por una unidad caracterizada como centro industrial que correspondería a las instalaciones de Albemarle y se añaden tres unidades identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas identificadas dentro del área de estudio. 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 hectáreas²³ (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.

²³ 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
	Riqueza total en Peine							
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
Riqueza total en Tilopozo								7
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
Riqueza total en La Punta y La Brava								5
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
Riqueza total en Aguas de Quelana								s/i
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:

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)	Otras coberturas COT:	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)	Grado de Alteración:	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.

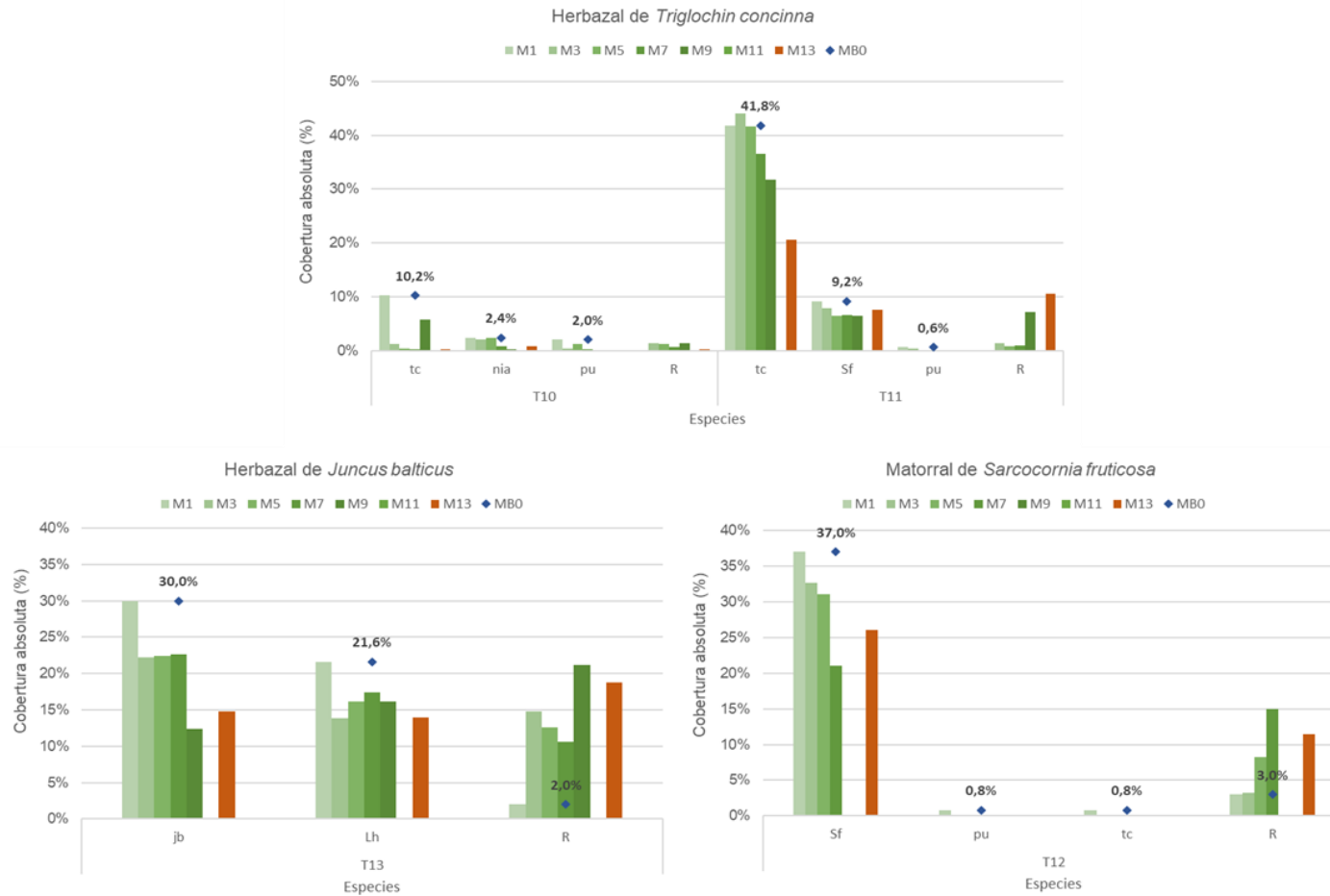
Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Tilopocho



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus* Tb: *Tessaria absinthioides*, Lh: *Lycium humile*; R: rastrajo (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.

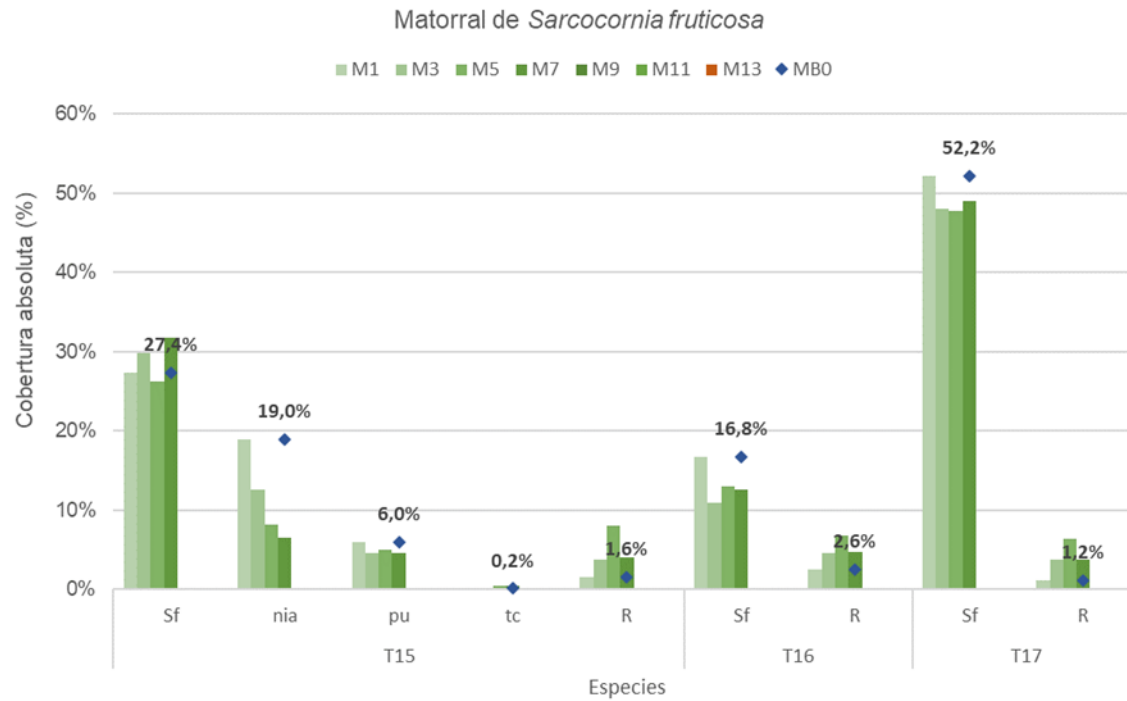
Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector La Punta y La Brava



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 en 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 a 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%).

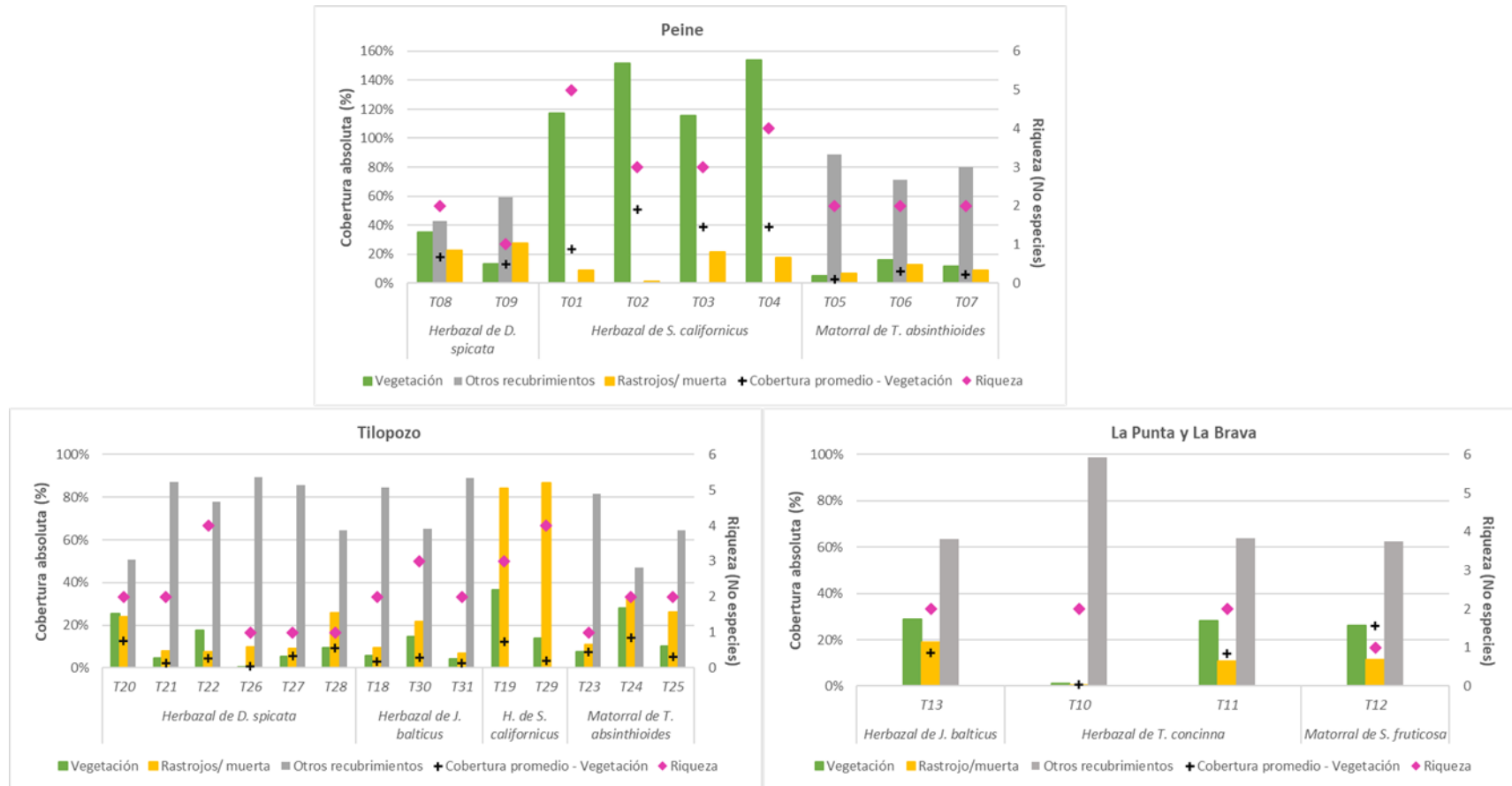
La riqueza de especies varía entre 1 a 5 especies en las transectas del sector Peine. El herbazal de *S. californicus* registra la mayor riqueza con un máximo en T01 con 5 especies (**Figura N° 6-20**). La cobertura de otros recubrimientos en el sector de Peine está representada por costra salina en 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 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 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			
Riqueza total por subsector	5	6	s/i	7

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

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	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
	Riqueza total en Peine							
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
	Riqueza total en Tilopozo							

Sub sector	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
Riqueza total en La Punta y La Brava								5
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
Riqueza total en Aguas de Quelana								3
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)	Otras coberturas COT:	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)	Grado de Alteración:	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.

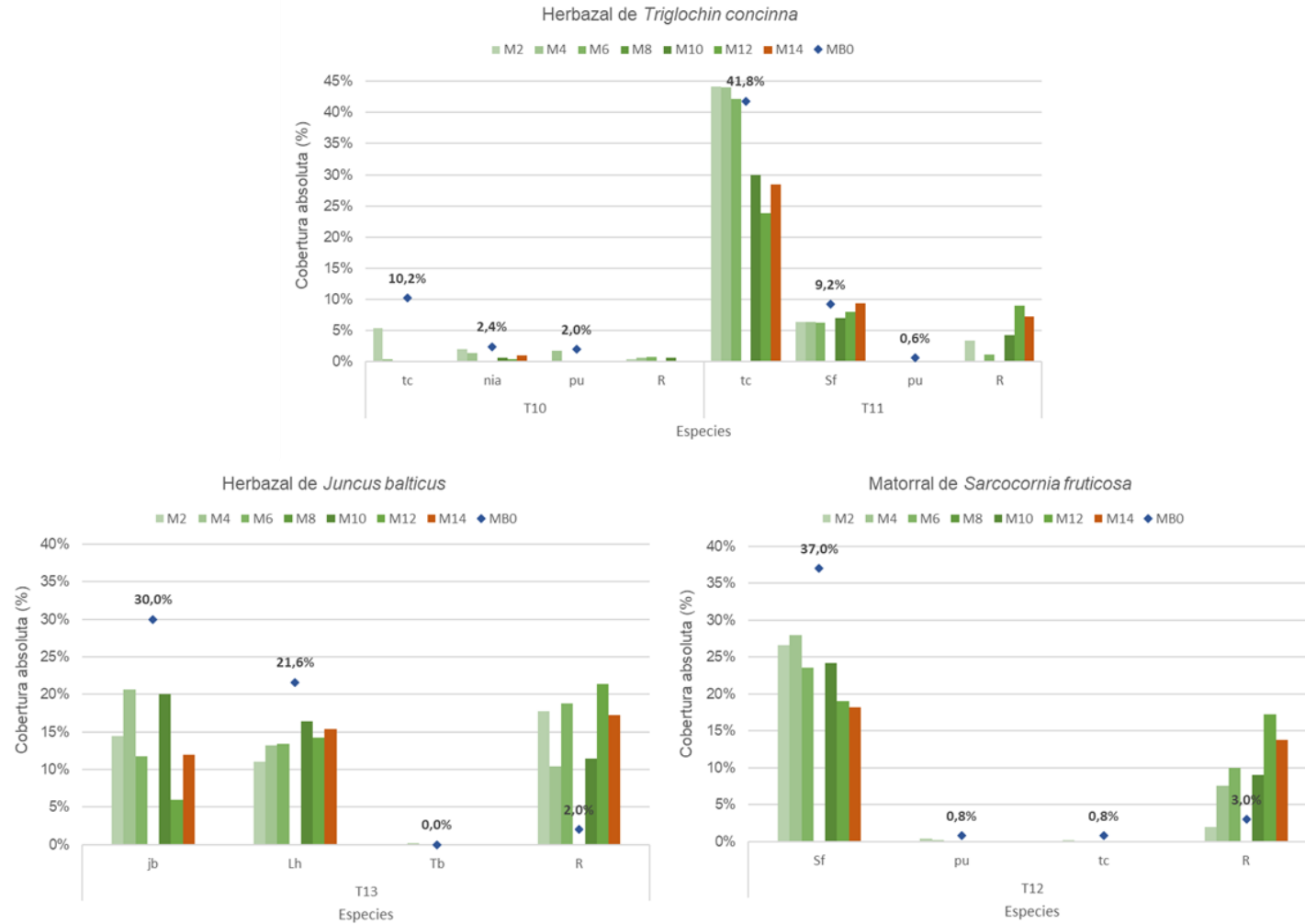
Figura N° 6-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Tilopozo



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.

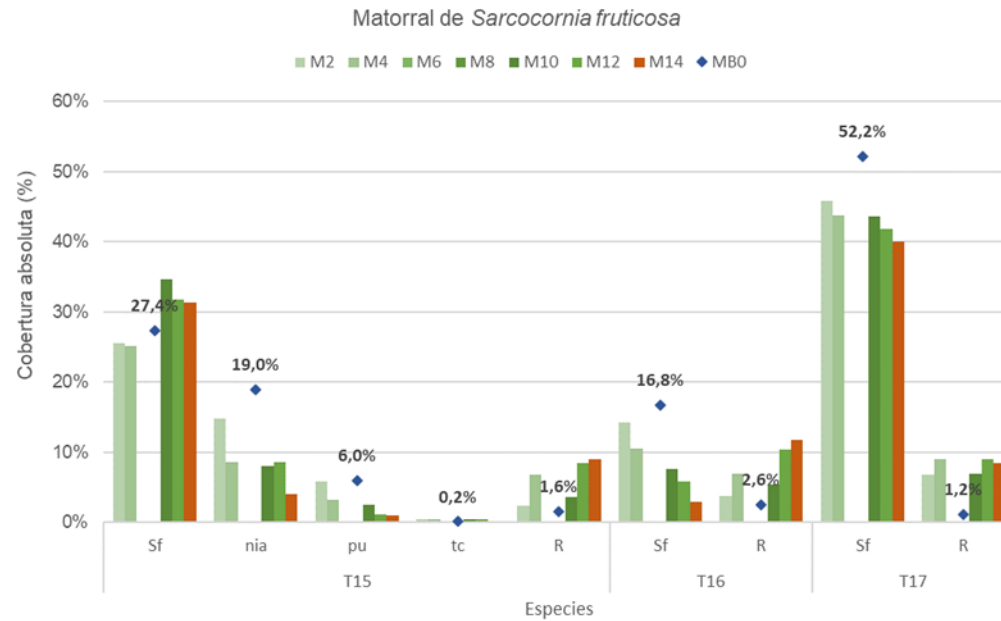
Figura N° 6-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector La Punta y La Brava



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 a 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 al 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%).

En 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

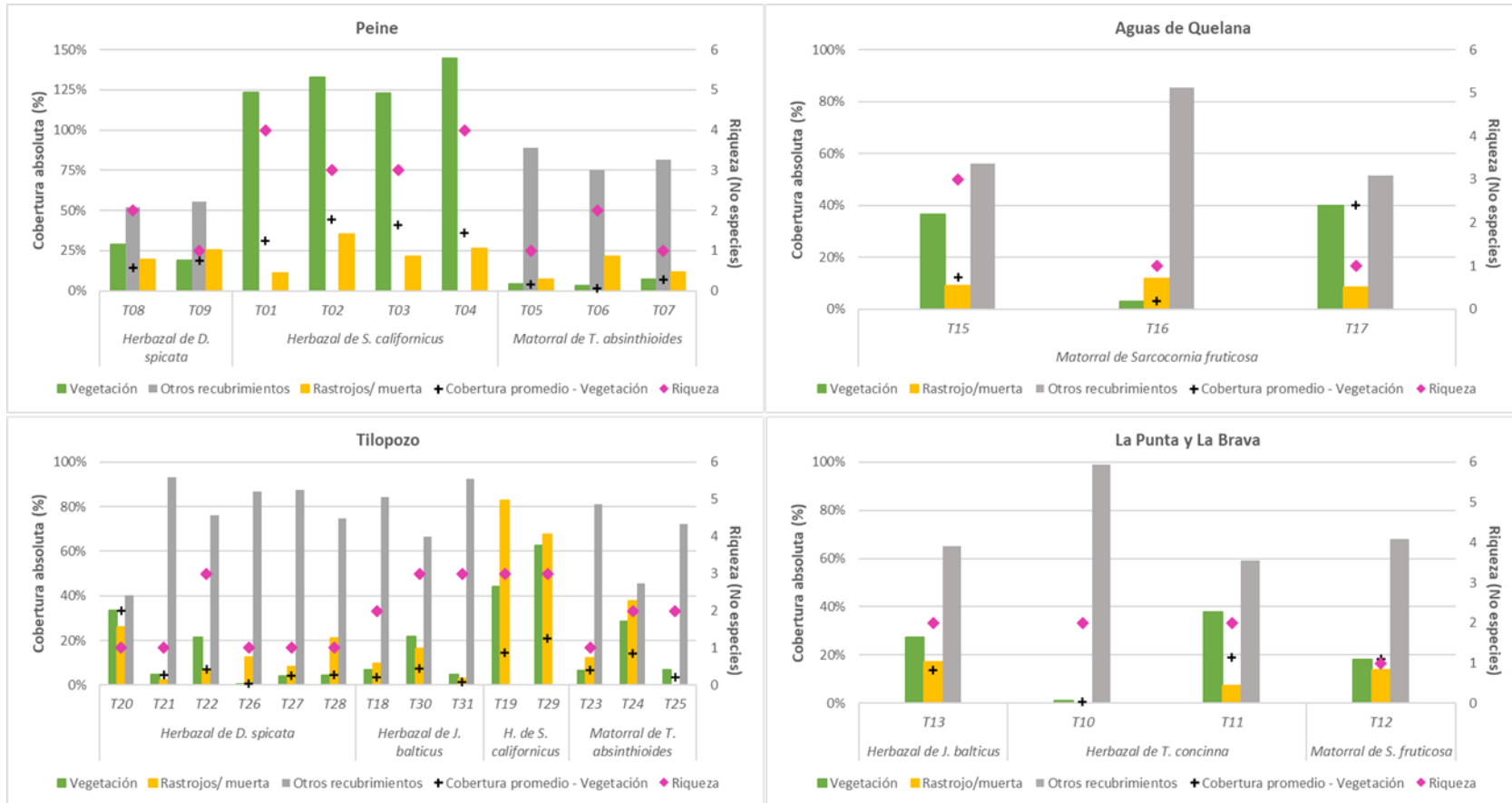
registra la mayor cobertura en M14 (21,8%), en contraste a T18 y T31 que registran menos de un 10% de cobertura vegetal, similar a las transectas en el matorral de *T. absinthioides*, donde T24 registra un 28,4%, y las transectas T23 y T25 menos de un 10% de cobertura vegetal. Por su parte, resalta el 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			
Riqueza total por subsector	5	5	3	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.

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 NDVI - 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	
Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación					
Formación vegetal					
Peine	601,1	5.925,00	529,8	5.925,00	-11,90%
Área desprovista de vegetación	0	2.936,00	0	2.936,00	-
Zonal	385,7	2.181,00	338,6	2.181,00	-12,20%
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%
Azonal	215,4	808	191,2	808	-11,30%
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%
La Punta y La Brava	9,6	118,5	11,5	118,5	20,00%
Área desprovista de vegetación	0	59,2	0	59,2	-
Azonal	9,6	59,3	11,5	59,3	20,00%
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%
Aguas de Quelana	258,6	4.954,20	320,7	4.954,20	24,00%
Área desprovista de vegetación	0	3.435,40	0	3.435,40	-
Zonal	37,4	114,8	22,1	114,8	-41,00%
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	
Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación					
Formación vegetal					
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	2,8	9,8	2,4	9,8	-12,50%
Azonal	221,2	1.404,00	298,6	1.404,00	35,00%
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%
Soncor	7,7	5.018,20	8	5.018,20	4,00%
Área desprovista de vegetación	0	4.993,50	0	4.993,50	-
Azonal	7,7	24,8	8	24,8	4,00%
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%
Tilopozo	727,2	17.054,10	535,8	17.054,10	-26,30%
Área desprovista de vegetación	0	14.408,00	0	14.408,00	-
Zonal	58,1	583	23,8	581,2	-59,00%
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	-
Azonal	669,1	2.063,20	512	2.064,90	-23,50%
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	
<i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i>					
Formación vegetal					
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%
Total general	1.604,30	33.070,10	1.405,90	33.070,10	-12,40%

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 CO₂, 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

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos semestrales de invierno 2022 y verano 2023 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 15 al 21 de agosto de 2022, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno, y entre los días 12 al 18 de marzo de 2023, correspondiente al monitoreo semestral de verano.

En la campaña de verano 2023, se realizaron 20 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando en verano por tercera 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 y Prohibiciones**). 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 204/2022 (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 corresponde a la décimo tercera y décimo cuarta 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 2022 y verano de 2023, con resultados de monitoreo y/o línea de base previos, para establecer posibles desviaciones y evolución de éstos.

7.1 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1.1 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, Anexo 2), 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.

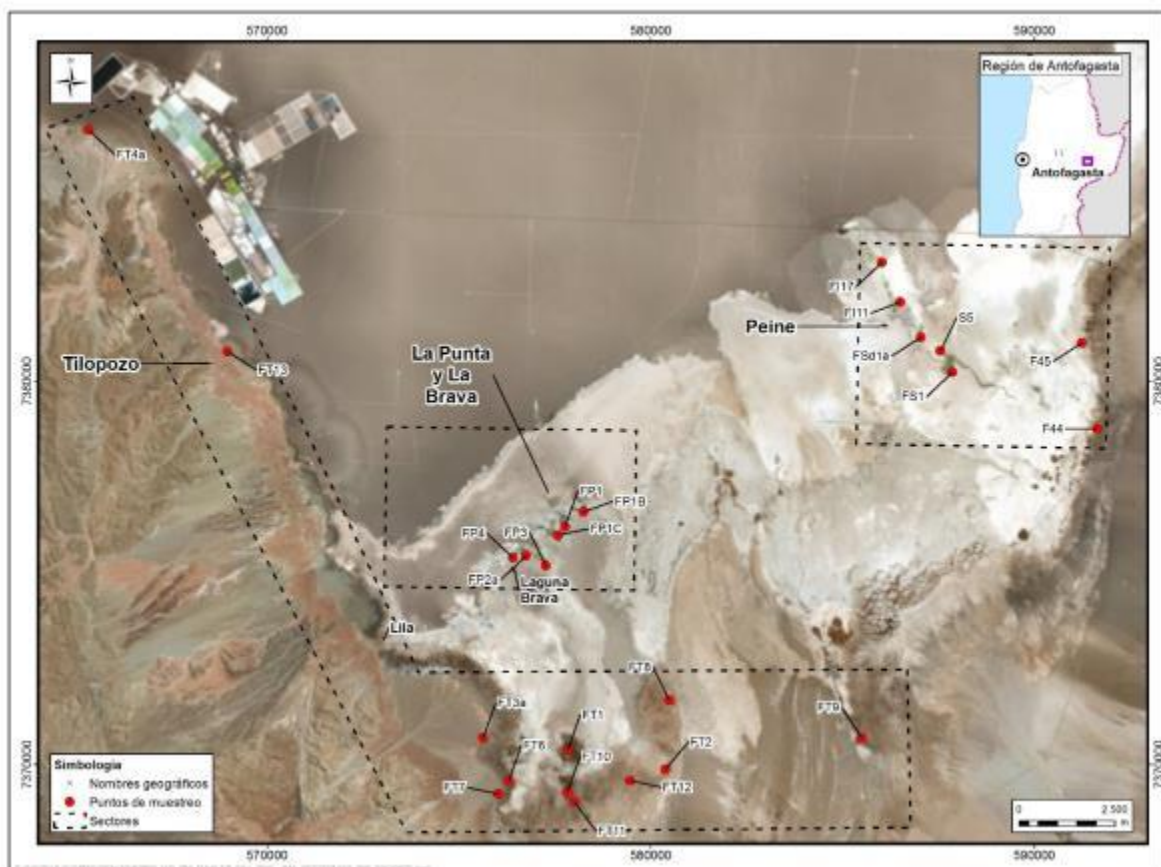
Para el área específica de estudio, y analizando los datos de muestreos de línea base, los que se resumen en varias campañas (desde los años 2006 a 2015), se ha registrado una riqueza acumulada de 62 especies de vertebrados, de las cuales 49 corresponden a aves (79%), 10 especies a mamíferos (16,1%), dos a reptiles (3,2%) y una a anfibios (1,6%). Del total, y considerando las actualizaciones de los procesos de clasificación (17 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.

7.1.2 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 de línea de base, y otros nueve puntos, de carácter voluntario, que han sido incorporados y reportados en las campañas anteriores del PMB. Al respecto, es importante señalar que dicha complementación de los puntos de monitoreo tiene como objetivo hacer más robusta la caracterización, y representar todos los 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).

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 verano 2023, por inconvenientes de permiso, 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 y Prohibiciones**) (detalle en **Tabla N° 7-1**).

En relación con el esfuerzo de muestreo, en invierno 2022 se efectuaron 25 transectos (uno en cada punto de muestreo), nueve estaciones de trapeo de micromamíferos y 12 estaciones con trampas cámara. En verano 2023, se efectuaron 20 transectos, nueve estaciones de trapeo de micromamíferos, 11 estaciones con trampas cámara, cinco muestreos de aves nocturnas y un muestreo nocturno de anfibios.

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				Voluntario
	Este	Norte	Este	Norte				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	-
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	-
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	-

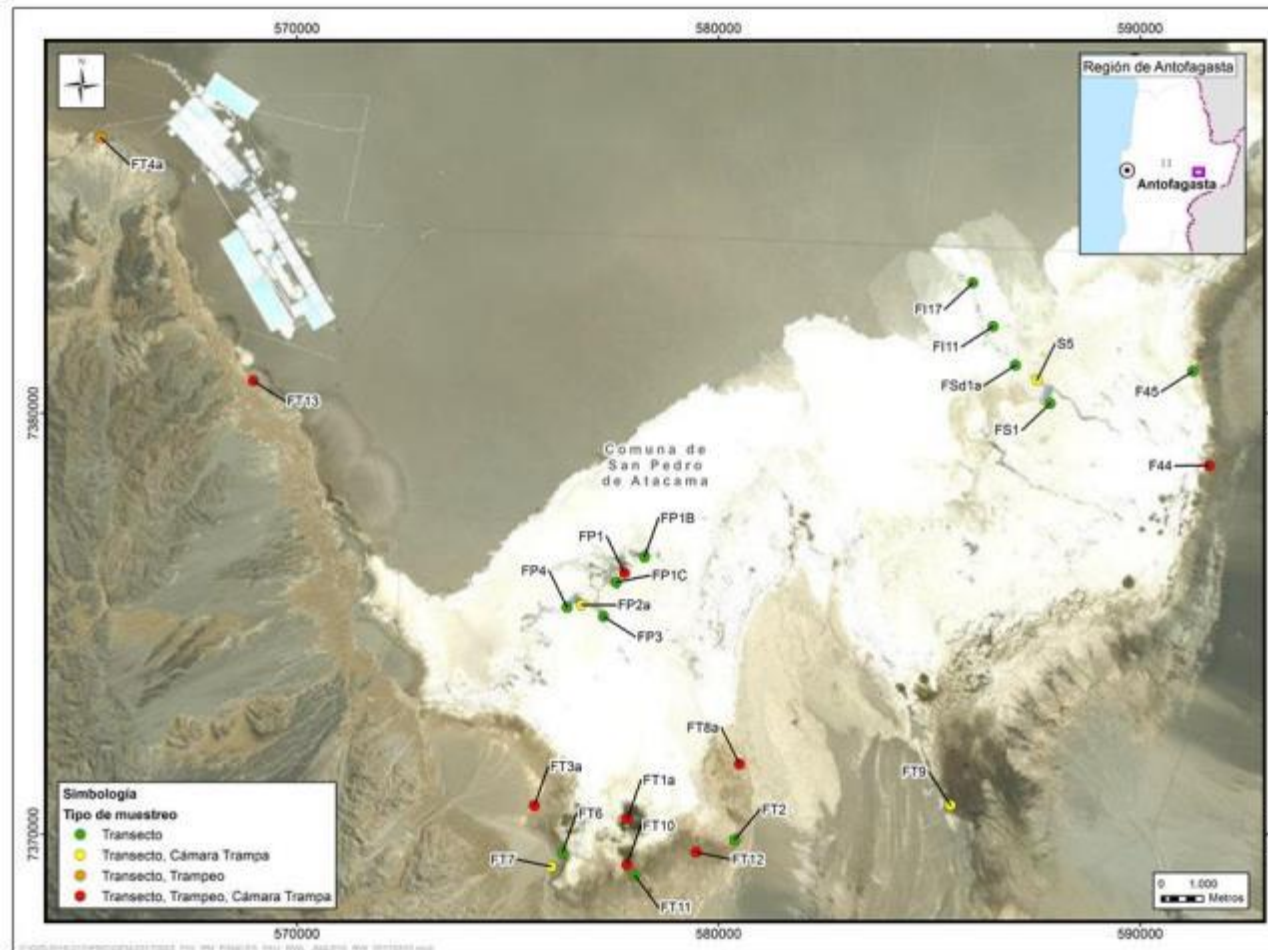
Nota: Las estaciones que presentan una letra a minúscula, representa una adecuación de la estación original, en cuanto a la ubicación exacta (ej. FT4a corresponde a la estación original FT4, que se cambió de lugar, manteniendo el ambiente). *: **los puntos resaltados en negrita y con asterisco no fueron muestreados en la campaña de verano 2023, por razones de limitaciones de acceso por parte de la Comunidad de Peine.**

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 trapeos 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.

7.1.3 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.

7.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control

7.1.4.1 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: trampeo 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.
- Trampeo 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.

7.1.4.2 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).

7.1.4.3 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.

7.1.4.4 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).

7.1.4.4.1 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*).

7.1.4.4.2 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.

7.1.4.4.3 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.

7.1.4.4.4 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, edentados²⁴ y a la familia chinchillidae del orden de los roedores como una categoría intermedia (mesomamíferos) y se consideraron como macromamíferos a los carnívoros, artiodáctilos

²⁴Si 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 trampeos 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.

7.1.4.5 Trabajo en gabinete post terreno

7.1.4.5.1 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.

7.1.4.5.2 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.

7.1.4.5.3 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.

7.1.4.5.4 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)²⁵. 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:

²⁵ 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).

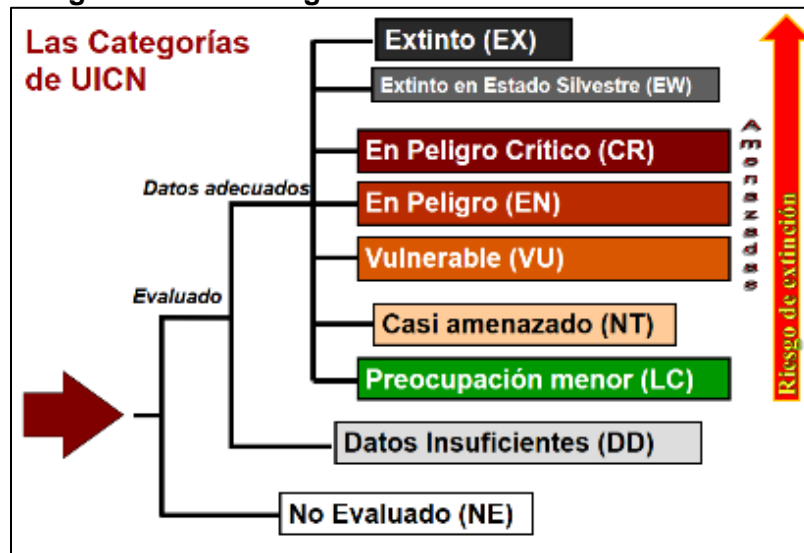
Las categorías de conservación de cada una de las especies, fueron determinadas según los criterios de clasificación definidos en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (2005) y sus decretos supremos asociados posteriores, donde se listan las especies clasificadas y su categoría de 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 y D.S. N° 44/2021 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)²⁶. 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.

²⁶Para 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 BSE²⁷ (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.

7.1.4.5.5 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.

7.1.4.5.6 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:

²⁷ 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.

7.1.4.5.7 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.

7.1.5 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.

7.1.6 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 2022 a través de trabajo efectivo en terreno entre los días 17 al 21 de agosto (duración campaña: 15 al 21 de agosto de 2022), mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 22 de agosto al 9 de septiembre de 2022.

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de verano entre el 12 al 18 de marzo de 2023 (con muestreo efectivo entre el 14 al 17 de marzo), mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 02 al 18 de abril de 2023.

7.2 RESULTADOS

7.2.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2022

7.2.1.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de invierno 2022 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 campaña de monitoreo de invierno 2022, se registraron 27 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 16 especies de aves y nueve especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 7-2**). En esta campaña de invierno 2022 se registraron cuatro nuevas especies, no observadas en todo el monitoreo (el Carancho cordillerano, la Llama, el Perro y la Chinchilla cordillerana o de cola corta). De ellas, el Carancho cordillerano si se había registrado en la Línea de Base del PMB (Albemarle, 2015).

De las 27 especies de fauna detectadas, 13 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: de ellas, 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 la especie restante se encuentra clasificada 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, cinco especies de aves y seis especies de mamíferos (Ver detalle en **Tabla N° 7-2**).

Del total de 13 especies en categoría de conservación, siete se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro Crítico (una especie; un mamífero), 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 seis 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), 23 de las 27 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). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, solo una de las especies detectadas (Chinchilla cordillerana o de cola corta) se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 7-2**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que dos de las 27 especies registradas en la campaña (7,4%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas); otras

23 especies de las 27 detectadas (85,1%) se clasifican como nativas (16 especies de aves y siete especies de mamíferos), mientras que dos especies (7,4%) son catalogadas como introducidas, ambas mamíferos (**Tabla N° 7-2**).

Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2022. Se indica presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA <i>Especie</i>	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA												
SQUAMATA												
LIOLAEMIDAE												
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC ⁵	SE	-	E	N/A	N	B	30,35			X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ⁴	SE	-	E	N/A	S	B	83,35	X		
TOTAL RIQUEZA REPTILIA										1		1
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	S/EC	BE	-	N		N	A	3,35	X		X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N		S	A	15	X	X	
CHARADRIIFORMES												
CHARADRIIDAE												
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	S/EC	BS	-	N		N	A	10,85	X	X	
LARIDAE												
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC ⁷	S	-	N		S	A	18,65	X	X	
SCOLOPACIDAE												
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	S/EC	B	-	N		S	A	31,65	X	X	
RECURVIROSTRIDAE												
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU ⁹	BS	-	N		S	A	57,85	X	X	
FALCONIFORMES												
FALCONIDAE												
<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	Carancho cordillerano	S/EC	BE	-	N		N	A	3,35			X

CLASE ORDEN FAMILIA <i>Especie</i>	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR			
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo	
PASSERIFORMES													
FURNARIIDAE													
<i>Geositta cunicularia</i>	Minero común	S/EC	B	-	N		N	A	1,65		X	X	
HIRUNDINIDAE													
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	S/EC	BE	-	N		N	A	10,85		X		
THRAUPIDAE													
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	S/EC	S	-	N		N	A	9,15		X	X	
TYRANNIDAE													
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	S/EC	BE	-	N		N	A	3,35	X			
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	S/EC	BE	-	N		N	A	3,35			X	
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de nuca rojiza	S/EC	BE	-	N		N	A	3,35			X	
PHOENICOPTERIFORMES													
PHOENICOPTERIDAE													
<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁷	SE	-	N		S	A	49,35	X	X		
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ⁷	SE	-	N		S	A	65,35	X	X		
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ⁶	SE	-	N		S	A	65,35	X	X		
TOTAL RIQUEZA AVES										10	11	6	
MAMMALIA													
ARTIODACTYLA													
CAMELIDAE													
<i>Lama glama</i>	Llama	N/A	-	-	N		N	A	N/A			X	
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU ²	S	-	N		N	A	48,65			X	
CARNIVORA													
CANIDAE													

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Canis lupus</i>	Perro	N/A	-	-	I		N	A	N/A			X
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ²	E	-	N		N	A	3,65	X	X	X
<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro chilla	LC ²	E	-	N		N	A	3,65			X
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 ³	S	MN	N		S	M	64,15			X
CRICETIDAE												
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ¹	E	-	N		N	M	11,15			X
CTENOMYIDAE												
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC ⁸	S	-	N		N	B	33,65		X	X
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA										1	3	9
TOTAL RIQUEZA SECTOR										12	14	16

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) Cofré & Marquet 1999; (2) D.S. N°33/2011 MMA; (3) D.S. N°13/2013 MMA; (4) D.S. N°52/2014 MMA; (5) D.S. N°16/2016 MMA; (6) D.S. N°38/2015 MMA; (7) D.S. N°23/2019 MMA; (8) D.S. N°16/2020 MMA; (9) D.S. N°44/2021 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.

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 con las especies especialistas de hábitat, nueve especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar), siete especies de aves (habitantes de ambientes de humedal) y un mamífero, la chinchilla de cola corta (especialista de roqueríos, **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 22 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), cuatro se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (tres especies de aves y un mamífero; caití, flamenco andino, flamenco de James y chinchilla de cola corta), otras cinco se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, dos aves y dos mamíferos), y por último 14 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (11 aves y tres mamíferos). A las especies introducidas/domesticadas (burro, perro 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, seis aves y nueve mamíferos); seguido por Peine donde se registró una riqueza de 14 especies (11 aves y tres mamíferos), mientras que La Punta y La Brava presenta la riqueza más baja con 12 especies (un reptil, diez aves y un mamífero). Considerando las especies y su presencia en cada sector, solo una especie fue detectada en los 3 sectores: el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), 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**).

7.2.1.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

7.2.1.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de invierno 2022, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo en que se realizó muestreo nocturno.

7.2.1.2.2 Reptiles

Del total de 27 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (7,4%), 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; **Tabla N° 7-2**). 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 (arriba),
lagartija de Constanza (abajo).**



Fotos tomadas en campaña de invierno 2022 (17 al 21 de agosto). Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.2.3 Aves

Del total de 27 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 16 corresponden a aves (59,3%), las que se distribuyen en seis órdenes y 12 familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-5**).

En esta campaña se registró una especie nueva correspondiente a carancho cordillerano (*Phalcoboenus megalopterus*). Esta especie había sido detectada en campañas de línea de base realizadas por Albemarle.

Del total de aves registradas en el área de estudio, cinco (31,2%) 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 16 especies, 15 se encuentran en categoría B, S y/o E; mientras que la especie restante no se clasifican en ninguna categoría. Con mayor detalle podemos señalar que 10 especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), siete especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y nueve 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° 7-2**).

En relación con el origen, todas las especies son nativas, mientras que siete especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 16 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 11 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 7-2**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Peine presenta la mayor riqueza con 11 especies, mientras que en La Punta y La Brava se observaron 10 especies, y Tilopozo registró la menor riqueza de aves, con seis especies (**Tabla N° 7-2**).

Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: Caití (superior, izquierda), Dormilona de nuca rojiza (superior, derecha), Parina Chica (inferior, izquierda) y chorlo de la puna (inferior, derecha).



Fotos tomadas en campaña de invierno 2022 (17 al 21 de agosto). Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.2.4 Mamíferos

Del total de 27 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, nueve corresponden a mamíferos (33,3%), las que se distribuyen en cuatro órdenes y seis familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-6; Fotografía N° 7-7**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, seis especies (66,7%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes a chinchilla de cola corta (*Chinchilla chinchilla*), catalogada como En Peligro Crítico; guanaco (*Lama guanicoe*) catalogada como Vulnerable; tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y zorro chilla (*Lycalopex griseus*), catalogados como Preocupación menor; y el ratón andino (*Abrothrix andina*) considerado Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 7-2**).

En esta campaña se detectaron tres especies nuevas de mamíferos, no registrados ni en los monitoreos previos ni en la Línea de Base histórica: la chinchilla cordillerana o de cola corta (*Chinchilla chinchilla*), el perro (*Canis lupus*) y la llama (*Lama glama*).

En relación con la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las nueve especies, seis 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 tres especies se consideran benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Solo una de las especies de mamíferos, chinchilla cordillerana o de cola corta (*Chinchilla chinchilla*), se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-2**).

En relación con el origen de las especies de mamíferos, siete son nativas, y dos introducidas (el burro y el perro). Una especie es considerada especialista de hábitat, la chinchilla de cola corta, especialista de roqueríos. Una especie es catalogada como movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama), dos especies presentan movilidad media (chinchilla de cola corta y el ratón andino), y el resto son de alta movilidad. En cuanto al índice de riesgo de las especies, una especie presenta un índice de riesgo alto (la chinchilla de cola corta), dos 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, perro 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, presentando sólo una especie, seguido por Peine con tres especies, en tanto que Tilopozo registró el máximo, con nueve especies (**Tabla N° 7-2**).

Fotografía N° 7-6. Macromamíferos en el área de estudio: zorro chilla (arriba), zorro culpeo (abajo).



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-7. Micromamífero del área de estudio: ratón andino.

Foto tomada en campaña de invierno 2022 (17 al 21 de agosto). Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.3 Composición por ambiente

Para los reptiles, en el ambiente de matorral y humedal pajonal de Tilopozo se registró la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*), y en el humedal salar de La Punta y La Brava sólo 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 Peine, con nueve especies registradas durante la campaña (ocho de ellas acuáticas), seguido por el humedal salar de la Punta y La Brava con siete especies (cinco de ellas acuáticas); el humedal pajonal de Tilopozo, con cuatro especies; luego matorrales de Peine y Tilopozo con dos especies, y finalmente quebrada, ADV costra salar y herbazal de Tilopozo, sin especies (**Tabla N° 7-3**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en el ambiente de matorral de Tilopozo con seis especies, seguido por el humedal pajonal en Tilopozo, con cinco especies. Por otra parte, el ambiente de herbazal y matorral de Peine registraron tres especies, mientras que en el humedal salar de la Punta y La Brava y quebrada de Tilopozo solo se observó una especie. Los ambientes de humedal salar de Peine y ADV costra salar de Tilopozo no registraron especies (**Tabla N° 7-3**).

Agrupando las tres clases de vertebrados, el ambiente con mayor riqueza corresponde al humedal pajonal de Tilopozo, con 10 especies registradas, que corresponden a un 37% de la riqueza total; le siguen los ambientes de humedal salar de La Punta y La Brava y de

Peine; y el matorral de Tilopozo, con nueve especies registradas en total, lo que representa un 33,3% de toda la fauna registrada en la campaña; seguido por el matorral de Peine, con cinco especies. Luego viene el ambiente herbazal de Tilopozo, con tres especies, y la quebrada de Tilopozo con una especie. 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 2022). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar (Salada, Saladita, Interna)	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
REPTILIA								
Lagartija de Constanza						X	X	
Lagartija de Fabián	X							
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	0	0	0	0	1	1	0
AVES								
Aguilucho común	X					X		
Pato juarjual		X						
Chorlo de la puna	X	X						
Gaviota Andina	X	X						
Playero de Baird		X						
Caití		X						
Carancho cordillerano						X		
Minero común			X			X		
Golondrina de dorso negro		X						
Chirihue verdoso			X				X	
Colegial del norte	X							
Mero gaucho						X		
Dormilona de nuca rojiza							X	
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar (Salada, Saladita, Interna)	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
Flamenco chileno	X	X						
TOTAL RIQUEZA AVES	7	9	2	0	0	4	2	0
MAMMALIA								
Guanaco					X			
Llama						X	X	
Perro							X	
Zorro chilla							X	
Zorro culpeo	X		X		X	X	X	
Burro			X			X	X	
Chinchilla								X
Ratón andino					X	X		
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X			X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	1	0	3	0	3	5	6	1
RIQUEZA POR AMBIENTE	9	9	5	0	3	10	9	1

Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-2.

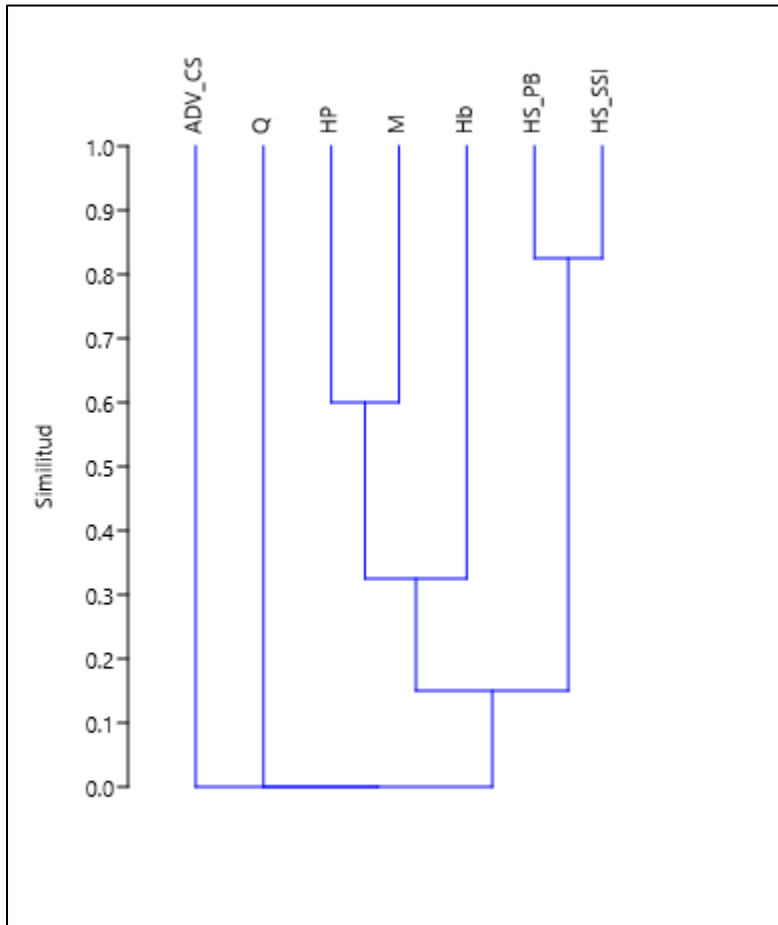
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.4 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 cerca de un 82% 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 tres ambientes (un ambiente acuático y dos terrestres) a una similitud cercana al 32%, dentro de los cuales los más similares son el matorral y el humedal pajonal, con un 61% de similitud. Fuera de los grupos queda el ambiente de quebrada y 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 2022.



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.

7.2.1.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 6 ejemplares avistados, lo que representa un 75,0% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 25,0%, con sólo dos individuos registrados (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, ambas especies presentan la misma frecuencia, registrándose en dos de los 25 puntos de muestreo, lo que representa un 8% de frecuencia relativa (**Tabla N° 7-4**).

En relación a las aves censadas, sobre un total de 557 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron la parina grande, con 218 ejemplares (39,1% de abundancia relativa), el chirihue verdoso (124 ejemplares; 22,3%), la parina chica (69 individuos, lo que representa un 12,4% de abundancia relativa), el flamenco chileno (68 individuos; 12,2%), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia menor, variando entre uno a 22 ejemplares (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, la especie más frecuente fue el chorlo de la puna (registrado en nueve puntos; con un 36% de frecuencia), seguidos por parina grande (siete puntos; 28%) y flamenco chileno y parina chica (seis puntos, 24%). En tanto, el resto de las especies son menos frecuentes, variando en su registro en uno a cinco puntos, con un 4% a 20% de frecuencia (**Tabla N° 7-4**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron la llama, el zorro culpeo, el chululo y el burro. El primero con 55 ejemplares en dos puntos, además de registros indirectos en otros dos puntos, por lo que su frecuencia es de 16%. En el caso del zorro culpeo, hubo registro directo de seis individuos en seis puntos de muestreo, además de registro indirecto en cinco puntos, con una frecuencia del 44%, siendo el macromamífero con mayor frecuencia. Para el caso del burro, hubo registro directo de tres individuos en un punto, además de registro indirecto en otros cuatro puntos, lo que representa un 20% de frecuencia, mientras que el chululo se observó sólo con registros indirectos en siete puntos de muestreo, con una frecuencia de 28% (**Tabla N° 7-4**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas mediante trampeo.

Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2022).

CLASE NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	2	25,0	2/25	8,0
Lagartija de Fabián	6	75,0	2/25	8,0
TOTAL REPTILIA	8	100	-	-
AVES				
Aguilucho común	2	0,4	2/25	8,0
Pato juarjual	4	0,7	2/25	8,0
Chorlo de la puna	16	2,9	9/25	36,0
Gaviota Andina	22	3,9	5/25	20,0
Playero de Baird	9	1,6	2/25	8,0
Caití	10	1,8	4/25	16,0
Carancho cordillerano	2	0,4	1/25	4,0
Minero común	6	1,1	2/25	8,0
Golondrina de dorso negro	1	0,2	1/25	4,0
Chirihue verdoso	124	22,3	2/25	8,0
Colegial del norte	4	0,7	3/25	12,0
Mero gaucho	1	0,2	1/25	4,0
Dormilona de ceja blanca	1	0,2	1/25	4,0
Flamenco andino o Parina grande	218	39,1	7/25	28,0
Flamenco de James o Parina chica	69	12,4	6/25	24,0
Flamenco chileno	68	12,2	6/25	24,0
TOTAL AVES	557	100	-	-
MAMMALIA				
Guanaco	X	-	1/25	4,0
Llama	57(2) + 2X	-	4/25	16,0
Perro	X	-	1/25	4,0
Zorro culpeo	6(6) + 5X	-	11/25	44,0
Zorro chilla	1	-	1/25	4,0
Burro	3(1) + 4X	-	5/25	20,0
Chinchilla	X	-	1/25	4,0
Ratón andino	8	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7X	-	7/25	28,0

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. Fuente: Elaboración propia

7.2.1.6 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 salar, con 0,55 individuos/transecto (en 11 puntos de muestreo de la Punta y La Brava junto con Peine), seguido por el ambiente humedal pajonal con 0,5 individuos/transecto (en dos puntos), y luego matorral, con 0,13 individuos/transecto (en ocho puntos de muestreo entre Tilopozo y Peine). En tanto, en los ambientes de área desprovista de vegetación costra salar, herbazal y quebrada, 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 (11 puntos de muestreo repartidos en los sectores de La Punta y La Brava y Peine), con 38,36 individuos/transecto; valor considerablemente mayor a los siguientes ambientes. Le sigue el ambiente de matorral, con 15,88 ind/transecto, seguido por el ambiente humedal pajonal con 4,00 individuos/transecto. En tanto que 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 registró una especie mediante trampeo: el ratón andino (**Tabla N° 7-5**). Este fue registrado en dos de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo (humedal pajonal y herbazal). El mayor número de captura se habría dado en el humedal pajonal, con un IDR = 12,5%, con diez ejemplares capturados; luego en herbazal con IDR de 1,25%, con una captura. En tanto, en los ambientes de matorral, humedal salar, área desprovista de vegetación costra salar y quebrada, no hubo registro de especies (**Tabla N° 7-5**). Cabe destacar que por conflictos de acreditación, se retrasó el inicio de la campaña, y en consecuencia solo se pudieron realizar dos de las tres noches de trampeo programadas, posiblemente afectando los resultados, de modo que éstos se deben considerar con cautela (no son absolutamente comparables).

Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. (invierno 2022).

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 / 40	0	0 / 40	1,25	1 / 80	12,5	10 / 80	0	0 / 80	0	0 / 40

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.

7.2.2 Resultados del monitoreo campaña de verano 2023

7.2.2.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de marzo de 2023 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 cuarta 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° 7-6**). En esta campaña de verano 2023 se registraron dos especies nuevas, no observadas en el monitoreo (el Murciélago de Atacama y la Bandurrilla). De ellas, el murciélago tampoco se había registrado en la Línea de Base, a diferencia de la Bandurrilla, si registrada en el Línea de Base (Albemarle, 2015).

De las 25 especies de fauna detectadas, 11 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: nueve 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) y Rottmann & López-Calleja (1992). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, cuatro de las especies de aves y cinco de las especies de mamíferos. (Ver detalle en **Tabla N° 7-6**).

Del total de 11 especies en categoría de conservación, cinco se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie; un reptil), Vulnerable (dos especies de aves) y Casi Amenazada (dos especies; un ave y un mamífero). Por su parte, las otras seis especies se catalogan “*sin amenaza*” (precautorias; **Tabla N° 7-6**).

Por su parte, bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 21 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° 7-6**). 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 25 especies registradas en la campaña (8,0%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas); otras 21 especies de las 25 detectadas (84%) se clasifican como nativas (15 especies de aves y seis especies de mamíferos), mientras que dos especies son catalogadas como introducidas, *Equus asinus* (burro) y *Capra hircus* (cabra; **Tabla N° 7-6**).

Para estos valores vale recordar que solo se pudieron realizar 20 de los 25 puntos de muestreo programados, por restricciones de acceso de la comunidad a las lagunas del sector de Peine. Esto puede afectar la abundancia y riqueza de especies total para el monitoreo.

**Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2023).
 Se indica además, la 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 ⁴	SE	-	E	N/A	N	B	30,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ²	SE	-	E	N/A	S	B	83,35	X		
TOTAL RIQUEZA REPTILIA										1	1	1
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	-	-	-	N	R	S	A	15,00	X		
CHARADRIIFORMES												
RECURVIROSTRIDAE												
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU ⁷	BS	-	N	R	S	A	57,85	X		
CHARADRIIDAE												
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	R	N	A	10,85	X		
SCOLOPACIDAE												
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	-	B	-	N	V	S	A	31,65	X		
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	LC	BS	-	N	V	S	A	27,85	X		
COLUMBIFORMES												
COLUMBIDAE												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	-	S	-	N	R	N	A	9,15			X
PASSERIFORMES												
FURNARIIDAE												
<i>Upucerthia dumetaria</i>	Bandurrilla común	-	BS	-	N	R	N	A	3,35			X
TYRANNIDAE												
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		
<i>Tyrannus savanna</i>	Cazamoscas tijereta	-	BSE	-	N	E	N	A	5,00			X
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
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ³	SE	-	N	R	S	A	65,35	X		
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁵	SE	-	N	R	S	A	49,35	X		
TOTAL RIQUEZA AVES										8	-	7
MAMMALIA												
ARTIODACTYLA												
CAMELIDAE												
<i>Capra hircus</i>	Cabra	N/A	-	-	I/D	N/A	N	A	N/A			X
<i>Lama glama</i>	Llama	N/A	-	-	N/D	N/A	N	A	N/A			X
CARNIVORA												
CANIDAE												
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ¹	E	-	N	N/A	N	A	3,65		X	X
CHIROPTERA												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR			
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo	
VESPERTILIONIDAE													
<i>Myotis atacamensis</i>	Murciélago de Atacama	NT	BS	-	N	N/A	N	A	26,85			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 ⁸	E	-	N	N/A	N	M	11,15		X	X	
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP ⁸	S	-	N	N/A	N	M	11,15			X	
CTENOMYIDAE													
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC ⁶	S	-	N	N/A	N	B	33,65		X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA										-	3	8	
TOTAL RIQUEZA SECTOR										9	4	16	

EC (Estado de conservación): EN: En peligro; LC: Preocupación menor; NP: Sin prioridad inmediata; R: Rara; VU: Vulnerable; S/EC.: Sin estado de conservación.

FUENTES EC: (1) D.S. N°16/2020 MMA; (2) D.S. N°33/2011 MMA; (3) D.S. N°52/2014 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° 44/2021; (8) Cofré & Marquet 1999.

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: Domesticada.

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, siete especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y seis 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, dos especies se catalogan con movilidad media, y por último 20 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), dos se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (una especie de flamenco y el caití), otras seis se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y dos mamíferos), y por último 13 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (10 aves y tres mamíferos). A las tres especies introducida o domesticadas no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-6**).

Finalmente, en el análisis por sector, se observa una riqueza mayor en Tilopozo, con 16 especies (un reptil, siete aves y ocho mamíferos), seguido de La Punta-La Brava, con nueve especies (un reptil y ocho aves), mientras que Peine registró sólo cuatro especies (un reptil y tres mamíferos (recordando que en esta campaña no se muestrearon cinco puntos de las lagunas de Peine debido a restricciones de acceso). Considerando las especies y su presencia en cada sector, ninguna especie se encuentra en los tres sectores, en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la lagartija de Fabián y la mayoría de las aves acuáticas), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 7-6**).

7.2.2.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

7.2.2.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de verano 2023, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo, en que se realizó muestreo nocturno.

7.2.2.2.2 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 Tropiduridae (**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 Constanza (arriba),
lagartija de Fabián (abajo).**



Fotos tomadas en la campaña de verano 2023 (Marzo, 2023).
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2.3 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 seis órdenes y 10 familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-9**).

En esta campaña se registró una nueva especie, la Bandurrilla (*Upucerthia dumetaria*), en Tilopozo y que no había sido registrada en el monitoreo previo (ni de verano ni de invierno), pero sí se registró anteriormente en la línea de base, en enero 2014 (Albemarle, 2015).

Del total de aves registradas en el área de estudio, cuatro (26,7%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la parina grande y caití (Vulnerable), el flamenco chileno (Casi amenazado), y el pitotoy chico (Preocupación Menor, **Tabla N° 7-6**).

En relación a la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 15 especies, casi todas (14) se encuentran en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que 11 especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), nueve 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 (**Tabla N° 7-6**).

En relación al origen, todas las especies son nativas, mientras que seis 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, dos especies presentan un riesgo alto (la parina grande y el caití), otras tres presentan un riesgo medio, y 10 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 ocho especies, seguido de Tilopozo, con siete especies, mientras que en Peine se registró la menor riqueza de aves, sin especies (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: pitotoy chico (superior, izquierda), cazamoscas tijereta (superior, derecha), aguilucho (abajo, izquierda) y parina grande (inferior, derecha).



Fotos tomadas en la campaña de verano 2023 (Marzo, 2023).
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2.4 Mamíferos

Del total de 25 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, ocho corresponden a mamíferos (32%), las que se distribuyen en cinco órdenes y seis familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-10; Fotografía N° 7-11**).

Destaca como especie nueva el registro del murciélago de Atacama (*Myotis atacamensis*) detectada sobrevolando en esta campaña verano 2023 en el monitoreo nocturno en el humedal pajonal de Tilopozo (Punto de Monitoreo FT1a). No registrada en todo el monitoreo previo, ni en la línea de base histórica.

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, cinco especies (62,5%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes al murciélago de Atacama (*Myotis atacamensis*), clasificada como Casi amenazada, al tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*) y el zorro culpeo (*Lycalopex 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 a la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las ocho especies, cinco se encuentran catalogadas en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que tres especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que dos 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 al origen de las especies de mamíferos, seis especies son nativas, y las restantes son introducidas. Por otro lado, ninguna especie de mamíferos se considera especialista de hábitat. Cinco especies presentan movilidad alta, dos especies presentan movilidad media (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 murciélago 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 ocho especies, seguida del sector de Peine con tres especies registradas de mamíferos (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-10. Macromamífero en el área de estudio: zorro culpeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón orejudo amarillo (izquierda) y ratón andino (derecha).

Fotos tomadas en la campaña de verano 2023 (Marzo, 2023).
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.3 Composición por ambiente

Para los reptiles, la lagartija de Constanza se presentó en tres ambientes del sector Tilopozo, 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 mayoritariamente en el humedal salar de La Punta y La Brava, con ocho especies registradas durante la campaña (algunas acuáticas), seguido por el humedal pajonal de Tilopozo, con seis especies, mientras que en el matorral de Tilopozo se registraron dos especies, y en el resto no se registraron especies de aves (matorral de Peine, 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 humedal pajonal de Tilopozo, con siete especies, seguido por el matorral de Tilopozo con seis, el matorral

de Peine, con tres, la quebrada, con dos especies, y el herbazal con una especie. 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 14 especies registradas en total (un reptil, siete aves y siete mamíferos), seguido por el humedal salar de La Punta y La Brava y el matorral de Tilopozo, con nueve especies. En tanto, los ambientes siguientes en riqueza son el matorral de Peine, con cuatro especies (un reptil y tres mamíferos), la quebrada de Tilopozo, con sólo dos especies (dos mamíferos), al igual que el herbazal de Tilopozo). 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 cuarta campaña de monitoreo (verano 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
REPTILIA								
Lagartija de Constanza		X			X	X	X	
Lagartija de Fabián	X							
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	NE	0	1	1	1	0
AVES								
Aguilucho común						X		
Pato juarjual	X							
Caití	X							
Chorlo de la puna	X							
Playero de Baird	X							
Pitotoy chico	X							
Tortolita de la puna						X	X	
Bandurrilla común						X		
Mero gaucho							X	
Colegial del norte	X							
Cazamoscas tijereta						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
NOMBRE COMÚN								
Golondrina bermeja						X		
Golondrina de dorso negro						X		
Flamenco andino o Parina grande	X							
Flamenco chileno	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	8	0	NE	0	0	6	2	0
MAMMALIA								
Cabra						X		
Llama						X	X	
Zorro culpeo		X			X	X	X	X
Murciélago de Atacama						X		
Burro						X	X	
Ratón andino		X				X	X	
Ratón orejudo amarillo							X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama		X				X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	0	3	NE	0	1	7	6	2
RIQUEZA POR AMBIENTE	9	4	NE	0	2	14	9	2

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.

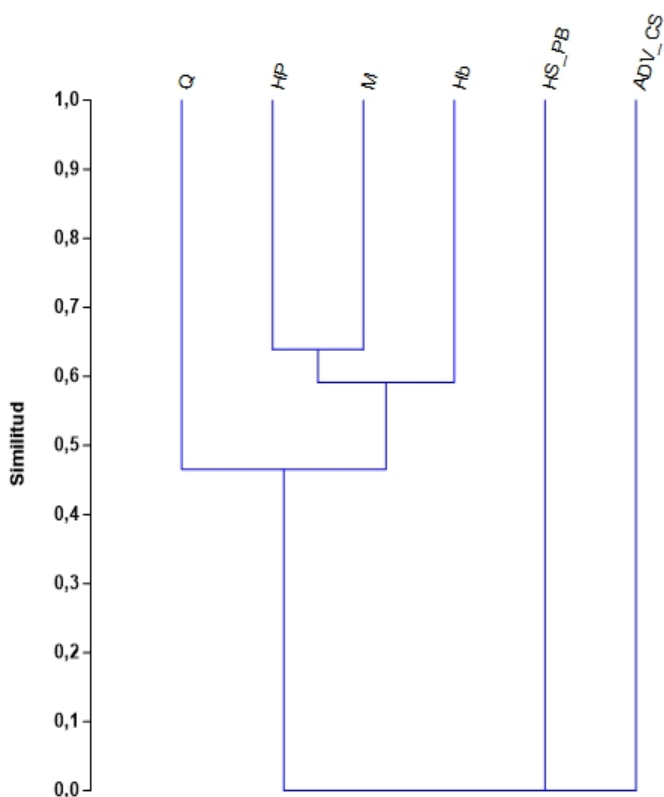
7.2.2.4 Similitud

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 cuatro agrupaciones. Primero, el área desprovista de vegetación costra salar (ADV_CS) representa el control, ya que por no presentar registro de especies, no tiene similitud con el resto. La mayor similitud (cercana al 64%) se presenta entre los ambientes de humedal pajonal y matorral, los que se unen a los otros ambientes terrestres (quebrada y herbazal) a una menor similitud (cercana al 45%;

Figura N° 7-5). Extrañamente, en esta campaña el humedal salar de la Punta y La Brava no se asocia ningún grupo (al no compartir 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 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.

7.2.2.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 23 ejemplares avistados, lo que representa un 60,5% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 39,5%, con 15 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 cambia, ya que la Lagartija de Constanza 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 Fabián se observó en cinco de los 20 puntos (25%, **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 105 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron el flamenco chileno, con 37 ejemplares (34,9% de abundancia relativa), seguido por el playero de Baird (23 ejemplares; 21,7% de abundancia relativa), el pitotoy chico (10 individuos, lo que representa un 9,4% de abundancia relativa) y la parina grande (n = 7; 6,6%), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia muy baja, variando entre uno a seis ejemplares (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird (registrado en cinco de los 20 puntos; con un 25,0% de frecuencia), seguido por el flamenco chileno y el chorlo de la puna (registradas en cuatro puntos; 20,0% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a tres puntos, con un 5,0% a 15,0% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**).

En el caso de los macromamíferos, la especie más abundante fue el zorro culpeo, registrado con 10 ejemplares observados en ocho puntos de muestreo, por lo que su frecuencia es de 40,0%. En el caso de la llama, hubo registro directo de 12 ejemplares en un punto, y registros indirectos en otro punto, lo que representa un 10,0% de frecuencia, mientras que de la cabra también se contabilizaron 12 individuos en un punto (**Tabla N° 7-8**). Del burro se observaron dos ejemplares en un punto, y registros indirectos en otros tres puntos, con una frecuencia de 20,0%. Destaca en esta campaña el registro de un ejemplar de murciélago de Atacama en el muestreo nocturno. 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 10 capturas del ratoncito andino y dos del lauchón orejudo amarillo.

**Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna.
 Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 2023).**

CLASE NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)*
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	15	39,5	6/20	30,0
Lagartija de Fabián	23	60,5	5/20	25,0
TOTAL REPTILIA	38	100,0		
AVES				
Aguilucho común	1	0,9	1/20	5,0
Pato juarjual	2	1,9	1/20	5,0
Caití	5	4,8	1/20	5,0
Chorlo de la puna	5	4,8	4/20	20,0
Playero de Baird	23	21,9	5/20	25,0
Pitotoy chico	10	9,5	3/20	15,0
Tortolita de la puna	2	1,9	2/20	10,0
Bandurrilla común	1	0,9	1/20	5,0
Mero gaucho	1	0,9	1/20	5,0
Colegial del norte	1	0,9	1/20	5,0
Cazamoscas tijereta	1	0,9	1/20	5,0
Golondrina bermeja	3	2,9	1/20	5,0
Golondrina de dorso negro	6	5,7	1/20	5,0
Flamenco andino o Parina grande	7	6,7	2/20	10,0
Flamenco chileno	37	35,2	4/20	20,0
TOTAL AVES	105	100,0		
MAMMALIA				
Cabra	12	-	1/20	5,0
Llama	12(1) + X	-	2/20	10,0
Zorro culpeo	10(8)	-	8/20	40,0
Murciélago de Atacama	1	-	1/20	5,0
Burro	2(1) + 3X	-	4/20	20,0
Ratón andino	10	-	-	-
Ratón orejudo amarillo	2	-	-	-
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 N° 7-6. La X indica presencia indirecta. Para mamíferos, entre paréntesis se detalla el número de puntos de muestreo asociados a la abundancia absoluta.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2.6 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 3,8 individuos/transecto (en seis puntos), seguido por el matorral, con 1,6 individuos/transecto, y el herbazal junto con el humedal pajonal, con 0,5 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 15,0 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el humedal pajonal, con 6,5 ind/transecto, y el matorral (0,25 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 dos especies mediante trapeo: el ratón andino y el ratón orejado amarillo (**Tabla N° 7-9**). El ratón andino fue registrado en dos de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo; con un IDR variando (en los ambientes en que fue capturado) entre 6,7% (en el ambiente de matorral) a 10,0% (en humedal pajonal), con cuatro a seis ejemplares capturados. El ratón orejado amarillo fue registrado también en dos de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo; y con un IDR variando entre 1,7% (en el ambiente de matorral) a 3,3% (en quebrada), con un ejemplar capturado en los ambientes mencionados (**Tabla N° 7-9**). En los ambientes de humedal salar, herbazal y área desprovista de vegetación costra salar, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 7-9**).

Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. Décimo cuarta campaña de monitoreo (verano 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 / 30	0	0 / 30	0	0 / 60	10,0	6 / 60	6,7	4 / 60	0	0 / 30
Ratón orejado amarillo	0	0 / 30	0	0 / 30	0	0 / 60	0	0 / 60	1,7	1 / 60	3,3	1 / 30

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.

7.2.3 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 “Mantenimiento 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 2022 y verano 2023, 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 2022 y verano 2023 corresponden al decimotercer (M13) y decimocuarto (M14) 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 **18, 19 y 20 de agosto de 2022**, invierno, y **14, 15 y 16 de marzo de 2023**, verano post-lluvias, fechas entre las que se llevó a cabo la campaña en terreno del monitoreo de invierno 2022 y verano 2023 de esta variable, respectivamente.

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.

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 km², 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 incorporadas de forma voluntaria para su inspección y registro (**Figura N° 8-1**).

Cabe mencionar que, vegas de Tilopozo ha sido considerado desde el primer monitoreo del PMB y ha sido comunicado a través de los reportes semestrales e informes anuales del PMB.

8.1.2 Estaciones de Monitoreo

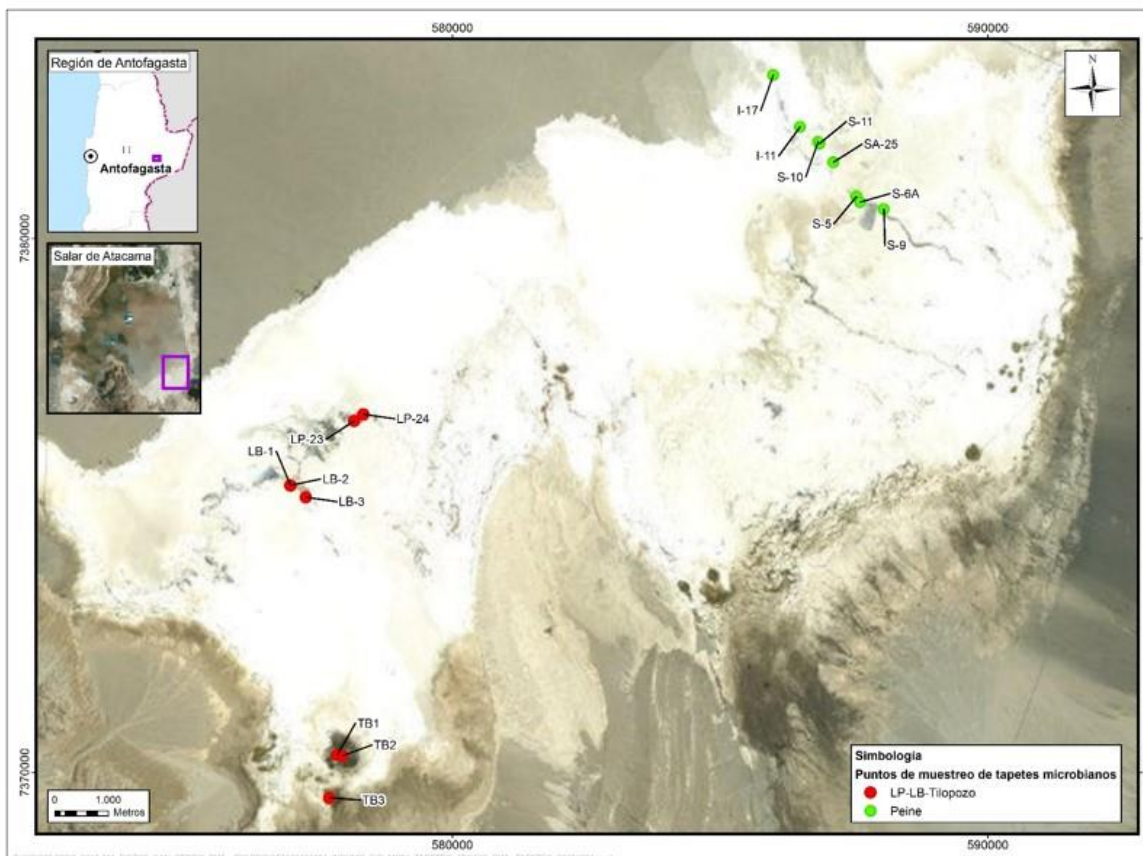
En el área de estudio se emplazó entre los sectores un total de 16 estaciones de monitoreo, cuya codificación asignada corresponde a las lagunas y pozas de referencia en donde se ubican las estaciones. Se presenta además las coordenadas y plano de ubicación de las estaciones de monitoreo (**Tabla N° 8-1; Figura N° 8-1**). Como ya fuera mencionado, para el sector vegas de Tilopozo se incorporaron voluntariamente por parte del proyecto 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)	
		Norte	Este
Sector Peine	S-5	7.380.789	587.547
	S-6A*	7.380.684	587.618
	S-9	7.380.551	588.061
	SA-25	7.381.430	587.117
	S-10	7.381.812	586.833
	S-11*	7.381.778	586.859
	I-11	7.382.095	586.494
	I-17	7.383.061	585.995
Sector La Punta y La Brava	LP-23	7.376.584	578.169
	LP-24	7.376.709	578.347
	LB-1	7.375.376	576.985
	LB-2	7.375.378	576.978
	LB-3*	7.375.157	577.270
Sector Tilopozo	TB1*	7.370.329	577.852
	TB2*	7.370.316	577.952
	TB3*	7.369.526	577.705

*Estaciones adicionales voluntarias 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.

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 18, 19 y 20 de agosto de 2022, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 14, 15 y 16 de marzo de 2023, 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).

Para tapetes superficiales se utilizó espátula metálica con la cual se extrajo una muestra expuesta de área húmeda, en tanto, para tapetes sumergidos (bajo la columna de agua) se utilizaron testigos de PVC de 5 cm de diámetro y 20 cm de largo. A continuación, se realizó *in situ* la caracterización pigmentaria de cada tapete, el conteo de las capas estratificadas, la determinación del espesor total a través de una regla milimetrada y el registro fotográfico de cada tapete.

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**).

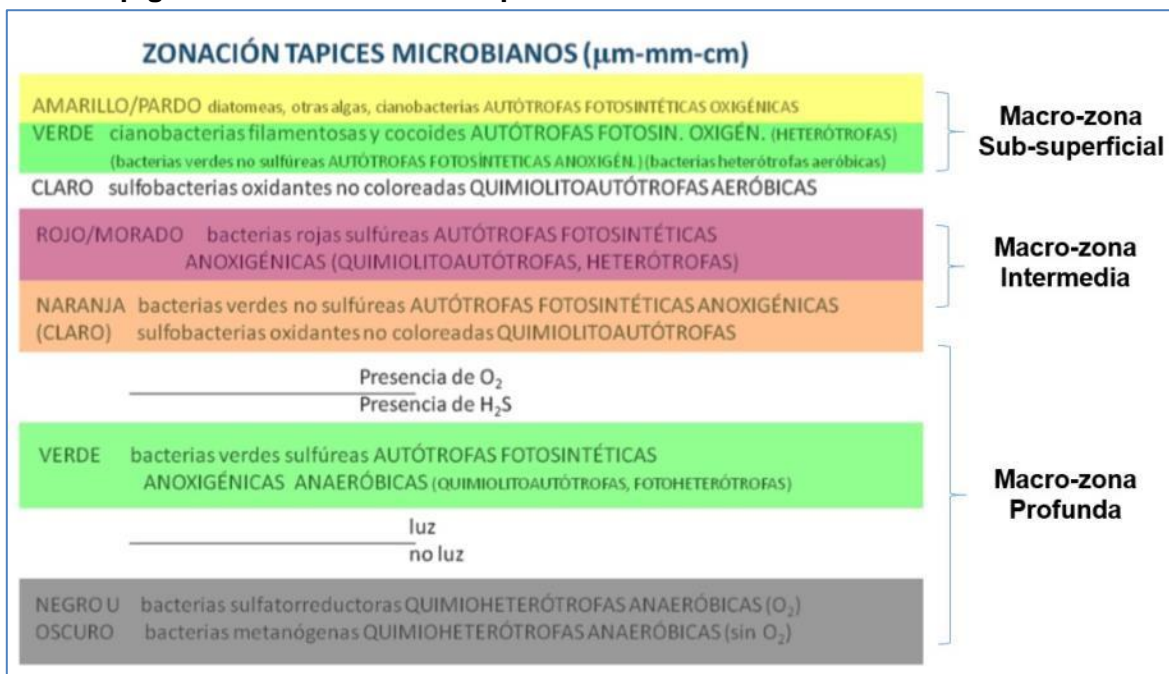
Para la caracterización de la estructura pigmentaria de los tapetes y análisis de los resultados se siguieron los criterios teóricos de zonas macroscópicas pigmentadas, propuestas por Riding y Awramik (2000) y Konhauser (2007):

- 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 a 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).

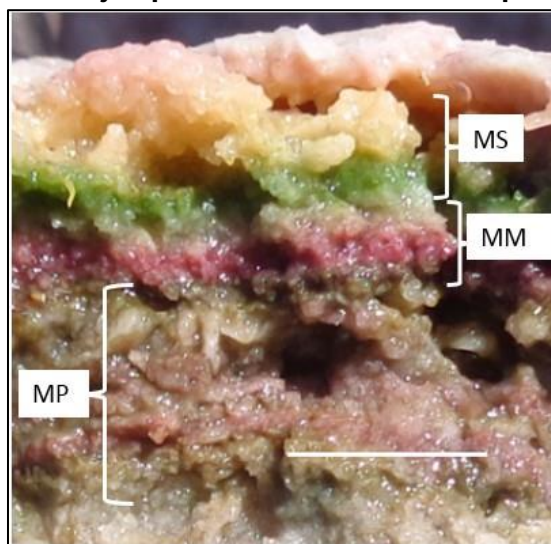
Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.



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 18, 19 y 20 de agosto de 2022, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 14, 15 y 16 de marzo de 2023, 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 2022

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de invierno 2022.

8.2.1.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña invierno 2022, se analizaron *in situ* muestras de las 16 estaciones de monitoreo distribuidas en el sector Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, detectándose la presencia de tapetes microbianos en 11 de las 16 estaciones evaluadas (68,8%). No detectándose la presencia de tapetes en las estaciones asociadas al Sector Peine (S-5 y S-10) y en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3).

Entre las 11 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, 5 de ellas (45,5%), presentaron tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a las estaciones S-6A, S-9, S-11, I-17 y LP-23 y las 6 estaciones restantes con un 54,5%, presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (0,1 – 6 cm), las que correspondieron a las estaciones SA-25, I-11, LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3. En esta campaña, no se reportaron estaciones sólo con presencia de tapetes sumergidos (**Tabla N° 8-2**).

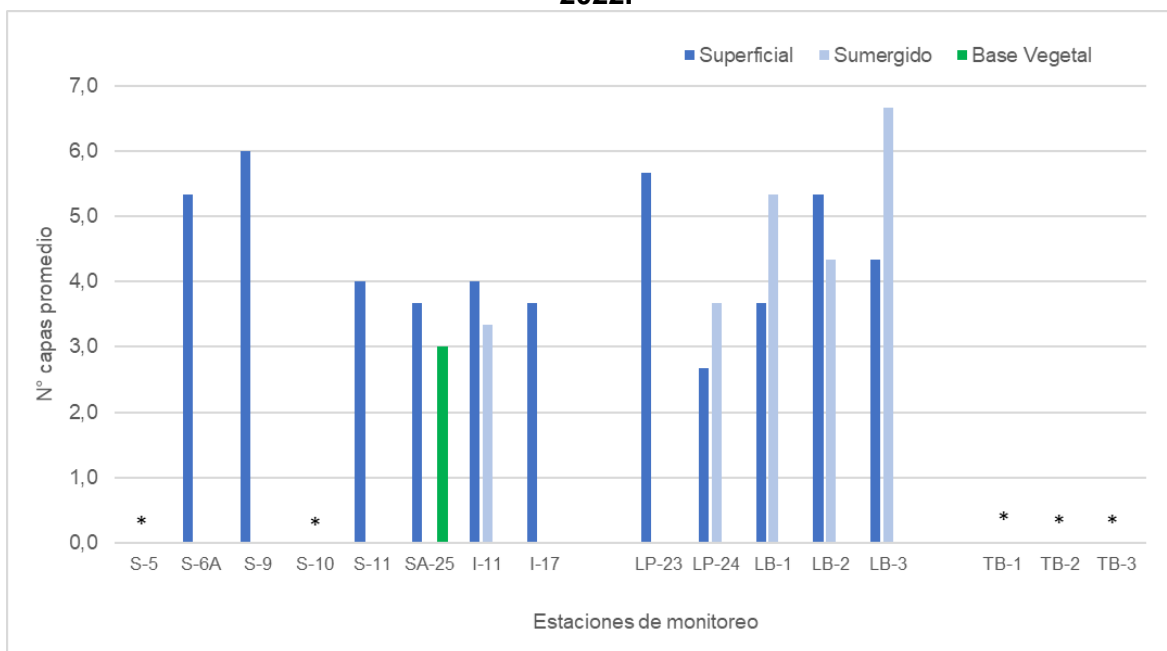
Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. Invierno 2022.

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	5	45,5
Estaciones con Tapetes sumergidos	0	0,0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	6	54,5
Total Estaciones	11	100

Fuente: Elaboración propia

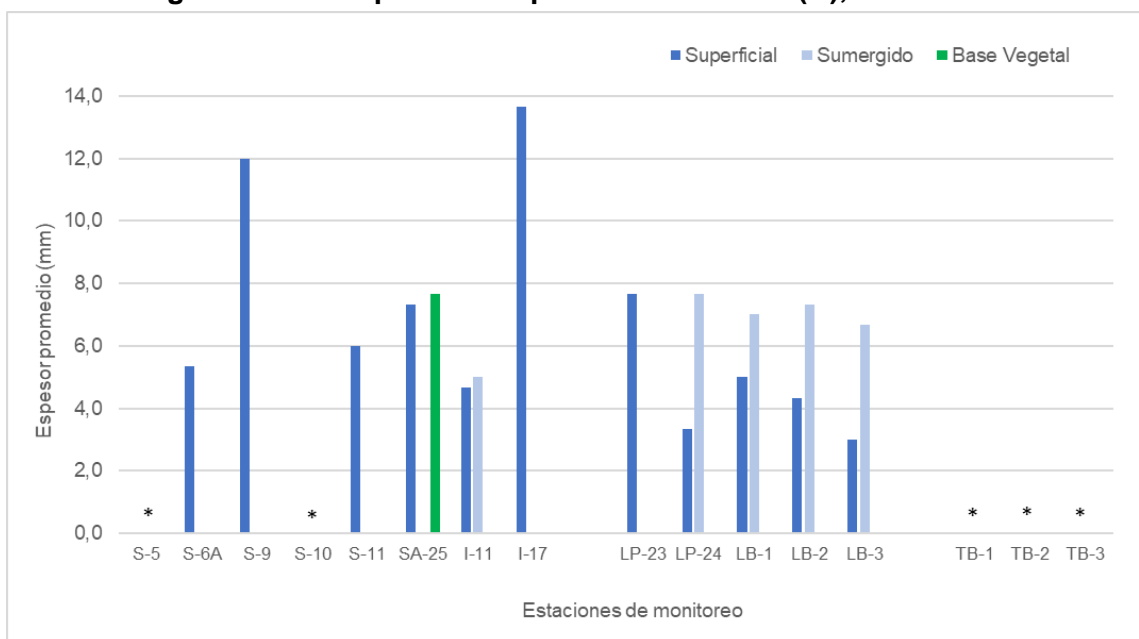
A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en 3 estaciones de monitoreo (I-11, LP-23, LB-1) y de evaporitas en una estación de monitoreo (LP-24).

Tomando en cuenta los sectores evaluados y considerando todos los tapetes muestreados (superficiales planos y/o coriáceos) por estación de monitoreo, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación S-9 (Laguna Salada) con 6,0 capas, mientras que, el menor valor fue registrado en LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 3,2 capas (**Figura N° 8-3**). Respecto a los tapetes de planicies expuestas (Superficial), el mayor número de capas promedio, fue detectado en S-9 (Laguna Salada) con 6,0 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) con 2,7 en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en LB-3 (Laguna La Brava) con 6,7 y menor en I-11 (Laguna Interna) con 3,3. Por último, en los tapetes de base vegetal de textura coriácea, se observaron 3,0 capas en promedio (**Figura N° 8-3**).

Figura N° 8-3. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2022.

(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de monitoreo. Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, y considerando todos los tapetes muestreados (superficiales planos y/o coriáceos) por estación de monitoreo, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en I-17 (Laguna Interna), con 13,7 mm, mientras que, el menor valor promedio fue registrado en I-11 (Laguna Interna) y LB-3 (Laguna La Brava) con 4,8 mm (**Figura N° 8-4**). Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en I-17 (Laguna Interna), con 13,7 mm, mientras que el menor valor promedio fue registrado en LB-3 (Laguna La Brava) con 3,0 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LP-24 (Laguna La Punta) con 7,7 mm y el menor fue en I-11 (Laguna Interna) con 5,0 mm. Respecto a los tapetes de base vegetal de textura coriácea en SA-25 (Laguna Saladita), el espesor fue de 7,7 mm promedio (**Figura N° 8-4**).

Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos (□), Invierno 2022.

(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de monitoreo.

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 Peine y Sector La Punta-La Brava, mostró 3 tipos de tipologías:

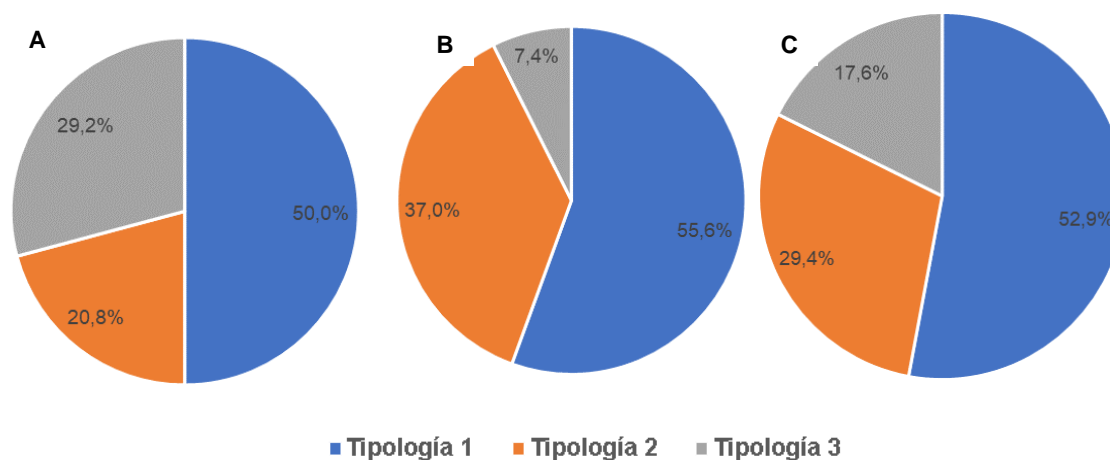
- **Tipología 1:** presentó tres macrozonas pigmentarias y se observó tanto en el Sector Peine, como en el Sector La Punta y La Brava, siendo la tipología más frecuente entre los sectores. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color púrpura y/o rosado, y capas profundas con tonalidades marrón y/o verde claro (**Tabla N° 8-12** y **Tabla N° 8-24**).
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macrozonas y fue detectado en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, siendo la segunda tipología más frecuente en este último. Estos tapetes presentaron principalmente macrozonas subsuperficiales color verde y/o naranja, seguidas de capas color rosado y/o púrpura, seguida de la macrozona Profunda de color marrón y/o tonalidades verde claro (**Tabla N° 8-13** y **Tabla N° 8-25**).

- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macrozona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranja, amarillo y rosado, en el Sector Peine y La Punta-La Brava (**Tabla N° 8-14 y Tabla N° 8-26**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes en los sectores Peine y La Punta-La Brava, se observó que la Tipología 1 presentó los mayores porcentajes con valores de 50,0 y 55,6%, respectivamente (**Figura N° 8-5 A y B**). Las Tipologías 2 y 3, mostraron un 20,8% y 29,2%, en el sector Peine, respectivamente; mientras que en el Sector La Punta-La Brava, dichas tipologías se reportaron en un 37,0% y 7,4%, respectivamente.

En el mismo contexto, al considerar el área total de estudio, se observó que la Tipología 1 fue predominante entre los tapetes con un 52,9%, seguido de Tipología 2 con 29,4% y finalmente la Tipología 3 con 17,6% (**Figura N° 8-5 C**).

Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2022.

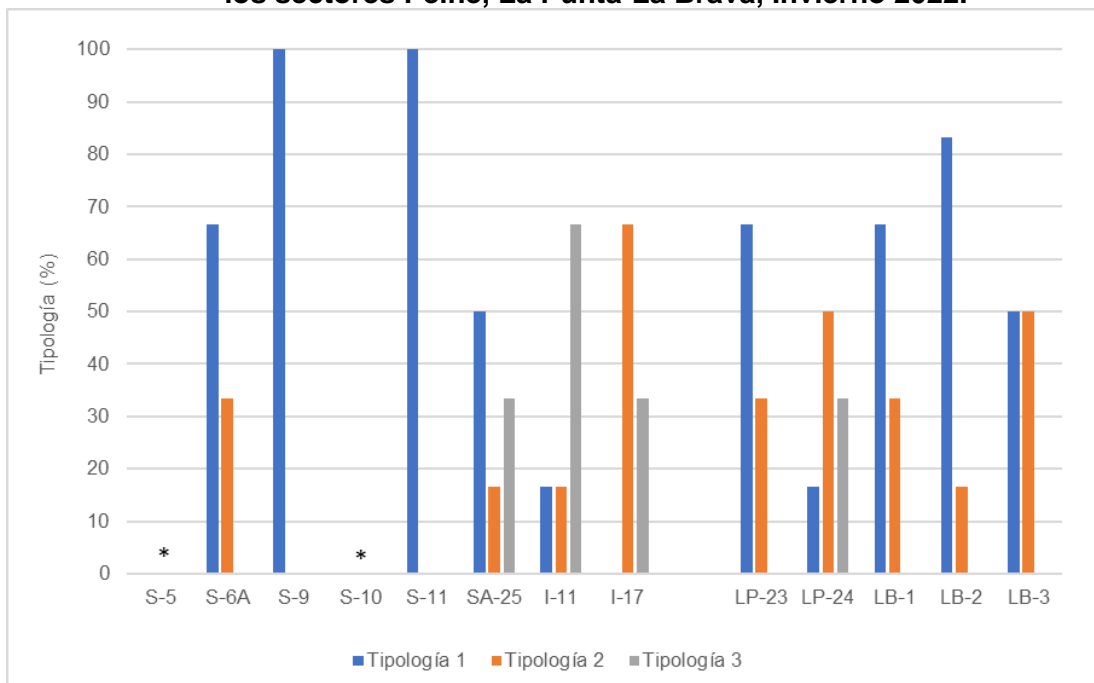


Fuente: Elaboración propia

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**). Se destaca la presencia de tapetes de Tipología 1 en el Sector Peine, principalmente en las estaciones S-9 y S-11 con un 100%, seguido de S-6A con 67% y SA-25 con 50% de representatividad. Similar, fue observado en el Sector La Punta-La Brava, en el cual se distingue la presencia de tapetes de Tipología 1, en un 83% en la estación LB-2. Respecto de la Tipología 2, se observó una alta representatividad en las estaciones I-17, en el Sector Peine, con 67% y en el Sector La Punta-La Brava, en las estaciones LP-24 y LB-3 con 50%. Por último, la

Tipología 3, fue mayormente representada en el Sector Peine, especialmente en I-11 con un 67%. En tanto, en el Sector La Punta-La Brava en LP-24, esta tipología exhibió un 33%.

Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava, Invierno 2022.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

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 Salada (S-9).
- 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 2022, 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 2,0 y 16,0 mm observada en LP-24 e I-17, respectivamente, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 2 y 7 en I-11 y LP-24, y LB-3, respectivamente (**Tabla N° 8-3**).

Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2022.

Sector	Estación de Monitoreo	Tipología (%)			Morfología principal	Espesor (mm)		Número de capas	
		1	2	3		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Peine	S-5	Sin tapetes							
	S-6A	67	33	0	Plana	6	5	6	5
	S-9	100	0	0	Plana	13	11	6	6
	S-10	Sin tapetes							
	S-11	100	0	0	Plana	8	5	4	4
	SA-25	50	17	33	Plana y coriácea	11	5	5	3
	I-11	17	17	67	Plana y coriácea	6	4	5	2
	I-17	0	67	33	Plana	16	10	5	3
La Punta-La Brava	LP-23	67	33	0	Plana	9	6	6	5
	LP-24	17	50	33	Plana y coriácea	8	2	5	2
	LB-1	67	33	0	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginoso.	8	3	6	3
	LB-2	83	17	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	8	4	6	3
	LB-3	50	50	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	8	3	7	3
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes							
	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 tres sectores evaluados (Peine, La Punta - La Brava y vegas de Tilopozo).

8.2.1.3.1 Sector Peine

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en las estaciones de monitoreo de la laguna Salada en las estaciones S-6A y S-9; en la laguna Saladita en las estaciones S-11 y SA-25; y en la laguna Interna en I-11 e I-17. En tanto, en la estación I-11 se detectó la presencia de microbialitos. Por otro lado, en las estaciones de monitoreo S-5 y S-10, no se detectó la presencia de tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

En relación con el número de capas promedio (considerando tanto tapetes superficiales planos como sumergidos coriáceos) por estación de monitoreo, la Laguna Salada (S-9)

presentó tapetes con mayor estratificación en promedio (6,0 capas). Por el contrario, el menor número de capas en promedio fue observado en la Laguna Saladita (SA-25) con 3,3 capas (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes (considerando tanto superficiales planos como sumergidos coriáceos), según el sector evaluado, se observó que la Laguna Interna presentó los valores máximos. Se destaca que en la Laguna Interna variaron entre un máximo promedio de 13,7 mm en la estación I-17 y un mínimo promedio de 4,8 mm en la estación I-11. En la Laguna Salada, se observó el segundo valor máximo promedio, 12,0 mm en S-9 y un mínimo promedio de 5,3 mm en S-6A. Finalmente, en la Laguna Saladita, estos valores fluctuaron entre un máximo promedio de 7,5 mm en la estación SA-25 y un mínimo promedio de 6,0 mm en la estación S-11 (**Figura N° 8-4**).

En general, en el Sector Peine, se observó entre las estaciones y lagunas, continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. Excepto por las estaciones SA-25 (Laguna Saladita) e I-11 (Laguna Interna), las que presentaron tapetes con una morfología plana y esferoidal (tapetes coriáceos). En relación a la tipología, se observó que la Tipología 1 fue la más frecuente (50%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad verde (~33%) en la macro-zona subsuperficial, púrpura (~58%) en la macro-zona intermedia, y marrón (~92%) en la macro-zona profunda, las que más predominaron (**Tabla N° 8-13**). Los tapetes mejor estructurados en cuanto a las capas macroscópicas definidas visualmente se detectaron principalmente en la Laguna Salada, en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna Interna.

A continuación, se presentan las características de la estructura de pigmentación de los tapetes microbianos presentes en cada estación de monitoreo del Sector Peine.

8.2.1.3.1.1 Laguna Salada: Estación de monitoreo S-5

La estación de monitoreo se encuentra ubicada a una altura geográfica de 2317 msnm, se caracterizó por presentar un borde lagunar quebradizo, irregular, con presencia de vegetación acuática y una profundidad promedio de 15,3 cm (**Fotografía N° 8-2 a**). En la estación S-5, no se observó desarrollo de tapetes microbianos, tanto en el borde superficial externo como en el borde sumergido de la laguna (**Fotografía N° 8-2 b**). Además, no se registraron ni microbialitos ni evaporitas.

Fotografía N° 8-2. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, invierno 2022.

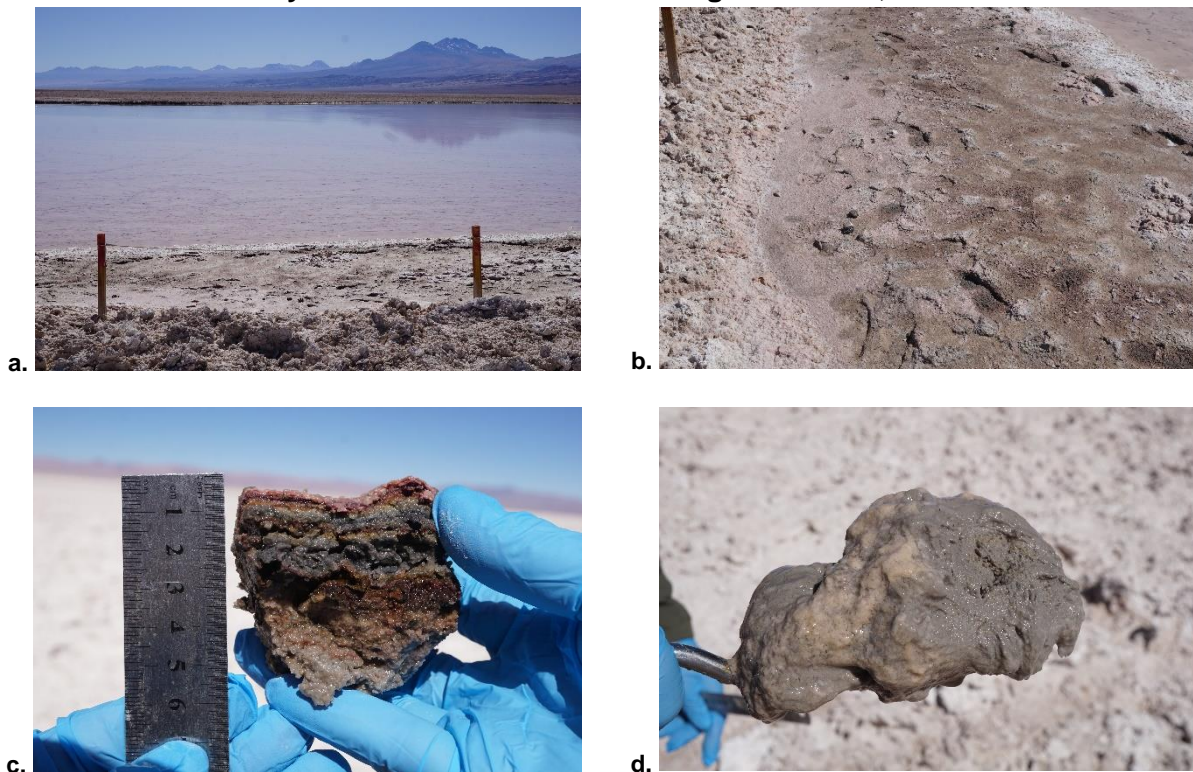
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.2 Laguna Salada: Estación de monitoreo S-6

La estación de monitoreo se encuentra ubicada a una altura geográfica de 2310 msnm, se caracterizó por presentar áreas humedecidas y en menor medida sumergidas, de una morfología irregular, con áreas de coloración con áreas de coloración gris-rosada con costra salina (costra salina ~1,5 mm), y una profundidad promedio de 0 cm (**Fotografía N° 8-3 a**). La superficie de la estación de monitoreo se observó irregular, con marcas de huellas humanas, con ausencia de vegetación acuática y presencia de plumas (**Fotografía N° 8-3 b**).

En la planicie expuesta del área, se observó continuidad espacial y morfología plana de las capas de los tapetes en la estación de monitoreo. En general, los tapetes expuestos observados se caracterizan por presentar una textura granulosa por la presencia de sal e hidratada (**Fotografía N° 8-3 c**). Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (2 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes (**Fotografía N° 8-3 d**).

Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo S-6A; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2022.



Fuente: Elaboración propia

Dos de los tres tapetes muestreados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1, mientras que uno de ellos evidenció la macro-zona Subsuperficial e Intermedia, correspondiendo a Tipología 2. Se observó continuidad espacial y morfología plana de las capas de los tapetes en la estación de monitoreo.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes correspondieron a naranja y verde y en menor medida a amarillo. En cuanto a la zona Intermedia, predominó la tonalidad púrpura seguido de rosado. En tanto, en la zona Profunda se observaron capas marrón o verde claro (**Tabla N° 8-4**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 6 mm, con un número de capas entre 5 y 6.

Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S6-A. (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	Rosado	Verde
		Amarillo	Verde	Amarillo
	Intermedia	Rosado	Rosado	Púrpura
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	S/C	Verde claro
Total de laminaciones		6	5	5
Espesor (mm)		5	6	5
Profundidad (cm)		0	0	0

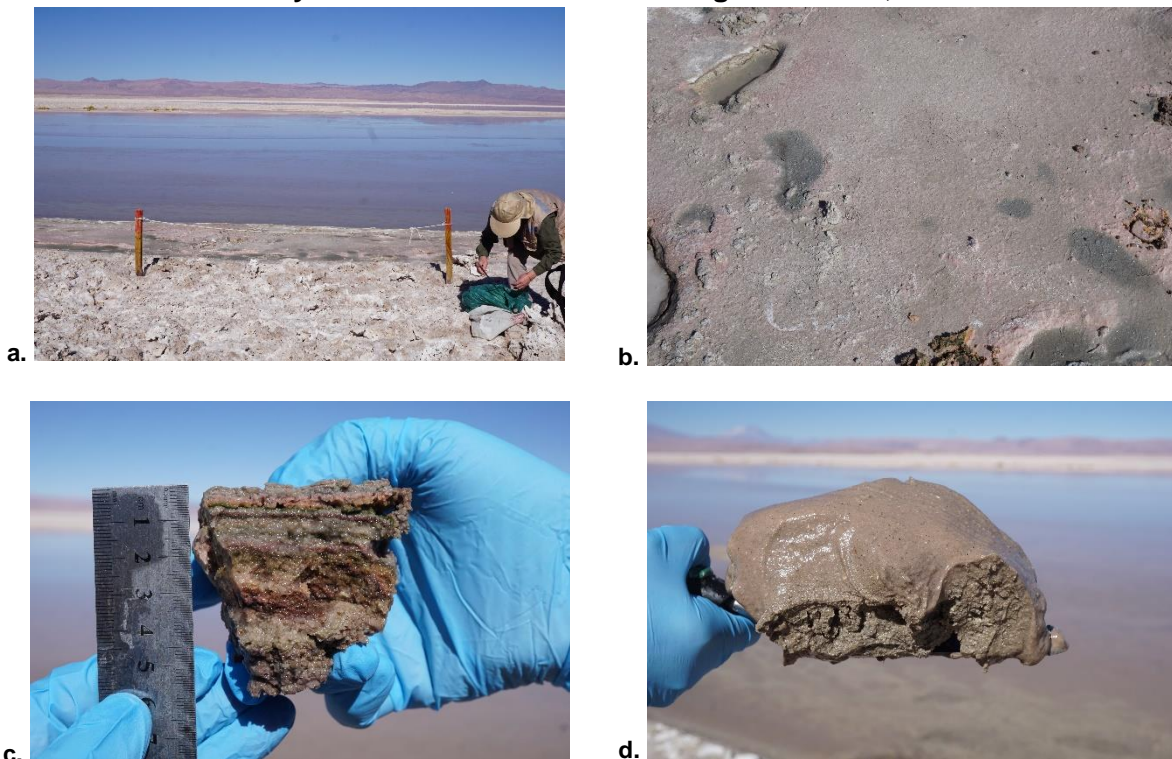
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.3 Laguna Salada: Estación de monitoreo S-9

La estación S-9 se ubica en un afluente dentro de la laguna Salada, a una altura geográfica de 2308 msnm, con un flujo bajo y de aguas transparentes, una profundidad promedio de 9 cm, con ausencia de vegetación acuática y presencia de plumas. Próximo al área de monitoreo se observó presencia de aves. La planicie expuesta del borde de la laguna, donde se ubica la estación de monitoreo, exhibe una superficie lisa alterada por huellas humanas, con presencia de zonas de pigmentación gris rosada en el borde de la laguna (**Fotografía N° 8-4 a y b**).

Por otra parte, la planicie expuesta desde donde se obtuvieron las muestras de tapetes exhibe una superficie lisa, húmeda, y áreas de coloración predominantemente rosado, con presencia de costra salina (~2,3 mm) (**Fotografía N° 8-4 a, b y c**). Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo (**Fotografía N° 8-4 c**). Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (6,2 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes, sólo una monocapa de coloración púrpura y amarillo (**Fotografía N° 8-4 d**).

Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo S-9; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2022.



Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes observados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial predominaron las tonalidades naranja, verde y amarillo, mientras que en la zona Intermedia predominó la tonalidad púrpura seguido de rosado. En tanto, en la zona Profunda predominaron únicamente capas marrón (**Tabla N° 8-5**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 11 y 13 mm, con un número de capas de 6.

Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-9. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra gris	Costra naranja	Costra naranja
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Naranja	Naranja
		Naranja	Verde	Amarillo
		Verde	Amarillo	Verde
		Amarillo		
	Intermedia	Púrpura	Rosado	Rosado
			Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		6	6	6
Espesor (mm)		11	12	13
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.4 Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-10

La estación S-10 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2312 msnm, la estación de monitoreo presenta una costra salina que bordea la laguna, se observa además vegetación acuática en el centro de la laguna, presencia de aves, y con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 8-5 a**). Luego de inspeccionar el área, se tomaron muestras de sedimento (12,5 cm promedio de profundidad), en las cuales no se observó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-5 b**). En la presente campaña, no se registraron tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2022.

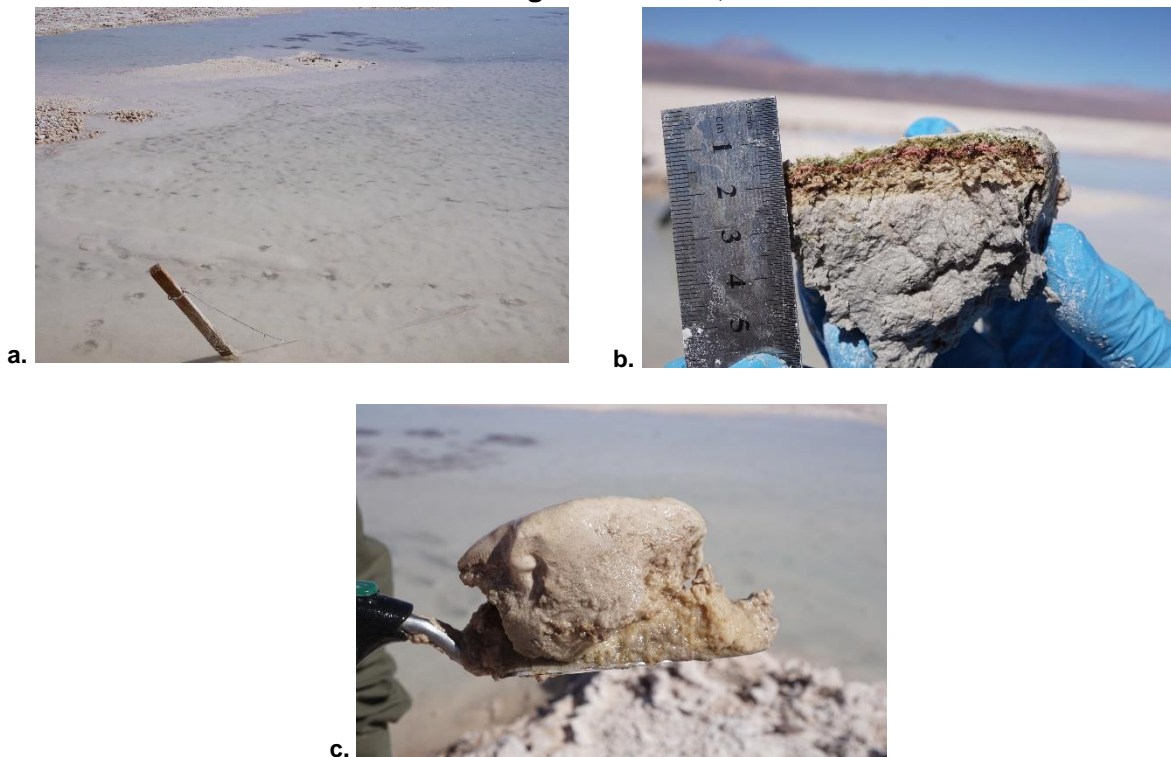
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.5 Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-11

La estación S-11 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2313 msnm, la estación de monitoreo presenta una costra salina que bordea la laguna, se observa además vegetación acuática en el centro de la laguna, presencia de aves, con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 8-6 a**).

Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el interior de la laguna, la que exhibe una superficie irregular, húmeda; sin presencia de huellas humanas, y áreas de coloración predominantemente grisáceo, con presencia de costra salina (~1,0 mm). Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo (**Fotografía N° 8-6 b**). Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (6,2 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes (**Fotografía N° 8-6**). Cabe señalar que, las estaciones S-10 y S-11 son similares, ambas estaciones de monitoreo se encuentran ubicadas una de otra a 50 m de distancia, en las mismas condiciones de hábitat.

Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano; c. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2022.



Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes muestreados presentaron las tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondiente a Tipología 1. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (6 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la única tonalidad observada fue verde, por otro lado, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a rosado y púrpura. En tanto, en la zona Profunda, se observaron sólo capas de pigmentación marrón (**Tabla N° 8-6**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 8 mm, con un número de capas 4.

Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas).

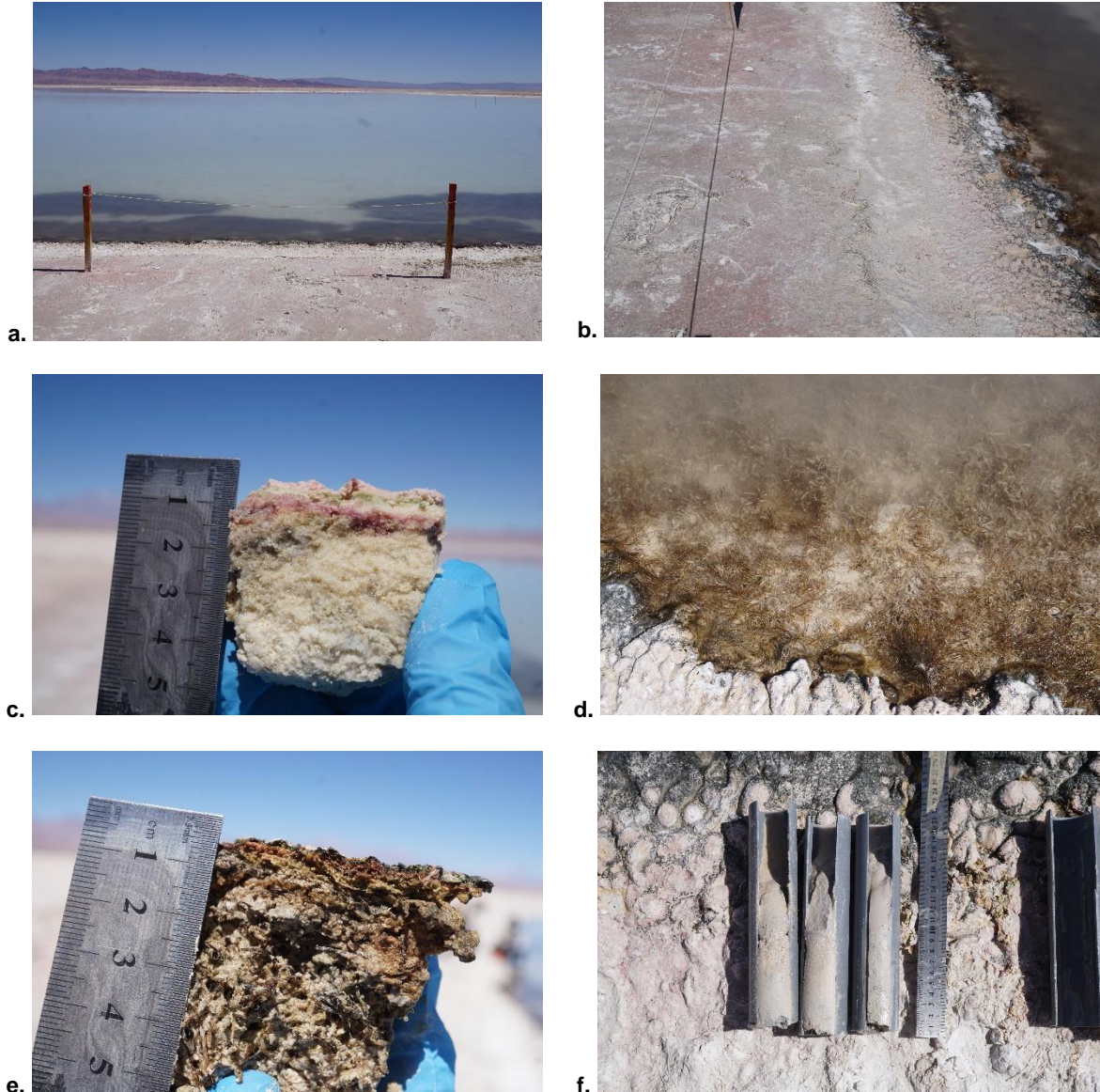
Tapetes Sumergidos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra salina	Costra salina	Costra salina
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
Profunda	Marrón	Marrón	Marrón	
Total de laminaciones		4	4	4
Espesor (mm)		8	5	5
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.6 Laguna Saladita: Estación de monitoreo SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2310 msnm. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña, sin flujo y con aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 8-7 a**). El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, próxima al borde de la laguna, con costra salina (~1,0 mm) y tonalidades rosado y blanco **Fotografía N° 8-7 b y c; Tabla N° 8-7**), y (ii) una superficie coriácea, cubierta parcialmente con costra, en el borde de la laguna, con formaciones esferoidales (tapetes microbianos asociados a una base vegetal), con tonalidades verde oscuro (**Fotografía N° 8-7 d y e; Tabla N° 8-8**); ambas sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esferoidal, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (18,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes (**Fotografía N° 8-7 f**).

Fotografía N° 8-7. a. Estación de monitoreo SA-25; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2022.



Fuente: Elaboración propia

De los tapetes superficiales planos, una muestra presentó dos macro-zonas, una Intermedia y Profunda, correspondiente a Tipología 2 y dos muestras presentaron solo una macro-zona (Subsuperficial) correspondiente a Tipología 3.

Respecto a la pigmentación, las tonalidades predominantes en la zona Subsuperficial fueron verde y amarillo y en menor medida naranja. Las tonalidades observadas en la zona Intermedia fueron rosado y púrpura. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 5 y 10 mm, mientras que, el número de capas fue de entre 3 a 5 (**Tabla N° 8-7**).

Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Amarillo	Amarillo
		Amarillo	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedia	Rosado	S/C	S/C
		Púrpura	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		5	3	3
Espesor (mm)		10	7	5
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes coriáceos (esferoidales y asociados a base vegetal), en todas las muestras se detectaron tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, se observó únicamente la tonalidad verde oscuro, por otro lado, en la zona Intermedia predominó el color púrpura y luego rosado. Finalmente, en la zona Profunda, predominó sólo la tonalidad marrón (**Tabla N° 8-8**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 11 mm, con un número de capas de 3. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0.1 y 2 cm

Tabla N° 8-8. Caracterización de las capas de tapetes microbianos asociados a base vegetal en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).

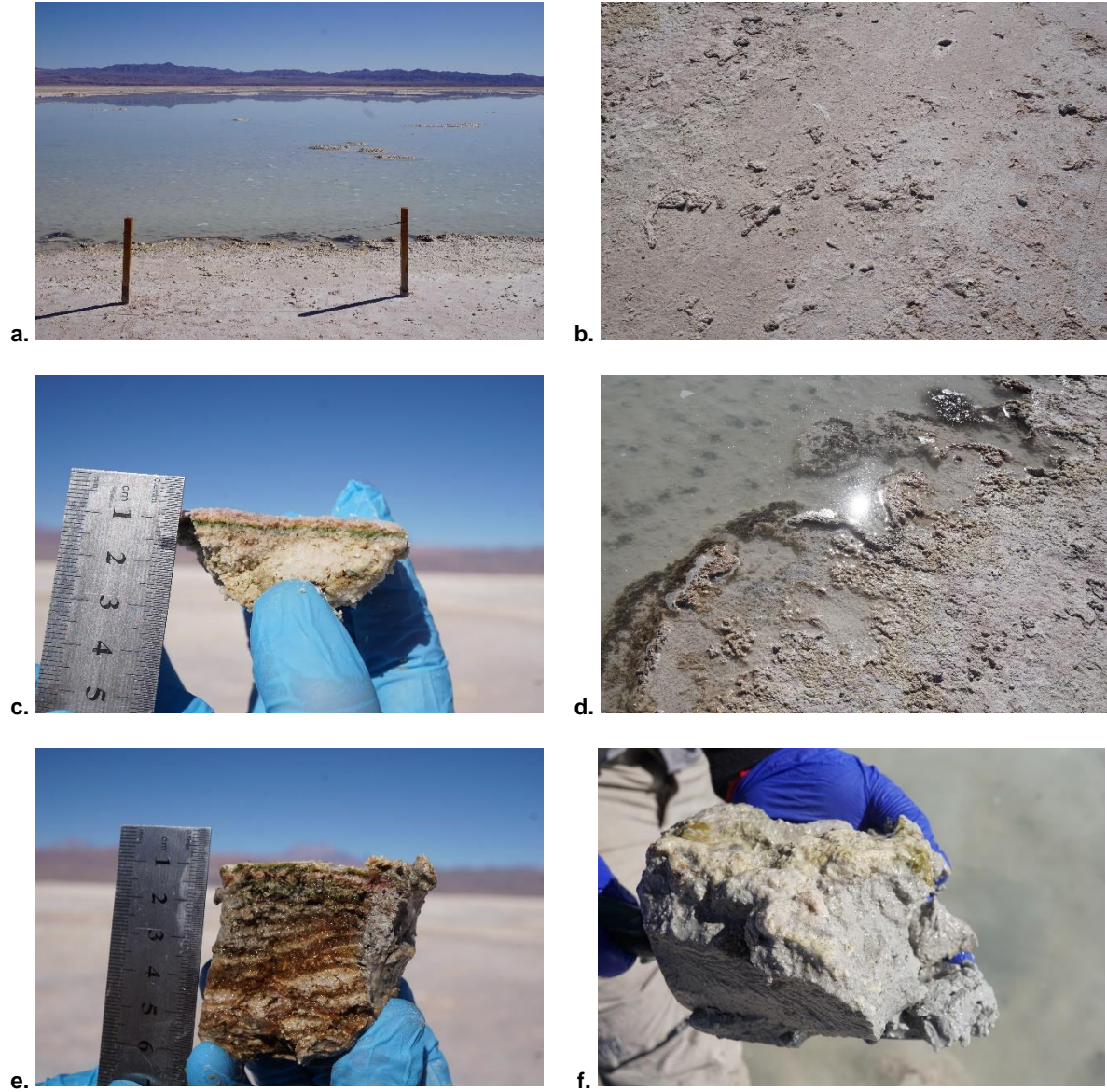
Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro
	Intermedia	Púrpura	Púrpura	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		3	3	3
Espesor (mm)		11	7	5
Profundidad (cm)		0,5	2	0,1

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.7 Laguna Interna: Estación de monitoreo I-11

La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2307 msnm, presenta bajo flujo y aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas, ni vegetación ribereña. La estación de monitoreo, presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~2,0 mm) y coloración blanca, rosado y amarillento (**Fotografía N° 8-8 a, b y c; Tabla N° 8-9**), y (ii) una superficie coriácea, ligeramente humedecida, ubicada en el borde de la laguna y con formaciones levemente esferoidales, con tonalidades naranjas (**Fotografía N° 8-8 d y e; Tabla N° 8-10**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esferoidal, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (13,4 cm de profundidad), en este no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-8 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-8 g, Tabla N° 8-27**).

Fotografía N° 8-8. a. Estación de monitoreo I-11; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna Interna, invierno 2022.





g

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron en todas las muestras una macro-zona, Subsuperficial (Tipología 3). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron, por igual, rosado, naranja, amarillo y verde. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número de 4 capas (**Tabla N° 8-9**).

Tabla N° 8-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo I-11. (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	Rosado
		Naranja	Naranja	Naranja
		Amarillo	Amarillo	Amarillo
		Verde	Verde	Verde
	Intermedia	S/C	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		4	4	4
Espesor (mm)		4	4	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes superficiales coriáceos, una de las muestras presentó las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), el segundo tapete presentó dos macro-zonas (Subsuperficial y Profunda) y un tercer tapete presentó sólo la macro-zona Subsuperficial, perteneciendo así, estos tapetes, a las Tipologías 1, 2 y 3, respectivamente.

En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue naranja y en menor medida verde, verde oscuro, amarillo y rosado. En la zona Intermedia predominaron tanto las tonalidades púrpura y rosada. En tanto, 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 capas entre 2 y 5. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1,5 y 6 cm (**Tabla N° 8-10**).

Tabla N° 8-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra gris	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Rosado
		Verde oscuro		Amarillo
	Intermedia	Rosado	S/C	S/C
		Púrpura		
	Profunda	Marrón	Marrón	S/C
	Total de laminaciones		5	2
Espesor (mm)		6	4	5
Profundidad (cm)		1,5	6	2

Fuente: Elaboración propia

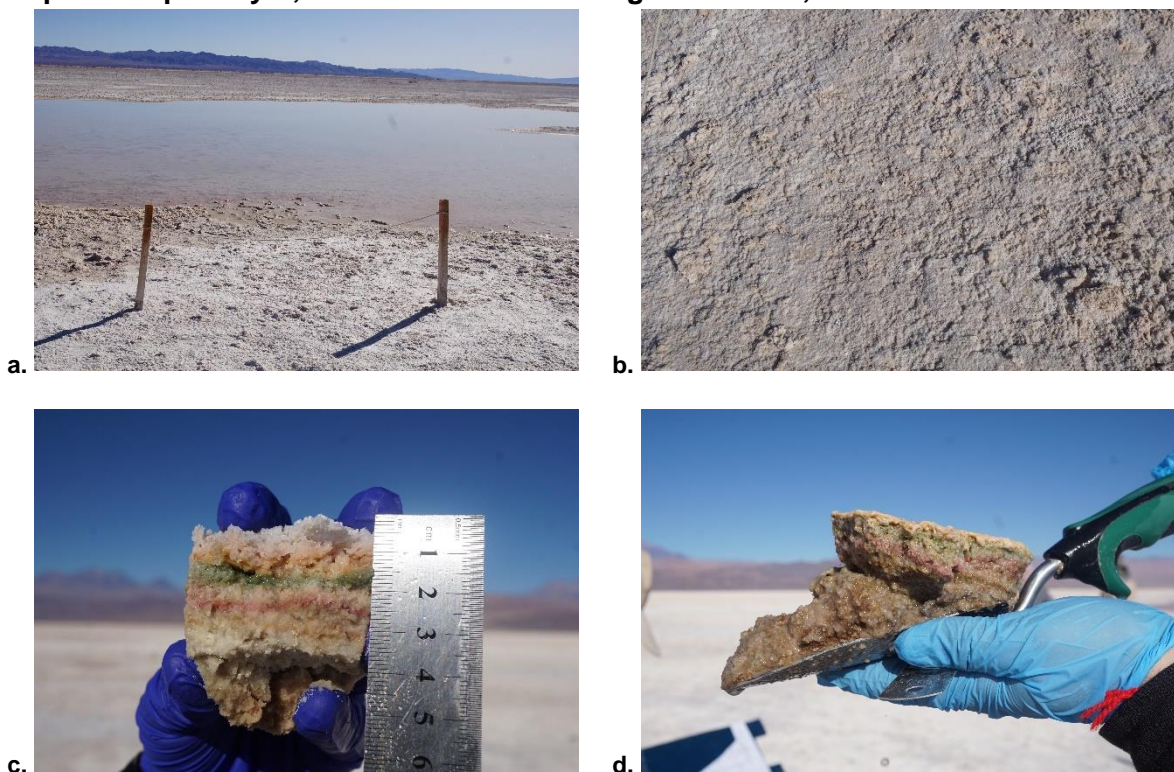
8.2.1.3.1.8 Laguna Interna: Estación de monitoreo I-17

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2303 msnm, sin flujo y con aguas transparentes, no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña. La estación de monitoreo en la presente campaña Invierno 2022, se encontró sin agua superficial también con un menor espejo de agua en la laguna respecto de la campaña de monitoreo anteriores (**Fotografía N° 8-9 a y b**). Cabe mencionar, que la superficie de la estación de monitoreo originalmente (invierno 2016) correspondía a una planicie expuesta en el borde de la laguna sin cubierta de agua.

La estación de monitoreo se caracterizó por presentar una planicie expuesta cercana al borde de la laguna, rugosa e irregular, con áreas de coloración predominantemente blanca-beige, con costra salina (~6,0 mm), y sin huellas humanas (**Fotografía N° 8-9 b y c**).

Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10,4 cm de profundidad), en este no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-9 d**).

Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano y d, Muestra sedimento. Laguna Interna, invierno 2022.



Fuente: Elaboración propia

Dos de los tapetes observados, presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial e Intermedia), de Tipología 2. Por otro lado, una muestra presentó una tres maco-zona (Subsuperficial), correspondiendo a Tipología 3. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

En la zona Subsuperficial, predominaron, equitativamente, las tonalidades naranja, verde y amarillo. En la zona Intermedia, predominó la tonalidad rosada. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 16 mm, con un número entre 3 y 5 capas (**Tabla N° 8-11**).

Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (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
		Amarillo	Amarillo	Naranja
		Verde	Verde	Verde
		Amarillo		
	Intermedia	Rosado	S/C	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		5	3	3
Espesor (mm)		16	10	15
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.9 Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector Peine)

En el Sector Peine, en invierno 2022, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna Salada (S-6A y S-9), Saladita (S-11 y SA-25) e Interna (I-11). Presentando, de manera frecuente, en la macro-zona subsuperficial una capa verde o verde oscuro, que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que podrían corresponder a cianobacterias filamentosas y microalgas (*i.e.* clorofíceas). En tanto en la macrozona intermedia las tonalidades fueron púrpura y rosado, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos los cuales podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macrozona profunda predominaron las capas de coloración marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos (**Tabla N° 8-12**).

Tabla N° 8-12. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2022.

Estación/Muestra		S6-A P		S-9 P			S-11 P			SA-25 C			I-11 C	
		1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
Macrozona	Subsuperficial	Verde	■	■	■	■	■	■	■					
		Naranja	■	■	■	■	■						■	
		Amarillo	■	■	■	■	■							
		Rosado			■									
		Verde oscuro									■	■	■	■
	Intermedia	Rosado	■			■	■	■	■	■			■	■
		Púrpura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
	Profunda	Marrón	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Verde claro		■										

C: Tapete coriáceo; BV: Tapete Base Vegetal
 Fuente: Elaboración propia

También se observaron tapetes con Tipología 2 en las Lagunas Salada, Saladita e Interna del Sector Peine (**Tabla N° 8-13**).

En Laguna Salada (S6-A), los tapetes presentaron frecuentemente la macrozona subsuperficial de capas verde y en menor prevalencia naranja y rosado, y en la macro-zona intermedia, capas de pigmentación rosada y púrpura. En Laguna Saladita (SA-25), los tapetes presentaron frecuentemente la macrozona subsuperficial de capas verde y en menor prevalencia amarillo y rosado, y en la macro-zona intermedia, capas de pigmentación rosada y púrpura. Respecto a Laguna Interna, la estación I-17, se caracterizó por exhibir una macrozona subsuperficial con capas de tonalidad verde y naranja, y en la macro-zona intermedia presentó capas de tonalidad rosada. Por otro lado, la estación I-11 presentó en la zona subsuperficial la tonalidad naranja y se detectó la macrozona profunda, con capas de pigmentación marrón.

Cabe destacar que, en la Tipología 2, las capas verdes observadas, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas, entre otras). En tanto en la macro-zona intermedia las tonalidades fueron rosado y púrpura, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que podrían corresponder bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominó la tonalidad marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos.

Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2022.

Estación/Muestra		S6-A P	SA-25 P	I-11 C	I-17 P	
		2	1	2	1	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde				
		Naranja				
		Rosado				
		Amarillo				
	Intermedia	Rosado				
		Púrpura				
	Profunda	Marrón				

P: Tapete plano; BV: Tapete Base Vegetal; C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

Además, se observó la presencia de tapetes de Tipología 3, especialmente en la Laguna Saladita (SA-25) y en la Laguna Interna (I-11 e I-17). En ambas estaciones, sólo se observó macro-zona Subsuperficial con tonalidades mayoritariamente verde, amarillo y naranja, y en menor medida rosado (Tabla N° 8-14).

Cabe mencionar, que estas capas podrían corresponder a microorganismos quimiolitautótrofos aerobios, tales como bacterias oxidantes sulfúreas (capas de tonalidad blanca), y microorganismos fotosintéticos autótrofos anoxigénicos (capas de tonalidad amarilla).

Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2022.

Estación/Muestra		SA-25 P		I-11 P			I-11 C	I-17 P
		2	3	1	2	3	3	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde						
		Naranja						
		Amarillo						
		Rosado						

P: Tapete plano
 Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.2 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 de microbialitos, mientras que en LP-24 se detectó la presencia de evaporitas.

En relación con el número de capas por estación de monitoreo (considerando tanto tapetes superficiales planos como sumergidos coriáceos), la Laguna La Punta presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, siendo de 5,7 capas para LP-23, mientras que la menor estratificación promedio también fue observada en la Laguna La Punta, con 3,2 capas para LP-24 (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, considerando tanto superficiales planos como sumergidos coriáceos, según el sector evaluado, se observó que la Laguna La Punta presentó el valor máximo de espesor, con 7,7 mm (LP-23), mientras que el menor valor promedio observado fue de 5,5 mm (LP-24). Por otro lado, en Laguna La Brava, el mayor espesor promedio observado fue de 6,0 mm (LB-1), mientras que el menor valor promedio registrado fue de 4,8 mm (LB-3) (**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 (55,6%) en el sector, siendo el verde (~38%) en la macro-zona Subsuperficial, el rosado (~63%) en la macro-zona Intermedia y el marrón (~94%) en la macro-zona Profunda, las tonalidades predominantes en esta tipología (**Tabla N° 8-25**). Los tapetes mejor estructurados en cuanto a una laminación macroscópica definida visualmente se detectaron principalmente en la Laguna La Brava (LB-2), en tanto, los menos estructurados también se visualizaron en esta laguna, específicamente en la estación LB-1. Al mismo tiempo, esta laguna 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.

8.2.1.3.2.1 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° 8-10 a y b**).

Las áreas de coloración fueron predominantemente rosadas y con presencia de costra salina (~5,0 mm). 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 (13 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-10 c y d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-10 e, Tabla N° 8-27**).

Fotografía N° 8-10. 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 2022.



Fuente: Elaboración propia

Dos de los tapetes muestreados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiéndose con Tipología 1, mientras que una presentó dos macro-zonas (Subsuperficial y Profunda), correspondiendo a Tipología 2. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue uniforme, mayoritariamente de tonalidad naranja, amarillo y verde. Por otro lado, la zona Intermedia, evidenció tanto la tonalidad púrpura como rosada. En tanto, en la zona Profunda predominaron sólo las capas marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 6 y 9 mm, con un número de capas entre 5 y 6 (**Tabla N° 8-15**).

Tabla N° 8-15. 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
		Amarillo	Verde	Amarillo
		Verde	Amarillo	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Total de laminaciones		6	5	6
Espesor (mm)		6	8	9
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

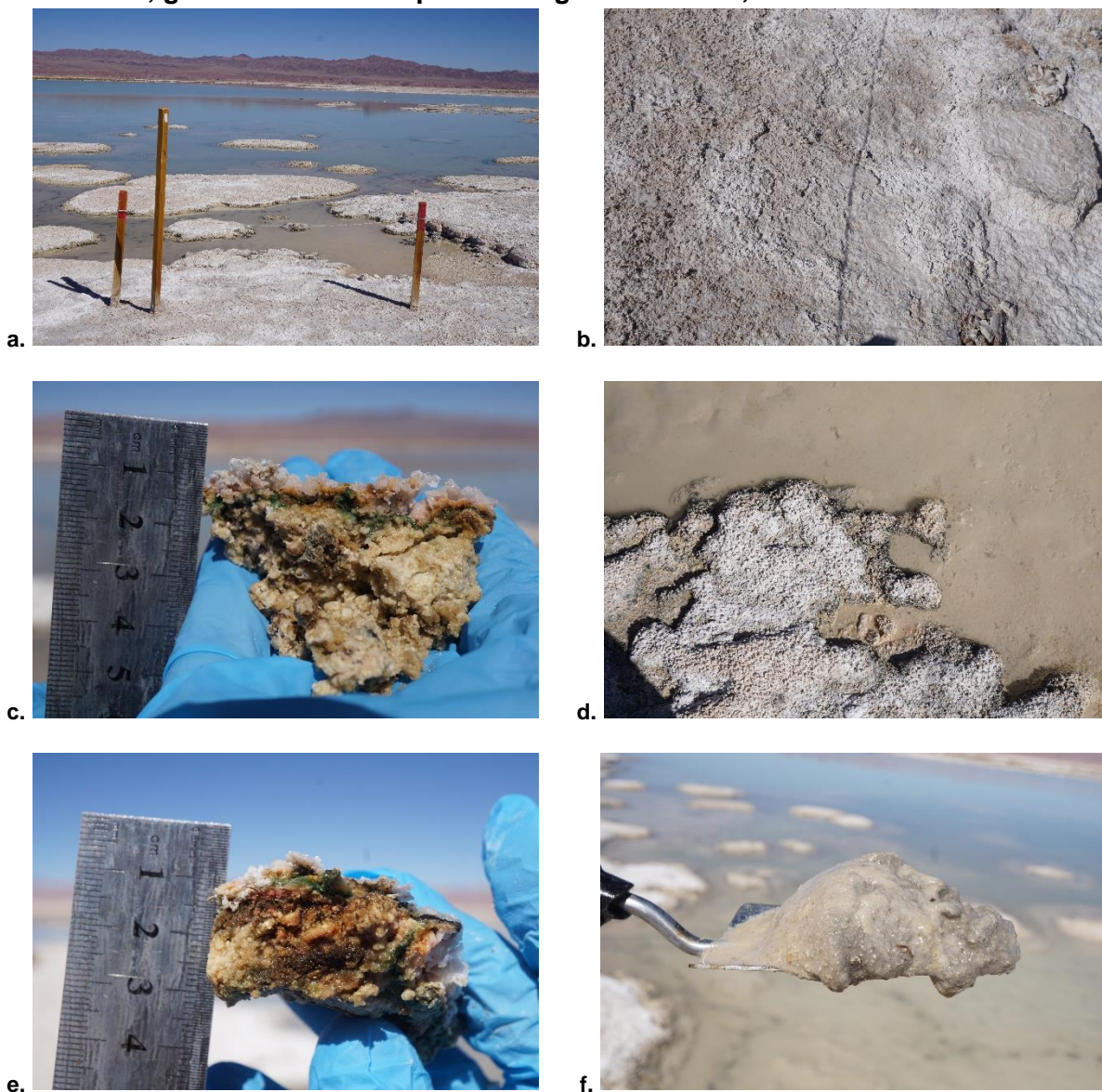
8.2.1.3.2.2 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-24.

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° 8-11 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina de variable espesor (~5,0 – 15,0 mm) y coloración blanco-beige

(Fotografía N° 8-11 b y c; Tabla N° 8-16), y (ii) una superficie coriácea, humedecida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y de tonalidad rosada (Fotografía N° 8-11 d y e; Tabla N° 8-17). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (8 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (Fotografía N° 8-11 f). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de evaporitas (Fotografía N° 8-11 g; Tabla N° 8-27).

Fotografía N° 8-11. 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 2022.





g.

Fuente: Elaboración propia

Uno de los tapetes superficiales planos, presentó la Tipología 2 (macrozona Subsuperficial e Intermedia), mientras que en las otras dos muestras, predominó la Tipología 3 (macrozona Subsuperficial). En la macrozona Subsuperficial, predominó la tonalidad verde, seguida de naranja y en menor medida amarillo o rosado. En la macrozona Intermedia, se observó sólo la tonalidad rosada. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 2 y 4 mm, con un número entre 2 y 3 capas (**Tabla N° 8-16**).

Tabla N° 8-16. 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
Macrozona	Subsuperficial	Verde	Rosado Naranja	Naranja Verde
			Verde	Amarillo
	Intermedio	Rosado	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		2	3	3
Espesor (mm)		2	4	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, uno de los tapetes humedecidos coriáceos, presentó las tres macrozonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1, mientras que los otros dos presentaron dos macrozonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, predominó el tono verde, seguido de naranja, mientras que en la Intermedia se observó sólo la tonalidad púrpura seguido de rosado. En

la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuaron entre 7 y 8 mm, con 2 a 5 capas. Las muestras humedecidas se encontraban en contacto con el agua, pero no sumergidas (**Tabla N° 8-17**).

Tabla N° 8-17. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Humedecidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Púrpura
		Púrpura	Púrpura	
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
	Total de laminaciones		5	4
Espesor (mm)		7	8	8
Profundidad (cm)		0	0	0

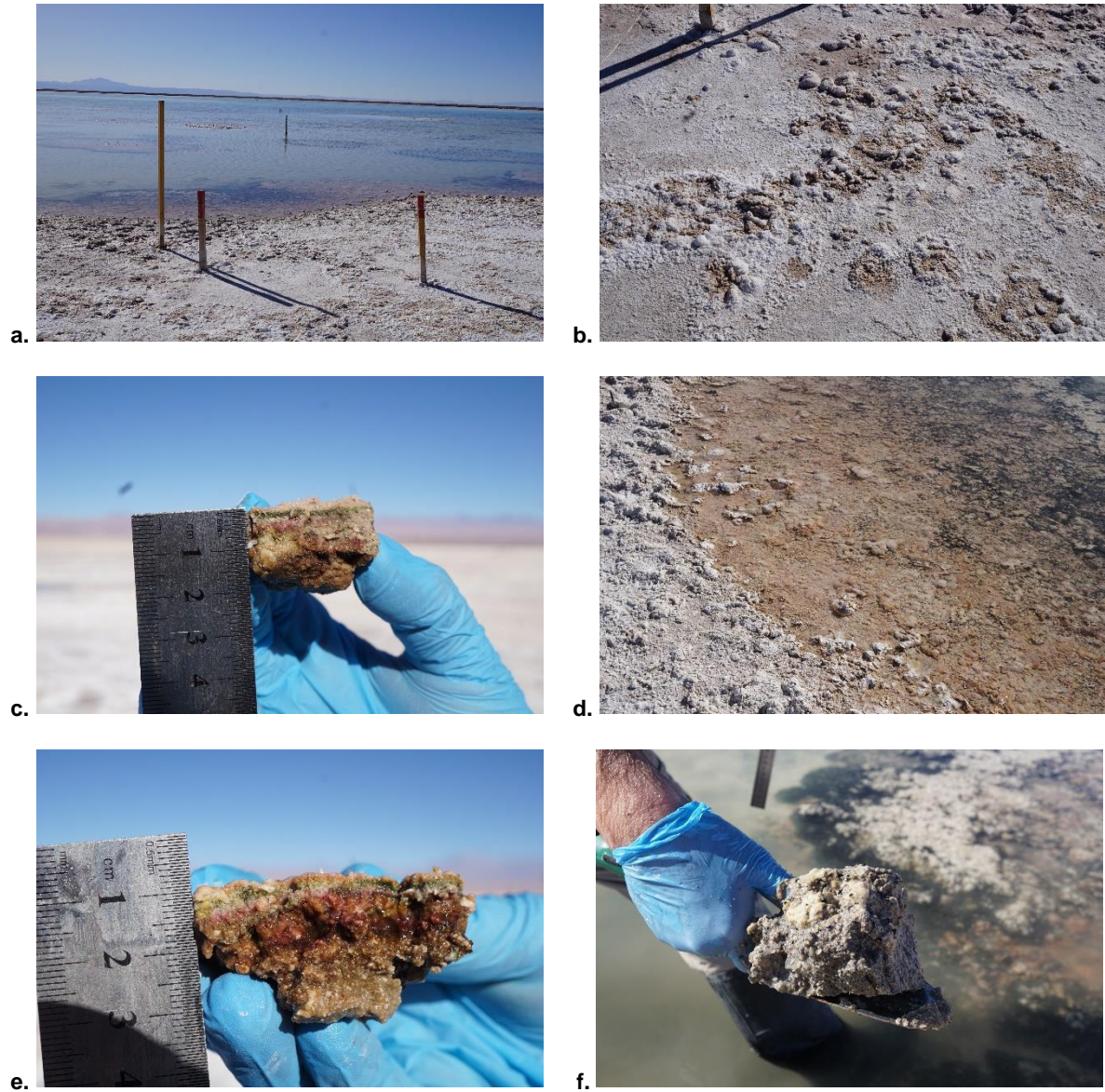
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.2.3 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° 8-12 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~2,0 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanca anaranjada, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-12 b y c; Tabla N° 8-18**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosas (~8 mm) de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-12 d y e; Tabla N° 8-19**). Esta estación presentó escasa vegetación. 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 (23,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-12 f**). Por otro lado, el examen visual del área indicó presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-12 g; Tabla N° 8-27**).

Fotografía N° 8-12. 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 2022.





g.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, una muestra evidenció las tres macrozonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiendo a Tipología 1, mientras que las otras dos muestras presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), configurándose en Subsuperficial e Intermedia. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde seguido de naranja. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó la tonalidad rosada seguida de púrpura. En la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 3 y 8 mm, con un número de entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 8-18**)

Tabla N° 8-18. 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 rosada	Costra blanca	Costra blanca
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde	Verde	
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
		Púrpura	Púrpura	
	Profunda	S/C	S/C	Marrón
	Total de laminaciones		4	4
Espesor (mm)		4	3	8
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, todos los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginoso, presentaron las tres macrozonas (Tipología 1), Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde, seguido de amarillo, en la zona Intermedia, predominó la tonalidad rosada seguido de púrpura, y finalmente, en la zona Profunda, se observó solo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, este fue de 7 mm, con entre 5 y 6 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1 y 2 cm (**Tabla N° 8-19**).

Tabla N° 8-19. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Desecados				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Amarillo	Amarillo	Verde
		Verde	Verde	
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
			Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	6	5
Espesor (mm)		7	7	7
Profundidad (cm)		1	2	1

Fuente: Elaboración propia

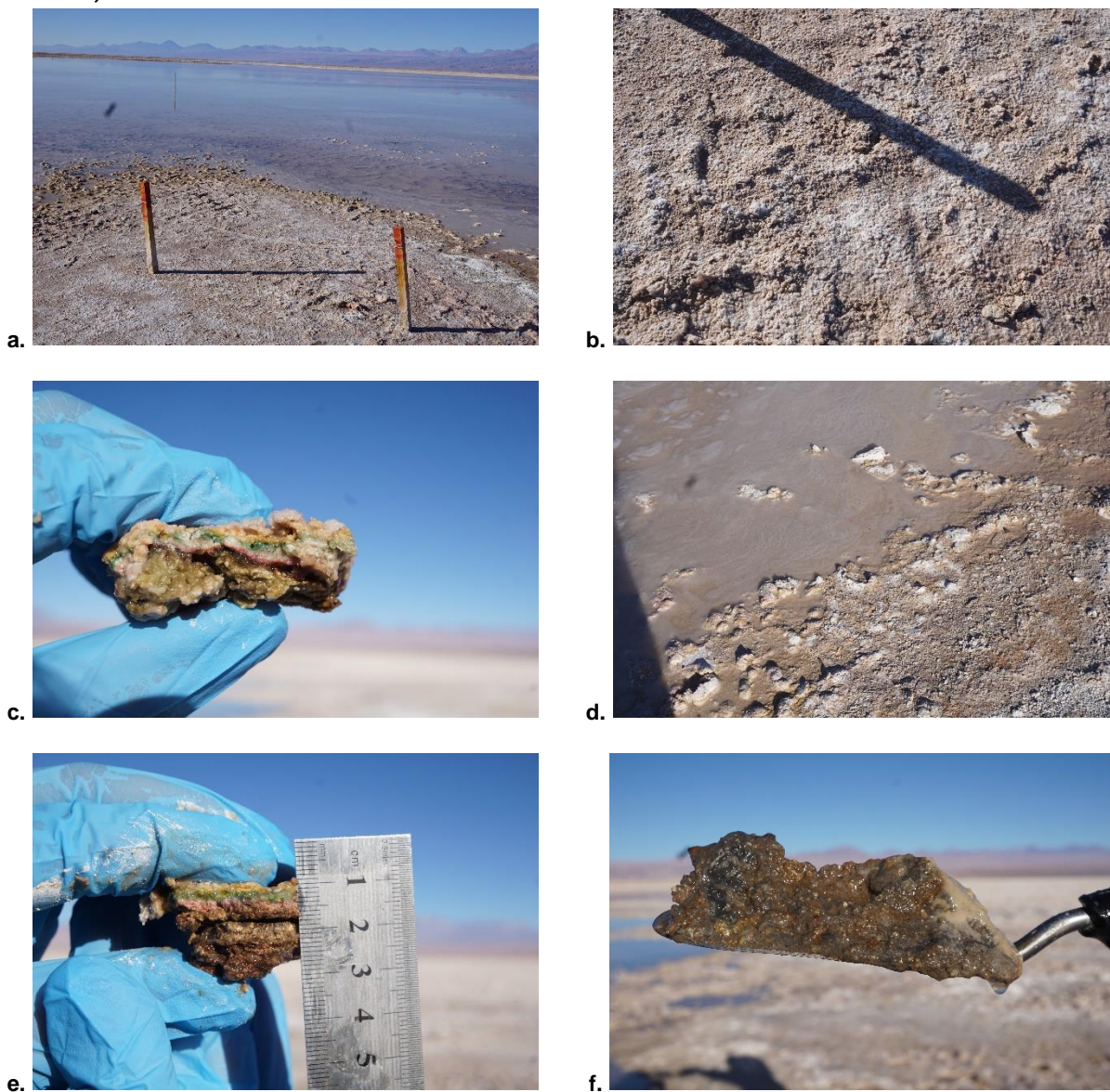
8.2.1.3.2.4 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2

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° 8-13 a**).

La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~1,0 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanca rosácea, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-13 b y c; Tabla N° 8-20**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con algunas estructuras mucilaginosas, de coloración naranja y otras estructuras coriáceas de coloración blanquecina con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas

humanas (**Fotografía N° 8-13 d y e; Tabla N° 8-21**). 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 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-13 f**).

Fotografía N° 8-13. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2022.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, principalmente, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondientes a Tipología 1 y una con dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), que se corresponde con Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades fueron naranja, verde y amarillo, por igual. La zona Intermedia mostró tonalidades rosadas, seguido de púrpura, mientras que en la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 4 y 5 mm, con un número entre 5 y 6 capas (**Tabla N° 8-20**).

Tabla N° 8-20. 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	Rosado
		Púrpura	Púrpura	Rosado
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Total de laminaciones		6	5	5
Espesor (mm)		4	5	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, variando a naranja, amarillo y verde oscuro. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosadas y en menor medida, púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, se observó únicamente tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 7 y 8 mm, con entre 3 y 6 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1 y 2 cm. (**Tabla N° 8-21**).

Tabla N° 8-21. 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		Sin costra	Costra blanca	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Verde oscuro
		Amarillo		
		Verde		
Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado	
	Púrpura		Púrpura	
Profunda	Marrón	Marrón	Marrón	
Total de laminaciones		6	3	4
Espesor (mm)		7	8	7
Profundidad (cm)		1	2	1

Fuente: Elaboración propia

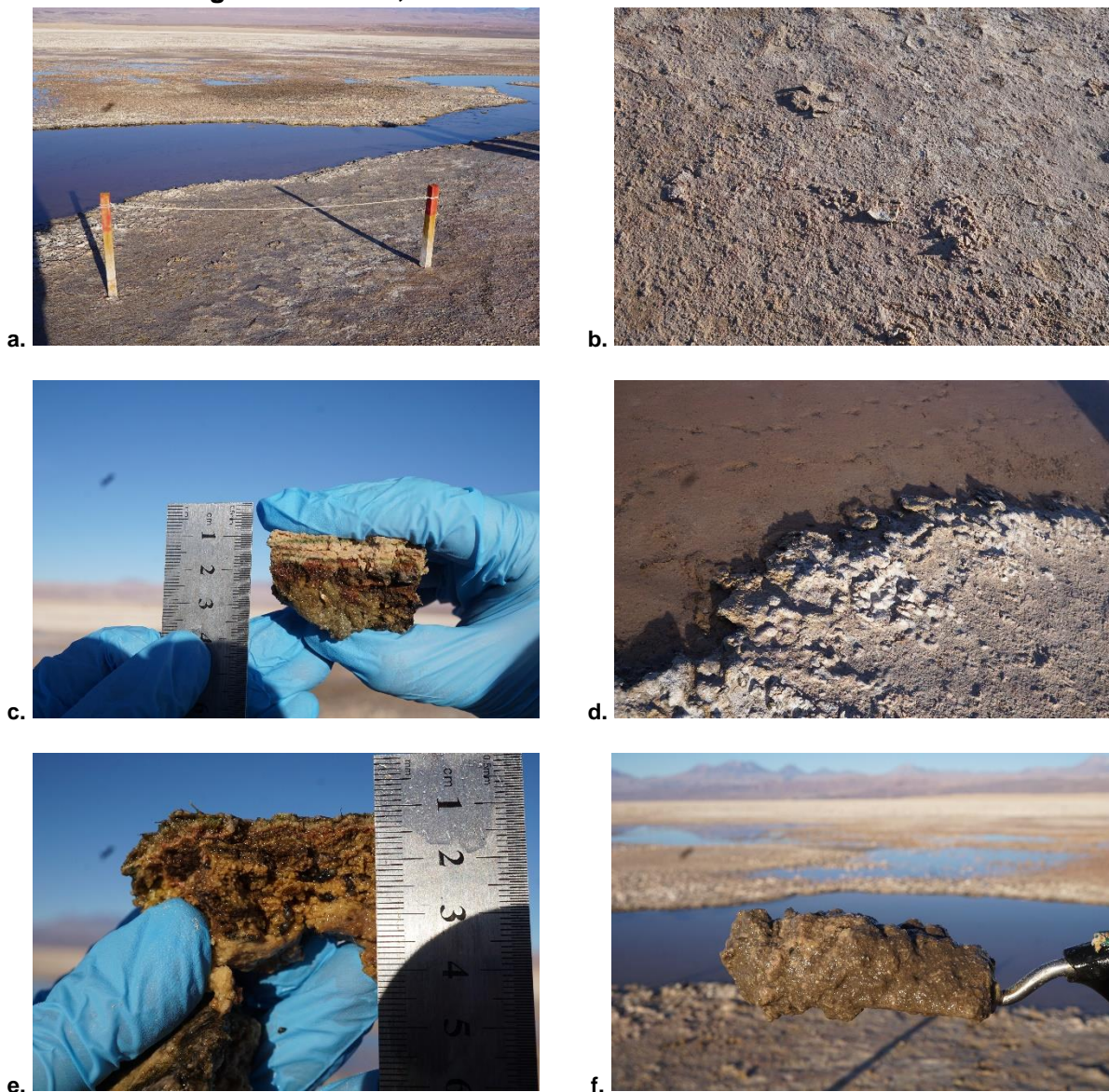
8.2.1.3.2.5 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3

La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava, correspondiendo a una estación de muestreo voluntaria, 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° 8-14 a**).

La estación de monitoreo, se localiza aledaña a un afluente de la laguna, exhibiendo escasa vegetación acuática, y presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular, con costra salina (~1,2 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración gris rosácea, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-14 b y c; Tabla N° 8-22**), 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 verdoso, con morfología convexa sólida en su mayoría, de consistencia blanda y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-14 d y e;**

Tabla N° 8-23). 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 (5,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-14 f**).

Fotografía N° 8-14. 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 2022.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, principalmente, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondientes a Tipología 1 y una con dos macro-zonas (Subsuperficial y Profunda), correspondiente a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y amarillo, mientras que, en la zona Intermedia, las tonalidades observadas fueron púrpura o rosado. En la zona Profunda

predominó la tonalidad marrón y en menor medida, verde claro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 7 mm, con un número entre 3 y 5 capas (**Tabla N° 8-22**).

Tabla N° 8-22. 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 gris	Costra gris	Costra gris
Macro-Zona	Subsuperficial	Amarillo	Verde	Amarillo
		Verde	Amarillo	Verde Naranja
	Intermedio	Púrpura	S/C	Rosado
	Profunda	Verde claro Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	3	5
Espesor (mm)		7	6	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes sumergidos coriáceos, una de las muestras presentó todas las macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1, mientras que las otras dos exhibieron dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda), correspondiendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde oscuro, y en menor medida, amarillo, naranja y verde. En la zona Intermedia, predominó únicamente la tonalidad rosada. En la zona Profunda, sólo se observó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 6 y 8 mm, todas con un número de 3 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0,5 y 5 cm. (**Tabla N° 8-23**).

Tabla N° 8-23. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde oscuro	Verde oscuro
		Verde		Amarillo
	Intermedio	Rosado	Rosado	S/C
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		3	3	3

Tapetes Sumergidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Espesor (mm)	6	8	6
Profundidad (cm)	3	0,5	5

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.2.6 Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector La Punta-La Brava)

En el Sector La Punta-La Brava, en invierno 2022, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y en la Laguna La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde, naranja y 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 y púrpura, 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, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (Tabla N° 8-24).

Tabla N° 8-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2022.

Estación/Muestra		LP-23		LP-24		LB-1		LB-1 C		LB-2		LB-2 C		LB-3		LB-3		
		P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C			
		1	3	1	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2		
Macrozona	Subsuperficia I	Verde	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
		Naranja	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Amarillo	█	█					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Intermedia	Verde oscuro													█			█
		Rosado	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Profunda	Púrpura	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Marrón	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Verde claro													█			

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En laguna La Punta se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia (LP-23 y LP-24). En la macro-zona subsuperficial, predominaron capas verde,

seguido de naranja, mientras que, en la macro-zona intermedia, predominaron las capas rosadas seguido de púrpura. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia (LB-1, LB-2 y LB-3) o subsuperficial y profunda (LB-3). En la macro-zona subsuperficial, predominaron las capas verde y naranja, y en menor medida amarillo, mientras que en la macro-zona intermedia las capas más frecuentes fueron rosado y púrpura. En la macro-zona profunda, predominaron las capas marrón (**Tabla N° 8-25**).

Respecto a la Tipología 2, para ambas lagunas, las capas verdes observadas, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas). En tanto en la macro-zona intermedia la tonalidad predominante fue rosado, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a las llamadas bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominaron las capas marrón, las cuales representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos.

Tabla N° 8-25. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2022.

Estación/Muestra		LP-23 P	LP-24 P	LP-24 C		LB-1 P		LB-2 P	LB-3 P	LB-3 C	
		2	1	2	3	1	2	2	2	1	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde									
		Naranja									
		Amarillo									
		Verde oscuro									
	Intermedia	Rosado									
		Púrpura									
	Profunda	Marrón									

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, naranja y en menor medida, amarillo o rosado. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (Tabla N° 8-26).

Tabla N° 8-26. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2022.

Estación/Muestra		LP-24 P	
		2	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde	
		Naranja	
		Amarillo	
		Rosado	

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.3 Sector Vegas de Tilopozo. Invierno 2022

En la actual campaña Invierno 2022, en el sector vegas de Tilopozo, no se detectó la presencia de tapetes microbianos.

8.2.1.4 Registro de microbialitos y evaporitas, invierno 2022.

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos solo en 3 estaciones de monitoreo (I-11, LP-23 y LB-1) y la presencia de evaporitas en una estación de monitoreo (LP-24) (Tabla N° 8-27).

Tabla N° 8-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Invierno 2022.

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-5	-	-
S-6A	-	-
S-9	-	-
SA-25	-	-
S-10	-	-
S-11	-	-

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
I-11	+	-
I-17	-	-
LP-23	+	-
LP-24	-	+
LB-1	+	-
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 respecto a la presencia de tapetes microbianos, en relaciones de variables y tapetes que se describirán más adelante. Respecto al sector vegas de Tilopozo no se registraron tapetes microbianos, por lo que no se considerará dentro del análisis de variables relevantes de calidad de agua y sedimentos.

En relación con las variables de calidad de agua registradas en los sectores de Peine y La Punta-La Brava para la campaña de invierno 2022, se destaca que la Conductividad eléctrica, Salinidad, Oxígeno disuelto y la Alcalinidad Total fueron variables de alta importancia en el sector La Punta y La Brava siendo mayores sus concentraciones en este sector respecto al de Peine. Por otra parte, las mayores temperaturas fueron detectadas en las lagunas La Brava e Interna y la mayor Turbiedad en la laguna Saladita e Interna. Respecto a la Radiación Solar se presentaron más bien parejas entre sectores. Cabe destacar que la presencia de agua en las estaciones de monitoreo y las concentraciones de conductividad-salinidad son de alta importancia para los tapetes microbianos (**Tabla N° 8-28**).

En el Sector Peine las variables conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), presentaron en promedio mayor registro en la Laguna Interna, con valores que oscilaron entre 40280 y 42120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguido de Laguna Saladita, con valores que oscilaron entre 38910 y $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de Salada la que osciló entre 27390 y 37090 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el sector La Punta-La Brava, se registraron en promedio mayores registros en la Laguna La Brava respecto de La Punta, con valores que oscilaron entre 26410 y 73760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Brava y entre 33830 y 36990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Punta (**Figura N° 8-7 a y b**).

Respecto a la temperatura de la columna de agua, se observaron los mayores valores en promedio en las lagunas Interna y Saladita en Peine en las estaciones (SA-11 e I-17), mientras que, en el sector La Punta-La Brava las mayores temperaturas promedio se registraron en La Brava (estaciones LB-1 y LB-2) (**Figura N° 8-8 a**).

Por otra parte, las concentraciones de oxígeno disuelto detectado en las lagunas fueron mayores en Saladita respecto de lo observado en Salada e Interna. En tanto, entre La Punta y la Brava se observaron concentraciones similares, excepto en la estación LB-3 de la laguna La Brava que presentó un mayor registro. Cabe destacar que, en relación con las concentraciones de oxígeno, la diferencia observada en el sector Peine y La Punta-La Brava, se relaciona con la mayor conductividad registrada en Interna y en La Brava, variable que disminuye la solubilidad del oxígeno en estas lagunas (**Figura N° 8-8 b**).

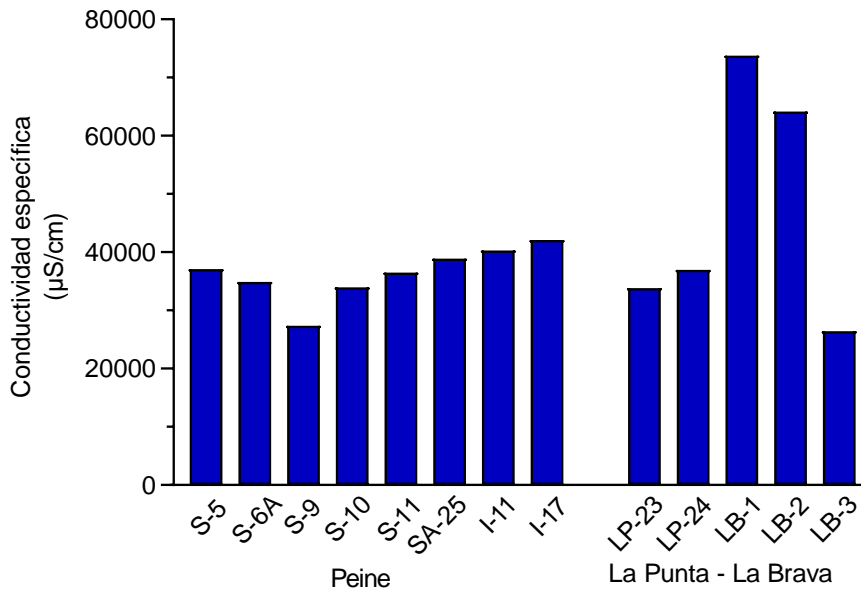
La turbiedad por su parte presenta valores en magnitud diferentes entre lagunas y estaciones de monitoreo en el sector Peine, presentando valores mayores en Saladita. En tanto, en el sector La Punta-La Brava se registraron valores menores respecto de Peine y entre lagunas en el sector, se observaron menores valores en la Laguna La Punta (**Figura N° 8-9 a**).

Respecto de la alcalinidad total (CaCO_3), se observaron mayores valores en Salada, seguida de Saladita y menores en Interna. Mientras que, en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron mayores respecto de Peine, y entre las lagunas La Brava respecto de la laguna La Punta fueron similares (**Figura N° 8-9 b**).

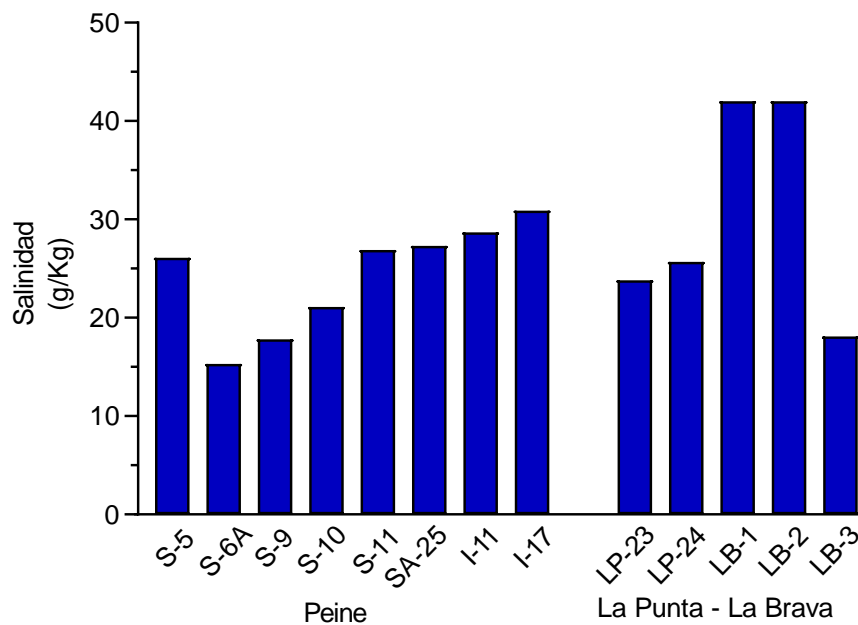
En relación con el pH, se observaron valores moderadamente alcalinos a muy alcalinos con pH que fluctuaron entre 8,61 y 8,98 en Peine, y entre 8,55 y 8,91 unidades en La Punta-La Brava, valores que se condicen con lo registrado para la alcalinidad (**Tabla N° 8-28**).

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 función de la hora en que fueron obtenidos los datos, observándose en Peine, valores más altos en general en la laguna Salada (excepto en S-9), Saladita y en Interna excepto en I-17). En tanto, en La Punta-La Brava se registraron mayores valores en la laguna La Punta, respecto de La Brava (**Tabla N° 8-28**).

Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.



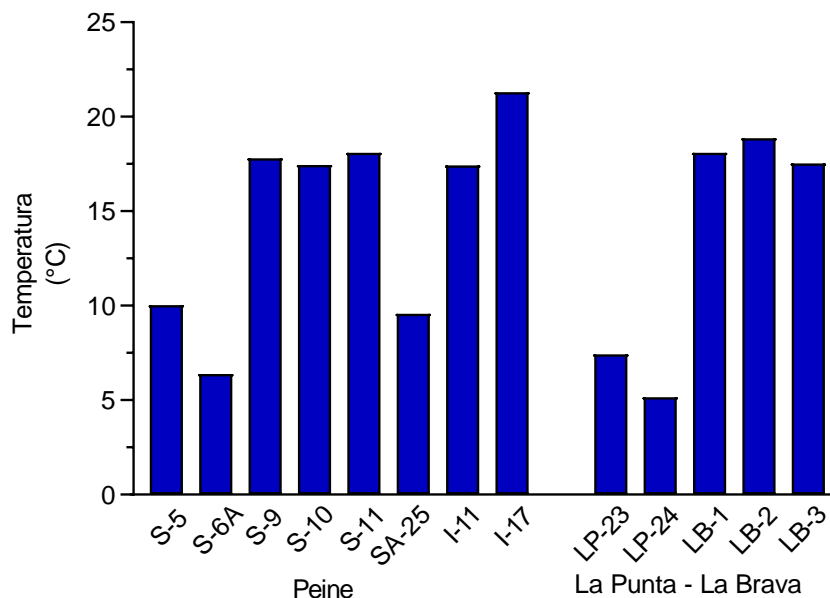
a.



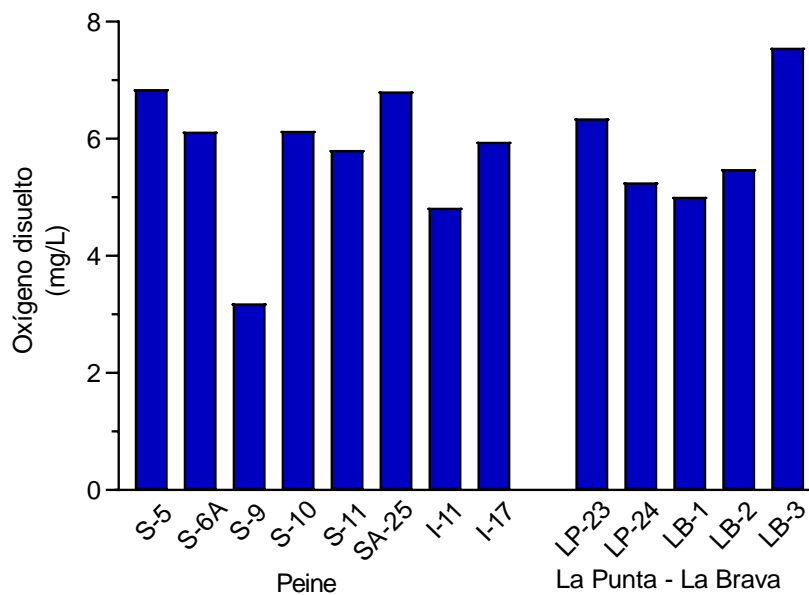
b.

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. Invierno 2022.



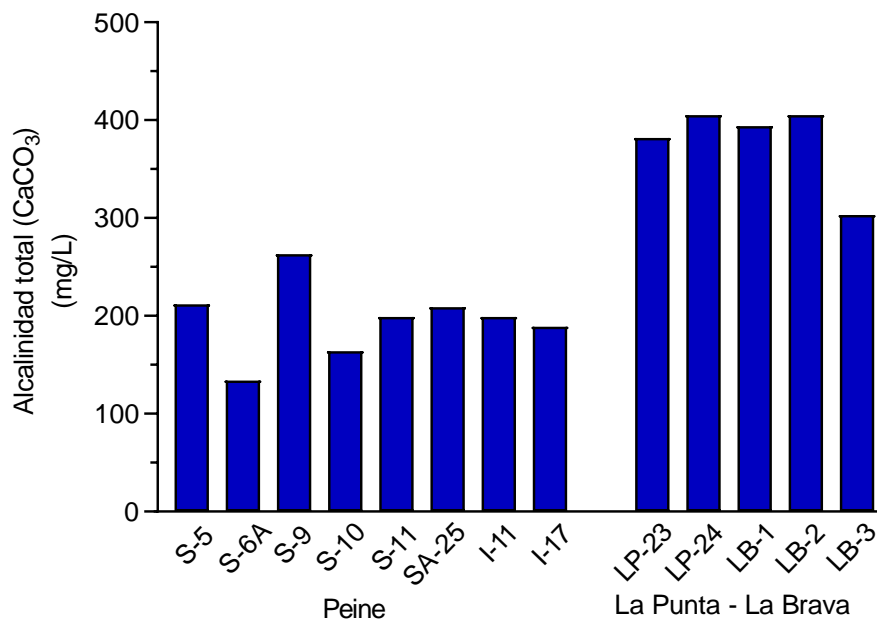
a.



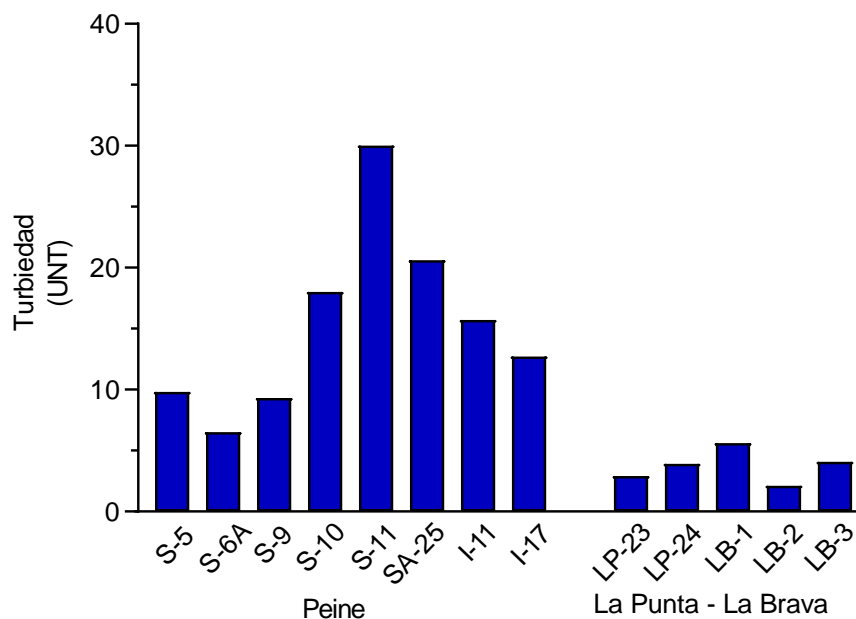
b.

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. Invierno 2022.



a.



b.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en los sectores de Peine y La Punta-La Brava para la campaña de invierno 2022, se destaca que las variables Carbono Orgánico Total (COT) presentaron altos valores, en la Laguna Salada y Saladita, respecto de Interna, lo que probablemente se esté dando por alta presencia de aves acuáticas en el sector. (**Tabla N° 8-29**). El sector La Punta-La Brava presentó valores menores, respecto de Peine. En tanto, La Punta presentó los mayores registros de COT.

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó en Peine, rangos de variación entre 1,90 y 9,75 g/Kg en las estaciones I-17 y S-5 respectivamente. Cabe destacar que, la laguna Interna presentó el valor más bajo para esta variable (1,90 g/Kg en I-17).

En las lagunas La Punta y La Brava, se registraron valores entre 1,62 y 14,09 g/Kg en las estaciones LB-2 y LP-23 respectivamente. La laguna La Brava presentó valores bajos de nitrógeno total Kjeldahl respecto de la laguna La Punta.

Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron en su mayoría bajo el límite de detección entre las estaciones de monitoreo (<500 mg/Kg) ²⁸. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores entre -325 y -290 mV en Peine y entre -327 y -287 mV en La Punta-La Brava.

²⁸ El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/kg (1000 mg/kg) y en invierno 2022 se actualizó a 0,5 g/kg (500 mg/kg), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. El laboratorio ANAM (ETFA) comentó al respecto que “De acuerdo con las nuevas indicaciones de SMA se ingresan los análisis con sus respectivos LD”.

Tabla N° 8-28. Calidad de agua para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.

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	-	17,8	10,04	6,39	9,57	17,44	18,09	17,42	21,31	7,43	5,16	18,1	18,87	17,53
pH	U	-	8,61	8,94	8,98	8,77	8,72	8,71	8,68	8,75	8,91	8,79	8,55	8,77	8,83
Conductividad específica	µS/cm	-	27390	37090	34890	38910	33940	36510	40280	42120	33830	36990	73760	64200	26410
Salinidad	g/kg	-	17,8	26,1	15,3	27,3	21,1	26,9	28,7	30,9	23,8	25,7	>42,00	>42,00	18,1
Oxígeno disuelto	mg/L	-	3,19	6,85	6,12	6,81	6,14	5,81	4,82	5,95	6,35	5,26	5,01	5,48	7,56
Turbiedad	UNT	0,07	9,3	9,8	6,5	20,6	18	30	15,7	12,7	2,9	3,9	5,6	2,1	4,1
Radiación solar**	MJ/m ²	-	1,671	2,159	2,159	2,560	2,637	2,637	2,339	1,852	1,678	2,155	1,837	1,220	0,873
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1	263	212	134	209	164	199	199	189	382	405	394	405	303

*LD: Límite de Detección; **Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Minera Albemarle.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8-29. Calidad de sedimentos para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2022.

Parámetro	Unidad	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	64,68	117,46	107,25	80,34	91,13	86,83	76,51	42,75	85,85	87,94	78,54	67,87	55,16
Fósforo Total (P)*	mg/Kg	<500	500	500	<500	500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	5,67	9,75	9,56	5,68	5,91	7,19	6,57	1,90	14,09	8,43	6,15	1,62	5,07
Potencial Redox	mV	-325	-324	-295	-290	-296	-316	-290	-298	-287	-327	-296	-302	-289

Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Resultados Campaña Verano 2023

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de verano 2023.

8.2.2.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña verano 2023 (M14), 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 en periodo reproductivo (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

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 (40%), presentó tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a la estación LP-23 y LP-24 (zona de La Punta), y las 3 estaciones restantes (60%), presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (1 – 5,1 cm), las que correspondieron a las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 8-30**). Esta condición, observada en verano 2023, también fue la misma observada en invierno 2022.

Tabla N° 8-30. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. Campaña verano 2023.

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	2	40
Estaciones con Tapetes sólo sumergidos	0	0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	3	60
Total Estaciones*	5	100

(*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.

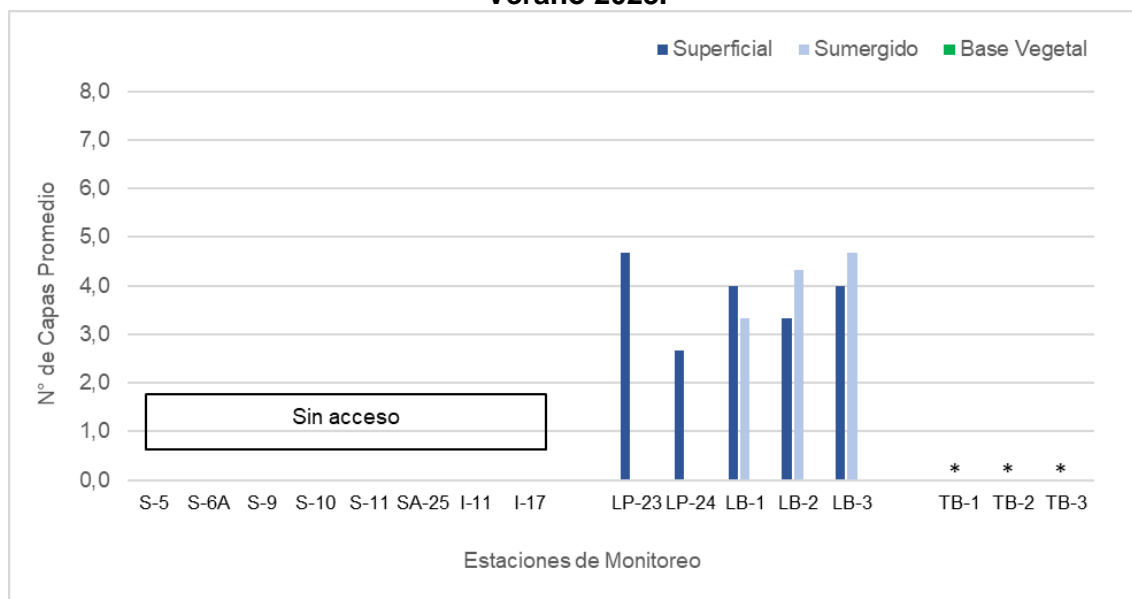
Fuente: Elaboración propia

A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en una estación de monitoreo (LB-1) y de evaporitas también en la estación de monitoreo de La Punta (LP-24).

Tomando en cuenta los sectores evaluados, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación LP-23 (Laguna La Punta) con 4,7 capas, mientras que, el menor valor registrado fue en la estación cercana a la anterior LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 2,7 capas. Como indica la Tabla 2-2, en verano 2023 (en la estación LP-24), no se registraron tapetes sumergidos, similar a lo observado en verano 2022 y 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 LP-23 (Laguna La Punta) con 4,7 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) con 2,7 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 4,7 y menor en LB-1 (Laguna La Brava) con 3,3 (**Figura N° 8-10**).

Figura N° 8-10. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos. Verano 2023.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

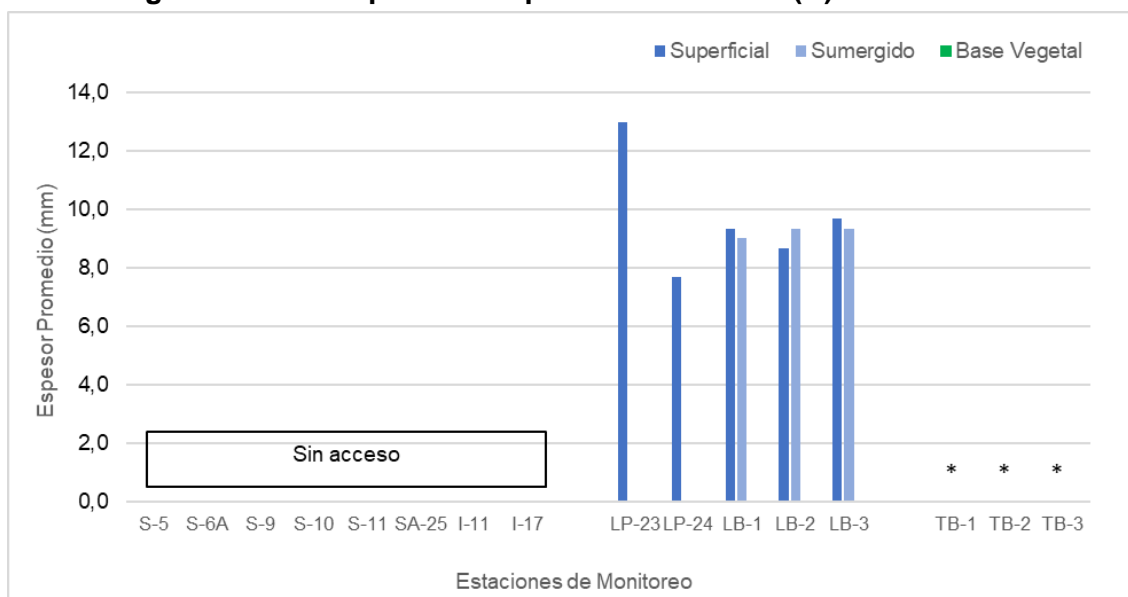
De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en LP-23 (Laguna La Punta), con 13,0 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en LP-24 (misma zona Laguna La Punta), con 7,7 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 13,0 mm, mientras que, fue menor LP-24 (Laguna La Punta) con 7,7 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LB-2 y LB-3 (Laguna La Brava) con 9,3 mm y el menor fue en LB-1 (Laguna La Brava) con 9,0 mm (**Figura N° 8-11**).

Figura N° 8-11. Espesor de tapetes microbianos (□). Verano 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

8.2.2.2 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:

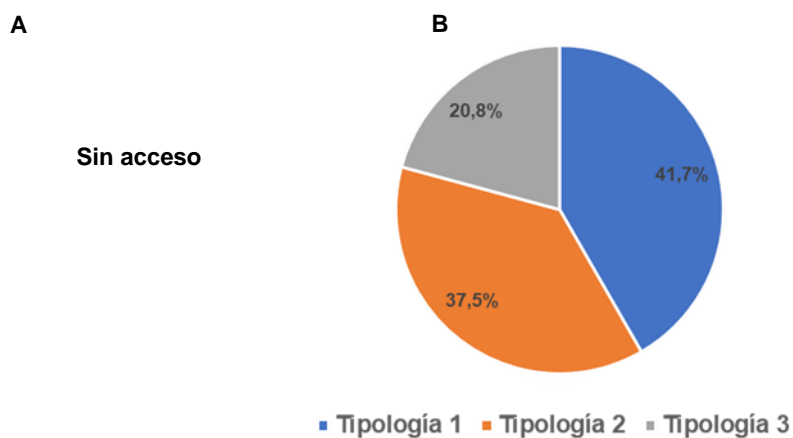
- **Tipología 1:** la más frecuente entre todos los sectores, presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en las lagunas La Punta como en La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color rosado, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 8-31** y **Tabla N° 8-40**).
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y fue detectado en el Sector La Punta-La Brava, siendo la segunda 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. Además, también se observaron tapetes con esta tipología, que exhibieron la macro-zona

subsuperficial, seguida de la macro-zona Profunda de color marrón (**Tabla N° 8-31** y **Tabla N° 8-41**).

- **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° 8-31** y **Tabla N° 8-42**).

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 e Peine). En este se observó que la Tipología 1 presentó los mayores porcentajes con 41,7%, seguido de la Tipología 2 con 37,5% y finalmente, en menor medida, la Tipología 3 con 20,8% (**Figura N° 8-12 B**).

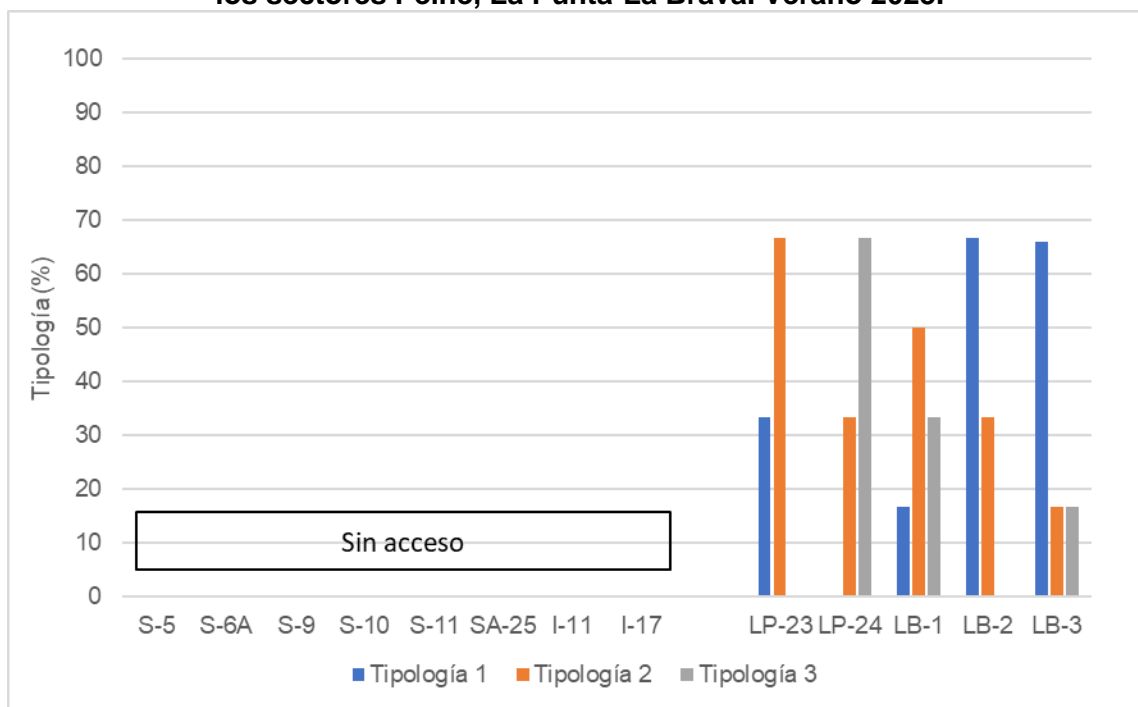
Figura N° 8-12. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava.



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 LB-2 y LB-3, y en menor medida, en LP-23 y LB-1, en las cuales predominó la Tipología 2. Finalmente, la Tipología 3 predominó en LP-24.

Figura N° 8-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 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

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 2023, 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 3 y 15 mm, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 2 y 5 mm (**Tabla N° 8-31**).

**Tabla N° 8-31. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.
Campaña Verano 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					
S-6A									
S-9									
SA-25									
S-10									
S-11									
I-11									
I-17									
La Punta-La Brava	LP-23	33	0	67	Plana	14	12	5	4
	LP-24	0	33	67	Plana	10	5	3	2
	LB-1	17	50	33	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginoso.	15	3	5	2
	LB-2	67	33	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	14	7	5	3
	LB-3	66	17	17	Plana, coriácea y consistencia blanda	14	5	5	2
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes (solo detectados en Invierno 2016)							
	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 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 y Prohibiciones**). Es por ese motivo que en esta sección no se analizan las estaciones.

8.2.2.3.2 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 microbiana y de evaporitas en LP-24.

En relación con el número de capas por estación de monitoreo, la Laguna La Punta presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, siendo de 4,7 capas para LP-23, por otro lado, la menor estratificación se observó en LP-24, con 2,7 capas, sólo considerando los tapetes superficiales planos, dado que no se hallaron tapetes sumergidos, similar a verano 2022 y a diferencia de todas las anteriores campañas de verano. En Laguna La Brava, la mayor cantidad de estratificaciones, considerando tanto tapetes superficiales expuestos como sumergidos, se observó en LB-3, con 4,3 capas promedio y la menor cantidad promedio fue de 3,7 también detectada en LB-3 (**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 13,0 mm. Por otro lado, el menor espesor observado se registró en la Laguna La Punta (LP-24) con 7,7 mm, sólo considerando los tapetes superficiales planos, dado que no se hallaron tapetes sumergidos, similar a verano 2022 y a diferencia de todas las anteriores campañas de verano (**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 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 (41,7 %) en el sector, siendo las tonalidades predominantes en sus respectivas macro-zonas el verde (~50,0%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (~76,9%) en la macro-zona intermedia y marrón (~58,3%) 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.

8.2.2.3.2.1 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° 8-15 a**).

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 rosadas, 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° 8-15 b y c**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (6,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-15 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-15 e, Tabla N° 8-43**).

Fotografía N° 8-15. 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 2023.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, una de las muestras presentó las tres macrozonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda, mientras que las restantes dos muestras presentaron dos macro-zonas (Subsuperficial y Profunda). En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y naranja y en menor medida

amarillo. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó las tonalidades rosada y blanco. En la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón y en menor medida, gris o verde. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 12 y 14 mm, con un número de entre 4 y 5 capas (**Tabla N° 8-32**).

Tabla N° 8-32. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranja	Naranja
		Naranja	Verde	Verde Amarillo
	Intermedio	Blanco Rosado	S/C	S/C
	Profunda	Marrón	Gris Marrón	Marrón Verde
Total de laminaciones		5	4	5
Espesor (mm)		12	13	14
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.2.2 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° 8-16 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-crema (**Fotografía N° 8-16 b y c**; **Tabla N° 8-33**), 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 (**Fotografía N° 8-16 d**). 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 (6,6 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos

(Fotografía N° 8-16 e). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de evaporitas (Fotografía N° 8-16 f, Tabla N° 8-43).

Fotografía N° 8-16. 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 2023.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron las Tipologías 2 (Subsuperficial y Profunda) y 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja y en menor medida, rosado, mientras que en la zona Profunda (detectada en una muestra) predominó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 10 mm, con un número entre 2 y 3 capas (**Tabla N° 8-33**).

Tabla N° 8-33. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Rosado	Rosado
		Verde	Naranja	Verde
	Intermedio	S/C	S/C	S/C
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	3	2
Espesor (mm)		10	8	5
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En la estación LP-24, al igual que en verano 2022 y a diferencia de campañas anteriores, no se detectaron tapetes sumergidos ni coriáceos.

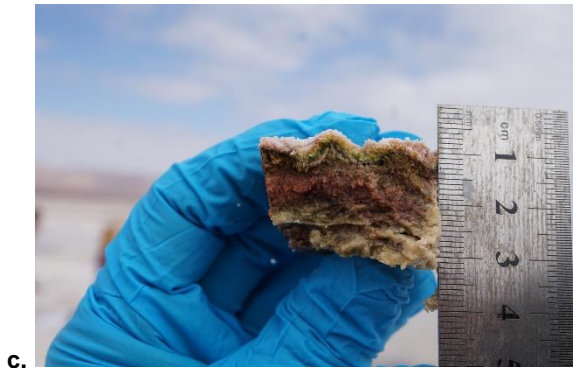
8.2.2.3.2.3 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1

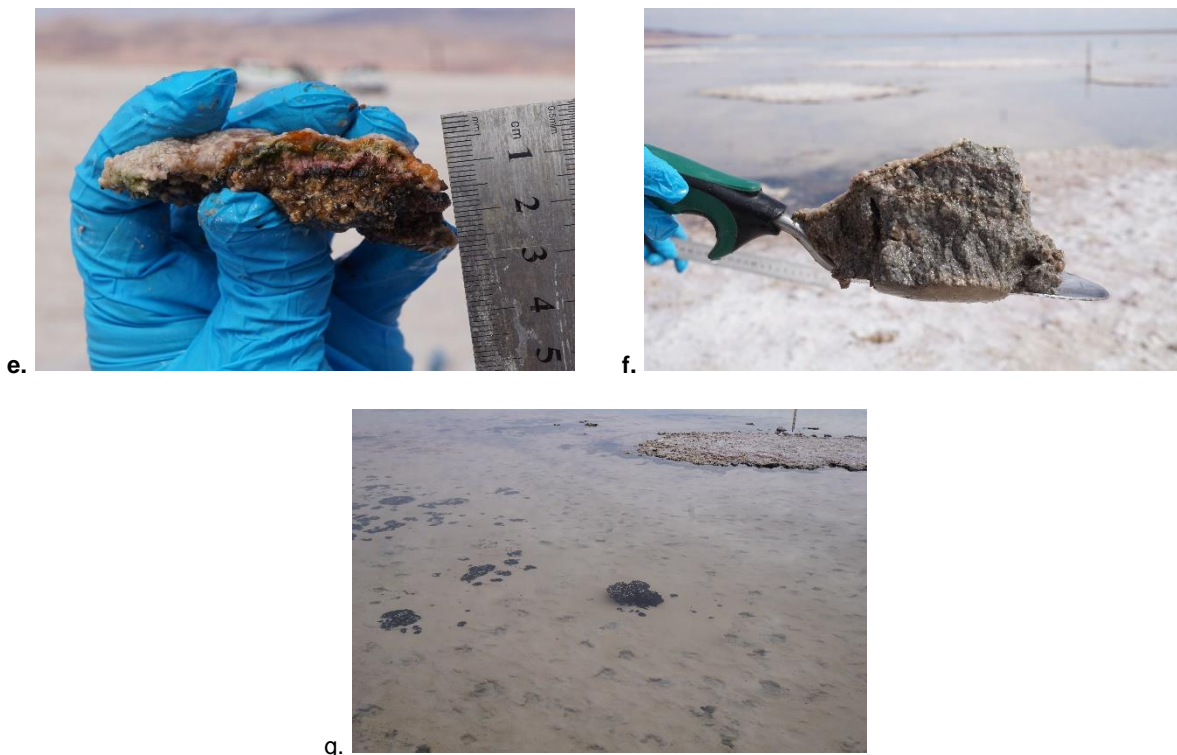
La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2307 msnm, se observó la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-17 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 rosada, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-17 b y c; Tabla N° 8-34**), 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°**

8-17 d y e; Tabla N° 8-35). 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 (21,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-17 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-17 g, Tabla N° 8-43**).

Fotografía N° 8-17. 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 2023.





Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, todas las muestras presentaron dos macrozonas (Tipología 2), configurándose en Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y naranja, y en menor medida amarillo y naranja. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó únicamente la tonalidad rosada. Por otro lado, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón y en menor medida, rosado. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 3 y 15 mm, con un número de entre 2 y 5 capas (**Tabla N° 8-34**).

Tabla N° 8-34. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Rosado Amarillo	Naranja
		Verde	Verde Amarillo	Verde
	Intermedio	S/C	Rosado	S/C
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
		Rosado		
		Marrón		
Total de laminaciones		5	5	2
Espesor (mm)		15	10	3
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginoso, solo una muestra presentó tres macro-zonas (Tipología 1), correspondientes a Subsuperficial, Intermedia y Profunda; otra de las muestras exhibió dos macro-zonas (Tipología 2), Subsuperficial e Intermedia y la última muestra presentó sólo la macro-zona Subsuperficial (Tipología 3). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad negra. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 7 y 10 mm, con un número de entre 3 y 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1,0 cm (tapete embebido en agua) y 1,4 cm (**Tabla N° 8-35**).

Tabla N° 8-35. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Embebidos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde Naranja	Verde
	Intermedio	Rosado	S/C	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	Negro
Total de laminaciones		3	3	4
Espesor (mm)		7	10	10
Profundidad (cm)		1	1,2	1,4

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.2.4 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° 8-18 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° 8-18 b y c; Tabla N° 8-36**), 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° 8-18 d y e; Tabla N° 8-37**). 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 (10,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-18 f**).

Fotografía N° 8-18. 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 2023.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, en dos de las muestras, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1, mientras que una muestra presentó la Tipología 2, exhibiendo dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, seguido de naranja.

La zona Intermedia mostró únicamente la tonalidad rosada, mientras que la zona Profunda también exhibió sólo una tonalidad, marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 8 y 10 mm, con un número de entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 8-36**).

Tabla N° 8-36. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde	Verde	
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Total de laminaciones		4	3	3
Espesor (mm)		8	10	8
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda) en dos de las muestras y Tipología 2 (macro-zonas Subsuperficial e Intermedia) en la muestra restante. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y luego naranja. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosado y en menor medida, blanco. Finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón, seguida de verde. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 14 mm, con entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue de 2 cm. (**Tabla N° 8-37**).

Tabla N° 8-37. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Naranja
		Verde	Rosado Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	S/C	Blanco Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Verde
Total de laminaciones		4	4	5
Espesor (mm)		7	14	7
Profundidad (cm)		2	2	2

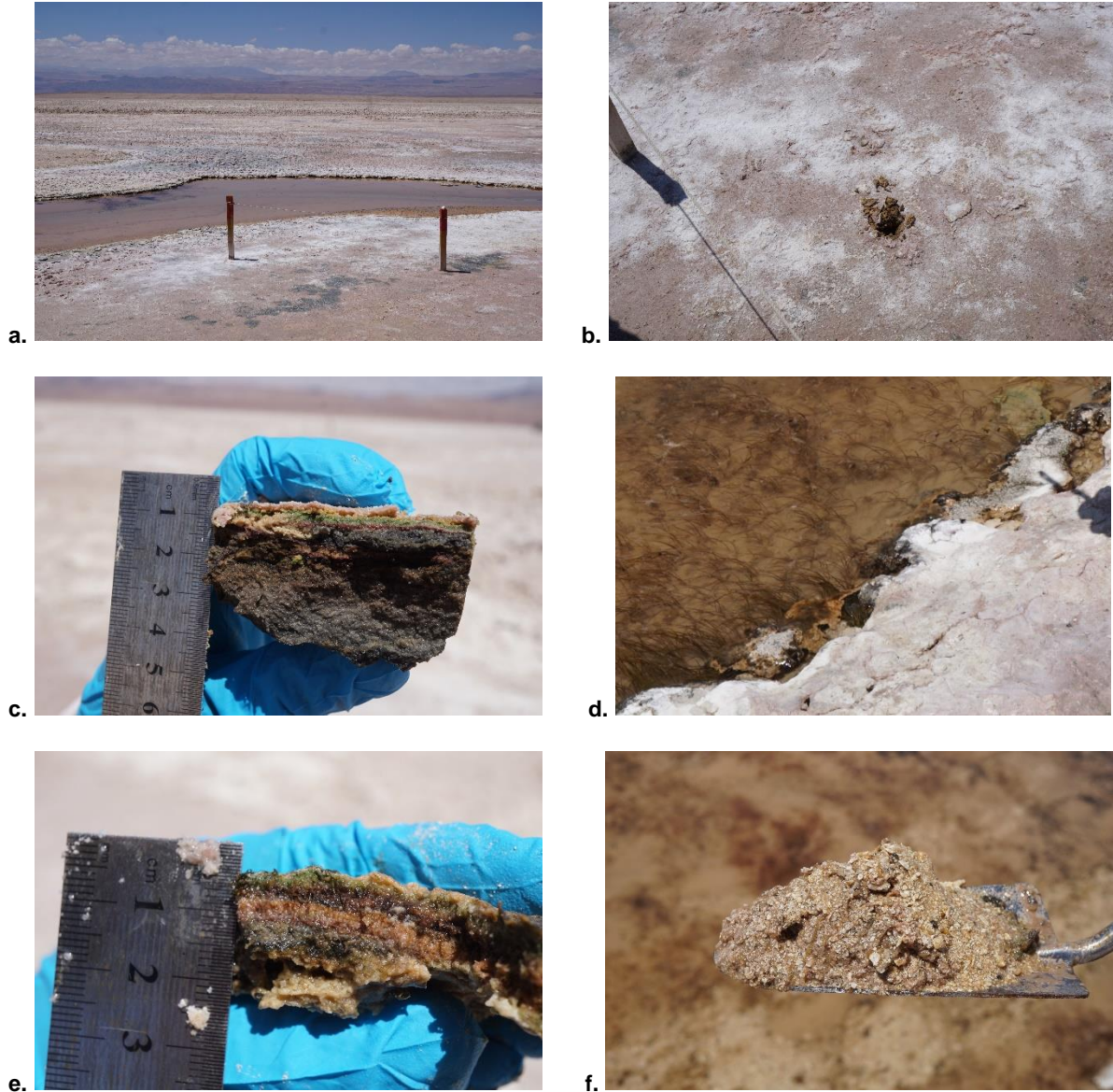
Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.2.5 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 voluntaria, 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° 8-19 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° 8-19 b y c; Tabla N° 8-38**), 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° 8-19 d y e; Tabla N° 8-39**). 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 (5,2 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-19 f**).

Fotografía N° 8-19. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2023.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, Tipología 1 con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), y Tipología 3 con la macro-zona Subsuperficial. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde seguido de amarillo,

mientras que, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y en menor medida, blanco. En la zona Profunda predominó la tonalidad marón seguido de gris. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 14 mm, con un número entre 2 y 5 capas (**Tabla N° 8-38**).

Tabla N° 8-38. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Amarillo	Naranja	Amarillo
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	S/C	Rosado	Blanco Rosado
	Profunda	S/C	Gris Marrón	Marrón
Total de laminaciones		2	5	5
Espesor (mm)		5	14	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, dos muestras presentaron Tipología 1, observándose tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) y una muestra con Tipología 2, exhibiendo dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció mayormente la tonalidad rosada y en la zona Profunda, predominó la tonalidad gris, seguido de marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 8 y 10 mm, con un número entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue entre 1,2 y 5,1 cm (**Tabla N° 8-39**).

Tabla N° 8-39. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde	Verde	Rosado Naranja
	Intermedio	Blanco Rosado	Rosado	Rosado
		Profunda	S/C	Marrón Gris
Total de laminaciones		4	5	5
Espesor (mm)		8	10	10
Profundidad (cm)		1,2	3,1	5,1

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.2.6 Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector La Punta-La Brava)

En el Sector La Punta-La Brava, en verano 2023, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-23) 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 rosadas, seguido de 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 luego gris, y en menor medida, negro o verde, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 8-40**).

Tabla N° 8-40. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2023.

Estación/Muestra		LP-23	LB-1 C	LB-2 P		LB-2 C		LB-3 P		LB-3 C		
		1	3	1	3	1	3	2	3	2	3	
Macrozona	Subsuperficial	Verde										
		Naranja										
		Amarillo										
		Rosado										
	Intermedia	Rosado										
		Púrpura										
		Blanco										
	Profunda	Marrón										
		Negro										
		Verde										
		Gris										

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

En laguna La Punta (LP-23 y LP-24), se observaron tapetes de Tipología 2, con macrozona subsuperficial y profunda. En la macrozona subsuperficial, predominaron capas verde y naranja mientras que, en la macrozona profunda, predominó fuertemente el marrón. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macrozona subsuperficial e intermedia (LB-1, LB-2 y LB-3) o subsuperficial y profunda (LB-2). En la macrozona subsuperficial, predominaron las capas naranja y verde, mientras que en la macrozona intermedia las capas más frecuentes fueron de tonalidad rosada. En la macrozona profunda, predominaron capas marrón (**Tabla N° 8-41**).

Respecto a la Tipología 2, para ambas lagunas, las capas verdes y naranjas observadas, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas). En tanto en la macrozona intermedia la tonalidad predominante fue rosado, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a las llamadas bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macrozona profunda

predominaron las capas marrón, las cuales representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos.

Tabla N° 8-41. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2023.

Estación/Muestra		LP-23 P		LP-24 P	LB-1 P		LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-3 C	
		2	3	1	1	2	1	2	2	1	
Macrozona	Subsuperficial	Verde	Orange	Orange	Orange		Orange	Orange		Orange	
		Naranja	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	
		Amarillo		Yellow			Yellow				
		Rosado					Pink			Pink	
	Intermedia	Rosado					Pink	Pink	Pink		Pink
		Púrpura									
		Blanco									Light Blue
	Profunda	Marrón	Brown	Brown	Brown	Brown				Brown	
		Negro									
		Gris	Grey								
		Verde		Green							
		Rosado				Pink					

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

La Tipología 3 fue detectada en Laguna La Punta (LP-24) y La Brava (LB-1 y LB-3), 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° 8-42).

Tabla N° 8-42. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2023.

Estación/Muestra			LP-24 P		LB-1 P	LB-1 C	LB-3 C
			2	3	3	2	1
Macrozona	Subsuperficial	Verde					
		Naranja					
		Amarillo					
		Rosado					

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.3 Sector vegas de Tilopozo

En la actual campaña verano 2023, 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.

8.2.2.4 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° 8-43).

Tabla N° 8-43. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2023.

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-5	Sin acceso	
S-6A		
S-9		
SA-25		

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-10		
S-11		
I-11		
I-17		
LP-23	+	-
LP-24	-	+
LB-1	+	-
LB-2	-	-
LB-3	-	-
TB-1	-	-
TB-2	-	-
TB-3	-	-

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 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 27.190 y 127.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LB-3 (afluente de la laguna) y en LB-2 respectivamente. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 50.340 en LP-23 y 63.920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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 monitoreo, excepto en LB-3 que presentó el valor más bajo con 18,9 g/Kg.

Por otra parte, se observaron temperaturas similares en la columna de agua en ambas lagunas La Brava y La Punta. Los mayores registros fueron obtenidos en LP-23 y LB-3 con valores de 25,71 y 29,19 °C respectivamente (**Figura N° 8-15 a**).

El Oxígeno disuelto presentó diferencias entre La Punta y La Brava, presentando concentraciones entre 3,53 mg/L y 5,29 mg/L en La Punta y de 1,57 mg/L y 6,73 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) y en La Punta (LP-24), 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**).

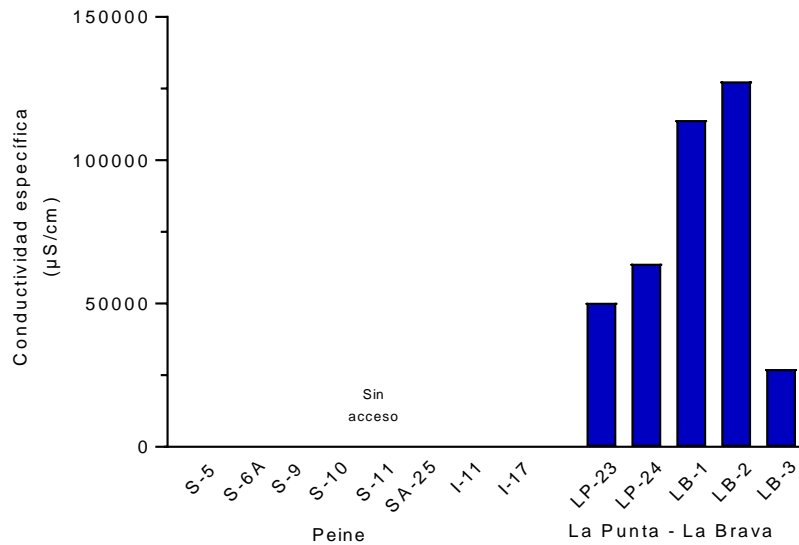
Respecto de la alcalinidad total (CaCO_3), en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron similares entre estaciones de monitoreo, excepto por el menor registro en la estación LB-3 (La Brava). Los mayores registros fueron detectados en las estaciones de la laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y en las estaciones de la laguna La Brava (LB-1 y LB-2) (**Figura N° 8-16 a**).

La turbiedad por su parte presentó mayores registros en las estaciones de La Punta con valores de 2,6 UNT en LP-23 y LP-24, en tanto, en La Brava se observaron registros entre 0,7 y 2,2 UNT en las estaciones LB-3 y LB-2 respectivamente (**Figura N° 8-16 b**).

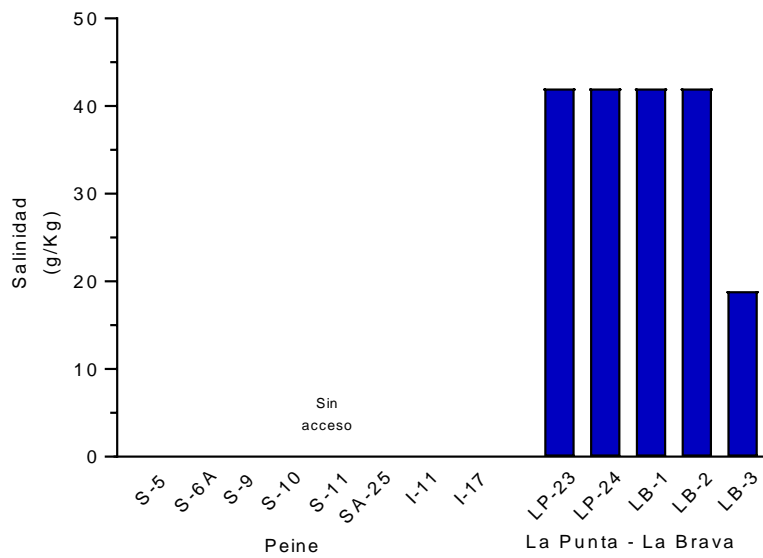
En relación con el pH, se observaron valores homogéneos, con valores neutros, los que oscilaron entre 7,32 unidades en LB-2 y LB-3 y 7,51 unidades en la estación LB-1. Mientras que, en la laguna La Punta se observaron registros entre 7,50 en LP-23 y 7,61 en LP-24 (**Tabla N° 8-44**).

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 0,85 MJ/m² en la estación LB-1 y 3,09 MJ/m² en la estación LP-23, observándose valores diferentes entre estaciones de monitoreo, horarios y entre lagunas (**Tabla N° 8-44**).

Figura N° 8-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2023.



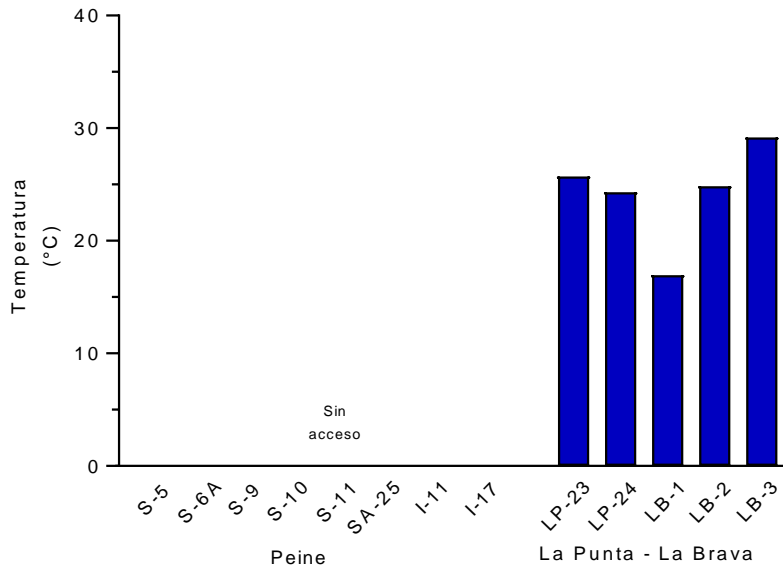
a.



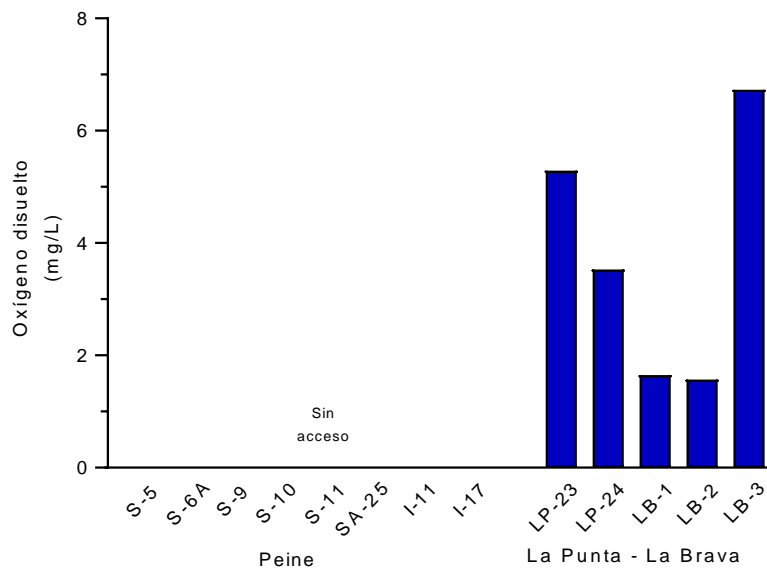
b.

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 2023.



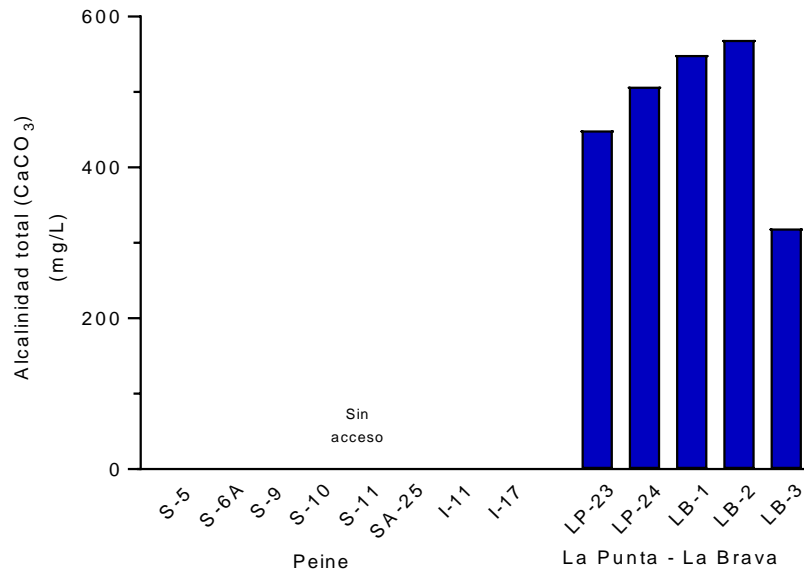
a.



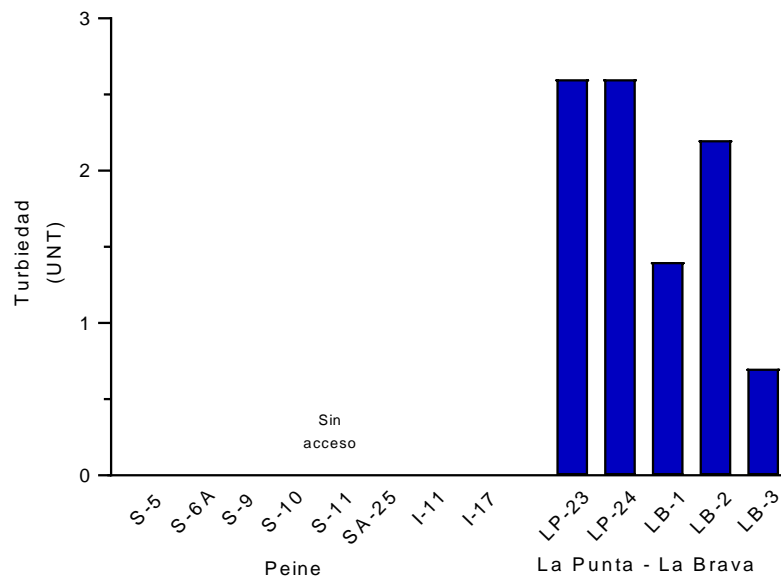
b.

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 2023.



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 2023, se destaca que para carbono orgánico total los registros fueron diferentes entre sectores y lagunas.

La Punta-La Brava, presentó registros similares para carbono orgánico total, con registros que fluctuaron entre 52,55 g/Kg en LP-23 y 71,40 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 (<0,127 mg/Kg) (**Tabla N° 8-45**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó leves diferencias entre las lagunas La Punta-La Brava, observándose mayores registros entre 1,2 g/Kg en las estaciones LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) y 2,5 g/Kg en la estación LB-2 (La Brava). Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en la mayoría de las estaciones se registraron valores positivos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones oxidativas, con valores entre -395 mV (LB-1) y 420 mV (LP-24 y LB-3)²⁹. (**Tabla N° 8-45**).

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”.

²⁹ Se solicitó al laboratorio ETFA encargado, una revisión de los valores de potencial óxido-reducción, ya que históricamente han sido valores negativos.

Tabla N° 8-44. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 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
Temperatura	°C	-	Sin acceso							25,71	24,32	16,94	24,84	29,19
pH	U	-								7,5	7,61	7,51	7,32	7,32
Conductividad específica	µS/cm	-								50340	63920	114000	127600	27190
Salinidad	g/Kg	-								>42,00	>42,00	>42,00	>42,00	18,9
Oxígeno disuelto	mg/L	-								5,29	3,53	1,65	1,57	6,73
Turbiedad	UNT	-								2,6	2,6	1,4	2,2	0,7
Radiación solar**	MJ/m ²	-								3,09	2,80	0,85	2,12	2,98
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	<1,2								449	507	549	569	319

*LD: Límite de Detección; **Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Minera Albemarle
 Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8-45. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 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
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	<1	Sin Acceso							52,55	52,90	71,40	58,41	64,97
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500								<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	<0,0125								1,2	1,3	2,1	2,5	1,2
Potencial Redox	mV	-								13,4	420	-395	411	420

Fuente: Elaboración propia

9 SUELO O SUSTRATO

9.1 MATERIALES Y MÉTODOS

9.1.1 Descripción del área de estudio

El área coincide con el denominado Núcleo del Salar de Atacama, que corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales.

Los suelos del 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).

El tipo de suelo Entisol, se caracteriza por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados debido a la aridez de la zona, y por su alto contenido salino y pH elevado. Pueden ser suelos jóvenes que no han tenido tiempo de desarrollarse o viejos, en sentido geológico, pero que no han desarrollado horizontes por corresponder a materiales resistentes a la meteorización. Se presentan virtualmente en todos los climas sobre superficies fisiográficas recientes, ya se trate de empinadas pendientes sujetas a intensa erosión o sobre planos de sedimentación en donde se han depositado los materiales recién transportados (CADE-IDEPE 2004).

También pueden encontrarse sobre superficies fisiográficas antiguas, en donde por la intervención del hombre se ha destruido el perfil del suelo o bien, cuando se trata de materiales resistentes que no han permitido su desarrollo (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 (calicatas)

Para el seguimiento se consideraron las 14 calicatas para muestreo de suelo - sustrato definidas en el proyecto (EIA-Adenda 5), de las cuales seis (6) se localizan según definición en el sector de Tilopozo, cuatro (4) en el sector La Punta – La Brava, de los cuales tres (3) se

ubican en La Punta y uno (1) en La Brava, y cuatro (4) en Peine. En la **Tabla N° 9-1**, se presenta la ubicación de las calicatas y las coordenadas UTM. Tanto en la Tabla de coordenadas como en la Figura de ubicación, se observa una homologación de la codificación de las calicatas, dado que, una vez efectuada la visita preliminar a terreno en agosto 2016, previo al inicio de los monitoreos semestrales, con el objetivo de que hubiera coherencia entre el muestreo de suelo y vegetación, se reubicaron muy cerca de los mismos, con el fin de establecer las mejores áreas de trabajo para el objetivo mencionado, quedando como se presentan en la **Tabla N° 9-1**.

El criterio de reubicación de las calicatas para realizar el muestreo de suelo, el cual ya fuera informado a través del Informe PMB N°1 (junio 2017), no cambia el objetivo del PMB ni el número de calicatas y sector caracterizado por cada uno de estas. 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, considerando la distribución de las transectas del monitoreo de vegetación y flora, seleccionando siempre el sitio lo más próximo a ésta, pero considerando no intervenir el área monitoreada por el componente vegetación-flora, y
- b) Seleccionar 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, la calicata para muestreo se seleccionó en función del suelo de mayor representatividad en el área.

En la **Tabla N° 9-1** se presentan las coordenadas (UTM) de las 14 calicatas de muestreo del PMB, con ambos códigos, el propuesto en la Adenda 5, y el usado para el PMB, de manera de hacer más fácil la revisión del compromiso.

Cabe señalar y considerar siempre que, la ubicación de 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 las muestras 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 este motivo, estas calicatas se desplazan respecto a los anteriores, siendo esta distancia en terreno inferior a 1 m., esto con el fin de que la variación del suelo sea la mínima posible. Si bien la distancia entre éstas calculadas a partir de las coordenadas determinadas mediante navegador GPS es mayor a 1 m., esto es debido al margen de error normal propio del instrumento utilizado.

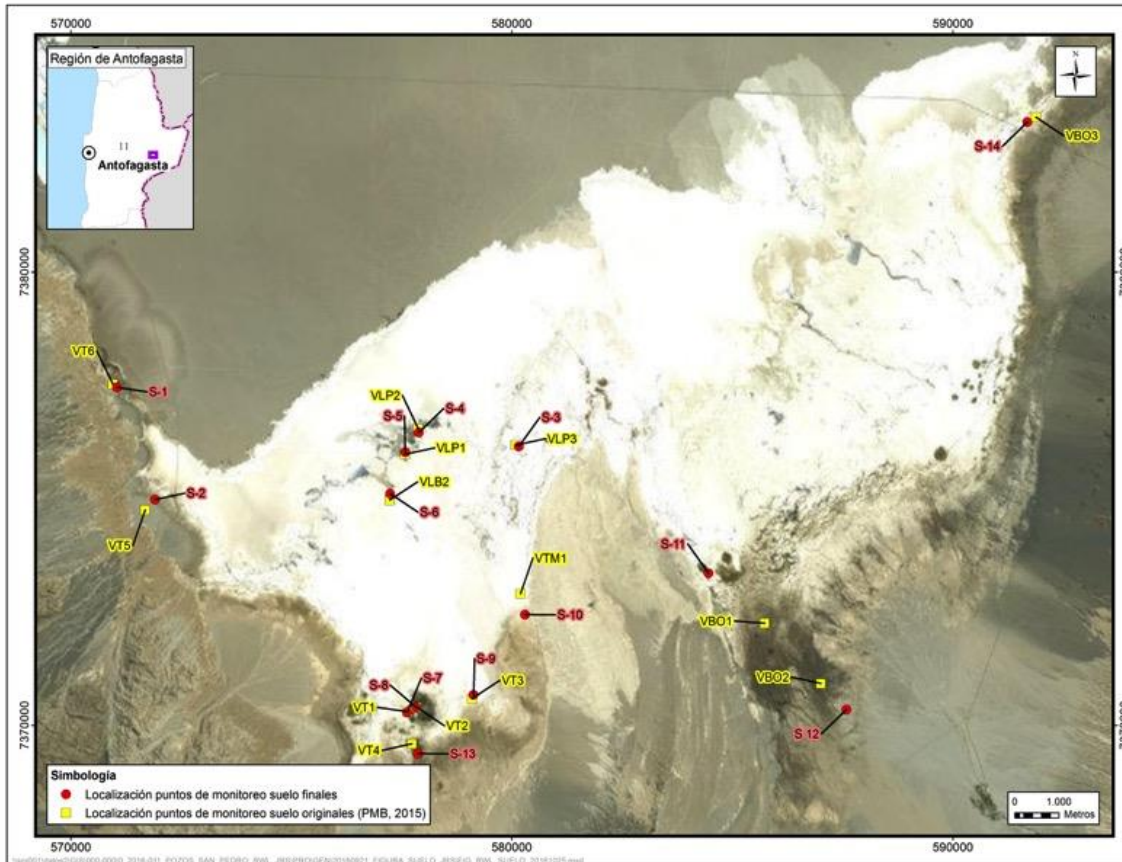
Tabla N° 9-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M14, puntos de muestreo suelo.

Sector	Código Original calicata muestreo de suelos (PMB, 2015)	ID calicata final suelos PMB ³⁰	Coordenadas UTM (WGS 84) Posición original		Coordenadas UTM (WGS 84) posición final.	
Tilopozo	VT1	S 7	577.638	7.370.303	577.628	7.370.028
Tilopozo	VT2	S 8	577.837	7.370.400	577.831	7.370.399
Tilopozo	VT3	S 9	579.093	7.370.589	579.132	7.370.673
Tilopozo	VT4	S 13	577.733	7.369.597	577.870	7.369.378
Tilopozo	VT5	S 2	571.685	7.374.751	571.909	7.374.983
Tilopozo	VT6	S 1	570.952	7.377.529	571.048	7.377.456
La Punta	VLP1	S 5	577.574	7.375.983	577.586	7.376.028
La Punta	VLP2	S 4	577.878	7.376.549	577.889	7.376.463
La Punta	VLP3	S 3	580.088	7.376.183	580.159	7.376.154
La Brava	VLB2	S 6	577.320	7.374.972	577.240	7.375.111
Peine	VB01	S 11	585.736	7.372.255	584.461	7.373.360
Peine	VB02	S 12	587.006	7.370.925	587.586	7.370.350
Peine	VB03	S 14	591.885	7.383.418	591.689	7.383.312
Peine	VTM1	S 10	580.196	7.372.908	580.299	7.372.443

Fuente: Elaboración Propia.

³⁰ En cada calicata se toman dos muestras S N-1 y S N-2, colectando la primera en superficie y la segunda en profundidad.

Figura N° 9-1. Localización original y actual 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

Parámetro	Unidad medida
Potasio (K)	mg/kg
Humedad	%
Conductividad hidráulica (permeabilidad) ³¹ k"	cm/h
Textura	---
Salinidad ³¹	mg/kg

Fuente: PMB, 2015 (Adenda 5, Anexo 2)

9.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control

9.1.4.1 Metodología in situ

En terreno, en cada uno de los sitios seleccionado para el muestreo de suelo, se realizan calicatas de una profundidad máxima de 93 cm (M13) y 84 cm (M14), excepto en aquellos casos que por presencia de una limitante propia del suelo no sea posible. Posteriormente se delimitan los estratos u horizontes que conforman el perfil, seleccionando en términos generales los dos primeros para tomar las muestras, excepto en aquellos casos en los cuales la potencia del estrato u horizonte superficial fuese inferior a un mínimo que no permitiese la toma de muestra (inferior a 5 cm) o que estuviese conformado mayoritariamente por sales. En caso de interceptar el nivel freático, se registra su profundidad.

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 tomar 500 grs de suelo para enviar a los respectivos laboratorios (**Tabla N° 9-3**), muestras que fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas.

³¹ Corresponde a las sales solubles (cationes y aniones).

Para el análisis de conductividad hidráulica – permeabilidad (metodología de permeámetro de carga constante), en ambos monitoreos se utilizó el laboratorio del departamento de física de suelo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile. Este muestreo consiste en la toma de 10 muestras por calicata, 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 (**Fotografía N° 9-1**). 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.

Las muestras para los análisis de la conductividad eléctrica, pH, materia orgánica (M.O.), humedad y textura, se toman 500 grs. de suelo cada una, en cada punto de muestreo (2 por calicata) envasadas en bolsas plásticas (polietileno, polipropileno o polímero de plástico), los cuales son debidamente identificados y almacenados en forma adecuada, hasta la entrega en el laboratorio correspondiente (ALS), como se indica en **Tabla N° 9-3**.

Tabla N° 9-3. Laboratorios utilizados análisis monitoreos M13 y M14.

Parámetro	Monitoreo	
	M13	M14
Conductividad eléctrica	ALS (ETFA)	ALS (ETFA)
pH	ALS (ETFA)	ALS (ETFA)
Materia orgánica (MO)	ALS (ETFA)	ALS (ETFA)
Humedad	ALS (ETFA)	ALS (ETFA)
Textura	ALS (ETFA)	ALS (ETFA)
Fósforo disponible (P)	AGROLAB	ALS (ETFA)
Potasio disponible (K)	AGROLAB	ALS (ETFA)
Nitrógeno disponible (N)	AGROLAB	AGROLAB
Conductividad hidráulica (permeabilidad)	Fac. Agronomía - U. de Chile	Fac. Agronomía - U. de Chile
Salinidad	AGROLAB	AGROLAB

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de macroelementos (NPK), para el monitoreo M13 para el análisis de los parámetros fósforo y nitrógeno, las muestras fueron enviadas a AGROLAB y potasio a ANAM, pero debido a problemas administrativos internos de este último, el 50% de las muestras no fue ingresadas a su sistema y no fueron analizadas (**ver Carta Laboratorio ANAM, Anexo 1 Suelo o Sustrato**), por lo tanto, se solicitó a AGROLAB efectuar el análisis del total de las muestras para este parámetro.

Para el monitoreo M14, considerando la dificultad con ANAM, se procedió al cambio de laboratorio para análisis de potasio. Respecto al fósforo, ya que desde una fecha posterior a la campaña de invierno de 2022 el análisis de este parámetro debe ser realizado por una ETFA, se utilizó como laboratorio para estos análisis a ALS, ya que se encontraba acreditado. Se continuó con los análisis de nitrógeno con AGROLAB para M14, al igual que salinidad para ambos monitoreos (ver **Tabla N° 9-3**).

La campaña de monitoreo de suelo realizada en verano 2023 (M14) se realiza en conjunto con la ETFA SGS Chile Ltda.

9.1.4.2 Análisis de laboratorio

Tal como se indicó en la sección previa, los análisis de las muestras de suelo para ambos monitoreos fueron realizados con 3 laboratorios, uno de los cuáles se encuentran acreditados como ETFA: ALS Life Sciences Chile. Los otros dos no requieren ser ETFA, porque las variables correspondientes aún no están acreditadas como requerimiento de ETFA, corresponden al laboratorio de física de suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Chile (para permeabilidad) y AGROLAB donde se realizaron los análisis de NPK, salinidad y textura para M13. En cambio, para M14 sólo se realizó nitrógeno y salinidad, debido a la acreditación como parámetros ETFA de fósforo y potasio.

AGROLAB es un laboratorio específico para análisis de suelo, el cual 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° 9-4**, se indican las metodologías utilizadas por los diferentes laboratorios para determinar los distintos parámetros evaluados en este subcomponente, tanto para M13 como para M14, considerando las acreditaciones ETFA de nuevos parámetros.

Tabla N° 9-4. Parámetros evaluados, laboratorio y método de análisis par M13 y M14. Componente Suelo.

Parámetro	Laboratorio	Método de análisis (M13)	Método de análisis (M 14)
Conductividad eléctrica (μS/cm)	ALS (ETFA)	QWI-IO-CE-01 Emisión B, mod.3. Soil and Land Survey Handbook, Method 4A 1: Electrical Conductivity, 1992.	QWI-IO-CE-01 Emisión B mod. 6 QWI-IO-LIXI-01 Emisión B mod. 3 Método
pH	ALS (ETFA)	QWI-IO-PH-01. Emisión B, modificación 2. Soil and Land Survey Handbook, Method 3A 1: Soil pH, 1992.	QWI-IO-pH-01 Emisión B mod. 3 QWI-IO-LIXI-01 Emisión B mod. 3
Materia orgánica (%)	ALS(ETFA)	QWI-IO-ORG-MORG-01 (Issue A Modification 2) ASTM D 2974	
Humedad (%)	ALS(ETFA)	Recommended Analysis Methods for Soils of Chile – 2.1 Revision 2, 2006. QWI-IO-HUM-01. Emisión B, modificación 0. QWI-IO-Humedad-01	QWI-IO-Humedad-01 (Issue B Modification 4).
Textura	ALS (ETFA)	QWI-IO-TEXT-01 (Issue A Modification 0)	
Fósforo* (mg/kg)	AGROLAB	Extracción con solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L a pH 8,5 y determinación colorimétrica del azul de molibdeno. Procedimiento de CNA - Método 6.1-P(1)	
Fósforo* (mg/kg)	ALS (ETFA)		CNA 6.1
Potasio* (mg/kg)	AGROLAB	Extracción con solución de acetato de amonio 1 mol/L a pH 7,0 y determinación por espectrofotometría de absorción atómica con lantano. Procedimiento de CNA - Método 4.1-Ca,Mg,K,Na(1)	
Potasio* (mg/kg)	ALS (ETFA)		SM 3120 B Ed.23
Nitrógeno *(mg/kg)	AGROLAB	Digestión Kjeldahl modificada. Procedimiento de CNA - Método 14.1-1)	
Conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h)	Fac. Agronomía - U. de Chile	Permeámetro de carga constante	
Salinidad (mg/kg 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	

* Para N, P, K, corresponde a concentraciones disponibles, no totales.

Fuente: Elaboración Propia.

En las siguientes Tablas, se indica la denominación o categoría de cada parámetro, de acuerdo a rangos utilizados como referencia para los valores de estos, definidos para el monitoreo edáfico.

Tabla N° 9-5: Valores de Materia orgánica (%)

Categoría	Rango
Muy bajo	≤ 0,9
Bajo	1,0 - 1,9
Normal	2 - 2,5
Alto	2,6 - 3,5
Muy alto	> 3,6

Fuente: Sierra y Rojas 1985.

Tabla N° 9-6: Interpretación del pH

Categoría	Rango
Extremadamente ácido	< 4,5
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5
Medianamente ácido	5,6 - 6,0
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Medianamente básico	7,4 - 7,8
Moderadamente básico	7,9 - 8,4
Ligeramente alcalino	8,5 - 9,0
Alcalino	9,1 - 10,0
Fuertemente alcalino	> 10,0

Fuente: Rioja Molina A. (2002).

Tabla N° 9-7: Categorías de Salinidad.

Categoría	Conductividad eléctrica $\mu\text{S/cm}$
No salino	0 – 2.000
Ligeramente salino	2.000 – 4.000
Salino	4.000 – 8.000
Muy salino	8.000 – 16.000
Extremadamente salino	> 16.000

Fuente: Sierra, Césped y Osorio (2001).

Tabla N° 9-8: Niveles de Fosforo (mg/kg)

Categoría	Rango
Muy bajo	≤ 5,0

Categoría	Rango
Bajo	5,1 a 10
Medio	10 ,1 a 20
Alto	20,1 -a 30
Muy alto	≥ 30,1

Fuente Bernier, R. 2000.

Tabla N° 9-9: Niveles de Nitrógeno (mg/kg)

Categoría	Rango
Muy bajo	0 - 10
Bajo	10,1 - 20
Medio	20,1 - 40
Alto	40,1 - 60
Muy alto	> 60

Fuente: Bernier, R. 2000.

Tabla N° 9-10: Niveles de Potasio (mg/kg)

Categoría	Rango
Muy bajo	0 - 50
Bajo	51 - 100
Medio	101 - 150
Adecuado	151 – 800
Alto	> 800

Fuente: Agrolab, 2017.

Tabla N° 9-11: Rangos de conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h)

Velocidad	Rango
Muy baja	< 0,0036
Baja	0,0036 ≤ 0,036
Moderadamente baja	0,036 ≤ 0,360
Moderadamente alta	0,360 ≤ 3,6
Alta	3,6 ≤ 36
Muy alta	≥ 36

Fuente: USDA. 2012.

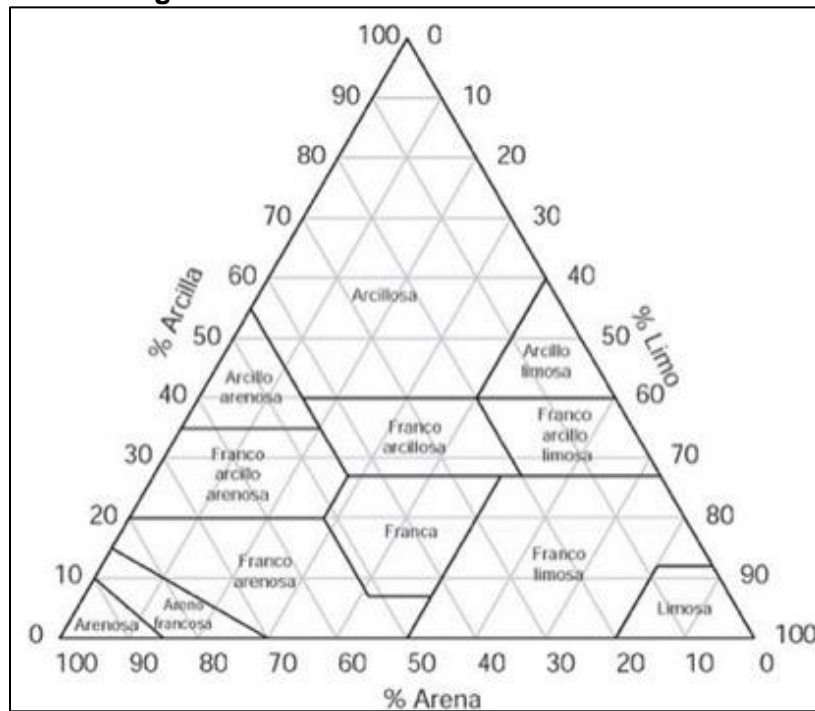
Tabla N° 9-12: Tamaño de partículas que determina la textura del suelo

Clasificación	Rango del diámetro de partículas	
	mm	µm
Arena muy gruesa	2-1	2000-1000
Arena gruesa	1,0- 0,5	1000-500

Clasificación	Rango del diámetro de partículas	
	mm	µm
Arena media	0,5 - 0,25	500-250
Arena fina	0,25 - 0,1	250-100
Arena muy fina	0,1 - 0,05	100-50
Limo grueso	0,05 - 0,02	50-20
Limo fino	0,02 – 0,002	20-2
Arcilla	<0,002	<2

Fuente: USDA 2012.

Figura N° 9-2: Clases texturales del suelo.



Fuente: Soil Survey Staff. 1993.

9.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales y/o equipos utilizados en el monitoreo, son:

Para la confección de las calicatas se utilizó:

- Pala
- Picota
- Chuzo

La extracción de las muestras se realizó utilizando:

- Cuchillo
- Pala jardinera
- Espátula

El almacenamiento de las muestras se realizó en:

- Bolsas de plástico
- Tubos de PVC (**Fotografía N° 9-1**)

El material utilizado para extraer muestras de suelo para análisis de la conductividad hidráulica corresponde a un cilindro de PVC de 5 cm de radio por 5 cm de alto, y otro instrumento de PVC, que permite golpear el cilindro sin afectar la estructura de la muestra de suelo y se presenta imagen en fotografía siguiente.

Fotografía N° 9-1. Materiales utilizados para extraer muestras de suelo para conductividad hidráulica (permeabilidad).



Fuente: Elaboración Propia.

El transporte de las muestras a los laboratorios se realizó en cajas de plástico, siendo transportadas vía aérea.

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

La campaña de invierno de suelos (Monitoreo 13), se realizó entre los días 21 al 26 de agosto del 2022. Las muestras para análisis de conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, humedad y textura (ALS), NPK y salinidad (AGROLAB) y conductividad hidráulica (Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile) fueron entregadas el 29 de agosto del 2022.

La campaña de verano de suelos (Monitoreo 14), se realizó entre los días 12 al 18 de marzo de 2023. Las muestras para análisis de conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, humedad, textura, fósforo y potasio (ALS), nitrógeno y salinidad (AGROLAB) y conductividad hidráulica (Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile) fueron entregadas el 20 de marzo de 2023.

9.2 RESULTADOS

9.2.1 Resultados campaña de invierno 2022

9.2.1.1 Caracterización suelos

La caracterización de los suelos en los diferentes sitios seleccionados se realiza considerando tanto información de terreno, como de los resultados obtenidos a partir de los análisis de laboratorios. A continuación, se presenta una descripción de los suelos por sector para cada sitio.

Para cada sector, los puntos de muestreo se identifican por su código actual (S“i”) y a su vez por su código original, utilizando para cada estrato analizado, el número del punto de muestreo seguido del identificador del estrato muestreado (S “i-j”).

a) Sector de Tilopozo

a-1) *Calicata S 1 (VT6)*

Suelo de topografía ligeramente plana, con abundante pedregosidad superficial y vegetación que conforma manchones de *Distichlis spicata*, los que se presentan dispersos en forma heterogénea en el sector (**Fotografía N° 9-2**). Los suelos asociados a esta calicata son aluviales y ocupan el piedmont de los cerros que conforman el límite oeste de la cuenca del salar.

Fotografía N° 9-2. Vista general sitio Calicata S 1. Monitoreo invierno 2022.

Fuente: Elaboración Propia.

Este suelo presenta en superficie un horizonte salino arenoso extremadamente duro, de una potencia de 12 cm (S 1-0). Bajo éste se presenta otro (S1-1) cuya potencia es 20 cm (12 cm – 30 cm), de clase textural areno francosa, con una humedad que asciende a 3,46%, y con valores de NPK de 84, 3 y 744 mg/kg, es decir, categoría muy alta, muy baja y adecuado, respectivamente, de acuerdo con los rangos indicados previamente. Los datos y resultados se presentan en la **Tabla N° 9-13**.

La materia orgánica para este estrato es baja (0,22%), la conductividad eléctrica es de 5.401 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo a un suelo salino. En este la concentración de sales solubles (salinidad) es de 27.948 mg/kg, el pH es ligeramente alcalino (9,0), presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (197,6 cm/h), ver **Tabla N° 9-13**.

En profundidad (30 – 70 cm) se presenta el estrato S1-2 de textura areno francosa (**Tabla N° 9-13**), el que presenta una humedad de 8,75%, donde el NPK se encuentra en valores de 79, 5 y 1.498 mg/kg, es decir, categoría muy alta, muy bajo y alto, respectivamente.

Estrato en el cual la materia orgánica es baja (0,11%), con un pH ligeramente alcalino (8,9), correspondiendo a un suelo salino (C.E. 4.710 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 27.310 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) del horizonte S1-2 es de 31,3 cm/h, es decir, alta (**Tabla N° 9-13**).

Bajo el horizonte S 1-2, se observó la presencia de otro de textura franco arenosa (S 1-3)

Tabla N° 9-13. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 1. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 1-0	S 1-1	S 1-2	S 1-3
Profundidad (cm)	0 – 12	12 – 30	30 – 70	70 – 90+
C. E. (µS/cm)	---	5.401	4.710	---
MO (%)	---	0,22	0,11	---
pH	---	9,0	8,9	---
Salinidad (mg/kg)	---	27.948	27.310	---
N (mg/kg)	---	84	79	---
P (mg/kg)	---	3	5	---
K (mg/kg)	---	744	1.498	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	197,6	31,3	---
Humedad (%)	---	3,46	8,75	---
Textura	Salino extremadamente duro	Areno francoso	Areno francoso	Franco limosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-3. Vista general perfil calicata S 1, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

a-2) Calicata S 2 (VT5)

Suelo que corresponde a terrenos planos, sin pedregosidad superficial y con vegetación muy escasa, presentando como dominante a la especie *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-4**). Suelos de origen aluvial que constituyen el piedmont de los cerros que conforman el límite oeste de la cuenca del salar.

Fotografía N° 9-4. Vista general sitio calicata S 2. Monitoreo invierno 2022.

Fuente: Elaboración Propia.

Suelo que presenta en superficie (S 2-0) un estrato de textura arenosa, con abundante presencia de sales y extremadamente duro y con una potencia de 7 cm (0 cm a 7 cm). Bajo este, se presenta otro estrato (S 2-1), de una potencia de 18 cm (7 cm – 25 cm), cuya clase textural es franco arenosa, con una humedad que asciende a 29,9%, y con valores de NPK de 96, 21 y 5.518 mg/kg, es decir, categorías muy alta, alta y alta, respectivamente, ver **Tabla N° 9-14**.

Estrato en el cual la materia orgánica es muy baja (0,72%), muy salino (C.E. 11.530 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 40.254 mg/kg, y pH ligeramente alcalino (8,8), presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (601,7 cm/h) ver **Tabla N° 9-14**.

Bajo éste, se presenta un tercer estrato entre los 25 cm a 93 cm (S 2-2), de clase textural franco arcillo arenoso (), con una humedad que asciende a 20,1%. En este estrato, los valores de NPK determinados corresponden a 69, 7 y 1.244 mg/kg, equivalente a las categorías muy alta, baja y alta, respectivamente.

Estrato con un porcentaje de materia orgánica que inferior a 0,1% (muy bajo), con un pH ligeramente alcalino (8,5), siendo un suelo ligeramente salino (C.E. 3.762 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dada la concentración de sales solubles de 10.577 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 120,1cm/h, correspondiendo a un suelo que presenta una velocidad de infiltración del agua alta, ver **Tabla N° 9-14**.

Tabla N° 9-14. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 2. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 2-0	S 2-1	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 7	7 - 25	25 - 93+
C. E. (µS/cm)	---	11.530	3.762
MO (%)	---	0,72	< 0,1
pH	---	8,8	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	40.254	10.577
N (mg/kg)	---	96	69
P (mg/kg)	---	21	7
K (mg/kg)	---	5.518	1.244
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	601,7	120,1
Humedad (%)	---	29,9	20,1
Textura	Arenoso extremadamente duro	Franco arenoso	Franco arcillo arenoso

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-5. Vista general perfil calicata S 2, Monitoreo invierno 2022



Fuente: Elaboración Propia.

a-3) *Calicata S 7 (VT1)*

Suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad superficial y en el que la cobertura de la vegetación varía entre 25 y 50%, la cual se encuentra dominada por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-6**). A los 91 cm se detectó la presencia de nivel freático, ver **Fotografía N° 9-7**. Esta calicata se encuentra situado al este de la vega de Tilopozo.

Fotografía N° 9-6. Vista general sitio calicata S 7. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia

El perfil de este suelo (S 7) está conformado en superficie por un estrato salino arenoso extremadamente duro, con abundantes raíces entre los 0 a 9 cm, bajo éste se presenta otro horizonte entre los 9 a 29 cm (S 7-1), ver **Fotografía N° 9-7**, de textura franco arenosa, con una humedad de 53,1%, y los macronutrientes (NPK) se presentan en valores de 121, 21 y 3.009 mg/kg, es decir, categorías muy alta, alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (4,32%), con un pH ligeramente alcalino (8,5), correspondiendo a un suelo muy salino (C.E. 11.760 μ S/cm), determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 44.071 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 222,6cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta ().

Entre los 29 a 59 cm se presenta el estrato S 7-2, cuya clase textural es franca arcillo limosa (**Fotografía N° 9-7**), con una humedad de 50,0%. Los macronutrientes (NPK) presentan valores que ascienden a 115, 8 y 1.110 mg/kg., equivalente a las categorías muy alta, baja y alta, respectivamente. Este estrato presenta una concentración de materia orgánica baja (1,89%), con un pH ligeramente alcalino (8,8), y con conductividad eléctrica en rangos de suelo salino (C.E. 4.028/cm), determinado por una concentración de sales solubles que alcanza a 13.135 mg/kg. Adicionalmente, se caracteriza por presentar una conductividad hidráulica o permeabilidad alta (99,2 cm/h) (**Tabla N° 9-15**). En profundidad, a partir de los 59 cm, se presenta un cuarto estrato de textura franca muy gravoso.

Tabla N° 9-15. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 7. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 7	S 7-1	S 7-2	S 7-3
Profundidad (cm)	0 - 9	9 - 29	29 - 59	59 – 91+
C. E. (µS/cm)	---	11.760	4.028	---
MO (%)	---	4,32	1,89	---
pH	---	8,5	8,8	---
Salinidad (mg/kg)	---	44.071	13.135	---
N (mg/kg)	---	121	115	---
P (mg/kg)	---	21	8	---
K (mg/kg)	---	3.009	1.110	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	222,6	99,2	---
Humedad (%)	---	53,1	50,0	---
Textura	Salino	Franco arenoso	Franco arcillo limoso	Franco muy gravoso

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-7. Vista general perfil calicata S 7, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

a-4) Calicata S 8 (VT2)

Terreno que corresponde a un suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, con nivel freático a los 19 cm y una cobertura vegetal muy densa, la cual a la fecha de la toma de muestra se presentaba senescente su parte aérea, destacando como especies dominantes *Juncus balticus*, *Schoenoplectus californicus* y en

menor proporción *Distichlis spicata*, correspondiendo a un suelo orgánico asociado a una vega (**Fotografía N° 9-8**).

Fotografía N° 9-8. Vista general sitio calicata S 8. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

El suelo entre los 0 a 15 cm presenta un estrato (S 8-0) conformado exclusivamente por raíces activas. Bajo este y entre los 15 - 25 cm (S 8-1), se presenta otro constituido por abundantes raíces y restos vegetales, con diversos grados de descomposición (**Fotografía N° 9-9**), de clase textura franco arenoso, con una humedad de 67,5%, y valores de NPK que ascienden a 146, 133 y 2.909 mg/kg., es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. El porcentaje de materia orgánica es bajo (1,8%), el pH es moderadamente básico (7,9), correspondiendo a un suelo salino (5.195 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 15.074 mg/kg., el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (142,9 cm/h), ver **Tabla N° 9-16**.

En profundidad, se presenta un tercer estrato (S 8-2, 25 a 40 cm), de clase textura franco arcillosa, con abundante presencia de restos vegetales descompuestos y semi descompuestos de color pardo (**Fotografía N° 9-9**) y con una humedad de un 62%. Los nutrientes (NPK) presentan valores de 125, 44 y 1.349 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. La presencia de materia orgánica es muy alta (9,35%), con un pH moderadamente básico (8,1), correspondiendo a un suelo salinos (4.066 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 17.353 mg/kg. Adicionalmente, el suelo presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (72,1cm/h), ver **Tabla N° 9-16**.

A partir de los 60 cm, se observa un cuarto estrato (S 8-4) extremadamente duro (hardpan).

Tabla N° 9-16. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 8. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 8-0	S 8-1	S 8-2	S 8-3	S 8-4
Profundidad (cm)	0 - 15	15 - 25	25 - 40	40 - 60	60 y +
C. E. (µS/cm)	---	5.195	4.066	---	---
MO (%)	---	1,8	9,35	---	---
pH	---	7,9	8,1	---	---
Salinidad (mg/kg)	---	15.074	17.353	---	---
N (mg/kg)	---	146	125	---	---
P (mg/kg)	---	133	44	---	---
K (mg/kg)	---	2.909	1.349	---	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	142,9	72,1	---	---
Humedad (%)	---	67,5	62	---	---
Textura	Raíces	Franco arenoso	Franco arcilloso	Arcilloso	Hardpan

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-9. Vista general perfil calicata S 8, Monitoreo invierno 2023



Fuente: Elaboración Propia.

a-5) Calicata S 9 (VT3)

Suelo de topografía plana, que presenta en superficie una costra salina extremadamente dura en superficie y suelto en profundidad. Sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, la vegetación presenta una cobertura muy escasa, la cual se encuentra dominada exclusivamente por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-10**) y con nivel freático a los 32 cm, ver **Fotografía N° 9-11**. Sitio de muestreo que se ubica 1,3 km al este de la Vega de Tilopozo.

Fotografía N° 9-10. Vista general sitio calicata S 9. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

Entre los 0 a 3 cm se presenta un horizonte salino extremadamente duro (S 9-0) y bajo este, y hasta los 15 cm, otro suelto (S 9-0a).

Entre los 15 y 36 cm se reconoce un tercer estrato (S 9-1), de textura franco (**Fotografía N° 9-11**) y con una humedad que asciende a 67%. Los macronutrientes, específicamente NPK se presentan en valores de 117, 10 y 1.436 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, bajo y alto, respectivamente. El suelo presenta muy baja materia orgánica (0,22%), con un pH ligeramente alcalino (8,5) y es ligeramente salino (3.776 $\mu\text{S/cm}$), dada la concentración de sales solubles que alcanza a los 17.197 mg/kg (**Tabla N° 9-17**). Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (14,5 cm/h).

En profundidad se define un cuarto estrato (S 9-2), entre los 36 a 60 cm, cuya textura es franca arenosa (**Fotografía N° 9-11**), la humedad es de 50% y los macronutrientes (NPK) presentan valores de 98, 5 y 1.204 mg/kg, considerados muy alto, muy bajo y alto, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (< 0,1%), el pH es ligeramente alcalino (8,6), suelo ligeramente salino (2.914 $\mu\text{S/cm}$), determinado por una concentración de sales que asciende a 13.115 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (79,7 cm/h), ver **Tabla N° 9-17**.

Tabla N° 9-17. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 9. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 9-0	S 9-0a	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 15	15 - 36	36 - 60 +
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	---	3.776	2.914
MO (%)	---	---	0,22	< 0,1

Punto muestreo	S 9-0	S 9-0a	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 15	15 - 36	36 - 60 +
pH	---	---	8,5	8,6
Salinidad (mg/kg)	---	---	17.197	13.115
N (mg/kg)	---	---	117	98
P (mg/kg)	---	---	10	5
K (mg/kg)	---	---	1.436	1.204
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	14,5	79,7
Humedad (%)	---	---	67	50
Textura	Salino extremadamente duro	Sal suelta	Franco	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-11. Vista general perfil calicata S 9. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

a-6) Calicata S 13 (VT4)

Suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad superficial y cobertura de la vegetación que varía entre 50 a 75% (poco densa), donde como especies dominantes se presentan *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-12**). Este suelo, se localiza en el borde este de una vega en el sector de Tilopozo.

Fotografía N° 9-12. Vista general sitio calicata S 13. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta un horizonte salino extremadamente duro, con abundante limo entre los 0 a 3 cm (S 13-0), y entre los 3 a 13 cm se observa otro (S13-1) de textura arcillosa (**Fotografía N° 9-13**), cuya humedad es de 30,4%, y los valores de NPK, corresponden a 42, 19 y 772 mg/kg. siendo alto, medio y adecuado, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (< 0,1%), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,6), siendo además ligeramente salino (C.E. 2.860 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto dada una concentración de sales solubles, las cuales ascienden a 4.366 mg/kg. Suelo que presenta una permeabilidad muy alta (147,3 cm/h) ver **Tabla N° 9-18**.

Bajo los 13 cm, y hasta los 49 cm, existe un tercer horizonte (S 13-2), de textura franca (**Fotografía N° 9-13**), con una humedad de 29,8%, y los valores de los nutrientes, específicamente, NPK son 34 mg/kg, 13 mg/kg y 922 mg/kg, considerados medio, medio y alto, respectivamente. Suelo en el cual la materia orgánica es muy baja (0,33%), el pH es moderadamente básico (8,3), con características de ligeramente salino (C.E. 2.404 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto dada la concentración de sales solubles que asciende a 3.569 mg/kg. Adicionalmente, presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (19,9 cm/h) ver **Tabla N° 9-18**.

Tabla N° 9-18. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 13. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 13	13 - 49+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	2.860	2.404
MO (%)	---	< 0,1	0,33
pH	---	8,6	8,3
Salinidad (mg/kg)	---	4.366	3.569
N (mg/kg)	---	42	34
P (mg/kg)	---	19	13

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 13	13 - 49+
K (mg/kg)	---	772	922
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	147,3	19,9
Humedad (%)	---	30,4	29,8
Textura	Salino extremadamente duro	Arcilloso	Franco

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-13. Vista general perfil calicata S 13, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

b) Sector La Punta-La Brava

b-1) Calicata S 3 (VLP3)

Suelo de topografía plana, en superficie se presenta un horizonte salino y con vegetación asociada principalmente a cursos o depósitos de agua permanentes o estacionales, donde destacan *Juncus balticus*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa* como especies principales (**Fotografía N° 9-14**). Con nivel freático a los 43 cm (**Fotografía N° 9-15**).

Suelo que se localiza 2,3 km, al este del sistema lagunar Punta-La Brava.

Fotografía N° 9-14. Vista general sitio calicata S 3. Monitoreo invierno 2022.

Fuente: Elaboración Propia.

Perfil que presenta entre los 0 y 4 cm un horizonte salino extremadamente duro (S 3-0), bajo éste existe un segundo estrato (S 3-0a), pero es suelto y con una potencia de 10 cm (5 a 15 cm).

Entre los 15 a 30 cm, se presenta un tercer estrato (S 3-1), de textura franca (**Fotografía N° 9-15**), con una humedad que alcanza a 56,9% y con valores de NPK iguales a 78, 3 y 1.263 mg/kg, es decir, categorías muy alta, baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-19**). La materia orgánica es baja (1,12%), el suelo es ligeramente salino (C.E. 3.266 $\mu\text{S}/\text{cm}$), donde la concentración de sales solubles asciende a 12.991 mg/kg, y el pH es moderadamente básico (8,4), presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 16,3 cm/h, es decir categoría alta (**Tabla N° 9-19**).

Bajo el horizonte anterior se presenta otro (S 3-2) localizado entre los 30 a 65 cm y más (**Fotografía N° 9-15**), cuya textura es franco arenosa y con una humedad que asciende a 57,1%; en este horizonte el NPK se encuentra en valores de 92, 3 y 940 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-19**). Este horizonte presenta un porcentaje igual a 0,16% de materia orgánica (muy bajo), el pH es moderadamente básico (8,4), siendo un suelo ligeramente salino (C.E. 2.668 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 10.983 mg/kg y una conductividad hidráulica igual a 53,1 cm/h, por lo que la permeabilidad del suelo es muy alta (**Tabla N° 9-19**).

Tabla N° 9-19. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 3. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 3-0	S 3-0a	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 4	5 - 15	15 - 30	30 - 65+
C. E. (µS/cm)	---	---	3.266	2.668
MO (%)	---	---	1,12	0,16
pH	---	---	8,4	8,4
Salinidad (mg/kg)	---	---	12.991	10.983
N (mg/kg)	---	---	78	92
P (mg/kg)	---	---	3	3
K (mg/kg)	---	---	1.263	940
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	16,3	53,1
Humedad (%)	---	---	56,9	57,1
Textura	Sal extremadamente duro	Sal suelta	Franca	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-15. S 3, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

b-2) Calicata S 4 (VLP2)

Corresponde a un suelo de topografía plana y con escasa presencia de agua en superficie, la cual ocupa de preferencia sectores deprimidos. Corresponde a una zona desnuda y la flora conforma manchones aislados disperso heterogéneamente en el área y está constituida por poblaciones de *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-16**), el nivel freático se presenta a los 30 cm (**Fotografía N° 9-17**) y este suelo ocupa el borde nor-este de La Punta.

Fotografía N° 9-16. Vista general sitio calicata S 4, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Perfil conformado en superficie por un horizonte entre los 0 cm a 1 cm (S 4-0), constituido mayoritariamente por sal extremadamente duro (**Fotografía N° 9-17**). Entre 1 cm a 18 cm se presenta un segundo horizonte (S 4-1) de clase textural areno francosa, con una humedad de 29,9%, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 62,8 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta, ver **Tabla N° 9-20**.

Los macronutrientes, específicamente NPK, presentan en valores de 116, 3 y 2.283 mg/kg, es decir categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. En este estrato la materia orgánica es normal (2,17%), el suelo es de pH alcalino (9,1), ligeramente salino (C.E. 3.849 µS/cm) y con una concentración de sales solubles de 18.168 mg/kg (**Tabla N° 9-20**).

Entre los 18 a 54 cm, se observa un horizonte (**Fotografía N° 9-17**) de textura franco arcillo arenosa (S 4-2), con una humedad que alcanza 42,0% y con NPK disponible en valores de 107, 3 y 2.020 mg/kg, es decir, categoría muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Mientras que, la materia orgánica es normal (2,32%), el pH es ligeramente alcalino (8,9) y el suelo es salino (C.E. 4.240µS/cm), con una concentración de sales solubles de 17.773 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (702,9 cm/h) ver, **Tabla N° 9-20**.

Tabla N° 9-20. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 4. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2
Profundidad (cm)	0 – 1	1 – 18	18 – 54+
C. E. (µS/cm)	---	3.849	4.240
MO (%)	---	2,17	2,32

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2
Profundidad (cm)	0 – 1	1 – 18	18 – 54+
pH	---	9,1	8,9
Salinidad (mg/kg)	---	18.168	17.773
N (mg/kg)	---	116	107
P (mg/kg)	---	3	3
K (mg/kg)	---	2.283	2.020
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	62,8	702,9
Humedad (%)	---	29,9	42
Textura	Salino duro	Areno francosa	Franco arcillo arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-17. Vista general perfil calicata S 4, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

b-3) Calicata S 5 (VLP1)

Suelo de topografía plana, con presencia de abundante agua en superficie, en término vegetacionales corresponde a una zona denudada, y sólo es posible observar poblaciones de *Distichlis spicata*, dispersas heterogéneamente en el área (**Fotografía N° 9-18**). Calicata en la cual el nivel freático se presenta a los 8 cm de profundidad (**Fotografía N° 9-19**), y se sitúa a un costado de la laguna La Punta.

Fotografía N° 9-18. Vista general sitio calicata S 5. Monitoreo invierno 2022.

Fuente: Elaboración Propia.

Suelo constituido por un horizonte superficial de 0 a 3 cm (S 5-0), conformado principalmente por sales y extremadamente duro (**Fotografía N° 9-19**). Bajo este, y hasta los 30 cm, se presenta otro (S 5-1), de clase textural areno francosa, con una humedad que alcanza al 18,3%. Los macronutrientes nutrientes (NPK) se presentan en valores de 80, 3 y 1.634 mg/kg, es decir, categoría muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es baja (1,48%), el pH alcalino (9,3), la CE está en rangos de ligeramente salino (C.E. 2.856 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 6.020 mg/kg, y una conductividad hidráulica o permeabilidad alta (547,6 cm/h), ver **Tabla N° 9-21**.

Entre los 30 a 49 cm, se presentan un horizonte areno francoso (S 5-2), con una humedad de 28,0%, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 1.313,3 cm/h, es decir, categoría muy alta, el NPK se presenta en valores de 75, 3 y 1.219 mg/kg, es decir, muy alto, muy bajo y alto, respectivamente. Suelo en el cual la materia orgánica es alta (2,26%), con un pH alcalino (9,4), no salino (C.E. 1.707 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y una concentración de sales solubles de 7.983 mg/kg (**Tabla N° 9-21**).

Tabla N° 9-21. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 5. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0 – 3	3 - 30	30 - 49+
C. E. (µS/cm)	---	2.856	1.707
MO (%)	---	1,48	2,26
pH	---	9,3	9,4
Salinidad (mg/kg)	---	6.020	7.983
N (mg/kg)	---	80	75
P (mg/kg)	---	3	3
K (mg/kg)	---	1.634	1.219
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	547,6	1.313,3
Humedad (%)	---	18,3	28
Textura	Salino extremadamente duro	Areno francosa	Areno francosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-19. Vista general perfil de suelo calicata S 5, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

b-4) Calicata S 6 (VLB2)

Suelo de topografía plana sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, en términos vegetacionales corresponde a una zona desnuda absoluta (**Fotografía N° 9-20**), el nivel freático se presenta a los 50 cm (**Fotografía N° 9-21**). Suelo que se localiza próximo a un afluente a la laguna La Brava, en su sección sur.

Fotografía N° 9-20. Vista general sitio calicata S 6. Monitoreo invierno 2022.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que se caracteriza por presentar en superficie un horizonte (S 6-0) entre los 0 a 20 cm, el cual está constituido por sales y limo, extremadamente duro. Bajo este y entre los 20 a 30 cm, se presenta un segundo horizonte (S 6-0a), conformado exclusivamente por sales sin cohesión (**Fotografía N° 9-21**).

A partir de los 33 cm y hasta los 59 cm, se presenta un horizonte de clase textural arenosa (S 6-1). En éste la humedad es de 21,9%, con valores de NPK que ascienden a 132, 67 y 2.240 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. En este horizonte, la materia orgánica es baja (1,2%), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,9) y el suelo es muy salino (C.E. 8.224 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), con una concentración de sales solubles de 65.857 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 1.067,1cm/h, es decir, categoría muy alta (**Tabla N° 9-22**).

Entre los 59 cm a 79 cm (**Fotografía N° 9-21**), se presenta un horizonte de clase textural franca arenosa (S 6-2). En éste la humedad es de 68,4%, y los valores de los macronutrientes, específicamente NPK, son 52, 22 y 3.789 mg/kg, es decir, categorías altas.

Suelo con contenido de materia orgánica muy alta (4,22%), pH moderadamente básico (8,3), salino (C.E. 7.787 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 39.268 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (27,1 cm/h) ver, **Tabla N° 9-22**.

Tabla N° 9-22. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 6. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 6-0	S 6-0a	S 6-1	S 6-2
Profundidad (cm)	0 – 20	20 - 33	33 - 59	59 - 79+
C. E. (µS/cm)	---		8.224	7.787
MO (%)	---		1,2	4,22
pH	---		8,9	8,3
Salinidad (mg/kg)	---		65.857	39.268
N (mg/kg)	---		132	52
P (mg/kg)	---		67	22
K (mg/kg)	---		2.240	3.789
Conductividad hidráulica (cm/h)	---		1.067,1	27,1
Humedad (%)	---		21,9	68,4
Textura	Sal extremadamente dura	Sal suelta	Arenoso	Franco arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-21. Vista general perfil calicata S 6, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

c) Sector Peine

c-1) Calicata S 10 (VTM1)

Suelo que presenta una topografía suavemente inclinada y con vegetación del tipo herbácea de una cobertura escasa, la cual se encuentra dominada por *Distichlis spicata* (Fotografía N° 9-22).

Este suelo se describe a 4,5 km al sur-este de La Punta y a 0,3 km al norte del camino de acceso al sistema lagunar La Punta-La Brava.

Fotografía N° 9-22. Vista general sitio calicata S 10. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

Suelo que en superficie presenta un horizonte salino con abundante limo (S 10-0) entre los 0 a 20 cm (**Fotografía N° 9-23**), siendo extremadamente duro. Entre los 20 cm a 32 cm se observa un segundo horizonte (S 10-1), de clase textural franco arcillo arenosa y con abundante presencia de sales dispersas. El contenido de humedad es de un 13,4%, donde los valores de NPK son 147, 28 y 1.646 mg/kg, es decir, categoría muy alta, alta y alta, respectivamente, ver **Tabla N° 9-23**.

Horizonte donde la materia orgánica es baja (1,21%), con pH alcalino (9,7), extremadamente salino (C.E. 26.970 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) con una concentración de sales solubles de 61.672 mg/kg y una conductividad hidráulica o permeabilidad alta (33,4 cm/h), ver **Tabla N° 9-23**.

Bajo el horizonte anterior existe un tercer horizonte (S 10-2) entre los 32 a 64 cm y más (**Fotografía N° 9-23**), de clase textural arcillo limosa. En este la humedad es de 33,7%, con valores de los macronutrientes nutrientes, específicamente, NPK de 136 mg/kg, 13 mg/kg y 4.138 mg/kg, es decir, categorías muy alta, media y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy baja (0,1%), el pH es ligeramente alcalino (8,8), muy salino (C.E. 8.263 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 41,105 mg/kg, y con una conductividad hidráulica de 0,5 cm/h, es decir, categoría alta (**Tabla N° 9-23**).

Tabla N° 9-23. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 10. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 10-0	S 10-1	S 10-2
Profundidad (cm)	0 - 20	20 - 32	32 - 64+
C. E. (µS/cm)	---	26.970	8.263
MO (%)	---	1,21	0,1
pH	---	9,7	8,8
Salinidad (mg/kg)	---	61.672	41105
N (mg/kg)	---	147	136
P (mg/kg)	---	28	13
K (mg/kg)	---	1.646	4.138
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	33,4	0,5
Humedad (%)	---	13,4	33,7
Textura	Sal extremadamente dura	Franco arcillo arenosa	Arcillo limosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-23. Vista general perfil sitio calicata S 10, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

c-2) Calicata S 11 (VB01)

Terreno suavemente inclinado, sin pedregosidad superficial y con una cobertura de la vegetación muy densa, correspondiendo ésta a una pradera dominada por *Distichlis spicata* y como acompañantes se presentan *Juncus balticus* y *Schoenoplectus californicus*

(**Fotografía N° 9-24**) correspondiendo a un suelo orgánico asociado a las vegas de Tilocalar (Sector Peine), y con nivel freático a los 43 cm (**Fotografía N° 9-25**)

Fotografía N° 9-24. Vista general sitio calicata S 11. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

Suelo constituido por un horizonte superficial entre los 0 a 25 cm (S 11-1) de textura franca (**Fotografía N° 9-25**) con abundantes raíces y tallos activos, con una humedad que alcanza al 70,1%, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 88,1 cm/h, es decir, categoría muy alta (**Tabla N° 9-24**).

Horizonte en el cual los macronutrientes nutrientes (NPK) presentan valores de 156, 18 y 1.136 mg/kg, es decir, categoría muy alta, medio y alta, respectivamente. Suelo que presenta un porcentaje de materia orgánica muy alto (10,06), pH moderadamente básico (8,4), ligeramente salino (C.E. 3.025 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) y con una concentración de sales solubles que asciende a 16.137 mg/kg (**Tabla N° 9-24**).

Entre los 25 cm a 55 cm, se presenta un segundo horizonte (S11-2), cuya clase textural es franca arcillosa (**Fotografía N° 9-25**), presentando una humedad de 61,0%. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es moderadamente alta (0,5 cm/h), los macronutrientes (NPK) presentan valores de 102, 15 y 430 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, media y adecuada, respectivamente. En este horizonte, la materia orgánica es muy alta (3,71%), el pH es moderadamente básico (8,4), el suelo es no salino (C.E. 1.360 $\mu\text{S}/\text{c}$.), determinado por una concentración de sales solubles de 4.470mg/kg (**Tabla N° 9-24**).

Tabla N° 9-24. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 11. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 11-1	S 11-2
Profundidad (cm)	0 - 25	25 - 55+
C. E. (µS/cm)	3.025	1.360
MO (%)	10,06	3,71
pH	8,4	8,4
Salinidad (mg/kg)	16.137	4.470
N (mg/kg)	156	102
P (mg/kg)	18	15
K (mg/kg)	1.136	430
Conductividad hidráulica (cm/h)	88,1	0,5
Humedad (%)	70,1	61,0
Textura	Franco	Franco arcilloso

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-25. Vista general perfil calicata S 11. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

c-3) Calicata S 12 (VB02)

Suelos de topografía suavemente inclinada, de origen depositacional (aluvional), sin pedregosidad y/o rocosidad superficial. La vegetación es del tipo matorral, de cobertura clara (25 a 50%), destacando como especies principal *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides* (**Fotografía N° 9-26**). El sitio de muestreo se encuentra ubicado al sur del salar, a 0,9 km al norte de la Ruta B-355.

Fotografía N° 9-26. Vista general sitio calicata S 12. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

Suelo constituido por una sucesión de horizontes de texturas gruesas (arenas), tanto en superficie como en profundidad (**Fotografía N° 9-27**). Entre los 0 a 1 cm se presenta el primero de ellos, conformado por gravas y gravillas en matriz arenosa gruesa.

Luego entre los 1 a 15 cm, se presenta el segundo (S 12-1), conformado por sucesivas depositaciones de materiales de clase textural areno francosa fina, con una humedad de 1,4%. Aquí los macronutrientes disponibles, específicamente, NPK se presentan en valores 198, 7 y 1.667 de mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-25**). Suelo en donde la materia orgánica es muy baja (< 0,1%), con un pH ligeramente alcalino (8,8) y extremadamente salino (17.590 $\mu\text{S/cm}$), esto determinado por una concentración de sales solubles de 115.389 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 107,4 cm/h, es decir, categoría muy alta.

Entre los 15 cm y 55 cm y más, se observa un tercer horizonte (S 12-2), de textura dominante areno francosa muy gravosa, con una humedad de 1,4%, el NPK disponible se presenta en valores de 137, 5 y 892 mg/kg, equivalente a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Suelo con materia orgánica muy baja (0,2%), pH ligeramente alcalino (8,9), muy salino (C.E. 14.050 $\mu\text{S/cm}$), con una concentración de sales solubles de 64.788 mg/kg, y una conductividad hidráulica o permeabilidad muy alta (38 cm/h), ver **Tabla N° 9-25**.

Tabla N° 9-25. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 12. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 12-0	S 12 - 1	S 12 - 2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 15	15 - 55+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	17.590	14.050
MO (%)	---	< 0,1	0,2

Punto muestreo	S 12-0	S 12 - 1	S 12 - 2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 15	15 - 55+
pH	---	8,8	8,9
Salinidad (mg/kg)	---	115.389	64.788
N (mg/kg)	---	198	137
P (mg/kg)	---	7	5
K (mg/kg)	---	1.667	892
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	107,4	38
Humedad (%)	---	1,4	1,4
Textura	Gravas y gravillas	Areno francosa	Areno francosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-27. Vista general perfil calicata S 12, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

c-4) Calicata S 14 (VB03)

Terreno de topografía plana, que presenta en superficie un estrato salino, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, con vegetación del tipo arbustiva herbácea, con un cubrimiento muy escaso y como dominantes se presentan *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-28**), y nivel freático a los 32 cm. (**Fotografía N° 9-29**).

Sitio de muestreo que se localiza a 0,2 km al norte de la Ruta B-367 y a 3,3 km al nor-oeste de la Ruta B-355.

Fotografía N° 9-28. Vista general sitio calicata S 14. Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 4 cm, se presenta un horizonte (S 14-0) conformado exclusivamente por sales conformando una costra extremadamente dura (**Fotografía N° 9-29**). Bajo éste y entre los 4 cm a 28 cm, se presenta un segundo horizonte (S 14-1), de textura franco arenosa, con una humedad de 29,1%. En este, el NPK se presentan en valores que ascienden a 78, 3 y 204 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy baja y adecuada, respectivamente. Suelo con un contenido de materia orgánica muy bajo (0,24%), pH ligeramente alcalino (8,7), ligeramente salino (3.742 µS/cm), determinado por concentración de sales solubles que ascienden a 11.198 mg/kg, la conductividad hidráulica (permeabilidad) es muy alta (223,8 cm/h), ver **Tabla N° 9-26**.

Entre los 28 cm a 48 cm y más, existe un tercer horizonte (S 14-2) de textura arenosa (**Fotografía N° 9-29**), donde la humedad es de 61,2% y los macronutrientes (NPK) presentan valores de 88, 3 y 1.411 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-26**). En este horizonte, la materia orgánica es muy baja (0,19%), el pH es moderadamente básico (8,4), el suelo es ligeramente salino (3.732 µS/cm) determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 10.625 mg/kg. Aquí la conductividad hidráulica es muy alta (54,5cm/h), ver **Tabla N° 9-26**.

Tabla N° 9-26. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 14. Monitoreo invierno 2022.

Punto muestreo	S 14-0	S 14-1	S 14-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 28	28 - 48+
C. E. (µS/cm)	---	3.742	3.732
MO (%)	---	0,24	0,19
pH	---	8,7	8,4
Salinidad (mg/kg)	---	11.198	10.625
N (mg/kg)	---	78	88

Punto muestreo	S 14-0	S 14-1	S 14-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 28	28 - 48+
P (mg/kg)	---	3	3
K (mg/kg)	---	204	1.411
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	223,8	54,5
Humedad (%)	---	29,1	61,2
Textura	Sal extremadamente duro	Franco arenosa	Arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-29. Vista general perfil calicata S 14, Monitoreo invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.2 Resultados campaña de verano 2023

9.2.2.1 Caracterización suelos

Sector de Tilopozo

a-1) Calicata S 1 (VT6)

Suelo de topografía ligeramente ondulado, con abundante pedregosidad superficial y vegetación en manchones de *Distichlis spicata*, los cuales se presentan dispersos en forma heterogénea en el área, (**Fotografía N° 9-30**). Los cuales corresponde a suelos de origen aluviales que constituyen el piedmont de los cerros y que conforman el límite oeste de la cuenca del salar.

Fotografía N° 9-30. Vista general sitio calicata S 1. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Este suelo presenta en superficie un horizonte (S 1-0) arenosos duro y de una potencia de 5 cm.

Bajo el anterior se presenta un segundo horizonte (S 1-1), cuya potencia es de 26 cm (10 cm – 30 cm), de textura franca con presencia de sales (**Fotografía N° 9-31**), con una humedad que asciende a 10,2%, donde los valores de NPK son 45, 4,1 y 7.018,66 mg/kg, es decir, categoría alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-27**). La materia orgánica es muy baja (0,57%), con una conductividad eléctrica de 4.984 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo a un suelo salino, donde la concentración de sales solubles es de 78.144 mg/kg, el pH es ligeramente alcalino (8,6), con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (8,4 cm/h), ver **Tabla N° 9-27**.

En profundidad (31 cm a 80 cm y más), se observa un tercer horizonte (S 1-2) de textura franca arcillosa, en el cual la humedad asciende a 6,77%, y los macronutrientes (NPK) se encuentran en valores de 35, 4,4 y 6.951,9 mg/kg, es decir, categorías media, muy baja y alta, respectivamente. Horizonte que presenta un 7,75% de materia orgánica (muy alto), con un pH ligeramente alcalino (8,5), siendo éste un suelo salino (C.E. 6.174 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), y con una concentración de 25.379 mg/kg. de sales solubles (**Tabla N° 9-27**).

La conductividad hidráulica (permeabilidad) de este horizonte es de 2,0 cm/h, correspondiendo a la categoría alta (**Tabla N° 9-27**).

Tabla N° 9-27. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 1. Verano 2023.

Punto muestreo	S 1-0	S 1-1	S 1-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 31	31 - 80+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	4.984	6.174

Punto muestreo	S 1-0	S 1-1	S 1-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 31	31 - 80+
MO (%)	---	0,57	7,75
pH	---	8,6	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	78.144	25.379
N (mg/kg)	---	45	35
P (mg/kg)	---	4,1	4,4
K (mg/kg)	---	7.018,66	6.951,9
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	8,4	2
Humedad (%)	---	10,2	6,77
Textura	Arenosa	Franco	Franco arcillosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-31. Vista general perfil calicata S 1. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

a-2) Calicata S 2 (VT5)

Suelo que corresponde a terrenos planos, sin pedregosidad superficial y con vegetación muy escasa, dominada por *Distichlis spicata* y con escasa salinidad en superficie (**Fotografía N° 9-32**). Corresponde a suelos aluviales que constituyen el piedmont de los cerros que conforman el límite oeste de la cuenca del salar.

Fotografía N° 9-32. Vista general sitio calicata S 2. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Suelo que en superficie presenta un horizonte (S 2-0) de 7 cm de potencia y de clase textural areno limoso con abundantes sales y duro. Bajo éste se desarrolla otro horizonte (7 cm a 31 cm, S 2-1) de textura franco arcillo arenoso, con presencia de abundantes sales (**Fotografía N° 9-33**), un contenido de humedad que asciende 7,88%, y concentraciones de NPK disponible que alcanzan los 32, 4,3 y 4.586,36 mg/kg, es decir, categorías media, muy baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (0,16%), el suelo es muy salino (C.E. 10.030 $\mu\text{S/cm}$), con una concentración de sales solubles de 39.663 mg/kg, su pH es ligeramente alcalino (8,9) y la conductividad hidráulica (permeabilidad) es muy alta (251 cm/h), ver **Tabla N° 9-28**.

Entre los 31 cm a 69 cm y más, se presenta un tercer horizonte (S 2-2), cuya humedad asciende a 14,9%, en el cual los macronutrientes (NPK) se encuentran en valores de 48, 4,4 y 6.835,16 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. Horizonte que presenta un contenido de materia orgánica de 2,24% (normal), con un pH moderadamente básico (8,4), y una condición de suelo salino (C.E. 6.388 $\mu\text{S/cm}$), con una concentración de sales solubles de 20.658 mg/kg. La conductividad hidráulica o permeabilidad es alta (7,2 cm/h), ver **Tabla N° 9-28**.

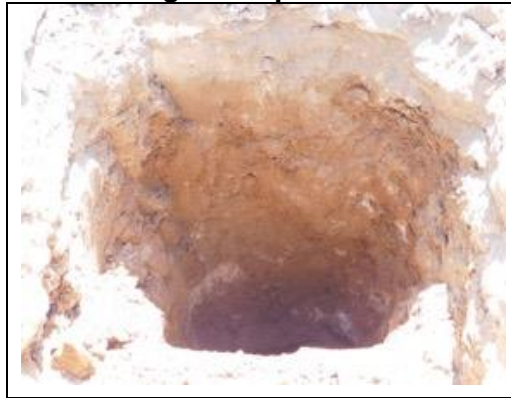
Tabla N° 9-28. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 2. Verano 2023.

Punto muestreo	S 2-0	S 2-1	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 7	7 - 31	31 - 69+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	10.030	6.388
MO (%)	---	0,16	2,24
pH	---	8,9	8,4
Salinidad (mg/kg)	---	39.663	20.658
N (mg/kg)	---	32	48
P (mg/kg)	---	4,3	4,4

Punto muestreo	S 2-0	S 2-1	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 7	7 - 31	31 - 69+
K (mg/kg)	---	4.586,36	6.835,16
Conductividad hidráulica (cm /h)	---	251	7,2
Humedad (%)	---	7,88	14,9
Textura	Areno limoso	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-33. Vista general perfil calicata S 2. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

a-3) Calicata S-7 (VT1)

Suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, en el que la cobertura de la vegetación fluctúa entre 25 a 50% (poco densa), estando dominada por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-34**). Suelo que se localiza al este de la vega de Tilopozo.

Fotografía N° 9-34. Vista general sitio calicata S 7. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 12 cm, el perfil de este suelo está conformado por un horizonte salino y extremadamente duro (S 7-0), bajo el cual se presenta otro (S 7-1), entre los 12 cm a 33 cm (**Fotografía N° 9-35**), de textura franca arcillo limosa, con una humedad de 51,2%, en el cual los macronutrientes (NPK) se presentan en valores que ascienden a 30, 9,5 y 4.709,02 mg/kg, es decir, categorías media, baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (4,84%), el pH es ligeramente alcalino (8,6), el suelo está en rangos de muy salino (C.E. 9.671 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 28.619 mg/kg. Adicionalmente, presenta una conductividad hidráulica o permeabilidad muy alta (224,8 cm/h), ver **Tabla N° 9-29**.

Entre los 33 cm a 81 cm y más se encuentra el horizonte S 7-2. Este presenta una textura franca (**Fotografía N° 9-35**), en el que la humedad alcanza a 45,5% y los nutrientes (NPK) presentan valores que ascienden a 30, 8,8 y 1.163,64 mg/kg, equivalentes a las categorías media, baja y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (40,4%), el pH es ligeramente alcalino (8,8), suelo ligeramente salino (C.E. 2.116 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que alcanza los 9.146 mg/kg. Adicionalmente, el suelo presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 21,5 cm/h, es decir, categoría alta (**Tabla N° 9-29**).

Tabla N° 9-29. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 7. Verano 2023.

Punto muestreo	S 7-0	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 12	12 - 33	33 - 81+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	9.671	2.116
MO (%)	---	4,84	40,4
pH	---	8,6	8,8
Salinidad (mg/kg)	---	28.619	9.146

Punto muestreo	S 7-0	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 12	12 - 33	33 - 81+
N (mg/kg)	---	30	30
P (mg/kg)	---	9,5	8,8
K (mg/kg)	---	4.709,02	1.163,64
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	224,8	21,5
Humedad (%)	---	51,2	45,5
Textura	Sal extremadamente duro	Franca arcillo limosa	Franca

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-35. Vista general perfil calicata S 7. Verano 2023



Fuente: Elaboración Propia.

a-4) Calicata S-8 (VT2)

Terreno que corresponde a un suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, y con una cobertura vegetal muy densa, destacando la presencia de *Juncus balticus*, *Schoenoplectus californicus* y en menor proporción *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-36**), y con nivel freático a los 65 cm, ver **Fotografía N° 9-37**. Correspondiendo a un suelo orgánico asociado a la vega de Tilopozo.

Fotografía N° 9-36. Vista general sitio calicata S 8. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Entre los 0 a 12 cm, se observa un horizonte (S 8-0) constituidos exclusivamente por tallos y raíces activas con abundantes restos vegetales. Bajo éste, y hasta los 33 cm, se encuentra el horizonte S 8-1, conformado por raíces y raicillas activas, como también restos vegetales con distintos grados de descomposición (**Fotografía N° 9-37**) en matriz arcillo arenosa, con una humedad de 68,2%, y concentraciones de nutrientes (NPK) que se encuentran en valores de 35, 95,1 y 2.553,84 mg/kg, es decir, categorías media, muy alta y alta, respectivamente.

La materia orgánica es muy alta (4,0%), la cual está determinada por una abundante presencia de restos vegetales. El pH es moderadamente básico (7,9), el suelo es salino (7.211 $\mu\text{S/cm}$), las sales solubles se presentan en una concentración de 20.286 mg/kg. El suelo presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 57 cm/h, es decir, muy alta (**Tabla N° 9-30**).

En profundidad se presenta un tercer horizonte (33 cm a 74 cm y más, S 8-2), de textura franco arcilla limosa, con abundante presencia de restos vegetales descompuestos, y humedad de 53,2%. Los nutrientes (NPK) presentan valores de 34, 9,9 y 1.603,58 mg/kg, es decir, categorías media, baja y alta, respectivamente. Punto de muestreo donde la materia orgánica es muy alta (26,83%), el pH es moderadamente básico (8,3), el suelo es no salino (1.871 $\mu\text{S/cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 8.480 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 499,4 cm/h, es decir, alta (**Tabla N° 9-30**).

Tabla N° 9-30. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 8. Verano 2023.

Punto muestreo	S 8-0	S 8-1	S 8-2
Profundidad (cm)	0 - 6	6 - 33	33 - 74+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	7.211	1.871
MO (%)	---	4,0	26,83

Punto muestreo	S 8-0	S 8-1	S 8-2
Profundidad (cm)	0 - 6	6 - 33	33 - 74+
pH	---	7,9	8,3
Salinidad (mg/kg)	---	20.286	8.480
N (mg/kg)	---	35	34
P (mg/kg)	---	95,1	9,9
K (mg/kg)	---	2.553,84	1.603,58
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	57	499,4
Humedad (%)	---	68,2	53,2
Textura	---	Arcillo arenosa	Franco arcillo limosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-37. Vista general perfil calicata S 8. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

a-5) Calicata S 9 (VT3)

Suelo de topografía plana, sin rocosidad y/o pedregosidad superficial. En términos vegetacionales corresponde a una formación herbácea muy escasa (1 a 5% de cobertura), donde como especie dominante se presenta *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-38**) y presenta un nivel freático a los 58 cm (**Fotografía N° 9-39**). Este suelo se localiza a 1,3 km al este de la Vega de Tilopozo.

Fotografía N° 9-38. Vista general sitio calicata S 9. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Entre los 0 cm a 15 cm, se observan dos horizontes (S 9-0 y 9-0a) conformados por sales, extremadamente duro en superficie y suelto en profundidad, ver **Fotografía N° 9-39**.

Entre los 15 cm a 29 cm se presenta un tercer horizonte (S 9-1) franco arcillo limoso (**Fotografía N° 9-39**), cuya humedad es de un 68,2%, y los macronutrientes, específicamente N y P se presentan en valores de 31 y 14,9 mg/kg, correspondiendo a la categoría media para ambos nutrientes (si bien se tomó la muestra, la que fue enviada al laboratorio correspondiente, este no entregó los resultados del análisis, por problemas internos. Esto también ocurrió con la muestra del horizonte profundo). La materia orgánica del suelo es alta (3,27%), con un pH moderadamente básico (8,2), y una condición de suelo salino (4.756 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que alcanza a 16.323 mg/kg (**Tabla N° 9-31**). La permeabilidad es alta, considerando que la conductividad hidráulica es igual a 35,9 cm/h.

En profundidad entre los 29 cm a 62 cm y más, se presenta un cuarto horizonte (S 9-2), de textura franco arcillo arenosa (**Fotografía N° 9-39**), con una humedad de 39,1%, los nutrientes (N y P) presentan valores de 29 y 43 mg/kg, correspondiendo a las categorías media y muy alta, respectivamente. En este horizonte, la materia orgánica es muy baja (0,82%), el pH es ligeramente alcalino (8,5), el suelo es ligeramente salino (2.568 $\mu\text{S}/\text{cm}$), las sales solubles se encuentran en una concentración de 11.030 mg/kg. Adicionalmente, el suelo presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (177,8 cm/h), ver **Tabla N° 9-31**.

Tabla N° 9-31. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 9. Verano 2023.

Punto muestreo	S 9-0	S 9-0a	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 2	2 - 15	15 - 29	29 - 62+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	---	4.756	2.568

Punto muestreo	S 9-0	S 9-0a	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 2	2 - 15	15 - 29	29 - 62+
MO (%)	---	---	3,27	0,82
pH	---	---	8,2	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	---	16.323	11.030
N (mg/kg)	---	---	31	29
P (mg/kg)	---	---	14,9	43
K (mg/kg) ¹	---	---	---	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	35,9	177,8
Humedad (%)	---	---	68,2	39,1
Textura	Sal extremadamente duro	Sal suelta	Franco arcillo limoso	Franco arcillo arenoso

1: Por problemas administrativos internos el laboratorio no entregó los resultados
 Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-39. Vista general perfil calicata S 9. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

a-6) Calicata S 13 (VT4)

Suelo de topografía plana, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial y cobertura de la vegetación superior a 50%, conformado un matorral pradera el cual está dominado por el arbusto *Tessaria absinthioides* y la hierba *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-40**). Suelo mineral que se localiza en el bode este de una vega, en el sector de Tilopozo.

Fotografía N° 9-40. Vista general sitio calicata S 13. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia

Este punto de muestreo presenta en superficie (0 a 5 cm) un horizonte (S 13-0) de clase textural areno limoso y con abundantes sales, extremadamente duro.

Entre 5 cm a 24 cm, existe otro (S 13-1) de clase textural franco (**Fotografía N° 9-41**), con una humedad de 26,0%, donde los macronutrientes (NPK), se presentan en valores de 34, 14 y 6.145,62 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, media y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (6,38%), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,6), el suelo es ligeramente salino (C.E. 3.277 $\mu\text{S/cm.}$), con una concentración de sales solubles igual a 6.820 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (549,6 cm/h), ver **Tabla N° 9-32**.

Entre los 24 cm a 84 cm y más, existe otro horizonte (S 13-2) de textura franca (**Fotografía N° 9-41**), en el cual la humedad es de 27,9%, y los valores de los macronutrientes, específicamente NPK, ascienden a 27, 4,8 y 5.588,46 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y alta, respectivamente. Suelo que se caracteriza por presentar una concentración de materia orgánica muy baja (0,18%), un pH moderadamente básico (8,4), ser ligeramente salino (C.E. 3.079 $\mu\text{S/cm.}$), con una concentración de sales solubles que alcanza a 4.106 mg/kg, ver **Tabla N° 9-32**.

Este horizonte presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta, igual a 99,7 cm/h (**Tabla N° 9-32**).

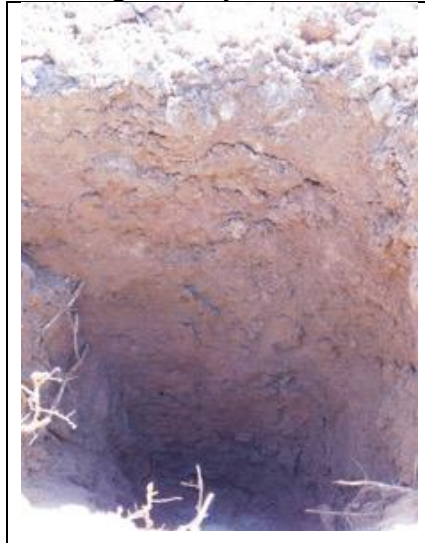
Tabla N° 9-32. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 13. Verano 2023.

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 24	24 - 84+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	3.277	3.079
MO (%)	---	6,38	0,18
pH	---	8,6	8,4

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 24	24 - 84+
Salinidad (mg/kg)	---	6.820	4.106
N (mg/kg)	---	34	27
P (mg/kg)	---	14	4,8
K (mg/kg)	---	6.145,62	5.588,46
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	549,6	99,7
Humedad (%)	---	26,0	27,9
Textura	Areno limoso	Franco	Franco

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-41. Vista general perfil calicata S 13. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

a) Sector La Punta-La Brava

b-1) Calicata S 3 (VLP3)

Suelo de topografía plana, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial y sin vegetación. Se observan comunidades florísticas asociadas principalmente a cursos de agua permanentes, donde destacan *Juncus balticus*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa* (**Fotografía N° 9-42**). El nivel freático se encuentra a los 42 cm (**Fotografía N° 9-43**).

Suelo descrito a 2,3 km, al este del sistema lagunar La Punta-La Brava.

Fotografía N° 9-42. Vista general sitio calicata 3 (S 3). Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Suelo que entre los 0 a 14 cm, presenta dos horizontes (S 3-0 y 3-0a), constituidos exclusivamente por sales extremadamente dura en superficie y sin cohesión en profundidad.

Entre los 14 a 31 cm, existe un tercer horizonte (S 3-1), de textura franca arcillosa con abundante presencia de sales (**Fotografía N° 9-43**), suelos con una humedad que alcanza a 62%, en el cual la concentración de NPK disponible es de 41, 8,4 y 3.452,77 mg/kg, equivalente a las categorías alta, baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-33**). Suelo donde la materia orgánica es muy baja 0,75%), siendo ligeramente salino (C.E. 3.275 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 18.690 mg/kg, con un pH moderadamente básico (8,4) y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (80,5 cm/h), ver **Tabla N° 9-33**.

Bajo el horizonte anterior se presenta otro horizonte (S 3-2), situado entre los 31 cm a 71 cm y más (**Fotografía N° 9-43**), de textura franco arcillosa, cuya humedad asciende a 54,4%; en este horizonte el NPK se encuentra en valores de 38, 5,8 y 1.046,13 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-33**).

Este horizonte presenta un 1,63% de materia orgánica (bajo), el pH es moderadamente básico (8,1), siendo un suelo salino (C.E. 4.083 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 13.029 mg/kg, y presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) moderadamente alta (21,6 cm/h), ver **Tabla N° 9-33**.

Tabla N° 9-33. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 3. Verano 2023.

Punto muestreo	S 3-0	S-3a	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 14	14 - 31	31 -71+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	---	3.275	4.083

Punto muestreo	S 3-0	S-3a	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 14	14 - 31	31 -71+
MO (%)	---	---	0,75	1,63
pH	---	---	8,4	8,1
Salinidad (mg/kg)	---	---	18.690	13.029
N (mg/kg)	---	---	41	38
P (mg/kg)	---	---	8,4	5,8
K (mg/kg)	---	---	3.452,77	1.046,13
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	80,5	21,6
Humedad (%)	---	---	62	54,4
Textura	Sal extremadamente duro	Sal suelta	Franco arcillosa	Franco arcillosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-43. Vista general perfil calicata S 3. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

b-2) Calicata S 4 (VLP2)

Corresponde a un suelo de topografía plana, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial y con escasa presencia de agua en superficie, asociada exclusivamente a sectores deprimidos, sin vegetación (**Fotografía N° 9-44**), pero con presencia de flora que conforma poblaciones de *Distichlis spicata*, las cuales se presentan dispersas heterogéneamente en el área, y con nivel freático a los 29 cm (**Fotografía N° 9-45**).

Este suelo se sitúa en el borde nor-este de la laguna La Punta.

Fotografía N° 9-44. Vista general sitio calicata S 4. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia

Perfil conformado en superficie por un horizonte entre los 0 a 2 cm (S 4-0), constituido exclusivamente por sales extremadamente dura (**Fotografía N° 9-45**).

Entre los 2 cm a 16 cm se presenta otro (S 4-1), franco arcillo arenoso, con una humedad de 35,3%, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 1.051,1 cm/h, es decir, que la velocidad de infiltración del agua es muy alta. El NPK se presenta en valores de 27, 5,8 y 4.419,79 mg/kg, es decir, categorías media, baja y alta, respectivamente. En éste, la materia orgánica es muy baja (0,48%), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,9), el suelo es salino (C.E. 6.679 µS/cm), con una concentración de sales solubles de 32.987 mg/kg (**Tabla N° 9-34**).

Entre los 16 cm a 34 cm (**Fotografía N° 9-45**) se observa un tercer horizonte (S 4-2) de clase textural franco arenosa, la humedad asciende a 39,4% y el NPK presenta valores de 33, 6,8 y 2.291,47 mg/kg, es decir, categorías media, baja y alta, respectivamente. En éste, la materia orgánica es normal (2,26%), con un pH ligeramente alcalino (8,9), suelo ligeramente salino (C.E. 3.375 µS/cm), donde la concentración de sales solubles es de 18.121 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 431,1 cm/h, correspondiendo a la categoría muy alta (**Tabla N° 9-34**).

A partir de los 34 cm se observa un horizonte de clases textural franca y de color negro.

Tabla N° 9-34. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 4. Verano 2023.

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2	S 4-3
Profundidad (cm)	0 - 2	2- 16	16 – 34	34 – 48+
C. E. (µS/cm)	---	6.679	3.375	---
MO (%)	---	0,48	2,26	---

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2	S 4-3
Profundidad (cm)	0 - 2	2- 16	16 – 34	34 – 48+
pH	---	8,9	8,9	---
Salinidad (mg/kg)	---	32.987	18.121	---
N (mg/kg)	---	27	33	---
P (mg/kg)	---	5,8	6,8	---
K (mg/kg)	---	4.419,79	2.291,47	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	1.051,1	431,1	---
Humedad (%)	---	35,3	39,4	---
Textura	Salino extremadamente duro	Franco arcillo arenosa	Franco arenosa	Franco

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-45. Vista general perfil calicata S 4. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

b-3) Calicata S 5 (VLP1)

Suelo de topografía plana, con presencia de agua superficial y sin vegetación, pero con presencia de poblaciones de *Distichlis spicata*, las que se presentan dispersas heterogéneamente en el área (**Fotografía N° 9-46**) y el nivel freático se presenta a 18 cm de profundidad (**Fotografía N° 9-47**). Suelo que se localiza a un costado de la laguna La Punta.

Fotografía N° 9-46. Vista general sitio calicata S 5. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Suelo constituido por un horizonte superficial salino extremadamente duro (S 5-0) entre los 0 a 4 cm (**Fotografía N° 9-47**). Bajo este se presenta un segundo horizonte (4 cm a 20 cm, S 5-1) de textura franco arcillo arenosa y con una humedad que alcanza al 24,4%. Los nutrientes (NPK) se presentan en valores de 35, 5,9 y 4.607,02 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es normal (2,32%), con un pH alcalino (9,2), correspondiendo a un suelo salino (C.E. 4.254 μ S/cm), con una concentración de sales solubles que asciende a 27.227 mg/kg. y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 3.371,7 cm/h, es decir, muy alta (**Tabla N° 9-35**).

A partir de los 20 cm (S 5-2), se presentan una sucesión de estratos franco arcillo arenosa (**Fotografía N° 9-47**), extremadamente duro, intercalados con arena gruesa cuya potencia varía entre 1 a 2 cm, donde la humedad es de 61,8%. Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 2.067,9 cm/h, es decir, muy alta. El NPK presenta valores de 30, 4,7 y 4.129,47 mg/kg, es decir, categorías media, muy baja y alta. El porcentaje de materia orgánica es de 5,34, es decir, categoría muy alta, el pH es ligeramente alcalino (8,7), suelo salino (C.E. 5.924 μ S/cm), y con una concentración de sales solubles que asciende a 26.219 mg/kg. (**Tabla N° 9-35**).

Tabla N° 9-35. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 5. Verano 2023.

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 20	20 – 57+
C. E. (μ S/cm)	---	4.254	5.924
MO (%)	---	2,32	5,34
pH	---	9,2	8,7
Salinidad (mg/kg)	---	27.227	26.219
N (mg/kg)	---	35	30
P (mg/kg)	---	5,9	4,7

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 20	20 – 57+
K (mg/kg)	---	4.607,02	4.129,47
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	3.371,7	2.067,9
Humedad (%)	---	24,4	61,8
Textura	Sal extremadamente duro	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-47. Vista general perfil calicata S 5. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

b-4) Calicata S 6 (VLB2)

Suelo de topografía plana, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, se caracteriza por no presentar vegetación y/o flora (**Fotografía N° 9-48**) y con nivel freático a los 41 cm (**Fotografía N° 9-49**). Suelo que se localiza próximo a un afluente a la laguna La Brava, en su sección sur

Fotografía N° 9-48. Vista general sitio calicata S 6. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta una costra salina entre los 0 cm a 22 cm (S 6-0 y S 6-0a), extremadamente dura en superficie y suelta en profundidad (**Fotografía N° 9-49**).

A partir de los 22 cm y hasta los 44 cm y más, se presenta un tercer horizonte (S 6-1), de textura arcillo arenosa, en el cual la humedad es de 43,6%, y los valores de NPK, son 28, 11,3 y 3.817,85 mg/kg, es decir, corresponde a las categorías media, media y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (0,66%), el pH es moderadamente básico (8,4), suelo muy salino (C.E. 5.367 μ S/cm), determinado por una concentración de sales solubles de 16.645 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 398,1 cm/h, es decir, muy alta (**Tabla N° 9-36**).

Bajo los 44 cm y más (**Fotografía N° 9-49**) se presenta un cuarto horizonte (S 6-2), de textura franca arcillo arenosa, en el cual la humedad es de 44,0%, y los valores de los macronutrientes, específicamente, NPK son 29, 7,2 y 3.876,80 mg/kg, es decir corresponde a las categorías media, baja y alta, respectivamente. Suelo en el cual la materia orgánica es muy baja (0,15%), el pH es ligeramente alcalino (8,6), suelo salino (C.E. 4.036 μ S/cm), con una concentración de sales solubles que asciende a 17.321 mg/kg, y con una conductividad hidráulica de 15,9 cm/h, lo que determina que la permeabilidad sea alta (**Tabla N° 9-36**).

Tabla N° 9-36. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 6. Verano 2023.

Punto muestreo	S 6-0	S 6-0a	S 6-1	S 6-2
Profundidad (cm)	0 - 12	12 - 22	22 - 44	44 y +
C. E. (μ S/cm)	---	---	5.367	4.036
MO (%)	---	---	0,66	0,15
pH	---	---	8,4	8,6
Salinidad (mg/kg)	---	---	16.645	17.321
N (mg/kg)	---	---	28	29
P (mg/kg)	---	---	11,3	7,2
K (mg/kg)	---	---	3.817,85	3.876,80
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	398,1	15,9
Humedad (%)	---	---	43,6	44,0
Textura	Sal extremadamente dura	Sal suelta	Arcillo arenosa	Franco arcilla arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-49. Vista general perfil calicata S 6. Verano 2023.

Fuente: Elaboración Propia.

b) Sector Peine

c-1) Calicata S 10 (VTM1)

Suelo que presenta una topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, con una cobertura de la vegetación muy clara (10 a 25%), la cual se encuentra dominada por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-50**). Este suelo se ubica a 4,5 km al sur-este de La Punta y a 0,3 km al norte del camino de acceso al sistema lagunar La Punta-La Brava.

Fotografía N° 9-50. Vista general sitio calicata S 10. Verano 2023.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que presenta como primer horizonte (S 10-0) una costra salina entre los 0 a 11 cm (**Fotografía N° 9-51**), siendo extremadamente dura.

A partir de los 11 cm, y hasta los 28 cm (**Fotografía N° 9-51**), se presenta otro horizonte (S 10-1), de textura franca y con presencia de abundantes sales con distintos grados de compactación. Este presenta una humedad de 14,1%, y los valores de NPK son 33, 5,7 y 3.496,8 mg/kg, es decir, categorías media, baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (0,66%), el pH es ligeramente alcalino (8,9), suelo salino (C.E. 7.964 $\mu\text{S/cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que alcanza a 44.275 mg/kg. Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (1.213,7 cm/h) (**Tabla N° 9-37**).

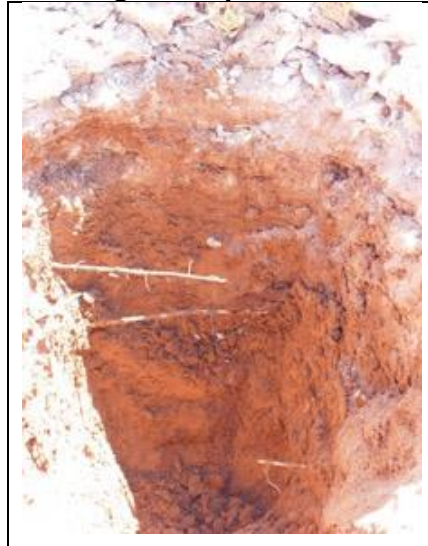
Bajo los 28 cm y hasta los 74 cm y más (**Fotografía N° 9-51**), se observa un tercer horizonte (S 10-2) de textura arcillosa, en el cual la humedad es de 26,8%, y los valores de los nutrientes, específicamente, NPK son 29, 6 y 11.967,9 mg/kg, es decir, categoría media, baja y alta, respectivamente. Suelo con materia orgánica muy baja (0,36%), pH ligeramente alcalino (9,0) y muy salino (C.E. 4.551 $\mu\text{S/cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 23.246 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (127 cm/h), ver **Tabla N° 9-37**.

Tabla N° 9-37. Resultados análisis laboratorio. calicata S 10. Verano 2023.

Punto muestreo	S 10-0	S 10-1	S 10-2
Profundidad (cm)	0 - 11	11 - 28	28 - 74+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	7.964	4.551
MO (%)	---	0,66	0,36
pH	---	8,9	9,0
Salinidad (mg/kg)	---	44.275	23.246
N (mg/kg)	---	33	29
P (mg/kg)	---	5,7	6
K (mg/kg)	---	3.496,8	11.967,9
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	1.213,7	127
Humedad (%)	---	14,1	26,8
Textura	Sal extremadamente duro	Franco	Arcillosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-51. Vista general perfil calicata S 10. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

c-2) Calicata S 11 (VB01)

Terreno suavemente inclinado, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial y con una cobertura de la vegetación que alcanza el 100%, correspondiendo a una formación herbácea dominada por *Distichlis spicata*, *Juncus balticus* y *Schoenoplectus californicus* (**Fotografía N° 9-52**). Suelo orgánico asociado a la vega de Tilocalar (Sector Peine).

Fotografía N° 9-52. Vista general sitio calicata S 11. Verano 2023.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo en el cual el primer horizonte (S 11-0) está conformado por un colchón de raíces y tallos activas y muertas (**Fotografía N° 9-53**).

Entre los 4 cm a 27 cm (**Fotografía N° 9-53**), se observa un segundo horizonte (S 11-1) de textura franca arcillosa con abundantes raíces y resto vegetales, con una humedad de 46,2%, y una conductividad hidráulica de 401,9 cm/h, es decir, una permeabilidad muy alta. Los macronutrientes (NPK) se presentan en valores de 35, 9,2 y 1.891,31 mg/kg, equivalente a las categorías media, baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (6,43%), el pH es moderadamente básico (8,3), suelo salino (C.E. 6.305 μ S/cm), y la concentración de sales solubles asciende a 38.915 mg/kg (**Tabla N° 9-38**).

Entre los 27 cm a 64 cm y más (**Fotografía N° 9-53**) se presenta un tercer horizonte (S 11-2), de textura franca arcillosa, en el cual la humedad es de 52,1%, con una conductividad hidráulica alta (34,2 cm/h). Los macronutrientes, principalmente el NPK, se presentan en valores de 40, 10,8 y 1.731,91 mg/kg, equivalente a las categorías media, medio y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es alta (3,47%), el pH es moderadamente básico (8,2), es ligeramente salino (C.E. 2.250 μ S/cm), dada la concentración de sales solubles que alcanza a los 7.794 mg/kg (**Tabla N° 9-38**).

A partir de los 64 cm, se observa la presencia de un horizonte de textura franca y color negro.

Tabla N° 9-38. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 11. Verano 2023.

Punto muestreo	S 11-0	S 11-1	S 11-2	S 11-3
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 27	27 - 64	64 – 75 y +
C. E. (μ S/cm)	---	6.305	2.250	---
MO (%)	---	6,43	3,47	---
pH	---	8,3	8,2	---
Salinidad (mg/kg)	---	38.915	7.794	---
N (mg/kg)	---	35	40	---
P (mg/kg)	---	9,2	10,8	---
K (mg/kg)	---	1.891,31	1.731,91	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	401,9	34,2	---
Humedad (%)	---	46,2	52,1	---
Textura	---	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Franco

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-53. Vista general perfil calicata S 11. Verano 2023.

Fuente: Elaboración Propia.

c-3) Calicata S 12 (VB02)

Suelos de topografía suavemente inclinada, de origen depositacional (aluvional), sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, la vegetación corresponde a un matorral claro (25 a 50%), donde *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides* se comportan como especies dominantes (**Fotografía N° 9-54**). El sitio de monitoreo se encuentra al sur del salar, a 0,9 km al norte de la Ruta B-355.

Fotografía N° 9-54. Vista general sitio calicata S 12. Verano 2023.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por una sucesión de horizontes de texturas dominantes gruesas (arenas). En superficie existe un horizonte (S 12-0) de escasa potencia (0,5 cm), constituido por gravas y gravillas en matriz arenosa gruesa dura (**Fotografía N° 9-55**).

Entre los 0,5 a 24 cm se observa un segundo horizonte (S 12-1) de clase textural franco arcillo arenosa (**Fotografía N° 9-55**), con una humedad de 1,51%, los valores de NPK disponible son 28, 4,9 y 2.636,96 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-39**). Suelo con materia orgánica baja (1,21%), pH moderadamente básico (8,4), ligeramente salino (2.641 μ S/cm), dado por una concentración de 4.012 mg/kg de sales solubles, y la conductividad hidráulica de 37 cm/h, es decir, una permeabilidad muy alta.

Entre los 24 cm a 81 cm y más, se observa un tercer horizonte (S 12-2) de textura franco arcillo arenosa con abundantes gravas y gavillas (**Fotografía N° 9-55**), en el cual la humedad es de 5,3%. Aquí los macronutrientes, específicamente NPK disponible, se presentan en valores de 29, 4,6 y 1.878,06 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, baja y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es baja (0,62%), el pH es ligeramente alcalino (8,8), con condiciones de suelo salino (C.E. 7.884 μ S/cm), este determinado por una concentración de sales solubles de 35.560 mg/kg, y la conductividad hidráulica alta (8,6 cm/h), ver **Tabla N° 9-39**.

Tabla N° 9-39. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 12. Verano 2023.

Punto muestreo	S 12-0	S 12-1	S 12-2
Profundidad (cm)	0 – 0,5	0,5 - 24	24 - 81+
C. E. (μ S/cm)	---	2.641	7.884
MO (%)	---	1,21	0,62
pH	---	8,4	8,8
Salinidad (mg/kg)	---	4.012	35.560
N (mg/kg)	---	28	29
P (mg/kg)	---	4,9	4,6
K (mg/kg)	---	2.636,96	1.878,06
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	37	8,6
Humedad (%)	---	1,51	5,3
Textura	Gravas y gravillas	Franco arcillo Arenosa	Franco arcillo Arenosa

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-55. Vista general perfil calicata S 12. Verano 2023.

Fuente: Elaboración Propia.

c-4) Calicata S 14 (VB03)

Terreno que corresponde a un suelo de topografía plana, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, la vegetación corresponde a un matorral herbácea de cobertura muy escasa, dominada por *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-56**), y con nivel freático a los 54 cm (**Fotografía N° 9-57**). Suelo que se localiza a 0,2 km al norte de la Ruta B-367 y a 3,3 km al nor-oeste de la Ruta B-355.

Fotografía N° 9-56. Vista general sitio calicata S 14. Verano 2023.

Fuente: Elaboración Propia

En superficie se presenta un horizonte (S 14-0) entre los 0 cm a 18 cm, constituido exclusivamente por sales y extremadamente duro (**Fotografía N° 9-57**).

Bajo el horizonte anterior y entre 18 cm a 43 cm, se presenta otro horizonte (S 14-1) de textura franco arcillo arenosa con presencia de abundantes sales y sin cohesión (**Tabla N° 9-40**), en el cual la humedad es de 28%, el NPK se presenta en valores de 31, 4,7 y 594,96

mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y adecuada, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (0,27%), el pH es moderadamente básico (8,4), corresponde a un suelo salino (4.984 μ S/cm), esto dada la concentración de sales solubles que asciende a 22.931 mg/kg. Suelo con una conductividad hidráulica de 1.376,2 cm/h, es decir, una permeabilidad muy alta (**Tabla N° 9-40**).

Entre los 43 cm a 60 cm, se presenta un tercer horizonte (S 14-2) de textura franca (**Fotografía N° 9-57**), donde la humedad es de 58% y los macronutrientes nutrientes (NPK) presentan valores de 36, 9,3 y 8.256,74 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, baja y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es baja (1,35%), el pH es moderadamente básico (8,4), ligeramente salino (2.678 μ S/cm), lo cual está determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 12.381 mg/k y, la conductividad hidráulica (permeabilidad) es igual a 80,1 cm/h, es decir, muy alta (**Tabla N° 9-40**).

Tabla N° 9-40. Resultados análisis laboratorio. Calicata S 14. Verano 2023.

Punto muestreo	S 14-0	S 14-1	S 14-2	S 14-3
Profundidad (cm)	0 - 18	18 - 43	43 - 60	60 y+
C. E. (μ S/cm)	---	4.984	2.678	---
MO (%)	---	0,27	1,35	---
pH	---	8,4	8,4	---
Salinidad (mg/kg)	---	22.931	12.381	---
N (mg/kg)	---	31	36	---
P (mg/kg)	---	4,7	9,3	---
K (mg/kg)	---	594,96	8.256,74	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	1.376,2	80,1	---
Humedad (%)	---	28	58	---
Textura	Sal extremadamente duro	Franco arcillo arenosa	Franca	Estrata extremadamente dura

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de laboratorio.

Fotografía N° 9-57. Vista general perfil calicata S 14. Verano, 2023.

Fuente: Elaboración Propia.

9.2.3 Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato

En la RCA 21/2016 del proyecto, quedaron establecidos dentro del Plan de Seguimiento, como Niveles o Límites comprometidos la “Mantenición dentro de su variación histórica”. Considerando lo anterior, y dado que no se presentaron antecedentes específicos para el subcomponente suelo, como los desarrollados en estas campañas, el análisis comparativo de la evolución de la componente se considera con la información de monitoreo tomados en el periodo de construcción del proyecto. Así, se ha considerado como nivel base el monitoreo 1 (M1).

Es por esta razón que todos los análisis de la evolución de la componente se desarrollan en base al Monitoreo M1, de invierno 2016, así como también, se utiliza como referencia datos bibliográficos, aun cuando estos niveles de tolerancia hacen referencia, principalmente, a especies cultivadas.

10 LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos de invierno 2022 y verano de 2023, 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 2022, el que se desarrolló en terreno entre los días 18 y 20 de agosto de 2022, como a los resultados del monitoreo semestral de verano 2023, realizado entre el 14 y 16 de marzo de 2023. 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 km², 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 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 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 PMB, señala 12 estaciones, no obstante, con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos y en función de recomendación de los especialistas, se sumaron voluntariamente desde el primer año de monitoreo dos nuevas estaciones, una estación de

muestreo en el sector La Brava y una en sector Tilopozo. Lo anterior, ya fue previamente informado en los Informes Anuales N°1, N°2, N°3, N°4, N°5 y N°6 del PMB.

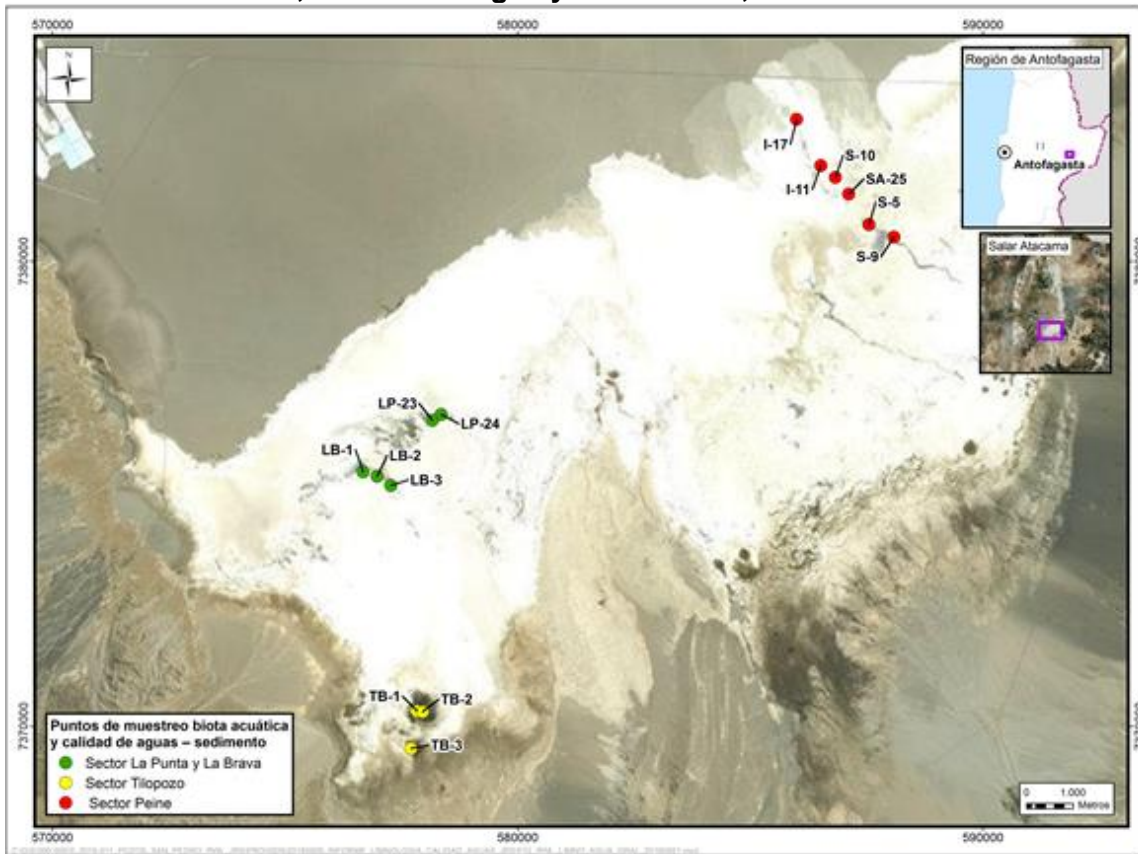
Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2022 y verano 2023.

Sector	Sub Sector	Estación	Coordenadas INICIAL PMB 2016 UTM WGS 84 (Huso:19 Zona: K)		Coordenadas VIGENTES UTM WGS 84 (Huso:19 Zona: K)	
			Este	Norte	Este	Norte
Sector Peine****	Salada	S-5	587.551	7.380.785	587.551	7.380.785
	Salada	S-9*	588.084	7.380.520	588.086	7.380.518
	Saladita	SA-25	587.114	7.381.447	587.114	7.381.447
	Saladita	S-10	586.827	7.381.805	586.827	7.381.805
	Interna	I-11	586.515	7.382.055	586.515	7.382.055
	Interna	I-17	585.996	7.383.052	585.996	7.383.052
Sector La Punta y La Brava	La Punta	LP-24	578.356	7.376.704	578.356	7.376.704
	La Punta	LP-23	578.164	7.376.581	578.164	7.376.581
	La Brava	LB-1	576.677	7.375.474	576.677	7.375.474
	La Brava	LB-2	576.978	7.375.378	576.978	7.375.378
	La Brava	LB-3***	577.272	7.375.176	577.272	7.375.176
Sector Tilopozo	Tilopozo	TB-1**	577.828	7.370.429	577.837	7.370.331
	Tilopozo	TB-2**	577.973	7.370.194	577.956	7.370.310
	Tilopozo	TB-3***	577.705	7.369.524	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 Voluntarias. ****En la campaña verano 2023, no pudo ser realizado el monitoreo en el Sector Peine (lagunas), ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine. (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Se destacan en negrita en la **Tabla N° 10-1**, las dos estaciones correspondientes a **LB-3** en La Brava y **TB-3** en Tilopozo, realizadas voluntariamente 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 Kjeldhal, fósforo total, ortofosfato, sulfato, aceites y grasas;

En sedimentos: carbono orgánico total, fósforo total, materia orgánica, nitrógeno total Kjeldhal, potencial redox y granulometría.

Algunos parámetros si bien no están comprometidos en el PMB, se analizaron y se informan sus registros, como los parámetros de alcalinidad parcial y total, por ser requisito básico 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.

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 evaluaron parámetros *in situ* correspondientes a temperatura, pH, turbiedad y oxígeno disuelto en el 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 emitidos por la ETFA señalada, correspondientes a invierno 2022 y verano 2023, se presentan en el formato ETFA requerido por la SMA (RES. 1194/2015). (Ver **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 a utilizar 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.

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 coleccionar 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	ILM000007 med. terreno (Cod. SMA: 55124)
pH	pH	ILM000007 med. terreno (Cod. SMA: 55040)
Conductividad	µS/cm	ILM000015 med. terreno (Cod. SMA: 51332)
Salinidad*	g/Kg	2520. B. Electrical Conductivity
Oxígeno disuelto	mg/L	ILM000015 med. terreno (Cod. SMA: 51441)
Turbiedad	UNT	MLM 000006
Clorofila "a" (Fitoplancton)	µg/L	SM 10200-H2c Ed. 23
Clorofila "a" (Perifiton)	mg cl-a/m ²	SM 10300-C7 Ed. 23
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B Ed. 23
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B Ed. 23
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B Ed. 23
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B Ed. 23

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Cloruro (Cl)	mg/L	SM Ed. 23° Met. 4500 Cl-B
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	MQI 0000030
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	MQI 0000030
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	SM 4500-NH3 F
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	SM 4500 Norg B-C NH3 D 2017
Fósforo Total (P)	mg/L	SM 4500-P E Ed. 23
Ortofosfato	mgP/L	SM 4500-P E Ed. 23
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	SM 4500-SO4 C
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	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	(Cod.SMA:55357) MQC000059 basado en TMECC 05.0
Fosforo Total (P)	mg/Kg	(Cod.SMA:55389) MQC000057 rev 05, basado en SM
Materia Orgánica	%	(Cod.SMA:55402) MQC000059 basado en TMECC 05.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	I-ENV-LAB-258 Basado en método
Potencial Redox	mV	-

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico se indica realizar un análisis de granulometría para cada estación. Los resultados granulométricos 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*”. 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 ¹	DMA ²
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

¹ APHA: Standard Methods (2012). ² DMA: Directiva Marco del Agua (2005).

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 RES. EXT. E-PINV-2020-072. El documento se “Permiso de Pesca de Investigación” se presenta en **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos_Calidad de Agua**” de este Informe Anual N°7.

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 mm³ 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 m² 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).
- **Zooplankton:** 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 zooplankton) 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 ²) y Jeringa-core de 5 mL para superficies blandas. Fijador Lugol
Fitoplancton	Frascos de 500 mL. Fijador Lugol
Zoobentos	Core de 0,004 m ² 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 de 2022 se realizó entre las fechas 18 y 20 de agosto de 2022, días en los cuales se visitaron las estaciones y se tomaron tanto las muestras de agua y sedimentos, como aquellas correspondientes a biota. Mientras que,

la campaña de verano tuvo lugar entre los días 14 y 16 de marzo de 2023. En la **Tabla N° 10-42** se presenta el detalle de las fechas de visita por sector y obtención de muestras para cada variable evaluada en los monitoreos respectivos.

10.2 RESULTADOS

10.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2022 y verano 2023

A continuación, se describen las estaciones de muestreo emplazadas en los sectores Peine, La Punta y La Brava y las vegas de Tilopozo, en el contexto del seguimiento ambiental y en las campañas de invierno 2022 y verano 2023.

10.2.1.1 Sector Peine

Las comunidades biológicas 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 campaña verano 2023 no pudieron ser monitoreadas, 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 y Prohibiciones**). Por lo cual solo se caracterizarán las estaciones de monitoreo de la campaña de invierno 2022.

- Estación S-9

La estación S-9, campaña de invierno 2022, se ubica en un afluente dentro de la laguna Salada, a una altura geográfica aproximada de 2304 msnm³², con un ancho de sección estimado de 72,3 m, de profundidad baja observada de 9,4 cm en promedio³³. El sustrato de la estación corresponde a sedimentos constituidos por limo y arena, con un flujo bajo y de aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas, sin helófitas y vegetación ribereña. Presencia de flamencos. (ver **Fotografía N° 10-2**).

³² Medición de altura geográfica de las estaciones de muestreo realizada con navegador GPS.

³³ Profundidad Promedio (cm) obtenida de tres mediciones de la columna de agua realizadas por estación con uso de regla graduada (Ver detalle de mediciones en Fichas de Terreno del Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua.

Fotografía N° 10-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2022 a. Panorámica de la estación y b. Sustrato fino, bajo flujo y baja profundidad.

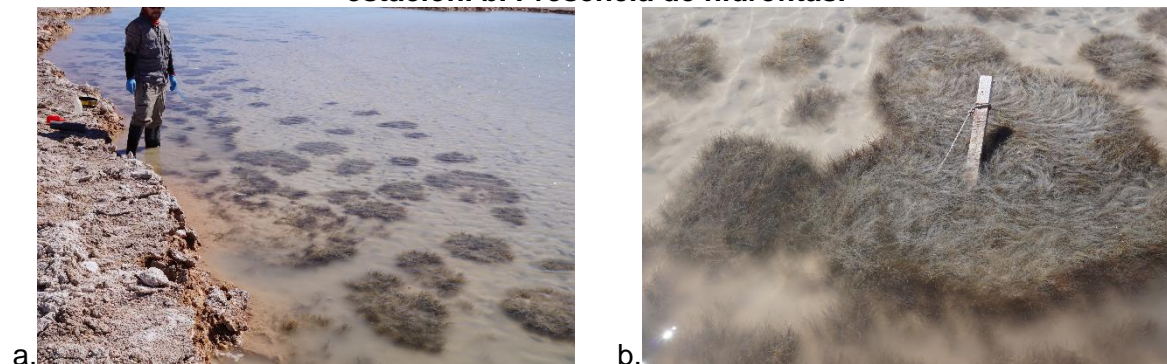


Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-5

La estación S-5 corresponde a un sector somero de laguna Salada, ubicada a una altura geográfica aproximada de 2313 msnm, con un ancho de sección estimado de 97,6 m, de profundidad baja observada de 9,4 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin presencia de vegetación ribereña (**Fotografía N° 10-3**).

Fotografía N° 10-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2022. a. Panorámica de la estación. b. Presencia de hidrófitas.

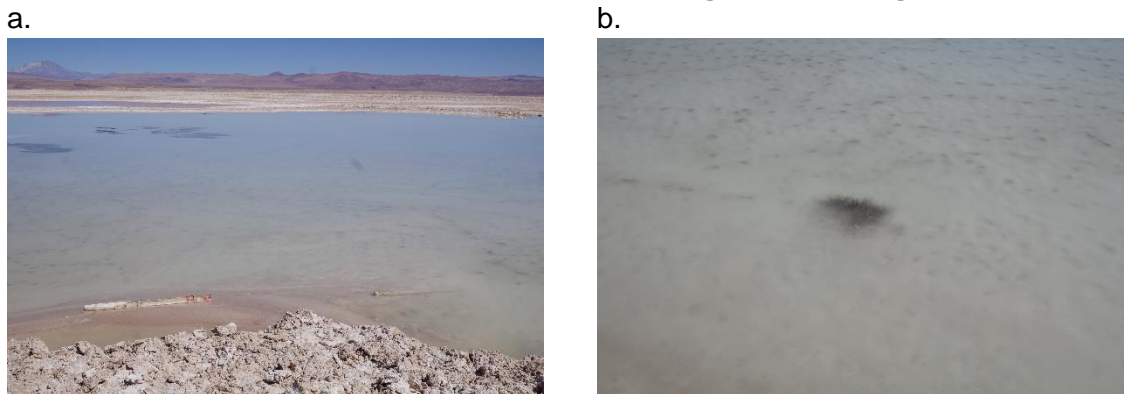


Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-10

La estación S-10 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica aproximada de 2313 msnm, con un ancho de sección estimado de 50 m, de profundidad baja de 14,5 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida en el centro de la laguna, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 10-4**).

Fotografía N° 10-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Hidrófita sumergida centro laguna.



Fuente: Elaboración propia.

- Estación SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica aproximada de 2312 msnm, con un ancho de sección estimado de 201,6 m, de profundidad baja de 14,5 cm en promedio. El sustrato de la estación correspondió a sedimento fino, sin flujo y con aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña. Presencia de flamencos (**Fotografía N° 10-5**).

Fotografía N° 10-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación en invierno. b. Parche de la hidrófita *Ruppia* en línea de costa y sustrato fino.

a.



b.



Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-11

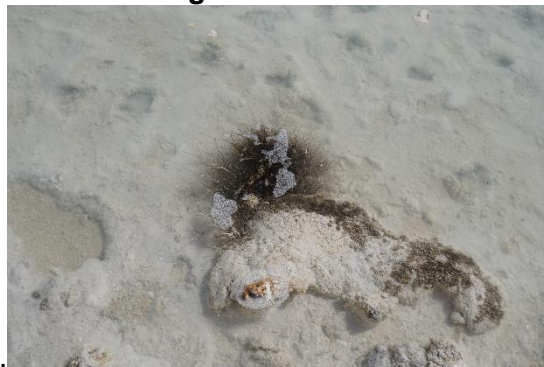
La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica aproximada de 2307 msnm, con un ancho de sección estimado de 213 m, de profundidad baja de 8,3 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y de aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 10-6**).

Fotografía N° 10-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Hidrófita sumergida.

a.



b.

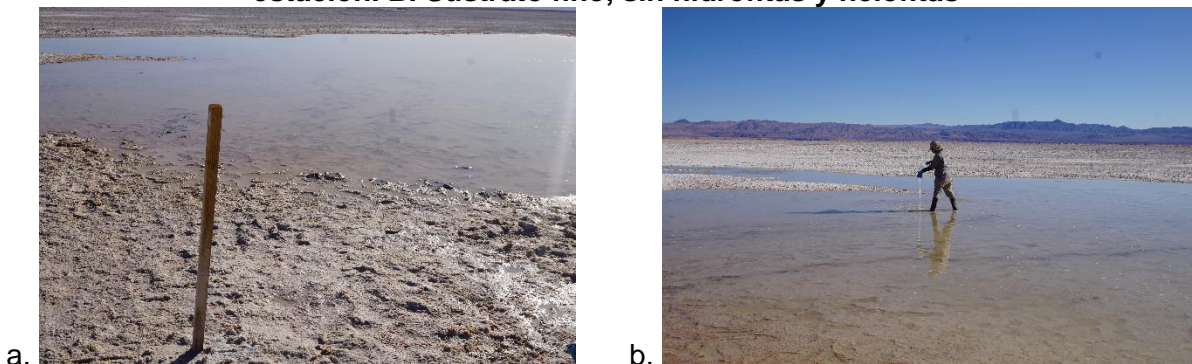


Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-17

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica aproximada de 2308 msnm, con un ancho de sección de 26,5 m, de profundidad baja de 10,9 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y de aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña. La estación presentó una alta desecación y con un espejo de agua de menor tamaño respecto de las campañas anteriores (**Fotografía N° 10-7**).

Fotografía N° 10-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2022. A. Vista panorámica de la estación. B. Sustrato fino, sin hidrófitas y helófitas



Fuente: Elaboración propia.

10.2.1.2 Sector La Punta y La Brava

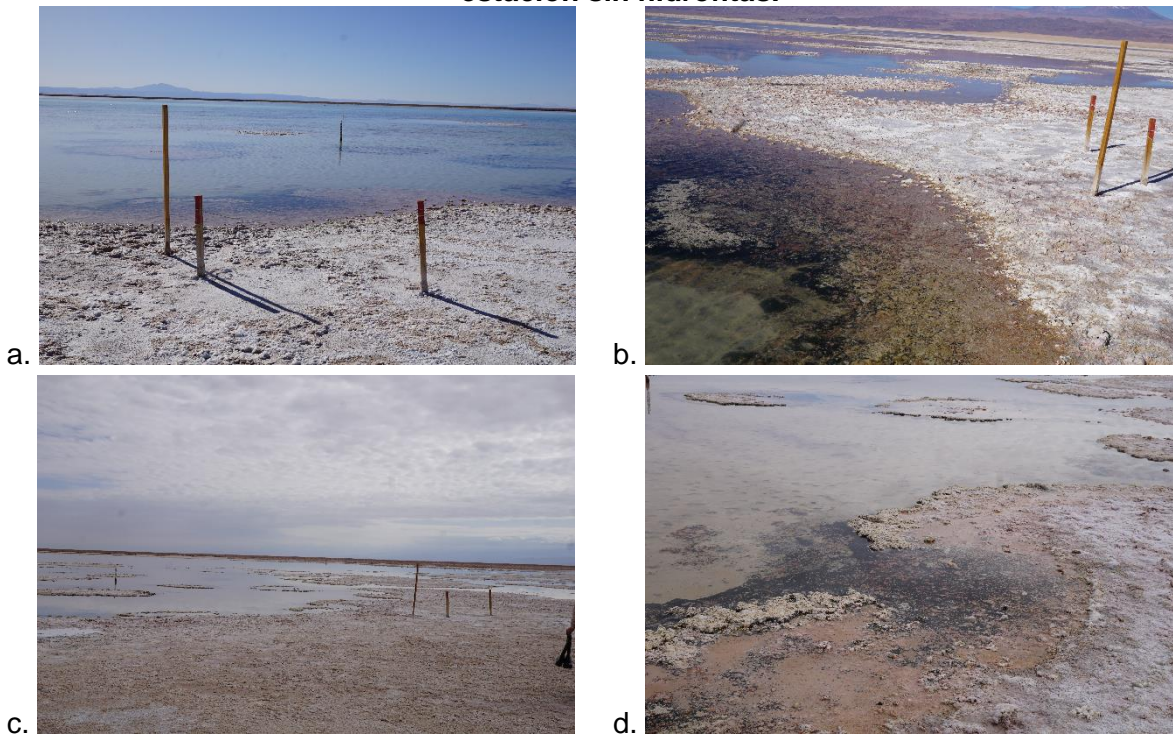
Este sector comprende las lagunas La Punta y La Brava, en el cual fueron emplazadas cinco estaciones de monitoreo, tres ubicadas en Laguna La Brava (LB-1; LB-2 y LB.3) y dos en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**).

- Estación LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica aproximada de 2.277 msnm, con un ancho de sección estimado de 246 m en invierno y 255 m en verano, con una profundidad de columna de agua de 17,0 cm en invierno y 14,7 cm en promedio 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 y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas

acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña. (**Fotografía N° 10-8**). La estación presentó una alta desecación y un espejo de agua de menor tamaño respecto de las campañas anteriores.

Fotografía N° 10-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2022 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas y Campaña Verano 2023 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.

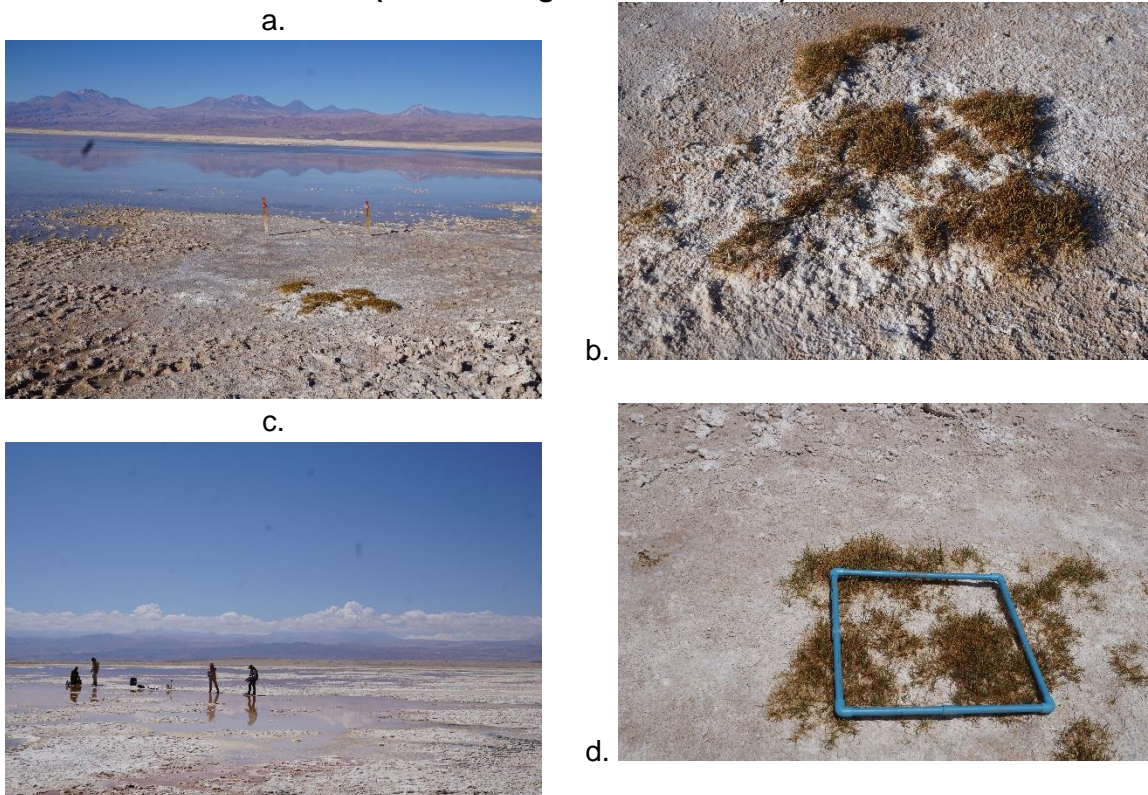


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica aproximada de 2305 msnm, con un ancho de sección estimado de 242 m en invierno y de 249 m en verano, y una profundidad igual a 11,1 y 4,3 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 transparentes. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófitas en ambos periodos de monitoreo. Se observó a través de registro visual, una disminución en el área del espejo de agua de la laguna entre ambas campañas de monitoreo respecto de campañas anteriores (**Fotografía N° 10-9**).

Fotografía N° 10-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2022 y Verano 2023. a y c. Vista panorámica de la estación. c 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 voluntaria, adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica aproximada de 2301 msnm, con un ancho de sección estimado de 4,1 m y 2,6 m entre periodos de monitoreos, de profundidad baja con 6,9 y 4,5 cm en promedio. El tipo de sustrato corresponde a sedimento fino, flujo bajo y aguas transparentes en invierno y verano. La estación de monitoreo presentó plantas acuáticas hidrófitas en invierno y en verano. Cabe señalar que, se observó a través de registro visual, una disminución en el espejo de agua de la laguna en ambas campañas respecto de campañas anteriores y presencia de aves (Fotografía N° 10-10).

Fotografía N° 10-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2023. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita.

a.



b.



c.



d.



Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica aproximada de 2302 msnm, con un ancho de sección estimado de 174 m en invierno y 136 m en verano, y de profundidad baja la que osciló entre 14,3 y 8,8 cm entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino (limo, arcilla y arena), aunque se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa se observó un nulo flujo en la laguna en invierno, en tanto, en verano se observó un nulo flujo, y con aguas transparentes en ambos periodos de monitoreo. 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° 10-11**).

Fotografía N° 10-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* (helófito). Campaña Verano 2023. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófito (*Ruppia*).

a.



b.



c.



d.

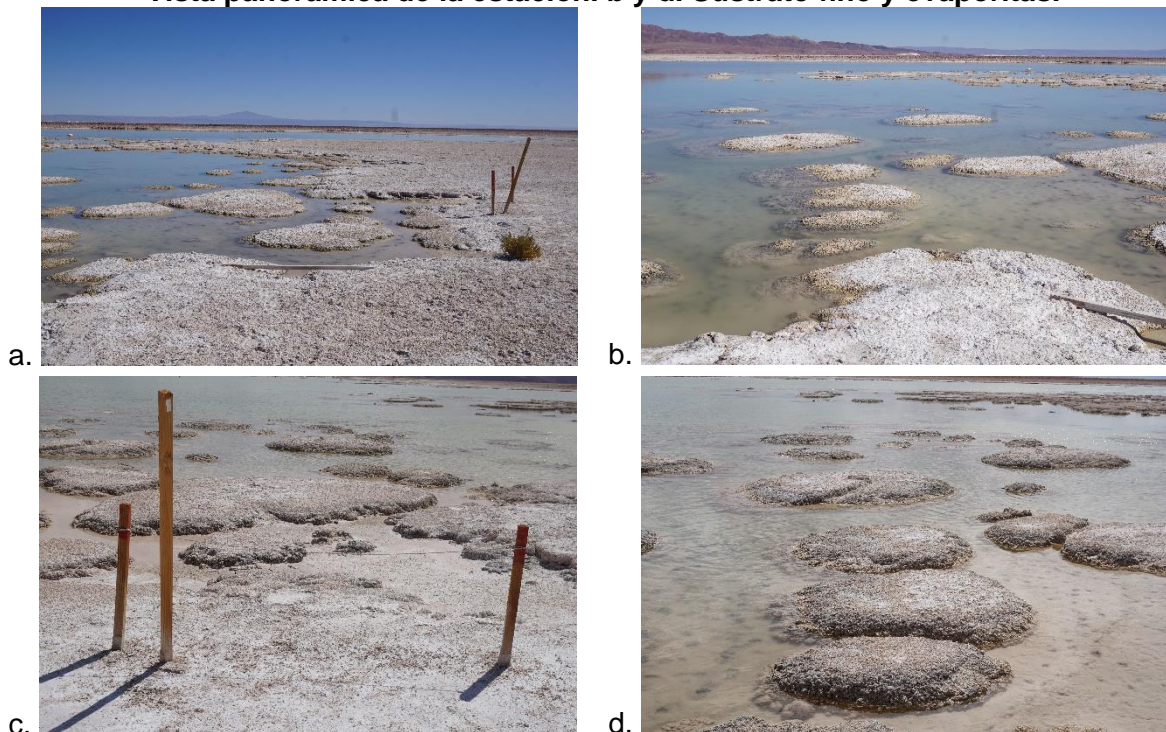


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-24

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2310 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 473 m en invierno y 296 m verano, y de profundidad baja la que osciló entre 20,3 y 12,3 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo en invierno y en verano y con aguas de ligeramente turbias a transparentes en los respectivos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas (*Ruppia*) y helófitas en ribera. Presencia de evaporitas al interior de la laguna y flamencos (**Fotografía N° 10-12**).

Fotografía N° 10-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2022 y Verano 2023. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas.



Fuente: Elaboración propia.

10.2.1.3 Sector Tilopozo

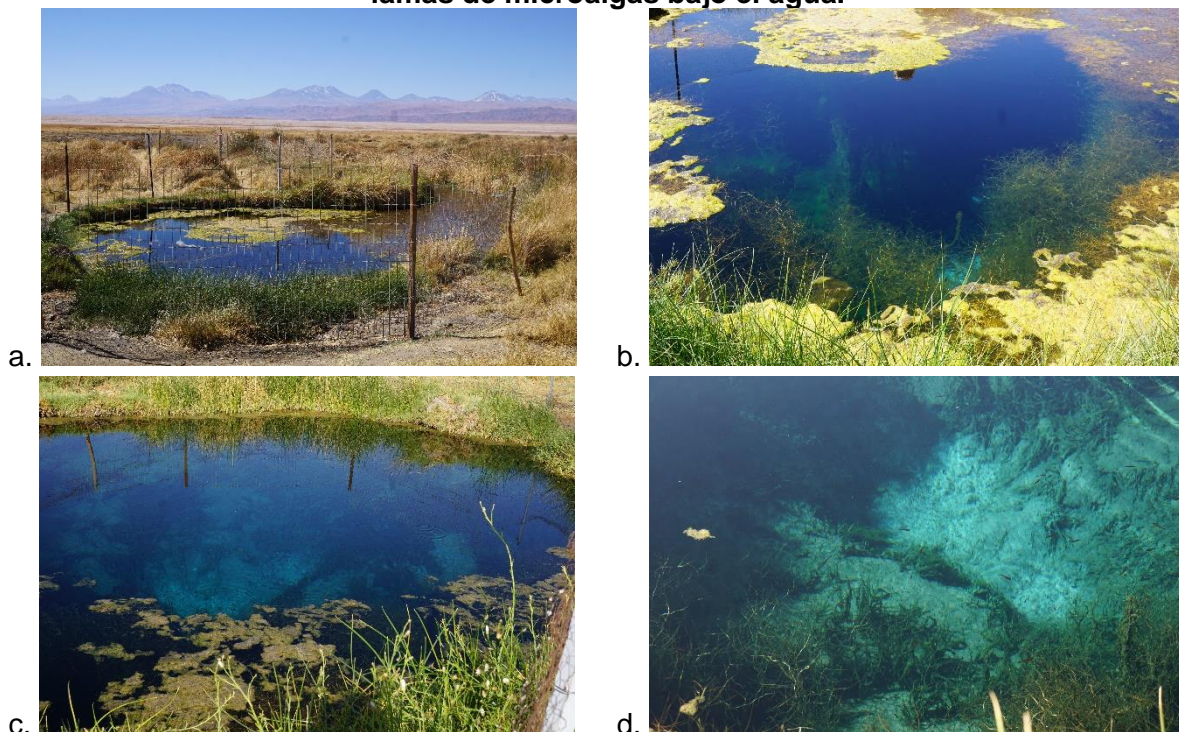
Este Sector corresponde al área denominada vegas de Tilopozo y en ella se ubican tres estaciones de monitoreo, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos con pozas profundas, mientras que, TB-2 corresponde a un sistema somero tipo pajonal hídrico (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**).

- Estación TB-1

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2314 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 7,4 m en invierno y 8,0 cm verano, y de profundidad de 243 cm en ambos periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimentos constituidos por limo y arena, 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* y *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° 10-13**).

Fotografía N° 10-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2022 y Verano 2023 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 una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2317 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 pequeño brazo emergente de 2,10 m de ancho en invierno y 2,25 m en verano. La profundidad fue de 11,4 cm en invierno y 9,7 cm en verano. Respecto del sustrato, la estación de monitoreo estaba completamente cubierta por especies emergentes (helófitas),

con presencia de peces introducidos e invasor (*Gambusia*) y plantas acuáticas principalmente del género *Juncus* y *Schoenoplectus* en ambos periodos de monitoreo (**Fotografía N° 10-14 a, b, c y d**).

Cabe señalar que, en la campaña invierno 2022, la estación de monitoreo se encontró con la vegetación ramoneada y con la presencia de abundante ganado camélido (Llamas) en el sector.

Fotografía N° 10-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2022. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófito *Schoenoplectus californicus*. Campaña Verano 2023. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y d. Esgurrimiento al costado de la estación de monitoreo.

a.



b.



c.



d.



Fuente: Elaboración propia.

- Estación TB-3

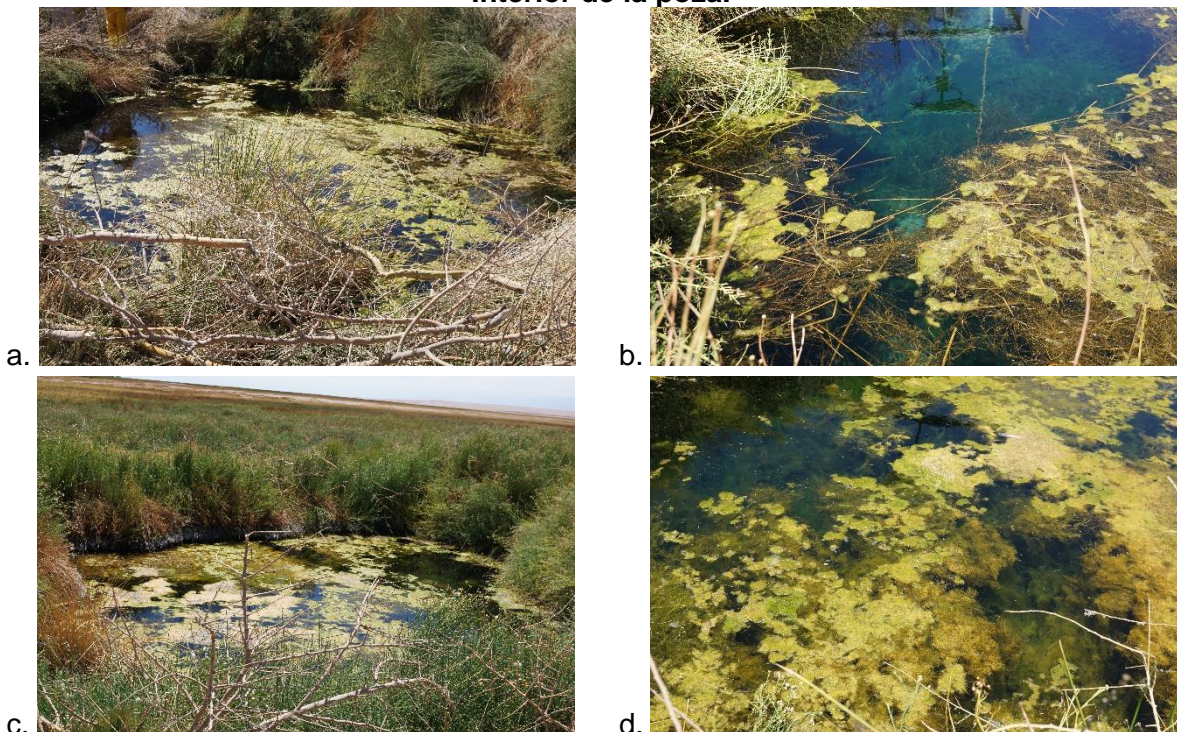
La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2320 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado entre 8,6 y 10,6 m en invierno y verano, y de una profundidad de 158 y 151 cm en ambos periodos de monitoreo respectivamente. El sustrato 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 monitoreo.

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° 10-15**). 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 de carácter voluntario, adicional a las comprometidas en el PMB, debido a que permite complementar la información entregada por las otras estaciones de monitoreo.

Fotografía N° 10-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2022 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 2023 c. Vista panorámica de la estación, presencia de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis* sp. en línea de costa. y d. Interior de la poza.



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2022 (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 2022 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones por cada sector de estudio. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos_Calidad de Agua**.

10.2.2.1.1 Resultados Sector Peine

Los resultados para el Sector Peine en invierno 2022 (**Tabla N° 10-8**) se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad (entre 27390 $\mu\text{S/cm}$ y 42120 $\mu\text{S/cm}$) y salinidad elevada (entre 17,8 y 30,9 g/kg) incrementándose los valores de estos parámetros desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual está asociado al contenido de sales como cloruros (entre 11698,5 mg/L y 18292,2 mg/L) y sulfatos (entre 1190 mg/L y 2207 mg/L) que presentaron la misma tendencia. Las temperaturas estuvieron acordes con la baja profundidad de estos cuerpos de agua, oscilando entre 9,6 y 21,31°C (máximo en estación I-17 de laguna Interna). El pH fue alcalino con valores entre 8,61 y 8,94, los cuales se relacionan con los valores obtenidos para la alcalinidad total, que están dados principalmente por la concentración de bicarbonato (entre 148 y 260 mg/L).

El oxígeno disuelto registrado, estuvo en un rango entre 6,85 y 3,19 mg/L, registrándose las mayores concentraciones en laguna Salada y Saladita y el menor registro también en laguna Salada (S-9). La turbiedad tuvo valores entre 9,3 y 20,6 UNT, alcanzando el mayor registro en laguna Saladita (SA-25). La clorofila “a” en fitoplancton presentó valores no mayores a 1,24 $\mu\text{g/L}$, con su valor máximo registrado en laguna Saladita (S-10). Los compuestos nitrogenados en general mostraron valores bajos (la gran mayoría bajo el límite de detección), donde el Nitrógeno Total Kjeldhal arrojó valores entre 0,7 y 1,3 mg/L. A su vez, el fósforo total y el ortofosfato también mostraron valores bajo el límite de detección, al igual que el parámetro de aceites y grasas.

Tabla N° 10-8. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2022).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (**)	Max LB (**)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Temperatura (*)	°C	-	4,8	33,6	17,8	10,04	9,57	17,44	17,42	21,31
pH (*)	Unidad de pH	-	6,13	8,6	8,61	8,94	8,77	8,72	8,68	8,75
Conductividad (*)	$\mu\text{S/cm}$	-	25350	235000	27390	37090	38910	33940	40280	42120
Salinidad	g/kg	-	8,7	66,5	17,8	26,1	27,3	21,1	28,7	30,9
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,34	11,2	3,19	6,85	6,81	6,14	4,82	5,95

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (**)	Max LB (**)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Turbiedad (*)	UNT	-	3	152	9,3	9,8	20,6	18	15,7	12,7
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	18,2	0,96	<0,02	<0,02	1,24	0,15	<0,02
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-	12,7	<0,02	<0,02	7,35	3	<0,02
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	<3	21	9	8	<3	8
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	51	1564,7	263	212	209	164	199	189
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1,2	91,26	1908,07	260,6	170,0	191,0	148,0	196,6	173,0
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	0,5	139,54	6	42	18	16	6	16
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	8494	194099	11698,5	17583,2	15668,9	13045,6	16590,6	18292,2
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	0,15	21,2	1,189	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	0,328
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,023	0,00036	0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	0,044	1,31	0,043	<0,021	<0,021	<0,021	0,302	0,043
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,1	8,66	0,7	0,7	0,9	0,7	1,2	1,3
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	0,05	7,125	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,1	6,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	10	845	14970	1190	1865	2169	1523	1998	2207
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	4	619	<4	<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 estas estaciones del sector durante toda la Línea Base. **Nota:** En los Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila "a" de 18.200 µg/L, correspondientes a 18,2 mg/L según lo reportado en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza la unidad y orden de valor correctos para su comparación.

10.2.2.1.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava en invierno 2022 (

Tabla N° 10-9) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 26410 y 73760 µS/cm) y elevadas salinidades (entre 18,1 y >42 g/kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruros (entre 10138,7 y 33890,2 mg/L) y sulfatos (entre 1913 y 3548 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 y cloruro del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en LB-1 y LB-2, sin embargo, también fueron altos, con valores para LP-23 y LP-24 de 33830 y 36990 µS/cm en conductividad y de 23,8 y 25,7 g/kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (13187,4 y 14959,9 mg/L) y sulfato (1913 y 2093 mg/L), respectivamente para cada una de sus estaciones.

La temperatura de las lagunas en esta campaña fue variable, lo que habría estado relacionado con el horario de registro (5,16 a 18,87 °C), registrándose las menores temperaturas durante la mañana y las mayores durante la tarde, siendo estas últimas acordes con la baja profundidad de los cuerpos de agua. El pH fue alcalino entre 8,55 y 8,91, cuyos valores se corresponden con los parámetros de alcalinidad total y bicarbonato (entre 285 y 405 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 5,01 y 7,56 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava), al igual que la clorofila “a” que mostró un rango entre <0,02 y 0,51 µg/L. La turbiedad tuvo un rango de valores entre 2,1 y 5,6 UNT y los compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito y amonio), tuvieron valores bajos o por debajo el límite de detección, a diferencia del Nitrógeno Total Kjeldhal que presentó valores entre 0,7 mg/L y 1,4 mg/L. Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector, al igual que el parámetro de aceites y grasas.

Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).

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	-	7,5	24,9	7,43	5,16	18,1	18,87	17,53
pH (*)	Unidad de pH	-	7,77	8,32	8,91	8,79	8,55	8,77	8,83
Conductividad (*)	µS/cm	-	22300	77600	33830	36990	73760	64200	26410
Salinidad	g/kg	-	22,7	24,9	23,8	25,7	>42,00	>42,00	18,1
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	5,3	9,12	6,35	5,26	5,01	5,48	7,56
Turbiedad (*)	UNT	-	2,7	5,7	2,9	3,9	5,6	2,1	4,1
Clorofila "a"	µg/L	0,02	<1,00	1,5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,51
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	3
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	37	46	<3	18	9
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	268	387	382	405	394	405	303
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1,2	-	-	308,0	313,0	391,6	369,0	285,0
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	74	92	6	36	18
Cloruro (Cl-)	mg/L	8	22224	22865	13187,4	14959,9	33890,2	33323	10138,7
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	0,023	<0,15	<0,15	<0,023	<0,023	0,141	<0,023	<0,023
Nitrito (N-NO ₂ -)	mg/L	0,023	<0,5	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH ₄ +	mg/L	0,01	-	-	<0,021	<0,021	0,228	0,096	0,024
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,27	1,25	1,2	1,2	1,4	1,4	0,7
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,05	<0,05	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ -2)	mg/L	10	6716	7261	1913	2093	3338	3548	2283
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	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 estas estaciones del sector durante toda la Línea Base.). **Nota:** En los Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila “a” de 31.900 ug/L, correspondientes a 31,9 mg/L según lo reportado

en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza a unidad y orden de valor correctos para su comparación.

10.2.2.1.3 Resultados Sector Tilopozo

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo en invierno 2022, muestran un sistema de vegas mucho menos salino que los otros sectores de estudio (**Tabla N° 10-10**), con valores más bajos en conductividad (entre 4011 y 4126 $\mu\text{S/cm}$), salinidad (2,2 a 2,3 g/kg) y cloruro (921,7 a 992,6 mg/L). Se registró un pH en rangos de neutro a levemente alcalino entre 7,66 y 7,85, cuyos valores se relacionan con los valores de alcalinidad total, que están dados principalmente por la concentración de bicarbonato (entre 336,6 y 340,6 mg/L). Las temperaturas registradas en general fueron altas en estos cuerpos de agua que oscilaron entre 25,39°C y 25,95°C. Por su parte, el oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 4,03 y 6,23 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.

La turbiedad mostró valores entre 0,4 y 0,5 UNT, la clorofila "a" en fitoplancton presentó valores entre 0,59 y 1,16 $\mu\text{g/L}$ y la clorofila en Perifiton entre 39,11 y 76,13 mg cl-a/m², observándose los máximos de clorofila en TB-2. En relación con los compuestos nitrogenados, el nitrato fluctuó entre 3,57 y 4,105 mg/L, el Nitrógeno Total Kjeldhal presentó valores de 0,7 mg/L en todas las estaciones y los otros compuestos nitrogenados (nitrito y amonio) tuvieron valores bajo el límite de detección. En el caso del fósforo total y el ortofosfato, también tuvieron valores bajo el límite de detección en todas las estaciones muestreadas en Tilopozo, mientras que el sulfato varió entre 342 y 504 mg/L. Por su parte el parámetro de aceites y grasas también tuvo valores bajo el límite de detección.

Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2022).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	25,78	25,95	25,39
pH (*)	Unidad de pH	-	7,66	7,68	7,85
Conductividad (*)	$\mu\text{S/cm}$	-	4126	4011	4050
Salinidad	g/kg	-	2,3	2,3	2,2
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	4,73	6,23	4,03
Turbiedad (*)	UNT	-	0,4	0,4	0,5
Clorofila "a"	$\mu\text{g/L}$	0,02	0,59	1,16	<0,02
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	39,11	76,13	<0,02
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	339	343	342
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1,2	336,6	340,6	339,6

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	6	6	6
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	921,7	974,9	992,6
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	4,105	3,57	3,803
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	<0,021	<0,021	<0,021
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,7	0,7	0,7
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ -2)	mg/L	10	504	342	402
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) Parámetros registrados *in situ*.

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 2022. Cabe mencionar, que dentro del Plan de Manejo Biótico se indica realizar un análisis de granulometría a cada una de las muestras colectadas por estación de monitoreo, sin embargo, dicho análisis no se pudo llevar a cabo en laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.) en la Carta R 172/2022 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**. Dicho anexo también contiene los informes de ensayo de laboratorio respectivos de calidad de sedimentos.

Respecto al impedimento para ejecutar el ensayo de Granulometría, la ETFA ANAM informó en la Carta R 172/2022 lo siguiente: *“Previo a la realización del análisis, la muestra debe ser secada, la cual terminado el proceso se compactó y para poder tamizarla, a través de 6 tamices de diferentes tamaños, esta se tendría que haber triturado, lo que implicaría un cambio en las características originales de la muestra, es por ello que desde el laboratorio se informó que no se podría realizar el análisis ya que no sería representativo el análisis de granulometría solicitado, procediendo a su cancelación”*.

10.2.2.2.1 Resultados Sector Peine

En la **Tabla N° 10-11**, se presentan los resultados de calidad en sedimentos para campaña invierno 2022 del Sector de Peine.

Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2022).

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Carbono Orgánico Total (COT)	g/kg	1,62	3	43	64,68	117,46	80,34	91,13	76,51	42,75
Fósforo Total (P)	mg/kg	500	34	78	<500	500	<500	500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/kg	0,0125	0,14	5,3	5,668	9,751	5,682	5,906	6,571	1,903
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4	11,15	20,25	13,85	15,71	13,19	7,37
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4	-325,0	-324,0	-290,0	-296,0	-290,0	-298,0

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 el sector Peine (**Tabla N° 10-11**) la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica oscilaron entre 42,75 y 117,46 g/kg y entre 7,37% y 20,25%, respectivamente, registrándose los valores más altos en laguna Salada (S-5). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió entre 1,903 y 9,751 g/kg, con su máximo registro en la estación S-5. Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron igual o bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector (<500 mg/kg). Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores entre -325 y -290 mV.

10.2.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-12** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2022 del Sector de La Punta –La Brava.

Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).

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	85,85	87,94	78,54	67,87	55,16
Fósforo Total (P)	mg/kg	500	8	55	<500	<500	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/kg	0,0125	1,596	6,351	14,087	8,431	6,147	1,616	5,073
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	14,8	15,16	13,54	11,7	9,51
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-287	-327	-296	-302	-289

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 el Sector de La Punta - La Brava (**Tabla N° 10-12**) la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron entre 55,16 y 87,94 g/kg y entre 9,51% y 15,16%, respectivamente, registrándose los mayores valores en la estación LP-24 (laguna La Punta). El Nitrógeno Total Kjeldahl, varió entre 1,616 y 14,087 g/kg, con el mayor valor registrado en LP-23 (La Punta) y el mínimo en LB-2 (laguna La Brava). 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, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores entre -327 y -287 mV.

10.2.2.2.3 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-13** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2022 del Sector de Tilopozo.

Tabla N° 10-13. Resultados calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2022).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2*	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/kg	1,62	89,97	Sin muestreo	92,4
Fósforo Total (P)	mg/kg	500	1100		700
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/kg	0,0125	8,391		9,826
Materia Orgánica	%	0,28	15,51		15,93
Potencial Redox	mV	-	-299		-333

Fuente: Elaboración propia. (*) En la estación TB-2 no fue posible obtener muestras de sedimentos debido a la compactación y entramado de raíces del terreno.

La estación TB-2 en la campaña de invierno 2022 (Tabla N° 10-13), se encontró con el terreno compactado y con un entramado de raíces, lo que no permitió la obtención de las muestras de sedimento. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de 2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) de 89,97 y 92,40 g/kg y de materia orgánica de 15,51% y 15,93 %, siendo más altos los registros encontrados en TB-3. El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 8,391 g/kg (TB-1) y 9,826 g/kg (TB-3). El fósforo total, por su parte, presentó registros con valores entre 700 mg/kg (TB-3) y 1100 mg/kg (TB-1). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores entre -333 y -299 mV, con el mínimo registrado en TB-3.

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 Peine

La comunidad de fitobentos en el Sector Peine, en la campaña de invierno 2022 estuvo compuesta por 15 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 5 géneros detectados en las estaciones S-5 y S-9 (ambas ubicadas en laguna Salada) y 9 géneros en la estación I-11 (laguna Interna). Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 16146 cel/cm² en I-11 (laguna Interna) y 198385 cel/cm² en SA-25 (laguna Saladita) (**Tabla N° 10-14**).

La comunidad que presentó la mayor diversidad correspondió a la estación I-17 con 1,53 nits/ind, ubicada en la laguna Interna, mientras que, en la estación de Saladita (S-10), se registró el menor valor de diversidad con 0,99 nits/ind (**Tabla N° 10-14**). Respecto de la equidad, se observó que el mayor valor lo presentó la estación I-17 ubicada en la laguna Interna con 0,78 y el menor en la estación S-10 con 0,55.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en la campaña de invierno 2022, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Halamphora* y *Nitzschia* (**Figura N° 10-2**).

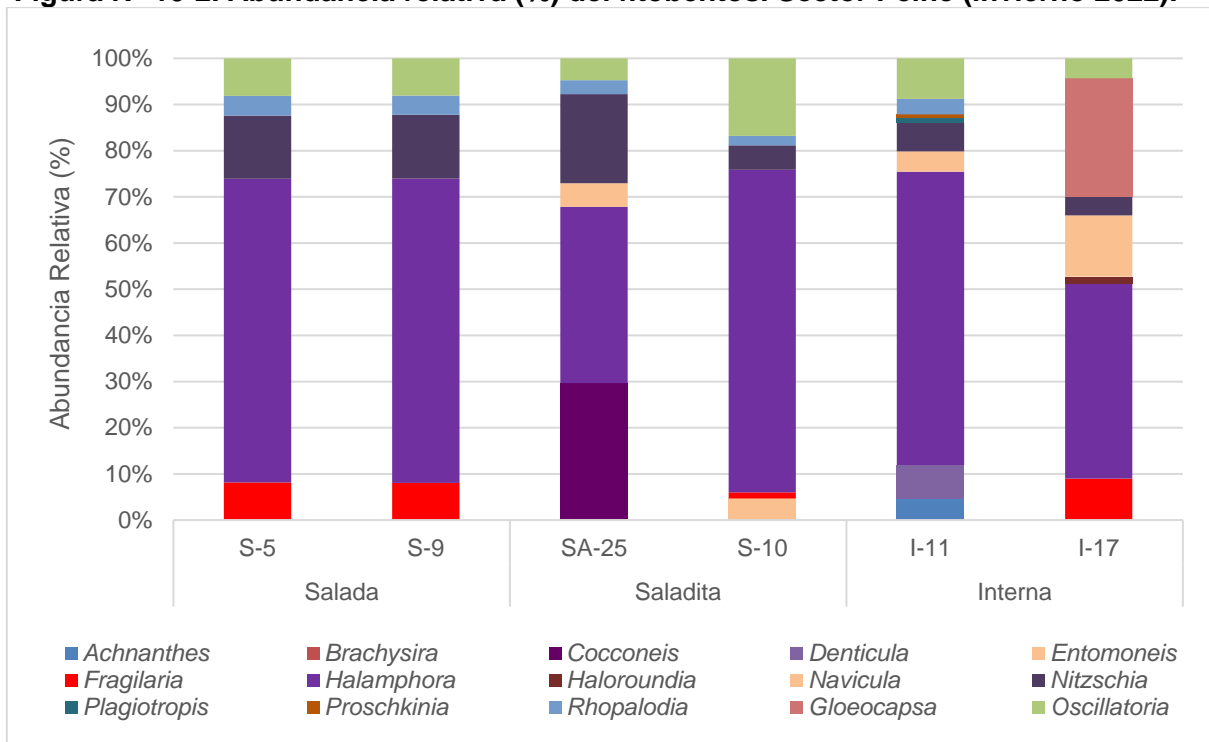
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2022.

Tabla N° 10-14. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>					749	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			750			
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			58.125			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>					1.177	
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>				2.010		
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	11.786	3.375		555		5.042
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	95.286	27.675	75.750	29.865	10.257	23.739
	Achnanthes	Achnantheidiaceae	<i>Halorundia</i>						840
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>			10.125		709	7.458
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	19.857	5.805	38.250	2.265	1.006	2.311
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>					163	
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>					126	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	6.143	1.755	6.000	885	543	
Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>						14.391
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	11.786	3.375	9.375	7.170	1.417	2.416
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2022					
Abundancia total (cel/cm²)		46,8	61.190,4	144.857	41.985	198.375	42.750	16.146	56.197
Riqueza de géneros (S)		2	14	5	5	7	6	9	7
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,09	1,09	1,47	0,99	1,34	1,53
Equidad (J')		-	-	0,68	0,67	0,75	0,55	0,61	0,78

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 mínimo de LB corresponde a 46,8 cel/cm² considerando campañas de invierno y verano LB, y no al presentado en el Informe Anual 2, con un valor de 13 cel/cm². Respecto del valor máximo corresponde a 61.190,4 cel/cm² y no a 6.787 cel/cm². No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia

10.2.2.3.1.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2022 estuvo compuesta por 22 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 8 y 12 géneros en las estaciones LB-1 (La Brava) y en LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 109.444 cel/cm² en LP-24 (La Punta) y 588.000 cel/cm² en LB-3 (La Brava) (**Tabla N° 10-15**).

La comunidad presentó una mayor diversidad en la estación LB-3 (La Brava) con 2,11 nits/ind, mientras que, en la estación LB-2 (La Brava), se registró la menor diversidad con 1,37 nits/ind. Respecto de la equidad, se observó un mayor valor en LB-3 con 0,85 y el menor en la estación 0,62 en LB-2 (**Tabla N° 10-15**).

En relación con los *taxa* dominantes durante la campaña de invierno 2022, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Achnantheidium* (**Figura N° 10-3**).

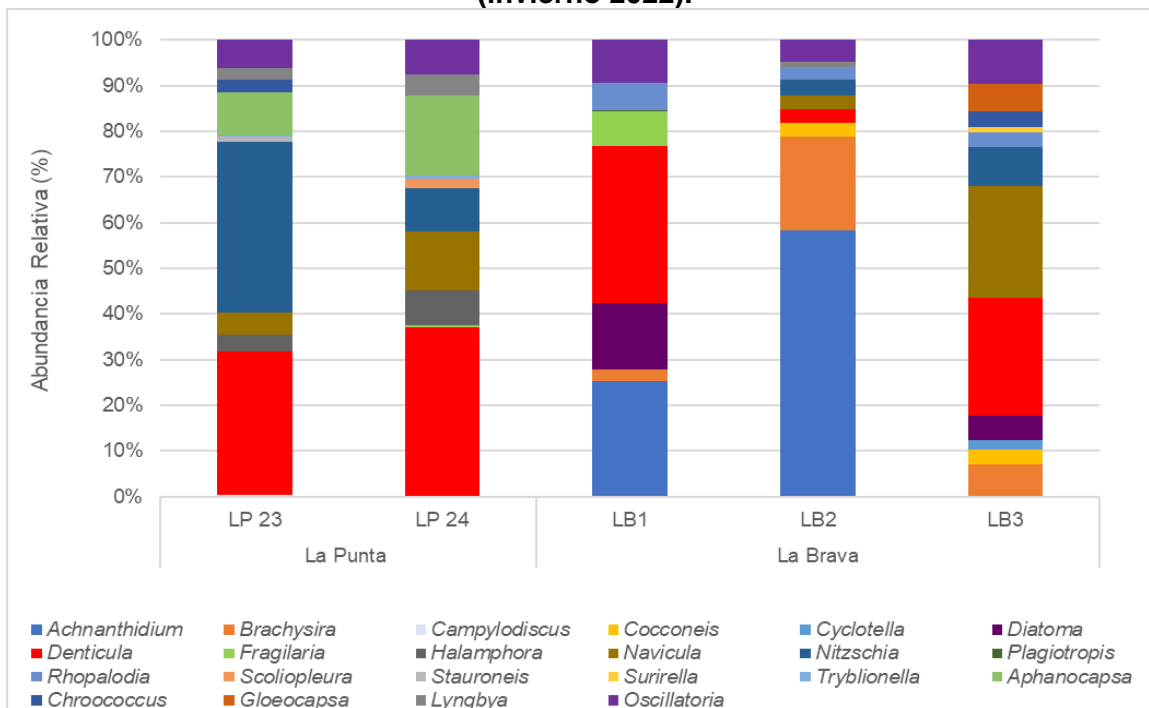
Al observar la abundancia por clase, se observa que la clase ampliamente dominante en el fitobentos en la campaña de invierno 2022 corresponde a Bacillariophyceae.

Tabla N° 10-15. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).

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>Achnanthes</i>			146.800	100.714	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			13.600	35.214	41.250
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	675				
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>				5.286	19.500
	Estefanodisciales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>					12.000
	Rabdonematales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i>			84.000		30.750
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	45.227	40.542	199.600	5.000	152.250
	Fragilariales	Fragilariales	<i>Fragilaria</i>		560	43.600		
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	5.400	8.200			
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	6.975	14.341		5.429	144.000
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	53.777	10.160		5.786	49.500
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>			800		
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	225		35.600	4.857	19.500
	Naviculales	Scoliotropidaceae	<i>Scolioleura</i>		2.440			
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	1.575				
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					7.500	
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Tryblionella</i>	450	780				
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	13.501	19.121			
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	4.050				19.500
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>					36.000
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>	3.600	5.000		1.786	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	9.000	8.300	54.000	8.429	56.250
Límites LB (*)				Valores por estación Inv-2022				
Abundancia total (cel/cm²)		Mínimo LB	Máximo LB	144.456	109444	578000	172500	588000
Riqueza de géneros (S)		5	17	12	10	8	9	12
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,69	1,84	1,68	1,37	2,11
Equidad (J')		-	-	0,68	0,80	0,81	0,62	0,85

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 88.792,8 cel/cm², considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 2.673 cel/cm². No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 9 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre 4 géneros en TB-3, y 7 géneros en TB-1. Respecto a las abundancias registradas entre las estaciones presentaron abundancias diferentes, las que oscilaron entre 53.400 y 74.700 cel/cm², en TB-2 y TB-3 respectivamente (Tabla N° 10-16).

Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fueron mayores para la estación TB-1 y menores para TB-3, con una diversidad de 1,30 nit/ind y 1,03 nit/ind respectivamente. En tanto, para la equidad se observó un mayor registro en la estación TB-3 con 0,74 unidades y con menores registros en TB-1 y TB-2 con 0,67 unidades. (Tabla N° 10-16).

En la Figura N° 10-4, se puede observar que los taxa dominantes, correspondieron a las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia* las que presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas.

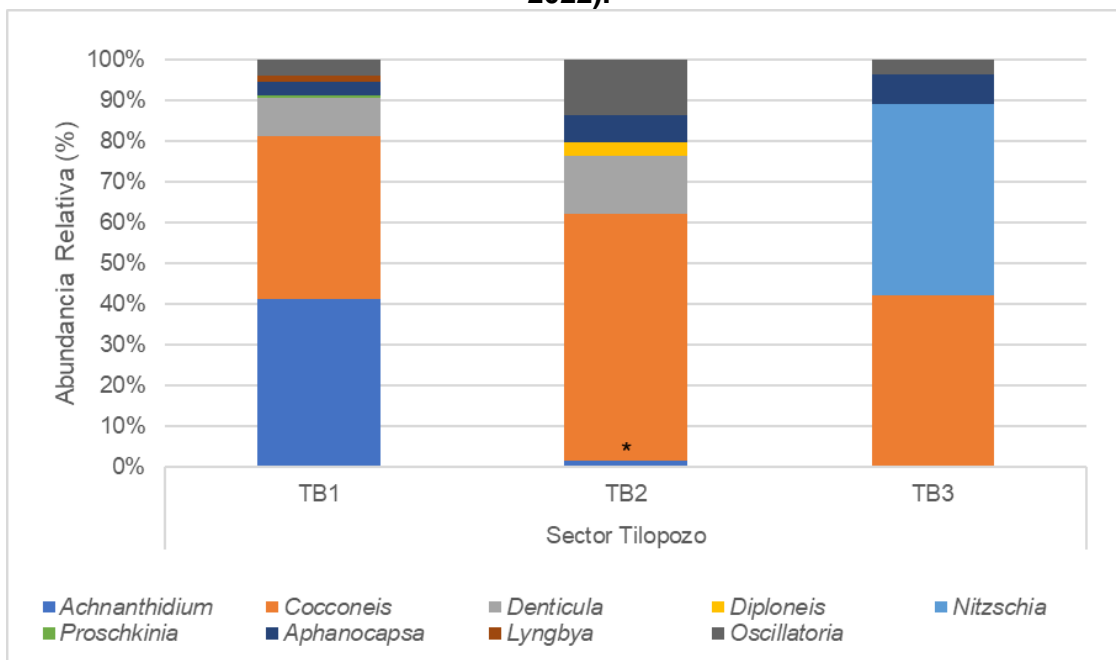
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las vegas de Tilopozo.

Tabla N° 10-16. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Achnantheidium</i>	27.600	750	
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	26.951	32.400	31.350
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	6.355	7.650	
	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>		1.650	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>			35.250
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>	529		
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	2.204	3.600	5.400
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>	993		
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	2.700	7.350	2.700
Abundancia total (cell/cm²)				67.331	53.400	74.700
Riqueza de géneros (S)				7	6	4
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,30	1,20	1,03
Equidad (J')				0,67	0,67	0,74

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

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 Peine

La comunidad de fitoplancton en el Sector Peine, para la campaña de invierno 2022 estuvo compuesta por 9 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 5 géneros en las estaciones S-10 (laguna Saladita) y SA-25 (laguna Saladita) e I-17 (laguna Interna) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 29 cel/mL en SA-25 (laguna Saladita) y 84,5 cel/mL en I-11 (laguna Interna) (**Tabla N° 10-17**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación SA-25, ubicada en la laguna Saladita con 1,45 nits/ind. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación S-10 con 0,77 nits/ind. Para la equidad se observó el mayor registro en la estación SA-25 con 0,90 unidades, en cambio, el menor valor fue observado en la estación I-11 con 0,73 unidades (**Tabla N° 10-17**).

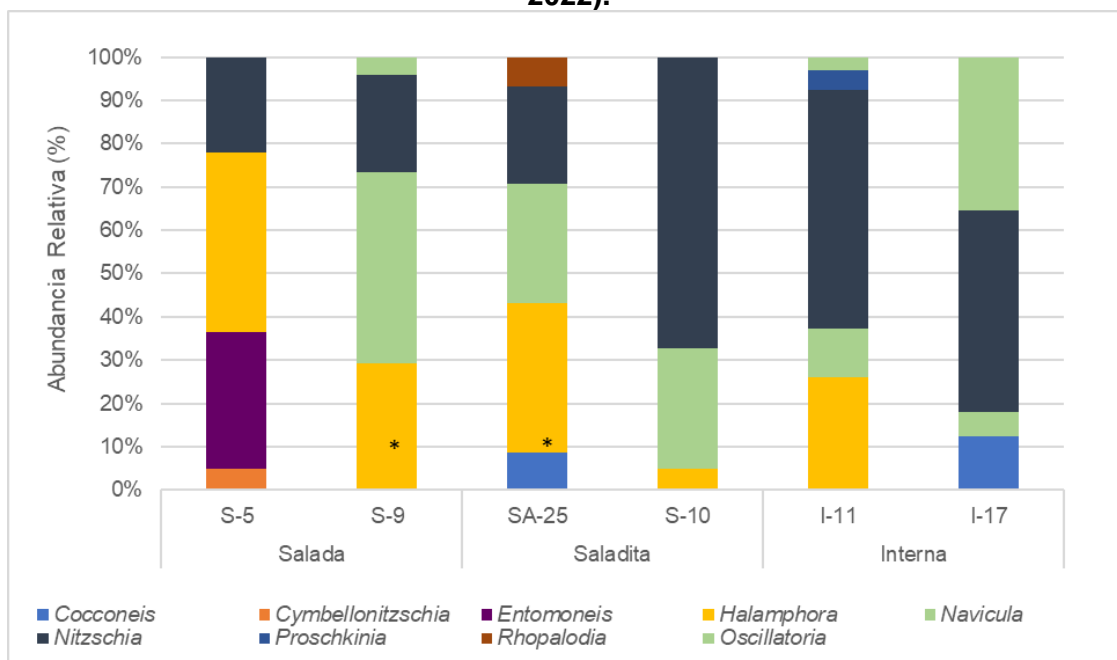
Respecto de la abundancia relativa (Figura N° 10-5), se observó que los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de invierno 2022, correspondieron a las diatomeas *Nitzschia* y *Halammphora*. En este sector la clase Bacillariophyceae es ampliamente dominante, respecto de la clase Cyanophyceae en la campaña de invierno 2022 para el fitoplancton.

Tabla N° 10-17. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			2,5			9,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	2,0					
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	13,0					
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	17,0	11,0	10,0	2,5	22,0	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>		16,5	8,0	14,0	9,5	4,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	9,0	8,5	6,5	34,0	46,5	33,5
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>					4,0	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			2,0			
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>		1,5			2,5	25,5
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2022					
Abundancia total (cel/mL)		29	8121	41,0	37,5	29,0	50,5	84,5	72,0
Riqueza de géneros (S)		4	14	4	4	5	3	5	4
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,21	1,19	1,45	0,77	1,17	1,14
Equidad (J')		-	-	0,87	0,86	0,90	0,70	0,73	0,83

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 para Abundancia Total como mínimo en la LB corresponde a 29 cel/mL, y no a 90 cel/mL, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.2.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2022 presentó 16 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 4 y 12 géneros, observada en las estaciones LP-24 (La Punta) y LB-3 (La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 17,0 cel/mL en LB-1 (La Brava) y 69,5 cel/mL en LB-3 (La Brava): En la actual campaña la laguna La Punta, presentó valores intermedios de abundancias para el sector (**Tabla N° 10-18**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LP-23 con 1,90 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LP-24 con 0,91 nits/ind (**Tabla N° 10-18**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,65 en la estación LB-2 y 0,86 unidades en la estación LP-23.

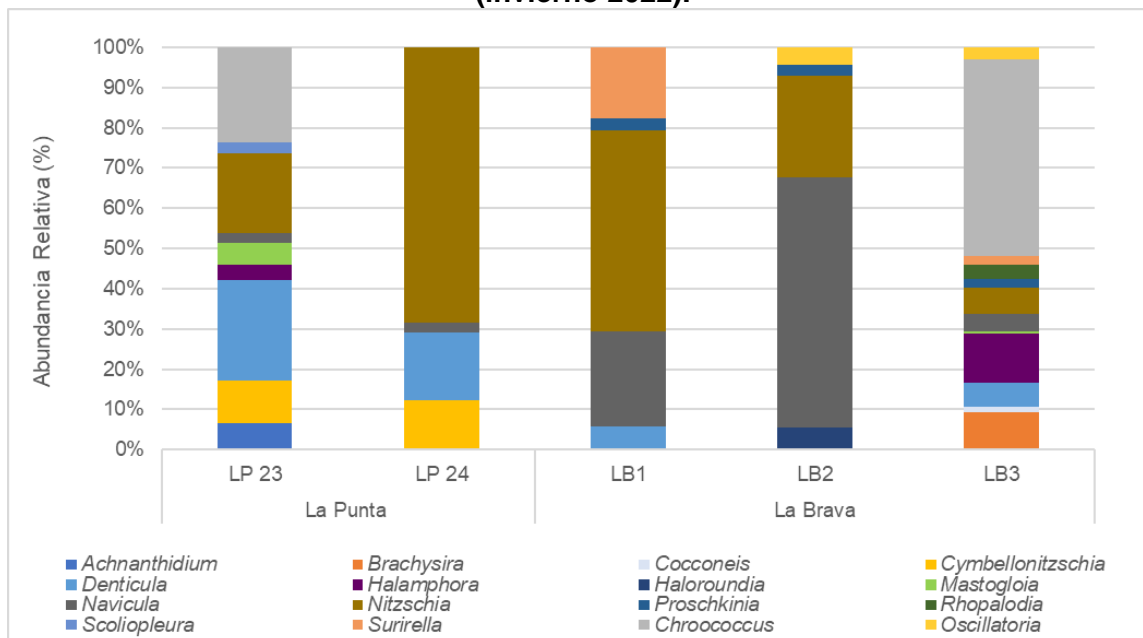
El gráfico de abundancia relativa (**Figura N° 10-6**), permite observar que los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de invierno 2022, correspondieron a la diatomea *Nitzschia* y a la cianófita *Chroococcus*. En este sector la clase Bacillariophyceae fue ampliamente dominante, respecto de la clase Cyanophyceae en la campaña de invierno 2022 para el fitoplancton.

Tabla N° 10-18. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).

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>Achnantheidium</i>	2,5				
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>					6,5
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>					1,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	4,0	2,5			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	9,5	3,5	1,0		4,0
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	1,5				8,5
	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Haloroundia</i>				2,0	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	2,0				0,5
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	1,0	0,5	4,0	22,0	3,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	7,5	14,0	8,5	9,0	4,5
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			0,5	1,0	1,5
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>					2,5
	Naviculales	Scoliotropidaceae	<i>Scolioleura</i>	1,0				
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>			3,0		1,5	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	9,0				34,0
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>				1,5	2,0
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2022				
Abundancia total (cel/mL)		24	10110	38,0	20,5	17,0	35,5	69,5
Riqueza de géneros (S)		6	14	9	4	5	5	12
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,90	0,91	1,26	1,04	1,79
Equidad (J')		-	-	0,86	0,66	0,79	0,65	0,72

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° 10-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 10 géneros. La riqueza por estación presentó entre 4 y 7 géneros en las estaciones TB-1 y TB-3 respectivamente. Respecto a las abundancias registradas entre estaciones de monitoreo se observaron valores entre 27,0 y 1710 cel/mL registrados en las estaciones TB-2 y TB-3 respectivamente (**Tabla N° 10-19**). Los valores de diversidad en la comunidad oscilaron entre 1,00 nits/ind en TB-1 y 1,29 nits/ind en TB-2. En tanto, para la equidad se observaron valores de 0,61 y 0,80 unidades en TB-3 y TB-2 respectivamente.

Respecto de los *taxa* dominantes, correspondieron a la diatomea *Halamphora* y a la cianoficea filamentosa *Oscillatoria* las mayores representatividades en vegas de Tilopozo (**Figura N° 10-7**).

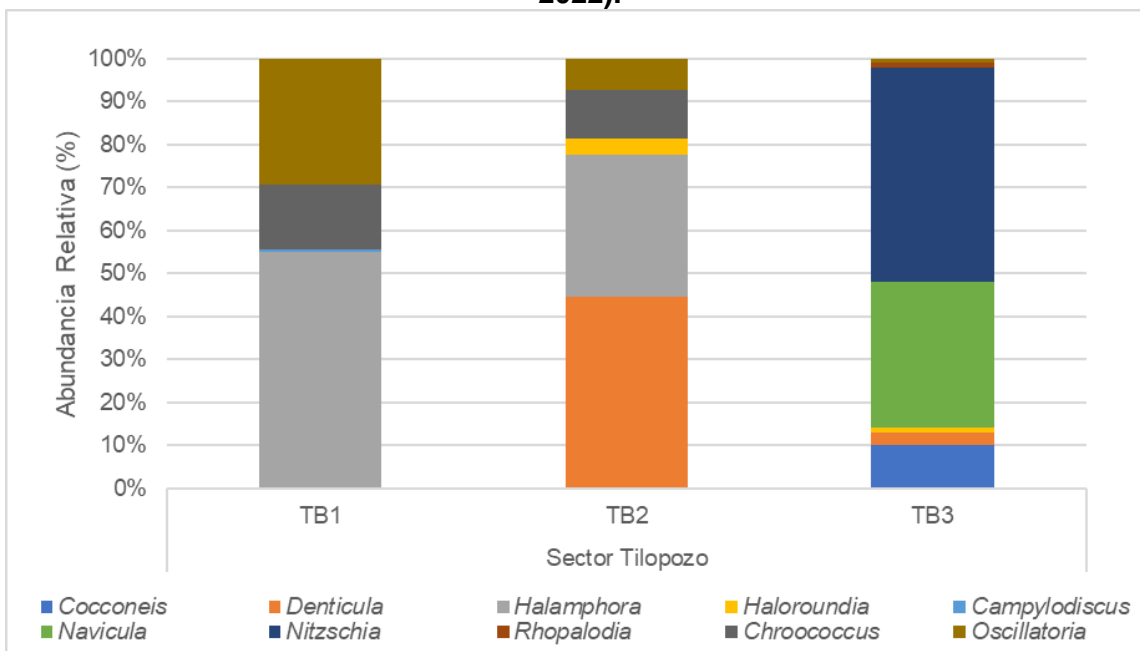
En relación con la representatividad por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, se detectó que la Clase Bacillariophyceae fue la dominante seguida de Zygnematophyceae.

Tabla N° 10-19. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			10,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>		12,0	3,0
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	94,0	9,0	
	Achnanthes	Achnanthidiaceae	<i>Haloroundia</i>		1,0	1,0
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	1,0		
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>			34,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>			50,0
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			1,0
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	26,0	3,0	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	50,0	2,0	1,0
Abundancia total (cel/mL)				171,0	27,0	100,0
Riqueza de géneros (S)				4	5	7
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,00	1,29	1,19
Equidad (J')				0,72	0,80	0,61

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2022).



(*) La estación TB-2 en invierno 2021 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

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 2022.

10.2.2.3.3.1 Sector Peine

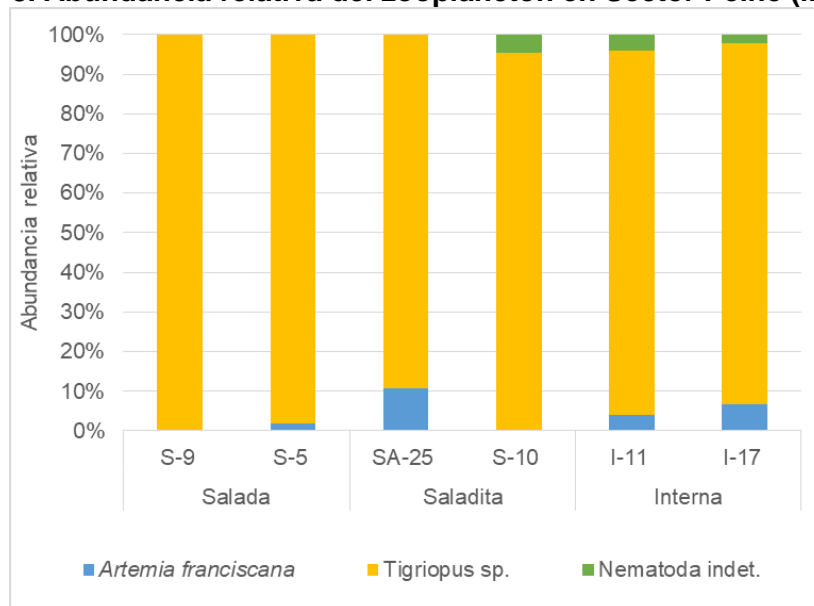
En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en invierno 2022, se observaron riquezas entre 1 y 3 *taxa* en las estaciones de muestreo. Se registraron entre 1 y 2 *taxa* en las estaciones de laguna Salada y de 2 a 3 *taxa* en las estaciones de las lagunas Saladita e Interna (máximos en laguna Interna). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta principalmente por copépodos Harpacticoida *Tigriopus sp.*, por el branquiópodo *Artemia franciscana* y gusanos Nematoda. Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton variaron entre 1,96 ind/L en SA-25 (laguna Saladita) y 50,83 ind/L en S-9 (laguna Salada). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en las tres lagunas de Peine fueron los copépodos *Tigriopus sp.*, obteniendo su máximo registro en S-9. Por su parte *A. franciscana* se encontró en bajas abundancias, registrándose su máxima densidad en laguna Interna (I-17) con 0,25 ind/L. El taxón Nematoda encontrado principalmente en laguna Interna, mostró bajas abundancias (máximo 0,17 ind/L en I-11). Respecto a los índices comunitarios, la diversidad (H) en todas las estaciones fue baja (entre 0,09 y 0,35 nits/ind) al igual que la equidad (J') (entre 0,13 y 0,49), dado por las bajas riquezas y a que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (Tabla N° 10-20 y Figura N° 10-8).

Tabla N° 10-20. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>		0,08	0,21		0,17	0,25
Hexanauplia	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	50,83	4,67	1,75	2,63	3,83	3,42
Nematoda	-	-	Nematoda indet.				0,13	0,17	0,08
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2022					
Abundancia total (Ind/L)		0,0	137,3	50,83	4,75	1,96	2,75	4,17	3,75
Riqueza de taxa (S)		0	5	1	2	2	2	3	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	-	0,09	0,34	0,18	0,33	0,35
Equidad (J')		-	-	-	0,13	0,49	0,27	0,30	0,32

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector Peine durante todas las campañas 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.

Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta y La Brava en invierno de 2022, se registraron riquezas entre 2 y 3 taxa por estación de organismos zooplanctónicos, siendo la mínima la obtenida en las estaciones de La Brava y la máxima en las estaciones de La Punta. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos *Boeckella* sp., *Tigriopus* sp. y Cyclopoida, por el branquiópodo *Artemia franciscana* y por larvas de insectos Chironomidae. El taxón con mayor frecuencia fue el copépodo *Tigriopus* sp. que se encontró en todas las estaciones de este sector. Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 1,17 a 24,04 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-3 y un máximo en LB-1. El organismo más abundante por estación fue *Tigriopus* sp., alcanzando 23,75 ind/L en LP-23, seguido por copépodos Cyclopoida con un máximo de 6,08 ind/L en LP-23. La estructura comunitaria del zooplancton en este sector muestra que el grupo dominante en La Punta fueron los copépodos Cyclopoida y *Tigriopus* sp., mientras que en La Brava principalmente fue *Tigriopus* sp. Respecto a las diversidades estimadas, estas oscilaron entre 0,07 y 0,85 nits/ind, con la más baja obtenida en LB-1 y la más alta en LP-23. La equidad fue baja en la mayoría de las estaciones del sector (<0,77), debido a las

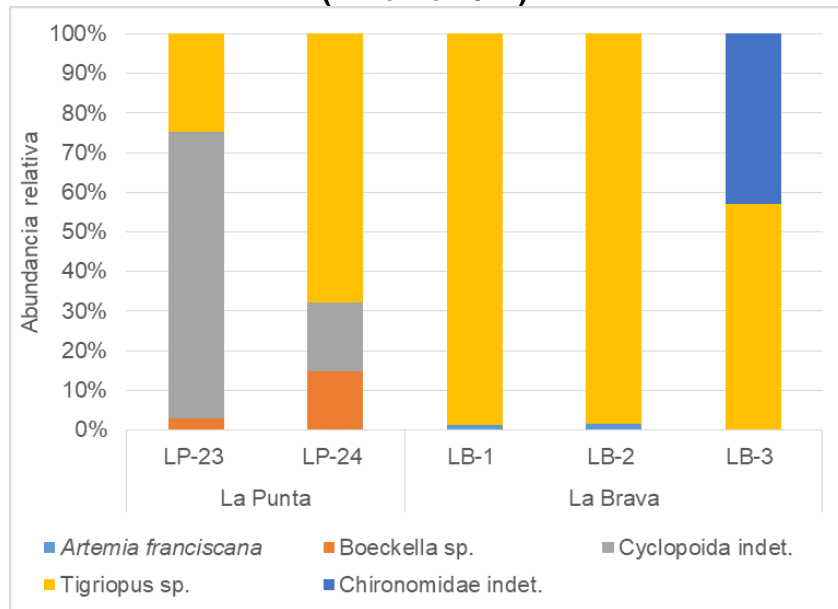
bajas riquezas y que las abundancias de sus taxa tendieron a ser disímiles, exceptuando por LB-3 que fue alta (0,99) (Tabla N° 10-21 y Figura N° 10-9).

Tabla N° 10-21. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).

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>			0,29	0,29	
Hexanauplia	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella sp.</i>	0,25	0,50			
	Cyclopoida	-	Cyclopoida indet.	6,08	0,58			
	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	2,08	2,29	23,75	18,04	0,67
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.					0,50
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2022				
Abundancia total (Ind/L)		0	239,1	8,42	3,38	24,04	18,33	1,17
Riqueza de taxa (S)		0	4	3	3	2	2	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,68	0,85	0,07	0,08	0,68
Equidad (J')		-	-	0,62	0,77	0,09	0,12	0,99

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° 10-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.3.3 Sector Tilopozo

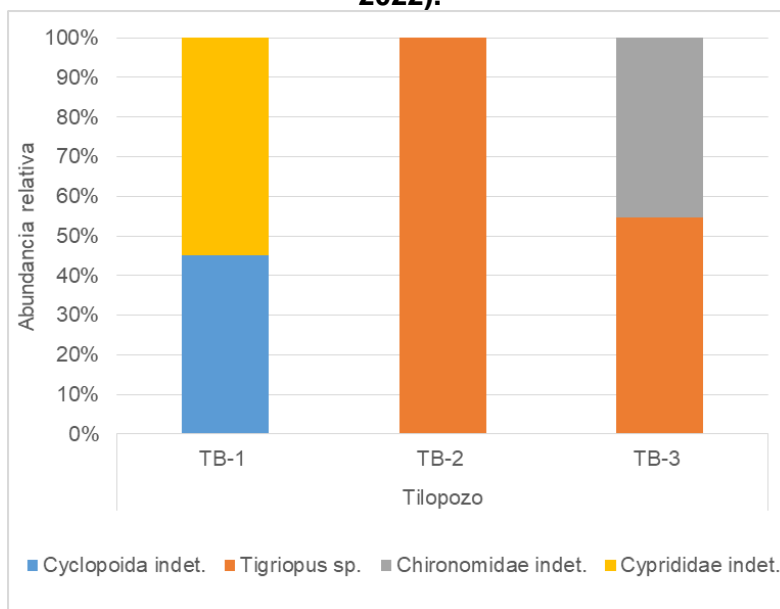
En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2022, se registraron riquezas entre 1 y 2 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Cyclopoida, *Tigriopus* sp., ostrácodos Cyprididae y por insectos Chironomidae. El taxón con mayor frecuencia fue el copépodo *Tigriopus* sp. que se encontró en TB-2 y TB-3. Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,55 a 3,65 ind/L, con un mínimo obtenido en TB-3 y un máximo en TB-1. El organismo más abundante por estación fue el ostrácodo Cyprididae alcanzando 2 ind/L en TB-1. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad fue baja alcanzando 0,69 nits/ind en TB-1 y TB-3 (en TB-2 no se puede estimar por ser solo un taxón). Mientras que la equidad tendió a ser alta (0,99), debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron similares (Tabla N° 10-22 y Figura N° 10-10).

Tabla N° 10-22. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Hexanauplia	Cyclopoida	-	Cyclopoida indet.	1,65		
	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.		1,30	0,30
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.			0,25
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.	2,00		
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB			
Abundancia total (Ind/L)		0	239,1	3,65	1,30	0,55
Riqueza de taxa (S)		0	4	2	1	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,69	-	0,69
Equidad (J')		-	-	0,99	-	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-10. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

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 Peine

En el sector Peine el zoobentos registró una riqueza entre 1 y 4 *taxa*, encontrándose el máximo en la estación S-10 (laguna Saladita). La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por copépodos *Tigriopus* sp. e insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Dolichopodidae y Ephydriidae. Las abundancias totales por estación tuvieron valores entre 260 ind/m² en I-17 a 279333 ind/m² en S-9. Los organismos más abundantes fueron los copépodos *Tigriopus* sp, alcanzando los 266991 ind/m² en S-9 (laguna Salada) y 20658 ind/m² en S-10 (laguna Saladita), siendo también importante de

mencionar a los dípteros Ceratopogonidae que alcanzaron los 12343 ind/m² en S-9. Respecto a los índices comunitarios, las estimaciones de diversidad estuvieron entre 0,18 nits/ind en S-9 y 0,47 nits/ind en I-11, no pudiéndose estimar en las estaciones S-5, SA-25 e I-17 por registrarse solo un taxón. Las equidades fueron bajas, la máxima estimada alcanzó solo 0,68 en I-11, lo cual está dado por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser disímiles (Tabla N° 10-23).

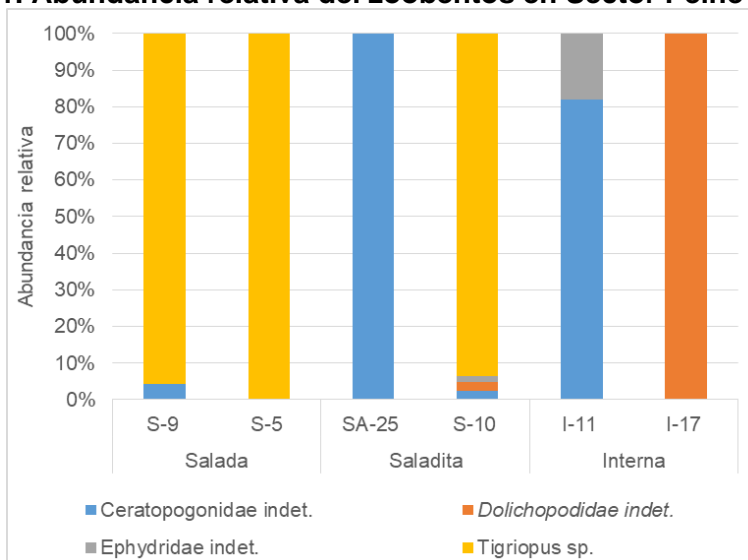
Tabla N° 10-23. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	12343		1299	520	1169	
Insecta	Diptera	Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.				520		260
Insecta	Diptera	Ephydriidae	Ephydriidae indet.				390	260	
Hexanauplia	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	266991	4547		20658		
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2022					
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	279333	4547	1299	22087	1429	260
Riqueza de taxa (S)		2	5	2	1	1	4	2	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,18	-	-	0,31	0,47	-
Equidad (J')		-	-	0,26	-	-	0,22	0,68	-

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familias registrados en estas estaciones del sector Peine, durante las campañas de invierno 2013 y 2014 de la Línea Base.

La **Figura N° 10-11**, muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector con los *taxa* dominante en cada estación, observándose la dominancia de copoépodos *Tigriopus sp.* en las estaciones S-9, S-5 y S-10, insectos dípteros Ceratopogonidae en las estaciones SA-25 e I-11 y en la estación I-17 los insectos dípteros Dolichopodidae.

Figura N° 10-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 2 y 4, ocurriendo el máximo en la estación LP-23. La fauna estuvo compuesta por copépodos *Tigriopus* sp., insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Chironomidae (*Cricotopus* sp.) y Dolichopodidae, anfípodos *Hyaella* sp., gasterópodos *Heleobia* sp. y gusanos Lumbriculidae. Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 1689 ind/m² (LB-3) a 30142 ind/m² (LB-1). Los organismos más abundantes fueron los copépodos *Tigriopus* sp. siendo mayoritarios en LB-1 (alcanzó 29882 ind/m²), seguidos por los gasterópodos *Heleobia* sp. encontrados en LP-23 (La Punta) y luego por las larvas de dípteros Ceratopogonidae (máximo en LB-2 con 2339 ind/m²). Las estimaciones de diversidad fueron en general bajas, de 0,06 a 0,91 nits/ind. En el caso de la equidad las estimaciones estuvieron en el rango de 0,89 (LB-3) y 0,05 (LB-1), dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser similares en LB-3 y muy disímiles en LB-1 (Tabla N° 10-24).

Tabla N° 10-24. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava (invierno 2022).

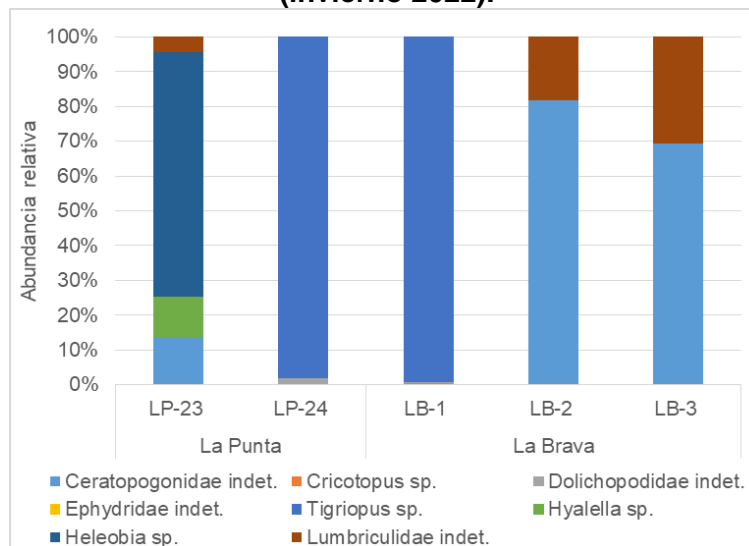
Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	1949			2339	1169
		Chironomidae	<i>Cricotopus</i> sp.			130		
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.		260	130		
Hexanauplia	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.		14162	29882		

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.</i>	1689				
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	10134				
Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae indet.	650			520	520
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2022				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	14421	14421	30142	2858	1689
Riqueza de taxa (S)		0	6	4	2	3	2	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,91	0,09	0,06	0,47	0,62
Equidad (J')		-	-	0,66	0,13	0,05	0,68	0,89

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familias registrados en estas estaciones del sector La Punta – La Brava durante todas las campañas 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 riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La estructura comunitaria del zoobentos en el sector, muestra que los *taxa* dominantes por cada estación fueron el gasterópodo *Heleobia sp.* en LP-23, el copépodo *Tigriopus sp.* en las estaciones LP-24 y LB-1, mientras que el díptero Ceratopogonidae y gusanos Lumbriculidae fueron dominantes en las estaciones LB-2 y LB-3 (**Figura N° 10-12**).

Figura N° 10-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2022, solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zoobentónicos. En TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde se encontraron los dípteros Ceratopogonidae (como dominantes) y

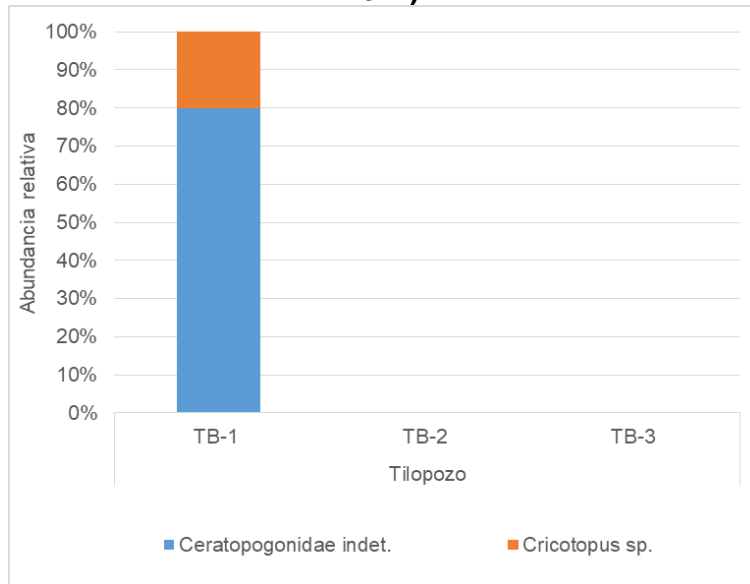
Chironomidae (*Cricotopus* sp.), alcanzando una abundancia total de 1299 ind/m². Respecto a los índices comunitarios, solo se pudieron estimar en TB-1, correspondiendo a una diversidad de 0,5 nits/ind y una equidad baja de 0,72, esto debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron disímiles (Tabla N° 10-25 y Figura N° 10-13).

Tabla N° 10-25. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	1039		
		Chironomidae	<i>Cricotopus</i> sp.	260		
Abundancia total (Ind/m²)				1299	0	0
Riqueza de taxa (S)				2	0	0
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,50	-	-
Equidad (J')				0,72	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-13. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2022).



Fuente: Elaboración propia.

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 helófita 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 2022, fueron detectadas 9 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata*, *Baccharis* sp. y *Juncus balticus*. 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° 10-27).

Tabla N° 10-26. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2022).

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>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (Tabla N° 10-27), presentando 2 especies en el sector Peine, 4 especies en el sector La Punta – La Brava y 5 especies en el sector vegas de Tilopozo. Las estaciones con mayor riqueza de especies correspondieron a LP-23 de la laguna La Punta con 4 especies y las estaciones de monitoreo de Tilopozo (TB-1 y TB-3) con 3 y 4 especies.

Respecto a la presencia-ausencia, se observó en los sectores de Peine y La Punta - La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en porcentajes que oscilaron entre 4 y 77%

en el sector Peine y entre 2 y 3% de cobertura en La Punta, mientras que, en La Brava fue detectada solo en la estación LB-3 con 9%. Cabe destacar que, esta especie se encontró sumergida y en varios casos distribuida en el centro de la laguna y en las orillas de las lagunas.

Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta, específicamente en la estación LP-23, se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Puccinellia frigida* (solo presencia), *Triglochin concinna* (7%) y *Sarcocornia fruticosa* (60%). En LP-24 se detectó solo la presencia de *S. fruticosa* y 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* en altos porcentajes de cobertura dentro de los ojos de agua de las estaciones TB-1 y TB-3 con 33%. Además de la presencia de las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus* observada en TB-3, *Distichlis spicata* en TB-1, *Baccharis* sp. en TB-1, TB-2 y TB-3 y la presencia de *Juncus balticus* en TB-1 (**Tabla N° 10-27**).

Tabla N° 10-27. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2022).

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 (77%)	X (12%)	X (75%)	X (4%)	X (34%)		X (3%)	X (2%)			X (9%)			
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus californicus</i>														X (33%)
<i>Juncus balticus</i>												X		
<i>Triglochin concinna</i>							X (7%)			X (23%)				
<i>Puccinellia frigida</i>							X							
<i>Distichlis spicata</i>												X (33%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>		X					X (60%)	X						
<i>Baccharis</i> sp.												X (33%)	X (67%)	X (33%)
Riqueza Total	1	2	1	1	1	0	4	2	0	1	1	4	1	3

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

10.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2023 (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 2023 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**.

10.2.3.1.1 Resultados Sector Peine

En la campaña de verano 2023 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), debido a las restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine, no fue posible realizar el monitoreo. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones**.

10.2.3.1.2 Resultados Sector La Punta y la Brava

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava en verano 2023 (**Tabla N° 10-28**) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 27.190 y 127.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y elevadas salinidades (entre 18,9 y >42 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 10.209,6 y 61.399,4 mg/L) y sulfato (entre 1.774 y 7.911 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 50.340 y 63.920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y >42 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (21.411,8 y 25.594,9 mg/L) y sulfato (3.106 y 2.330 mg/L), respectivamente para cada una de sus estaciones.

Las temperaturas registradas en esta campaña para el sector estuvieron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (16,94 a 29,19°C), junto con un pH principalmente neutro de 7,32 a 7,61 unidades, cuyos valores se relacionan con los parámetros de alcalinidad total y bicarbonato (319 a 569 mg/L), junto con los de Alcalinidad Parcial (<3 a 64 mg/L) y Carbonato ($<1,2$ mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 1,57 y 6,73 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 2,13 µg/L y la clorofila en Perifiton mostró un rango entre <0,02 y 12,61 mg cl-a/m², con su máximo registro en LP-24 (La Punta). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 0,7 y 2,6 UNT y los compuestos nitrogenados como el nitrito y nitrato, presentaron en general valores por debajo del límite de detección y el Nitrógeno Total Kjeldhal, mostró valores entre 1,2 y 2,5 mg/L. Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector, al igual que el parámetro de aceites y grasas.

Tabla N° 10-28. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2023.

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	26,3	25,71	24,32	16,94	24,84	29,19
pH (*)	Unidad de pH	-	7,77	8,38	7,5	7,61	7,51	7,32	7,32
Conductividad (*)	µS/cm	-	22300	149500	50340	63920	114000	127600	27190
Salinidad	g/kg	-	22,7	36,3	>42,00	>42,00	>42,00	>42,00	18,9
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,69	9,72	5,29	3,53	1,65	1,57	6,73
Turbiedad (*)	UNT	-	1,3	31,4	2,6	2,6	1,4	2,2	0,7
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	31,9	0,25	2,13	<0,02	<0,02	<0,02
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-	1,51	12,61	<0,02	<0,02	<0,02
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	49	64	<3	<3	24
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	268	806	449	507	549	569	319
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	240	311,1	449	507	549	569	319
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	53,86	307,5	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Cloruro (Cl-)	mg/L	8	12071	58199	21411,8	25594,9	47786,6	61399,4	10209,6
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	0,023	<0,046	0,245	2,1	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrito (N-NO ₂ -)	mg/L	0,023	<0,0002	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	<0,01	0,268	1,2	1,3	2,1	2,5	1,2
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,1	3,19	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	<0,05	3,77	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ -2)	mg/L	10	0,255	3,29	3106	2330	5483	7911	1774
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	1385	7261	<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 estas estaciones del sector durante toda la Línea Base. **Nota:** En los Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila “a” de 31.900 ug/L, correspondientes a 31,9 mg/L según lo reportado en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza a unidad y orden de valor correctos para su comparación.

10.2.3.1.3 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° 10-29**), con valores más bajos en conductividad (entre 4492 y 4539 µS/cm), salinidad (2,3 g/Kg), cloruro (2453,1 a 2524 mg/L)

y sulfato (345 a 424 mg/L). Se registró un pH entre 6,34 a 6,91 y valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 333 y 349 mg/L. Las temperaturas registradas en general fueron altas en estos cuerpos de agua, las cuales oscilaron entre 25,41 y 25,78°C, mientras que el oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3,4 y 6,44 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 mostró valores entre 0,3 y 0,9 UNT, la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 1 y 11,1 µg/L y la clorofila en Perifiton entre 16,49 y 732,52 mg cl-a/m², observándose los máximos de clorofila en TB-3. En relación con los compuestos nitrogenados, el nitrato fluctuó entre 3,7 y 4,4 mg/L, el Nitrógeno Total Kjeldhal presentó valores entre 1,1 y 2 mg/L y el nitrito tuvo valores bajo el límite de detección. En el caso del fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección en todas las estaciones muestreadas de Tilopozo, al igual que el parámetro de aceites y grasas.

Tabla N° 10-29. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	25,41	25,54	25,78
pH (*)	Unidad de pH	-	6,63	6,34	6,91
Conductividad (*)	µS/cm	-	4517	4539	4492
Salinidad	g/kg	-	2,3	2,3	2,3
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	3,56	6,44	3,4
Turbiedad (*)	UNT	-	0,3	0,7	0,9
Clorofila "a"	µg/L	0,02	1	1,45	11,11
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	16,49	95,89	732,52
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	8	8	14
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	345	349	333
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	345	349	333
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	<1,2	<1,2	<1,2
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	2524	2453,1	2453,1
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	4,4	3,7	4,3
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	2	1,1	1,4
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	10	345	424	405
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) Parámetros registrados *in situ*.

10.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados durante la campaña de verano 2023. Cabe mencionar que dentro del Plan de Manejo Biótico se indica realizar un análisis de granulometría a cada una de las muestras colectadas por estación de monitoreo, sin embargo, dicho análisis no se pudo llevar a cabo debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada (ANAM S.A.) en la Carta R129 / 2023 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**. El anexo también contiene los informes de ensayo de laboratorio respectivos de calidad de sedimentos.

Respecto al impedimento para ejecutar el ensayo de Granulometría, la ETFA ANAM S.A. en la Carta R129 / 2023 expone lo siguiente: *“no fue posible realizar el análisis de Granulometría, debido a la naturaleza típica de suelos muy finos que formaron costras, impidiendo pasar por el tamizado para determinar la proporción de tamaño según gravimetría”*. En la carta también se comenta que el ensayo de Granulometría se ejecuta *“en base a los requisitos establecidos en nuestro método MQC000073 Rev.0 basado en ASTM C136/C136 M-14 Gravimetría, acreditado para suelos, sedimentos lacustres, sedimentos acuáticos y sedimentos marinos, según certificado LE-651 del Instituto Nacional de Normalización”*.

10.2.3.2.1 Resultados Sector Peine

En la campaña de verano 2023, los parámetros de calidad de sedimentos del Sector Peine, no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a las restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

10.2.3.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 52,55 a 71,40 g/Kg y de 9,06 % a 12,31 %, respectivamente, registrándose los valores más altos para estos parámetros en laguna La Brava (LB-1 y LB-3). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, varió entre 0,182 y 0,198 g/Kg, con el mayor valor registrado en LB-2 (La Brava). 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 la mayoría de las estaciones se registraron valores positivos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones oxidativas, con valores entre -395 mV (LB-1) y 420 mV (LP-24 y LB-3)³⁴. En la **Tabla N° 10-30** se presentan los

³⁴ Se solicitó al laboratorio ETFA encargado, una revisión de los valores de potencial óxido-reducción, ya que históricamente han sido valores negativos.

resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2023 del Sector de La Punta – La Brava.

Tabla N° 10-30. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 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	22	48	52,55	52,90	71,40	58,41	64,97
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	8	55	<500	<500	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	1,596	6,351	0,189	0,190	0,182	0,198	0,184
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	9,06	9,12	12,31	10,07	11,20
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	13,4	420	-395	411	420

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.

10.2.3.2.3 Resultados Sector Tilopozo

La estación TB-2 en la campaña de verano 2023, se encontró con el terreno con un entramado de raíces y por ende compactado (al igual que el verano anterior), lo que no permitió la obtención de las muestras de sedimento. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) de 57,83 y 62,18 g/Kg y de materia orgánica de 9,97% y 10,72%, siendo mayores los registros encontrados en TB-3. El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 0,132 g/Kg (TB-1) y 0,170 g/Kg (TB-3). El fósforo total, por su parte, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección en ambas estaciones del sector (<500 mg/Kg). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores de -280 y -255 mV respectivamente, con su mínimo registrado en TB-1.

En la **Tabla N° 10-31** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2023 del Sector de Tilopozo.

Tabla N° 10-31. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	57,83	Sin muestreo	62,18
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	<500		<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	0,132		0,170
Materia Orgánica	%	0,28	9,97		10,72
Potencial Redox	mV	-	-280		-255

Fuente: Elaboración propia. (*) En la estación TB-2 no fue posible obtener muestras de sedimentos debido a la compactación y entramado de raíces del terreno.

10.2.3.3 Resultados Biota acuática

10.2.3.3.1 Fitobentos

10.2.3.3.1.1 Sector Peine

En la presente campaña verano 2023, no se tuvo acceso al sector por restricciones determinadas por la Comunidad de Peine (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

10.2.3.3.1.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2023 estuvo compuesta por 17 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 5 y 10 géneros en las estaciones en LP-24 (La Punta) y LB-2 (La Brava), respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 16.510 cel/cm² en LB-2 (La Brava) y 1.294.994 cel/cm² en LB-1 (La Brava) (**Tabla N° 10-32**). Cabe señalar que, las estaciones de la laguna La Punta presentaron valores intermedios de abundancia.

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-2, ubicada en la laguna La Brava con 1,67 nits/ind, en tanto, la mayor equidad la presentó la estación LP-23 de la laguna La Punta con 0,73 unidades. Por otro lado, en la estación de La Brava (LB-1), se registró la menor diversidad y equidad con valores de 0,90 nits/ind y 0,50 unidades (**Tabla N° 10-32**).

En relación con los *taxa* dominantes durante la campaña de verano 2023, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Nitzschia*, *Denticula*, y *Gloeocapsa* (**Figura N° 10-14**).

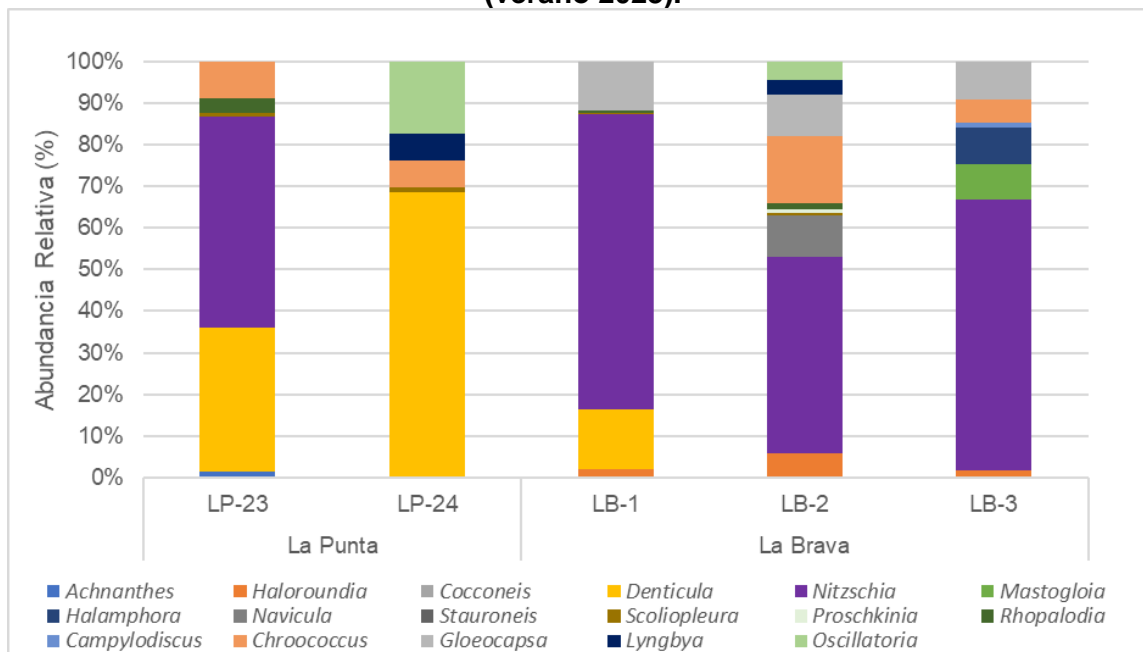
Respecto de las dominancias por clase, se observó que la clase ampliamente dominante correspondió a Bacillariophyceae.

Tabla N° 10-32. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	4.704				
			<i>Haloroundia</i>			25.665	965	2.400
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	75.264				
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	117.600	73.850	185.186		
			<i>Nitzschia</i>	172.032		917.972	7.770	86.347
	Mastogiales	Mastogliaceae	<i>Mastogloia</i>	14.784				11.040
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>					11.787
			Naviculaceae	<i>Navicula</i>				1.665
		Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	15.456				
		Scoliotropidaceae	<i>Scolioleura</i>	2.688	1.400	6.696	75	
Proschkiniaceae		<i>Proschkinia</i>				150		
Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	12.096		4.480	265		
Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>					1.387	
Cyanobacteria	Cyanobacteriales	Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>	30.240	7.000		2.640	7.520
		Gloeocapsaceae	<i>Gloeocapsa</i>			154.994	1.665	12.267
		Microcoleaceae	<i>Lyngbya</i>		6.650		595	
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>		18.900		720	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Ver-2023				
Abundancia total (cel/cm²)		16	88793	444.864	107.800	1.294.994	16.510	132.747
Riqueza de géneros (S)		5	17	9	5	6	10	7
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,61	0,97	0,90	1,67	1,20
Equidad (J')		-	-	0,73	0,60	0,50	0,72	0,62

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 88.792,8 cel/cm², considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 6187 cel/cm². 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/mm³ y cel/mm² 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/cm² y riqueza a nivel de géneros.

Figura N° 10-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 13 géneros. La riqueza por estación de monitoreo presentó el mayor registro en la TB-1 con 9 géneros y el menor en TB-2 con 5 géneros. Respecto a las abundancias registradas la estación TB-3 presentó el mayor registro de abundancia con 196.653 cel/cm² y el menor en TB-2 con 5.796 cel/cm² (Tabla N° 10-33).

La diversidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fue mayor para la estación TB-1 con 1,33 nits/ind y menor en la estación TB-3 con 1,13 nits/ind. Respecto a la equidad se observó que el mayor registro lo presentó la estación TB-2 con 0,79 unidades y el menor TB-1 con 0,61 unidades (Tabla N° 10-33).

Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Nitzschia* y *Fragilaria* presentaron las mayores representatividades entre las estaciones evaluadas (Figura N° 10-15).

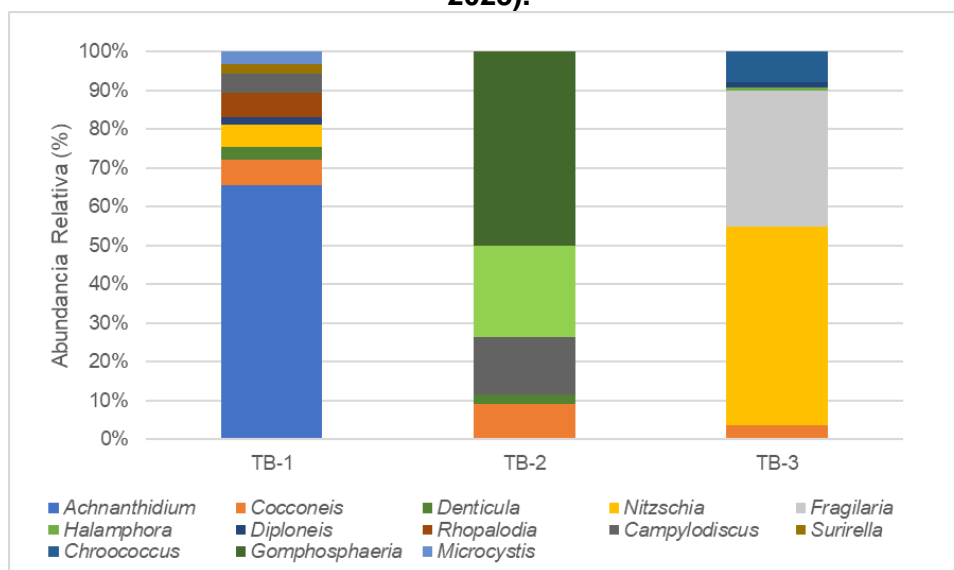
Respecto de las dominancias por clase, se puede ver la amplia dominancia del grupo Bacillariophyceae seguido de Cyanophyceae.

Tabla N° 10-33. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2023).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Achnantheidium</i>	17.176		
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1.748	532	7.093
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	848	140	
			<i>Nitzschia</i>	1.526		100.800
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			68.880
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>			1.867
		Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	509		2.520
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	1.646		
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	1.297	854	
			<i>Surirella</i>	618		
Cyanobacteria	Cyanobacteriales	Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>		1.372	15.493
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>		2.898	
		Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	840		
Abundancia total (cel/cm²)				26.207	5.796	196.653
Riqueza de géneros (S)				9	5	6
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,33	1,28	1,13
Equidad (J')				0,61	0,79	0,63

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-15. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.2 Fitoplancton

10.2.3.3.2.1 Sector Peine

En la presente campaña verano 2023, no se tuvo acceso al sector.

10.2.3.3.2.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta - La Brava, en la campaña de verano 2023 presentó 12 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 2 y 8 géneros, con los mínimos en las estaciones LB-1 y LB-2 y el máximo en LB-3, todos registrados en la laguna La Brava. Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 15 cel/mL en LB-2 (La Brava) y 49 cel/mL en LB-3 (La Brava) (Tabla N° 10-34).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) con 1,57 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LB-1 (La Brava) con 0,53 nits/ind (Tabla N° 10-34). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,76 unidades registrados en la estación LB-1 y LB-3 y 1,00 en la estación LB-2.

Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de verano 2023, se observó que las mayores representatividades fueron observadas para las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula* (Figura N° 10-16). El análisis de la abundancia relativa por clase muestra que el sector estuvo dominado ampliamente por la clase Bacillariophyceae, seguida de Cyanobacteriia.

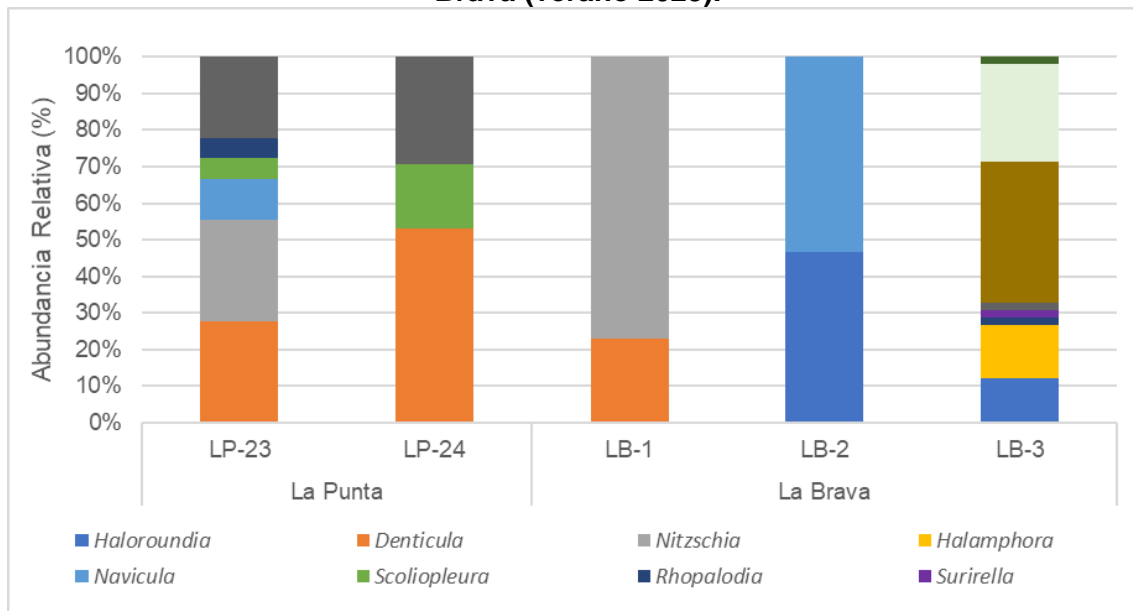
Tabla N° 10-34. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).

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>				7	6
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	10	9	6		
			<i>Nitzschia</i>	10		20		
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>					7
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>	4			8	
		Scoliotropidaceae	<i>Scolioleura</i>	2	3			
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	2				1
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					1	

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Cyanobacteria	Cyanobacteriales	Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>	8	5			1
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>					19
		Gloeocapsaceae	<i>Gloeocapsa</i>					13
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>					1
		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Ver-2023				
Abundancia total (cel/mL)		24	10110	35	17	26	15	49
Riqueza de géneros (S)		6	14	6	3	2	2	8
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,57	1,00	0,53	0,69	1,57
Equidad (J')		-	-	0,88	0,91	0,76	1,00	0,76

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 10110 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 14 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° 10-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 12 géneros. La riqueza osciló entre 3 géneros en TB-1 y 8 géneros registrados en TB-2 y TB-3 respectivamente. Respecto de las abundancias registradas oscilaron entre 28 cel/mL en TB-1 y 714 cel/mL en TB-3 (**Tabla N° 10-35**).

En relación con los valores de diversidad se observó una mayor diversidad de 1,03 nits/ind en la estación TB-2 y menor de 0,51 nits/ind en TB-3. En tanto, la equidad presentó valores diferentes entre las estaciones de muestreo con valores que oscilaron entre 0,25 unidades en TB-3 y 0,59 en la estación TB-1 (**Tabla N° 10-35**).

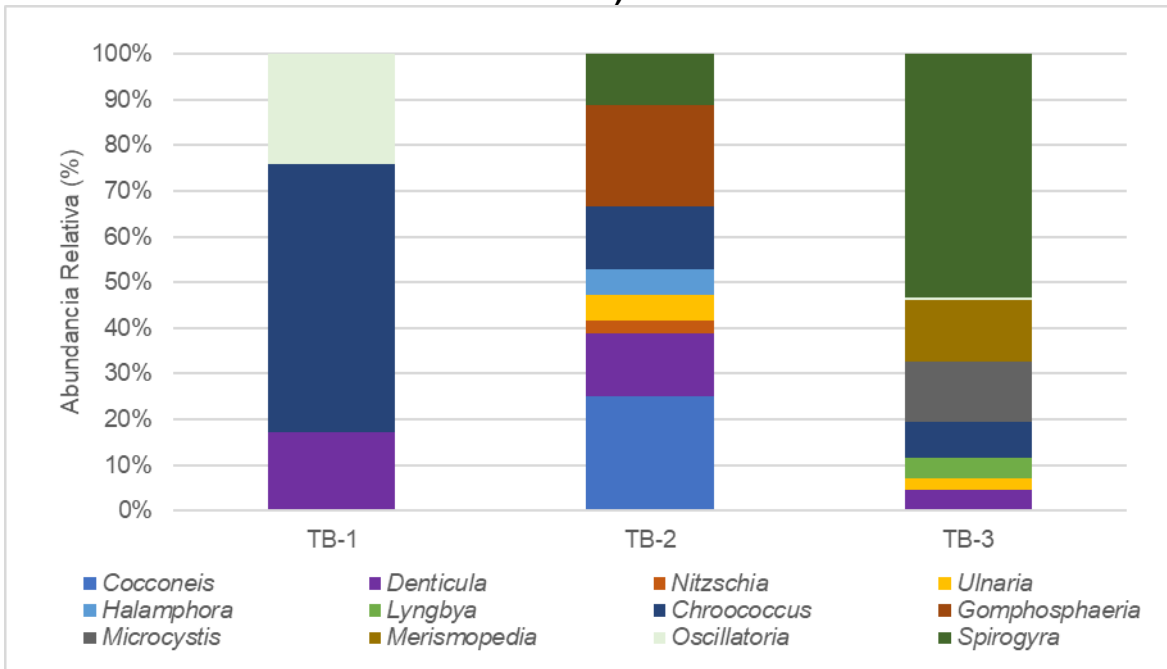
Respecto de los *taxa* dominantes, la zygnematoficea *Spirogyra* y las cianobacterias *Microcystis* y *Merismopedia*, presentaron las mayores representatividades entre las estaciones de vegas de Tilopozo (**Figura N° 10-17**). En tanto, la dominancia por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, se observó que la clase con mayor representatividad correspondió a Bacillariophyceae por sobre Cyanobacteriia.

Tabla N° 10-35. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2023).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		9	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	5	5	32
			<i>Nitzschia</i>		1	
	Fragiliales	Fragilariaceae	<i>Ulnaria</i>		2	18
Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>		2		
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcoleaceae	<i>Lyngbya</i>			33
		Microcystaceae	<i>Chroococcus</i>	17	5	56
		Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>		8	
		Microcystaceae	<i>Microcystis</i>			95
		Chamaesiphonaceae	<i>Merismopedia</i>			95
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	7		5
Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>		4	381
Abundancia total (cel/mL)				28	36	714
Riqueza de géneros (S)				3	8	8
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,65	1,03	0,51
Equidad (J')				0,59	0,49	0,25

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopocho (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3 Zooplancton

10.2.3.3.3.1 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 obtener ni realizar el monitoreo durante la campaña de verano 2023, debido a restricciones de acceso a este sector determinadas por la comunidad de Peine.

10.2.3.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

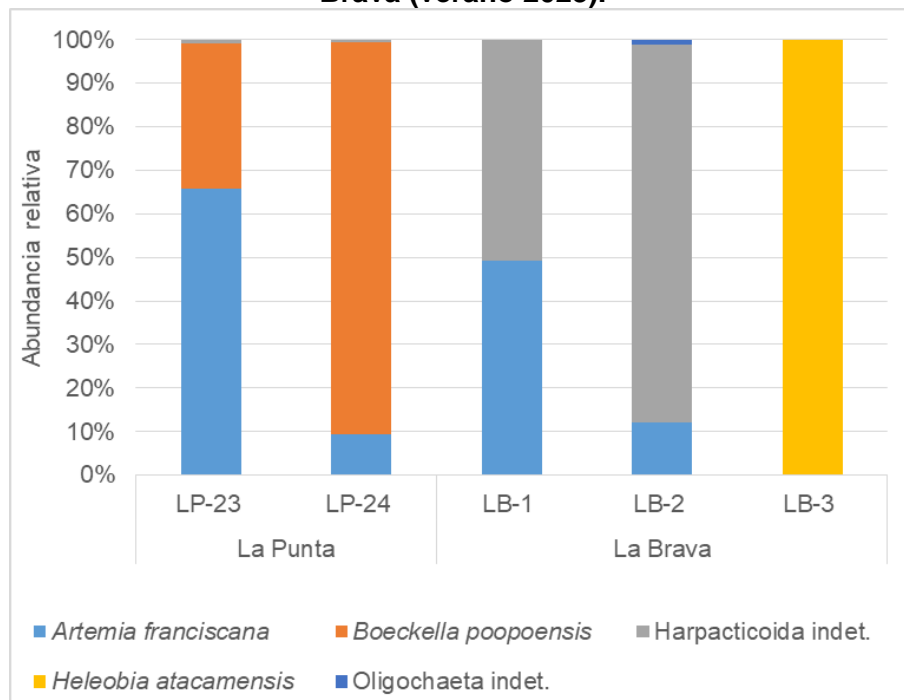
En el sector de las lagunas La Punta y La Brava en verano de 2023, se registraron riquezas entre 1 y 3 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, siendo la mínima la obtenida en la estación LB-3 (La Brava) y la máxima en las estaciones LP-23 y LP-24 de laguna La Punta y en la estación LB-2 de La Brava. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida y además de Calanoida de la especie *Boeckella poopoensis*, junto con el branquiópodo *Artemia franciscana*, el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014) y gusanos Oligochaeta. Los *taxa* con mayor frecuencia fueron los copépodos Harpacticoida y *Artemia franciscana*, los cuales se encontraron en la mayoría las estaciones de este sector. Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,20 a 10,65 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-3 y un máximo en LB-1. El organismo más abundante por estación fue *Boeckella poopoensis*, alcanzando 6,08 ind/L en LP-24, seguido por copépodos Harpacticoida con 5,40 ind/L en LB-1 y *Artemia franciscana* con 5,25 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 poopoensis*, mientras que en La Brava principalmente fueron los copépodos Harpacticoida y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Respecto a las diversidades estimadas, estas oscilaron entre 0,35 y 0,69 nits/ind, con la más baja obtenida en LP-24 y la mayor en LB-1. La equidad fue baja en la mayoría de las estaciones del sector (<0,62), debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles, exceptuando en LB-1 donde fue alta (1,00) dado por la similitud de las abundancias registradas (**Tabla N° 10-36** y **Figura N° 10-18**).

Tabla N° 10-36. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 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>	2,13	0,63	5,25	0,50	
Copepoda	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopoensis</i>	1,08	6,08			
Copepoda	Harpacticoida	-	Harpacticoida indet.	0,03	0,05	5,40	3,58	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>					0,20
Clitellata	Oligochaeta	-	Oligochaeta indet.				0,05	
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2023				
Abundancia total (Ind/L)		0	239,1	3,23	6,75	10,65	4,13	0,20
Riqueza de taxa (S)		0	4	3	3	2	3	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,68	0,35	0,69	0,43	-
Equidad (J')		-	-	0,62	0,32	1,00	0,39	-

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector La Punta - La Brava durante todas las campañas 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.

Figura N° 10-18. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3 Sector Tilopozo

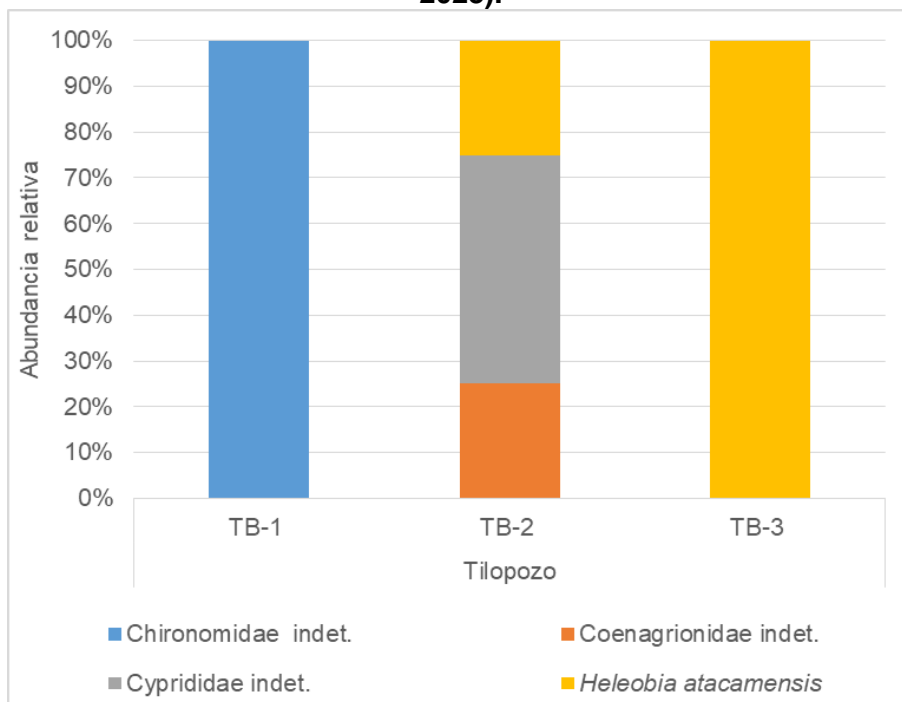
En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2023, se registraron riquezas entre 1 y 3 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014), ostrácodos Cyprididae y por insectos Chironomidae y Coenagrionidae (Odonata). El taxón con mayor frecuencia fue *Heleobia atacamensis* que se encontró en TB-2 y TB-3. Las abundancias totales del zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,03 a 0,32 ind/L, con un mínimo obtenido en TB-1 y un máximo en TB-3. El organismo más abundante por estación fue *Heleobia atacamensis* alcanzando 0,32 ind/L en TB-3. Respecto a los índices comunitarios, en la estación TB-2 la diversidad alcanzó 1,04 nits/ind y la equidad fue alta (0,95), debido a la baja riqueza registrada y a que las abundancias de sus *taxa* fueron similares. Por su parte en TB-1 y TB-3 no se pudieron estimar estos índices debido a que solo se encontró un taxón en esas estaciones (Tabla N° 10-37 y Figura N° 10-19).

Tabla N° 10-37. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Hexapoda	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.	0,03		
Hexapoda	Odonata	Coenagrionidae	Coenagrionidae indet.		0,03	
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.		0,05	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>		0,03	0,32
Abundancia total (Ind/L)				0,03	0,10	0,32
Riqueza de taxa (S)				1	3	1
Diversidad Shannon (nits/ind)				-	1,04	-
Equidad (J')				-	0,95	-

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-19. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Tilopozo (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.4 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 verano 2023.

10.2.3.3.4.1 Sector Peine

En la campaña de verano 2023 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 obtener ni realizar el monitoreo, debido a restricciones de acceso a este sector determinadas por la comunidad de Peine.

10.2.3.3.4.2 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 LB-3. La fauna estuvo compuesta por insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Chironomidae, y Ephydriidae, anfípodos *Hyaella* sp., gasterópodos *Heleobia* sp. y ostrácodos Limnocytheridae. Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 0 ind/m² (LB-1) a 58.075 ind/m² (LB-3). Los organismos más abundantes fueron los gasterópodos *Heleobia* sp., siendo mayoritarios en LB-3 (28.973 ind/m²), LP-23 (25.205 ind/m²) y en LP-24 (16.240 ind/m²), seguidos por los ostrácodos Limnocytheridae encontrados en altas abundancias también en LB-3 (22.736 ind/m²) y en LP-23 (12.602 ind/m²), respectivamente. Entre las larvas de dípteros Ephydriidae alcanzó un máximo en LB-2 de 4.158 ind/m² y Ceratopogonidae un máximo en LB-3 de 2.339 ind/m². Las estimaciones de diversidad fueron en general bajas, entre 0,34 y 1,08 nits/ind, al igual que la equidad, con estimaciones que estuvieron en el rango de 0,31 a 0,73, dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-38**).

Tabla N° 10-38. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2023.

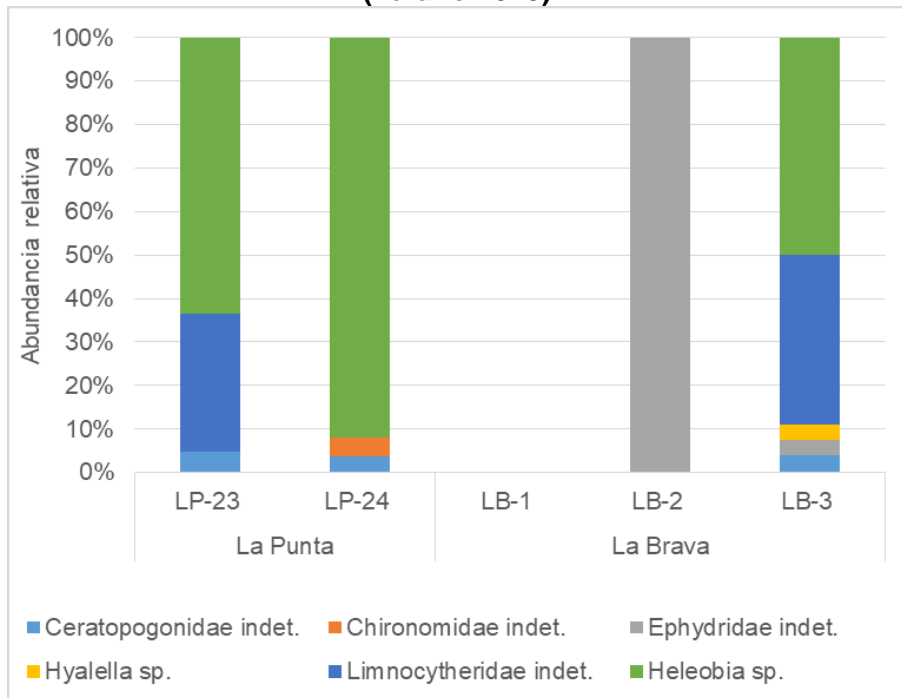
Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Hexapoda	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	1.949	650			2.339
		Chironomidae	Chironomidae indet.		780			
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.				4.158	2.079
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella</i> sp.					1.949
Ostracoda	Podocopida	Limnocytheridae	Limnocytheridae indet.	12.602				22.736
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	25.205	16.240			28.973
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2023				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	39.756	17.669	0	4.158	58.075
Riqueza de taxa (S)		0	6	3	3	0	1	5
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,80	0,34	-	-	1,08
Equidad (J')		-	-	0,73	0,31	-	-	0,67

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familias registrados en estas estaciones del sector La Punta – La Brava durante todas las campañas 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 riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La **Figura N° 10-20** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar la dominancia de *Heleobia* sp. en LP-24, de *Heleobia* sp. junto a los ostrácodos Limnocytheridae en LP-23 y LB-3, mientras que en LB-2 dominó el insecto díptero Ephydriidae.

Figura N° 10-20. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.4.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2023, el zoobentos presentó una riqueza de 2 a 6 taxa, ocurriendo el máximo en la estación TB-2 y el mínimo en TB-1. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Limnocytheridae, anfípodos *Hyalella* sp. e insectos de las familias Elmidae (Coleoptera), Coenagrionidae (Odonata) y los dípteros Ceratopogonidae y Dolichopodidae. Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 38.977 ind/m² (TB-2) a 149.281 ind/m² (TB-1). Los organismos con las mayores abundancias y dominantes fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, alcanzando

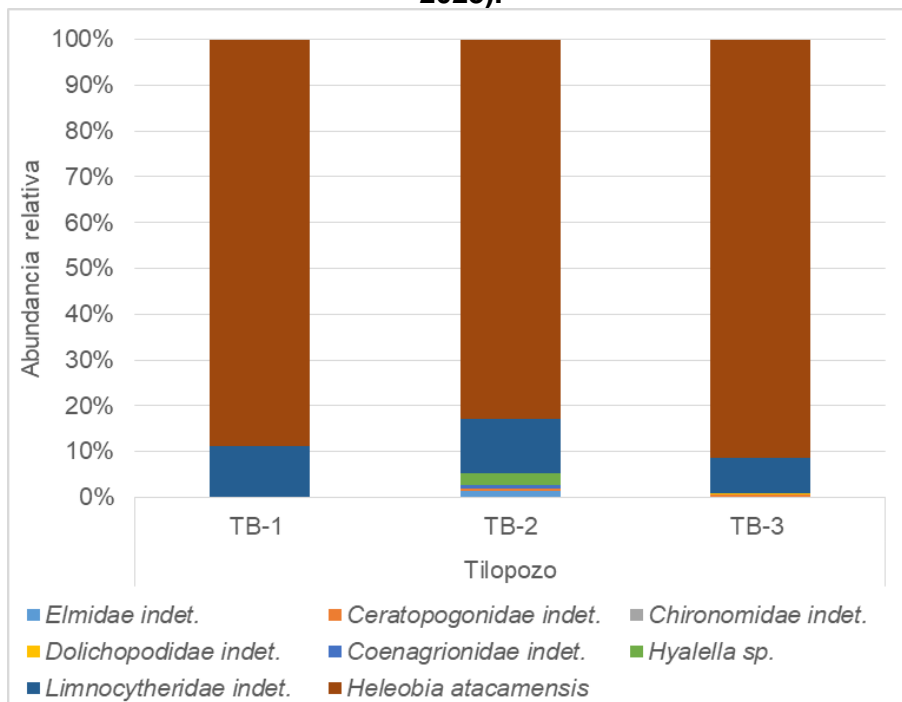
altas densidades en las tres estaciones, con un máximo de 132.521 ind/m² en TB-1. Los ostrácodos Limnocytheridae también se encontraron en altas abundancias en las tres estaciones, alcanzando un máximo de 16.760 ind/m² en TB-1. Los organismos que les siguieron en abundancia fueron los anfípodos *Hyalella* sp. con 1.039 ind/m² en TB-2. Las estimaciones de diversidad fueron en general bajas, entre 0,32 y 0,63 nits/ind, al igual que la equidad, con estimaciones que estuvieron en el rango de 0,23 a 0,51, dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser disímiles (Tabla N° 10-39 y Figura N° 10-21).

Tabla N° 10-39. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Verano 2023.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Hexapoda	Coleoptera	Elmidae	Elmidae indet.		520	
	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.		260	650
	Diptera	Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.			130
	Odonata	Coenagrionidae	Coenagrionidae indet.		260	
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.		1.039	
Ostracoda	Podocopida	Limnocytheridae	Limnocytheridae indet.	16.760	4.547	8.185
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	132.521	32.351	93.934
Abundancia total (Ind/m²)				149.281	38.977	102.899
Riqueza de taxa (S)				2	6	4
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,35	0,63	0,32
Equidad (J')				0,51	0,35	0,23

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-21. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2023).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.5 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 verano 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. En tanto, 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* sp. 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° 10-40**).

Tabla N° 10-40. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2023).

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</i> sp.	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° 10-41**), 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 8% en la estación LP-24 y 48% en la estación en LB-3, 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* (2%), *Triglochin concinna* (7%) y *Sarcocornia fruticosa* (55%). En la estación LP-24 se detectó un parche de *S. fruticosa* de 13%. En la laguna La Brava se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna* con 20% 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 27% y 33% en las estaciones TB-1 y TB-3. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas entre 33% y 63% en TB-3 y TB-2 respectivamente, *Distichlis spicata* con 8% en TB-1 y 7% en TB-2 y *Baccharis* sp. con 10% en TB-1 y 33% en TB-3 (**Tabla N° 10-41**).

La **Tabla N° 10-41** presenta los registros de macrófitas para los tres sectores de estudio en sus distintas estaciones y su porcentaje de cobertura total.

Tabla N° 10-41. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 2023).

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>	Sin acceso						X(10%)	X(8%)			X(48%)			
<i>Zannichellia palustris</i>											X(27%)		X(33%)	
<i>Schoenoplectus californicus</i>											X(50%)	X(63%)	X(33%)	
<i>Triglochin concinna</i>							X(7%)			X(20%)				
<i>Puccinellia frigida</i>							X(2%)							
<i>Distichlis spicata</i>											X(8%)	X(7%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X(55%)	X(13%)						
<i>Baccharis</i>											X(10%)		X(33%)	
Riqueza Total (N° Taxa)	-	-	-	-	-	-	4	2	0	1	1	4	2	3

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 “Mantenimiento 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 y 2022) y veranos (2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023).

La elección de mínimos y máximos permite capturar la variación anual e interanual (idealmente) 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.

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 períodos de septiembre 2008, septiembre 2013, y julio 2014 como períodos de invierno y los períodos de abril 2014 y febrero 2015 como períodos 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 (cel/mm^3 y cel/mm^2) y no comparables, por lo que se procedió a homogeneizar las unidades de concentración a cel/cm^2 para el fitobentos y a cel/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/m²). 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).

Tabla N° 10-42. Fechas de muestreo de cada una de las variables.

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector Peine		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Agua	Temperatura	19-08-2022	Sin acceso	18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	pH	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Conductividad	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Salinidad	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Turbiedad	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Oxígeno disuelto	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Clorofila "a" en Fitoplancton	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Clorofila en Perifiton	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Alcalinidad Total (CaCO ₃)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Bicarbonato (CaCO ₃)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Carbonatos (CaCO ₃)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Cloruro (Cl)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Nitrato (N-NO ₃ -)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Nitrito (N-NO ₂ -)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Fosforo Total	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Ortofosfato	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Sulfato (SO ₄ ⁻²)	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
Aceites y Grasas (A y G)	19-08-2022	18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23		
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	19-08-2022	18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23	
	Fosforo Total (P) M.S.	19-08-2022	18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23	
	Materia Orgánica	19-08-2022	18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23	
	Nitrógeno Total Kjeldahl	19-08-2022	18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23	

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector Peine		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
	Potencial Redox	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
Biota	Fitobentos	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Fitoplancton	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Zoobentos	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Zooplancton	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23
	Macrófitas	19-08-2022		18-08-2022	15-03-23	20-08-2022	16-03-23

Fuente: Elaboración propia.

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 multiespectrales con un píxel máximo de 4 metros, es decir de alta resolución, utilizando el sensor Pleiades - 1A (2 m) y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8 (30 m), obtenidas en **agosto y diciembre de 2022**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “superficies cubiertas por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2022, durante la Fase de Operación del Proyecto. Este Monitoreo 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, en metros cuadrados (m²), 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 metodología “Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI)³⁵”, especificado en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B*.

³⁵ El índice modificado MNDWI es más 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.

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.

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 ²)	<p>Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un píxel máx. de 4 metros, que incluirán los Sistemas lagunares La Punta-La Brava y Peine. (Anexo 2)</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 LANDSAT8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición. (fuente, desde PSAH)</p>

Cabe señalar que las superficies cubiertas por lagunas se asocian también con los niveles freáticos medidos en las mismas³⁶ y vegetación azonal, y en suma componen las tres (3) variables de estado indicativas, establecidas para el seguimiento y análisis del estado ecológico 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 inicialmente se realizó el muestreo para la revalidación estacional (*in situ* o fotointerpretativas), correspondientes a réplicas de puntos de campañas anteriores, que fueron establecidas al inicio de la etapa de monitoreo. Posteriormente, en gabinete, se desarrolló el procesamiento de las imágenes satelitales y los datos de terreno y/o fotointerpretados, seguido por la implementación del modelo de clasificación supervisada de los cuerpos agua, en base a la metodología de “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por sus siglas en inglés). Los responsables de las actividades

³⁶ 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.

de muestreo y medición en terreno, así como los análisis en gabinete se identifican en Tabla N°11-2.

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	<p><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.</p>	<p><u>Especialista:</u> Jessica Labarca (Fotointerpretación) Tomás Lizama (Especialista en Terreno; UVA/Dron - GNSS) David Avaca (Especialista en Terreno; UVA/Dron) Pedro Pablo Barahona (Apoyo en Terreno) Anyola Vega (Apoyo en Terreno)</p>
	<p><u>Trabajo en gabinete:</u> Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.</p>	<p><u>Jefe de Proyecto:</u> Jorge Ramos <u>Especialistas en gabinete:</u> Jessica Labarca Tomás Lizama</p>
Apogeos	<p><u>Trabajo en gabinete:</u> Correcciones y adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.</p>	<p>Lorena Bustamante (Especialista)</p>

Fuente: Elaboración Propia

El presente informe describe los alcances metodológicos, los resultados y discusión para el estudio, partiendo con el análisis y validación del modelo de clasificación supervisada de los cuerpos de agua, el cual fue implementado en base a imágenes de alta resolución, Pleiades - 1A, y de media resolución, Landsat 8, obtenidas durante agosto y diciembre de 2022. Posteriormente, se detallan los resultados de la cobertura determinada para los cuerpos de agua por sistema lagunar, desde imágenes de alta resolución, comparándolos con los registros históricos de la Adenda 5 (2015) y con la superficie determinada a partir de Landsat 8, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los monitoreos de invierno 2022 y verano 2022, con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016) y con los históricos de la Adenda 5 (2015).

El objetivo general es monitorear la cobertura o superficie de las lagunas o de los cuerpos de agua, con el fin de lograr detectar cambios en el tamaño de éstas.

Como ya se ha mencionado, la medición se realiza a través de imágenes satelitales de alta y media resolución y el seguimiento se realiza en contraste con los registros de la Adenda 5 (2015), en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama, La Punta y a 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 2022 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 fotointerpretativas³⁷) y a la metodología “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 de 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.

³⁷ Según condiciones de acceso a los subsectores de estudio, que incluyen permisos y condiciones de seguridad.

11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

11.1.1 Descripción del área de estudio

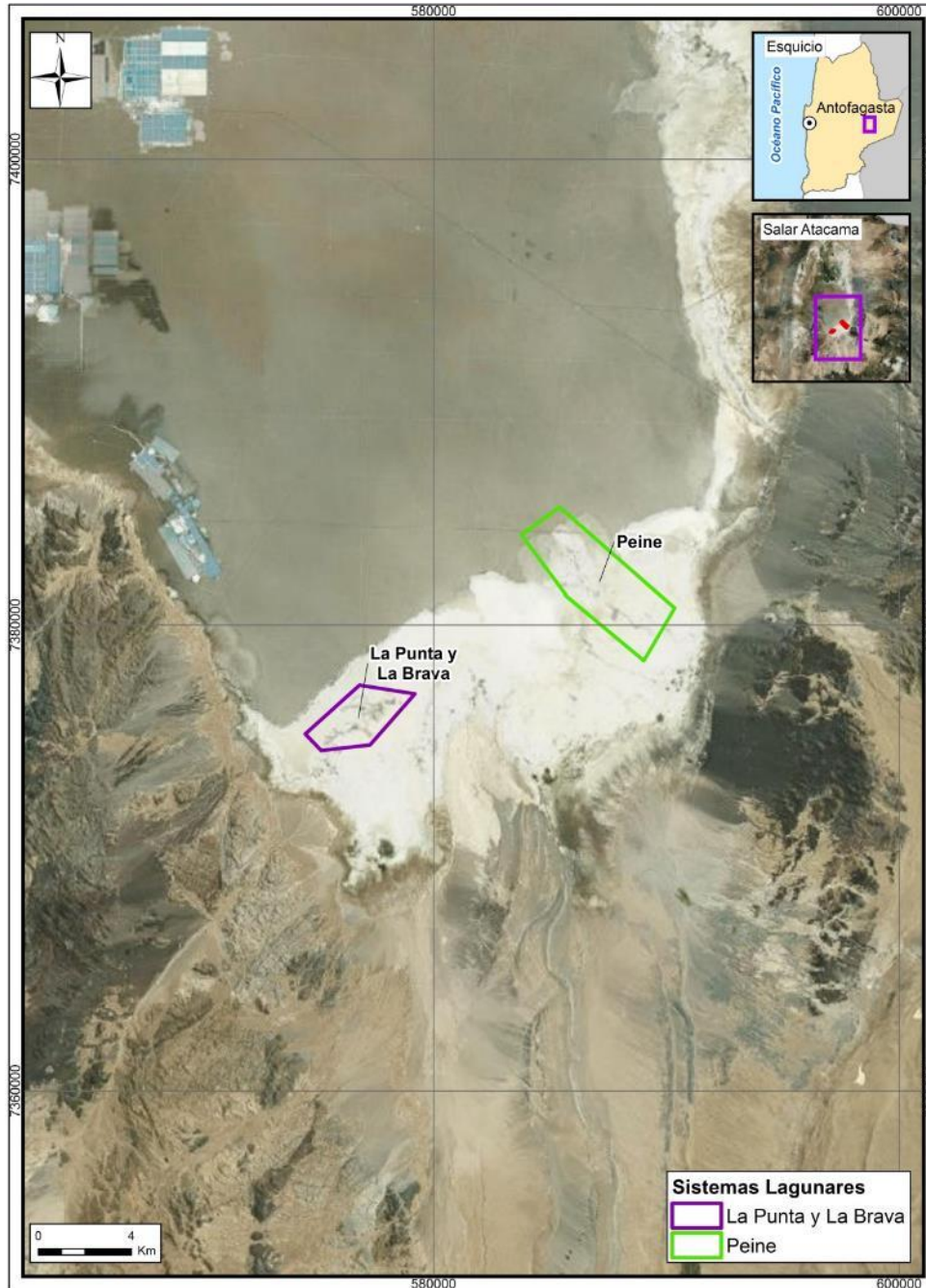
El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, extremo oriente de la II Región de Antofagasta y se encuentra a una altura geográfica aproximada de 2.300 m s.n.m

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 datos Anexo 3- Adenda 5), donde:

- 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, 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 subsuperficialmente 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: Elaboración Propia 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 (m²)” calculada por sistema lagunar a través de imágenes satelitales de alta resolución, multispectrales, con un píxel máximo de 4 metros, en base a la metodología de Índice Normalizado de Diferencias de Agua (*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 - 1A, 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 2022 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 2021, 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 - 1A) 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, tanto en invierno como en verano 2022.

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 en la la Adenda 5 (2015) del Proyecto para el componente (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 presenta el detalle del muestreo aplicado en cada sistema lagunar en estudio, en el desglose se puede apreciar aquellos puntos validados en terreno – *in situ*. Las diferencias en la ubicación y el número de puntos considerados para validación entre imágenes Pleiades - 1A 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**.

Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2022, 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	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES - 1A		LANDSAT 8		PLEIADES - 1A	LANDSAT 8
		TERRENO**	FOTOINT*	TERRENO**	FOTOINT*		
La Punta - La Brava	Otros recubrimientos	166	-	55	-	208	68
	Cuerpos de agua	139	-	42	-	97	29
	Total sistema lagunar	305	-	97	-	305	97
Peine	Otros recubrimientos	67	-	65	-	68	57
	Cuerpos de agua	124	-	117	-	123	125
	Total sistema lagunar	191	-	182	-	191	182
TOTAL GENERAL		496		279		496	279

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 2022, 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 - La Brava	Otros recubrimientos	215	-	77	-	272	90
	Cuerpos de agua	90	-	20	-	33	7
	Total sistema lagunar	305	-	97	-	305	97
Peine	Otros recubrimientos	74	-	72	-	102	89
	Cuerpos de agua	117	-	110	-	89	93
	Total sistema lagunar	191	-	182	-	191	182
TOTAL GENERAL			496		279	496	279

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 ambos sistemas.

11.1.5 Metodología de muestreo y/o medición

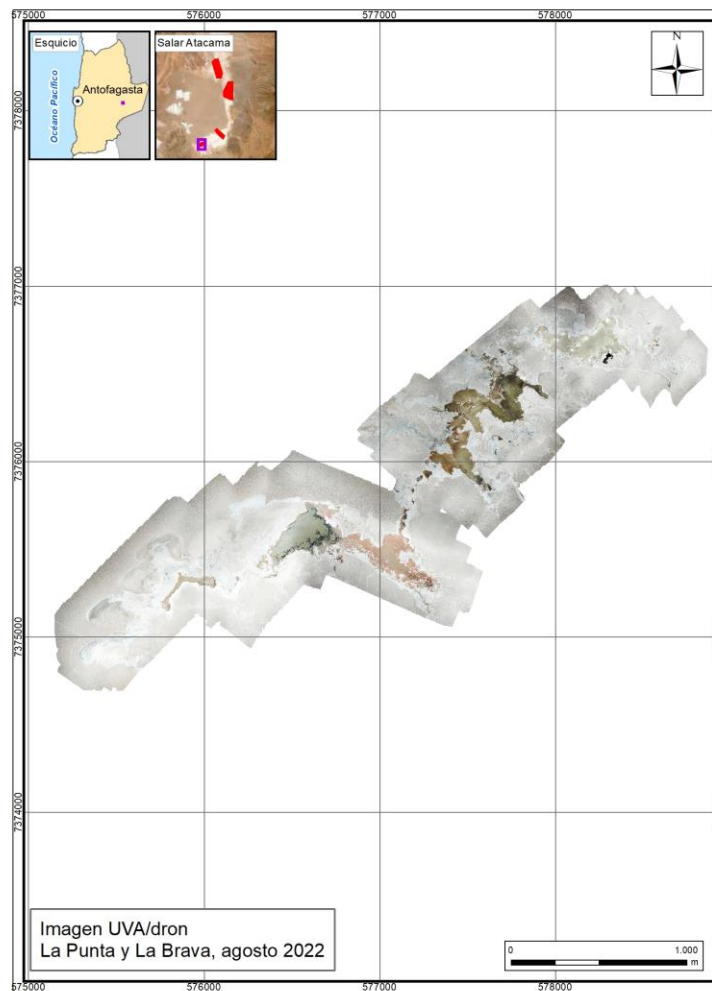
El muestreo en terreno se llevó a cabo mediante el levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS, que consistió en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo directamente en terreno para cada punto de medición, en coordenadas UTM 19S WGS84. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron en los sectores que no presentaban restricciones de movilidad (Figura N° 11-2 , Figura N° 11-3, Figura N° 11-4, Figura N° 11-5).

Posteriormente, en el software GIS ArcMap 10.6 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 **Anexo Área de Lagunas** muestra la distribución de los puntos de validación en cada sistema lagunar de estudio y el detalle de sus coordenadas.

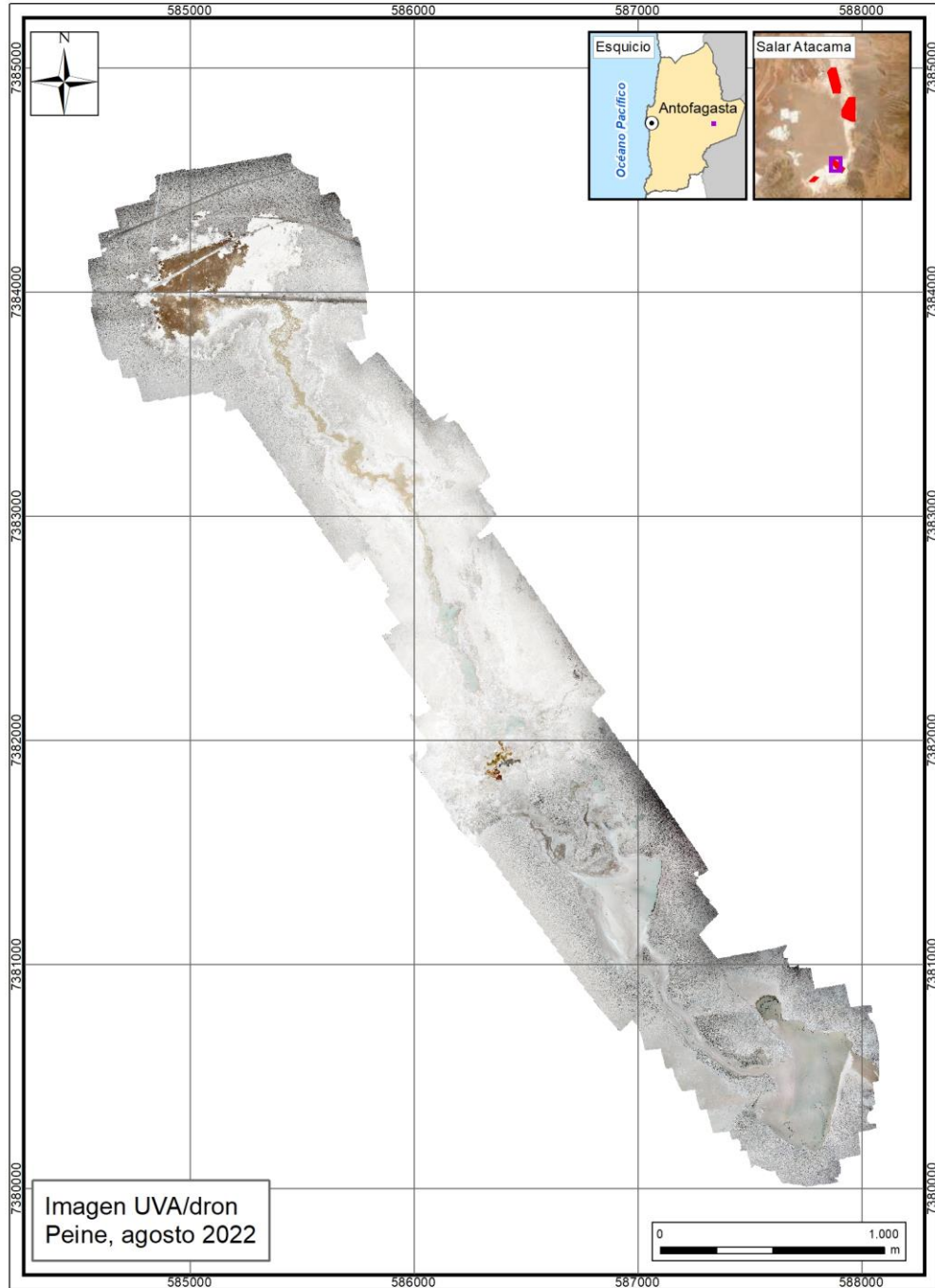
En las campañas de invierno y verano 2022, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016 a 2021, en zonas representativas de lagunas recurrentes y donde se determinaron las principales diferencias entre la medición de terreno y el modelo de clasificación supervisada, en períodos intra e interanuales, resguardando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido (**Anexo Área de Lagunas**).

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, invierno 2022



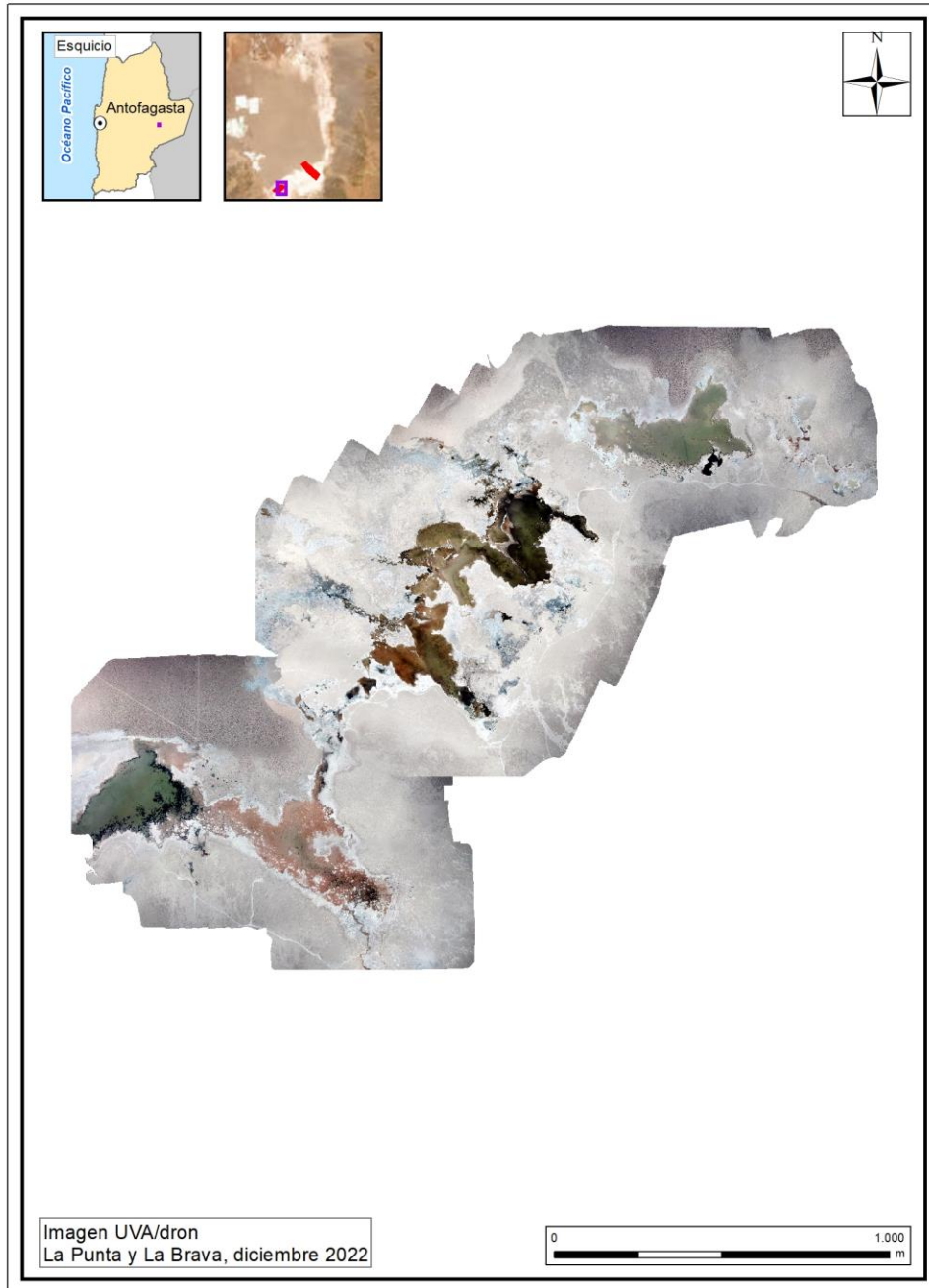
Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector La Punta y La Brava.

Figura N° 11-3. Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector Peine, invierno 2022.



Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector Peine.

Figura N° 11-4. 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 2022



Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector La Punta y La Brava.

Figura N° 11-5. Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector Peine-subsector Laguna Interna, verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector Peine.

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 **16 de agosto de 2022** (Figura N°11-6) y de verano es **11 de diciembre de 2022** (Figura N°11-7). 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.

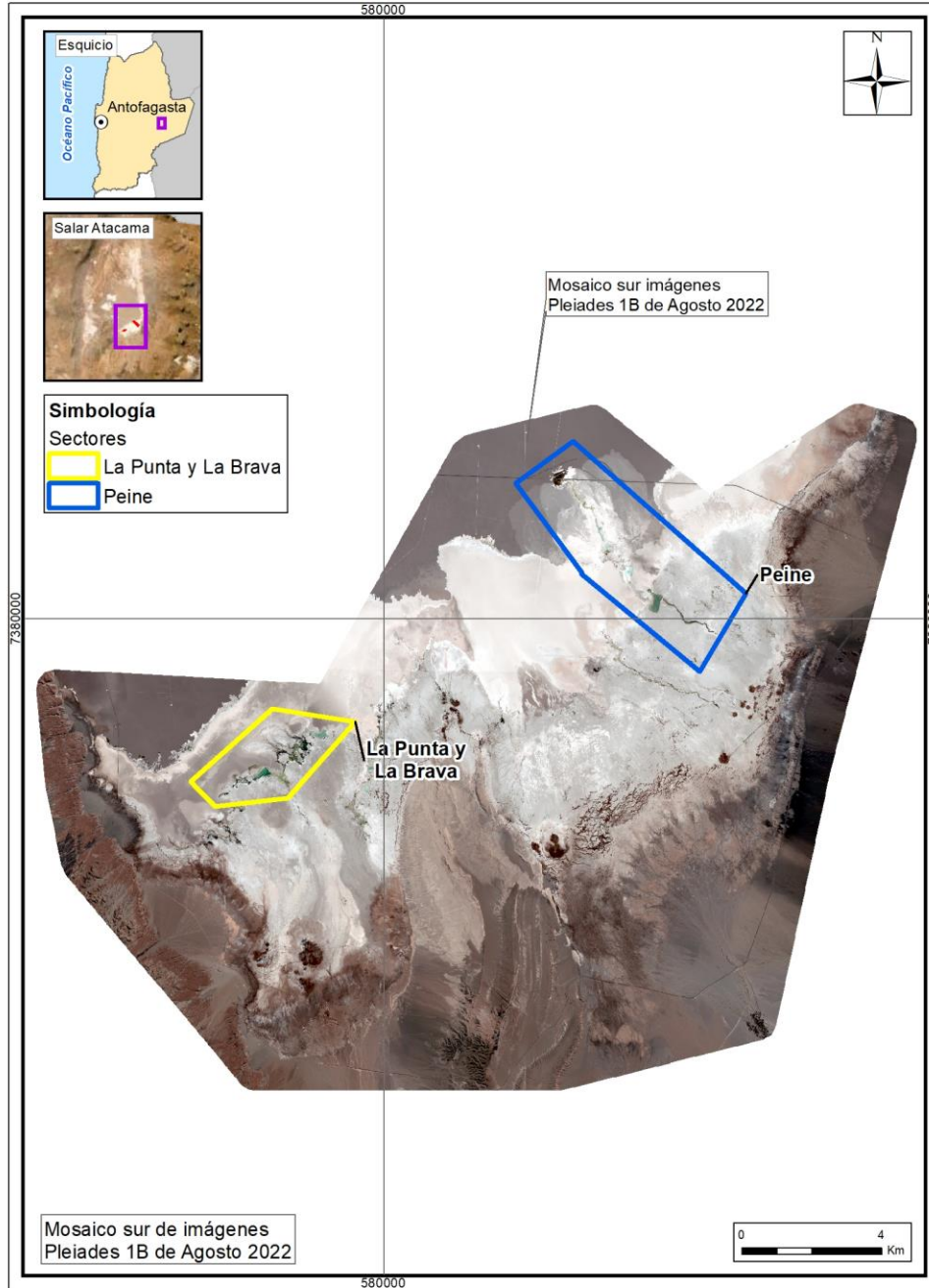
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. 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	

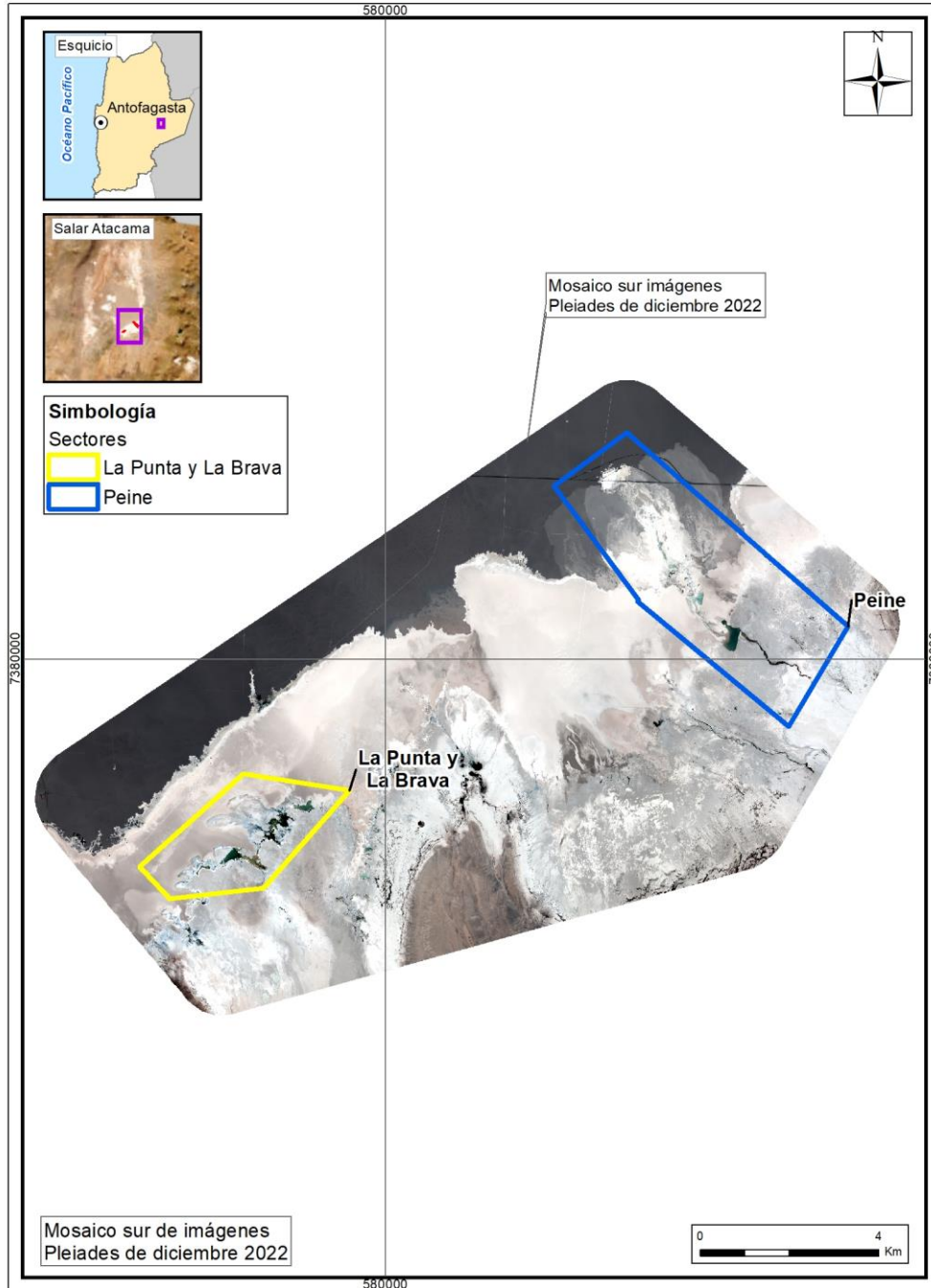
Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>. Revisada en agosto y diciembre 2022.

Figura N°11-6. 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 2022.



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades - 1A (invierno 2022).

Figura N°11-7. 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 2022.

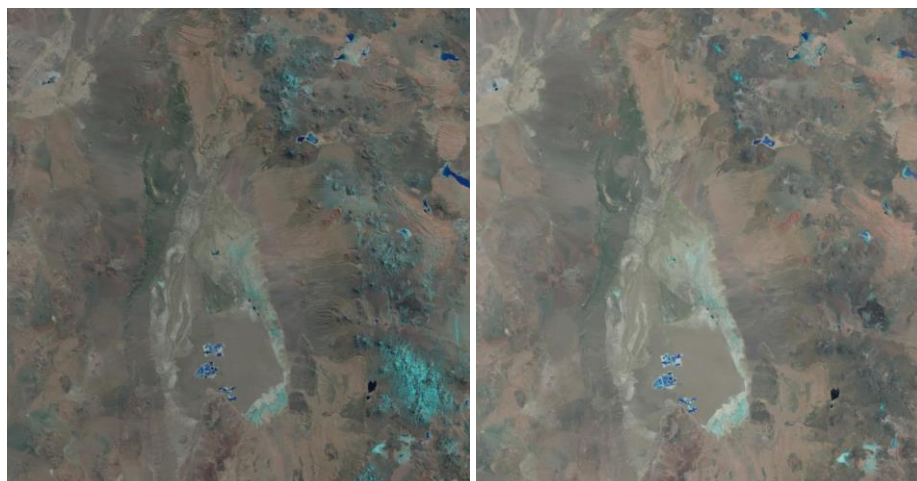


Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades - 1A (verano 2022).

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 **11 de agosto y 17 de diciembre de 2022**. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio *web* de *United States Geological Survey* (USGS; Figura N°11-8). 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°11-8. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2022 (izquierda – RGB) y verano 2022 (derecha - RGB).



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Revisitada en agosto y diciembre de 2022.

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

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
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 2022.

11.1.5.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

Tanto las imágenes Landsat 8, como las Pleiades - 1A 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 ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)³⁸. 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. 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.

³⁸ Dónde: W: Watts; m²: metro cuadrado; sr: estereorradián; µm: micrómetro.

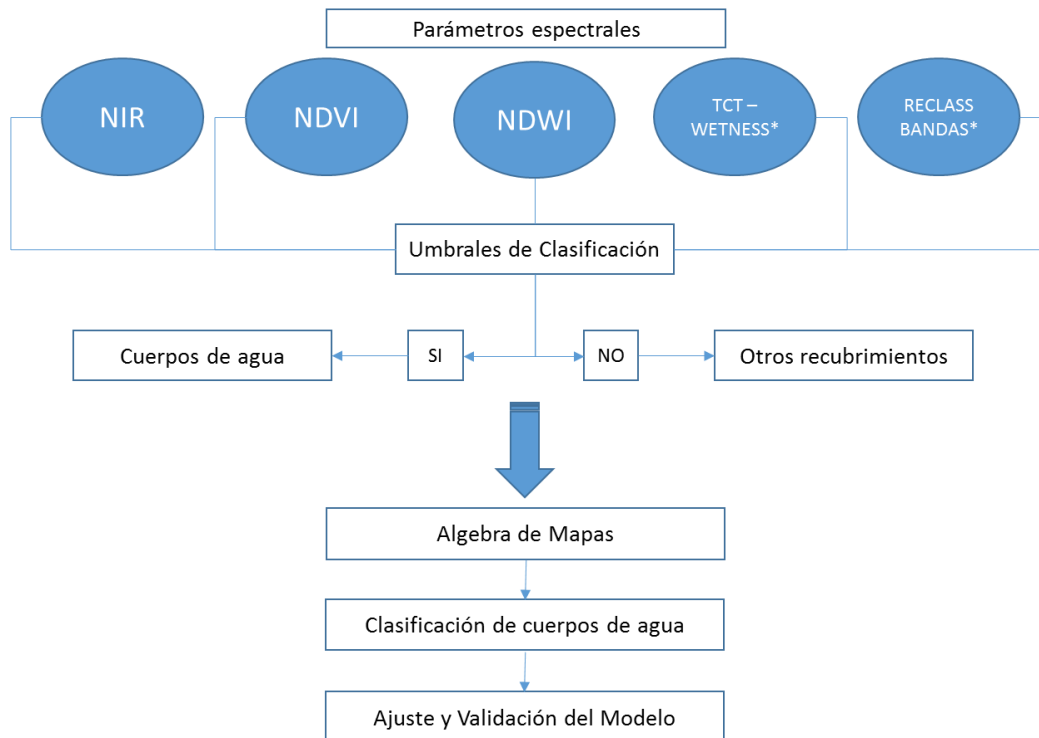
Es importante mencionar que este método en comparación al método IARR (por su sigla en inglés, y que corresponde al promedio interno de reflectancia relativa, aplicado en la Adenda 5 (2015)), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvieco, 2006). Esta diferencia metodológica, puede variar la respuesta espectral de los parámetros espectrales utilizados (*i.e.* NDVI, NDWI; Lamolda, 2008), 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 - 1A, fueron unidas conformando un mosaico dentro del área de estudio (Figura N°11-6 y Figura N°11-7).

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 del proyecto RWL (2015); y que fue establecido como la referencia para este componente.

Figura N°11-9. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.



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

Fuente: Cedrem Consultores 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, mediante criterio de experto, de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales de evaluación que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno/fotointerpretación (**Figura N°11-9**).

Los parámetros evaluados durante la clasificación supervisada en el presente estudio fueron cinco:

- i) La reclasificación de la banda infrarroja (NIR),
- ii) el índice NDWI;

- iii) el índice NDVI;
- iv) la reclasificación de bandas espectrales (B1<B2) y (B3 > B4), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pleiades - 1A y
- v) la 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 (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** presenta la estimación de los cuerpos de agua.

11.1.5.5 Parámetros espectrales del modelo de clasificación

a. Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI

El índice NDWI (por su sigla en inglés, *Normalized Difference Water Index*) 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 índice se realizó siguiendo la fórmula:

$$NDWI = (V - NIR) / (V + NIR)$$

Dónde: **V** es la reflectancia en el verde y **NIR** es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.

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 infrarroja 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 se 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. Los umbrales obtenidos en para los informes semestrales se presentan en la Tabla N°11-7; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a la la Adenda 5 (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.**

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 2022.

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA - LA BRAVA	PEINE
Invierno 2022			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI NDVI NIR - B4 (B1<B2) Y (B3> B4)	P80 >= -0,039182 NB 14/20 <= 0,05719 NB 13/32 <= 0,284967 SI	NB 8/20 >= -0,047327 P5 <= 0,073299 NB 8/25 <= 0,260669 SI
Parámetros LANDSAT 8	NDWI NDVI NIR - B5 WETNESS	P85 >= -0,066361 P5 <= -0,020394992 R 6/15 <= 0,33332 NO	P90 >= -0,065212 P10 <= 0,012957 P5 <= 0,378303 R 8/20 >=0,157359
Verano 2022			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI NDVI NIR - B4 (B1<B2) Y (B3> B4)	NB 12/32 >= -0,010683792 NB 20/32 <= -0,011170713 P5 <= 0,400737413 SI	P80 >= -0,073055257 P5 <= 0,010230483 NB 3/9 <= 0,349059591 SI
Parámetros LANDSAT 8	NDWI NDVI NIR - B5 WETNESS	P95 >= -0,024327704 NB 18/32 <= -0,120971893 P5 <= 0,35846873 NO	NB 6/20 >= -0,017038599 NB 24/32 <= -0,036251398 P10 <= 0,363420921 R 11/20 >= 0,184934297

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. Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la complejidad de las áreas de estudio, es preciso considerar diferentes intervalos en las distribuciones de las variables. Para ello, se utilizan los métodos de clasificación de datos por percentiles, intervalos equivalentes y quiebres naturales; esto con el objeto de encontrar el modelo de clasificación más adecuado. Este proceso se realizó en el software ArcGIS 10.6. 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 asigno 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 (Chuvieco, 2006).

A partir de la matriz de confusión se realiza el cálculo del índice *Kappa*³⁹, el cual es una medida 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 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 *acceptable* en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo *considerable* en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

³⁹ 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).

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 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

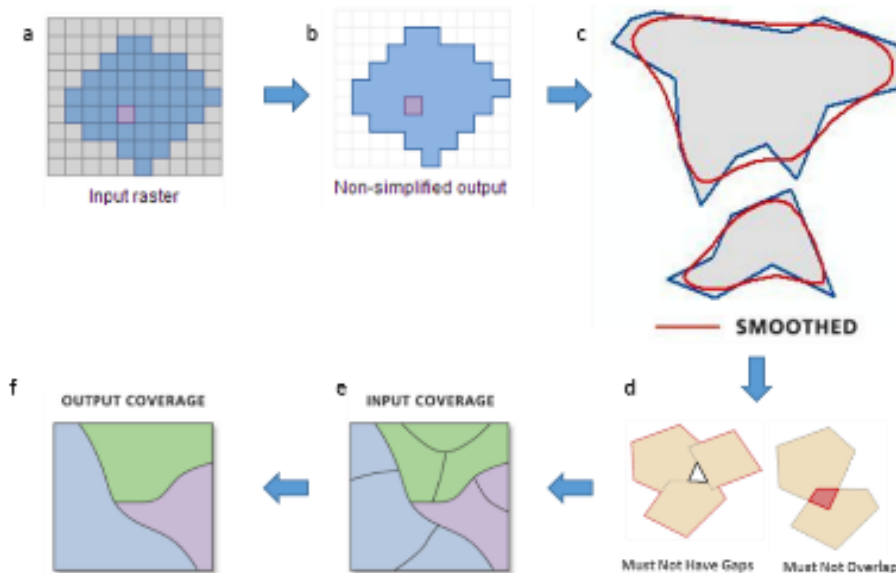
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades - 1A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato raster a entidades de polígonos en formato *shape*. 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°11-10).

Adicionalmente, se realizó una depuración final en los *shapes*, la cual buscó reducir errores de clasificación aleatorios siguiendo dos criterios:

- i) 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 estuvieran aislados a los cuerpos de agua dentro del sector de estudio, y que surgen de la intersección con el área de estudio y,
- ii) Revisión topológica de las coberturas, ante la presencia de errores como espacios entre los bordes de los polígonos o bordes de polígonos superpuestos.

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 y Peine).

Figura N°11-10. 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: Elaboración Propia en base a imágenes ESRI.

11.1.6 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua

De acuerdo a 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 2022, y las variaciones en relación al mínimo histórico de la Adenda 5 (2015) (Adenda 5 RWL, 2015).

- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2022 desde las imágenes de alta resolución Pleiades - 1A y Landsat 8.
- *Comparación entre monitoreos anuales:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2022, con respecto a los resultados de los monitoreos entre 2016 y 2021.

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 2022, ésta se realizó los días **9 al 10 de agosto de 2022**. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades - 1A, el **16 de agosto de 2022** y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el **11 de agosto de 2022**.

La campaña de verano 2022, se realizó los días **12 al 15 de diciembre de 2022**. Las imágenes Pleiades - 1A, se obtuvieron el **11 de diciembre de 2022** y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el **17 de diciembre de 2022**.

11.2 RESULTADOS

11.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

La validación de las coberturas determinadas, en relación a los datos de terreno, se realizó mediante el índice *Kappa*. Este índice tuvo valores de 0,90 (Peine; PE) y 0,67 (La Punta y La Brava; LPLB) para imágenes de alta resolución y de 0,92 (PE) y 0,59 (LPLB) para imágenes de resolución media en agosto de 2022. Respecto de diciembre de 2022, este índice tuvo una variación entre 0,71 (PE) y 0,41 (LPLB) para imágenes de alta resolución y de 0,75 a 0,46 para imágenes de media resolución, respectivamente. Todos los valores indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderada a casi perfecto*⁴⁰. (Tabla N°11-8, Tabla N°11-9, Tabla N°11-10, Tabla N°11-11)

⁴⁰ 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).

Para el índice de *precisión global*, los valores tuvieron una variación entre 95% y 84% para imágenes de alta resolución Pleiades - 1A, y de 92% y 80% para imágenes de resolución media en agosto de 2022, para la Peine y La Punta – La Brava, respectivamente. Respecto de diciembre de 2022, la precisión global del modelo obtuvo valores entre 85% y 80% para imágenes de alta resolución Pleiades - 1A, y de 87% para imágenes de resolución media Landsat 8 en Peine y La Punta – La Brava, respectivamente. Valores sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado con el resultado del método de clasificación supervisada, en todos los sectores y para ambas temporadas (agosto 2022 y diciembre 2022).

De lo anterior, se señala que los mejores 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. 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). 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 independientes, aumentando el error en sitios de transición seca - húmeda. De acuerdo a lo anterior, lo que determinó un menor índice *kappa* en el sector La Punta - La Brava en el seguimiento 2022, está definido por la 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.

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, 2022.

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 - La Brava	Cuerpos de agua	94	45	139	67,6	32,4
	Otros Recubrimientos	3	163	166	98,2	1,8
	Total	97	208	305	-	-
	Exactitud de Campo (%)	96,9	78,4	-	-	-
	***Error omisión (%)	3,1	21,6	-	-	-
					Índice Kappa: 0,67	
					Precisión global (OA): 84%	
Peine	Cuerpos de agua	119	5	124	96,0	4,0
	Otros Recubrimientos	4	63	67	94,0	6,0
	Total	123	68	191	-	-
	Exactitud de Campo (%)	96,7	92,6	-	-	-
	***Error omisión (%)	3,3	7,4	-	-	-
					Índice Kappa: 0,90	
					Precisión global (OA): 95%	

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, 2022.

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 - La Brava	Cuerpos de agua	26	16	42	61,9	38,1
	Otros Recubrimientos	3	52	55	94,5	5,5
	Total	29	68	97	-	-
	Exactitud de Campo (%)	89,7	76,5	-	-	-
	***Error omisión (%)	10,3	23,5	-	-	-
					Índice Kappa: 0,59	
					Precisión global (OA): 80%	
Peine	Cuerpos de agua	114	3	117	97,4	2,6
	Otros Recubrimientos	11	54	65	83,1	16,9
	Total	125	57	182	-	-
	Exactitud de Campo (%)	91,2	94,7	-	-	-
	***Error omisión (%)	8,8	5,3	-	-	-
					Índice Kappa: 0,83	
					Precisión global (OA): 92%	

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, 2022.

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 - La Brava	Cuerpos de agua	31	59	90	34,4	65,6	
	Otros Recubrimientos	2	213	215	99,1	0,9	
	Total	33	272	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	93,9	78,3	-	-	-	
	***Error omisión (%)	6,1	21,7	-	-	Índice Kappa:	0,41
						Precisión global (OA):	80%
Peine	Cuerpos de agua	89	28	117	76,1	23,9	
	Otros Recubrimientos	0	74	74	100,0	0,0	
	Total	89	102	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	72,5	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	27,5	-	-	Índice Kappa:	0,71
						Precisión global (OA):	85%

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, 2022.

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 - La Brava	Cuerpos de agua	7	13	20	35,0	65,0	
	Otros Recubrimientos	0	77	77	100,0	0,0	
	Total	7	90	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	85,6	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	14,4	-	-	Índice Kappa:	0,46
						Precisión global (OA):	87%
Peine	Cuerpos de agua	90	20	110	81,8	18,2	
	Otros Recubrimientos	3	69	72	95,8	4,2	
	Total	93	89	182	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	96,8	77,5	-	-	-	
	***Error omisión (%)	3,2	22,5	-	-	Índice Kappa:	0,75
						Precisión global (OA):	87%

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).

Complementariamente, la Figura N° 11-11 y Figura N° 11-13 muestran la representación gráfica de las superficies lagunares por sistema lagunar.

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 2022 (invierno y verano).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2022			
		Invierno 2022		Verano 2022	
		ha	m ²	ha	m ²
Superficies Pleiades - 1A de alta resolución	La Punta – La Brava	45,1	451.057	25,3	253.216
	Peine	50,5	504.796	24,2	242.284

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 2022 (invierno y verano).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2022			
		Invierno 2022		Verano 2022	
		ha	m ²	ha	m ²
Superficies Landsat 8 de media resolución	La Punta – La Brava	56,9	569.345	26,9	269.378
	Peine	62,8	628.203	27,7	276.620

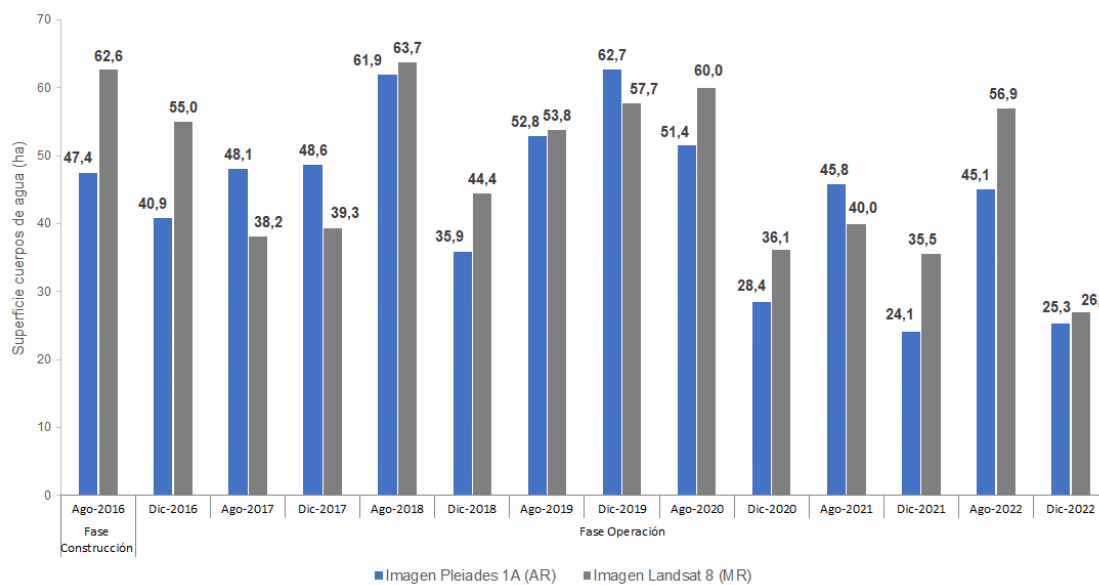
Fuente: Elaboración Propia

En el **sistema lagunar La Punta - La Brava**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades - 1A en agosto de 2022 es de 45,1 hectáreas y en diciembre 2022 abarca una superficie de 25,3 hectáreas (Tabla N° 11-12 y Figura N° 11-11). Desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 56,9 hectáreas en agosto de 2022 y en diciembre 2022 se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 26,9 hectáreas (Tabla N° 11-13 y Figura N° 11-11 y Figura N° 11-13).

Los resultados de agosto 2022 de Landsat 8 en comparación con los verificados para Pleiades - 1A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +26,2% (+11,8 ha) para este periodo. En diciembre de 2022, la comparativa entre imágenes, muestra una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +6,3% (+1,6 ha) para este periodo. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial (tamaño píxel), y, por ende, al mayor grosor de los resultados del modelo de media resolución versus un modelo con mayor detalle que entrega el modelo de alta resolución (mayor definición de los bordes o contorno del recubrimiento, por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución) (Figura N° 11-12).

La correlación entre las superficies desde 2016 a 2022 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 0,744⁴¹ lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor *p* es de 0,002, lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

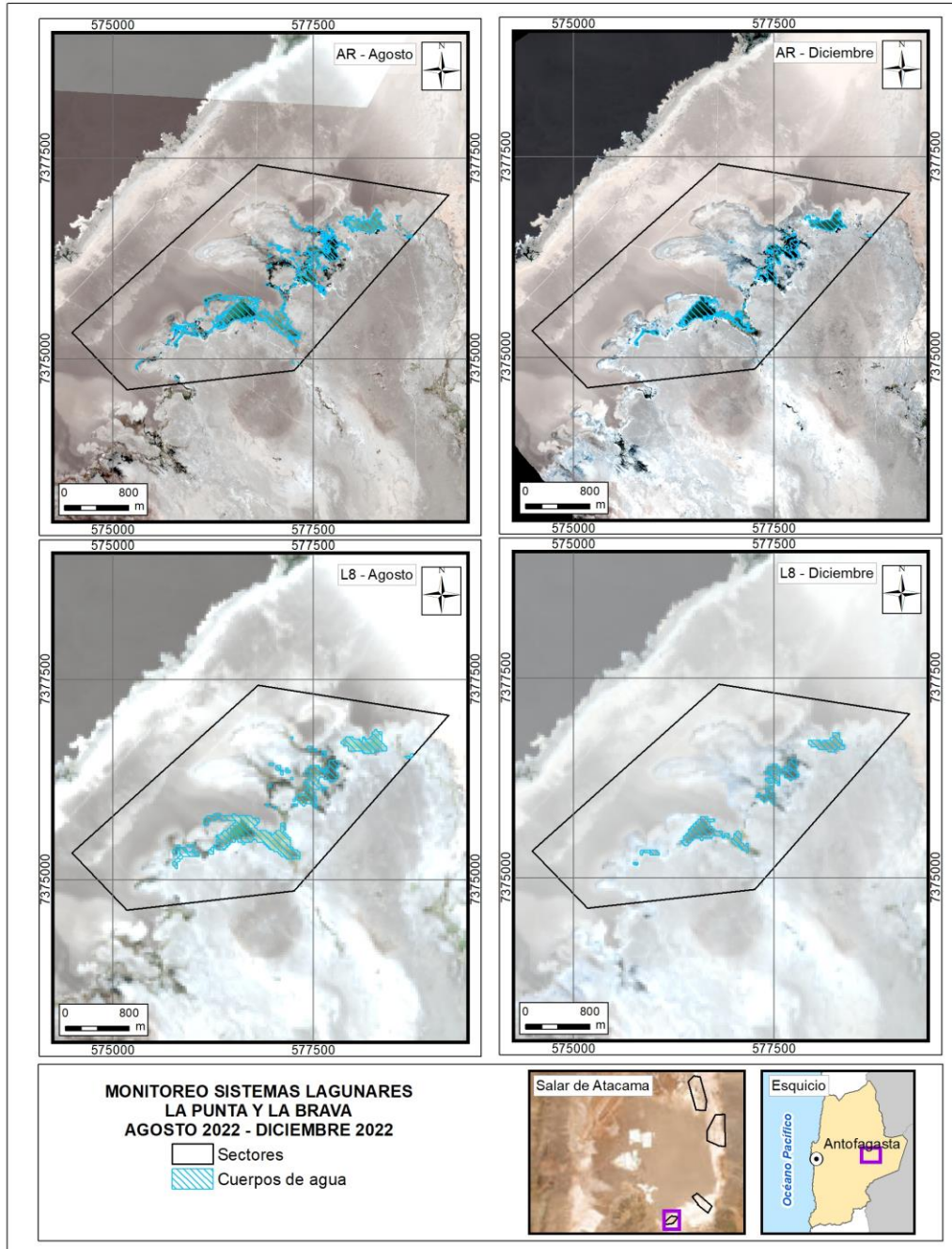
Figura N° 11-11. Superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava (2016-2022).



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.

⁴¹ 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° 11-12. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto 2022 – diciembre 2022.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre de 2022.

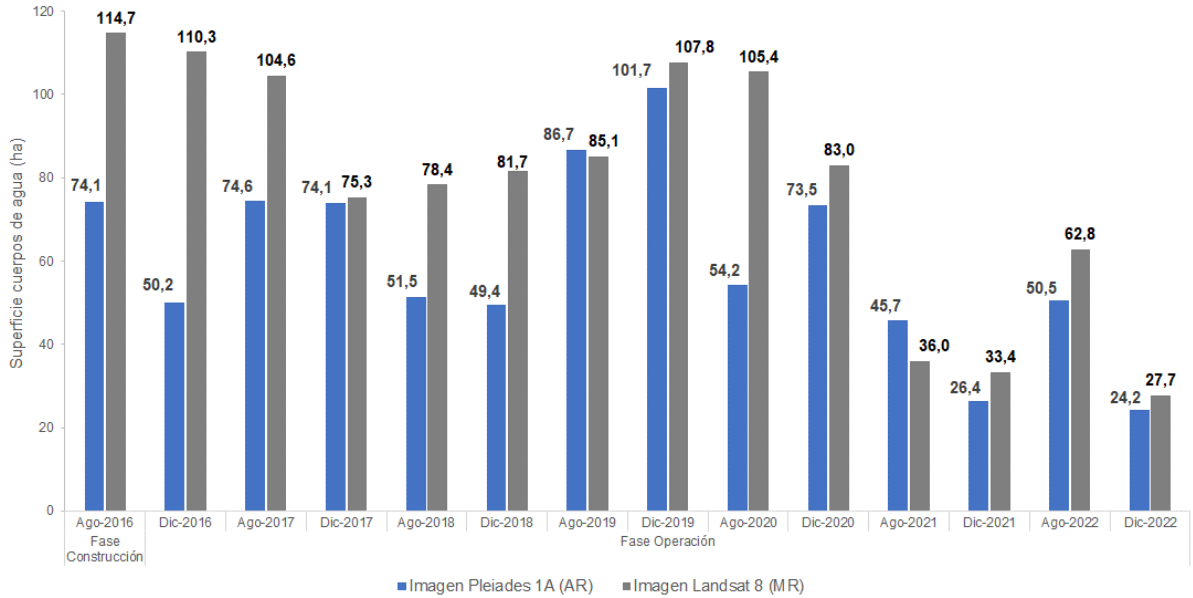
En el **sistema lagunar Peine**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades - 1A en agosto de 2022 es de 50,5 ha y en diciembre 2022 abarca una superficie de 24,2 ha (Tabla N° 11-12 y Figura N° 11-13).

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 62,8 ha en agosto de 2022; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades - 1A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +24,4% (+12,3 ha) para este periodo. Para las imágenes de diciembre 2022 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 27,7 ha, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades - 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +14,5% (+3,5 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 2016 a 2022, 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 0,700⁴² lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor p es de 0,005 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

⁴² 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.

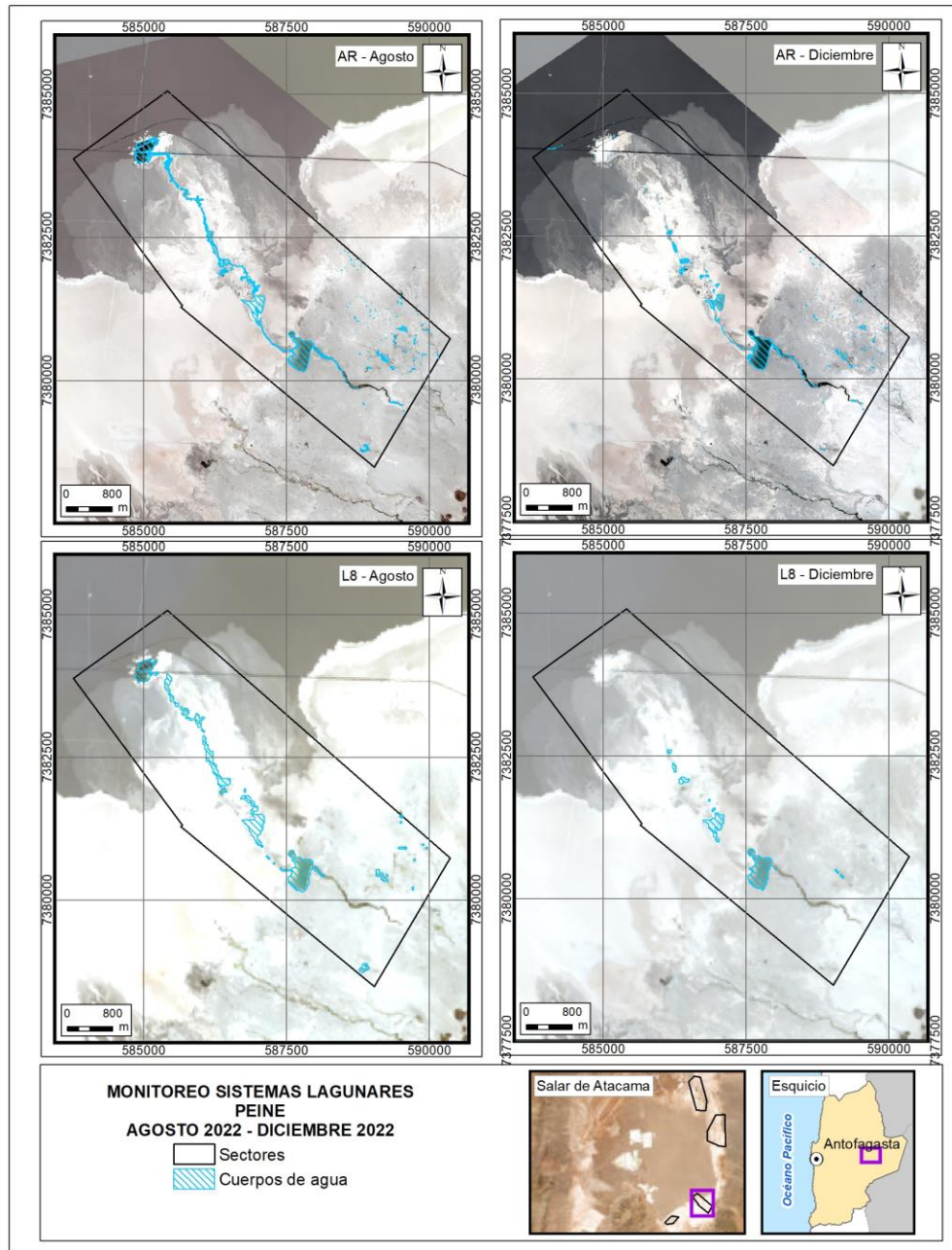
Figura N° 11-13. Superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine (2016-2022).



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.

Figura N° 11-14. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2022.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2022.

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 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 2022 a marzo de 2023.**

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 2022 – marzo 2023), se produjo la activación del Plan de Alerta Temprana (PAT en el Sector Alerta Acuífero el día 31 de enero de 2022, en el punto de activación BA-07, ubicado en el sistema lagunar La Punta – La Brava (al este de la laguna la Punta). Cabe señalar que dicha activación ocurrió luego del registro de tres medidas consecutivas (en tres meses consecutivos) del nivel freático por debajo del umbral asociado al pozo BA-07 (lo cual se informó a la SMA a través de la carta Ref. ALB-GMA-2022-SMA-010), hecho que configuró la necesidad de desarrollar un informe de

investigación (ver Ref. ALB-GMA-2022-SMA-040). Ambos documentos mencionados se encuentran en los Anexos del presente Informe. Lo anterior, se enmarca dentro de lo comprometido para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PAT⁴³). La activación del PAT durante enero de 2022 generó un incremento de la frecuencia de medición, pasando el monitoreo de ser mensual a ser quincenal hasta abril del mismo año.

También hubo un aumento en la frecuencia de mediciones durante los meses de junio y julio de 2022, para los puntos BA-05, BA-07 y BA-16 (correspondientes al sistema lagunar La Punta – La Brava). Esto ocurrió debido a que a partir de mayo de 2022 el monitoreo comenzó a ser realizado por la ETFA SGS, por lo que hubo un proceso de marcha blanca que se extendió durante los primeros dos meses de monitoreo de SGS, durante el cual se desarrolló un monitoreo conjunto entre Albemarle y SGS, en que la frecuencia de medición fue quincenal. A partir de agosto 2022, la ETFA SGS comenzó a desarrollar de manera el monitoreo con frecuencia mensual. Los informes generados por la ETFA se presentan como documento Anexo del presente Informe.

Por otra parte, el 31 de enero de 2023 se activó nuevamente, el PAT Alerta Acuífero, lo que fue informado a la autoridad mediante carta ALB-GMA-2023-SMA-007 (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**). Esta activación generó el aumento de frecuencia en los niveles de mensual a quincenal, e implicó que en los pozos del sector La Punta - La Brava (pozos BA-05, BA-07 y BA-16) se aumentara la frecuencia del monitoreo de los puntos del PSAH a quincenal desde el mes de febrero, extendiéndose esta condición por 3 meses. Al respecto, cabe señalar que no fue posible realizar la primera medición quincenal en el mes de febrero, ya que no se logró coordinación con la comunidad, lo que se encuentra respaldado en carta **ALB-GMA-2023-SMA-015** (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, no se pudo ingresar a realizar las mediciones entre los meses de octubre 2022 y marzo 2023, ya que la Comunidad de Peine no autorizó el ingreso debido a la época de reproducción de flamencos. Lo anterior se encuentra respaldado mediante un correo electrónico enviado por el Encargado de la Unidad de Control Ambiental Peine, fechado el 13 de octubre de 2022, el cual se adjunta en el **Anexo Cartas y Prohibiciones** de este Informe.

⁴³ El PAT (Plan de Alerta Temprana), tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieren llegar a afectar los sistemas objeto de protección (cuerpos lagunares) y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. Existen 3 sectores de alerta PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente si lo hace SQM.

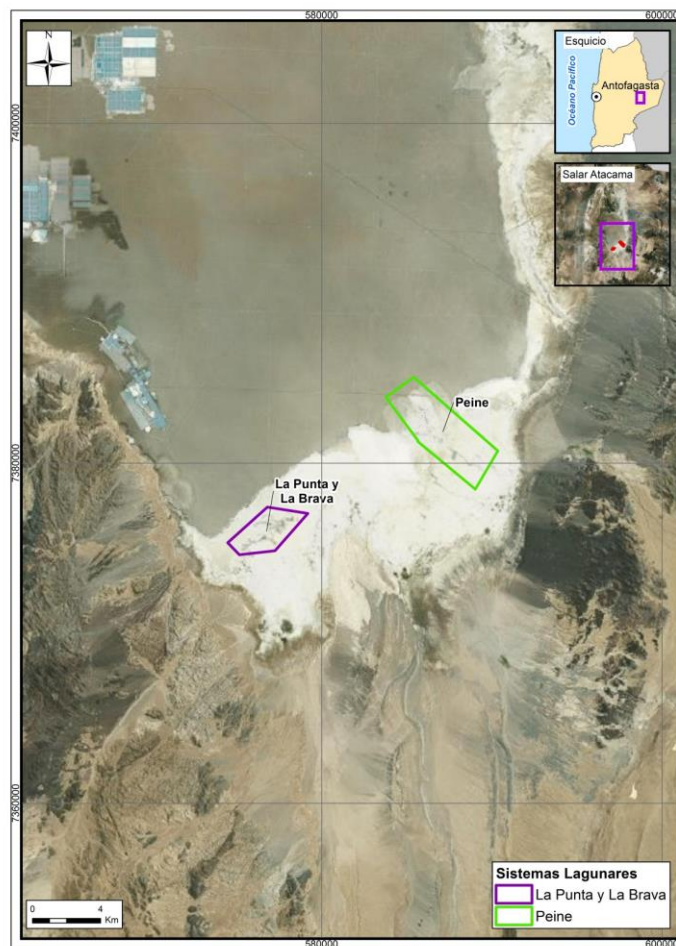
Es importante mencionar que el no contar con acceso a los sectores y puntos de monitoreo, limita el análisis, en particular de la variabilidad de los registros del período de verano (para los que no se cuenta con información desde al año 2021), el que debe ser realizado con los registros obtenidos entre abril y septiembre de 2022.

12.1 MATERIALES Y MÉTODOS

12.1.1 Área de Estudio

En la Figura N° 12-1, se aprecia 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 de niveles 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 2023, 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

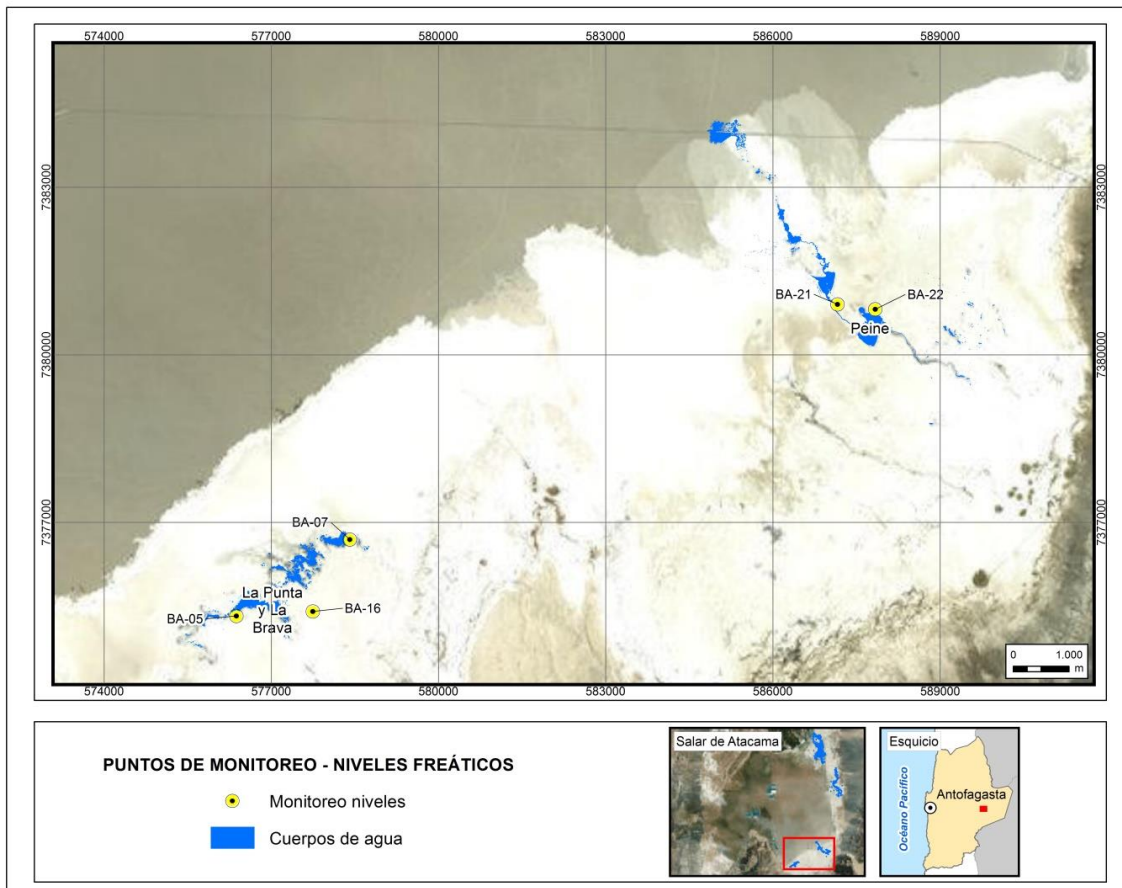
Punto	Coordenadas WGS 84 (HUSO 19S)		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta - La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta - La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta - La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine	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 se 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, para 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.

Tabla N° 12-2: Materiales y Equipos

Variable	Etapa		
	Medición	Muestreo	Análisis
Nivel freático en zona de Lagunas	Pozómetro marca Solinst Modelo 101 y/o marca Geotech.	No aplica	No aplica

Fuente: Elaboración Propia

12.1.6 Fechas de medición, muestro y/o análisis.

El período informado en este documento corresponde a abril 2022 – marzo 2023 (ver Tabla N° 12-3). En este período se han desarrollado campañas de medición del nivel freático con frecuencia mensual. Al respecto, cabe señalar hubo 2 meses en los que el monitoreo presentó con una frecuencia quincenal como consecuencia de la activación del PAT Sector Acuífero en abril 2022, y en marzo 2023. Adicionalmente, como fue señalado de manera previa, durante los primeros monitoreos desarrollados por la ETFA SGS también se desarrolló un monitoreo con frecuencia quincenal (junio 2022 y julio 2022) en los puntos del sistema lagunar La Punta La Brava.

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 octubre 2022 y marzo 2023. 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 13 de octubre de 2022, el cual se adjunta en el **Anexo Cartas y Prohibiciones** de este Informe.

Tabla N° 12-3: Fechas de Medición del Año

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2022 Mayo 2022 Junio 2022 Julio 2022 Agosto 2022 Septiembre 2022 Octubre 2022 Noviembre 2022 Diciembre 2022 Enero 2023 Febrero 2023 Marzo 2023

Fuente: Elaboración Propia

12.2 RESULTADOS

12.2.1 Resultados período abril 2022 a marzo 2023

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 2022 – marzo 2023 (Tabla N° 12-4 y Tabla N° 12-5). En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas**, se entregan 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°7), 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

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-05	14-04-2022	0,935	2.300,150
BA-05	30-04-2022	0,916	2.300,169
BA-05	30-05-2022	0,903	2.300,182
BA-05	15-06-2022	0,892	2.300,193
BA-05	30-06-2022	0,882	2.300,203
BA-05	15-07-2022	0,895	2.300,190
BA-05	30-07-2022	0,883	2.300,202
BA-05	12-08-2022	0,888	2.300,197
BA-05	26-09-2022	0,916	2.300,169
BA-05	14-10-2022	0,916	2.300,169

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-05	30-11-2022	0,955	2.300,130
BA-05	30-12-2022	0,970	2.300,115
BA-05	31-01-2023	0,976	2.300,109
BA-05	14-02-2023	Sin autorización de ingreso al sector ¹	
BA-05	28-02-2023	0,945	2.300,140
BA-05	15-03-2023	0,943	2.300,142
BA-05	31-03-2023	0,932	2.300,153
BA-07	14-04-2022	0,927	2.299,954
BA-07	30-04-2022	0,910	2.299,971
BA-07	30-05-2022	0,883	2.299,998
BA-07	15-06-2022	0,867	2.300,014
BA-07	30-06-2022	0,857	2.300,024
BA-07	15-07-2022	0,863	2.300,018
BA-07	30-07-2022	0,857	2.300,024
BA-07	12-08-2022	0,860	2.300,021
BA-07	26-09-2022	0,891	2.299,990
BA-07	30-11-2022	0,944	2.299,937
BA-07	14-10-2022	0,901	2.299,980
BA-07	30-12-2022	0,958	2.299,923
BA-07	31-01-2023	0,964	2.299,917
BA-07	14-02-2023	Sin autorización de ingreso al sector	
BA-07	28-02-2023	0,941	2.299,940
BA-07	15-03-2023	0,936	2.299,945
BA-07	31-03-2023	0,927	2.299,954
BA-16	14-04-2022	0,933	2.300,844
BA-16	30-04-2022	0,919	2.300,858
BA-16	30-05-2022	0,902	2.300,875
BA-16	15-06-2022	0,891	2.300,886
BA-16	30-06-2022	0,885	2.300,892
BA-16	15-07-2022	0,895	2.300,882
BA-16	30-07-2022	0,888	2.300,889
BA-16	12-08-2022	0,890	2.300,887
BA-16	26-09-2022	0,913	2.300,864
BA-16	30-11-2022	0,943	2.300,834
BA-16	14-10-2022	0,914	2.300,863

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-16	30-12-2022	0,945	2.300,832
BA-16	31-01-2023	0,946	2.300,831
BA-16	14-02-2023	Sin autorización de ingreso al sector	
BA-16	28-02-2023	0,926	2.300,851
BA-16	15-03-2023	0,930	2.300,847
BA-16	31-03-2023	0,920	2.300,857

1: Carta Albemarle (ALB-GMA-2021-SMA-015), presentada en **Anexo Cartas y Prohibiciones**.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 12-5: Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine

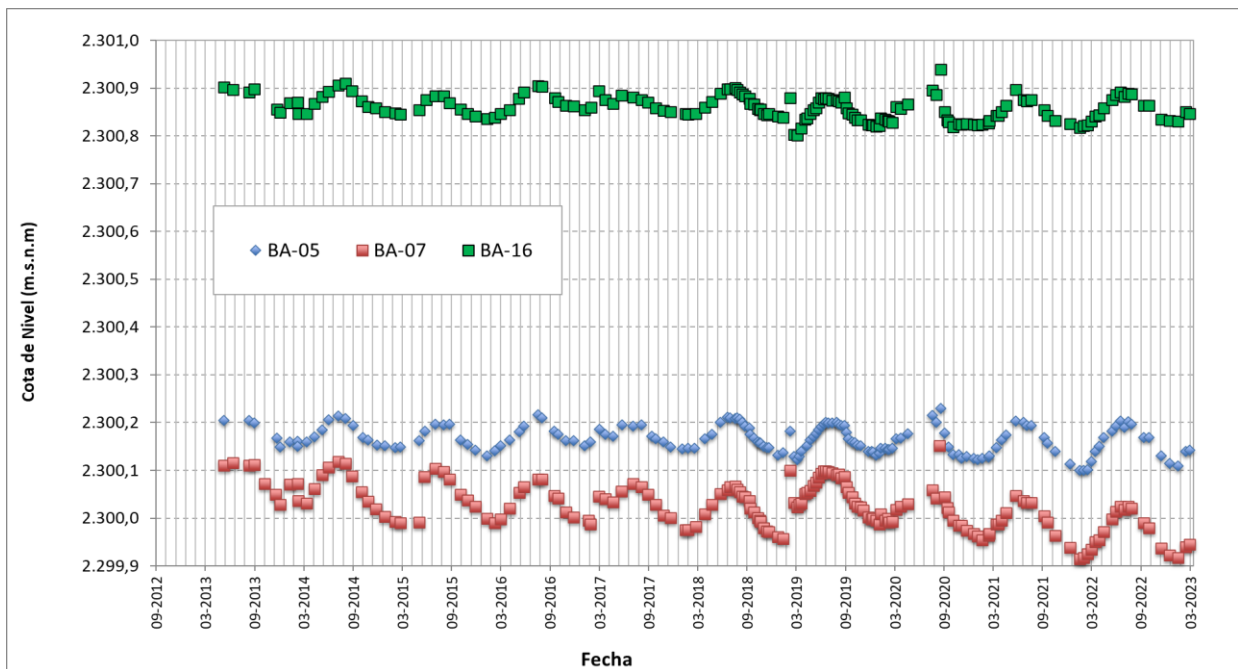
Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-21	01-04-2022	1,327	2.300,066
BA-21	16-04-2022	1,326	2.300,067
BA-21	02-05-2022	1,324	2.300,069
BA-21	15-06-2022	1,323	2.300,070
BA-21	15-07-2022	1,300	2.300,093
BA-21	12-08-2022	1,326	2.300,067
BA-21	26-09-2022	1,332	2.300,061
BA-21	16-11-2022	Sin autorización de ingreso por Comunidad de Peine a zona de Lagunas de Peine ¹ .	
BA-21	14-10-2022		
BA-21	30-12-2022		
BA-21	31-01-2023		
BA-21	05-02-2023		
BA-21	20-02-2023		
BA-21	04-03-2023		
BA-21	20-03-2023		
BA-22	01-04-2022	0,846	2300,278
BA-22	16-04-2022	0,848	2300,276
BA-22	02-05-2022	0,839	2300,285
BA-22	15-06-2022	0,83	2300,294
BA-22	15-07-2022	0,832	2300,292
BA-22	12-08-2022	0,83	2300,294
BA-22	26-09-2022	0,842	2300,282
BA-22	16-11-2022	Sin autorización de ingreso por Comunidad de Peine a zona de Lagunas de Peine ¹ .	
BA-22	14-10-2022		
BA-22	30-12-2022		
BA-22	31-01-2023		

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-22	05-02-2023		
BA-22	20-02-2023		
BA-22	04-03-2023		
BA-22	20-03-2023		

1: Cierre de acceso a Sistema Lagunar Peine Informado por Comunidad de Peine por medio de correo electrónico el día 13 de octubre de 2022 (**Anexo Cartas y Prohibiciones**).
 Fuente: Elaboración propia.

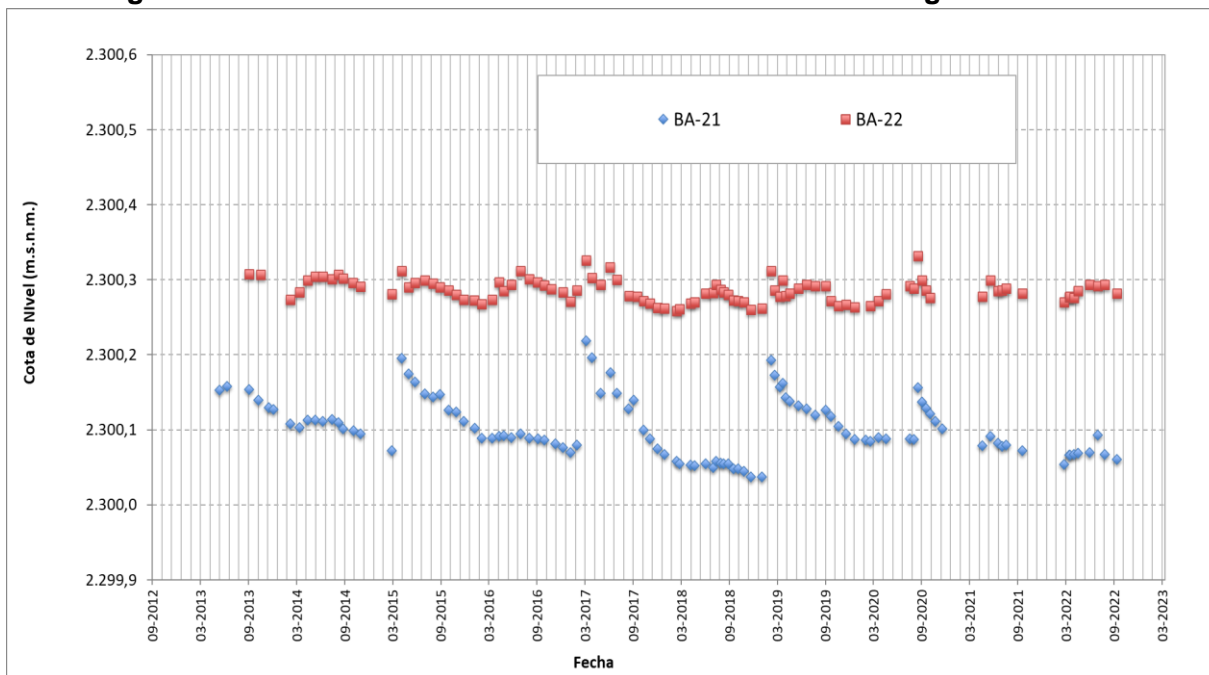
En las **Figura N° 12-3** y **Figura N° 12-4** se presenta gráficamente la variación temporal del nivel de los diferentes pozos evaluados, desde el año 2013 a la fecha. El análisis de la evolución temporal de cada uno de ellos se realiza en el capítulo de Discusión.

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 (M14), 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				
		Matorral (zonal)	Humedal	Herbazal / Vega	Matorral / Matorral mixtos azonales	TOTAL
Línea Base (2015)		14	1	18	-	33
Monitoreo	Anual Invierno 2016 (M1)	3	-	6	3	12
	1 Verano 2017 (M2)	8	-	10	13	31
	Anual Invierno 2017 (M3)	9	-	10	14	33
	2 Verano 2018 (M4)	8	-	10	15	33
	Anual Invierno 2018 (M5)	8	-	10	16	34
3 Verano 2019 (M6)	8	-	10	16	34	
Anual Invierno 2019 (M7)	8	-	10	16	34	
4						

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT		N° FORMACIONES VEGETALES POR TIPO DE FORMACIÓN				
		Matorral (zonal)	Humedal	Herbazal / Vega	Matorral / Matorral mixtos azonales	TOTAL
Anual 5	Invierno 2020 (M9) Verano 2021 (M10))	8	-	10	15	33
Anual 6	Verano 2022 (M12)	8	-	14	15	37
Anual 7	Invierno 2022 (M13) Verano 2023 (M14)	8	-	14	15	37
		8	-	15	16	39

*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 2023

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT		SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)			
		Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal	
Línea Base (2015)		78,30%	17,80%	3,90%	
Monitoreo	Anual 1	Invierno 2016 (M1) Verano 2017 (M2)	78,00%	14,90%	7,10%
	Anual 2	Invierno 2017 (M3) Verano 2018 (M4)	78,00%	10,00%	12,00%
	Anual 3	Invierno 2018 (M5) Verano 2019 (M6)	78,10%	9,50%	12,50%
	Anual 4	Invierno 2019 (M7)	78,10%	8,70%	13,20%
	Anual 5	Invierno 2020 (M9) Verano 2021 (M10))	78,10%	8,70%	13,20%
	Anual 6	Verano 2022 (M12)	78,10%	8,70%	13,20%
	Anual 7	Invierno 2022 (M13)	78,10%	8,70%	13,20%

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT	SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)		
	Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal
Línea Base (2015)	78,30%	17,80%	3,90%
Verano 2023 (M14)	78,10%	8,70%	13,20%
Rango variación	0,20%	9,10%	9,30%

***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”, 9,3% más en seguimiento respecto a la línea de base del EIA del Proyecto, sin embargo, entre los monitoreos de invierno 2017 a verano 2023 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 7), se observa una leve variación en el número de formaciones vegetales, sumando en el verano de 2023 una formación más de herbazal y otra formación de matorral mixto azonal respecto al monitoreo anterior (invierno 2022), ver **Tabla N° 13-1**. No obstante, al comparar las superficies por tipo de formación no se observan cambios entre ambas estaciones (**Tabla N° 13-2**) y al comparar la superficie por formación vegetal entre ambas estaciones se presentan algunos cambios menores, únicamente 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.

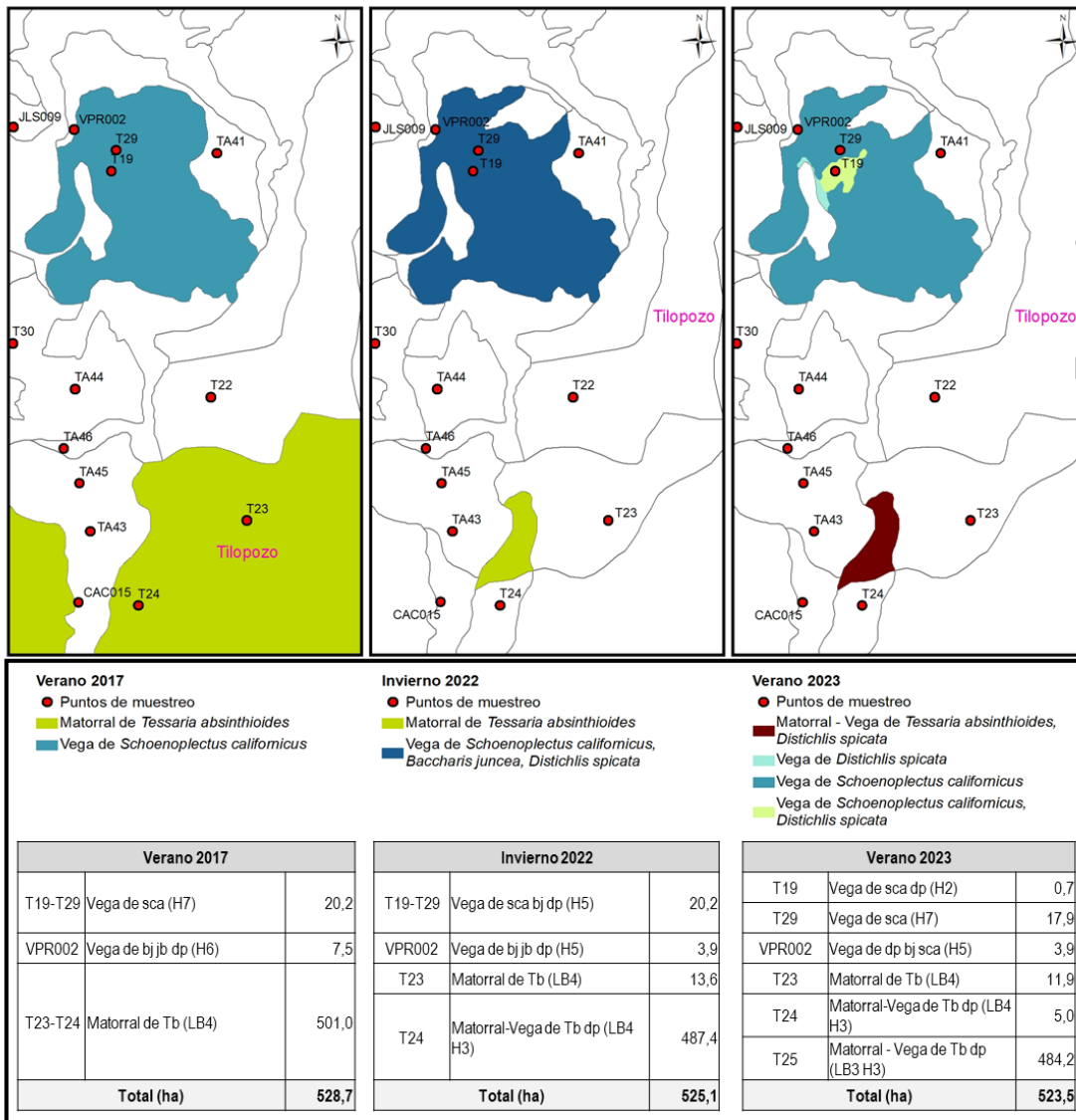
En síntesis, estos valores muestran una consistencia de la herramienta descriptiva de seguimiento de la vegetación, observada principalmente en los tipos de recubrimiento de suelo registrados en el área de estudio, ya que los principales cambios han sido producto de ajustes cartográficos y en mejoras 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:

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, a raíz de la mejora continua sobre las unidades cartográficas. Una de las variaciones ocurre en el matorral de *Tessaria absinthioides* que registra 91,8 ha en invierno 2020 aumentando a 152,9 ha en verano 2021 ya que parte de la superficie de matorral-vega de

T. absinthioides con *Distichlis spicata* se había definido como matorral, aunque en invierno 2022 se vuelven a declarar solo 91,8 ha de matorral de *T. absinthioides* (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*, que aumenta su superficie en verano 2021 ya que parte de la superficie de vega de *J. balticus* y *D. spicata* y vega de *J. balticus* definida en invierno 2020 en dicho monitoreo aumentó la cobertura de *L. humile*, quedando como formación mixta de matorral-vega, manteniéndose hasta este periodo en verano 2023 (M14).

A modo de ejemplo, en la **Figura N° 13-1** se puede observar en mayor detalle el área donde se localizan los puntos de muestreo de los herbazales de *Schoenoplectus californicus* y sus alrededores, que es donde se han registrado las variaciones más recurrentes en el sector y a su vez, presenta diferentes tipos de cambios (ajuste de límites y superficie, variaciones en la composición de especies y coberturas). En la primera vista (M2; verano 2017), se puede observar que la COT presentaba menor diferenciación de unidades cartográficas, registrando, por ejemplo (polígonos en color), tres formaciones vegetales que sumaban entre ellas 528,7 ha; seguidamente en la vista central (M13; invierno 2022) se observa que para la misma unidad donde se encuentran las transectas T19 y T29, los límites y superficie se mantienen, pero se suman más especies en la descripción de su composición dominante y además baja la cobertura (H5; 50-75%) lo que se atribuye a la estacionalidad ya que en invierno este tipo de vegetación se encuentra generalmente inactiva. También se puede observar que en M13 se divide la unidad del matorral de *Tessaria absinthioides* (T23-T24) caracterizando la unidad con mayor representatividad como matorral-vega. En verano 2023 (M14, vista derecha **Figura N° 13-1**), la descripción del matorral (T23) se mantiene, pero se ajustan los límites de la unidad reflejando una menor superficie, al igual que la unidad de matorral-vega (T24) que disminuye significativamente su superficie. Por último, destaca el ajuste de límites en la unidad de T19, separándose de la gran unidad con dominancia de *S. californicus*, quedando esta unidad limitada a la porción que se observó deteriorada en este último monitoreo (H2; 5-10% cobertura vegetal), con cobertura de rastrojo mayoritariamente y presencia de ganado, que generó evidente pisoteo sobre la cobertura vegetal.

Figura N° 13-1. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Tilopozo

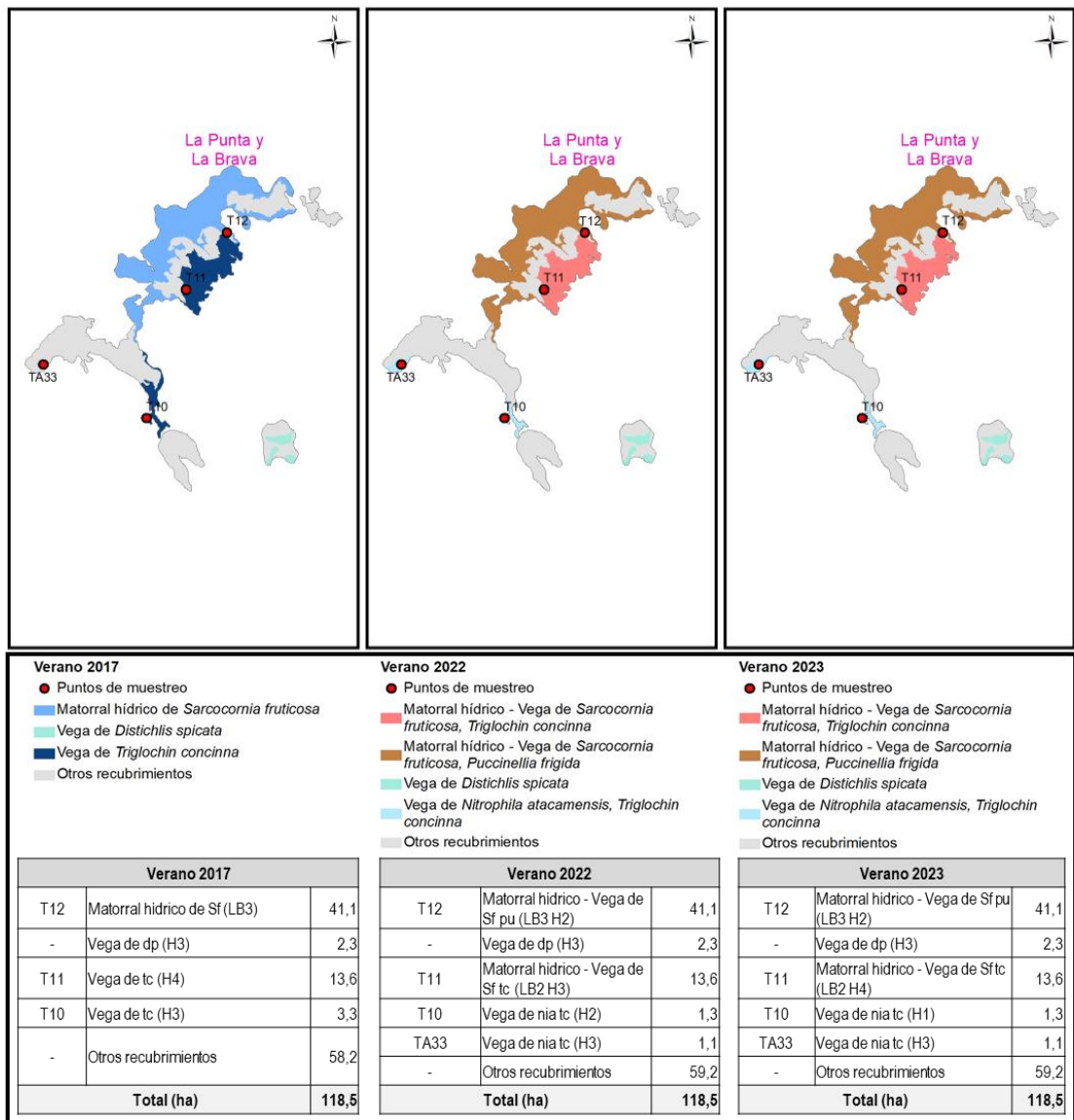


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al sector La Punta y La Brava, se observan menos variaciones durante el seguimiento. En la **Figura N° 13-2**, a modo de ejemplo, se presenta todo el sector con sus formaciones vegetales y superficies comparadas entre tres monitoreos de verano (2017, 2022 y 2023). Se observa que la principal variación entre monitoreos es la reconfiguración del nombre de las formaciones vegetales, pero manteniendo en general casi los mismos límites y superficies. Por ejemplo, la unidad de la transecta T12 se denominaba matorral

hídrico en el primer verano del monitoreo (M2; verano 2017) pasando a describirse como formación mixta en los siguientes monitoreos (matorral hídrico-vega). En la unidad de la transecta T12 ocurre algo similar, describiéndose en verano 2017 la formación como vega de *Triglochin concinna* (tc) y en los últimos veranos se observa como matorral hídrico-vega de *Sarcocornia fruticosa* (Sf) y *T. concinna* (tc), presentando una diferencia menor en la cobertura herbácea entre los últimos veranos. En el caso de la vega de *Nitrophila atacamensis* (nia) con *T. concinna* (T10), ésta se describió únicamente hasta M2 (verano 2017) sin la especie *N. atacamensis* (dado que la cobertura de *T. concinna* era la más dominante; en MB0 y M1 con 10,2% para tc y 2,4% para nia y en M2 5,4% para tc y 2,0% para nia) y en el tiempo lo que ha ido variando es la cobertura, registrando un mínimo de cobertura en el último verano (H1; menor al 5% de cobertura vegetal herbácea con un 0,2% para tc y 1,0% para nia). En el caso del cambio de superficie de los otros recubrimientos, se debe a un ajuste de límites que se realizó al considerar nuevos puntos de validación COT en el verano 2022 (M12), que consideró actualizar una superficie de salar a una pequeña vega al borde de un cuerpo de agua (TA33) y a su vez se validó que una unidad descrita como vega correspondía a salar (área desprovista de vegetación).

Figura N° 13-2. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector La Punta y La Brava



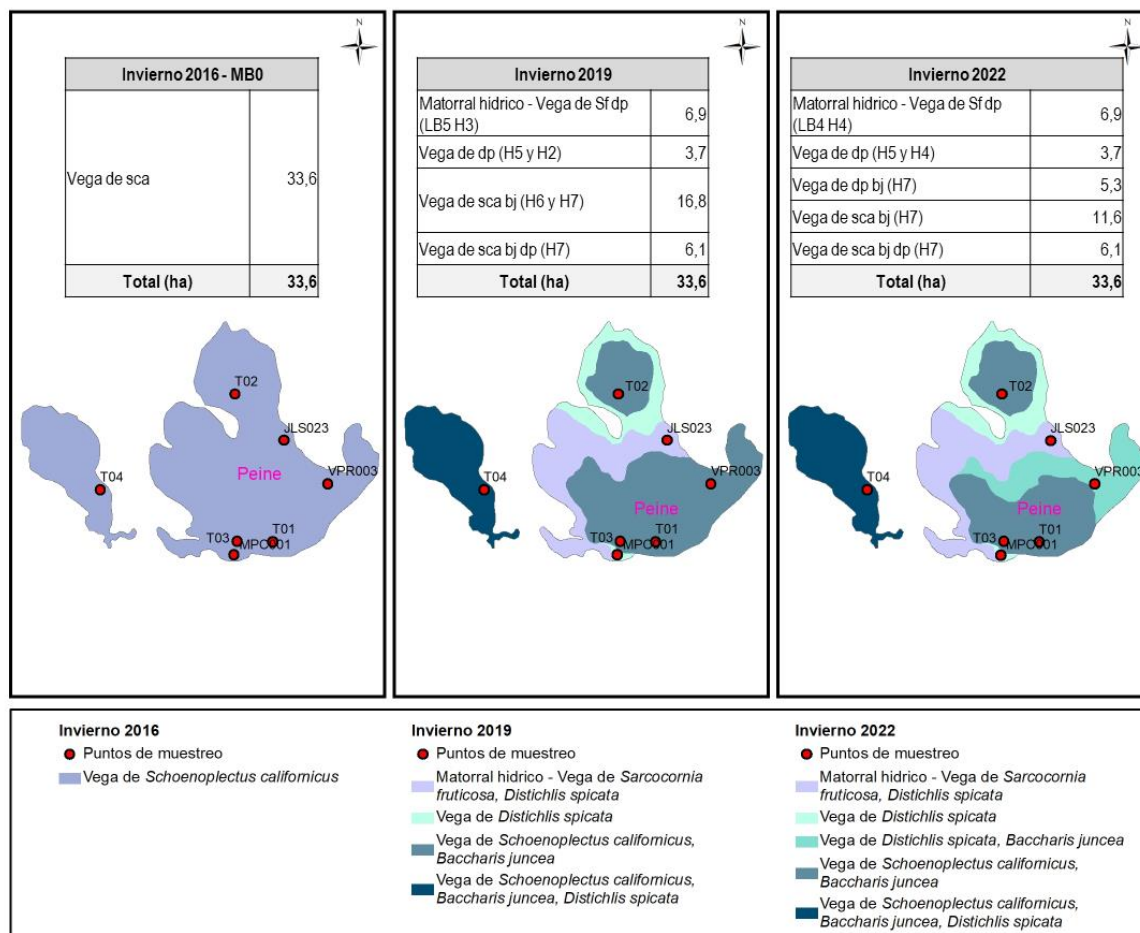
Fuente: Elaboración propia.

El sector Peine presenta, igualmente, variaciones de superficie por cambios en la composición de las formaciones vegetales, con casos como el matorral de *T. absinthioides* con *Atriplex atacamensis* que disminuye su cobertura en verano 2021, ya que parte de la superficie se define como matorral-vega por el aumento de cobertura de *D. spicata* en la formación, y otros cambios menores en las vegas. En la **Figura N° 13-9**, donde se

presentan a modo de ejemplo tres temporadas, se puede observar con mayor claridad uno de los tipos de variaciones más recurrentes que se han detectado durante todo el periodo de seguimiento de la COT en el sector de Peine, considerando el área donde se localizan las vegas con dominancia de *Schoenoplectus californicus*, con unidades que suman 33,6 ha.

La primera imagen de la **Figura N° 13-9** corresponde a la versión inicial de la COT en invierno de 2016 (MB0), donde se observan sólo dos unidades que corresponden a la misma formación vegetal, razón por la cual se incluyeron posteriormente nuevos puntos de monitoreo COT y realizar el ajuste cartográfico mencionado. En este sentido, al visualizar la segunda imagen de invierno 2019 (M7) se observa mayor detalle de las formaciones vegetales y su composición; asimismo, en este monitoreo resalta un cambio a raíz del incendio ocurrido el 2018, detectando una vega de *Distichlis spicata* (*dp*) con menor cobertura (H2; 5-10%), con claros indicios de rastrojo post-incendio que no se recuperó como el resto de las unidades. En la tercera imagen de invierno 2022 (M13), se observa que una de las unidades de vega de *S. californicus* (*sca*) y *Baccharis juncea* (*bj*) se divide en dos formaciones, una de las cuales corresponde a 11,6 ha de la misma formación y la otra corresponde a 5,3 ha de una vega con dominancia de *D. spicata* y *B. juncea*, ambas de cobertura muy densa (H7; mayor a 90). Además, en este monitoreo M13, también se identifican cambios en la estructura de otras unidades, detectando en el matorral hídrico-vega una disminución de la cobertura arbustiva, pero a su vez, un aumento de la cobertura herbácea (LB5 H3 en 2019 a LB4 H4 en 2022); por su parte, la vega de *D. spicata* que se encontraba deteriorada por el incendio en 2019, aumentó su cobertura vegetal a un rango de 25 a 50% (H4).

Figura N° 13-3. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Peine



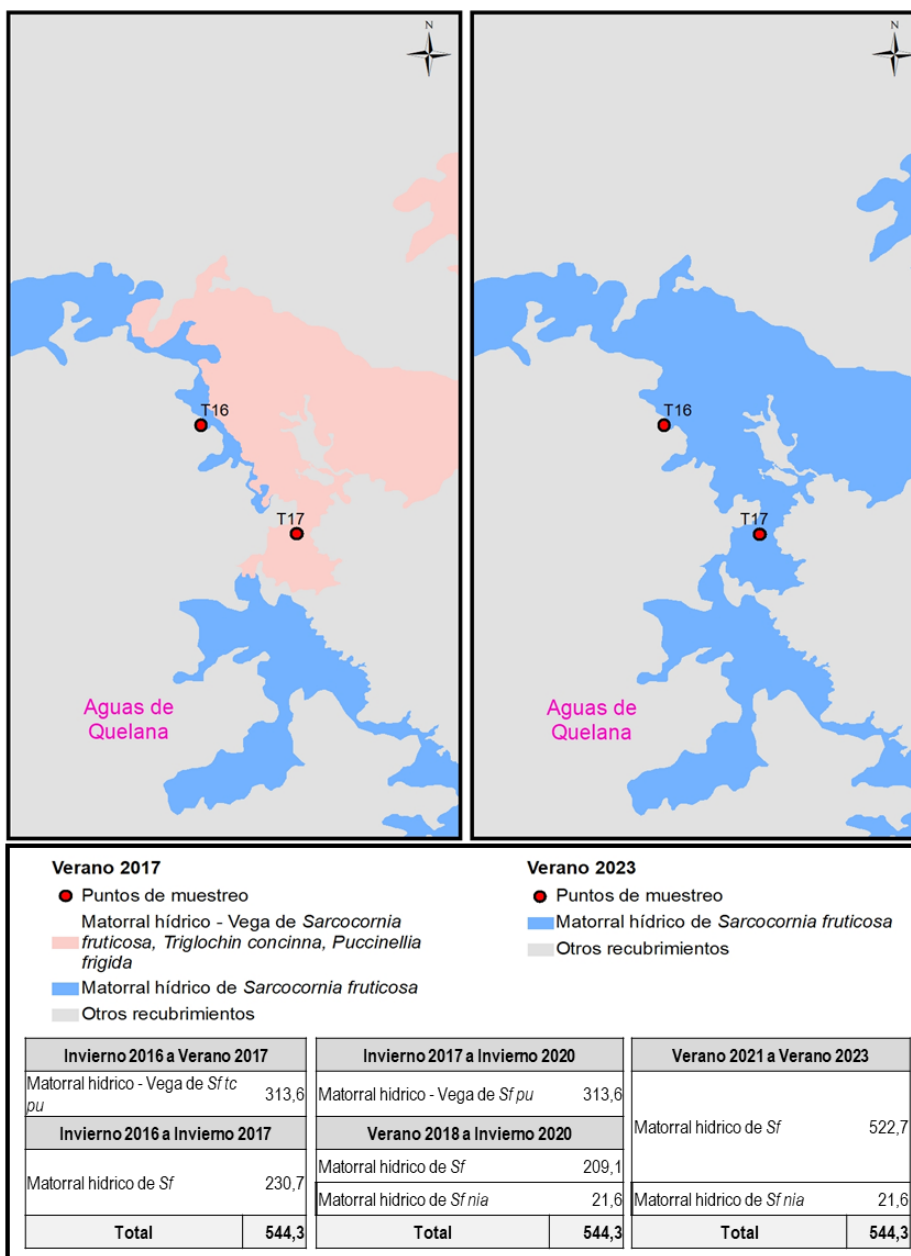
Fuente: Elaboración propia.

El sector Aguas de Quelana presenta algunas variaciones menores, en relación a ajustes de límites cartográficos y en la reconfiguración del tipo de formación vegetal. En la **Figura N° 13-4** se puede observar el cambio más recurrente registrado en el sector, 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).

Al observar las superficies que muestra la **Figura N° 13-4**, se valida que la misma superficie de 544,3 ha se mantiene en el tiempo como una formación con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* (Sf), explicándose que el cambio hace referencia a la nomenclatura de las formaciones al integrar especies acompañantes dentro de su descripción. Cabe destacar,

que la formación mixta de matorral hídrico-vega presentaba una cobertura arbustiva clara (LB4; 25-50%) con una cobertura herbácea escasa (H; 5-10%) hasta el monitoreo M9 (invierno 2020), y desde el monitoreo siguiente (verano 2021) la formación solo se describe con su cobertura arbustiva como dominante (LB4).

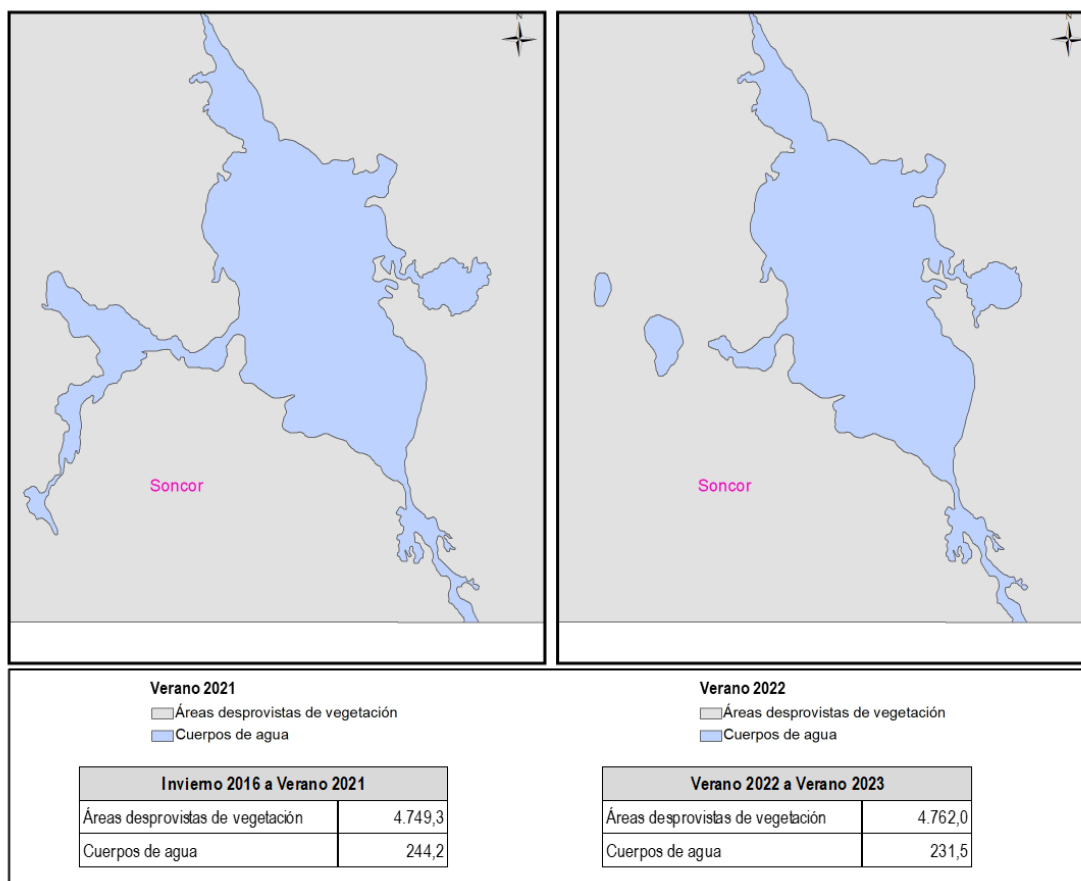
Figura N° 13-4. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al sector Soncor, la única variación registrada en la COT ocurre 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. En la **Figura N° 13-5** se observa en detalle este cambio, mostrando el cuerpo de agua que redujo su superficie, la cual se mostraba estable desde el primer monitoreo (M1; invierno 2016); asimismo, la superficie de ambos recubrimientos registrada en M12 se mantiene estable hasta el último periodo monitoreado (invierno 2022 y verano 2023).

Figura N° 13-5. Principales variaciones en las unidades cartográficas de la COT en sector Soncor



Fuente: Elaboración propia.

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 (M13) realizado en agosto 2022 y monitoreo de verano (M14) realizado en abril 2023, después de las lluvias estivales, para analizar la condición actual de la vegetación presente en el área del Salar de Atacama. Se hace referencia a su vez a la situación comparativa con los otros monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10 y M12. Los datos de las coberturas se presentan para todos los monitoreos 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) y M14 (verano 2023), incluyendo el MB0 (monitoreo inicial) en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta y Figura N° 1-1 a 1-6**. 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.

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*.

13.1.2.1 Comparación entre invierno 2022 y verano 2023

En este acápite se analiza la información levantada en los monitoreos estacionales realizados en el séptimo año del plan de seguimiento, correspondientes al monitoreo de invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14), para un análisis de la variación anual. El muestreo fue realizado en las transectas fijas localizadas en seis subsectores del área de estudio del proyecto, correspondientes a los subsectores de: La Punta, La Brava, Peine, Tilopozo, Soncor y Aguas de Quelana.

Como se ha señalado anteriormente en este documento, por accesibilidad en ambas campañas de monitoreo, no fue posible registrar una de las transectas (T14), que se localiza

en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros); no obstante, ésta se incluyó dentro de la caracterización, ya que se reconoció el ambiente como tal, con un punto de validación COT (RPV015) realizado al otro lado de la laguna, divisando la transecta T14 a pocos metros de distancia y solo no se logra llegar directamente al punto de origen de la transecta (**Fotografía N° 13-1**). Del mismo modo, cabe señalar que el subsector Aguas de Quelana no fue muestreado en M13 por restricciones de acceso al área por parte de CONAF.

Fotografía N° 13-1. Panorámica desde el punto COT RPV015 donde se observa a distancia el ambiente de la transecta T14



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las formaciones vegetales, en ambos monitoreos se observan, en general, similares características de estructura, de composición de especies dominantes y de fisonomía de las formaciones (ver **Tabla N° 6-24** y **Tabla N° 6-28**). No obstante, se observaron algunas diferencias entre monitoreos en varias transectas, las cuales son:

- (1) algunas diferencias respecto a la descripción de la estructura de las formaciones vegetales (**Tabla N° 13-3**): encontrando variaciones en la **cobertura de la formación** en dos transectas del sector Peine (T08 y T06), en nueve transectas del sector Tilopozo (T21, T22, T27, T18, T30, T31, T19, T29 y T25), en tres transectas de La Punta y La Brava (T13, T10 y T11) y en dos transectas de Aguas de Quelana (T16 y T17). Además, algunas variaciones en la **composición de especies dominantes**, en la transecta T08 de Peine y en tres transectas de Tilopozo (T31, T19 y T29). Las diferencias observadas en la cobertura vegetal no estarían asociadas a la estacionalidad, ya que en seis de la transectas se observa menor cobertura herbácea en verano y en otras siete transectas un aumento de la cobertura herbácea en verano respecto al invierno, generalmente con una diferencia mínima en el rango de cobertura (<5% o entre el rango de 5-10%).

Por otro lado, hay algunos cambios que destacan como en la transecta T21 que se suma un estrato arbustivo (LB) en el verano 2023 asociado a la presencia de *Lycium humile* en la formación, así también destacan los herbazales de *S. californicus* en Tilopozo que en el caso de T29 la cobertura en invierno se había observado deteriorada (H5; 50 a 75%) recuperándose a un 100% de cobertura en verano pero con una variación en la composición comunitaria con el registro de una especie dominante (sca), mientras que en la transecta T19 la cobertura en verano se registró más alterada (H2; 5 a 10%) con mayor cobertura muerta y una composición mixta entre las especies *S. californicus* y *D. spicata*.

Tabla N° 13-3. Variaciones en los rangos de cobertura COT en transectas, entre invierno 2022 y verano 2023

Subsector	Formación vegetal	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Formación COT	Especie(s) dominante(s)
			Invierno 2022		Verano 2023	
Peine	Herbawal de <i>Distichlis spicata</i>	T08	H4	dp	H3	dp bj
	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T06	LB4 H1	Tb Aa	LB4	Tb Aa
Tilopozo	Herbawal de <i>Distichlis spicata</i>	T21	H3	dp	LB1 H2	dp
		T22	LB2 H2	dp Lh	LB2 H3	dp Lh
		T27	H3	dp	H2	dp
	Herbawal de <i>Juncus balticus</i>	T18	LB3 H3	jb Lh	LB2 H3	jb Lh
		T30	LB1 H3	jb dp	LB1 H4	jb dp
		T31	LB2 H2	jb Lh	LB2 H3	jb dp Lh
	Herbawal de <i>S. californicus</i>	T19	H5	sca	H2	sca dp
		T29	H5	sca bj dp	H7	sca
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T25	LB4 H3	Tb dp	LB3 H3	Tb dp	
La Punta y La Brava	Herbawal de <i>Juncus balticus</i>	T13	LB3 H3	jb Lh	LB2 H2	jb Lh
	Herbawal de <i>Triglochin concinna</i>	T10	H2	nia tc	H1	nia tc
		T11	LB2 H3	tc Sf	LB2 H4	tc Sf
Aguas de Quelana*	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T16	LB3	Sf	LB3 H2	Sf
		T17	LB4	Sf	LB4 H1	Sf

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras		
Cobertura vegetal (%)	Códigos de especies	Herbáceas (H):
1 muy escasa (1-5) 2 escasa (5-10) 3 muy clara (10-25) 4 clara (25-50) 5 poco densa (50-75) 7 muy densa (>90)	Arbustivas (LB):	
	Aa	<i>Atriplex atacamensis</i>
	Lh	<i>Lycium humile</i>
	Sf	<i>Sarcocornia fruticosa</i>
	Tb	<i>Tessaria absinthioides</i>
	bj	<i>Baccharis juncea</i>
	dp	<i>Distichlis spicata</i>
	jb	<i>Juncus balticus</i>
	nia	<i>Nitrophila atacamensis</i>
	sca	<i>Schoenoplectus californicus</i>
	tc	<i>Triglochin concinna</i>

* Recordar que transectas en matorral de *Sarcocornia fruticosa* en sector Aguas de Quelana no se realizaron en M13, por lo tanto, esta COT corresponde a la última registrada en verano de 2022 (M12).

Fuente: Elaboración propia.

-
- (2) algunas diferencias con respecto a las **características físicas del suelo** sobre el que se desarrollan estas formaciones vegetales, observando algunas variaciones en la humedad del suelo con menor saturación en verano en T02 y T08 en Peine y en T13 en La Punta, mientras que en la transecta T03 de Peine se observa mayor saturación en invierno al igual que en T29 de Tilopozo. Respecto al recubrimiento de afloramientos salinos, se registra un aumento en verano en varias transectas, como en los matorrales de Peine (T05, T06 y T07), en seis transectas de Tilopozo (T20, T28, T30, T23, T24 y T25) y en La Punta (T12) y menor cobertura de afloramientos salinos en verano en T26 y T27 en Tilopozo, ver **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**.
- (3) algunas diferencias en la **riqueza de especies** registrada entre monitoreos, registrando una especie adicional en una transecta en verano (T31 en Tilopozo); y en el caso de la transecta T01 (Peine) y T21, T22 y T29 (Tilopozo) una especie adicional en invierno (M13) respecto al monitoreo de verano. Estas diferencias por transecta generan un cambio en la riqueza por sector, con una especie adicional en invierno en los sectores Peine y Tilopozo (6 especies y 7 especies, respectivamente).
- (4) en relación al **grado de alteración**, se observa una diferencia en las transectas T05 y T08 en Peine, en las transectas T26, T27, T29 y T30 de Tilopozo y en la transecta T11 en La Punta, de un grado 1 (*vegetación en estado natural*) registrado en invierno a grado 2 en verano (*vegetación alterada*). Esta variación entre monitoreos puede corresponder a la falta de observación de señales directas de alteraciones antrópicas en invierno, ya que igualmente son formaciones que tienen algún grado de intervención como huellas de camino o situarse en zonas de pastoreo (**Figura N° 13-2**). No obstante, en los herbazales de *S. californicus* de Tilopozo sí se refleja un cambio más notorio en invierno 2022 (M13), registrándose la vegetación en grado 3 de alteración (*vegetación deteriorada*) por la cobertura muerta observada en dicha campaña, cambiando a grado 2 en verano en la transecta T29, ya que se observó una recuperación de la cobertura en ese caso, aunque ambas transectas se localizan muy cercanas entre ellas, en la zona donde se ha observado manejo con quemas controladas (evidenciadas el 2018), además de la introducción de animales para el pastoreo en el último periodo (ver **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT**).

Fotografía N° 13-2. Fisonomía de las formaciones vegetales en las transectas T30 y T29, con evidencias de huellas de camionetas y de ganado

Fuente: Elaboración propia.

Referente a la composición y coberturas absolutas registradas en las campañas de invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14), se observa lo siguiente:

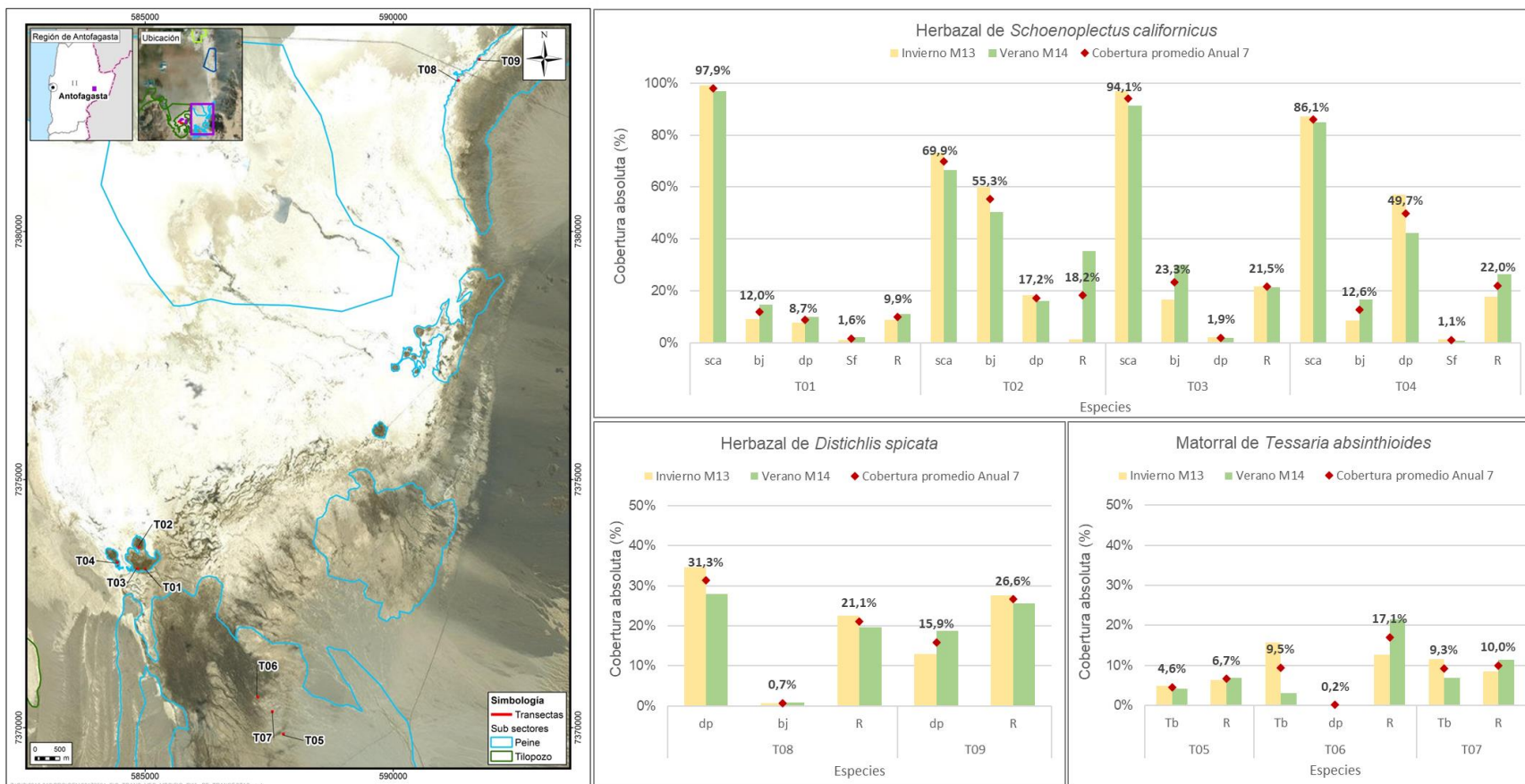
En el **sector Peine** se observan diferencias de cobertura entre invierno y verano (**Figura N° 13-6**), aunque la diferencia principal se presenta visualmente en el vigor de las plantas debido a la fenología propia de las especies, sin afectar en términos generales el desarrollo de la cobertura entre estaciones.

- En el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, la especie dominante presenta una menor cobertura vegetal en verano, en las cuatro transectas de la formación, aunque con una diferencia leve entre ambas estaciones, a diferencia de otras especies acompañantes como *Baccharis juncea* que responde a una mayor cobertura en verano en tres transectas de la formación (T01, T03 y T04). En cuanto al rastrojo, también llama la atención que en verano se observa mayor cobertura de este recubrimiento que en invierno, donde generalmente es en invierno donde se observa una menor actividad biológica en este tipo de vegetación de carácter más hidrófilo.
- En el herbazal de *Distichlis spicata*, ambas transectas se comportan diferente donde T08 registra mayor cobertura de *D. spicata* en invierno y en T09 la cobertura es mayor en verano, aunque en ambas transectas disminuye el rastrojo en verano. Cabe señalar, que para esta formación de carácter más xérico se ha presentado para casi todos los años similar tendencia en la transecta T08, donde el único año

donde se registró mayor cobertura vegetal en verano ocurre en el Anual 5, en el verano 2021 (M10), ver **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**.

- El matorral de *Tessaria absinthioides* presenta similar tendencia entre estaciones, con una disminución de la cobertura para el arbusto dominante en el monitoreo de verano, respecto al invierno, con una mayor diferencia registrada en la transecta T06 y muy leve diferencia en T05. Asimismo, el rastrojo aumenta en el verano en las tres transectas.

Figura N° 13-6. Cobertura absoluta de las especies y rastrojo en los monitoreos de invierno y verano (M13-M14) en el año 7 de seguimiento, sector Peine.

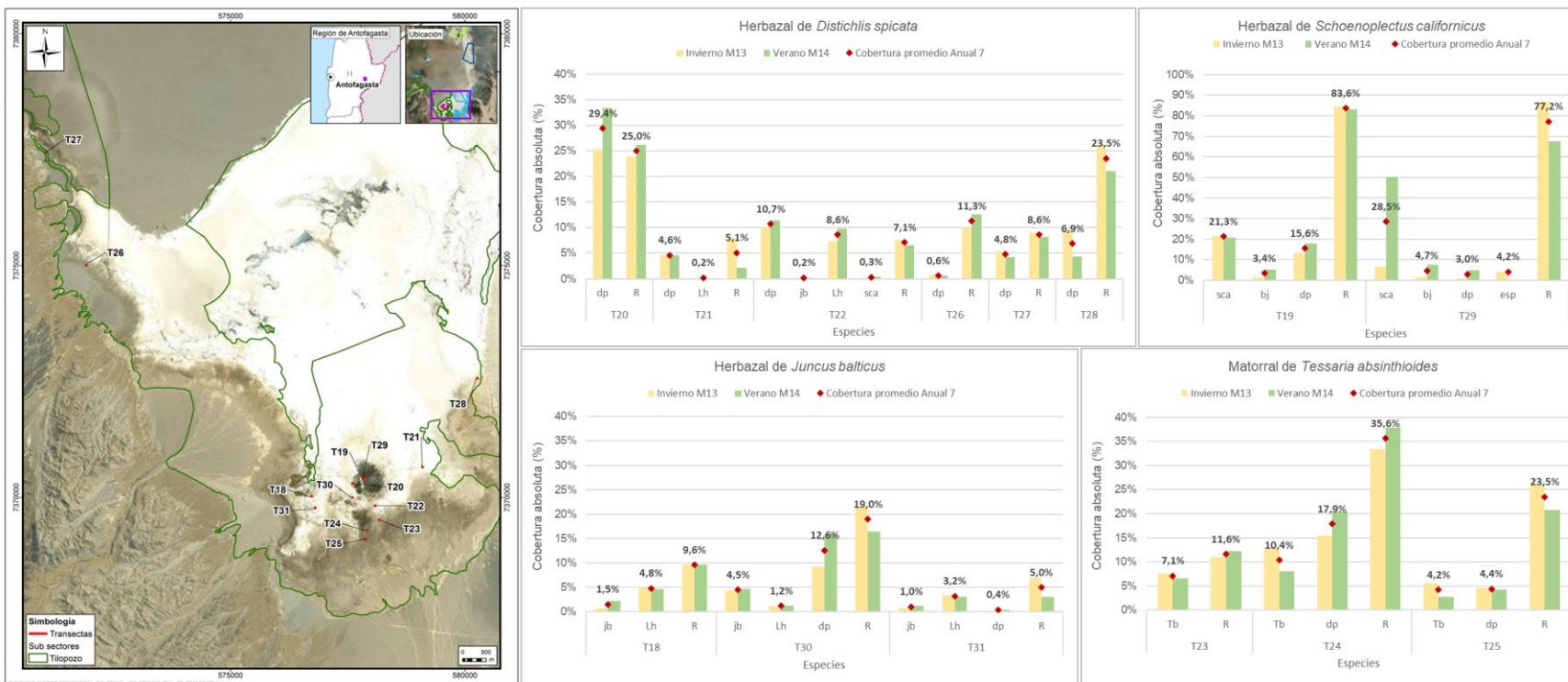


Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, R: rastrojo (cobertura muerta)
 Fuente: Elaboración propia.

En el **sector Tilopozo** se observan diferencias de cobertura entre invierno y verano (**Figura N° 13-7**), reflejando en general, una mayor actividad en la cobertura para algunas especies en verano, sin embargo, en algunos matorrales y herbazales de *D. spicata* la tendencia es inversa, mostrando mayor cobertura en invierno, respecto al verano.

- En el herbazal de *Distichlis spicata*, se observa un aumento de la cobertura vegetal en verano para las especies de las transectas T20 y T22, respecto al invierno. En el caso de las transectas T21 y T26 se registra igual cobertura en ambas estaciones, mientras que en las transectas T27 y T28, más alejadas del núcleo del salar, muestran una tendencia diferente registrando una menor cobertura vegetal en el verano. Respecto al rastrojo, se observa una disminución de su cobertura en verano respecto al invierno, aunque en dos transectas (T20 y T26) la mayor cobertura se registra en verano.
- El herbazal de *Schoenoplectus californicus* presenta un comportamiento distinto entre ambas transectas. En T19, la cobertura de la especie dominante y el rastrojo son similares entre ambas estaciones, mostrando un aumento de la cobertura en verano para las especies acompañantes (*B. juncea* y *D. spicata*). En la transecta T29, la cobertura de *S. californicus* muestra un aumento importante de su cobertura en verano (50,2%) respecto al invierno (6,8%), también muestran un aumento las especies acompañantes *B. juncea* y *D. spicata*, aunque desapareciendo la presencia de *Eleocharis* sp. en verano; asimismo, en verano se registra menor cobertura de rastrojo, aunque sigue siendo alta con respecto a años anteriores.
- El herbazal de *Juncus balticus* muestra un leve aumento de la cobertura en verano para la especie dominante, aunque destaca similar cobertura entre ambas estaciones para las especies *J. balticus* y *Lycium humile* en las tres transectas de la formación. En el caso de la especie acompañante *D. spicata* se observa una mayor cobertura en verano en las dos transectas donde se presenta, aunque en T31 con muy baja cobertura (0,4% en M14 y sin registro en M13). Respecto al rastrojo, en la transecta T18 se presenta igual cobertura entre ambos monitoreos, y en T30 y T31 la cobertura de rastrojo disminuye en el verano.
- En el matorral de *Tessaria absinthioides* la cobertura para la especie dominante es mayor en el monitoreo de invierno para las tres transectas, disminuyendo en verano. La especie acompañante *D. spicata* aumenta su cobertura en verano en la transecta T24, y en T25 se presenta similar en ambas estaciones. La cobertura de rastrojo aumenta en verano para T23 y T24, mientras que en T25 disminuye en verano respecto al invierno.

Figura N° 13-7. Cobertura absoluta de las especies y rastrojo en los monitoreos de invierno y verano (M13-M14) en el año 7 de seguimiento, sector Tilopozo.



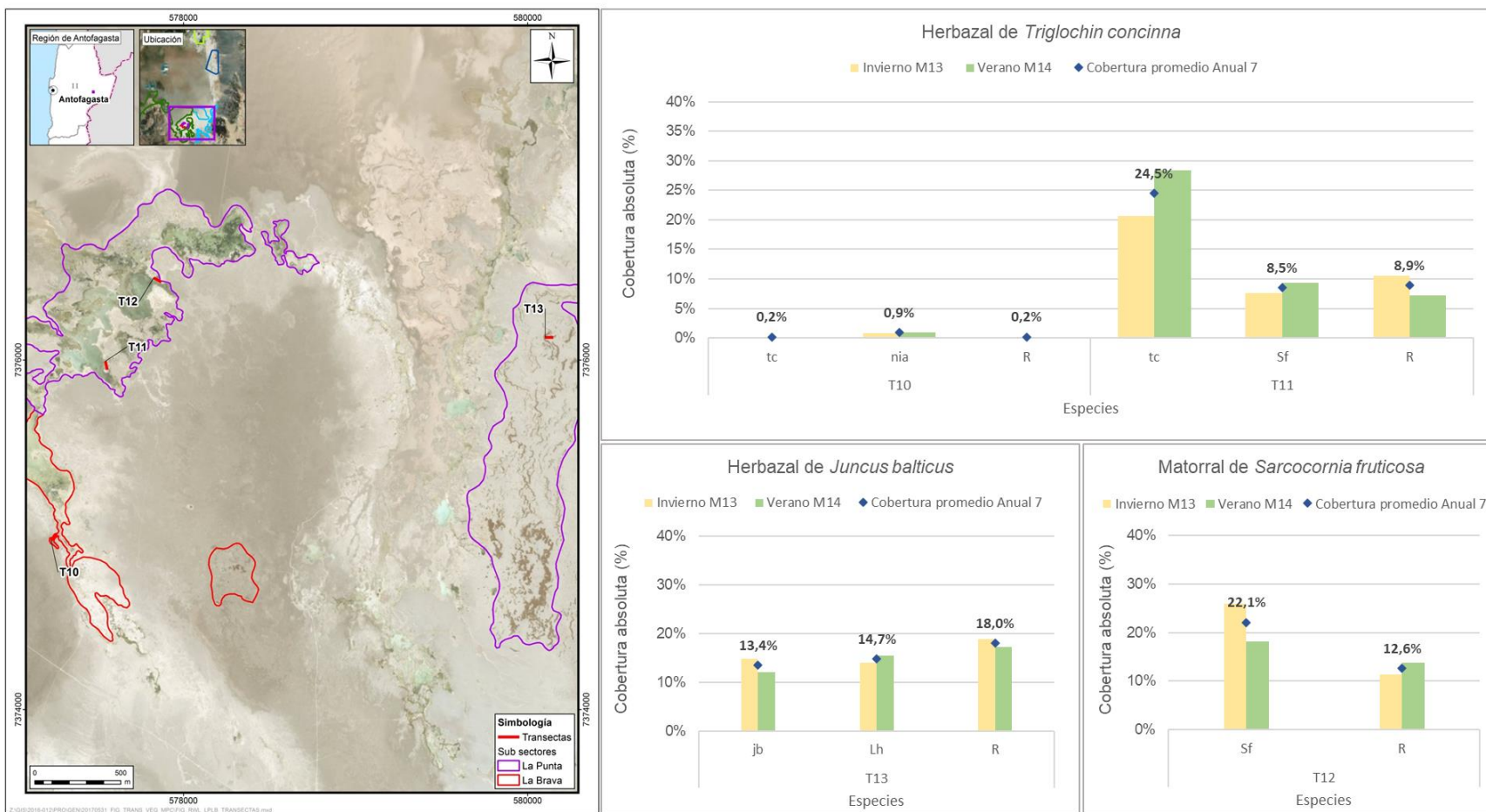
Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus*, esp: *Eleocharis sp.*, Tb: *Tassarja absinthioides*, Lh: *Lycium humile*;
 R: rastrojo (cobertura muerta).
 Fuente: Elaboración propia.

En el **sector La Punta y La Brava** se observan diferencias de cobertura entre invierno y verano (**Figura N° 13-8**), no obstante, no se refleja una tendencia clara entre estaciones por las variaciones observadas entre las formaciones vegetales del sector.

- El herbazal de *Triglochin concinna* muestra en general, una mayor cobertura vegetal para todas sus especies en el monitoreo de verano, aunque para la transecta T10, que presenta muy baja cobertura, la diferencia es muy leve entre ambas estaciones y tampoco presenta cobertura de rastrojo. En relación al rastrojo, en la transecta T11 disminuye la cobertura en verano.
- En el herbazal de *Juncus balticus*, la especie dominante disminuye su cobertura en verano, mientras que la especie acompañante *Lycium humile* aumenta levemente su cobertura en el verano. Respecto a la cobertura de rastrojo, es mayor en invierno, disminuyendo levemente en el verano.
- El matorral de *Sarcocornia fruticosa* muestra una disminución de la cobertura vegetal para su única especie en el verano, así como un aumento del rastrojo para la misma estación.

Para Aguas de Quelana, sector control localizado al Norte del área de estudio, no es posible analizar M13 (invierno), ya que no fue posible realizar el monitoreo por restricciones de acceso al área de la Reserva Nacional los Flamencos. En el caso de Soncor, tampoco hay muestreo en M13 y M14, no obstante, se conoce que en este sector no hay vegetación o elementos de flora aislados que pudieran monitorearse en el tiempo, ya que se trata de un área completamente cubierta por costra salina localizado al Noroeste de Quelana.

Figura N° 13-8. Cobertura absoluta de las especies y rastrojo en los monitoreos de invierno y verano (M13-M14) en el año 7 de seguimiento, sector La Punta y La Brava.



Donde: Especies: jb: *Juncus balticus*, nia: *Nitrophila atacamensis*, tc: *Triglochin concinna*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Lh: *Lycium humile*; R: rastrojo (cobertura muerta)
 Fuente: Elaboración propia.

13.1.2.2 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 M14) 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) y este séptimo año con los monitoreos de invierno (M13) y verano (M14), 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) e invierno (M1-M3-M5-M7-M9-M13), 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 referencia, 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° 13-9**, 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° 13-9**):

- **Peine** corresponde al sector con mayor cobertura vegetal promedio con algunas variaciones entre campañas. La mayor diferencia se registra entre el primer monitoreo de invierno 2016 (M1; 62,5%) con el monitoreo base (MB0; 91,8%), realizados con un mes de diferencia, ya que posteriormente se observan disminuciones y alzas con rangos similares (un mínimo de 62,5% en M1 y en verano

2018-M4 y un máximo de 77,9% en verano 2017-M2). En el último año de monitoreo, las coberturas alcanzan un promedio de 68,8% en invierno (M13) y de 65,2% en verano (M14). En general, la cobertura vegetal promedio del sector se observa estable en su evolución.

- 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 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%). Esta disminución está asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29).
- En **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. Del 39,1% en MB0 a un 24% aproximadamente en los monitoreos del año 5 (M9 y M10), un mayor descenso en el verano 2022 (M12; 17,9%), aumentando levemente en el último año con un 21% en ambas estaciones (M13 y M14).
- Para **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) y 26,5% en M14 (2023) 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.
- 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, mientras que en La Punta y La Brava y Aguas de Quelana se mantienen estables en el último periodo (**Figura N° 13-9**).

Por su parte, destaca el aumento de rastrojo en Tilopozo asociado al deterioro observado en el herbazal de *S. californicus*. 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), además de una alteración puntual en el último periodo por el pisoteo y pastoreo con la introducción del ganado.

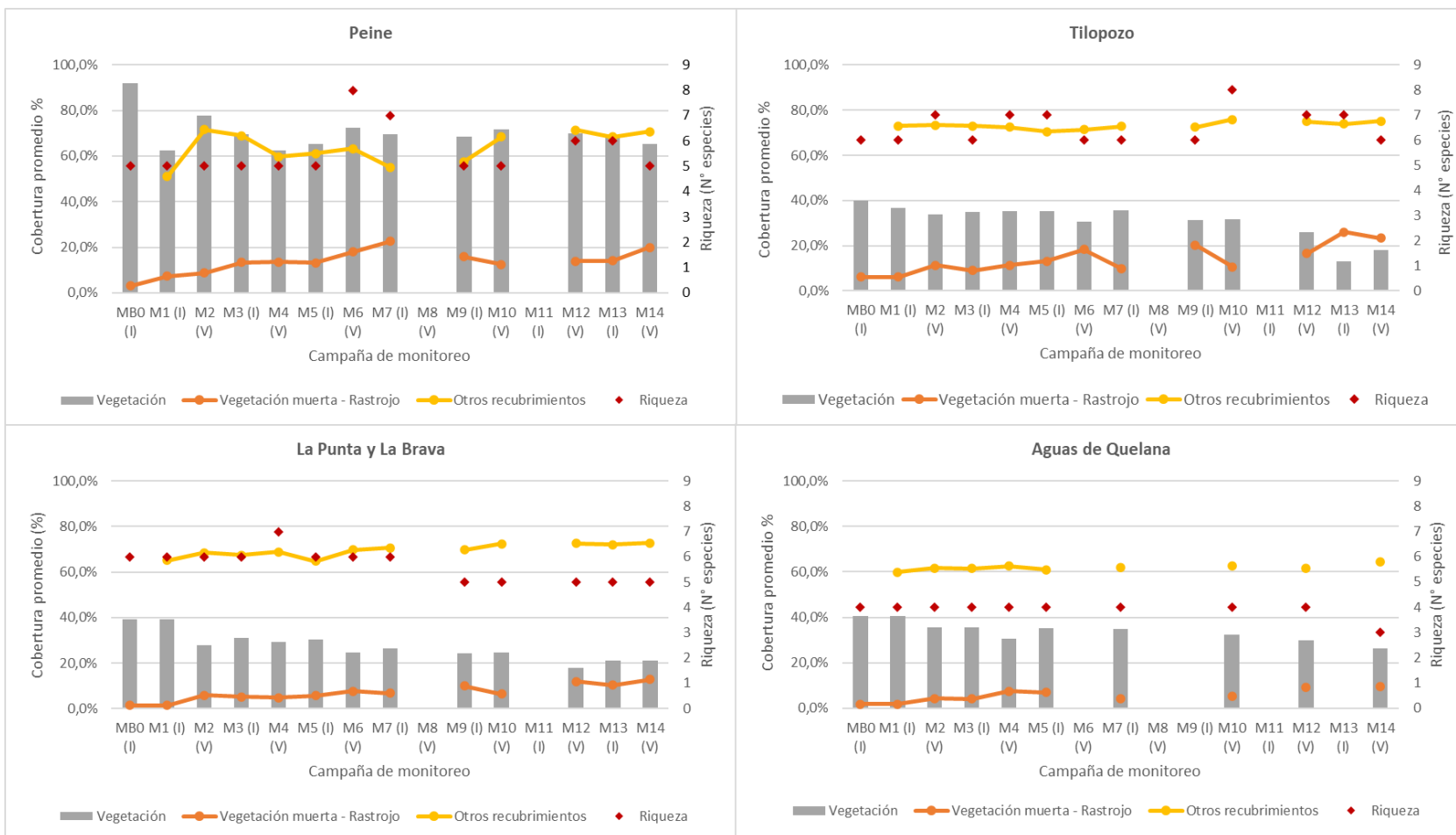
La **riqueza registrada por sector se mantiene estable en el tiempo**, indica algunas diferencias leves entre monitoreos (**Figura N° 13-9**). En **Peine** destaca el aumento de cinco (M5) a ocho especies en el verano de 2019 (M6), en un matorral de *T. absinthioides*. En el caso de **Tilopozo** se observa menor variación en la riqueza, entre seis y siete especies generalmente, con un aumento a ocho especies en el verano 2021 (M10). Los sectores **La Punta y La Brava** y **Aguas de Quelana** presentan diferencias menores, destacando el aumento de una especie en M4 y la disminución de una especie en M9, M10 y M12 (cinco especies) 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 el último verano (M14), 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.

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 más 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%).

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 (**Figura N° 13-9**).

Figura N° 13-9. 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; 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. 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 sí 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° 13-10, Figura N° 13-11, Figura N° 13-12 y Figura N° 13-13**). La variabilidad debiera indicar si se observa una marcada estacionalidad en los datos, además de poder identificar sí 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 variación⁴⁴.

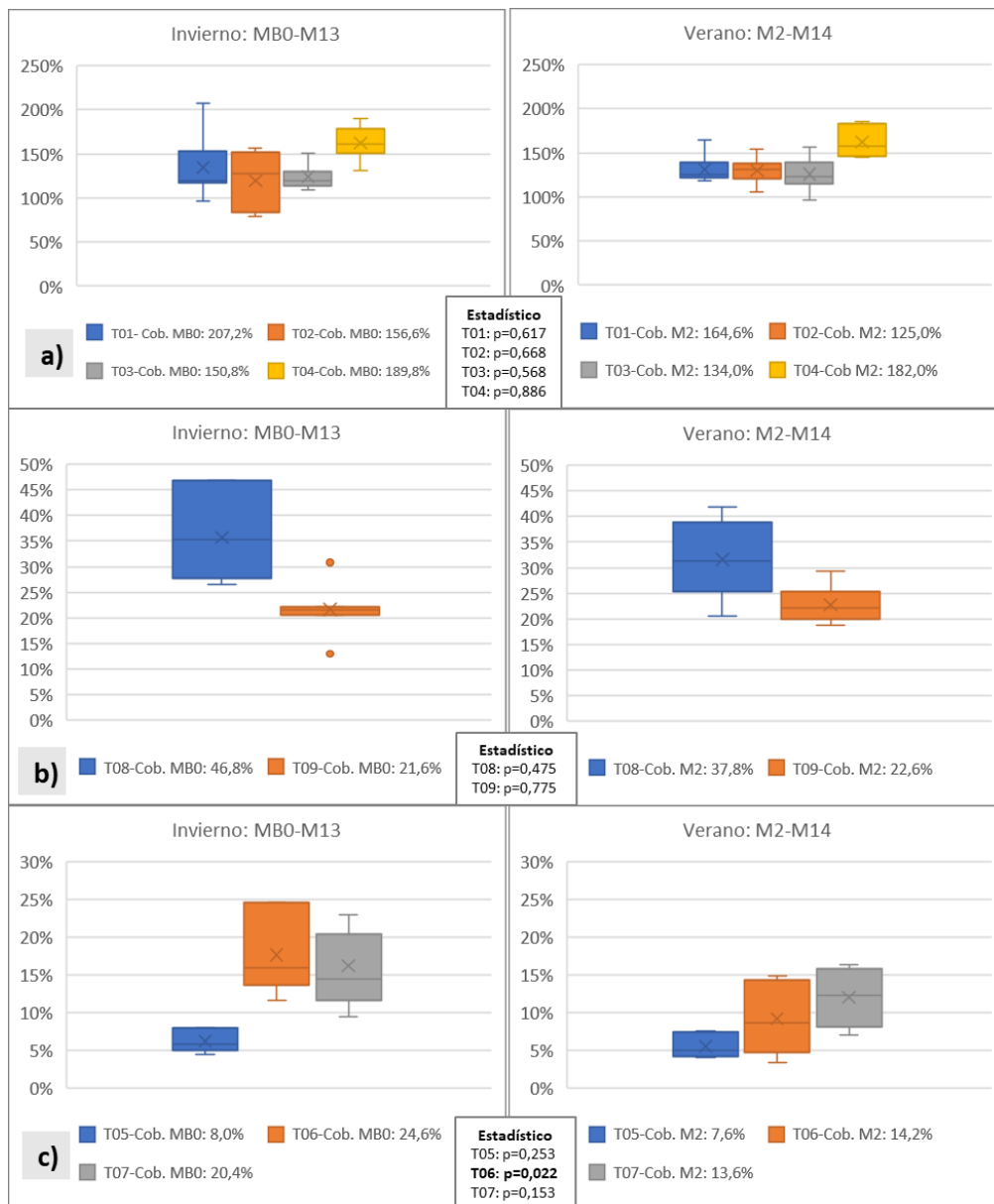
En **Peine (Figura N° 13-10)**, se observan comportamientos distintos en las tres formaciones vegetales, en ambas estaciones. Respecto a la estacionalidad de los valores, solo el matorral de *Tessaria absinthioides* presenta mayor diferencia, en las transectas T06 y T07, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, siendo estadísticamente significativa solo la variación en T06. 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. En cambio, los valores referenciales de M2 para verano muestran, que solo las transectas T01 y T04 en los herbazales de *S. californicus* se encuentran hacia el rango máximo de cobertura.

En **Tilopozo (Figura N° 13-11)**, 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, T24 y T25. En el caso del herbazal de *S. californicus* se presenta una mayor variabilidad en la cobertura de T29, mostrando en invierno una cobertura muy inferior al rango de la mediana. Los valores referenciales de MB0 para invierno muestran, que la cobertura inicial se encuentra hacia el rango máximo en varias transectas (T19, T20, T22, T26, T18, T30, T31, T23, T24 y T25). En cambio, los

⁴⁴ Los niveles de significancia (denotado como α o *alfa*) usados fueron de 0,05. Un α menor o igual a 0,05 indica, con un riesgo del 5%, que existe una variación significativa entre las variables analizadas.

valores referenciales de M2 para verano muestran, que solo la transecta T19 se encuentra hacia el rango máximo de cobertura, ya que en otras formaciones vegetales las coberturas se observan en un rango inferior respecto al invierno (herbazales de *D. spicata* y T18 y T31 en herbazales de *J. balticus* y los matorrales de *T. absinthioides*).

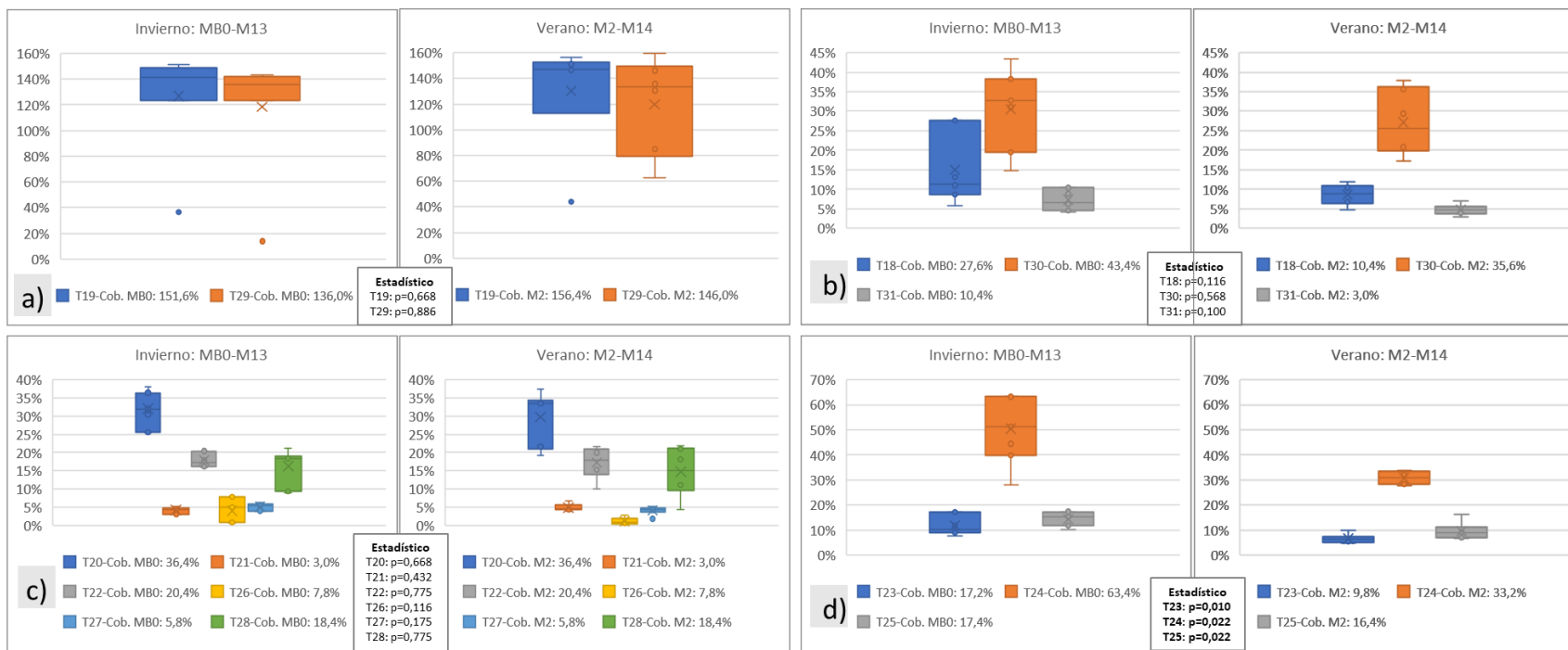
Figura N° 13-10. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Peine



Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, b) Herbazal de *Distichlis spicata* y c) Matorral de *Tessaria absinthioides*.

Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T06: p=0,022 . Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-11. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Tilopozo



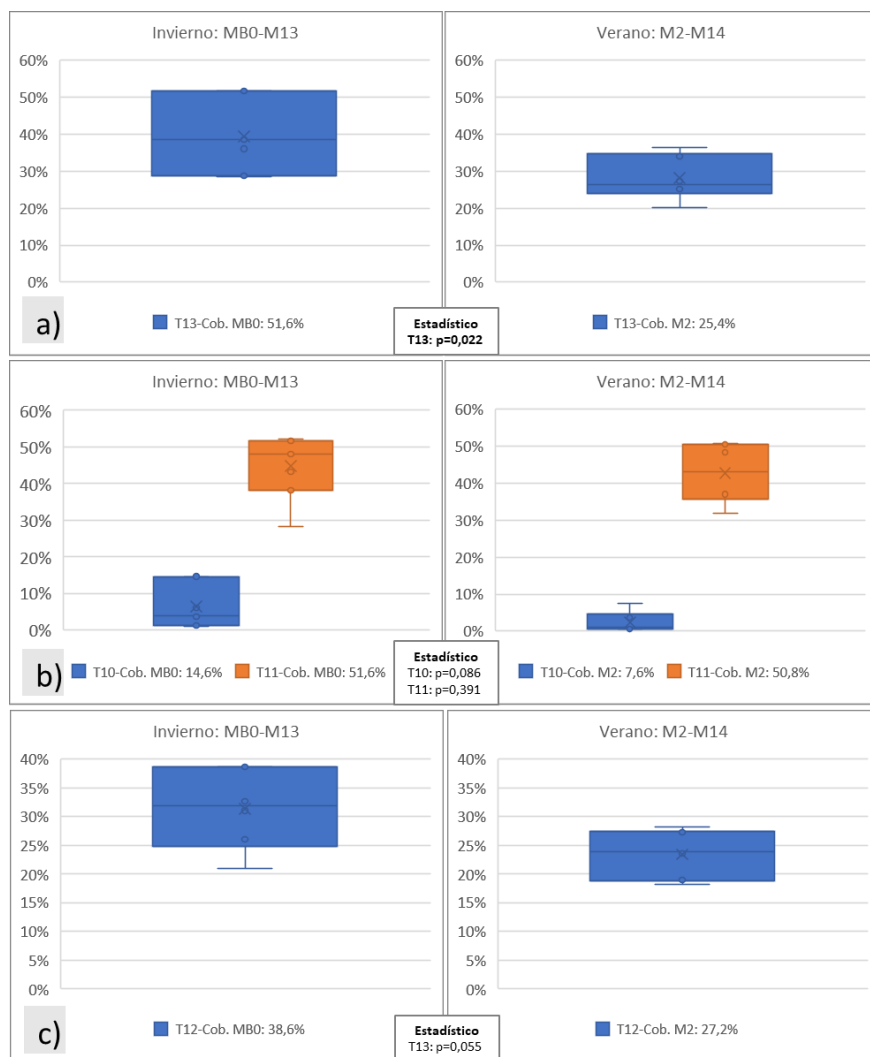
Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, b) Herbazal de *Juncus balticus*, c) Herbazal de *Distichlis spicata* y d) Matorral de *Tessaria absinthoides*.

Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T23: p=0,010, T24: p=0,022 y T25: p=0,022.

Fuente: Elaboración propia.

En **La Punta y La Brava (Figura N° 13-12)**, se observa que los valores se presentan, en general, cercano a la mediana para las tres formaciones vegetales, en ambas estaciones. 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 solo la variación en T13. En general, se observa que las coberturas de invierno presentan una mayor variabilidad que los veranos, a excepción de la transecta T11.

Figura N° 13-12. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector La Punta y La Brava

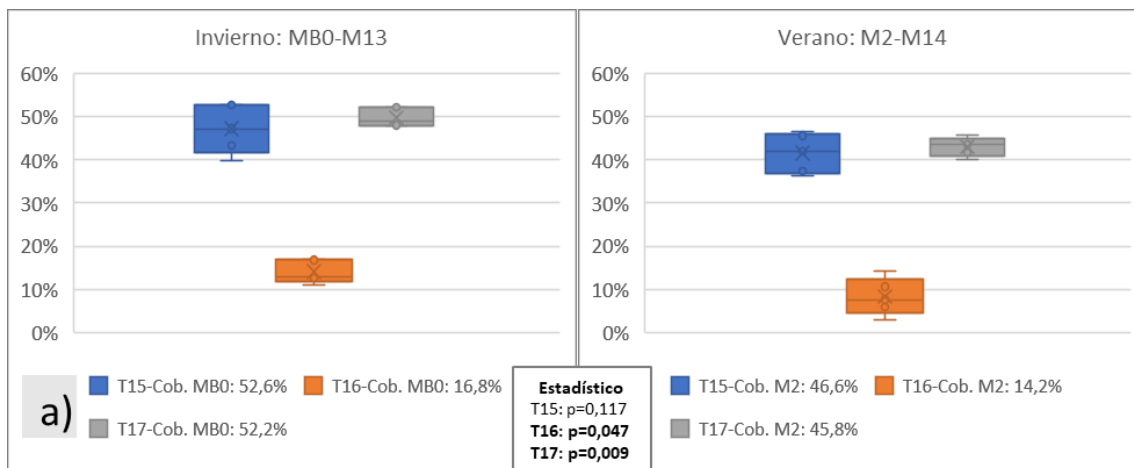


Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Juncus balticus*, b) Herbazal de *Triglochin concinna* y c) Matorral de *Sarcocornia fruticosa*.

Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T13: p=0,022 Fuente: Elaboración propia.

En **Aguas de Quelana (Figura N° 13-13)**, se observa que los valores presentan menor variabilidad de coberturas, probablemente por la menor cantidad de muestreos realizados en este sector. 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 T16 y T17. Aunque con la cantidad de datos existentes (cuatro inviernos, más el invierno de MB0 y cinco veranos) no se atribuye a un resultado robusto y concluyente para el sector.

Figura N° 13-13. 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): T16: p=0,047 y T17: p=0,009
 Fuente: Elaboración propia.

13.1.3 Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI

13.1.3.1 Comparación con valores históricos

La superficie con vegetación a partir de la COT en el área de estudio es de 7.238,0 hectáreas en el último monitoreo de verano de 2023, y en base al método NDVI el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 19,4% (1.405,9 hectáreas), ver **Tabla N° 13-4**.

De esta superficie, en relación con las formaciones vegetales consideradas para el seguimiento del Plan de Manejo Biótico (**Tabla N° 13-5**), la superficie total para el área de estudio es de 5.871 hectáreas, de las cuales 1.325,2 hectáreas (22,6%) representan una cobertura activa según análisis NDVI-2023.

De acuerdo con los valores históricos provenientes desde imágenes de alta resolución (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015), la superficie de vegetación activa en los sectores de Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine, en los siete años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido (**Tabla N° 13-4**). En relación a las superficies activas registradas en el monitoreo verano 2023 y los resultados del monitoreo verano 2022, se observa un leve aumento de la superficie activa en Soncor y un aumento mayor en el sector Aguas de Quelana, y una disminución en los sectores de Peine y Tilopozo – La Punta y La Brava, lo que puede estar relacionado con la variabilidad natural del sistema.

Las formaciones de seguimiento del PMB para el sector Peine alcanzan una superficie total de 2.228,2 hectáreas de las cuales el 21,2% (472,3 hectáreas) corresponde a vegetación activa, siendo la formación de vega con dominancia de *Schoenoplectus californicus* la que presenta mejor relación de cobertura total / vegetación activa con un 82,0% de actividad (14,5 hectáreas), seguida por la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* que presenta 72,8% de actividad (6,5 hectáreas)(**Tabla N° 13-5**).

En el sector de La Punta y La Brava las formaciones de seguimiento alcanzan 59,3 hectáreas, siendo la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* la que presenta mejor relación cobertura total/actividad con 20,9% de vegetación activa en 41,1 hectáreas totales. el sector Tilopozo presenta 2.047,0 hectáreas de formaciones sujetas a seguimiento de las cuales 512,7 hectáreas se presentan en actividad según el índice NDVI, de estas la formación de vega con dominancia de *Schoenoplectus californicus* es la que presenta mejor relación cobertura total/actividad con un 63,1% de actividad en 62,4 hectáreas totales.

En el sector de Soncor, el resultado de superficie de vegetación activa (para las formaciones particulares de seguimiento), es menor en los siete años de monitoreos a la superficie mínima histórica definida (**Tabla N° 13-4**). No obstante, esto se debe al mayor detalle definido por la COT en las campañas posteriores a la RCA, en los ajustes y precisiones realizadas a este instrumento en el contexto del PMB. Este sector posee un porcentaje de vegetación activa de 32,4%, siendo uno de los sectores con mayor porcentaje de cobertura activa por superficie total, aunque es el sector que presenta menor cobertura de vegetación. Dada la predominancia de áreas desprovistas de vegetación (salar), se reconoce la presencia de vegetación activa en este sector, como de importancia para la actividad biológica del área. Las formaciones de seguimiento que conforman el sector Soncor alcanzan una superficie de 24,8 hectáreas de las cuales 32,4% (8,0 hectáreas) corresponden a vegetación activa. La formación de matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* es la que presenta mayor actividad en su superficie total de ocupación con 3,3 hectáreas de vegetación activa en 7,8 hectáreas totales.

En el sector de Aguas de Quelana, el valor de superficie de vegetación activa está por sobre el rango mínimo histórico, superando ampliamente el valor máximo histórico en los siete períodos (2017-2023; **Tabla N° 13-4**). Esto se debe al aumento de la superficie del área de muestreo para el monitoreo en el marco del PMB. Con respecto a las formaciones de seguimiento, para el sector Aguas de Quelana, se reportan 1.511,7 hectáreas de formaciones zonales y azonales **Tabla N° 13-5**, de las cuales 320,7 hectáreas (21,2%) corresponden a vegetación activa. Las formaciones de vega con dominancia de *Distichlis spicata* y el matorral hídrico – vega de *Tessaria absinthioides* con *Lycium humile* y *D. spicata* son las que presentan mayor actividad con 24,5% (49,9 hectáreas) y 22,5% (4,2 hectáreas) respectivamente.

Tabla N° 13-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos Alta Resolución por sector

Sector	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		VALORES HISTÓRICOS DESDE LANDSAT		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN			
	SUPERFICIE (ha)																SUPERFICIE (ha)			
	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	min.	máx.	min.	máx.
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	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	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	-	-	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	-	-	20,8	32,4		
TOTAL	7.262,4	1.691,8	7.238,9	1.216,4	7.238,9	1.518,6	7.260,4	1.320,1	7.238,9	1.242,6	7.238,1	1.604,2	7.238,0	1.405,9						

Donde: COT: Superficie COT con vegetación y NDVI: Superficie vegetación activa NDVI

* 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 2023 y en parámetro NDVI de imagen satelitales Pleiades 1A/1B verano 2023.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en verano 2023, en relación a las formaciones de seguimiento según PMB, por sector.

SECTOR	TIPO VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL (DOMINANCIA)	SUPERFICIE VEGETACIÓN ACTIVA (ha)	SUPERFICIE TOTAL FORMACIÓN VEGETAL (ha)
Peine	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	128,3	687,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	0,8	3,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	6,5	8,9
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	41,1	90,6
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	14,5	17,7
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	281,1	1420,2
<i>Peine</i>			472,3	2.228,2
La Punta y La Brava	Azonal	Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	8,6	41,1
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	2,3	13,6
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	0,2	2,3
		Vega con dominancia de <i>Nitrophila atacamensis</i>	0,3	2,4
<i>La Punta y La Brava</i>			11,5	59,3
Aguas de Quelana	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	130,7	637,3
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	4,6	21,6
		Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,2	18,6
		Matorral hídrico con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	109,2	515,5
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	49,9	203,9
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	22,1	114,8
<i>Aguas de Quelana</i>			320,7	1.511,7
Soncor	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,3	7,8
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	4,7	16,9
<i>Soncor</i>			8,0	24,8
Tilopozo	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	232,0	808,6
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	7,1	45,5
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Juncus balticus</i>	19,3	97,5
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	43,4	164,6

SECTOR	TIPO VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL (DOMINANCIA)	SUPERFICIE VEGETACIÓN ACTIVA (ha)	SUPERFICIE TOTAL FORMACIÓN VEGETAL (ha)
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	2,8	18,2
		Matorral hídrico con dominancia de <i>Lycium humile</i>	13,8	49,6
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	108,4	535,3
		Vega con dominancia de <i>Juncus balticus</i>	25,6	124,7
		Vega con dominancia de <i>Nitrophila atacamensis</i>	5,3	27,0
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	39,3	62,4
		Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	3,6	23,5
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	12,1	90,1
<i>Tilopozo</i>			512,7	2.047,0
<i>Total general</i>			1.325,2	5.871,0

Formaciones de seguimiento según el Plan de manejo Biológico, corresponde a las formaciones: Vega de *Distichlis spicata*, Vega de *Juncus balticus*, Vega de *Schoenoplectus californicus*, Vega de *Triglochin concinna*, Matorral de *Tessaria absinthioides* y Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa*.

Fuente: Elaboración propia.

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 Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B), en la **Tabla N° 13-6 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.

Cabe recordar que se incorpora este análisis en particular para la formación vegetal de *Schoenoplectus californicus*, con el objeto de realizar un seguimiento con mayor detalle en la evolución de la formación vegetal de esta especie hidrófila indicadora de sectores anegados o con mayor presencia de humedad superficial, especialmente en el sector de Peine, dado que es el sector donde mayormente se ha observado a lo largo de los monitoreos, una disminución en la superficie de cobertura activa de esta formación. De acuerdo a las observaciones realizadas a la formación vegetal, se puede señalar que estos descensos están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período Invierno 2018 – Verano 2019 de monitoreos, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector.

De acuerdo con lo anterior, respecto a la formación vegetal de *Schoenoplectus californicus*, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, en este verano 2023 se supera la superficie mínima en los siete años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos y presentando a su vez, una superficie mayor respecto a los períodos 2017-2020. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico en 2023, y levemente inferior al rango observado en 2021-2022, aunque sigue siendo mayor a los registros de 2018 a 2020 (**Tabla N° 13-6**). Cabe destacar que las superficies de vegetación activa observadas en los sucesivos seguimientos pueden estar en parte determinadas por los ajustes en la superficie de vegetación en la COT, como también ser consecuencia de variaciones interanuales.

Tabla N° 13-6. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de *Schoenoplectus californicus*, en relación a los registros históricos de alta resolución

SECTOR	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	Formación vegetal	NDVI (ha)	Formación vegetal	NDVI (ha)	Formación vegetal	NDVI (ha)	Formación vegetal	NDVI (ha)	Formación vegetal	NDVI (ha)	Formación vegetal	NDVI (ha)	Formación vegetal	NDVI (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	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		
Total Peine		20,3		11,9		6,6		7,9		16,9		16,6		14,5		
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>	8,0	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	26,0	59,2
	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,1	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> , <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		
Total Tilopozo - La Punta y La Brava		33,1		38,1		27,2		31,0		46,3		46,8		38,6		

Donde: NDVI: Superficie vegetación activa.

*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 2023.

Fuente: Elaboración propia.

13.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

13.2.1 Representatividad del muestreo

Los muestreos correspondientes a las 14 campañas semestrales (invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y verano 2023) 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 y 2023 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 no se consideran 3 puntos (lagunas Salada y Saladita), ya que no se tuvo acceso por restricciones de acceso por parte de la Comunidad de Peine. Dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, se **limitó para esta componente en verano por tercera 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 y Prohibiciones)

En total, la riqueza acumulada de 66 especies en las 14 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). Es esperable que la fauna registrada al principio del monitoreo fuera un subconjunto del valor acumulado de varios años de estudio, y ahora, transcurridos siete 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 14 campañas semestrales de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, la riqueza acumulada asciende a un total de 66 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 47 especies de aves y 16 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-7**). En la décimo tercera campaña de invierno 2022 se registraron cuatro nuevas especies, no observadas en todo el monitoreo (el Carancho cordillerano, la Llama, el Perro y la Chinchilla cordillerana o de cola corta). De ellas, el Carancho cordillerano si se había registrado en la Línea de Base (Albemarle, 2015). En la décimo cuarta campaña de verano 2023 se registraron dos especies nuevas, no observadas en el monitoreo (el Murciélago de Atacama y la Bandurrilla). De ellas, el murciélago tampoco se había registrado en la Línea de Base (Albemarle, 2015).

De las 66 especies de fauna detectadas, 26 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 23 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, 12 de las especies de aves y 11 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-7**).

Del total de 26 especies en categoría de conservación, 11 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 (cuatro

especies, dos aves y dos mamíferos). Por su parte, 15 especies se catalogan sin amenaza (precautorias; detalle en **Tabla N° 13-7**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 58 de las 66 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° 13-7**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 13-7**).

De acuerdo con su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles), en tanto que otras 60 especies son nativas (una especie de anfibio, 47 especies de aves y 12 especies de mamíferos), y finalmente, cuatro especies son introducidas y/o domesticadas (todos mamíferos; **Tabla N° 13-7**).

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° 13-7**).

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 57 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 13-7**).

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, 10 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 46 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A las especies introducidas/domesticadas, no les aplica un índice de riesgo (**Tabla N° 13-7**).

Del análisis por sector, la mayor riqueza se presenta en el sector de Tilopozo, con 48 especies registradas (el único anfibio detectado, un reptil, 33 aves y 13 mamíferos). Le sigue el sector de Peine, con 32 especies registradas (dos reptiles, 23 aves y siete mamíferos) y finalmente el sector con la menor riqueza es La Punta y La Brava con 24 especies (un reptil, 20 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-7**).

Por otro lado, considerando las especies y su presencia en cada sector, ocho 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*), la gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*), el pato juarjual (*Lophonetta specularioides*), el aguilucho

(*Geranoaetus polyosoma*), el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el lauchón orejado 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° 13-7**).

Tabla N° 13-7. Lista Sistemática Acumulada de especies de fauna registradas a lo largo de las 14 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2023). 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 ²	BE	-	N	S	B	50,35			X
TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA									0	0	1
REPTILIA											
SQUAMATA											
LIOLAEMIDAE											
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC ⁷	SE	-	E	N	B	30,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ⁵	SE	-	E	S	B	83,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA REPTILIA									1	2	1
AVES											
ACCIPITRIFORMES											
ACCIPITRIDAE											
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila	-	BE	-	N	N	A	3,35		X	
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X	X
<i>Circus cinereus</i>	Vari ceniciento	-	BE	-	N	S	A	18,35		X	X
<i>Geranoetus poecilochrous</i>	Aguilucho de la puna	DD ¹⁰	BE	-	N	N	A	3,35			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>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	-	-	-	N	S	A	15	X	X	X
<i>Oressochen melanopterus</i>	Piuquén	LC ¹⁰	-	-	N	S	A	24,5	X		
CHARADRIIFORMES											
CHARADRIIDAE											
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE											
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC ⁹	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	
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	-	BS	-	N	S	A	18,35	X	X	
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	LC ¹¹	BS	-	N	S	A	27,85	X	X	X
RECURVIROSTRIDAE											
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU ¹¹	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>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	-	-	-	N	N	A	7,5			X
FALCONIFORMES											
FALCONIDAE											
<i>Falco femoralis</i>	Halcón perdiguero	IC ¹²	BE	-	N	N	A	11,35			X
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	LC ⁸	BSE	-	N	N	A	7			X
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	Carancho cordillerano	-	BE	-	N	N	A	3,35			X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
GRUIFORMES											
RALLIDAE											
<i>Fulica cornuta</i>	Tagua cornuda	NT ⁶	S	-	N	S	A	32,65	X		
<i>Fulica ardesiaca</i>	Tagua andina	-	S	-	N	S	A	24,15		X	
<i>Fulica gigantea</i>	Tagua gigante	LC ⁹	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
<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>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	N	A	10,85	X	X	X
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina bermeja	-	BSE	-	N	N	A	5	X		X
TYRANNIDAE											
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Agriornis micropterus</i>	Mero de Tarapacá	-	BSE	-	N	N	A	5		X	X
<i>Lessonia oreas</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

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de nuca rojiza	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Tyrannus savanna</i>	Cazamoscas tijereta	-	BSE	-	N	N	A	5			X
THRAUPIDAE											
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	-	S	-	N	N	A	9,15			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>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁹	SE	-	N	S	A	49,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ⁹	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ⁶	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
PODICIPEDIFORMES											
PODICIPEDIDAE											
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	-	E	-	N	S	A	24,15	X		
TOTAL RIQUEZA AVES									20	23	33
MAMMALIA											
ARTIODACTYLA											
CAMELIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Lama glama</i>	Llama	-	-	-	D	N	A	-			X
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU ¹	S	-	N	N	A	48,65			X
<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	VU ¹⁰	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 ¹	E	-	N	N	A	3,65	X	X	X
<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro chilla	LC ¹	E	-	N	N	A	3,65			X
FELIDAE											
<i>Puma concolor</i>	Puma	NT ³	E	-	N	N	A	17,65		X	
CHIROPTERA											
VESPRTLIONIDAE											
<i>Myotis atacamensis</i>	Murciélago de Atacama	NT ⁷	BS	-	N	N	A	26,85			X
DIDELPHIMORPHIA											
DIDELPHIDAE											
<i>Thylamys pallidior</i>	Yaca del norte	-	BSE	-	N	N	M	12,5		X	
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	I	N	A	N/A		X	X
RODENTIA											
CHINCHILLIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Chinchilla chinchilla</i>	Chinchilla cordillerana o de cola corta	CR ⁴	S	MN	N	S	M	64,15			X
CRICETIDAE											
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ¹³	E	-	N	N	M	11,15		X	X
<i>Eligmodontia puerulus</i>	Lauchita de pie sedoso	LC ⁴	S	-	N	N	M	11,15			X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP ¹³	S	-	N	N	M	11,15	X	X	X
CTENOMYIDAE											
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC ¹⁰	S	-	N	N	B	33,65		X	X
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA									3	7	13
TOTAL RIQUEZA SECTOR									24	32	48

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.

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.

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 66 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° 13-7**). 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° 13-7**).

13.2.3.2 Reptiles

Del total de 66 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 Tropicuridae (**Tabla N° 13-7**).

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° 13-7**).

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° 13-7**). 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° 13-7**).

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° 13-7**).

13.2.3.3 Aves

Del total de 66 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las 14 campañas, 47 de ellas corresponden a aves (71,2%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 13-7**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 12 especies (26,1%) se encuentran en categoría de conservación. De ellas, cinco 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 y el flamenco chileno, consideradas Casi amenazadas. Las siete especies restantes, en tanto, están catalogadas “*sin amenaza*”, clasificadas en categoría Insuficientemente conocida (una especie), de Preocupación menor (cinco especies) y con datos deficientes (una especie, detalles en **Tabla N° 13-7**).

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 47 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 seis especies presentan un riesgo medio, y las 39 especies restantes presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 13-7**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Tilopozo presenta la mayor riqueza de aves, con 33 especies registradas (mayormente especies asociadas a ambientes terrestres). Les siguen en riqueza el sector de Peine, con 23 especies registradas, y La Punta y La Brava, con 20 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 13-7**).

13.2.3.4 Mamíferos

Del total de 66 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 16 de ellas corresponden a mamíferos (24,2%), las que se distribuyen en seis órdenes y 10 familias (**Tabla N° 13-7**).

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° 13-7**).

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° 13-7**).

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° 13-7**).

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° 13-8**).

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° 13-8**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal: el mayor número de especies registrado corresponde al el humedal pajonal de Tilopozo, con 27 especies detectadas (con ocho especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por los registros de 20 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 10 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° 13-8**).

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, nueve especies en humedal pajonal de Tilopozo, siete especies en el matorral de Peine, seis especies 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° 13-8**).

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 38 especies registradas en total (un anfibio, un reptil, 27 aves y nueve mamíferos), lo que representa un 58,4% 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 24 especies (un reptil, 20 aves y tres mamíferos) y el matorral de Peine, con 18 especies. A continuación, se encuentran los ambientes de humedal salar de Peine (17 especies), quebrada de Tilopozo (13 especies), el herbazal (nueve 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° 13-8**).

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° 13-8. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.

Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE Nombre común	Ambientes por sector							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
AMPHIBIA								
Sapo Espinoso						X		
TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA	0	0	0	0	0	1	0	0
REPTILIA								
Lagartija de Constanza			X		X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X						

CLASE Nombre común	Ambientes por sector							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	1	0	1	1	1	1
AVES								
Águila			X					
Aguilucho común	X		X			X	X	
Vari ceniciento			X			X	X	
Aguilucho de la puna						X		
Pato jergón chico		X				X		
Pato juarjual	X	X				X		
Piuquén	X							
Chorlo de la puna	X	X						
Gaviota Andina	X	X	X	X				
Playero de Baird	X	X						
Pollito de mar tricolor	X	X						
Pitotoy chico	X	X				X		
Caití	X	X						
Tortolita de la puna			X			X	X	
Tórtola					X	X	X	
Halcón perdiguero						X	X	
Halcón peregrino						X		
Cernícalo						X		
Carancho cordillerano						X		
Tagua cornuda	X							
Tagua andina		X						
Tagua gigante	X							
Churrete acanelado						X		
Minero común						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 de dorso negro	X	X	X			X	X	
Golondrina bermeja	X					X		
Mero gaucho						X	X	X
Mero de Tarapacá			X			X		

CLASE Nombre común	Ambientes por sector							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
Colegial del norte	X	X				X		
Dormilona cenicienta			X			X		X
Dormilona chica						X	X	X
Dormilona de nuca rojiza							X	X
Cazamoscas tijereta						X		
Chirihue verdoso					X		X	
Bailarín chico común	X					X	X	
Garza grande	X							
Garza azul		X				X		
Flamenco chileno	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Blanquillo	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	20	15	10	1	2	27	15	8
MAMMALIA								
Llama						X	X	
Guanaco					X	X	X	
Vicuña	X							
Cabra						X		
Perro							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	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	3	1	7	1	6	9	10	4
TOTAL RIQUEZA AMBIENTE	24	17	18	2	9	38	26	13

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 13-7.

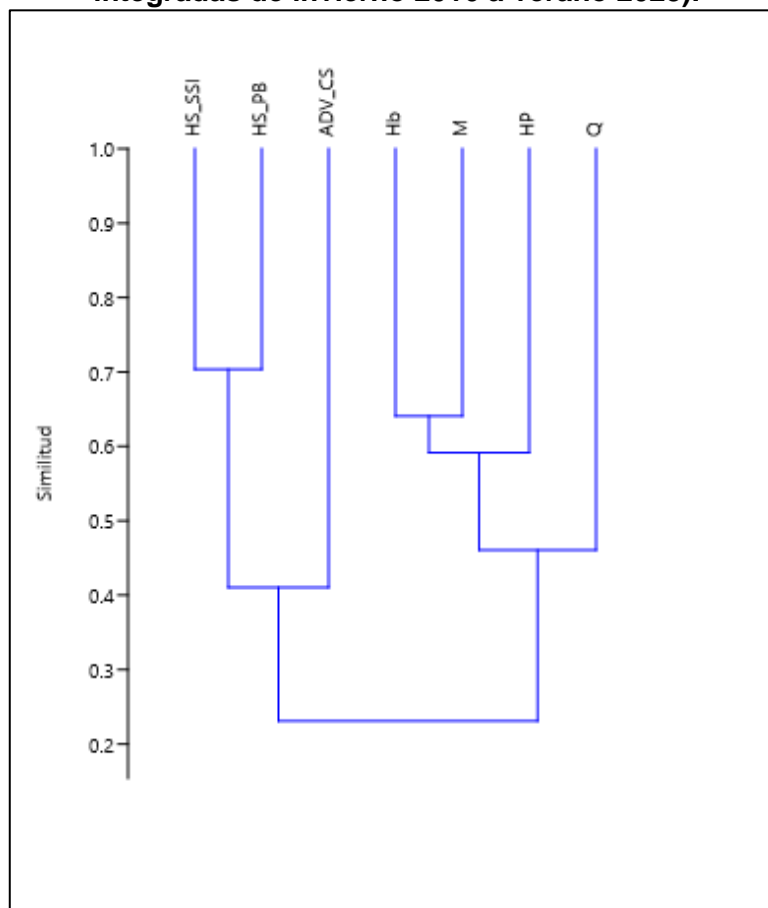
Fuente: Elaboración Propia.

13.2.5 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 13-8** (el que agrupa las 14 campañas de monitoreo), se obtiene el fenograma de similitud de fauna (**Figura N° 13-14**).

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 72%, a este se le asocia el ambiente área desprovista de vegetación costra salar, con una similitud cercana al 43%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada se asocia al resto de los ambientes con una similitud cercana al 47%. Finalmente, ambos grupos se asocian entre sí a una similitud menor al 25% (**Figura N° 13-14**).

Figura N° 13-14. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 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.

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.

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 (100% de abundancia y 4% de frecuencia; **Tabla N° 13-9** y **Tabla N° 13-10**). 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 invierno 2020 (con 41 ejemplares) y menor en invierno 2022 (con ocho individuos; **Tabla N° 13-9**). En todas las campañas (excepto verano 2022), la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre seis a 28 ejemplares avistados (48,5% a 82,4% de abundancia relativa), mientras que la lagartija de Constanza representó entre 17,6% a un 51,6%, con dos a 20 individuos (**Tabla N° 13-9**). 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 16% a un 40% de frecuencia relativa), mientras que la lagartija de Constanza tuvo entre un 4% a un 32% de frecuencia (variando en su registro entre uno a ocho puntos de muestreo; **Tabla N° 13-10**). Cabe destacar que en verano 2021 y 2023 no se muestreó las lagunas de Peine, donde es frecuente la lagartija de Fabián, lo cual explicaría algunos cambios de abundancia relativa. Sin embargo, en las últimas campañas (invierno 2021 y verano 2022) se mantiene el patrón de los años anteriores, en que las abundancias de invierno son menores a las de verano, a pesar de que en verano 2022 no se pudieron muestrear tres puntos (S5, FS1, FSd1a), debido a restricciones por parte de las comunidades.

En relación con las aves registradas, 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 y 2023), 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 verano 2022), destaca la parina grande, con la mayor abundancia absoluta (356 ejemplares en invierno 2021, **Tabla N° 13-10**) y mayor abundancia relativa (59,8% en invierno 2016, **Tabla N° 13-10**) 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; **Tabla N° 13-10**).

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 36%), la parina grande (10% a 36%), 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 28%), mientras que el resto de las especies son poco frecuentes, variando entre uno a cinco puntos (4% a 20% de frecuencia; **Tabla N° 13-10**). En general, las abundancias totales de las aves en este último año (en particular, invierno 2022) están dentro del rango histórico. Por otra parte, para verano 2021, 2022 y 2023, por las razones ya indicadas de muestreo, los valores de abundancia (sobre todo, aves totales y flamencos) no son comparables.

En el caso de los macromamíferos, 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%. 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. 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%. En el caso del puma, se registró sólo una evidencia indirecta en un punto de muestreo en verano 2018 (4% de frecuencia; **Tabla N° 13-9** y **Tabla N° 13-10**). En general, los valores de abundancia y frecuencia de los macromamíferos de las últimas dos campañas (invierno 2021 y verano 2022), están dentro del rango de todo el monitoreo.

Tabla N° 13-9. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.

CLASE	AA														AR (%)													
	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 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**
AMPHIBIA																												
Sapo Espinoso	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL AMPHIBIA	-	-	-	1	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	-
REPTILIA																												
Lagartija de Constanza	7	10	4	6	5	9	12	-	20	14	6	16	2	15	43,8	47,6	21,1	17,6	29,4	25,7	34,3	-	48,8	35	30	51,6	25	39,5
Lagartija de Fabián	9	11	15	28	12	26	23	-	21	26	14	15	6	23	56,3	52,4	78,9	82,4	70,6	74,3	65,7	-	51,2	65	70	48,4	75	60,5
TOTAL REPTILIA	16	21	19	34	17	35	35	Ne	41	40	20	31	8	38	100	100	100	100	100	100	100	Ne	100	100	100	100	100	100
AVES																												
Vari ceniciento	2	-	-	1	-	2	-	-	2	1	-	-	-	-	0,5	-	-	0,2	-	0,4	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-
Águila	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	
Aguilucho común	-	-	1	3	1	1	2	-	1	1	1	2	2	1	-	-	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3	-	0,3	0,5	0,1	1,7	0,5	1
Aguilucho de la puna	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	
Pato jergón chico	-	-	-	3	-	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	0,3	-	0,5	-	0,2	-	-	
Pato juarjual	7	4	6	11	6	4	6	-	5	10	5	-	4	2	1,6	1,4	1,6	2,1	1,2	0,9	1	-	1,3	5	0,6	-	0,9	1,9
Piuquén	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chorlo de la puna	20	26	15	50	28	31	45	-	19	37	9	16	16	5	4,6	8,9	4	9,6	5,4	6,7	7,8	-	4,8	18,5	1,1	13,3	3,7	4,8
Gaviota Andina	6	3	11	1	12	5	32	-	16	1	15	-	22	-	1,4	1	2,9	0,2	2,3	1,1	5,5	-	4,1	0,5	1,9	-	5,1	-
Caití	15	14	19	33	14	40	14	-	9	2	14	-	10	5	3,4	4,8	5,1	6,3	2,7	8,6	2,4	-	2,3	1	1,7	-	2,3	4,8

CLASE	AA													AR (%)														
	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 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**
Playero de Baird	5	23	18	19	13	28	42	-	71	38	50	29	9	23	1,1	7,9	4,8	3,7	2,5	6	7,3	-	18,1	19	6,2	24,2	2,1	21,9
Pollito de mar tricolor	4	44	2	42	-	-	11	-	21	10	12	-	-	-	0,9	15,1	0,5	8,1	-	-	1,9	-	5,4	5	1,2	-	-	-
Pitotoy chico	-	-	-	6	-	-	-	-	1	-	-	-	-	10	-	-	-	1,2	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	9,5
Tortolita de la puna	-	-	-	1	-	-	33	-	8	6	4	-	-	2	-	-	-	0,2	-	-	5,7	-	2	3	0,5	-	-	1,9
Tórtola	6	1	-	-	1	1	9	-	1	-	-	-	-	-	1,4	0,3	-	-	0,2	0,2	1,6	-	0,3	-	-	-	-	-
Halcón perdiguero	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Halcón peregrino	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cernícalo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carancho cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
Tagua andina	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tagua cornuda	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tagua gigante	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Churrete acanelado	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Minero común	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-
Minero grande	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minero chico	-	12	-	29	5	2	-	-	-	-	7	-	-	-	-	4,1	-	5,6	1	0,4	-	-	-	-	0,9	-	-	-
Minero de la Puna	-	-	2	21	11	5	2	-	-	6	-	2	-	-	-	-	0,5	4	2,1	1,1	0,3	-	-	3	-	1,7	-	-
Minero cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Tijeral común	1	2	-	2	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	0,2	0,7	-	0,4	-	-	-	-	-	1,5	0,4	-	-	-
Bandurrilla común	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

CLASE	AA														AR (%)													
	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 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**
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	2,9
Golondrina de dorso negro	3	-	4	-	3	-	8	-	6	1	4	13	1	6	0,7	-	1,1	-	0,6	-	1,4	-	1,5	0,5	0,5	10,8	0,2	5,7
Bailarín chico común	4	5	6	20	9	3	13	-	2	4	-	-	-	-	0,9	1,7	1,6	3,8	1,8	0,6	2,3	-	0,5	2	-	-	-	-
Chirihue verdoso	-	-	-	68	126	-	28	-	-	38	209	-	-	-	-	-	-	13,1	24,5	-	4,9	-	-	19	26	-	-	-
Mero de Tarapacá	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-
Mero gaucho	-	2	-	-	2	5	-	-	2	2	-	3	1	1	-	0,7	-	-	0,4	1,1	-	-	0,5	1	-	2,5	0,2	1
Colegial del norte	-	2	2	2	1	5	-	-	2	-	3	2	4	1	-	0,7	0,5	0,4	0,2	1,1	-	-	0,5	-	0,4	1,7	0,9	1
Dormilona cenicienta	-	-	1	1	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	-	0,5	-	0,1	-	-	-
Dormilona chica	-	1	-	4	3	2	-	-	2	-	4	2	-	-	-	0,3	-	0,8	0,6	0,4	-	-	0,5	-	0,5	1,7	-	-
Dormilona de nuca rojiza	1	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	0,2	-	-	0,4	-	0,4	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Cazamoscas tijereta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Garza grande	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Garza azul	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Flamenco andino o Parina grande	262	92	156	113	172	202	212	-	119	10	356	12	218	7	59,8	31,5	41,5	21,7	33,5	43,5	36,7	-	30,4	5	44	10	50,3	6,7
Flamenco de James o Parina chica	39	11	6	17	51	50	50	-	31	-	40	19	69	-	8,9	3,8	1,6	3,3	9,9	10,8	8,7	-	7,9	-	5	15,8	16,0	-
Flamenco chileno	63	46	125	67	53	69	67	-	67	22	67	20	68	37	14,4	15,8	33,2	12,9	10,3	14,9	11,6	-	17,1	11	8,3	16,7	15,7	35,2
Blanquillo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL AVES	438	292	376	520	514	464	577	Ne	392	200	806	120	433	105	100	100	100	100	100	100	100	Ne	100	100	100	100	100	100

CLASE	AA														AR (%)													
	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 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**
MAMMALIA																												
Llama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57+2x	12+x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guanaco	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vicuña	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro culpeo	6+3x	3	3+4x	11+1x	6+7x	5+6x	2+6x	-	7+4x	6+x	6+4x	2+3x	6+5x	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro chilla	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Murciélago de Atacama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puma	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Burro	8+5x	8+5x	4x	8+5x	5+5x	5+7x	5+4x	-	5X	5+x	4+3x	4+x	3+4x	2+3x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chinchilla cordillerana o de cola corta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7x	4+6x	6+6x	8+4x	7+4x	2+4x	5+7x	-	7x	2+6x	6x	1+5x	7x	1+5x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) 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 y 2023 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (***) en la campaña de Verano 2022 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo.

Nota 1: para la clase Mammalia no es aplicable la suma total de ejemplares (como si ocurre para las clases Amphibia, 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 trampeo de micromamíferos).

Nota 2: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 13-7.

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.

La X indica presencia indirecta. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 13-10. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.

CLASE	FA														FR (%)													
	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 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**
AMPHIBIA																												
Sapo Espinoso	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
REPTILIA																												
Lagartija de Constanza	5/25	3/25	1/25	5/25	2/25	5/25	5/25	-	8/25	6/20	6/25	5/22	2/25	6/20	20	12	4	20	8	20	20	-	32	30	24	22,7	8	30
Lagartija de Fabián	4/25	7/25	5/25	10/25	4/25	6/25	7/25	-	6/25	6/20	7/25	5/22	2/25	5/20	16	28	20	40	16	24	28	-	24	30	28	22,7	8	25
AVES																												
Vari ceniciento	2/25	-	-	1/25	-	1/25	-	-	1/25	1/20	-	-	-	-	8	-	-	4	-	4	-	-	4	5	-	-	-	-
Águila	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
Aguilucho común	-	-	1/25	3/25	1/25	1/25	1/25	-	1/25	1/20	1/25	2/22	2/25	1/20	-	-	4	12	4	4	4	-	4	5	4	9,1	8	5
Aguilucho de la puna	-	-	-	-	-	-	-	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
Pato jergón chico	-	-	-	1/25	-	-	1/25	-	1/25	-	1/25	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4	-	4	-	4	-	-	-
Pato juarjual	3/25	3/25	3/25	4/25	3/25	2/25	3/25	-	3/25	4/20	3/25	-	2/25	1/20	12	12	12	16	12	8	12	-	12	20	12	-	8	5
Piuquén	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chorlo de la puna	8/25	10/25	7/25	9/25	8/25	10/25	8/25	-	8/25	6/20	5/25	5/22	10/25	4/20	32	40	28	36	32	40	32	-	32	30	20	22,7	40	20
Gaviota Andina	3/25	2/25	6/25	1/25	2/25	3/25	6/25	-	7/25	1/20	3/25	-	5/25	-	12	8	24	4	8	12	24	-	28	5	12	-	20	-
Caití	6/25	4/25	6/25	3/25	5/25	2/25	7/25	-	4/25	1/20	6/25	-	4/25	1/20	24	16	24	12	20	8	28	-	16	5	24	-	16	5
Playero de Baird	2/25	9/25	3/25	5/25	6/25	8/25	9/25	-	10/25	5/20	9/25	6/22	2/25	5/20	8	36	12	20	24	32	36	-	40	25	36	27,3	8	25
Pollito de mar tricolor	2/25	7/25	1/25	2/25	-	-	2/25	-	3/25	3/20	2/25	-	-	-	8	28	4	8	-	-	8	-	12	15	8	-	-	-
Pitotoy chico	-	-	-	2/25	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	3/20	-	-	-	8	-	-	-	-	4	-	-	-	-	15
Tortolita de la puna	-	-	-	1/25	-	-	5/25	-	2/25	4/20	2/25	-	-	2/20	-	-	-	4	-	-	20	-	8	20	8	-	-	10

CLASE	FA														FR (%)													
	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 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**
Tórtola	2/25	1/25	-	-	1/25	1/25	3/25	-	1/25	-	-	-	-	-	8	4	-	-	4	4	12	-	4	-	-	-	-	-
Halcón perdiguero	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
Halcón peregrino	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cernícalo	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carancho cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Tagua andina	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tagua cornuda	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tagua gigante	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Churrete acanelado	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Minero común	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2/25	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-
Minero grande	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minero chico	-	1/25	-	2/25	1/25	1/25	-	-	-	-	2/25	-	-	-	-	4	-	8	4	4	-	-	-	-	8	-	-	-
Minero de la Puna	-	-	1/25	4/25	3/25	2/25	1/25	-	-	3/20	-	1/22	-	-	-	-	4	16	12	4	4	-	-	15	-	4,5	-	-
Minero cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
Tijeral común	1/25	1/25	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	1/25	-	-	-	4	4	-	4	-	-	-	-	-	5	4	-	-	-
Bandurrilla común	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	5
Golondrina de dorso negro	2/25	-	4/25	-	1/25	-	3/25	-	5/25	1/20	4/25	5/22	1/25	1/20	8	-	16	-	4	-	12	-	20	5	16	22,7	4	5
Bailarín chico común	2/25	2/25	2/25	3/25	3/25	1/25	5/25	-	2/25	3/20	-	-	-	-	8	8	8	12	12	4	20	-	8	15	-	-	-	-
Chirihue verdoso	-	-	-	2/25	2/25	-	2/25	-	-	3/20	3/25	-	2/25	-	-	-	-	8	8	-	8	-	-	15	12	-	8	-
Mero de Tarapacá	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
Mero gaucho	-	2/25	-	-	2/25	4/25	-	-	1/25	2/20	-	2/22	1/25	1/20	-	8	-	-	8	16	-	-	4	10	-	9,1	4	5

CLASE	FA														FR (%)													
	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 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**
Colegial del norte	-	2/25	1/25	1/25	1/25	4/25	-	-	1/25	-	3/25	2/22	3/25	1/20	-	8	4	4	4	16	-	-	4	-	12	9,1	12	5
Dormilona cenicienta	-	-	1/25	1/25	-	-	-	-	1/25	-	1/25	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	4	-	4	-	-	-
Dormilona chica	-	1/25	-	2/25	1/25	1/25	-	-	2/25	-	3/25	2/22	-	-	-	4	-	8	4	4	-	-	8	-	12	9,1	-	-
Dormilona de nuca rojiza	1/25	-	-	1/25	-	1/25	-	-	-	-	-	-	1/25	-	4	-	-	4	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-
Cazamoscas tijereta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Garza grande	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Garza azul	-	-	-	-	-	1/25	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-
Flamenco andino o Parina grande	5/25	6/25	6/25	3/25	3/25	3/25	7/25	-	6/25	3/20	9/25	3/22	8/25	2/20	20	24	24	12	12	12	28	-	24	15	36	13,6	32	10
Flamenco de James o Parina chica	3/25	2/25	1/25	1/25	3/25	3/25	4/25	-	4/25	-	4/25	3/22	6/25	-	12	8	4	4	12	12	16	-	16	-	16	13,6	24	-
Flamenco chileno	7/25	8/25	8/25	5/25	5/25	3/25	7/25	-	6/25	4/20	9/25	5/22	6/25	4/20	28	32	32	20	20	12	28	-	24	20	36	22,7	24	20
Blanquillo	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAMMALIA																												
Llama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4/25	2/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	10
Guanaco	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/25	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Vicuña	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	-	-
Cabra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Perro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Zorro culpeo	9/25	3/25	7/25	9/25	11/25	10/25	8/25	-	10/25	7/20	10/25	5/22	11/25	8/20	36	12	28	36	44	40	32	-	40	35	40	22,7	44	40
Zorro chilla	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-
Murciélago de Atacama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Puma	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Burro	6/25	6/25	4/25	6/25	6/25	8/25	5/25	-	5/25	2/20	4/25	2/22	5/25	4/20	24	24	16	24	24	32	20	-	20	10	16	9,1	20	20

CLASE	FA														FR (%)													
Nombre Común	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 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**
Chinchilla cordillerana o de cola corta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7/25	7/25	7/25	7/25	6/25	6/25	8/25	-	7/25	7/20	6/25	6/22	7/25	6/20	28	28	28	28	24	24	32	-	28	35	24	27,3	28	30

(*) 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 y 2023 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (***) en la campaña de Verano 2022 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo.

Nota 1: para la clase Mammalia no es aplicable la suma total de ejemplares (como si ocurre para las clases Amphibia, 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° 13-7.

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

Fuente: Elaboración Propia.

13.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)

En un análisis global, comparando las 14 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 4,2 individuos/transecto, en invierno 2016 y verano 2021, 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 1,4 individuos/transecto, en verano 2022), mientras que el ambiente de ADV costra salar no ha registrado ejemplares (**Tabla N° 13-11**).

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 8,2 individuos/transecto en verano 2023 (con restricciones de acceso) a 52,0 ind/transecto en invierno 2021; seguido por el matorral (máximo de 27,4 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, invierno 2021 y verano 2023; **Tabla N° 13-11**).

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° 13-11. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 14 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2023).

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	V20*	I20	V21**	I21	V22**	I22	V23**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I21	V22	I22	V23
REPTILIA	0,8	1,0	1,4	2,5	1,1	2,4	2,1	-	1,9	4,2	1,1	1,9	0,5	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AVES	38,7	24,5	33,6	34,2	32,9	39,6	44,2	-	33,2	22,3	52,0	13,3	38,0	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																											
	Herbazal (2)														Humedal pajonal (2)													
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I21	V22	I22	V23	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I21	V22	I22	V23
REPTILIA	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-	1,0	2,5	0,5	0,0	0,0	0,5	2,0	4,0	2,0	1,0	2,5	2,5	4,5	-	4,5	2,5	0	2,5	0,5	0,5
AVES	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-	0,5	0,0	0,0	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
CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																											
	Matorral (8)														Quebrada (1)													
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I21	V22	I22	V23	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I21	V22	I22	V23
REPTILIA	0,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,5	0,4	-	0,8	0,3	0,6	1,4	0,1	1,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AVES	0,1	0,1	0,0	13,5	18,0	1,4	6,5	-	0,6	6,5	27,4	0,3	15,9	0,25	1,0	15,0	0,0	7,0	1,0	6,0	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; **I22:** Invierno 2022; **V23:** Verano 2023. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejado 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° 13-12**). 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° 13-12**).

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 orejado 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° 13-12**).

Tabla N° 13-12. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2023.

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
INVIERNO 2016												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0	0/120	1,7	2/120	0,8	1/120	3,3	2/60
Ratón orejudo amarillo	3,3	2/60	0	0/60	0,8	1/120	2,5	3/120	1,7	2/120	11,7	7/60
VERANO 2017												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	0,8	1/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	3,3	4/120	9,2	11/120	6,7	4/60
INVIERNO 2017												
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	2,5	3/120	1,7	2/120	3,3	2/60
VERANO 2018												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0,8	1/120	0	0/120	0	0/120	5,0	3/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	6,7	4/60	0,8	1/120	0,8	1/120	2,5	3/120	6,7	4/60
INVIERNO 2018												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	2,5	3/120	1,7	2/120	0,8	1/120	5	3/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	1,7	2/120	0,8	1/120	1,7	1/60
VERANO 2019												
Yaca del norte	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	13,3	16/120	10,0	12/120	1,7	1/60
Lauchita de pie sedoso	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	1,7	2/120	10,0	12/120	1,7	1/60
INVIERNO 2019												
Yaca del norte	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0	0/120	21,7	26/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	2,5	3/120	1,7	2/120	3,3	2/60
VERANO 2020*												
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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
INVIERNO 2020												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	1/60	2,5	3/120	0	0/180	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	1,7	1/60	2,5	3/120	3,9	7/180	0	0/60
VERANO 2021												
Ratón andino	0	0/30	0	0/30	0	0/60	11,7	7/60	0	0/60	3,3	1/30
Ratón orejudo amarillo	0	0/30	0	0/30	1,7	1/60	0	0/60	1,7	1/60	13,3	4/30
INVIERNO 2021												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0,0	0/60	1,7	2/120	0	0/180	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	2/60	0,8	1/120	1,7	3/180	0	0/60
VERANO 2022												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	4,2	5/120	0	0/120	3,3	2/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	0	0/120	5,8	7/120	0,8	1/120	1,7	1/60
INVIERNO 2022												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0,8	1/120	5,3	7/120	0	0/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0	0/120	0	0/60
VERANO 2023												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0	0/120	7,5	9/120	3,3	4/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0,8	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 la 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 66 especies registradas en estas 14 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) (**Tabla N° 13-13**). En dicho informe, se registra un total acumulado de un

anfibia, 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 66 especies observadas en el periodo de monitoreo de estos últimos siete años (2016 a 2023), 21 especies no se habían registrado en la línea de base (Albemarle, 2015), y son:

- un anfibio: el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*),
- 15 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*) y minero cordillerano (*Geositta rufipennis*).
- 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 diferente esfuerzo 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° 13-13**), la composición de especies de estas 14 campañas del PMB, desde agosto 2016 a marzo 2023, es mayor (45 versus 66, respectivamente), variando la proporción básicamente para la clase aves (32 versus 47, con las 15 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 la línea de base (SQM 2006-2012 y MEL 2009) (Albemarle, 2015), 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° 13-13. 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 y verano 2023.

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	Ago 2016-Mar 2023
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	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
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	19	17	27	21	21	18	22	21	19	11	16	15	47
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	6	4	6	5	8	6	5	5	5	6	9	8	16
TOTAL	18	12	26	21	17	17	45	62	22	27	23	36	28	31	26	29	28	26	19	27	25	66

*Incluye además dos estudios adicionales (i.e. SQM 2006-2012 y MEL 2009), cuya información está contenida en Línea de Base (Albemarle, 2015). Nota: en verano 2020, no se pudo realizar el monitoreo, por la pandemia de COVID 19.

Fuente: Elaboración Propia en base Albemarle, 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 (Albemarle, 2015), 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 14 campañas de invierno 2016 a verano 2023 se han observado 27 especies (un reptil, 23 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-8**).

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 14 campañas de invierno 2016 a verano 2023 se registraron 17 especies (un reptil, 15 aves y un mamífero; **Tabla N° 13-8**), pese a que en los tres 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 2023 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 2022, 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 julio de 2014, 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° 13-13**).

En la otra estación, comparando el registro de las campañas de verano del PMB (2017 a verano 2023), 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 19 especies, en verano de 2022 (con dos reptiles, 11 aves y seis mamíferos), hasta un máximo de 36 especies, en verano 2018 (un anfibio, dos reptiles, 27 aves y seis mamíferos; **Tabla N° 13-13**). Cabe señalar que el valor de riqueza para los veranos de 2021, 2022 y 2023, 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° 13-14**). 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 seis inviernos de monitoreo (**Tabla N° 13-14**). 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 2022, 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° 13-14**).

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° 13-14**). 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 y 2023 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 2022, y tal vez el caso más interesante es la ausencia de ejemplares de parina chica, pollito de mar tricolor, gaviota andina y pato juarjual en 2015 (**Tabla N° 13-14**).

Tabla N° 13-14. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas de línea de base (LB) (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2023).

Nombre común	Humedal Salar																							
	La Punta-La Brava								Peine (Salada, Saladita e Interna)								La Punta-La Brava y Peine							
	Invierno 2014 (LB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2014 (LB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Verano 2015 (LB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**	Verano 2022***	Verano 2023**
Aguilucho común							X																	
Pato colorado																X								
Pato jergón chico																		X						
Pato juarjual	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	
Gaviota andina		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	
Playero de Baird	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				
Pitotoy chico													X				X						X	
Tagua andina										X														

Nombre común	Humedal Salar																								
	La Punta-La Brava								Peine (Salada, Saladita e Interna)								La Punta-La Brava y Peine								
	Invierno 2014 (LB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2014 (LB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Verano 2015 (LB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**	Verano 2022***	Verano 2023**	
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		
Bailarín chico común		X	X	X	X	X											X	X				X			
Colegial del norte			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	
Flamenco de James o Parina chica	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	
Blanquillo				X																					

Nombre común	Humedal Salar																							
	La Punta-La Brava								Peine (Salada, Saladita e Interna)								La Punta-La Brava y Peine							
	Invierno 2014 (LB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2014 (LB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Verano 2015 (LB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**	Verano 2022***	Verano 2023**
TOTAL POR AMBIENTE	6	9	13	12	11	12	10	10	6	9	9	9	9	10	7	9	7	12	14	11	Ne	10	7	8

(*) 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 y 2023 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, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023): 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 2022 (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° 13-15**), 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 ocho 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*, verano 2019), 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° 13-15**).

Tabla N° 13-15. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas de línea de base (LB) (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2023).

CLASE Nombre Común	CAMPAÑA															
	2014 (LB)*	Verano 2015 (LB)	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
ANFIBIOS																
Sapo espinoso						X										
Subtotales anfibios						1										
REPTILES																
Lagartija de Constanza	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
Subtotales reptiles	2	1	2	2	2	2	2	2	2	Ne	2	2	2	2	2	2
MAMÍFEROS																
Cabra																X
Guanaco				X											X	
Llama															X	X
Vicuña														X		
Perro															X	
Zorro chilla								X							X	
Zorro culpeo	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Murciélago de Atacama																X
Puma						X										
Yaca del norte	X							X	X							
Burro		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								
Ratón andino	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Ratón orejudo amarillo	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
Subtotales mamíferos	5	5	5	6	4	6	5	8	6		5	5	5	6	9	8
RIQUEZA TOTAL	7	6	7	8	6	8	7	10	8	Ne	7	7	7	8	11	10

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 14 campañas de monitoreo como las dos campañas de Línea de Base, se han registrado 24 especies en total (**Tabla N° 13-16**). 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° 13-16**). Por el contrario, 15 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° 13-16**). 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° 13-16**).

Tabla N° 13-16. 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**
Aguilucho común	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0
Pato colorado	0	2	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
Pato juarjual	8	0	0	4	0	11	6	4	4		5	10	5	0	4	2
Piuquén	0	0	0	0	0	1	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
Gaviota andina	0	0	6	3	11	1	12	5	32		14	1	14	0	22	0
Caití	16	2	15	14	19	33	14	40	14		9	2	14	0	10	5
Playero de Baird	1	22	5	23	18	19	13	28	42		71	38	50	29	9	23
Pollito de mar tricolor	0	0	4	44	2	42	0	0	11		21	10	12	0	0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0		1	0	0	0	0	10
Tagua andina	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	0	1	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

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**
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	3	0	3	0	3	0	5		5	1	2	8	1	0
Bailarín chico común	0	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3	0	0	0	0
Colegial del norte	0	2	0	2	2	2	1	4	0		2	0	3	2	4	1
Garza azul	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0
Garza grande	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Parina grande	135	32	262	92	156	113	172	202	212		119	10	356	12	218	7
Parina chica	79	0	39	11	6	17	51	50	50		31	0	40	19	69	0
Flamenco chileno	32	15	65	46	125	67	53	69	67		67	22	67	20	68	37
Blanquillo	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0
TOTAL	276	84	419	270	363	376	362	435	486	Ne	365	134	572	106	422	90

(*) 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

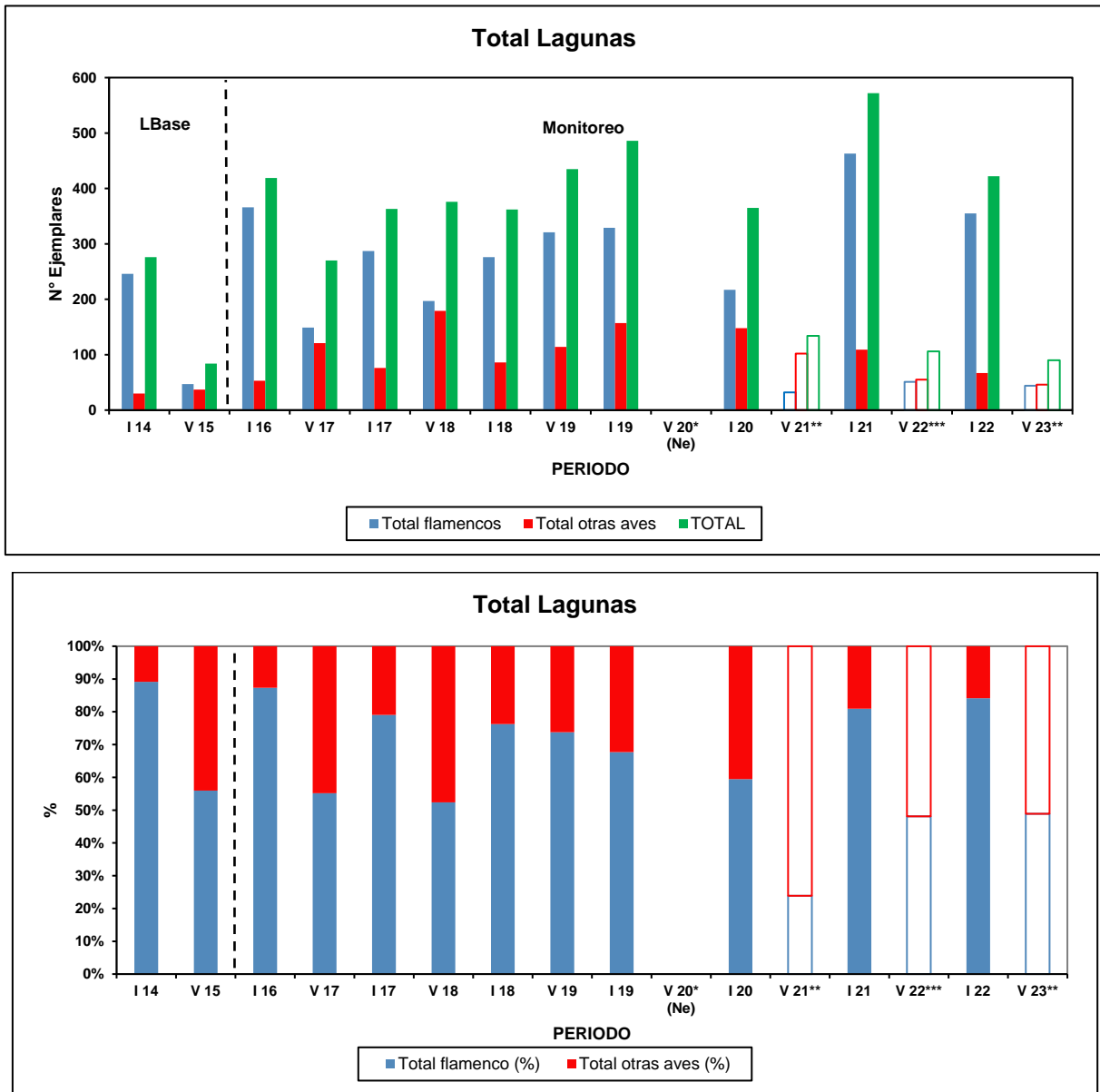
A continuación, se agrupan las abundancias de los flamencos en relación al resto de las aves. Esto se analiza pues estas tres especies acuáticas son, por una parte, las más importantes numéricamente, y por otra, todas se consideran “*bajo amenaza*”, (dos como vulnerables y una casi amenazada).

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. En el quinto año (invierno 2020 y verano 2021), nuevamente la abundancia del total de aves es mayor en invierno que en verano, destacando que no hubo muestreo de las lagunas de Peine en verano 2021; y en el sexto y séptimo año (invierno 2021 a verano 2023), nuevamente la abundancia es mayor en invierno que en verano, destacando que hubo un muestreo incompleto de Peine durante este último verano; **Figura N° 13-15**).

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° 13-15**). 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 2023, en los que no se pudieron completar el total de estaciones de monitoreo), también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (149 a 463) 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 89% aproximadamente, en inviernos (**Figura N° 13-15**).

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° 13-15. 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 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.

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° 13-17**). 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 cuatro individuos; Tabla N° 13-17). 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° 13-17**). 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 y 2023 (por permiso de acceso), además de no poder completar los monitoreos para el verano 2022, por el mismo motivo.

Tabla N° 13-17. 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**
Pato jergón chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0		0	0	0	
Pato juarjual	4	1	2	3	4	2	4	2		0		2	0	2	
Chorlo de la puna	3	6	14	7	14	5	7	27		4		0	9	6	
Gaviota andina	0	2	0	3	0	1	2	5		4		1	0	8	
Caití	14	6	12	6	33	7	38	9		1		8	0	4	
Playero de Baird	0	0	12	17	9	3	12	29		24		19	4	1	
Pollito de mar tricolor	0	4	24	0	42	0	0	0		15		0	0	0	
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	0	0	0		1		0	0	0	
Tagua andina	0	0	0	1	0	0	0	0		0		0	0	0	
Golondrina de dorso negro	0	3	0	3	0	3	0	3		1		0	0	1	
Colegial del norte	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0	0	
Garza azul	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0	0	
Parina grande	135	219	85	145	112	160	200	163		105		265	9	182	
Parina chica	40	11	11	0	17	35	49	48		29		40	8	38	
Flamenco chileno	14	47	34	104	58	39	66	38		41		52	1	48	
TOTAL	210	299	194	289	292	255	380	324	Ne	225	Ne	387	31	290	Ne

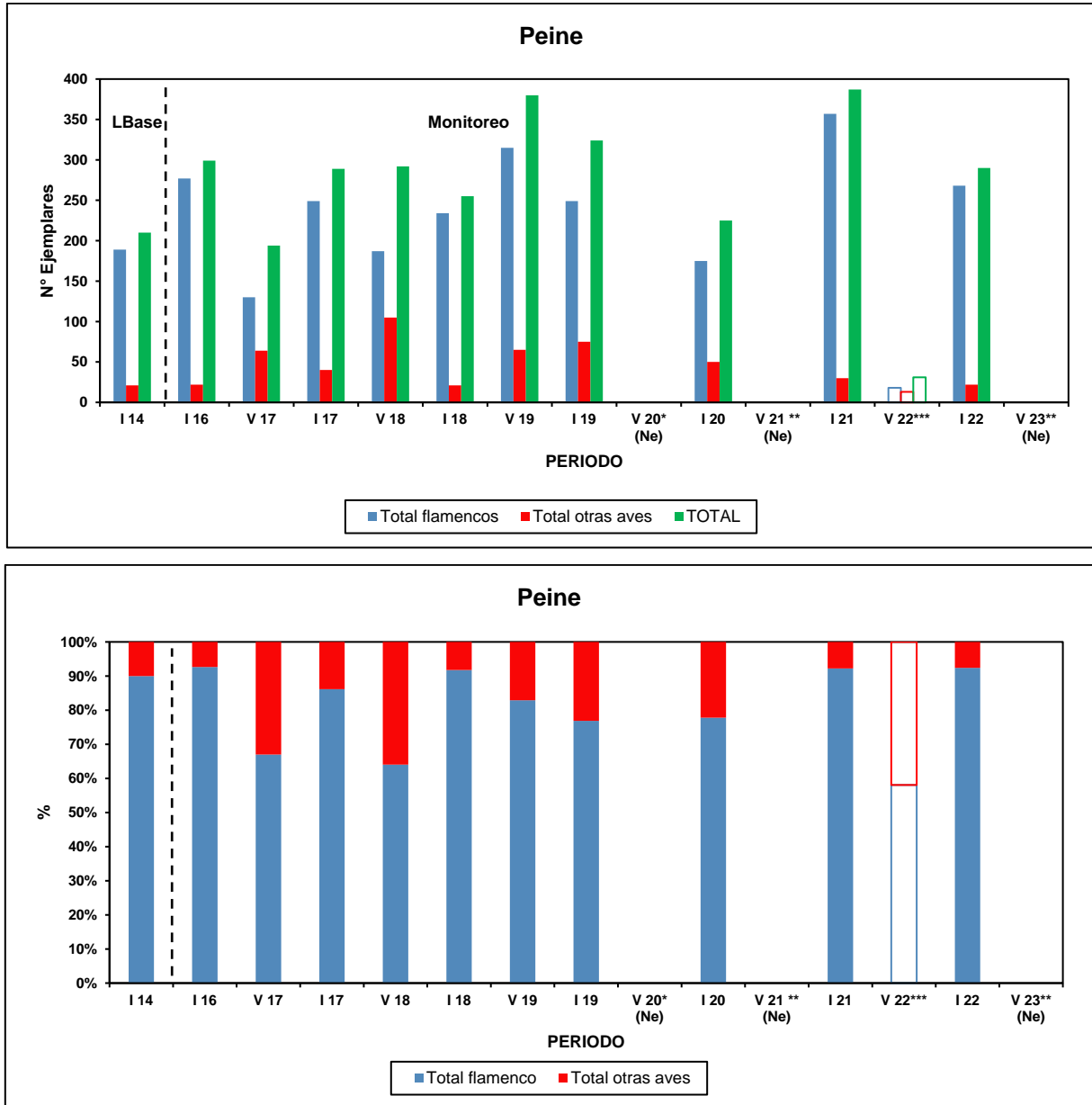
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) En las campañas de verano 2021 y 2023 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) En la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine. Ne = No evaluado.

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° 13-16**). 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 realizaron 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 más de un 92% (en invierno 2016; **Figura N° 13-16**).

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° 13-16. 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 y 2023 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 20 especies en total (**Tabla N° 13-18**). De ellas, 14 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 91 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° 13-18**). 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° 13-18**).

En general, en las lagunas de La Punta y La Brava, la abundancia de aves es mayor en el seguimiento PMB (55 a 185 individuos) que en la Línea Base (66 individuos; **Tabla N° 13-18**).

Tabla N° 13-18. 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 - 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
Aguilucho común	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0
Pato juarjual	4	6	2	3	7	4	0	2		5	10	3	0	2	2
Piuquén	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Chorlo de la puna	2	14	13	8	36	23	24	18		15	37	9	7	10	5
Gaviota andina	0	4	3	8	1	11	3	27		10	1	13	0	14	0
Caití	2	9	2	13	0	7	2	5		8	2	6	0	6	5
Playero de Baird	1	5	11	1	10	10	16	13		47	38	31	25	8	23
Pollito de mar tricolor	0	0	20	2	0	0	0	11		6	10	12	0	0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0	0	0	0	0	10
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0
Tagua gigante	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	0	1	0	0	0	2		4	1	2	8	0	0
Bailarín chico común	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3	0	0	0	0
Colegial del norte	0	0	2	2	2	1	3	0		2	0	3	2	4	1
Garza grande	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Parina grande	0	43	7	11	1	12	2	49		14	10	91	3	36	7
Parina chica	39	28	0	6	0	16	1	2		2	0	0	11	31	0
Flamenco chileno	18	16	12	21	9	14	3	29		26	22	15	19	20	37
Blanquillo	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0
TOTAL	66	127	77	81	84	107	55	162	Ne	140	134	185	75	132	90

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado.

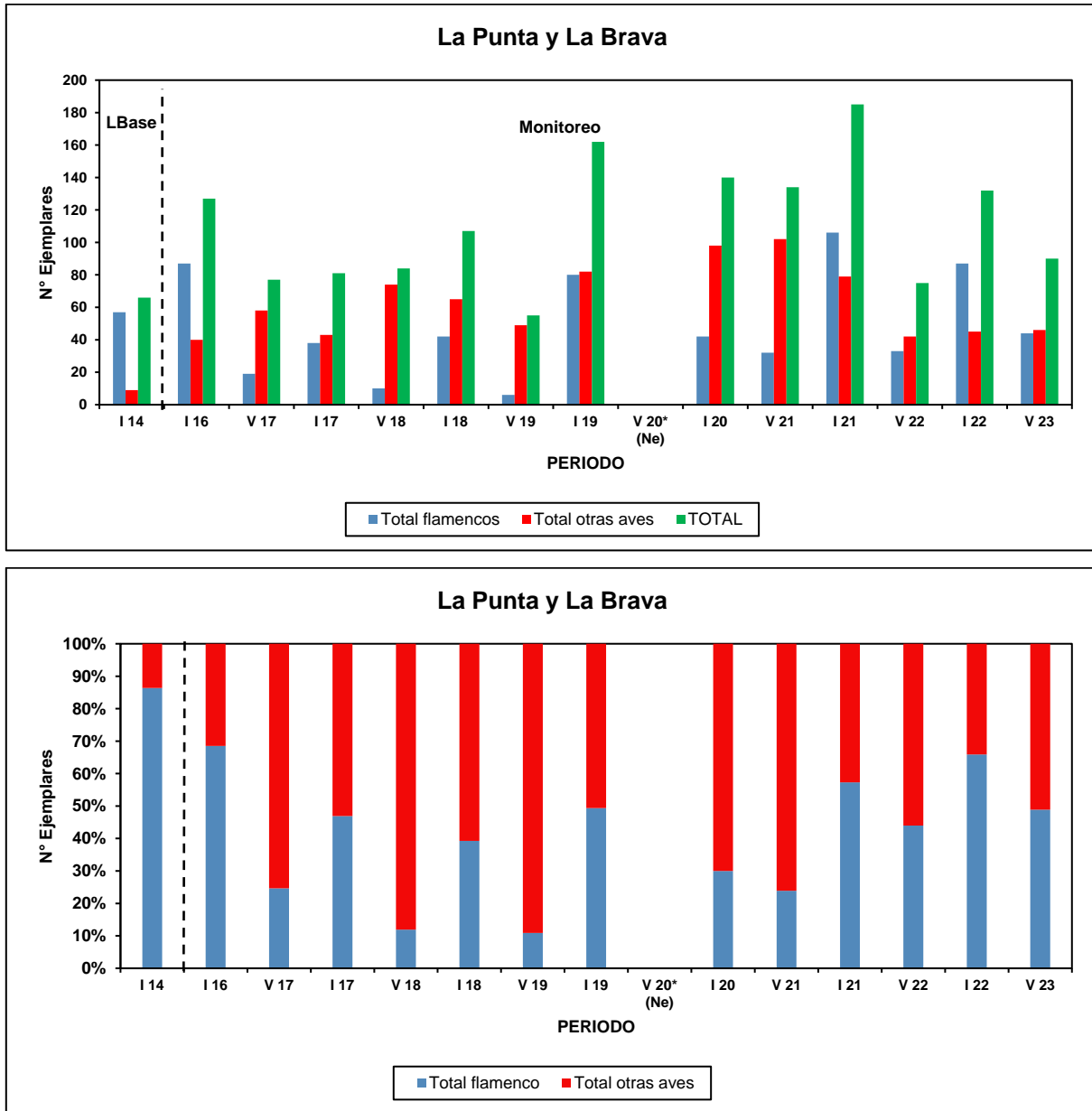
Fuente: Elaboración propia.

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° 13-17**). Por otra parte, los flamencos son dominantes sólo en la Línea de Base y en tres campañas de monitoreo (inviernos 2016, 2021 y 2022), lo que es contrario en las otras 10 campañas de monitoreo (**Figura N° 13-17**). 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 185 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 66 ejemplares. Sin embargo, para los flamencos, las abundancias totales son mayores en el monitoreo de invierno 2016 (87 individuos), en invierno 2019 (80 ejemplares), en invierno 2021 (106 ejemplares) y en invierno 2022 (87 individuos) que en la Línea de Base (57 ejemplares), mientras que en las otras nueve campañas de monitoreo los valores son menores a la Línea de Base (seis a 42 ejemplares; **Figura N° 13-17**).

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° 13-17**).

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 y 2022).

Figura N° 13-17. 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.



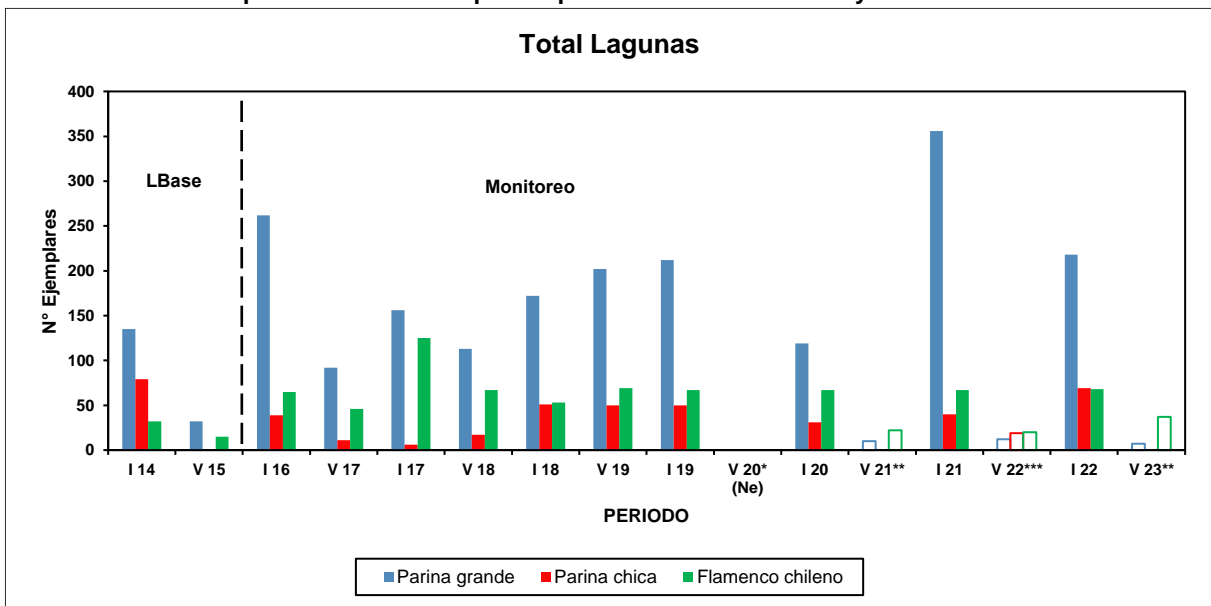
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

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 356 ejemplares, excluyendo veranos 2021, 2022 y 2023, que no cuentan con muestreo completos) que en la Línea de base (32 a 135 ejemplares; **Figura N° 13-18**). 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° 13-18**). 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° 13-18**).

Figura N° 13-18. 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.



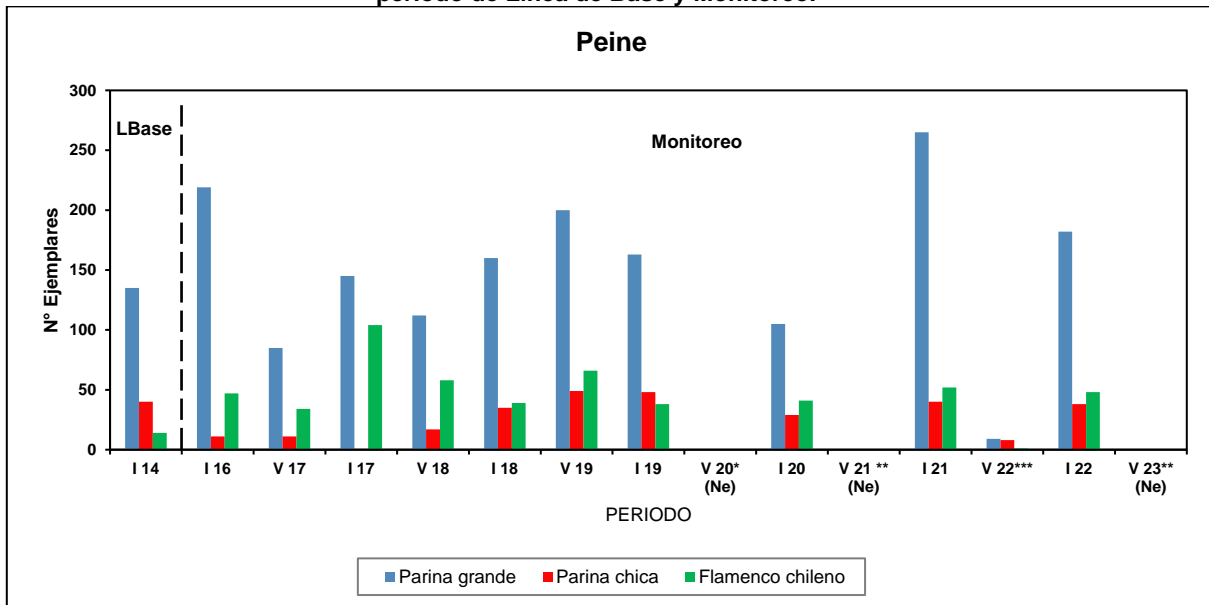
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano 2021 y 2023 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

Fuente: Elaboración propia.

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 y 2023) que en la Línea de base (135 individuos; **Figura N° 13-19**), 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° 13-19**). 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° 13-19**).

Figura N° 13-19. 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.



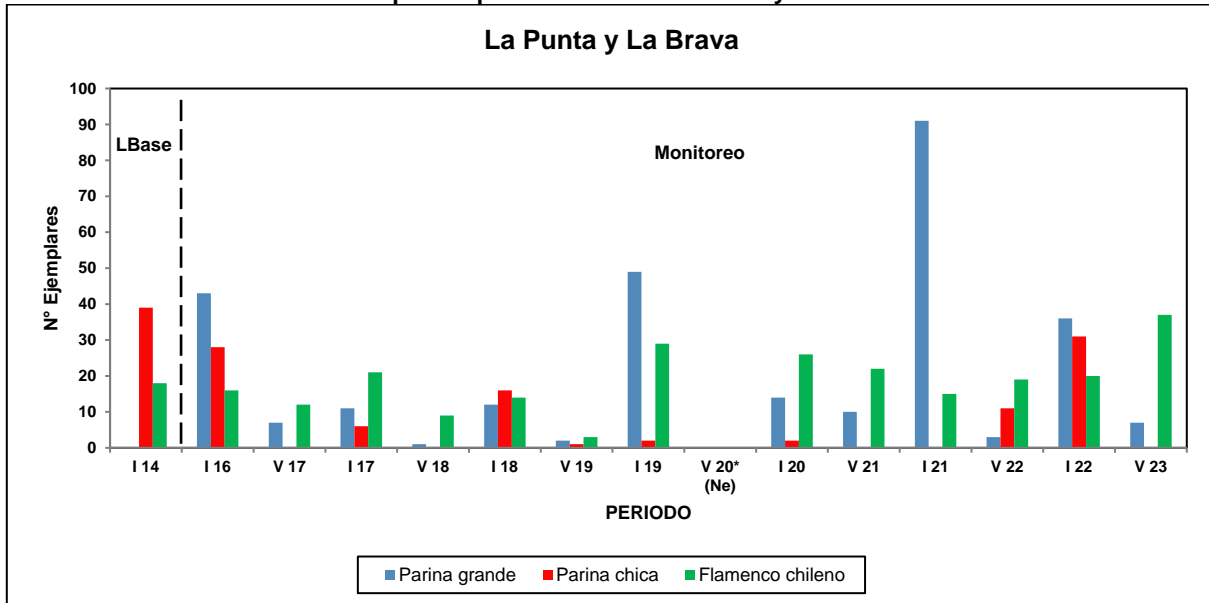
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano 2021 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.

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 91 ejemplares) que en la Línea de base (sin registro; **Figura N° 13-20**). El flamenco chileno muestra valores disímiles en la mayor parte de los monitoreos (tres a 37 ejemplares), siendo mayor en seis campañas respecto a la Línea de base (18 individuos; **Figura N° 13-20**). 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° 13-20**).

Figura N° 13-20. 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.



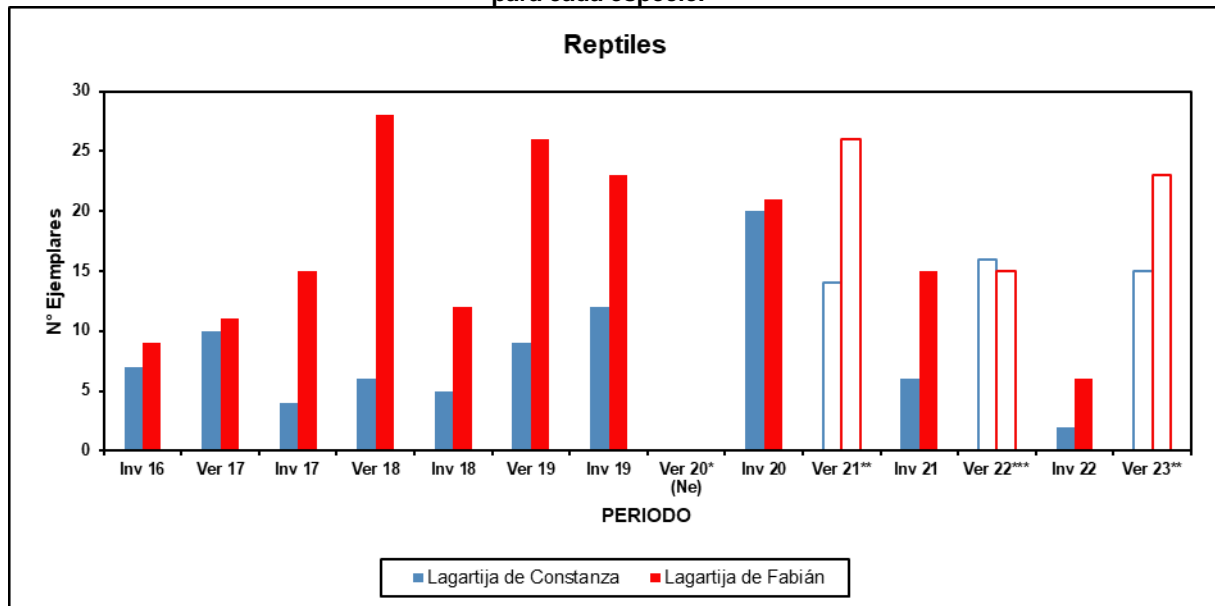
Por lo tanto, las variaciones de abundancia de las tres especies de flamencos muestran que la parina chica es la especie que podría estar disminuyendo sus abundancias, pese a observar un alza en su abundancia en esta última campaña de invierno 2022, pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con 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 13 campañas, hay que considerar que las comparaciones estacionales no son rigurosamente equivalentes, ya que hay cuatro veranos irregulares (2020 por pandemia, además 2021, 2022 y 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 28 ejemplares, con el máximo en verano de 2018 (**Figura N° 13-21**). Cabe destacar que en los veranos de 2021, 2022 y 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° 13-21. 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.



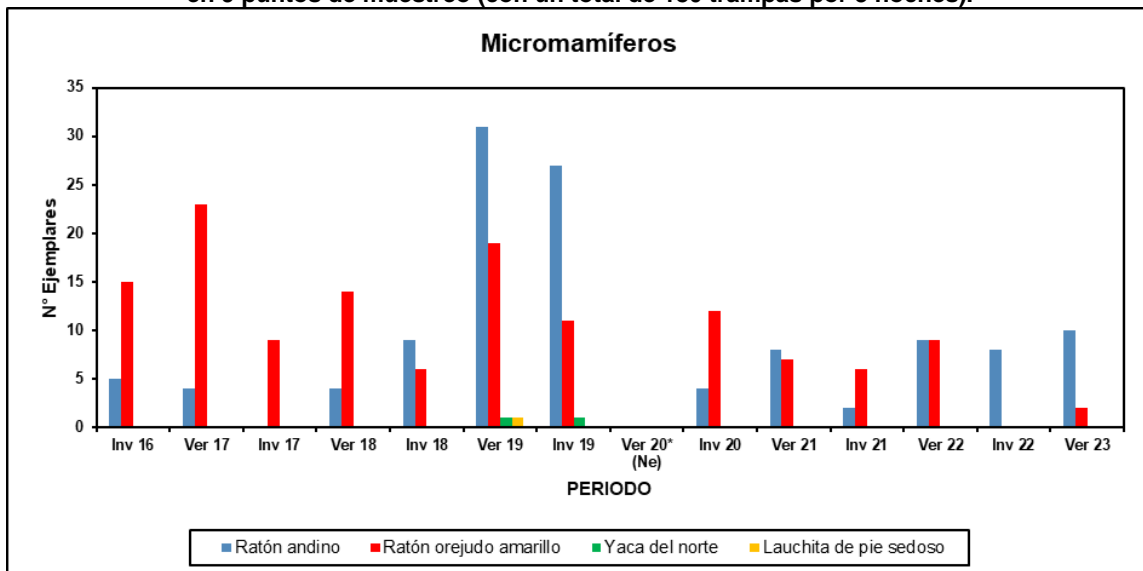
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano de 2021 y 2023 no se muestrearon 5 puntos en laguna Peine. (***) en la campaña de 2022 no se muestrearon 3 puntos en laguna Peine.

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 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 dos 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° 13-22**)).

Figura N° 13-22. 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

muestreal 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 este monitoreo (invierno 2022), 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 Año 7: Monitoreo invierno 2022 y verano 2023

Los resultados del monitoreo de invierno 2022, muestran que el registro de tapetes llegó al 68,8% de las estaciones con presencia de estas comunidades microbianas, concordante con lo reportado anteriormente entre las campañas de invierno 2017 a 2021. Por otro lado, el monitoreo de verano 2023, campaña en la cual sólo se pudo ingresar a los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, se observó que el 62,5% de las estaciones presentaron tapetes microbianos, similar a lo detectado en verano 2021. Cabe destacar que debido a que en campañas de verano 2017 a 2019 y 2022, sí se logró ingresar al sector Peine, en dichos períodos se registró un 66,7% de las estaciones con tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno 2022 y verano 2023, 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

A continuación, se presentan los principales cambios de la estructura de pigmentación de tapetes microbianos en el Sector Peine y La Punta-La Brava respecto a las campañas de invierno 2022 y verano 2023.

13.3.2.1 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), solo se realizó la campaña de monitoreo de invierno 2022. Cabe destacar que, la campaña verano 2023, no fue posible de realizar, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine (Ver Anexo Cartas y Prohibiciones).

Sin embargo, se puede destacar brevemente que, en Invierno 2022, la Tipología 1 (52,9%), fue predominante. Estos tapetes presentaron capas comunes subsuperficiales, frecuentemente de color verde y en menor medida naranja; capas intermedias generalmente de color rosado y/o púrpura; y capas siguientes de localización profunda que presentaron tonalidad marrón.

En la **Tabla N° 13-19** se muestran las principales capas pigmentadas en tapetes respecto del total de muestras según tipo de tapetes.

Tabla N° 13-19. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector Peine, invierno 2022 y verano 2023.

Macrozona	Sector Peine	
	Invierno 2022	Verano 2023
Tipología 1		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	<i>Sin acceso</i>
Intermedia	Rosado, púrpura	<i>Sin acceso</i>
Profunda	Marrón, negro, gris, verde	<i>Sin acceso</i>
Tipología 2		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	<i>Sin acceso</i>
Intermedia	Rosado, púrpura, blanco	<i>Sin acceso</i>
Profunda	Negro, rosado	<i>Sin acceso</i>
Tipología 3		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo, rosado	<i>Sin acceso</i>

Fuente: Elaboración propia

13.3.2.2 Sector La Punta – La Brava

En relación con la comparación de los periodos de invierno 2022 y verano 2023, en el sector La Punta-La Brava, se observó que durante la campaña de invierno 2022, la estructura más prevalente fue de Tipología 1 (55,6%) al igual que en verano 2023 (41,7%). No obstante, se observa una disminución de 13,9%, respecto a invierno 2022. Esta disminución de la Tipología 1 se ve reflejada en el aumento de prevalencia de las otras dos Tipologías, tanto la 2 (en un 6,7%) como la 3 (en un 4,6%), respecto de invierno 2022.

En cuanto a la tonalidad de las capas, tanto invierno 2022 como verano 2023, los tapetes de Tipología 1 en la macrozona Subsuperficial exhibieron verde y naranja, y en menor medida, la tonalidad amarilla. Las restantes dos macrozonas fueron similares, con tonalidades predominantemente rosada, púrpura y blanco (Intermedia) y marrón y en menor medida, negro (Profunda). La variación de tonalidades que son frecuentes, aunque no predominantes (i.e. amarillo, blanco, negro) en los tapetes, podría sugerir la posibilidad de reconfiguraciones microbianas en la estructura funcional y comunitaria de los tapetes. No obstante, esta aproximación es sólo macroscópica y para determinar dicho efecto, es necesario el uso de pruebas moleculares (i.e. Secuenciación de ADN, Metagenómica, Técnica de Polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción terminales (T-RFLP)).

Respecto a Tipología 2, los tapetes muestreados en invierno 2022 y verano 2023, se presentaron en dos configuraciones según la macrozona que contenían: Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda. Sin embargo, al igual que en Tipología 1, en ambas campañas, predominaron la tonalidad verde, naranja y levemente amarillo. Por otro lado, en ambas campañas, también predominaron las tonalidades rosada (Intermedia) y marrón (Profunda).

Finalmente, los tapetes de Tipología 3 exhibieron sólo la macrozona Subsuperficial, tanto en invierno 2022 como en verano 2023, en la cual predominaron las tonalidades verdes, naranja, y en menor medida amarillo y rosado.

En la **Tabla N° 13-20** se muestran las principales capas pigmentadas en tapetes respecto del total de muestras según tipo de tapetes.

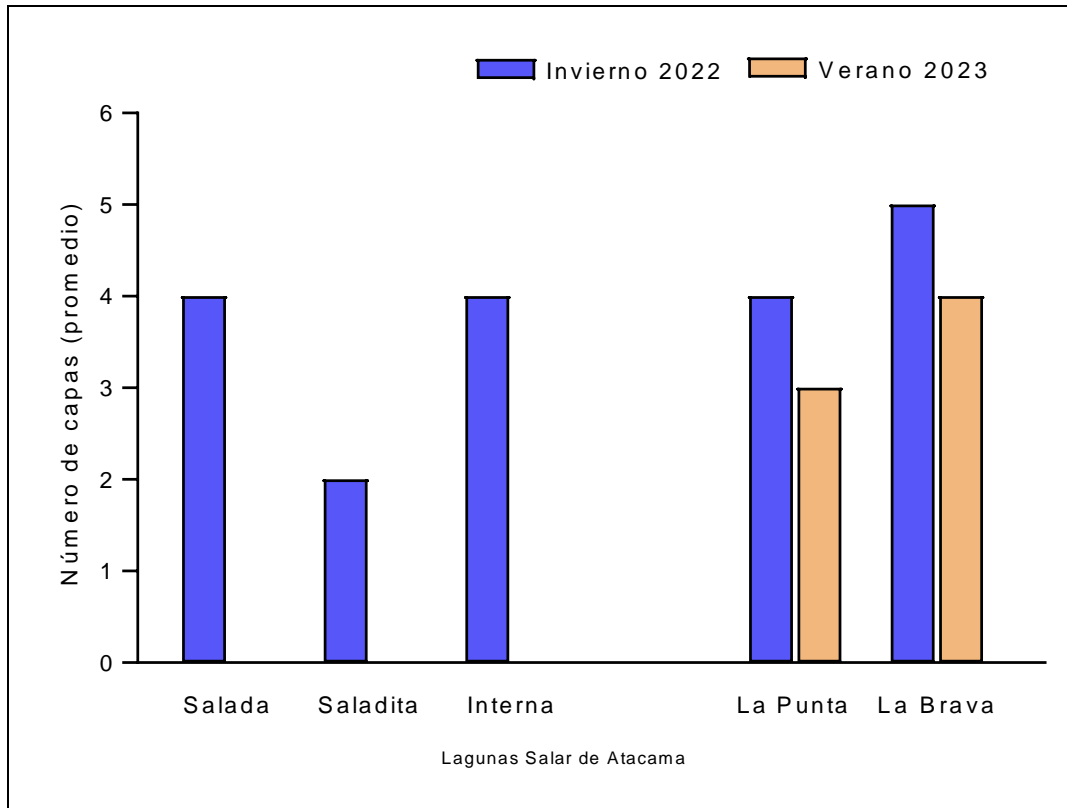
Tabla N° 13-20. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2022 y verano 2023.

Macrozona	Sector La Punta-La Brava	
	Invierno 2022	Verano 2023
Tipología 1		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja, amarillo
Intermedia	Rosado, púrpura, blanco	Rosado, blanco
Profunda	Marrón	Marrón, negro, gris
Tipología 2		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja, amarillo
Intermedia	Rosado, púrpura	Rosado, blanco
Profunda	Marrón	
Tipología 3		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo, rosado	

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las capas promedio en el Sector La Punta-La Brava, se observó que en laguna La Punta como en Laguna La Brava hubo una disminución (1 capa promedio) en verano 2023, respecto a invierno 2022, lo que probablemente se explicaría debido a que esto podría deberse a la falta de tapetes microbianos sumergidos en la estación LP-24, estación que en todas las campañas anteriores, había reportado estos tapetes, mientras que en Laguna La Brava, podría deberse a una disminución generalizada en todas las estaciones de monitoreo (**Figura N° 13-23**).

Figura N° 13-23. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2022 y Verano 2023 (Peine y La Punta-La Brava).



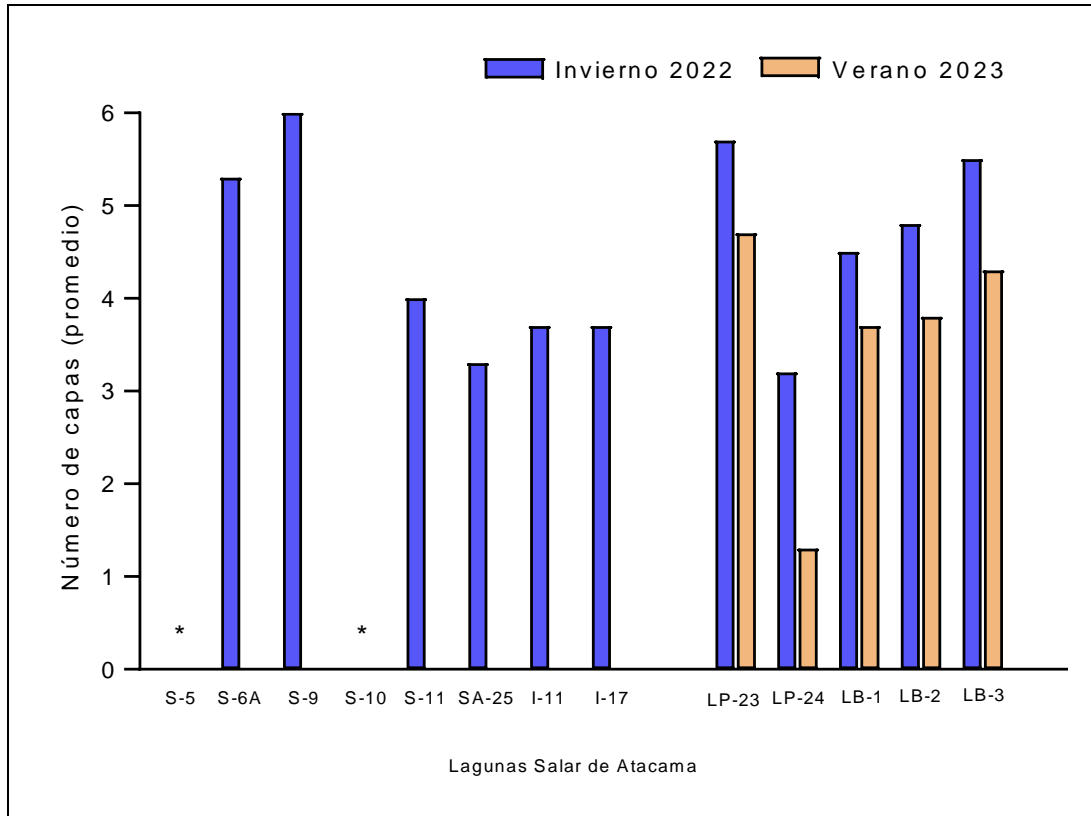
Fuente: Elaboración propia

Cuando se observó el número de capas promedio por estación de monitoreo, en la estación LP-23 hubo una disminución de un ~17,6% en este parámetro, por otro lado, en la estación LP-24, hubo una disminución de ~58%, lo que también se vio reflejado en los tapetes superficiales planos de esta estación (~12%) en las capas promedio. Cabe destacar que no se hallaron tapetes sumergidos en esta estación y es por ello la disminución mencionada. Respecto a Laguna La Brava, se observó que hubo leves variaciones en el número de capas promedio, mostrando todas las estaciones una disminución de entre 18 y 21% (**Figura N° 13-24**).

Sin embargo, al considerar por tapetes sumergidos o superficiales planos, se observó una disminución de capas promedio entre ~7,7 - ~37,5%, en casi todas las estaciones, excepto en los tapetes superficiales planos de LB-1, los cuales mostraron un aumento en el número

de capas de 9,1%. Esto muestra que entre ambos períodos hubo modificaciones moderadas a nivel de estratificación en los tapetes, con cambios de hasta un 37%, no obstante, esto no implica que no puedan cambiar su Tipología.

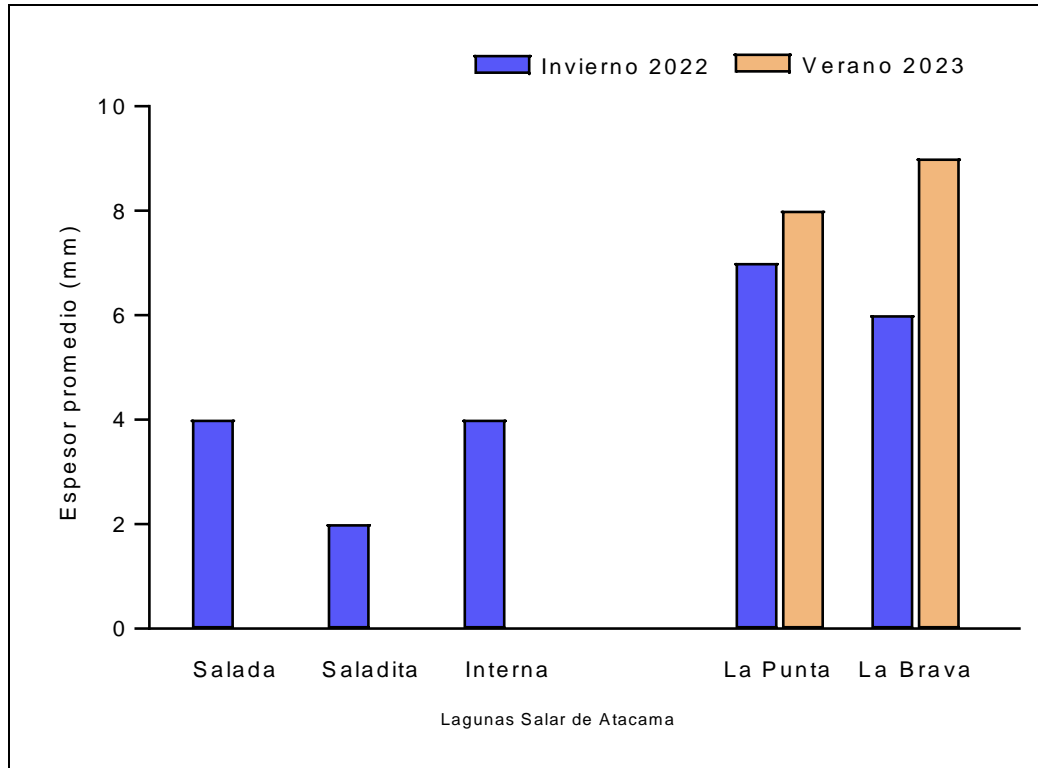
Figura N° 13-24. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2022 y Verano 2023 (Peine y La Punta-La Brava).



Donde: (*) = sin presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración propia

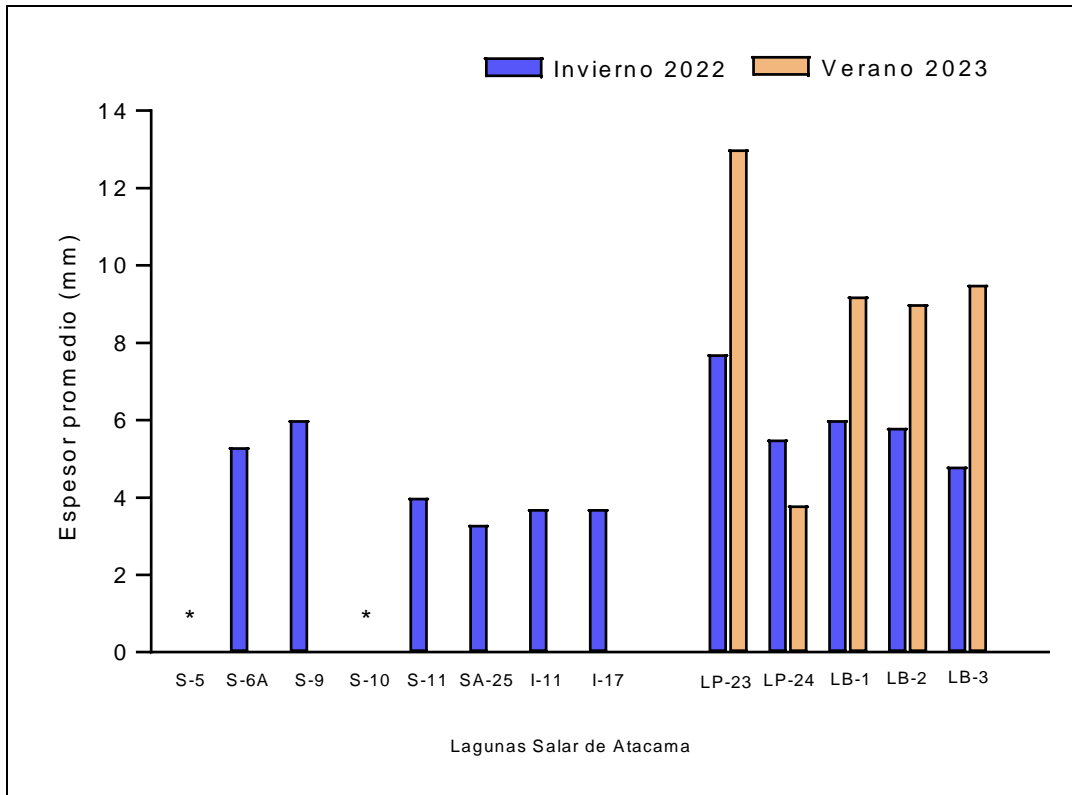
En relación con el espesor promedio, se puede observar que en verano 2023, tanto en Laguna La Punta como en Laguna La Brava, hubo un aumento de ~1 y ~3 mm, respectivamente, comparado a invierno 2022. Esto debido a un aumento en el espesor de los tapetes superficiales de LP-23, así como en LB-1, LB-2 y LB-3 (Figura N° 13-25).

Figura N° 13-25. Espesor (□) de tapetes microbianos. Invierno 2022 y Verano 2023 (Peine y La Punta-La Brava).

Fuente: Elaboración propia

Cuando se observó por estación de muestreo, la estación LP-23 mostró un aumento (~69%) en el valor de espesor promedio en verano 2023 comparado a invierno 2022, mientras que los tapetes superficiales planos de la estación LP-24 anotaron un aumento de un ~130%, al comparar los mismos periodos mencionados. Cabe resaltar que en verano 2023, no se hallaron tapetes sumergidos en esta estación de monitoreo. Por otro lado, en LB-1, LB-2 y LB-3 se puede observar un leve aumento tanto en tapetes superficiales planos como sumergidos; los primeros, anotaron un aumento de entre 86,7 y 220%, mientras que los segundos mostraron un aumento de entre 27,3 y 40% (**Figura N° 13-26**).

Figura N° 13-26. Espesor (□) de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2022 y Verano 2023 (La Punta-La Brava).



Donde: (*) = sin presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración propia

13.3.2.3 Sector vegas de Tilopozo

No se detectó la presencia de tapetes microbianos en invierno 2022 y verano 2023, al igual que en reportes anteriores (invierno 2017-2021, verano 2017-2022). Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en la estación de monitoreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016.

13.3.3 Análisis evolución inviernos 2016 a 2022

13.3.3.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector

En la primera campaña invierno 2016, se incluyeron estaciones de sector Tilopozo, en particular la estación TB-2 presentó tapetes microbianos en invierno 2016, pero no se han vuelto a detectar en las campañas de monitoreo posteriores.

Los resultados de los diferentes monitoreos de invierno para el resto de las estaciones muestran presencia de tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno 2022, 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 a la estructura de pigmentación en las 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. En la última campaña invierno 2022, 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 y 2021). Esto debido a la recuperación de capas en distintos tapetes evaluados, principalmente, en el sector Peine, así como también en el sector La Punta-La Brava. Dentro de las estaciones de monitoreo que evidenciaron dicho aumento, respecto de la última campaña invierno 2021, destacan S-11 y SA-25 (Laguna Saladita) y LB-1 y LB-2 (La Brava), donde la detección de tapetes fue principalmente de Tipología 1. Por otro lado, se observó una disminución de Tipología 2, reflejado en el

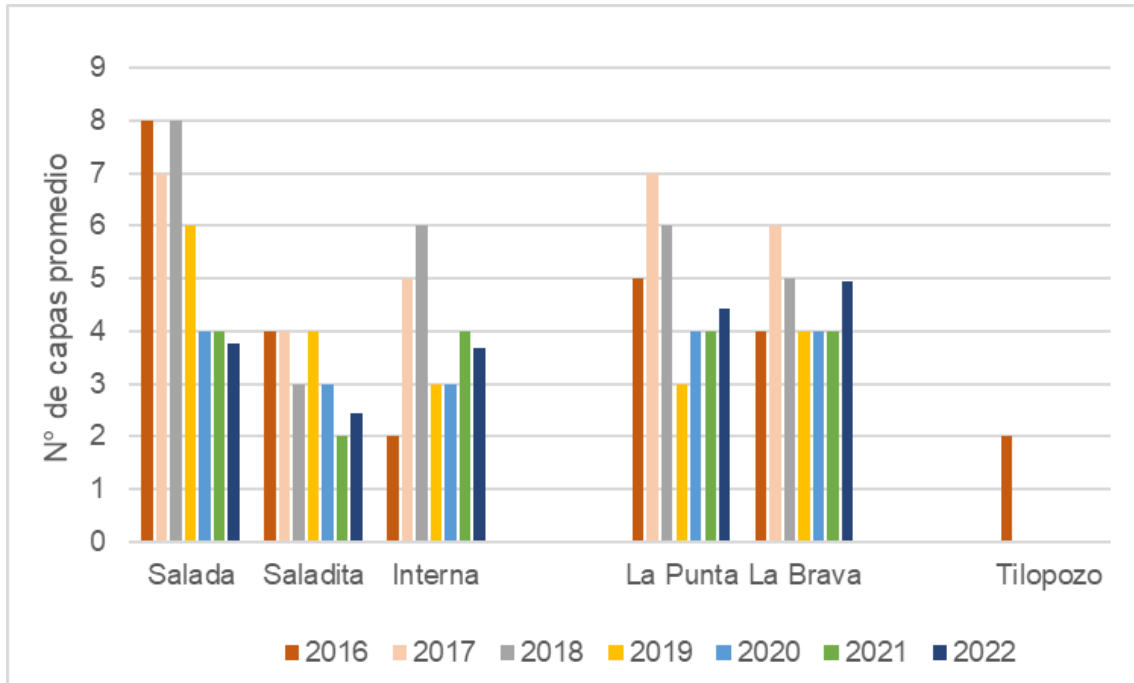
aumento de Tipología 1, pero también se aprecia un aumento de la Tipologías 3 (**Tabla N° 8-13** y **Tabla N° 8-25**), similar a la campaña anterior (invierno 2021) (**Tabla N° 13-21** y **Tabla N° 13-22**, respectivamente).

El número de capas promedio en invierno de los tapetes observados por sistema lagunar, se mantuvo sin variaciones, respecto a invierno 2021 en todas las lagunas, excepto en Laguna La Brava, donde se observó un aumento de una capa promedio (**Figura N° 13-27**), llegando a 5 capas promedio, valor similar al reportado en invierno 2018. En este Sector (La Punta-La Brava), para Laguna La Punta, se observa que las capas promedio, a lo menos, se mantuvieron en valores constantes (4 capas promedio) respecto de invierno de 2021 y luego de haber registrado una progresiva disminución desde invierno de 2017.

Para el sector Peine, las lagunas Salada, Saladita e Interna se mantuvieron constante en el número de capas promedio (4, 2 y 4, respectivamente) en invierno de 2022, respecto a invierno 2021. Así, las lagunas del Sector Peine no han mostrado cambio en el número de capas promedio, al menos, desde 2019, donde en Laguna Salada y Saladita se reportaron 6 y 4 capas promedio, respectivamente.

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° 13-27**).

Figura N° 13-27. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2022.



Fuente: Elaboración propia

Al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno 2022), se observa que, en Laguna Salada, la estación S-6A anotó una disminución comparada con invierno 2021, en donde se había registrado un aumento en este parámetro, luego de una caída, desde invierno 2018. De este modo, en la campaña actual, dicha estación pasó de 6,3 a 5,3 capas promedio, lo cual es cercano a los niveles registrados en invierno 2019 (5,7 capas).

De igual manera, la estación S-9, mostró una leve disminución en este parámetro, luego de haber mostrado un aumento desde invierno 2018, pasando de 7,7 (invierno 2020), 7,0 capas (invierno 2021) a 6,0 capas (invierno 2022). Por otro lado, en Laguna Saladita, se pudo apreciar, que en la estación S-11, se mantuvieron valores similares a los observados en la anterior campaña invierno 2021, pasando de 4,3 a 4,0 capas promedio, lo cual representa una variación menor a 1 capa promedio desde invierno 2020, campaña donde se había registrado una drástica disminución en las capas promedio de dicha estación.

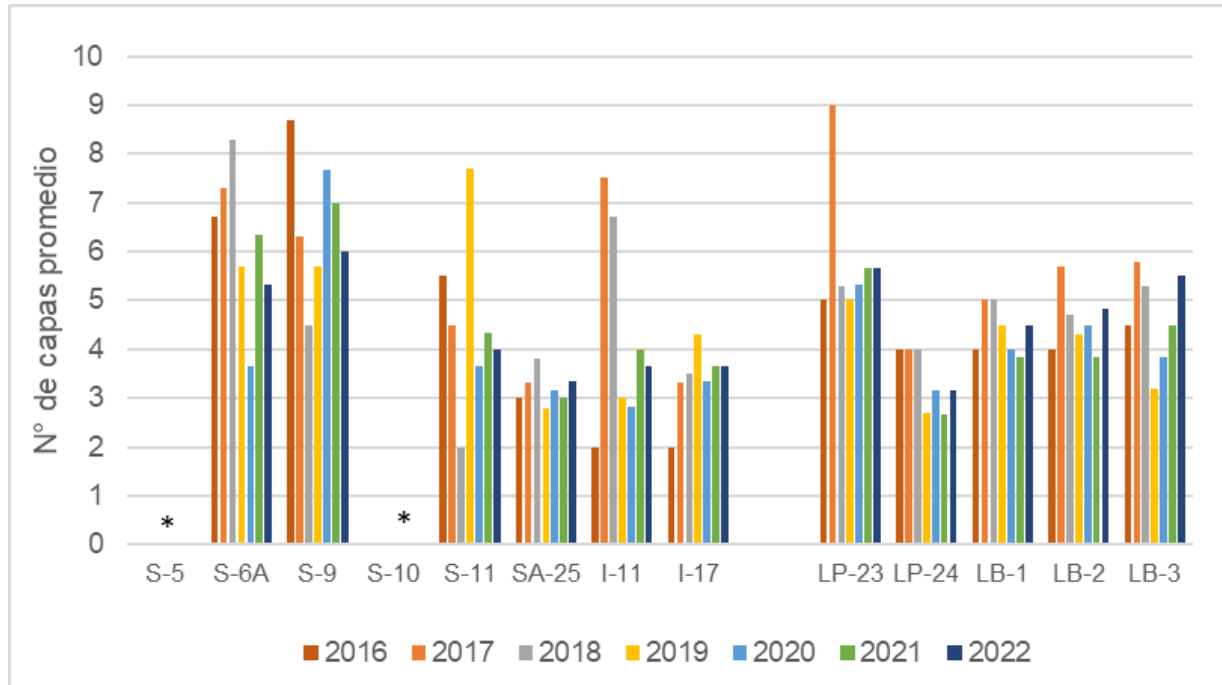
Por otro lado, en la estación SA-25 se registró un leve aumento del número de capas promedio, cuyo valor fue de 3,3 capas en invierno de 2022 respecto de las 3,0 capas promedio observadas en invierno de 2021, sin embargo, esta estación usualmente se encuentra en esos rangos, destacando que este parámetro ha fluctuado entre 2,8 y 3,8

capas promedio en todos los inviernos (2016 a 2022). Finalmente, en Laguna Interna, se pudo observar que en la estación I-11, el número de capas promedio disminuyó levemente, pasando de 4,0 capas en invierno 2020 a 3,7 capas en invierno 2022, no obstante, desde invierno 2017, se observaba una disminución gradual hasta invierno 2021. Por otro lado, en la estación I-17, se mantuvo el número de capas promedios, invariable respecto a invierno 2021, con 3,7 capas promedio, mostrando valores levemente superiores a los vistos en pasadas campañas de invierno; no obstante, al igual que SA-25, esta estación se encuentra en un rango usual, que va desde 2 capas (en invierno 2016) a 4,3 capas (invierno 2019) (**Figura N° 13-28**).

En los tapetes microbianos de la Laguna La Punta se mantuvo o aumentó el número de capas promedio, mientras que en Laguna La Brava, hubo aumento de este parámetro, en todas las estaciones de monitoreo. Así, en la estación LP-23, no se observó cambio respecto a la campaña anterior, con 5,7 capas promedio, lo cual mantiene la tendencia al alza, vista desde las anteriores campañas de invierno (2019 a 2022) en dicha estación. Respecto a la estación LP-24, se observó un leve aumento, pasando de 2,7 (invierno 2021) a 3,2 capas promedio (invierno 2022), restaurando los valores observados en invierno 2020, así, esta estación ha fluctuado constantemente entre estos dos valores de capas promedios en las últimos cuatro campañas.

En LB-1, LB-2 y LB-3 se registró un aumento en el número de capas promedio, que varió de 3,8 (invierno 2021) a 4,5 y 4,8 capas promedio en las primeras dos estaciones y desde 4,5 (invierno 2021) a 5,5 capas promedio en la última estación, lo cual marca especialmente en LB-3, que es la zona de afluente un alza desde la campaña de invierno 2019 (**Figura N° 13-28**).

De este modo, considerando ambos sistemas lagunares, tanto Peine como la Punta-La Brava, las mayores variaciones en el número de capas promedio de invierno 2022, respecto a anteriores campañas, se observaron en I-11 y S-11, con una disminución de 3,8 (invierno 2017) y 3,7 (invierno 2019) capas promedio, respectivamente, mientras que el mayor aumento se observó en LB-3, con 2,3 capas promedio (invierno 2019).

Figura N° 13-28. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2022.

(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las siete campañas de invierno llevadas a cabo, se distinguen principalmente 3 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada; 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 y 2022.

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 invierno realizados en 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

13.3.3.2.1 Sector Peine

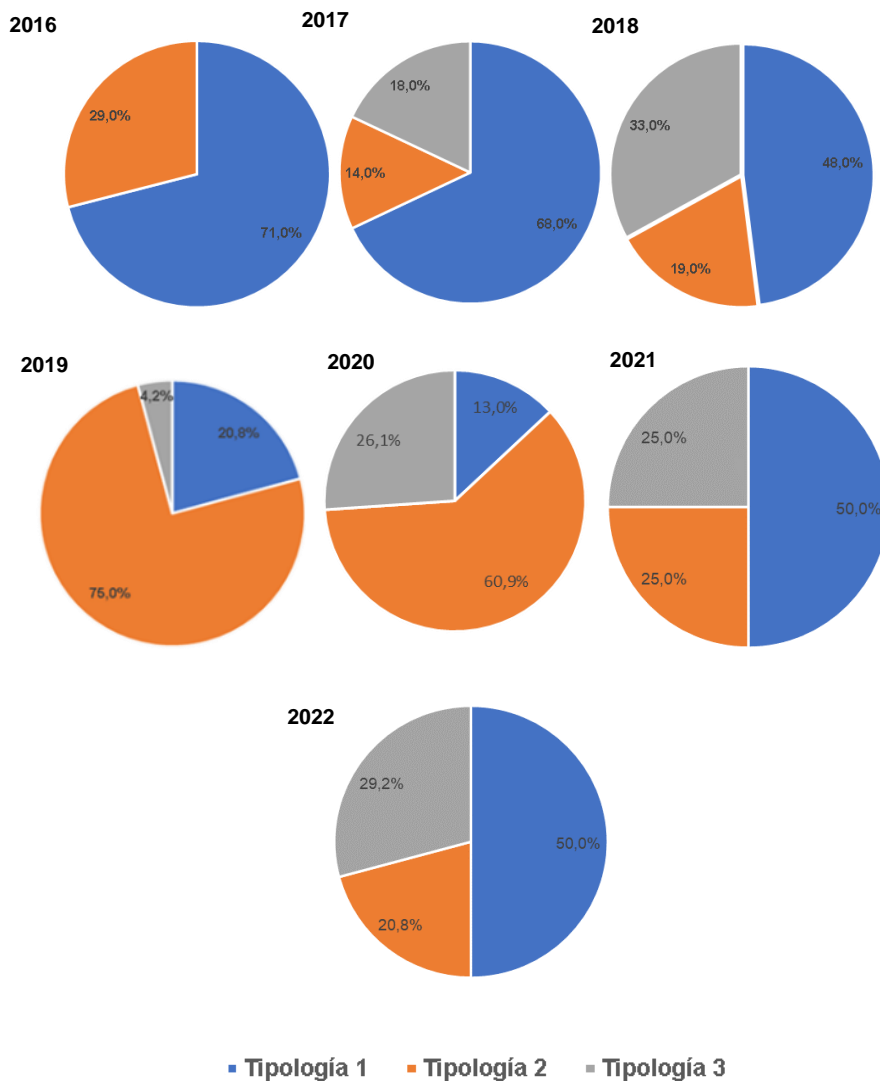
El Sector Peine, presentó tapetes de Tipología 1 y 2 durante la campaña de invierno 2016 y las tres Tipologías (1, 2 y 3) en las sucesivas campañas de invierno (2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). Comparado a invierno 2021, se puede observar que en invierno 2022, la Tipología 1 se mantuvo sin cambios, en 50,0% de prevalencia neta, mientras que la prevalencia de Tipología 2 disminuyó, pasando de 25,0% a 20,8% de prevalencia, mostrando que el ~4,2% neto de los tapetes con esta conformación, migraron a Tipología 3 (29,2% de prevalencia). Así, los tapetes de Tipología 1 muestran una estabilización, aunque recuperando valores cercanos a los observados en invierno 2018 y anteriores. Los tapetes de Tipología 2, que habían aumentado sucesivamente entre invierno 2016 y 2019, llegando a un 75%, esta vez anotaron una mayor disminución, pasando de 60,9% de prevalencia en invierno 2020 a 20,8% en invierno 2022, una reducción de ~40,1%. Por otro lado, los tapetes de Tipología 3, mostraron una prevalencia que ha sido variable en la mayoría de las campañas, con rangos entre 25 y 44% (invierno 2016 a 2022), excepto por invierno 2017 e invierno 2019, donde sufrieron una mayor disminución (18% y 4,2%, respectivamente) (**Figura N° 13-29**).

Este sector mantuvo igual, a nivel porcentual, la prevalencia de Tipología 1 comparado a invierno 2021, sin embargo, hubo diferencias a nivel específico entre las lagunas. En la Laguna Salada, los registros históricos de tapetes microbianos (invierno 2016 a 2018) mostraron la Tipología 1 en las estaciones S-6A y S-9, sin embargo, en invierno de 2020, al igual que en invierno 2019, no se evidenció esta conformación, predominando la Tipología 2. No obstante, en invierno 2021 se restauró la presencia de los tapetes de Tipología 1, lo que se mantuvo en la campaña de invierno 2022 (**Tabla N° 13-21**).

Respecto a la Laguna Saladita, se observa que hubo un aumento en la prevalencia de los tapetes de Tipología 1, especialmente, porque el 100% de los tapetes coriáceos de SA-25 migró a esta conformación tipológica desde la Tipología 2 mientras que el 100% de los tapetes de S-11 se mantuvo igual, en Tipología 1 (**Tabla N° 13-22**). Por otro lado, la Tipología 3 se mantuvo en los tapetes superficiales planos de SA-25 (**Tabla N° 13-25**).

Respecto a la Laguna Interna, se observa una disminución de los tapetes de Tipología 1, los cuales migraron Tipología 3, tanto de la estación I-11 como de I-17 (**Tabla N° 13-25**). De este modo, durante invierno 2022, en el Sector Peine se mantiene la Tipología 1 como la predominante, similar a invierno 2021, no obstante, con tapetes que migraron desde y hacia esta conformación tipológica. Por otro lado, los tapetes de Tipología 2, que en invierno 2021 habían tenido la segunda mayor prevalencia, fueron superados por la Tipología 3 (**Figura N° 13-29**).

Figura N° 13-29. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.



Fuente: Elaboración propia

En Laguna Salada, los tapetes de Tipología 1 se mantuvieron estables, comparados a invierno 2021. Si bien los registros históricos de los tapetes microbianos de esta laguna (invierno 2016 a 2018) mostraron la Tipología 1 en las estaciones S-6A y S-9 (**Tabla N° 13-21**), en invierno de 2020, al igual que en invierno 2019, no se evidenció esta conformación, predominando la Tipología 2, mostrando estos tapetes una pérdida de la macro-zona subsuperficial, pero manteniendo la estructura de tonalidad vistas en invierno 2019, donde hubo mayor prevalencia de tonos rosado, púrpura, sumándose además, las tonalidades verde y naranja en la macro-zona intermedia, mientras se mantuvo la prevalencia de los tonos marrón y púrpura, en la macro-zona profunda. No obstante, en invierno 2021, hubo un aumento de la Tipología 1, donde los tapetes recuperaron principalmente la macro-zona Profunda. Al igual que en la campaña de invierno anterior, en invierno 2022, se pudo apreciar, que se mantuvo la Tipología 1 y la macro-zona Profunda. Estos tapetes, cuentan con predominancia de las tonalidades verde y en menor medida naranja y amarillo en la macro-zona Subsuperficial, púrpura y rosado en la macro-zona Intermedia y marrón en la macro-zona Profunda. Cabe destacar, que los tapetes de Tipología 1 son relativamente estables en el tiempo, por lo que un cambio en las condiciones ambientales de la laguna podría traducirse en esta disminución de capas y por consiguiente, el cambio de Tipología (Madigan *et al.*, 2009).

Año/Muestra	Laguna Salada																											
	2016			2017				2018						2021			2022											
	S-6A			S-9				S-6A			S-9			S-6A P			S-9 P											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2
Marrón opaco																												
Marrón morado																												
Marrón oscuro																												
Púrpura																												
Rosado gris																												
Gris																												
Gris claro																												
Verde claro																												
Marrón naranja																												
Rosado																												
Naranja																												
Negro																												

*Tipología 1 no fue reportada en Laguna Salada en invierno 2019 y 2020.

Fuente: Elaboración propia

En Laguna Saladita, los tapetes de Tipología 1 habían sido observados en la mayoría de las campañas, sin embargo, en cuanto a tapetes coriáceos con esta tipología, sólo han sido reportados en SA-25. Durante invierno 2019, se había detectado la presencia de esta Tipología tanto en SA-25 como en S-11, correspondiéndose con su registro histórico (inviernos 2016, 2017 y 2019), sin embargo, en invierno 2020 no se encontró esta tipología en S-11, la cual había migrado completamente a Tipología 2, perdiendo, principalmente, la capa de tonalidad marrón y amarilla de la macro-zona profunda.

En la anterior campaña invierno 2021, se pudo observar una recuperación parcial de los tapetes de Tipología 1 en la estación S-11, evidenciándose en la recuperación de la macro-zona Profunda, reflejada en la aparición de capas de tonalidad, principalmente, marrón. Por otro lado, los tapetes de la estación SA-25 (coriáceos), migraron completamente a Tipología 2 e incluso a Tipología 3, perdiendo su macro-zona Profunda y/o la macro-zona Intermedia. En la actual campaña invierno 2022, se puede apreciar una recuperación de los tapetes de Tipología 1, en un 100% tanto en S-11 como en los tapetes coriáceos de SA-25, de este modo, recuperando la macro-zona Profunda, principalmente la tonalidad marrón. Cabe resaltar, que desde invierno 2020 no se registraban tapetes de Tipología 1 en SA-25, llegando incluso, a recuperar la tonalidad verde oscuro, característica de los tapetes coriáceos de esta estación (**Tabla N° 13-22**).

Este cambio en la proporción de tipologías en la Laguna Saladita, particularmente en la recuperación de la Tipología 1 en S-11 y SA-25, podría sugerir algún proceso de reconfiguración en los tapetes de la laguna y por ende del ambiente que se desarrolla en ella, esto debido a que previamente se pensaba en que pudiese existir algún cambio ambiental en la laguna, posiblemente de antes o durante la campaña invierno 2018, dado que en ese momento sólo se registró una muestra de tapetes (SA-25) con Tipología 1, ocurriendo casi (S-11) o completa (SA-25) pérdida de esta tipología.

Por otro lado, esta nueva restitución de tapetes de Tipología 1, se suma a los episodios de reconfiguración tipológica de los tapetes en invierno 2019, ya que se observó en dicha campaña e invierno 2022, un efecto de intermitencia en la aparición/desaparición de la Tipología 1 en S-11, y que tal como se propuso en el informe semestral N°6 de invierno 2021, estaría ocurriendo igualmente en SA-25, pues no se observó dicha tipología en esta estación en la pasada campaña invierno 2021, mientras que si lo hace ahora. El que nuevamente, y al igual que en las anteriores campañas de invierno, hayan cambiado su tipología, podría indicar que aún existe un efecto ambiental que pudiese estar alterando la estructuración de estos tapetes microbianos. No obstante, pareciera ser que en SA-25 este efecto es menos predominante, dado que se había mantenido, parcialmente, la Tipología 1 en los tapetes coriáceos, desde su restitución en invierno 2019.

Respecto a Laguna Interna, se observó una disminución en Tipología 1, particularmente en la estación I-11, la cual se había restaurado en invierno 2021 y que no se observaba desde invierno 2018. Cabe destacar que en campañas anteriores (invierno 2017 y 2018), esta tipología se había presentado en tapetes superficiales planos de la estación I-11 (66%), sin embargo, en 2019 ocurrió una disminución de estos, ya que migraron a Tipología 2 (perdiendo la macro-zona profunda), mientras en invierno 2020, dichos tapetes (antes en Tipología 2), en su mayoría superficiales planos, migraron a Tipología 3, perdiendo la macro-zona intermedia. Si bien, los tapetes de I-11 habían restituido su macro-zona Profunda en invierno 2021, en la actual campaña, nuevamente han migrado a Tipología 2 y 3, por lo que han perdido además, la macro-zona Intermedia en este último caso. Por otro lado, en invierno 2022, la estación I-17 no evidenció ningún tapete con Tipología 1, migrando la única muestra que se reportó en la anterior campaña invierno 2021, a Tipología 3, perdiendo su macro-zona Intermedia y Profunda, mientras que se mantuvo la Tipología 2 (**Tabla N° 13-22**). Cabe destacar que, en invierno de 2016 no se detectó la Tipología 1 en estas estaciones de monitoreo.

Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra	Laguna Saladita															Laguna Interna																							
	2016			2017				2018		2019			2020			2021			2022			2017		2018			2019		2020		2021			2022					
	S-11			SA-25		S-11		SA-25		SA-25 C		S-11		SA-25 C		S-11 P			SA-25 C			I-11		I-17		I-11			I-17		I-11 P		I-11 C		I-11 C			I-17 P	I-11 C
	1	2	3	4	5	1	3	4	3	2	3	2	3	1	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	1	2	3	3	2	3	1	2	3	2	1		
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																																					
		Naranja																																					
		Verde																																					
		Verde claro																																					
		Verde oscuro																																					
		Amarillo claro																																					
	Intermedia	Blanco																																					
		Rosado																																					
		Rosado claro																																					
		Rojo púrpura																																					
		Purpura																																					
	Profunda	Verde opaco																																					
		Verde opaco claro																																					
		Marrón																																					
		Marrón claro																																					
		Marrón oscuro																																					
		Gris																																					
		Gris claro																																					
		Verde																																					
		Marrón naranja																																					
Blanco																																							
Rosado																																							
Rosado claro																																							
Amarillo claro																																							
Negro																																							

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes de Tipología 2, presentaron una disminución en invierno 2022, manteniendo la tendencia a la disminución observada desde invierno 2020. En Laguna Salada, la presencia de esta tipología fue registrada en sólo una muestra, perteneciente a la estación S6-A, la cual había exhibido un 100% de tapetes de Tipología 1 en la campaña anterior, siendo la primera vez, desde invierno 2020, en que esta laguna vuelve a registrar un tapete de Tipología 2. Este tapete, perdió la macro-zona Profunda, principalmente, la tonalidad marrón a diferencia de campañas anteriores (invierno 2019 y 2020) donde se habían perdido las tonalidades verde y naranja, correspondientes a la macro-zona Subsuperficial (**Tabla N° 13-23**).

Sobre Laguna Saladita, se pudo observar una disminución en la proporción de tapetes de Tipología 2, evidenciándose sólo un tapete superficial plano (33%) de la estación SA-25, lo cual representa, en esta laguna, una disminución de 75% en la prevalencia de esta tipología, respecto a invierno 2021, los cuales migraron a Tipología 1 en invierno 2022. Cabe destacar que es la primera campaña, desde invierno 2019, en la que disminuyen casi por completo los tapetes de Tipología 2 en esta laguna. Este cambio en la tipología se representa en la recuperación de la macro-zona Profunda, de tonalidad marrón, que habían perdido los tapetes coriáceos de SA-25. Este fenómeno de recuperación podría sugerir la presencia de condiciones ambientales que podrían estar alterando la formación y estructura de estos tapetes microbianos, provocando que reestructuren sus capas, migrando de Tipología 1 a 2 o viceversa (**Tabla N° 13-24 (Cont.)**). Se sugiere mantener el seguimiento de estos tapetes y evaluar su reconfiguración tipológica en el tiempo.

En Laguna Interna, no se observaron cambios mayores en la Tipología 2. Al respecto, uno de los tapetes coriáceos de la estación I-11, exhibió esta tipología, probablemente, al migrar desde Tipología 1, perdiendo la macro-zona Intermedia. Por otro lado, la estación I-17, mantiene al menos el 66% de sus tapetes con esta conformación tipológica, similar a lo observado en invierno 2021 y anteriores campañas. Cabe destacar que la estación I-17, se caracteriza por presentar tapetes de Tipología 2 (**Tabla N° 13-24 (Cont.)**).

Tabla N° 13-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra		Salada																
		2018		2019						2020						2022		
		S-9		S-6A			S-9			S-6A			S-9			S6-A P		
		2	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2		
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■														■	
		Verde	■														■	
		Verde claro																
		Verde amarillo																
		Verde oscuro																
		Rosado																■
		Amarillo																
		Amarillo claro	■															
		Intermedia	Blanco		■													
	Rosado			■	■		■	■	■	■	■			■	■	■	■	■
	Verde												■	■	■			
	Verde claro															■		
	Naranja										■		■	■	■			
	Amarillo																	
	Profunda	Púrpura		■	■	■	■				■	■	■				■	
		Verde oscuro		■		■					■	■	■					
		Marrón	■		■	■		■	■	■			■	■	■	■	■	
		Marrón claro								■		■				■		
		Amarillo												■	■			
		Púrpura										■	■	■	■	■	■	
		Verde claro									■					■		
		Verde																
		Negro												■		■		

*Tipología 2 no fue reportada en inviernos 2016, 2017 y 2021 en Laguna Salada

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-24 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2022

Año/Muestra	Saladita															Interna											
	2016	2017	2018	2019			2020			2021			2022	2017	2018	2019			2020			2021	2022				
	SA-25	S-11	S-11	S-11	SA-25 C	SA-25 P	S-11	SA-25 C	SA-25 P	S-11 P	SA-25 C	SA-25 P	SA-25 P	I-17	I-17	I-11 C	I-11 P	I-17	I-11 C	I-17	I-17 P	I-11 C	I-17 P	I-11 C	I-17 P		
	3	2	3	3	1	1 2 3	1 2 3	2	1	1	2 3	1	1	1 3	2	1 3	1 3	1 2 3	1 2	3	1 3	2	1 3	2	1 3		
Subsuperficial	Naranja																										
	Verde																										
	Verde claro																										
	Verde amarillo																										
	Verde oscuro																										
	Rosado																										
	Naranja claro																										
	Amarillo																										
	Amarillo claro																										
Intermedia	Blanco																										
	Rosado																										
	Verde																										
	Verde claro																										
	Naranja																										
	Amarillo																										
	Púrpura																										
	Blanco																										
Profunda	Verde oscuro																										
	Marrón																										
	Marrón claro																										
	Amarillo																										
	Púrpura																										
	Verde claro																										
	Verde																										
	Rosado																										
Negro																											

*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 3, se observó un aumento de 40% en la prevalencia de esta conformación, principalmente, debido a la migración de los tapetes de I-11 e I-17 desde Tipología 2, los cuales perdieron la macro-zona Intermedia y/o Profunda. Cabe destacar que los tapetes planos superficiales planos de la estación I-11, se caracterizan por presentar esta conformación tipológica (**Tabla N° 13-25**).

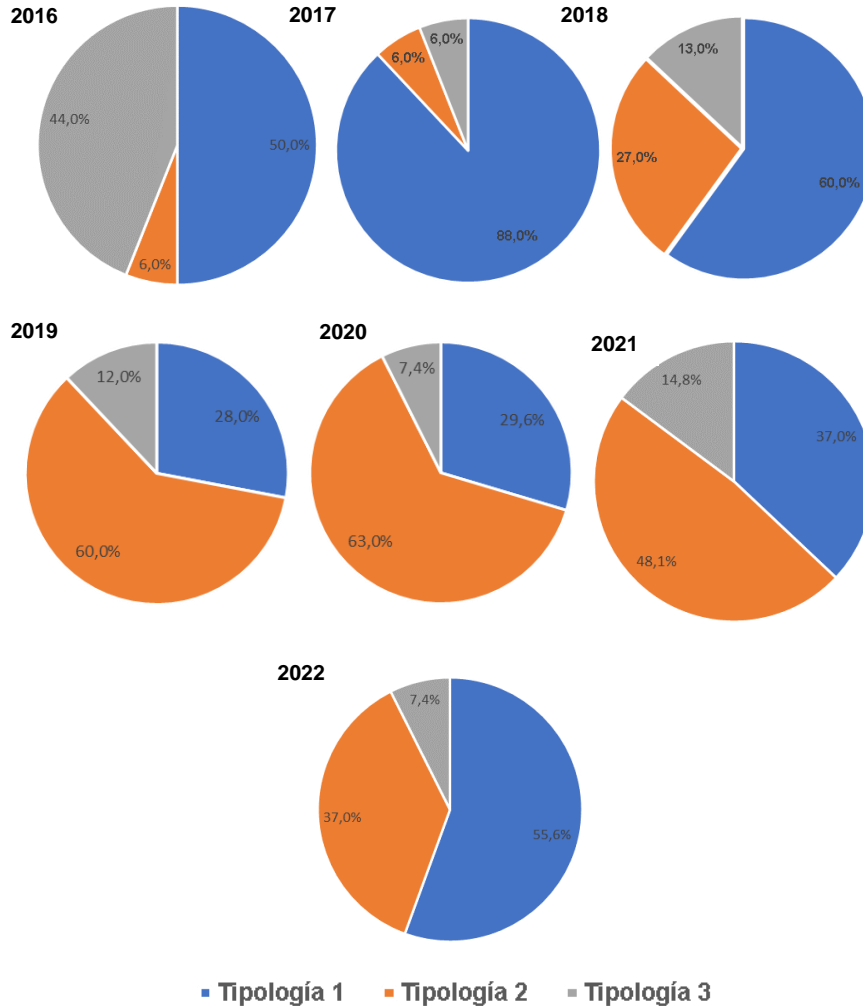
13.3.3.2.2 Sector La Punta-La Brava

El Sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1, 2 y 3 durante las campañas de invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021. Comparado a invierno 2021, se puede observar que en invierno 2022 hubo un aumento de ~18,6% en la prevalencia de tapetes de Tipología 1, un aumento que ha sido sostenido desde invierno 2019. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron (~11,1%) en comparación a invierno 2021. Además, se observó una disminución (~7,4%) en la prevalencia de Tipología 3, viéndose un efecto contrario a lo que se observó en invierno 2021, cuando se notaba un aumento en la prevalencia de esta tipología, volviendo, de este modo, a 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° 13-30**).

El Sector La Punta-La Brava, presentó diferencias sustantivas en la prevalencia de Tipología 1, con diferencias a nivel específico entre las lagunas. En el caso de la Laguna La Punta, hubo un aumento del 17% de las muestras de tapetes, respecto a invierno 2021, particularmente en la estación LP-24, donde si bien, la proporción en la prevalencia de Tipología 2 se mantuvo (50%), los tapetes de Tipología 3 disminuyeron en favor de la Tipología 1 (**Tabla N° 13-26**). Por otro lado, en los tapetes de la Laguna La Brava que presentaron Tipología 1, aumentaron un 50% y 33% en LB-1 y LB-2, respectivamente, sin embargo, tendieron a disminuir (un 17%) en LB-3, especialmente los tapetes coriáceos (**Tabla N° 13-27, Tabla N° 13-28 (Cont.)**). Por otro lado, la Tipología 2 tendió a la disminución, principalmente en LB-1 y LB-2 (**Tabla N° 13-30 (Cont.)**), donde los tapetes que presentaron esta conformación, especialmente los de estructura coriácea, migraron a Tipología 1. Respecto a la Tipología 3, Laguna La Brava no evidenció tapetes con esta conformación estructural, manteniendo lo observado en invierno 2021 (**Tabla N° 13-31**).

Así, durante invierno 2022, en el Sector La Punta-La Brava la Tipología 1 se convierte en la conformación predominante, seguido de la Tipología 2 y finalmente, la Tipología 3 (**Figura N° 13-30**).

Figura N° 13-30. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados tanto en la estación de monitoreo LP-23 (66%) como en LP-24 (33%) lo cual concuerda con lo observado en campañas de invierno anteriores (2016 a 2021), no obstante, aumentaron levemente en LP-24 (17%), respecto a invierno 2021 donde no habían sido detectados. En ese contexto, cabe destacar la reparación de dicha tipología en la estación LP-24, ya que en todas las campañas anteriores (invierno 2016 a 2020), había exhibido esta conformación tipológica (Tabla N° 13-26).

Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra		La Punta																			
		2016			2017			2018			2019			2020	2021		2022				
		LP-23		LP-24	LP- 23		LP-24	LP-23		LP-24	LP-23		LP-24 P	LP-24 P	LP-23		LP-23 P		LP-24 C		
		2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1		
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																			
	Profunda	Purpura																			
		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																					

En la Laguna La Brava, se observa una fuerte recuperación de la Tipología 1, especialmente de los tapetes coriáceos de las estaciones LB-1 y LB-2, con un aumento de 2,3 veces. De esta manera, se puede observar 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 2021) (**Tabla N° 13-27**). Por otro lado, en LB-3 se observó una leve disminución de la Tipología 1, especial de tapetes coriáceos, que migraron a Tipología 2 (**Tabla N° 13-28 (Cont.)**). En ese sentido, tal como se propuso en el Informe N° 6 Invierno 2021, 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° 13-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra		La Brava																																						
		2016		2017			2018			2019		2020				2021			2022																					
		LB-1		LB-1			LB-1			LB-2	LB-2	LB-2	LB-2 P	LB-2 C	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-1 P	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C																
		2	3	1	2	3	1	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	2	2	3	3	2	1	3	3	1	2	3	1	3	1	2	3					
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
		Verde	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Verde claro																																						
		Verde oscuro														■	■	■																					■	
		Rosado												■	■	■																								
		Naranja claro																																						
		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																																								

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-28 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra		La Brava																						
		2016					2017					2018		2019		2020			2021			2022		
		LB-3					LB-3					LB-3	LB-3	LB-3 P		LB-3 P	LB-3 C		LB-3 P	LB-3 C				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	3	1	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																						
		Verde opaco																						
		Naranja																						
		Verde																						
		Verde claro																						
		Verde oscuro																						
		Marrón claro																						
		Amarillo																						
		Amarillo claro																						
		Profunda	Blanco																					
			Rosado																					
	Purpura																							
	Blanco																							
	Verde opaco claro																							
	Verde opaco oscuro																							
	Marrón																							
	Marrón claro																							
	Marrón morado																							
	Marrón oscuro																							
	Púrpura																							
	Rosado gris																							
	Verde																							
	Verde claro																							
Café naranja																								
Amarillo claro																								
Gris																								
Negro																								

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, exhibió 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%). El hallazgo de esta tipología en estos tapetes coincide con lo registrado en invierno 2019 e invierno 2020, donde también se exhibió esta estructura tipológica. Principalmente, se observa que la estación más prevalente es LP-24, la cual mantuvo estable la presencia de esta tipología, respecto a invierno 2021 y similar a 2020, para los tapetes coriáceos e incluso para los tapetes superficiales planos. Esto muestra un cambio respecto a los inviernos anteriores (2016 a 2019), dado que estas estaciones, clásicamente, exhiben tapetes de Tipología 1.

En todos los casos, se observa la pérdida de la macro-zona profunda, representada en capas de tonalidad marrón. 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° 13-29**).

Respecto a Laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se observaron en las tres estaciones estudiadas (LB-1, LB-2 y LB-3), sin embargo, mostraron leves variaciones, respecto a invierno 2021, con disminución en la conformación de algunos tapetes. No obstante, y al igual que en invierno 2021, se ha 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 disminuye (33%) en tapetes coriáceos.

Un efecto similar se observó en LB-2, 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 han migrado hacia Tipología 1. Por otro lado, en LB-3, los tapetes coriáceos disminuyeron en un 66%, 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 (2106 a 2018). La mayoría de los cambios, se reflejaron en la pérdida de la macro-zona profunda de estos tapetes (**Tabla N° 13-30 (Cont.)**).

Tabla N° 13-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2022.

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	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																		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-30 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra		La Brava																												
		2016		2017	2018		2019						2020						2021						2022					
		LB-1	LB-2	LB-2	LB-2	LB-3	LB-1 P	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 P	LB-3 C	LB-1 P	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-3 P	LB-3 C	LB-1 P	LB-2 P	LB-3 P	LB-3 C		
		1	4	2	2	2	4	1	3	1	2	3	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	1	3	1	2	1
Subsuperficial	Blanco																													
	Naranja																													
	Amarillo																													
	Verde																													
	Verde claro																													
	Verde oscuro																													
	Rosado																													
	Púrpura																													
	Blanco																													
	Rosado																													
Rosado claro																														
Purpura																														
Rojo																														
Profunda	Verde																													
	Verde claro																													
	Amarillo claro																													
	Rosado																													
	Púrpura																													
	Marrón																													
	Marrón claro																													
	Gris																													
Negro																														

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, la Laguna La Punta exhibió un 66% de los tapetes superficiales planos de la estación LP-24 con esta conformación. No obstante, LP-24 se caracteriza por presentar esta tipología en los tapetes superficiales.

Por otra parte, en Laguna La Brava, no hubo reportes de Tipología 3, de los cuales durante invierno 2021, sólo una muestra de tapetes coriáceos de la estación LB-3 exhibió dicha conformación (**Tabla N° 13-31**). 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° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra		La Punta					La Brava								
		2017	2018	2019	2021			2022	2018	2019		2020		2021	
		LP-24	LP-24	LP-24 P	LP-24 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	3	2	1	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 y 2022 en Laguna La Brava.

Fuente: Elaboración propia

13.3.3.2.3 Sector Tilopozo

Este sector solo presentó tapetes microbianos en la campaña de invierno 2016 (Tabla N° 13-32). Se ha observado, que el sector presenta cambios temporales respecto a la disponibilidad de agua. Entre la campaña invierno 2019 e invierno 2022, la estación TB-2, presentó ausencia de agua superficial respecto a campañas de monitoreo anteriores.

Tabla N° 13-32. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2022. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra			Tilopozo					
			2016	2017	2018	2019	2020	2021
			TB-2	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	-	-
Macrozona	Subsuperficial	Blanco		S/C	S/C	S/C	S/C	S/C
		Naranja						
		Amarillo						
		Verde						
		Verde claro						
		Verde oscuro						
	Intermedia	Blanco						
		Rosado						
		Rosado claro						
		Purpura						
	Profund	Verde claro						
		Amarillo claro	S/C					
		Marrón						

Fuente: Elaboración propia
 (s/c: sin capas)

13.3.3.3 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 (**Tabla N° 13-33**) 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 2021) y en el Sector La Punta - La Brava, en la estación LB-1 y la estación LP-23 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 (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, invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.

Estación de Monitoreo	Registro visual													
	Microbialito							Evaporita						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
S-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Estación de Monitoreo	Registro visual													
	Microbialito							Evaporita						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(+) Presencia, (-) No detección

13.3.4 Análisis evolución veranos 2017 a 2023

13.3.4.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector

Los resultados de los diferentes 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 actual 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 relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña verano 2023, 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 6 campañas de monitoreo de verano (2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023), 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 2023, se registró una disminución en la proporción de tapetes de Tipología 1, respecto a las anteriores campañas de verano (2017, 2018, 2019 y 2022), exceptuando verano 2021. Dentro de las estaciones de monitoreo que más cambiaron, respecto de la última campaña verano 2022, destacan LP-23 (Laguna La Punta) y LB-1 (La Brava), donde la detección de tapetes fue principalmente de Tipología 2 y en menor medida, Tipologías 1 y 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 sutilmente respecto a verano 2022, luego de haber registrado un progresivo descenso hasta verano de 2021. Específicamente, laguna La Punta, aumentó el número de capas promedio en verano 2023 (3,7 capas), respecto a verano 2022 (3,1 capas). Por otro lado, La Brava, mantuvo constante el número de capas promedio en verano 2023, respecto a verano 2022, con 3,9 y 3,7 capas promedio, respectivamente.

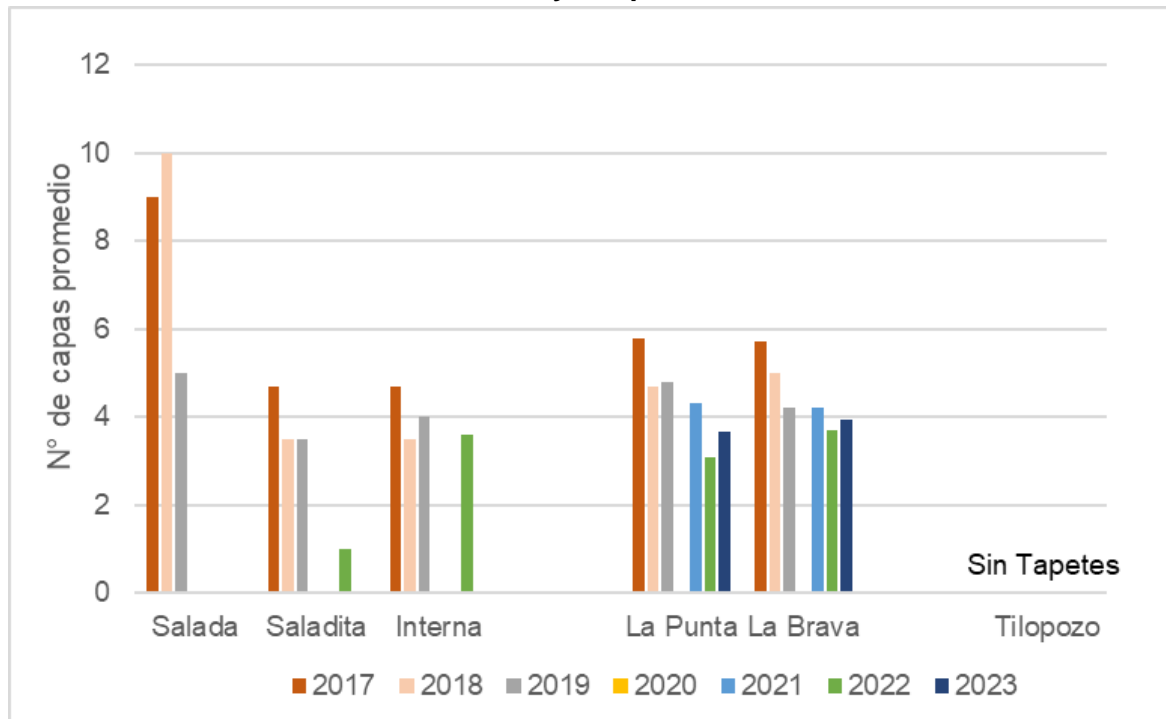
Dentro de las estaciones de monitoreo 2023 que presentan diferencias respecto de las campañas anteriores para el Sector La Punta-La Brava, destacan LP-23 (Laguna La Punta) y LB-1 (Laguna La Brava), en los cuales se detectaron principalmente tapetes de Tipología 2 y en algunos casos, tapetes de Tipología 3. 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° 13-31**).

Respecto al sector La Punta-La Brava, entre la campaña verano 2017 y verano 2023 se observa que las capas promedio, registraron una leve disminución, que varió desde 5,8 a 3,7 capas en laguna La Punta y de 5,7 a 3,9 capas en laguna La Brava, reduciendo levemente la tendencia a la disminución en esta laguna, aunque sigue teniendo valores por debajo de las 4 capas promedio (**Figura N° 13-31**). 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 hasta llegar a 3,7 capas promedio, un aumento de 0,6 capas promedio entre verano 2022 y 2023.

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 (**Figura N° 13-31**). Por último, del Sector vegas de Tilopozo, se mantiene sin tapetes microbianos en la actual campaña, así como en las campañas de verano anteriores (**Figura N° 13-27**).

Figura N° 13-31. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2023.



Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19.

(*) Verano 2023, se monitorearon solo 8, sin acceso al Sector Peine.

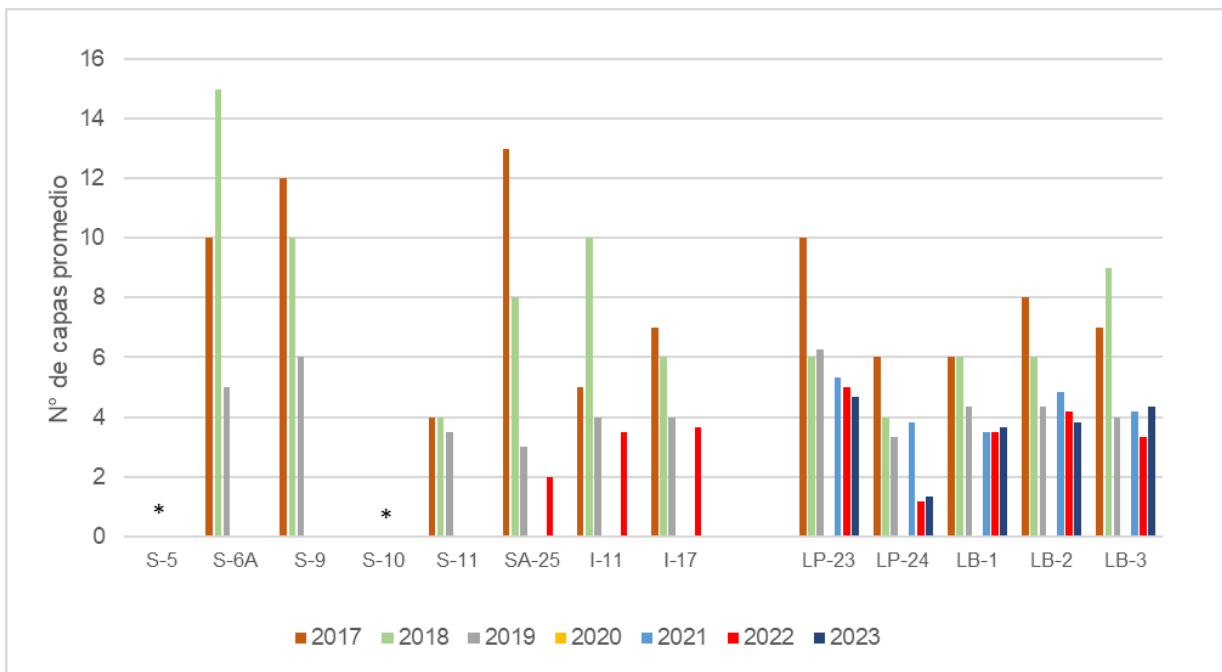
Fuente: Elaboración propia

Al analizar el número de capas por estación de monitoreo, (**Figura N° 13-32**), se observa en laguna La Punta, la estación LP-23 se mantuvo estable respecto a verano 2022, con 5 capas promedio. La estación LP-24, si bien también se mantiene respecto del número de capas promedio observada en verano 2022 (1,0 capa), se observa que varía desde 4,0 capas en verano 2021 a 1,0 capa en verano 2022 y 1,0, en verano 2023, es decir, muestra entre 2021

a 2023 cerca de un 75% de reducción. Si bien en verano 2017 se anotaron el mayor número de capas promedio de esta laguna, 10 y 6 capas para LP-23 y LP-24, respectivamente, la disminución se ha mantenido en rangos que varían entre 5 - 6 (LP-23) y 3 - 4 (LP-24) capas promedio hasta verano 2021, por lo 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, la estación LP-24 no evidenció tapetes sumergidos, los cuales si habían sido registrados entre verano 2017 y verano 2021.

En laguna La Brava, el número de capas 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), mientras que LB-3 anotó un leve aumento de este parámetro, el cual varió en 1,0 capa promedio (**Figura N° 13-32**). De este modo, las mayores variaciones en el número de capas, entre periodos de verano, fue observado en LP-24, el cual se sigue manteniendo en 1,0 capa promedio.

Figura N° 13-32. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2023.



(*) 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.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las seis 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 y 2023.

13.3.4.2 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 y 2023, sólo en las zonas que hubo datos en 2023.

13.3.4.2.1 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 2023 que permita hacerlo, por lo que no se considera adecuado.

13.3.4.2.2 Sector La Punta-La Brava

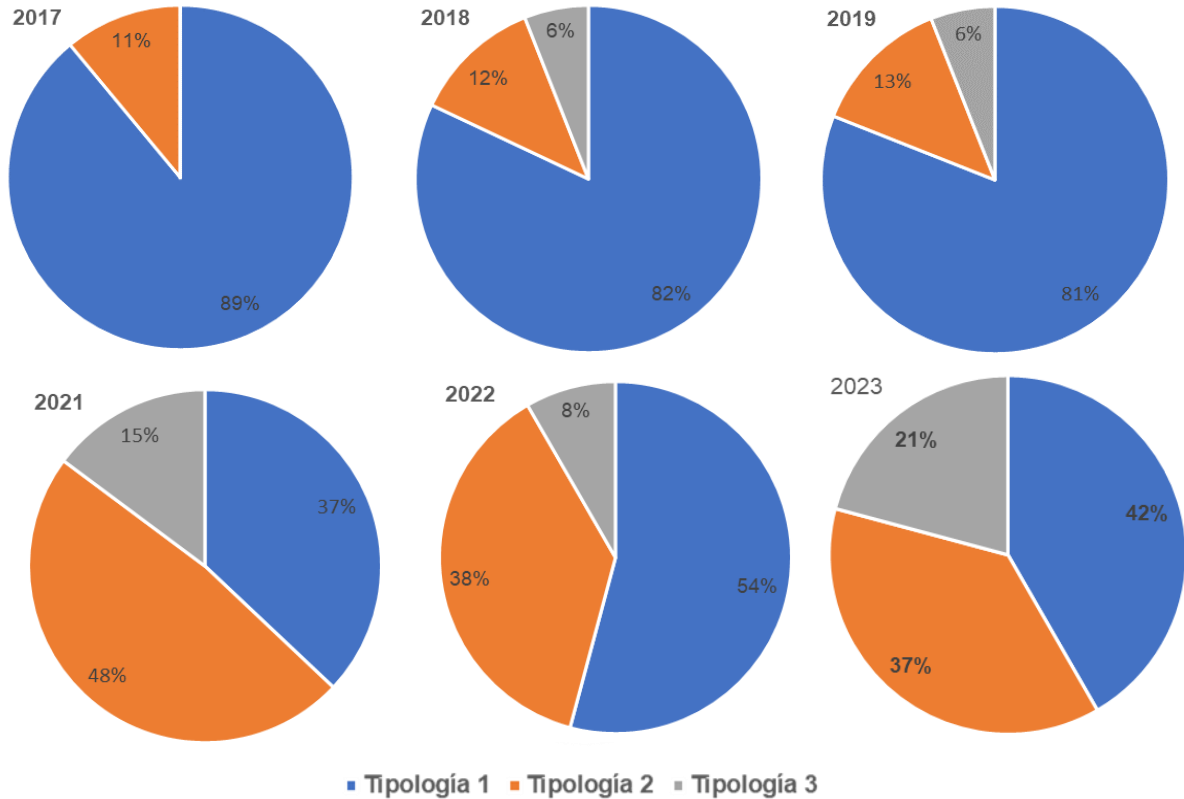
El Sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1 y 2 durante las campañas de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023. Por otro lado, la Tipología 3 fue observada en todas las campañas, excepto en verano 2017. Durante verano 2023, hubo una disminución de 22,2% en la Tipología 1, respecto de verano 2022. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron (~5,3%) en comparación a verano 2022. Por el contrario, se observó que la Tipología 3, aumentó (~175%) respecto a verano 2022. Cabe destacar que en verano 2020 no hubo muestreo debido a la pandemia COVID-19.

A nivel de lagunas, la Laguna La Punta, presentó una disminución de 67% en los tapetes que exhibieron la Tipología 1, respecto a verano 2022, donde se había reportado la mayor prevalencia, pasando de 50% a 17%; por contraparte, la Tipología 2 aumentó un 67% entre los mismos periodos, mientras que la Tipología 3 no manifestó variaciones. Por otro lado, en la Laguna La Brava, la Tipología 1 disminuyó de 56% a 50% de prevalencia, equivalente a un ~10%, asimismo, la Tipología 2 también anotó una disminución de un ~25% (desde 44% a 33% de prevalencia).

Por el contrario, la Tipología 3, que no había sido reportada en verano 2022, mostró una prevalencia de 17% en verano 2023. Así, se observa una disminución en la prevalencia de la Tipología 1, valores que mantienen la tendencia registrada 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 3 en la estación LB-1 y, en menor medida, LB-3 (**Tabla N° 13-36**), las cuales eran de Tipología 2 (**Tabla N° 8-41**), mientras que la Tipología 2 se mantuvo, en general, constante en Laguna La Brava, debido a su prevalencia en LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 13-36**).

De este modo, en el Sector La Punta-La Brava, la leve disminución de tapetes tipología 1 observada en verano 2019, vuelve a manifestarse, a pesar de su aumento en verano 2022, en comparación a los valores obtenidos en los anteriores veranos (2017 y 2018) y que se vio fuertemente marcada en verano 2021. Esto, representa una disminución cercana a un 53% en la prevalencia de Tipología 1 en verano 2023 respecto a verano 2017 y un 23% respecto a verano 2022. La Tipología 2, mantuvo su prevalencia respecto a 2022, aunque se mantiene aumentada 3,4 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, su prevalencia aumentó 2,5 veces respecto a la última campaña de verano 2022 (**Figura N° 13-33**).

Figura N° 13-33. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, Verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 disminuyeron, registrándose la presencia de esta tipología en una de las muestras de la estación LP-23 en la actual campaña verano 2023, lo cual contrasta con lo observado en todas las campañas anteriores (verano 2017 a 2022), en que se había exhibido esta conformación tipológica, excepto verano 2021. Los tapetes de esta estación perdieron la macro-zona intermedia (tonalidad púrpura y/o blanco) (Tabla N° 13-34). La tipología 1 no fue detectada en la estación de monitoreo LP-24, si bien, en anteriores campañas (verano 2017 a 2021), siempre había exhibido, al menos una muestra, con esta conformación de macro-zonas (Tabla N° 13-35).

Tabla N° 13-34. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra		LP-23																	
		2017				2018			2019				2022			2023			
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1			
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																	
		Verde																	
		Verde claro																	
		Verde oscuro																	
		Verde opaco																	
		Verde opaco claro																	
		Amarillo																	
		Naranja claro																	
		Rosado																	
		Rosado claro																	
		Intermedia	Blanco																
	Rosado																		
	Rosado claro																		
	Marrón oscuro																		
	Purpura																		
	Profunda	Verde																	
		Verde claro																	
		Verde oscuro																	
		Verde opaco																	
		Verde opaco claro																	
		Verde opaco oscuro																	
		Blanco																	
		Marrón																	
		Marrón oscuro																	
		Marrón verde																	
		Marrón morado																	
		Rosado																	
	Purpura																		
Negro																			
Naranja																			
Naranja claro																			

Fuente: Elaboración propia

*Tipología 1 no fue reportada en verano 2021 en LP-23

Tabla N° 13-35. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra			LP-24					
			2017		2018	2019		2021
			1	2	1	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja						
		Verde						
		Verde claro						
		Verde oscuro						
		Verde opaco						
		Verde opaco claro						
		Naranja claro						
		Rosado						
		Rosado claro						
		Blanco						
	Intermedia	Rosado						
		Rosado claro						
		Marrón oscuro						
		Purpura						
		Verde						
	Profunda	Verde claro						
		Verde oscuro						
		Verde opaco						
		Verde opaco claro						
		Verde opaco oscuro						
		Blanco						
		Marrón						
		Marrón oscuro						
		Marrón verde						
		Marrón morado						
		Rosado						
		Purpura						
		Amarillo						
Naranja								
Naranja claro								

Fuente: Elaboración propia

*Tipología 1 no fue reportada en verano 2022 en LP-24

En la laguna La Brava, se observa una disminución en la prevalencia de Tipología 1, debido a una migración de los tapetes de la estación LB-1 a Tipología 2 y Tipología 3, mientras que se mantuvo estable en LB-2 y con un leve aumento en LB-3, aunque no lo suficiente, para poder mantener la Tipología 1 como la más prevalente netamente. No obstante, cabe destacar, que LB-1 es una estación, que se caracteriza por exhibir tapetes con Tipología 1 (**Tabla N° 13-36**). De igual forma que LB-1, la estación LB-2 se caracteriza por presentar tapetes con Tipología 1, siendo hallados en todas las campañas de verano anteriores (2017 a 2022), sin mayor cambio aparente (**Tabla N° 13-37**). En el caso específico de LB-1, los tapetes perdieron la macro-zona profunda (tonalidad marrón o verde claro). Este fenómeno, podría estar indicando

un evento de detrimento de la Tipología 1 y, por consiguiente, de las capas de microorganismos que pudieron haber disminuido en verano 2021. 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° 13-38).

Tabla N° 13-36. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra		LB-1																			
		2017			2018				2019			2021	2022					2023			
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	2-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					■									■			■	■			

Fuente: Elaboración propia
 -P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Tabla N° 13-37. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra		LB-2																						
		2017			2018			2019			2021				2022				2023					
		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	
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																						■
		Verde opaco	■																					
		Verde oscuro	■																					
		Verde opaco oscuro																						
		Blanco																						
		Marrón		■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Marrón claro		■				■	■	■														
		Marrón oscuro					■	■																
		Marrón naranja			■	■	■																	
Marrón naranja oscuro																								
Amarillo			■																					
Negro																		■	■					

Fuente: Elaboración propia
 -P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Tabla N° 13-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra		LB-3																										
		2017			2018			2019	2021			2022		2023														
		1	2	3	1	2	3	1	3-P	1-C	3-C	1-P	2-P	3-P	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																											

Fuente: Elaboración propia
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, exhibió este tipo de tapetes tanto en el 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, en los tapetes se observa que habrían perdido la macro-zona intermedia, principalmente, de tonalidad rosada (**Tabla N° 13-39**), contribuyendo a un aumento en la prevalencia de Tipología 2 a nivel general, lo cual representa un aumento de 4 veces respecto a lo registrado en verano 2022. Esto indicaría 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). Cabe destacar que en LP-24, donde, junto a los tapetes superficiales planos, también existe registro constante de tapetes sumergidos o humedecidos, esta vez y al igual que en verano 2022, no se encontraron y la zona de muestreo estaba desecada, lo cual reduce completamente la cantidad de muestras a considerar en cuanto al seguimiento en la evolución de esta estación de monitoreo.

Respecto a Laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se observaron en las tres estaciones estudiadas, tanto para tapetes superficiales planos (LB-2 y LB-3), como coriáceos (LB-1, LB-2 y LB-3), mostrando valores similares a los observados a verano 2022 y 2021, aunque manteniendo notables variaciones, con respecto a los anteriores veranos (2017 a 2019), donde, a lo más, sólo había sido detectada una muestra en LB-1 (verano 2017), una muestra LB-3 (verano 2019) y ninguna en verano 2018. Si bien, en la actual campaña no hubo grandes variaciones respecto a verano 2022, al considerar las anteriores campañas (verano 2017 a 2019), se mantiene el aumento de 7 a 8 veces en prevalencia de esta tipología, al tomar en cuenta las tres estaciones.

Cabe destacar, que, salvo LB-3, las estaciones LB-1 y LB-2, se caracterizan por poseer, de manera constante, la Tipología 1, mostrando una fuerte caída en estas estructuras, representado en la pérdida de la macro-zona profunda (tonalidad marrón) y en menor de la macro-zona intermedia (tonalidades rosado y/o púrpura) (**Tabla N° 13-40**), 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° 13-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2023.

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												
		Rosado												
	Intermedia	Rosado												
		Púrpura												
		Verde oscuro												
	Profunda	Verde oscuro												
		Verde opaco claro												
		Verde opaco oscuro												
		Marrón												
		Marrón claro												
Púrpura														
Gris														
Verde														

Fuente: Elaboración propia

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Tabla N° 13-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra		2017	2019	2021						2022						2023													
		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			
		2	3	1	3	1	3	3	1	2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	2	1	1	
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																											
		Verde																											
		Verde claro																											
		Verde oscuro																											
		Verde opaco claro																											
		Amarillo																											
		Rosado																											
	Intermedia	Rosado																											
		Púrpura																											
		Blanco																											
	Profunda	Verde oscuro																											
		Verde opaco claro																											
		Verde opaco oscuro																											
		Marrón																											
Marrón claro																													
Negro																													
Rosado																													

Fuente: Elaboración propia
 -P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

En cuanto a Tipología 3, 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, también se aprecia el surgimiento de la Tipología 3 en Laguna La Brava, donde tapetes de las estaciones LB-1 y LB-3 evidenciaron esta conformación macroscópica. Esto refleja un aumento en la prevalencia de esta tipología, lo cual se debería a la pérdida 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 este drástico cambio se conserva, aún, en LP-24 y con la novedad observada en LB-1 y LB-3, se sugiere mantener la atención en este sitio y en la posible recuperación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1 (Tabla N° 13-41).

Tabla N° 13-41. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2023.

Año/Muestra			2021			2022		2023				
			LP-24 P		LP-24 C	LB-1 P	LP-24 P		LP-24 P	LB-1 P	LB-1 C	LB-3 C
			1	1	2	2	1	2	2	3	3	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

13.3.4.2.3 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 voluntarias al monitoreo. En este sector no se detectó la presencia de tapetes microbianos en verano 2023, al igual que en reportes anteriores (verano 2017 a 2022).

13.3.4.3 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 y 2023 (**Tabla N° 13-42**) 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 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° 13-42. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo.
 Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023.**

Punto de Monitoreo	Registro visual																
	Microbialito							Evaporita									
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023			
S-5	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	-	-	-	Pandemia COVID-19	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-								

(+) Presencia, (-) No detección

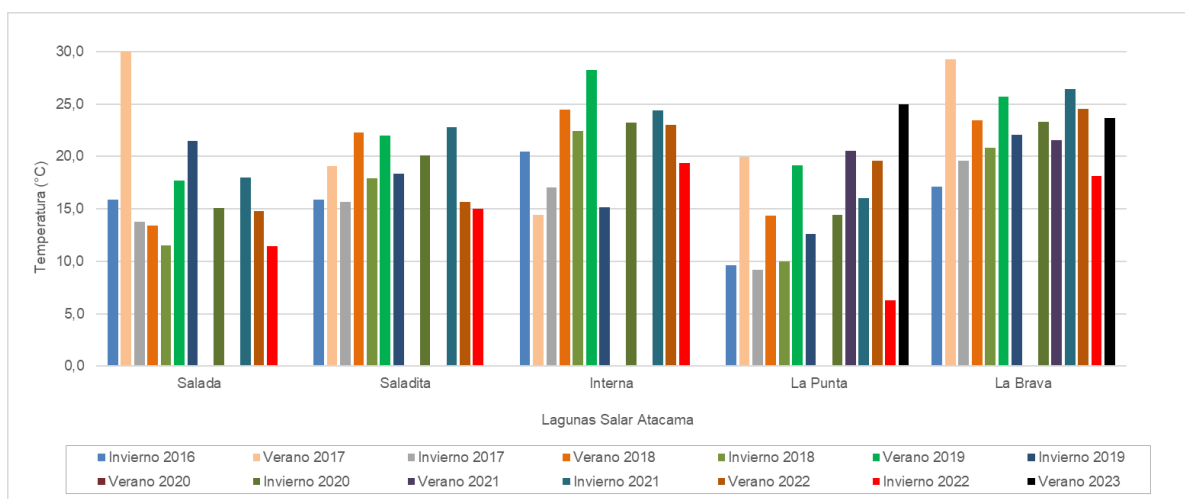
13.3.5 Evolución de Parámetros Físicos y Químicos (2016-2023)

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 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 y en verano 2023 por la prohibición de acceder al sector de Peine por parte de la comunidad de Peine.

- *Temperatura*

En relación con la temperatura promedio registrada en periodos invierno y verano, el valor máximo se observó en verano 2017, con un valor de 30,1 °C en la laguna Salada, sector Peine. 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° 13-34**). 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° 13-34. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.



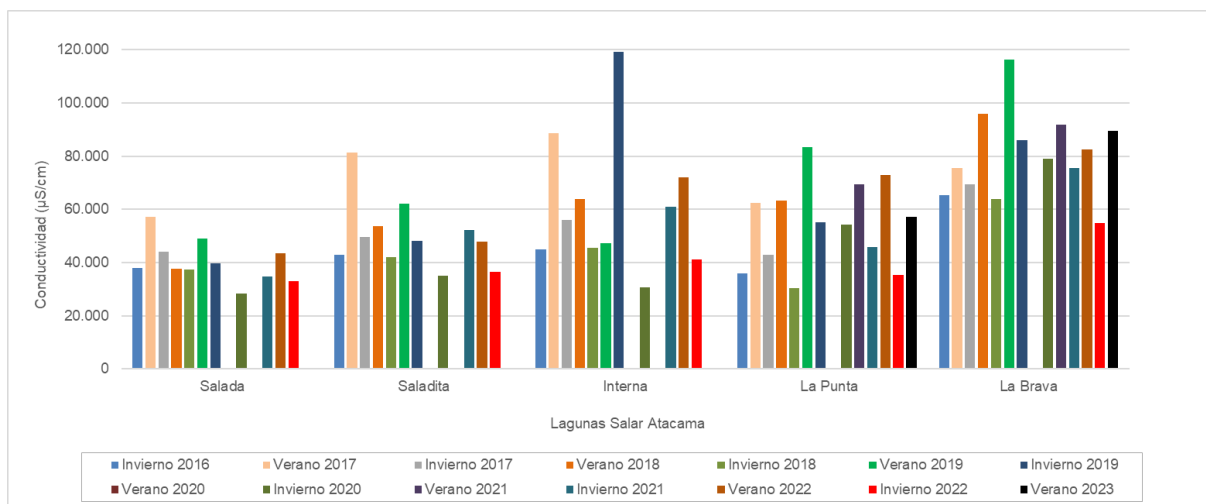
Fuente: Elaboración propia

- *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 µS/cm en la laguna Interna, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con 28.335 µS/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° 13-35).

Figura N° 13-35. Variación promedio de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.

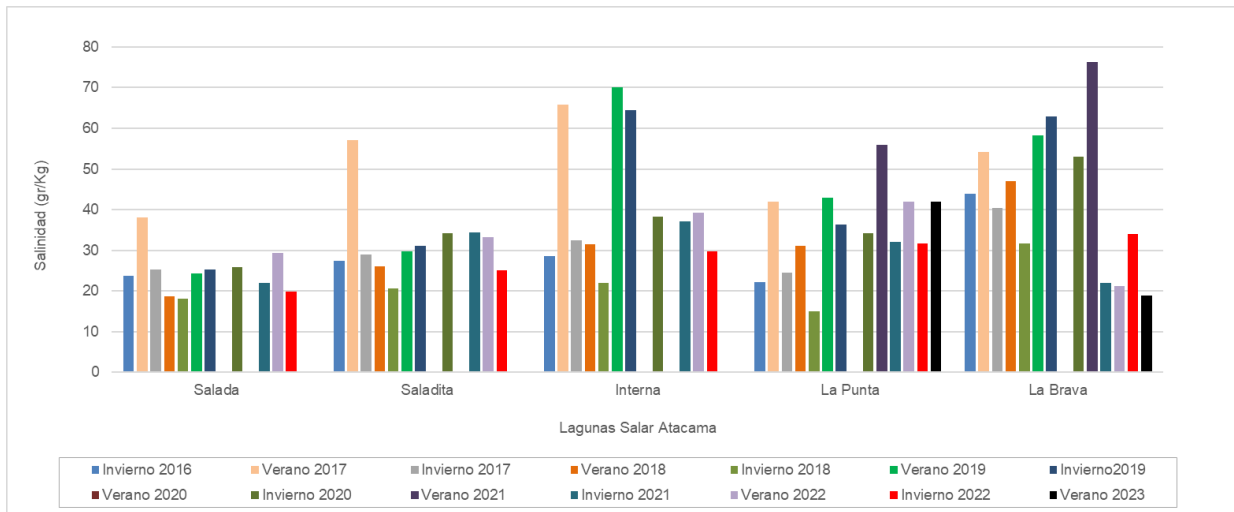


Fuente: Elaboración propia

- **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° 13-36). 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).

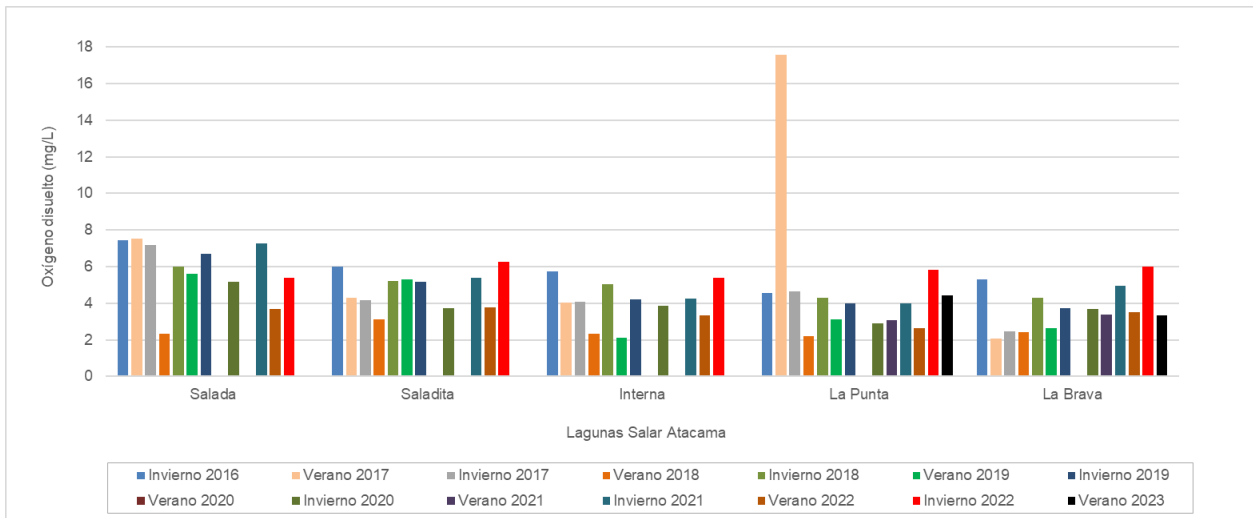
Figura N° 13-36. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.

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° 13-37**). Esto se condice con los registros de salinidad y conductividad, en el sector La Brava 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° 13-37. Variación promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.

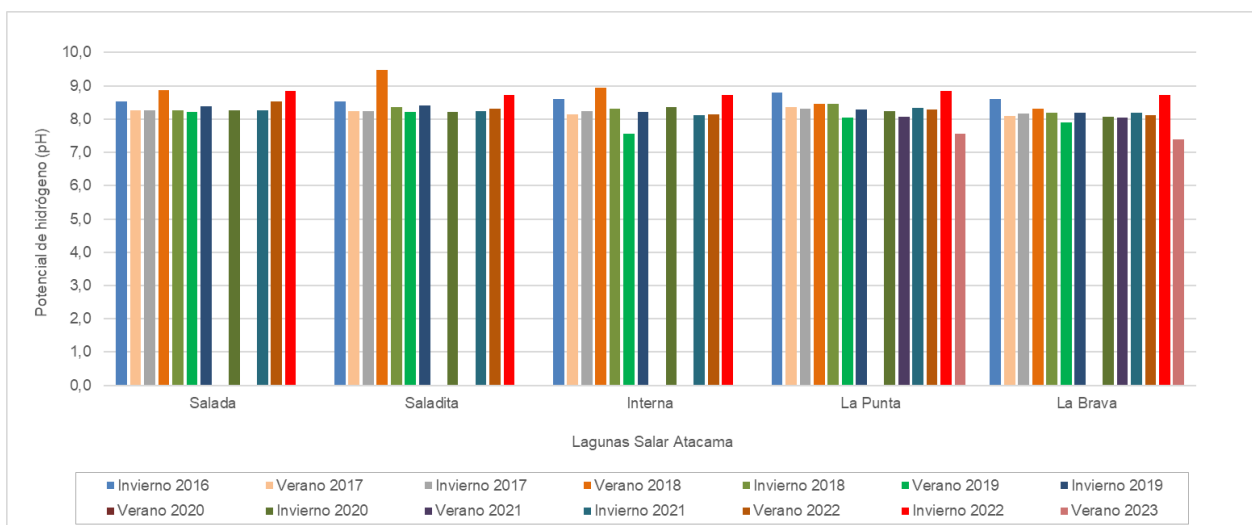


Fuente: Elaboración propia.

- *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° 13-38). En general, 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).

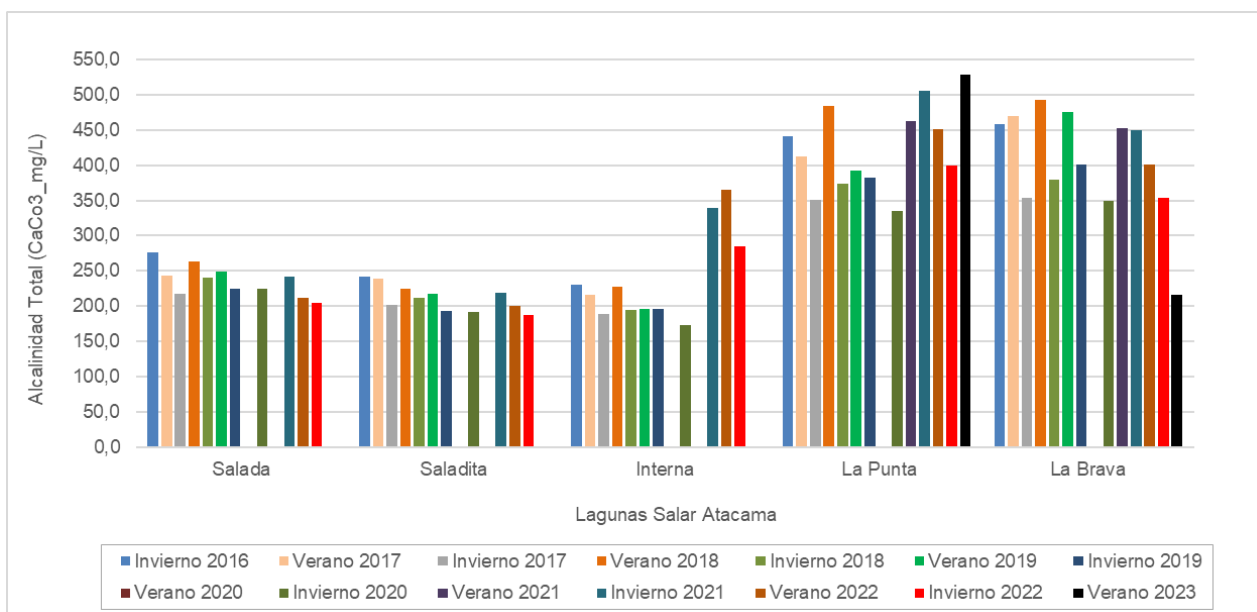
Figura N° 13-38. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.

Fuente: Elaboración propia.

- *Alcalinidad Total*

Para la alcalinidad registrada en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en verano 2023, con un valor de 528 mg/L en la laguna La Punta, 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° 13-39**). En general, 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).

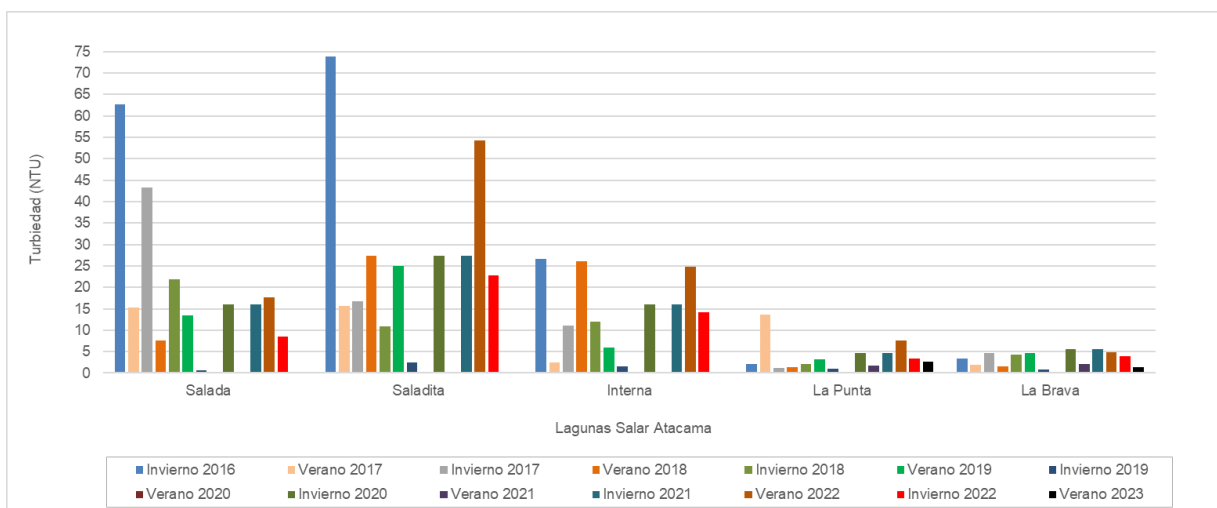
Figura N° 13-39. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO₃_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.



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° 13-40**). 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).

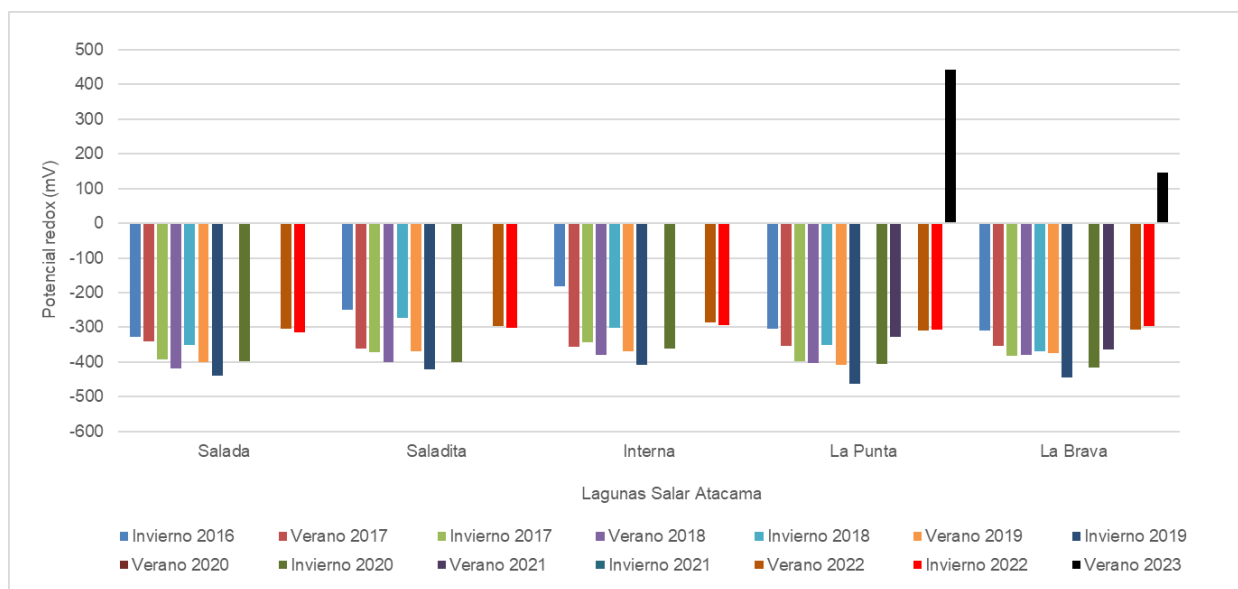
Figura N° 13-40. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.

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 444 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° 13-41**).

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° 13-41. Variación promedio de potencial redox (mV) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2023.

Fuente: Elaboración propia.

13.4 En relación con Suelo o Sustrato

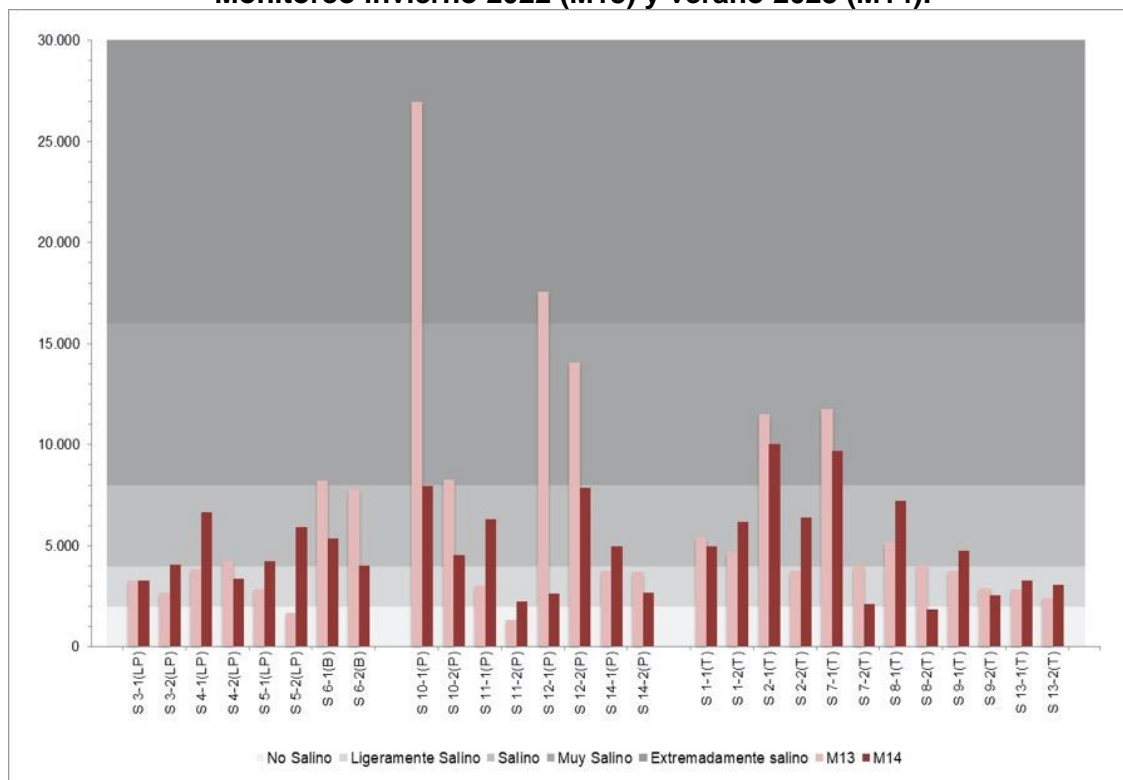
13.4.1 Comparación monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14)

En Anexo 1 Suelos o Sustrato, se presenta el detalle de los resultados de los análisis de laboratorio, de las muestras de suelo tomadas durante los monitoreos M13 y M14, como también los formularios de terreno de ambas campañas.

13.4.1.1 Conductividad Eléctrica

Para el área de estudio, los suelos no salinos (C.E. < 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$), están representados por 2 puntos de muestreo en M13 y por uno en M14. En cambio, los suelos ligeramente salinos (C.E. entre 2.000 a 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) corresponden a 12 puntos en M13 disminuyendo a 9 en M14. Para el monitoreo M13 los suelos salinos (C.E. entre 4.000 a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) están representados por 7 puntos aumentando a 16 en M14. Mientras que, los suelos muy salinos (C.E. entre 8.000 - 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) se observa en 5 puntos en M13 y en 2 en M14. Finalmente, los suelos extremadamente salinos (C.E. > 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) se presentan sólo en 2 puntos en M13 (**Figura N° 13-42**).

**Figura N° 13-42. Resultados análisis laboratorio Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).**



Fuente: Elaboración Propia.

Del total de puntos de muestreos (28), sólo en 10 de ellos (S 1-1, S 1-2, S 2-1, S 3-1, S 7-1, S 8-1, S 9-2, S 13-1 y S 13-2 y S 14-2) la categoría de conductividad eléctrica se mantiene en ambas campañas y se observa una importante variación numérica en los resultados, lo que implica la variabilidad de este parámetro en función de la diversidad de los suelos.

Para el área de estudio, en el 50% de los puntos de muestreo la conductividad eléctrica aumenta en M14 respecto a M13, variación que se presenta en el rango de 9 mS/cm a 4.217 mS/cm. En cambio, en aquellos puntos en los cuales la conductividad eléctrica disminuye (el 50% restante), este rango es más amplio (346 mS/cm a 19.006 mS/cm), ver **Figura N° 13-42**.

En el sector de La Punta-La Brava en cinco (5) puntos (62,5%) la conductividad eléctrica presenta un aumento en M14, en un rango variable (9 a 4.217 mS/cm), correspondiendo en su totalidad a aquellos situados en La Punta. En los puntos restantes (uno de ellos en el Sector La Punta) se observa una disminución de la conductividad eléctrica en valores de menor rango (865 mS/cm a 3.751 mS/cm). Respecto a las categorías de salinidad del suelo, en dos puntos de muestreo ésta se mantiene (S 3-1 y S 6-2) y en las restantes existe un cambio tanto en aumento como en disminución, y en general este es en una categoría, excepto el punto S 5-2 que de no salino aumenta a salino (**Figura N° 13-42**).

Tal como se observa en la **Figura N° 13-42**, en este sector en M13 en tres puntos de muestreo la C.E. es menor en profundidad, disminuyendo a 2 en M14, y solo el punto S 6 lo hace en las 2 evaluaciones, esto es un indicador de la variabilidad de este parámetro en el sector.

Por su parte, en el sector de Peine, en 3 puntos (37,5%) la conductividad eléctrica aumenta en M14 respecto a M13 disminuyendo en los restantes, variación que se sitúa en un rango de entre 890 y 19.006 uS/cm. Estos cambios implican que sólo en uno de ellos la categoría se mantiene (S 14-2), y en general, en la mayoría de los puntos esta modificación implica sólo una categoría, excepto S 10-1 (2 categorías) y S 12-1 (3 categorías), ver **Figura N° 13-42**.

En el sector de Tilopozo, en 6 puntos la conductividad eléctrica es mayor en M14 respecto a M13, variando entre 417 mS/cm y 2.626 uS/cm, y la disminución lo hace en un rango similar (346 mS/cm y 2.195 uS/cm). Cabe señalar que solamente en 4 puntos hubo un cambio de categoría entre ambas campañas, mientras que en 8 esta se mantuvo. De los puntos que presentaron cambios, solamente S 8-1 presentó una modificación mayor a una categoría (con dos categorías) (**Figura N° 13-42**).

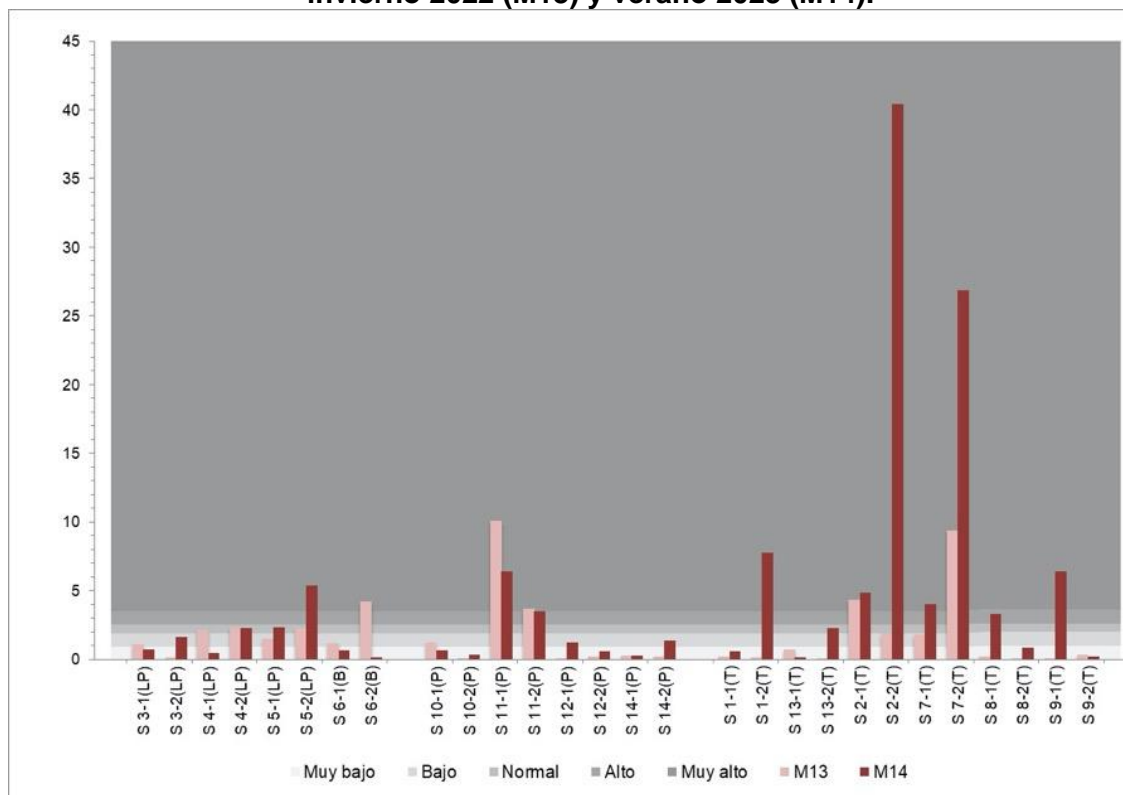
En general para el área de estudio se observa un menor contenido de sales en profundidad para ambas campañas (invierno 2022 y verano 2023), dado que sólo en un punto la C.E. es mayor en M13 (S 4) y en 4 para M14 (S 1, S 3, S 5 y S 12). Por otra parte, no se identifica estacionalidad en los valores de la conductividad eléctrica en el perfil, considerando que en el 50% de los puntos de muestreo los valores son mayores en M13 respecto a M14.

13.4.1.2 Materia Orgánica

En relación con la materia orgánica, tanto en M13 como M14 la categoría dominante corresponde a muy baja con un 50% de los puntos (14) y un 42,9% (12) del total, respectivamente (**Figura N° 13-43**).

En M13 la categoría baja está representada con un 21,4% (6), luego la muy alta con un 17,9% (5) y con un 10,7% (3) lo hace la categoría alta. En cambio, en M14 la categoría muy alta participa con un 28,6% (8), luego baja y normal con un 10,7% (3) cada una y finalmente la alta, con un 7,1% (2). En 17 puntos de muestreo la materia orgánica aumenta en M14 respecto a M13, y en igual número de puntos existe un cambio de categoría, ver **Figura N° 13-43**.

Basados en los resultados, se observa que el sector La Punta-La Brava, en 5 puntos de muestreo existe una disminución de la materia orgánica en M14 respecto a M13 y en un rango entre 0,06 y 4,07%, esto se presenta tanto en sectores asociados al sistema lagunas, como fuera de este, destacando los puntos S 4 y S 6 donde esto ocurre en tanto en superficie como en profundidad. El aumento del contenido de materia orgánica en M14 se verifica en 3 puntos con un rango que varía entre 0,84 y 3,08%, esto determina que en 4 de ellos la categoría disminuya, en 3 aumenta y sólo en uno se mantiene (S 4-2), ver **Figura N° 13-43**.

Figura N° 13-43. Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).

Fuente: Elaboración Propia.

En Peine, se observa que la materia orgánica aumenta en un 62,5% de los puntos de muestreo (5) en M14 respecto a M13 en un rango de 0,03 a 1,16% y en los restantes (37,5%) se determina una disminución en M14, la cual varía entre 0,24 y 3,63%. Sector en el cual la mitad de los puntos de muestreo mantiene la categoría, en 2 aumenta y en igual número disminuye, cambios que involucran solo una categoría (**Figura N° 13-43**). En este sector destaca el punto S 11, asociado al humedal de Tilocalar (Sector Peine) y se caracteriza por presentar los mayores contenidos de materia orgánica en ambas evaluaciones.

En el sector de Tilopozo, en un 83,3% de los puntos de muestreo (10) en el monitoreo M14 la materia orgánica es mayor que en M13, en un rango entre 0,35 y 38,51%, excepto en S 2-1 y 13-2 donde hubo una disminución en M14, correspondiendo tanto a suelos asociados a humedales, como sectores salinos y arenales y la variación fue entre 0,15 y 0,56%. Esto determina que en la mitad de los puntos la categoría se mantenga y en los restante puntos sube a categorías superiores y que en algunos puntos de un contenido muy bajo aumenta a muy alto (S 1-2 y S 13-1), ver **Figura N° 13-43**.

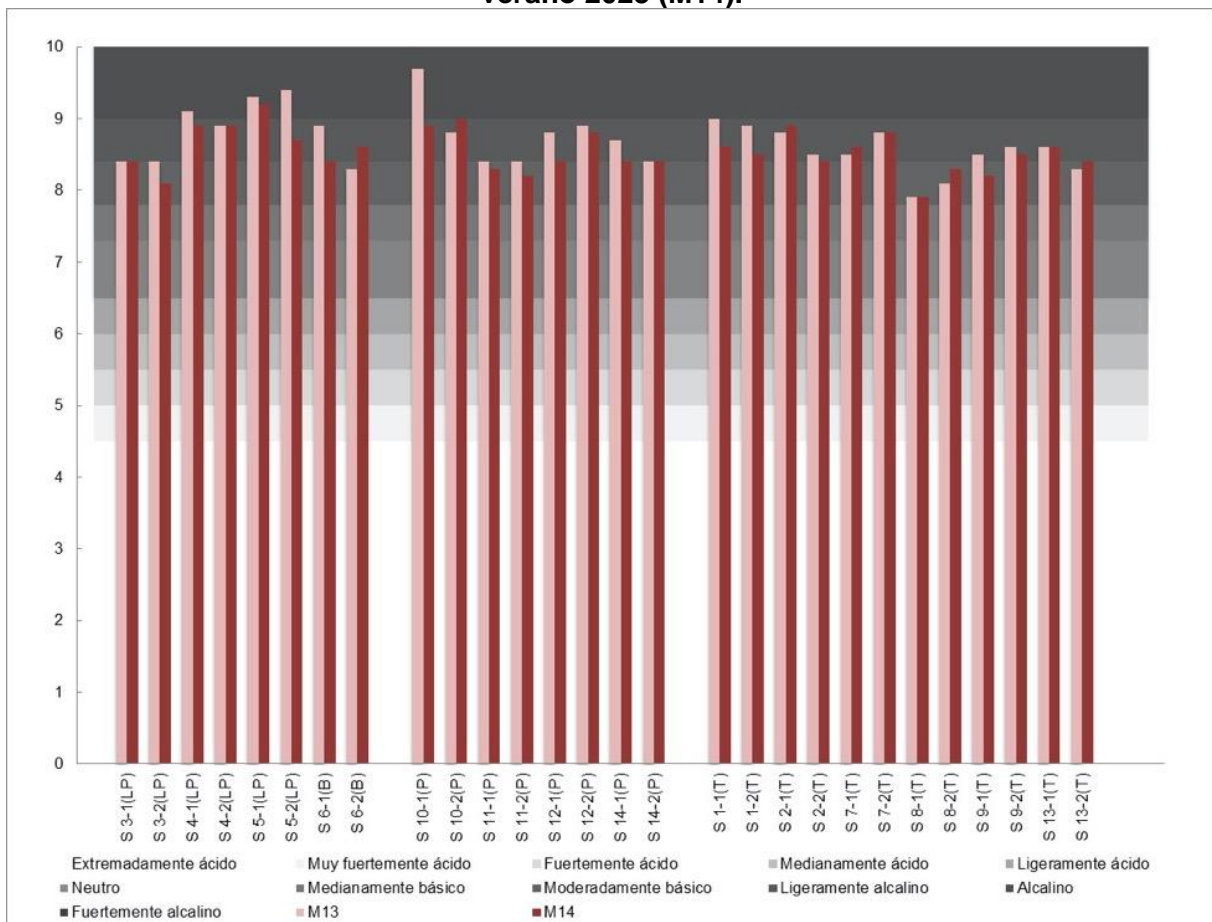
En términos generales, para los sectores de Tilopozo y Peine se observa un aumento de la materia orgánica para M14, situación opuesta se presenta en La Punta-La Brava. Las mayores concentraciones se asocian tanto a suelos de alta cobertura vegetal (vegas), como

suelos salinos y arenales, por lo que, de acuerdo a los registros, el tipo de suelo, la presencia de vegetación o la estacionalidad no son condicionante para el contenido de materia orgánica.

13.4.1.3 pH

Para el área de estudio, y considerando la totalidad de puntos de muestreo, se observa una acidificación (disminución pH) del suelo en un total de 16 puntos en M14 respecto a M13, en 6 los suelos se alcalinizan y en igual número de puntos no hay variación numérica, ver **Figura N° 13-44**.

Figura N° 13-44. Resultados análisis laboratorio pH. Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia.

Para el sector de La Punta-La Brava, en la mayoría de los puntos de muestreo (6) se observa una disminución numérica del pH (0,1 a 0,7) para M14 respecto a M13 y en los restantes puntos (2) no existen cambio en los valores (S 3-1 y S 4-2). Esto determina que la mitad de los puntos presenten un cambio de categoría (3 bajan y uno aumenta) a la inmediatamente superior o inferior (**Figura N° 13-44**).

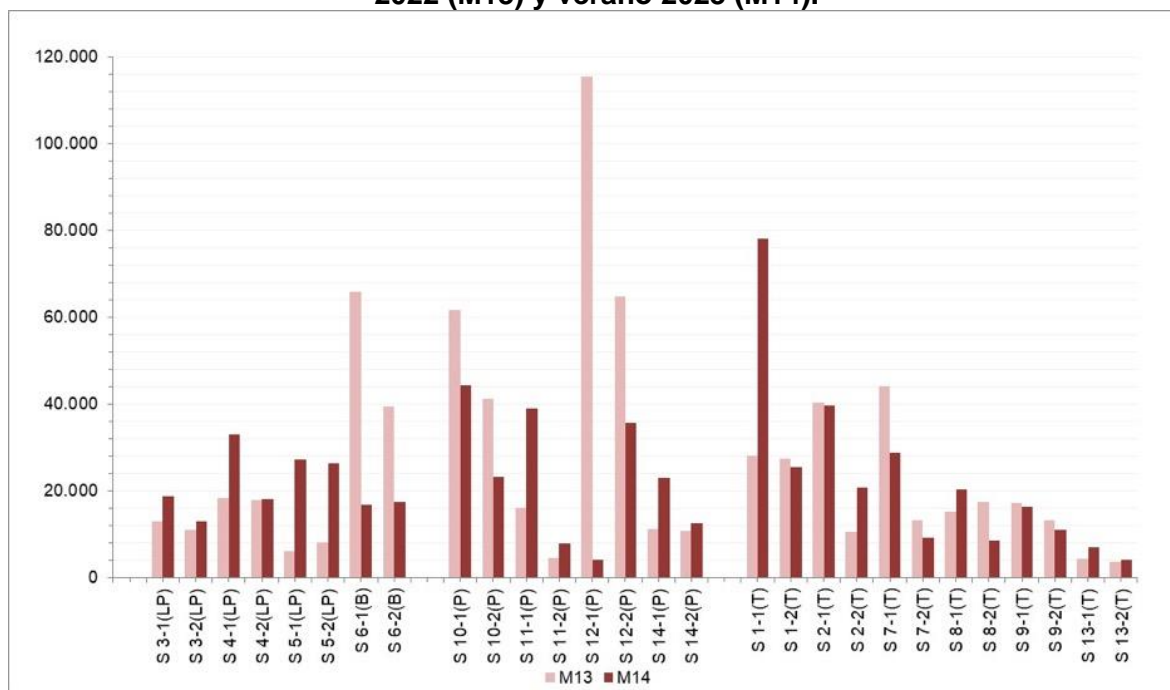
En Peine, en la mayoría de los puntos se determinó una disminución del pH en M14 respecto a M13, implicando un cambio a una categoría inferior en 3 puntos (A 10-1, S 12-1 y S 14-1). Aun cuando existe una variación numérica del pH, ésta es leve, considerando que en 5 puntos no se detectó cambio en la categoría, ver **Figura N° 13-44**.

En el sector de Tilopozo, en 5 de los puntos de muestreo el pH disminuye en M14 respecto a M13, en 4 aumenta y en 3 no hay cambio. A pesar de esto, sólo en 2 punto se observa un cambio de categoría (S 2-2 y S 9-1) y en los restantes se mantiene, la variación numérica del pH entre campañas fluctúa entre 0,1 y 0,4 (**Figura N° 13-44**).

13.4.1.4 Salinidad (Sales Solubles)

Para el área de estudio, en M13 el valor mínimo de sales solubles es 3.569 mg/kg, el cual aumenta a 4.012 mg/kg para M14, correspondiendo al punto de muestreo S 13-2, y siendo la concentración máxima en M13 de 115.389 mg/kg (S 12-1), disminuyendo a 78.144 mg/kg (S 1-1) en M14 (**Figura N° 13-45**).

Figura N° 13-45. Resultados análisis laboratorio Salinidad (mg/kg). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia.

Para el área de estudio, se observa un aumento de la concentración de sales solubles en 16 puntos en M14 respecto a M13 (**Figura N° 13-45**), el cual que se observa principalmente, en el sector de Peine, y menor proporción en La Punta-La Brava y Tilopozo, lo cual es un comportamiento normal en los suelos, dado que corresponde a la época de mayor evapotranspiración y evaporación.

En el sector de La Punta-La Brava, en un 75%% de los puntos de muestreo se observa un aumento en la concentración de sales en M14, respecto a M13, aumento que varía entre 348 y 21.207 mg/kg. En los puntos restantes la disminución en la concentración en M14, fluctúa entre 21.947 y 49.212 mg/kg. Considerando; M13 y M14, las mayores concentraciones de sales para el sector se presentan en el sector de La Brava (S 6) (**Figura N° 13-45**).

En el sector de Peine, en el 75% de los puntos de muestreo se verifica un aumento en las concentraciones de sales solubles en M14 respecto a M13, la cual varía entre 1.756 y 22.778 mg/kg, y en los restantes una disminución en M14, fluctuando entre 17.397 y 111.377 mg/kg. En general, para este sector se observa una disminución en el valor máximos en M14 (44.275 mg/kg) respecto al determinados en M13 (115.389 mg/kg), similar situación se presenta con el mínimo de 4.470 mg/kg (M13) a 4.012 mg/kg (M14), ver **Figura N° 13-45**.

Para el sector de Tilopozo, en 7 puntos se determina una disminución de la concentración de sales solubles en M14 en comparación a M13, variación entre 591 y 15.452 mg/kg. En los restantes puntos la concentración de sales aumenta en M14, en un rango entre 537 mg/kg y 50.196 mg/kg. En este sector destacan los puntos S 1-1, S 7-1 y S 2-2, donde se presentan las mayores variaciones entre ambas campañas (**Figura N° 13-45**).

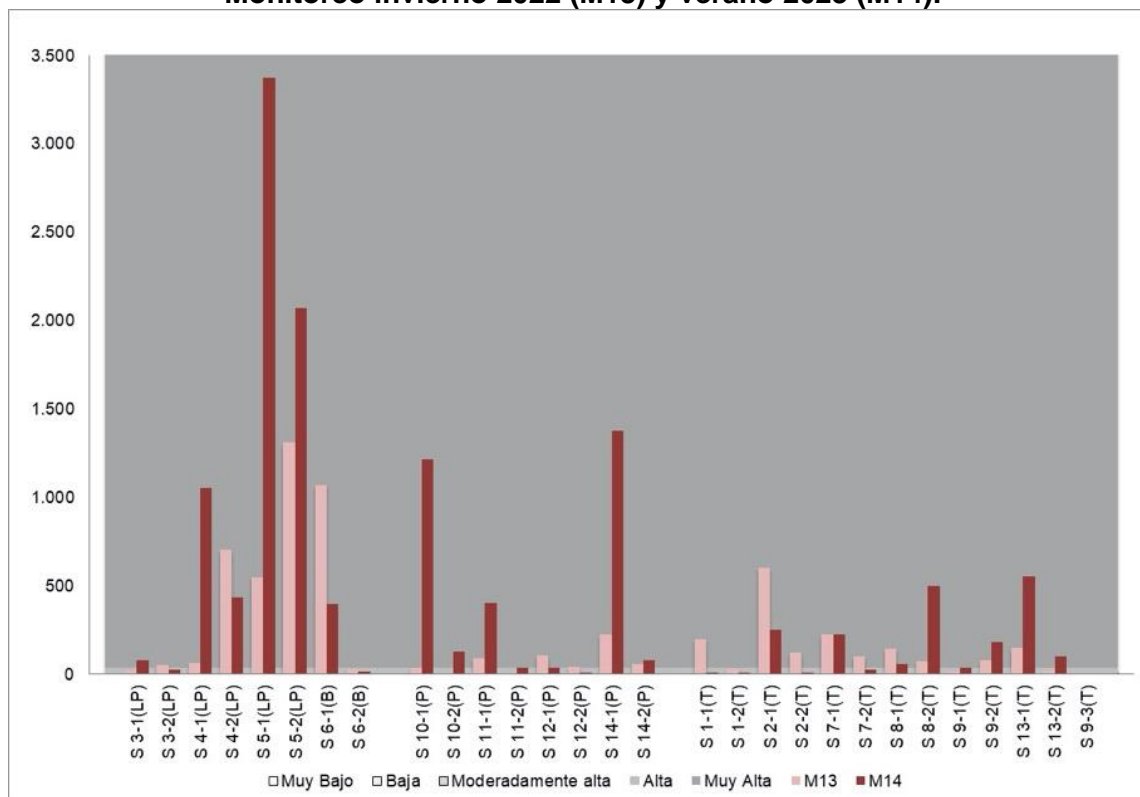
13.4.1.5 Conductividad Hidráulica o Permeabilidad

En relación con la conductividad hidráulica (permeabilidad) de los suelos del área de estudio, para el monitoreo M14 se determinó que en la mayoría de los puntos (16) se observa un aumento de ésta en el horizonte, respecto a los valores determinados para M13, variación entre 2,2 cm/h y 2.824,1 cm/h. En los restantes (12), la disminución de la permeabilidad en M14 varía entre 11,2 cm/h y 669 cm/h, ver **Figura N° 13-46**.

Para M13 se determinaron 2 puntos donde la permeabilidad es moderadamente alta, 6 donde es alta y en los restantes (20) es muy alta. En cambio, en M14 la permeabilidad moderadamente alta se presenta en un punto, la permeabilidad alta en 8 puntos de muestreo y en los restantes (19) esta es muy alta (**Figura N° 13-46**).

Sin embargo, a pesar de la variación numérica entre ambos monitoreos, los cambios de categorías sólo se presentan en 11 puntos de muestreos, de los cuales en 4 la categoría disminuye y en los otros 7 aumenta, condición que se presenta en M14 respecto a M13. En 17 puntos de muestreo se mantiene la categoría, a pesar de la variación numérica que se produce en la totalidad de los puntos (**Figura N° 13-46**), lo cual es normal dado los cambios en el suelo, entre un punto y otro producto de los diferentes materiales parentales, no implicando una intervención antrópica.

**Figura N° 13-46. Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica (cm/hr).
Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).**



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de La Punta-La Brava, en la mitad de los puntos de muestreo se determina un aumento en la permeabilidad del suelo en M14 respecto a M13 y en los restantes una disminución. Sin embargo, en la mayoría de ellos la categoría de permeabilidad se mantiene para ambas evaluaciones, excepto en S 3, donde en el punto superficial la permeabilidad aumenta y en profundidad ésta disminuye (**Figura N° 13-46**).

En el sector de Peine (**Figura N° 13-46**), en 6 puntos de muestreo se determinó un aumento de la conductividad hidráulica en M14 respecto a M13 y en los restantes una disminución, esto determina que en la mitad de los puntos de muestreo la categoría de permeabilidad cambia, siendo esta mayor, excepto en S 12-2 donde la conductividad hidráulica disminuye de muy alta a alta.

En el sector de Tilopozo, en la mitad de los puntos de muestreo, la conductividad hidráulica aumenta en M14 respecto a M13. Esto determina que en 5 puntos (S 1-1, S 1-2, S 2-2, S 7-2 y S 13-2) se presente un cambio en la categoría de permeabilidad. En los otros puntos del sector la categoría permanece constante, aun cuando se observa una variación numérica general entre 2,2 cm/h a 427,3 cm/h (**Figura N° 13-46**).

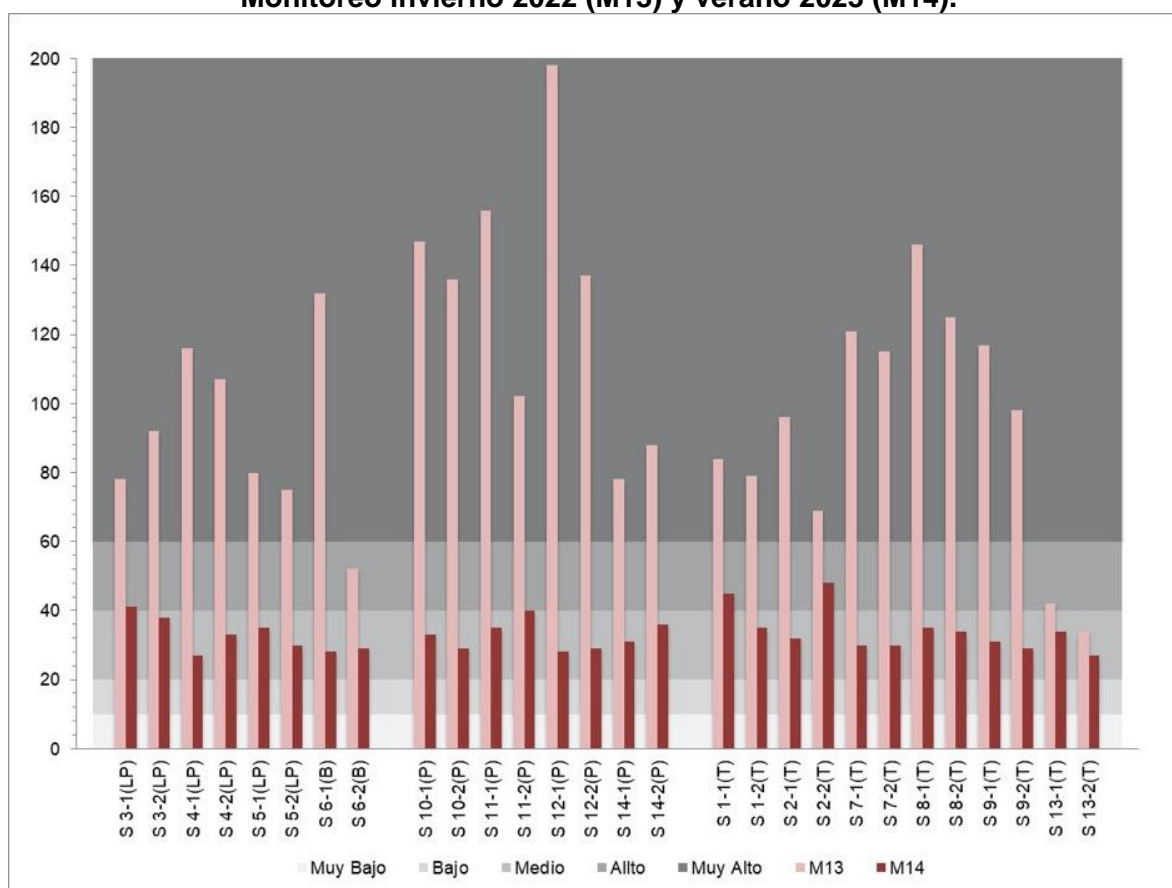
13.4.1.6 Nutrientes

a) Nitrógeno

En el área de estudio en la mayoría de los puntos de muestreo se determinó una disminución en la concentración de nitrógeno disponible en M14 respecto a M13, en un rango de 7 a 170 mg/kg, determinando que solo en un punto no exista un cambio en la categoría (S 13-2) y en los restantes (23) la disponibilidad es menor en M14 respecto a M13 (**Figura N° 13-47**)

Para el área la disponibilidad muy alta se presenta en 25 puntos en M13. En cambio, no hubo puntos en esta categoría en M 14. Mientras que, la categoría alta se determinó en 2 puntos para M13 y en 3 para M14, y la disponibilidad media se observó solo en 1 punto en M13 y en 25 para M14 (**Figura N° 13-47**). Estos resultados se pueden atribuir a una mayor actividad biológica en el suelo, lo que llevo a una alta extracción de este nutriente entre evaluaciones.

Figura N° 13-47. Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible (mg/kg). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia.

En el sector de La Punta-La Brava, se observa que en la totalidad de los puntos de muestreo disminuye la concentración de nitrógeno en M14 respecto a M13 (**Figura N° 13-47**) en un rango que varía entre 23 y 104 mg/kg, esto determina un cambio de categoría en la

disponibilidad en todos ellos. En general, el cambio es de la categoría muy alta a media, excepto en S 3-1 (muy alta a alta) y en S 6-2 (alta a media).

En Peine se observa el mismo comportamiento que en La Punta-La Brava, es decir, una disminución de la disponibilidad de nitrógeno en M14 respecto a M13 en un rango que varía entre 47 y 170 mg/kg, como también un cambio de categoría de muy alta (M13) a media (M14) en todos los puntos, ver **Figura N° 13-47**.

Para el sector de Tilopozo, al igual que en los sectores anteriores, se observa una disminución en la concentración de nitrógeno disponible en M14 respecto a M13. Esta variación se presenta en el rango de 7 y 111 mg/kg. Esto ocasiona una disminución en la concentración de nitrógeno en el monitoreo M14, lo que también determina que en todos ellos cambien a categorías inferiores en esta última evaluación, modificación que en general implica 2 categorías: muy alta a media, excepto S 1-1 y S 2-2 (muy alta a alta) y S 13-1 (alta a media), ver **Figura N° 13-47**.

b) Potasio⁴⁵

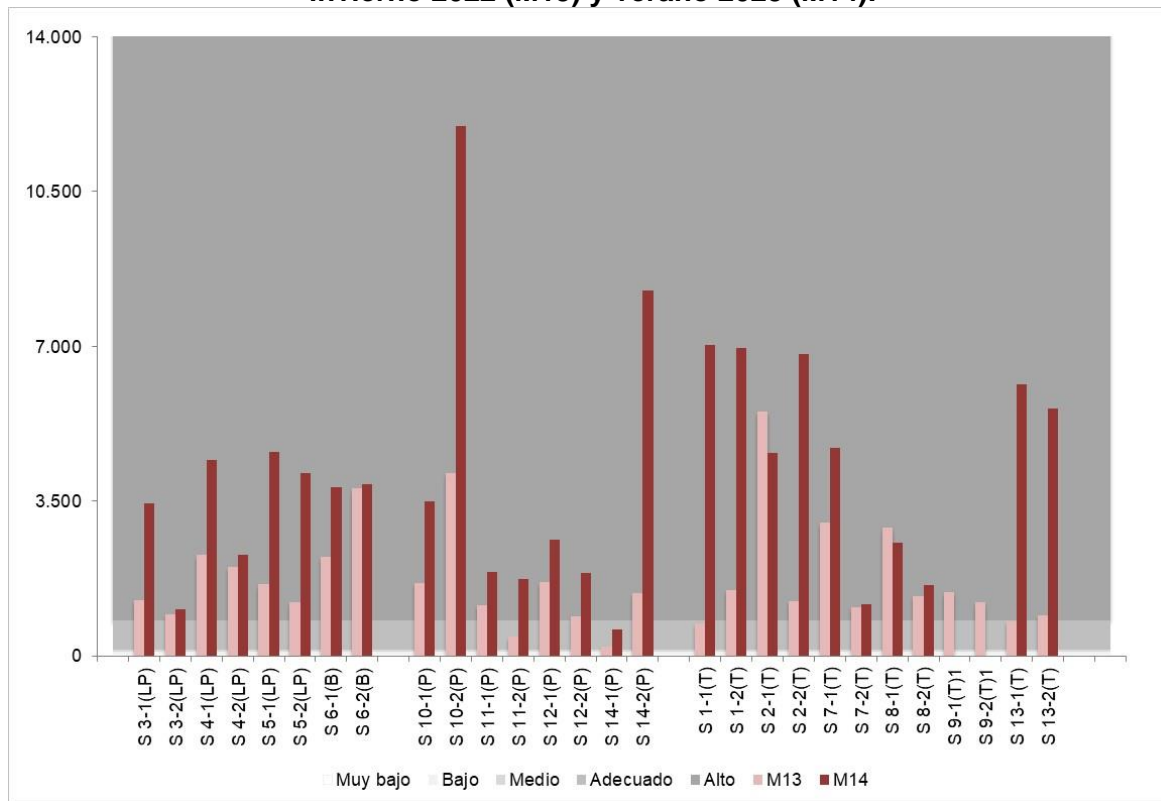
Para el área de estudio, se determinó un aumento en la concentración de potasio en M14 respecto a M13, en un rango muy amplio (53,64 y 7.829,9 mg/kg). Sin embargo, esto genera sólo un cambio de categoría en 3 puntos (S 11-2, S 1-1 y S 13-1) de disponibilidad adecuada a alta, y en los restantes la categoría se mantiene (alta), excepto S 14-1 donde ésta es adecuada (**Figura N° 13-48**). Sin embargo, considerando que se realizó un cambio de laboratorio para la determinación de este parámetro, el aumento en la concentración se podría deber a esta situación.

Este comportamiento de este macronutriente es esperable, considerando la heterogeneidad de los materiales parentales y la disponibilidad de este elemento en los suelos chilenos, del cual se indica que no es un nutriente limitante para el desarrollo de los cultivos.

Para el sector de La Punta-La Brava, en la totalidad de los puntos del monitoreo M14 se observa un aumento en la concentración de potasio, respecto a M13, en un rango que varía entre 2.973,02 y 7.829,9 mg/kg. Sin embargo, en ambas evaluaciones no existe un cambio de categoría y mantiene la misma (muy alta), ver **Figura N° 13-48**.

⁴⁵ Para la calicata S 9 no se presentan los resultados de potasio para M14, los cuales no fueron entregados debido a problemas administrativos del laboratorio encargado.

Figura N° 13-48. Resultados análisis laboratorio Potasio disponible (mg/kg). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia.

En el sector de Peine, y al igual que en el sector anterior, se observa que la en la totalidad de los puntos se observa un aumento en la concentración de potasio en M14 respecto a M13, variación que fluctúa entre 986,06 y 2.910,47 mg/kg. Sin embargo, a pesar de la variación numérica entre ambos monitoreos, el cambio de categoría se presenta en un solo punto (S 11-2), ver **Figura N° 13-48**.

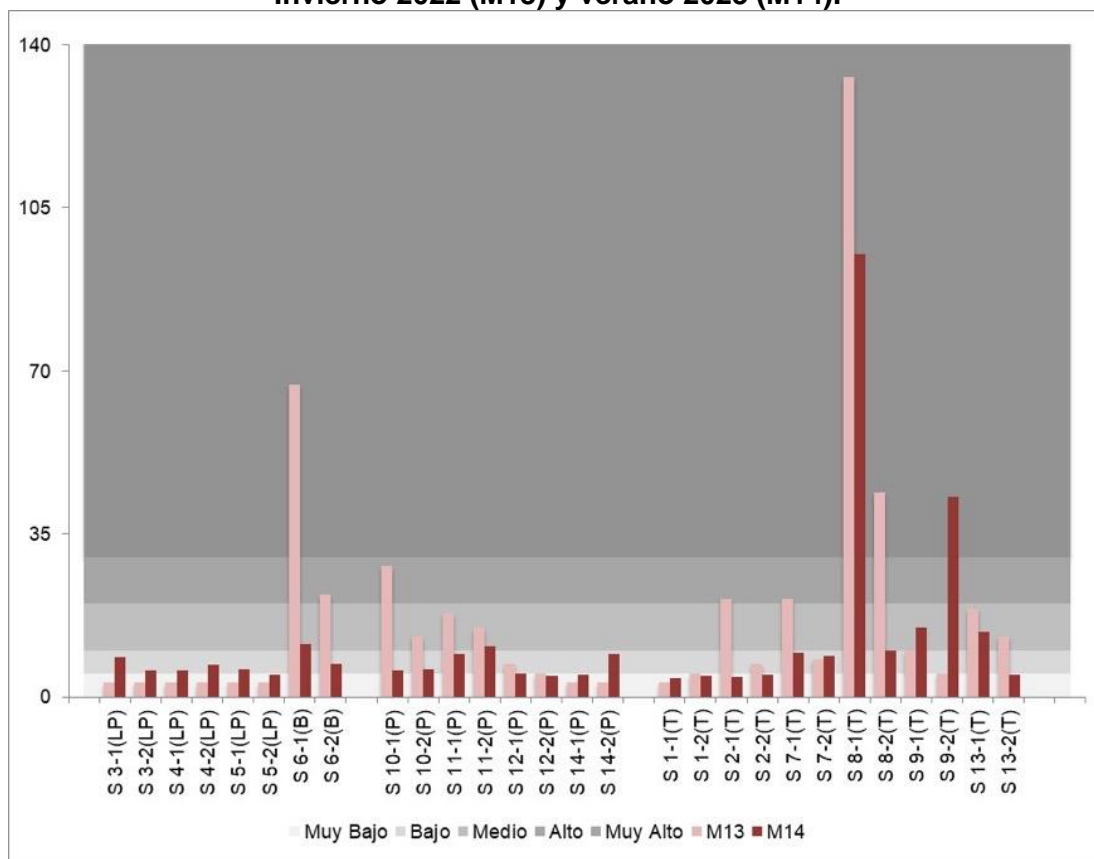
En Tilopozo, para los 10 puntos con resultados comparables, en 8 de ellos se observa un aumento de la concentración en M14 respecto a M13, disminuyendo en S 2-1 y S 8-1, variación en un rango entre 87,8 y 969,96 mg/kg, y sólo en 2 existe un cambio de categoría (S 1-1 y S 13-1) de disponibilidad adecuada a alta, ver **Figura N° 13-48**.

c) Fósforo

Para el área de estudio, el fósforo presenta un aumento de la concentración en 12 de los puntos en M14, respecto a M13 en un rango entre 0,8 mg/kg y 38 mg/kg, y una disminución en los restantes puntos de muestreo (16) entre 0,4 mg/kg y 55,7 mg/kg. Para M13 se presentan las 5 categorías de disponibilidad, siendo la de mayor frecuencia muy baja, luego baja y media con igual participación, posteriormente disponibilidad alta y la con menor frecuencia muy alta.

En cambio, en M14 sólo se presentan 4 categorías, la de mayor participación corresponde a baja, luego muy baja y finalmente alta y muy alta (**Figura N° 13-49**). Esta característica determina que sólo en 5 puntos (S 5-2, S 14-1, S 1-1, S 7-2 y S 8-1) no se verifique un cambio de categoría de disponibilidad.

Figura N° 13-49. Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia

En La Punta-La Brava, en 6 puntos se observa un aumento en la concentración de fósforo en M14 respecto a M13 (1,7 a 5,4 mg/kg), y en los restantes disminuye, pero con valores mayores (14,8 a 55,7 mg/kg). Solamente en un punto no se determinó cambio de categoría (S 5-2). En los restantes el cambio involucra una categoría y sólo en 2 involucra más de una (**Figura N° 13-49**).

En el sector de Peine, en sólo 2 puntos la concentración de fósforo aumenta en M14 respecto a M13 y en 6 disminuye en el monitoreo estival en relación al invernal. Como resultado de esta situación, solo en un punto no hay cambio de categoría (S 14-1) y en los restantes esto puede implicar hasta 3 categorías, variación en la cual los valores fluctúa entre 0,4 y 22,3 mg/kg (**Figura N° 13-49**).

En Tilopozo, en la mayoría de los puntos se presenta una disminución en la concentración de fósforo en M14 respecto a M13, en 4 de estos la concentración baja en el monitoreo estival,

variación que fluctúa entre 0,6 y 38 mg/kg. Esto determina que en 8 puntos se determine un cambio de categoría, lo cual puede implicar hasta 4 de ellas (**Figura N° 13-49**). Los puntos que mantiene la categoría en ambas evaluaciones son: S 1-1, S 1-2, S 7-2 y S 8-1.

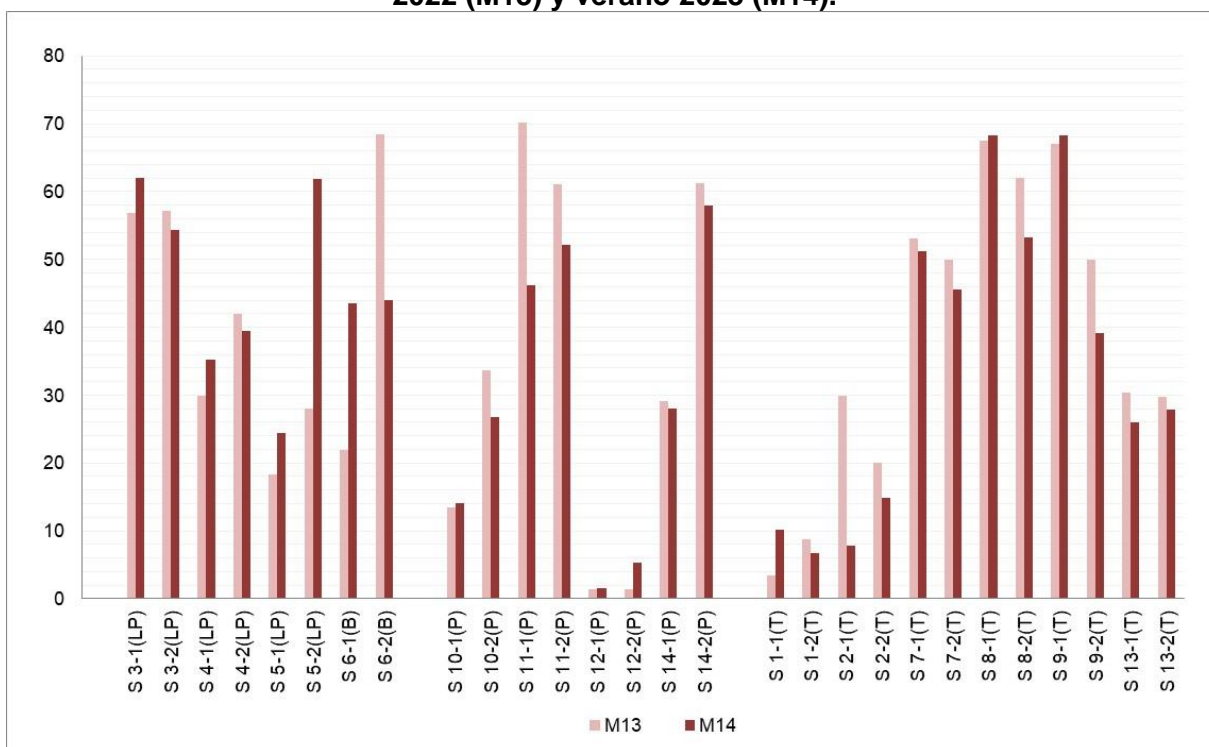
En general, los punto con las concentraciones más alta para cada sector en ambas evaluaciones son los mismos. Sin embargo, las características de los suelos involucrados no tienen relación entre ellos.

Es así como en La Punta-La Brava, el punto S 6 corresponde a un suelo con una costra salina en superficie y en términos vegetacionales es una zona denudada. Mientras que, en Peine el punto S 11 es una vega con abundante suelo orgánico y el S 10 un matorral en un suelo mineral, y en Tilopozo la mayor concentración se presenta en una vega con suelo orgánico.

13.4.1.7 Humedad

Para el área de estudio, en 11 puntos de muestreo se determina un aumento en la humedad del suelo en M14 respecto a M13, en un rango entre 0,11 % y 33,8%. En cambio, aquellos puntos de muestreo que presentan una disminución (17) lo hacen en un rango que varía entre 1,1 % y 24,4%. (**Figura N° 13-50**).

Figura N° 13-50. Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia.

En el sector de La Punta-La Brava, en la mayoría de los puntos el contenido de humedad aumenta en M14 en comparación a M13, cuya variación se encuentra entre un 5,1 y 33,8%, y en los restantes disminuye en un rango entre 2,6 y 24,2% (**Figura N° 13-50**).

En cambio, en Peine la mayoría de los puntos presentan una disminución en el contenido de humedad en M14 respecto a M13, variación que fluctúa entre 1,1 y 23,9%. En aquellos puntos donde la humedad aumenta en el monitoreo estival, la variación se presenta en el rango entre 0,11 y 3,9%, ver **Figura N° 13-50**.

En Tilopozo (**Figura N° 13-50**), en 3 puntos de muestreo la humedad aumenta en M14 en comparación a M13, en estos la variación es entre 0,7 y 6,74%, y en 9 disminuye para el monitoreo estival, siendo el rango de variación entre 1,9 y 22,02%.

13.4.1.8 Textura

Para los suelos del área de estudio, se determinaron 9 clases texturales para M13 y un total de 7 para M14.

Para el Monitoreo M13, las clases texturales determinadas para el área de estudio corresponden a: arcillosa (muy fina), arcillo limosa (fina), franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa y franco arcillosa (moderadamente fina), franca (media), franco arenosa (moderadamente gruesa), Areno francosa (gruesa) y arenosa (muy gruesa). Mientras que para M14 las clases determinadas corresponden a: arcillosa (muy fina), arcillo arenosa (fina), franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa y franco arcillosa (moderadamente fina), franca (media) y franco arenosa (moderadamente gruesa), ver **Tabla N° 13-43**.

Tabla N° 13-43. Resultados análisis de laboratorio textura. Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).

Punto de muestreo	Monitoreo		Sector
	M13	M14	
S 3-1	Franca	Franco arcillosa	La Punta
S 3-2	Franco arenosa	Franco arcillosa	La Punta
S 4-1	Areno francosa	Franco arcillo arenosa	La Punta
S 4-2	Franco arcillo arenosa	Franco arenosa	La Punta
S 5-1	Areno francosa	Franco arcillo arenosa	La Punta
S 5-2	Areno francosa	Franco arcillo arenosa	La Punta
S 6-1	Arenosa	Arcillo arenosa	La Brava
S 6-2	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	La Brava
S 10-1	Franco arcillo arenosa	Franca	Peine
S 10-2	Arcillo limosa	Arcillosa	Peine
S 11-1	Franca	Franco arcillosa	Peine
S 11-2	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Peine
S 12-1	Areno francosa	Franco arcillo arenosa	Peine
S 12-2	Areno francosa	Franco arcillo arenosa	Peine

Punto de muestreo	Monitoreo		Sector
	M13	M14	
S 3-1	Franca	Franco arcillosa	La Punta
S 14-1	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Peine
S 14-2	Arenosa	Franca	Peine
S 1-1	Areno francosa	Franca	Tilopozo
S 1-2	Areno francosa	Franco arcillosa	Tilopozo
S 2-1	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Tilopozo
S 2-2	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Tilopozo
S 7-1	Franco arenosa	Franco arcillo limosa	Tilopozo
S 7-2	Franco arcillo limosa	Franca	Tilopozo
S 8-1	Franco arenosa	Arcillo arenosa	Tilopozo
S 8-2	Franco arcillosa	Franco arcillo limosa	Tilopozo
S 9-1	Franca	Franco arcillo limosa	Tilopozo
S 9-2	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Tilopozo
S 13-1	Arcillosa	Franca	Tilopozo
S 13-2	Franca	Franca	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a los cambios en la textura de los suelos, para los mismos puntos entre ambos monitoreos, se debe principalmente a la heterogeneidad de los materiales que originan los suelos del área de estudio, dado que corresponde principalmente a un sustrato heterogéneo proveniente de aportes de material del entorno del salar y que ha sido movilizado hacia el interior de la cuenca tanto por el viento como por el agua.

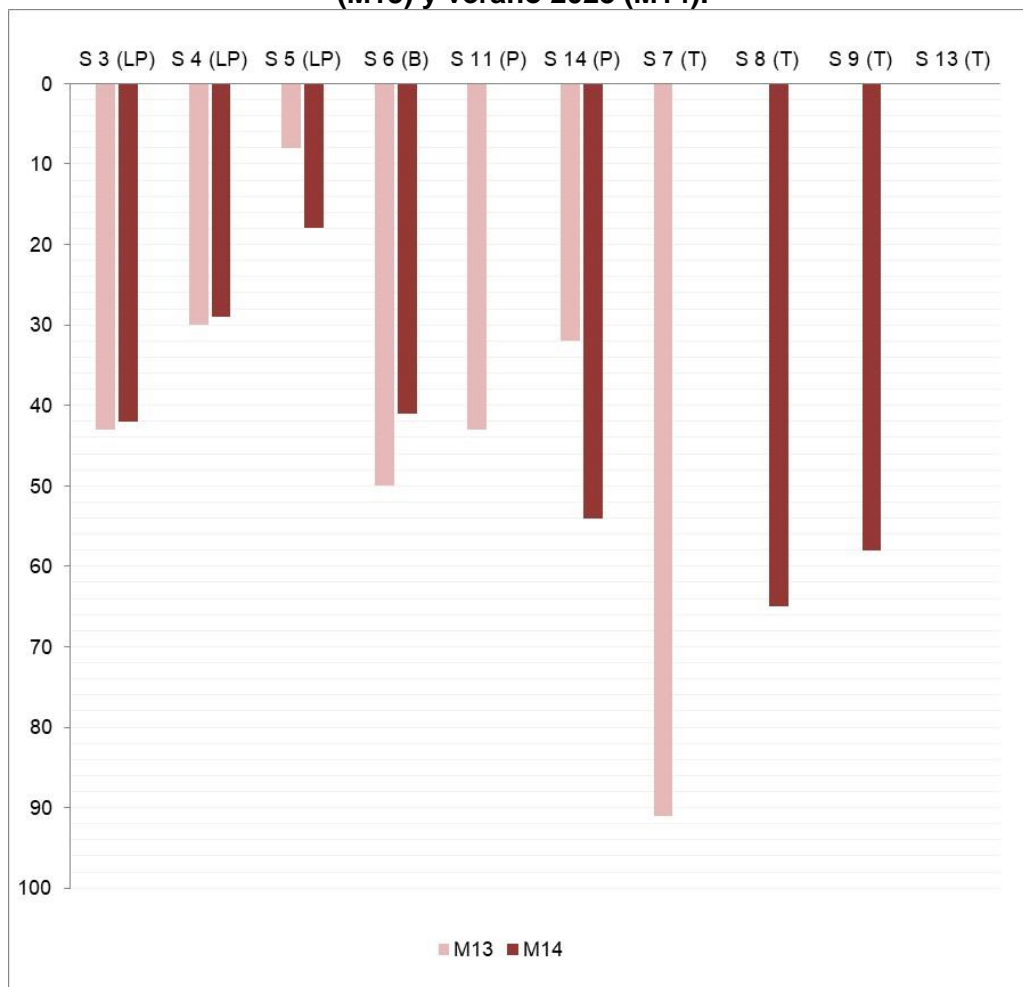
13.4.1.9 Nivel freático

Para el área de estudio, se detectó nivel freático a profundidad de trabajo en 7 muestreos durante ambos monitoreos (**Figura N° 13-51**), equivalente al 50% del total (14).

Del total de muestreo en los cuales se detectó nivel freático para M13, en 2 de ellos (S 11 y S 7) no se identificó para el monitoreo M14. Esto implica que el nivel freático se podría encontrar a una mayor profundidad de trabajo que la alcanzada durante la campaña estival 2023. Situación similar se presenta con igual número de puntos (S 8 y S 9) en los cuales se detectó agua en M14, pero no para el monitoreo realizado en invierno 2022 (M13). Sólo en 5 puntos (S 3, S 4, S 5, S 6 y S 14) se presentó nivel freático para ambas evaluaciones a profundidad de trabajo (**Figura N° 13-51**).

De los 5 puntos observados en ambos monitoreos, en S 3 y S 4 la profundidad presenta una mínima variación (1 cm) disminuyendo la profundidad para M 14, en S 5 y S 6 la diferencia es más amplia (10 y 11 cm, respectivamente), siendo más profundo para S 3 (M 14) y más superficial para S 6 (M 14), y en S 14 el agua se presenta a mayor profundidad en M14 (+ 22 cm), respecto a M13, ver **Figura N° 13-51**.

Figura N° 13-51. Resultados profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreo invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14).



Fuente: Elaboración Propia

Del total de puntos de muestreo definidos para el sector de La Punta-La Brava, se observó nivel freático a profundidad de trabajo en 4 para cada evaluación. En S 3 y S 4 para ambas evaluaciones la profundidad es similar, existiendo una mayor diferencia para S 5 (se profundizó en M14) y S 6 (se hizo más somero en M14) (**Figura N° 13-51**).

En el sector de Peine, sólo en 2 puntos se observó nivel freático a profundidad de trabajo para M13 (S 11 y S 14) y en uno para M 14 (S 14). En este último, el agua se presentó a mayor profundidad en M14, respecto a M13 (**Figura N° 13-51**).

Para el sector de Tilopozo, en un punto de muestreo se detectó nivel freático a profundidad de trabajo (S 7) para M13, aumentando a 2 para M 14 (S 8 y S 9), ver **Figura N° 13-51**.

Respecto a estos resultados, es necesario indicar que debido a las escasas precipitaciones ocurridas en el invierno 2022 (M 13) incidió de manera importante en la presencia y/o ausencia de nivel freático a profundidad de trabajo. Respecto a los resultados del monitoreo M14

realizado post lluvias estivales, es necesario señalar que las precipitaciones más importantes ocurrieron en el entorno del núcleo de salar, por lo que, esto explicaría la profundidad del agua, considerando que el principal aporte podría provenir de las lluvias, ya que no existen cursos permanentes hacia el núcleo.

En general, en la mayoría de los puntos de muestreo existe a profundidad variable (5 a 100 cm) una estrata extremadamente dura, la cual limita el movimiento del agua libre en el perfil, por lo que de no existir un aporte externo (lluvias, aguas que escurren de los cerros u otro), el nivel debería ser más profundo en la época de mayores temperaturas debido a la tasa de evaporación y evapotranspiración, y mayor cuando las temperaturas son menores, cuando hay presencia de precipitaciones o cuando el uso agrícolas de las aguas del entorno sea mínimo.

13.4.2 Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 - 2018 – 2019 – 2020- 2021, 2022 y 2023

Los valores detallados de cada variable a lo largo de los monitoreos (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8⁴⁶, M9, M10, M11⁴⁷, M12, M13 y M14) se presentan en el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**. A continuación, se hace un análisis de la evolución de todos los monitoreos que se han realizado a la fecha del PMB por cada una de las variables de la componente Suelo, utilizando como punto de inicio el monitoreo realizado en el invierno del 2016 (M1), por cuanto no existe línea de base para esta componente.

En relación a los laboratorios utilizados para análisis de las muestras, durante el desarrollo del monitoreo y por consideraciones tanto técnica como de acreditación, para los análisis de muestras del monitoreo M7 (agosto 2019) se cambió de SGS a ANAM y para el monitoreo M 13 (agosto 2022) se reemplazó este último laboratorio por ALS.

13.4.2.1 Conductividad Eléctrica

En general para el área de estudio los resultados de la conductividad eléctrica muestran una gran variación numérica y de categoría de salinidad de los suelos, tanto estacional como por punto de muestreo. Esta condición está determinada principalmente por las características intrínsecas de los suelos, como también la posición topográfica que ocupa el punto de muestreo, además de las condiciones ambientales, entre las cuales las de mayor importancia son el aporte de la precipitación (frecuencia y volumen) y los procesos de movimiento de agua en el perfil, los cuales regulan el aumento o disminución de las sales en el suelo.

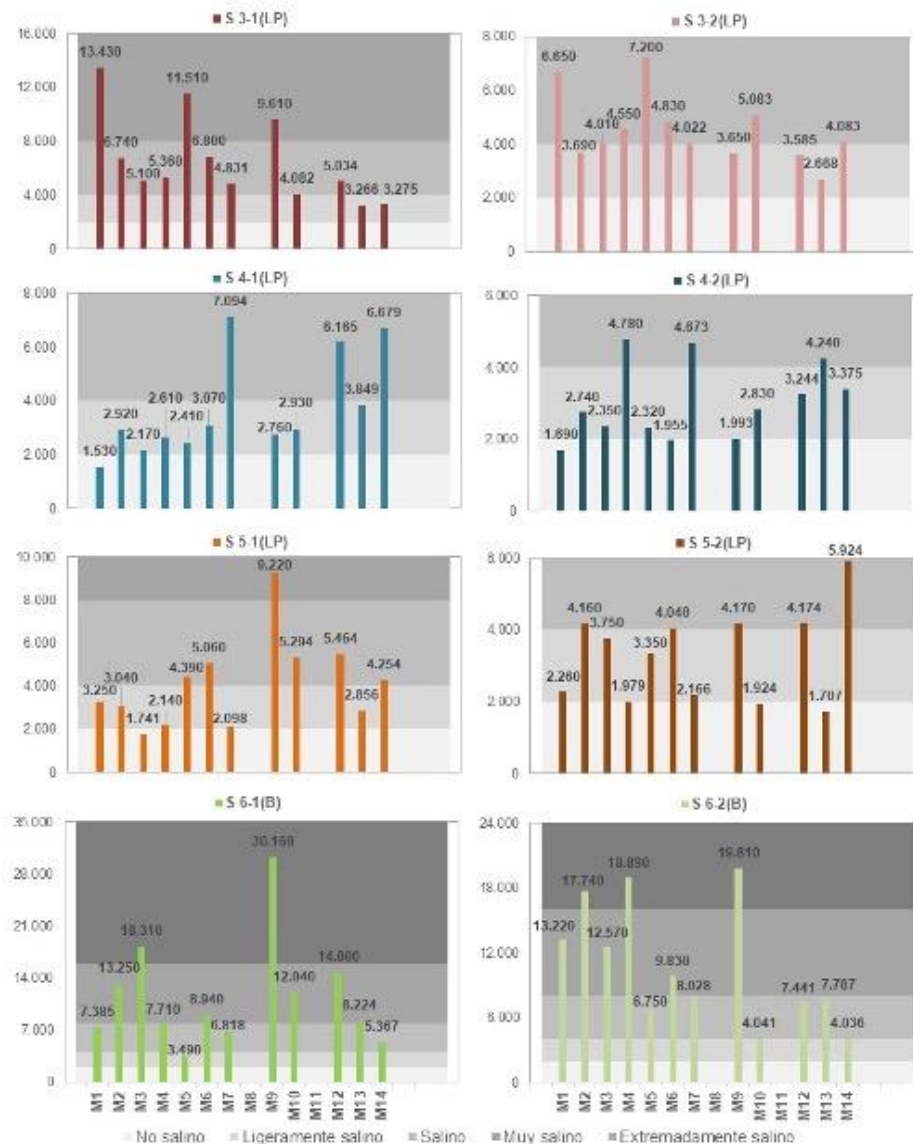
Sin embargo, en el área de estudio los suelos de mayor frecuencia corresponden a los **salinos** y **ligeramente salinos**, siendo los menos frecuentes los **no salino** y **extremadamente salinos**.

⁴⁶ En relación al monitoreo 8 (verano 2020) debido a la condición sanitaria (COVID19) tanto nacional como mundial, no se llevó a cabo esta campaña por restricciones sanitarias.

⁴⁷ El monitoreo de invierno 2021 no se realizó debido a restricciones de acceso y razones de seguridad.

En el sector **La Punta-La Brava**, en los puntos S 3, S 4 y S 5 (La Punta) la conductividad eléctrica es menor a 8.000 $\mu\text{S/cm}$, excepto para S-3-1 en M1, M5 y M9, como también para S 5-1 en M9, situándose la mayoría de ellos en el rango de 2.000 a 8.000 $\mu\text{S/cm}$ (**ligeramente salino y salino**). Mientras que, en el punto S 6 (La Brava), los valores inferiores a 8.000 son escasos (S 6-1 en M1, M4, M5, M7 y M14, y S 6-2 en M5, M10, M12, M13 y M14), incluso alcanzando valores superiores a 30.000 $\mu\text{S/cm}$, dominando las categorías **muy salino y extremadamente salino**. Esta variación determina que todos los puntos cambien de categoría de salinidad en algunos de los monitoreos y ninguno de ellos permanezca constante en el tiempo, ver **Figura N° 13-52**.

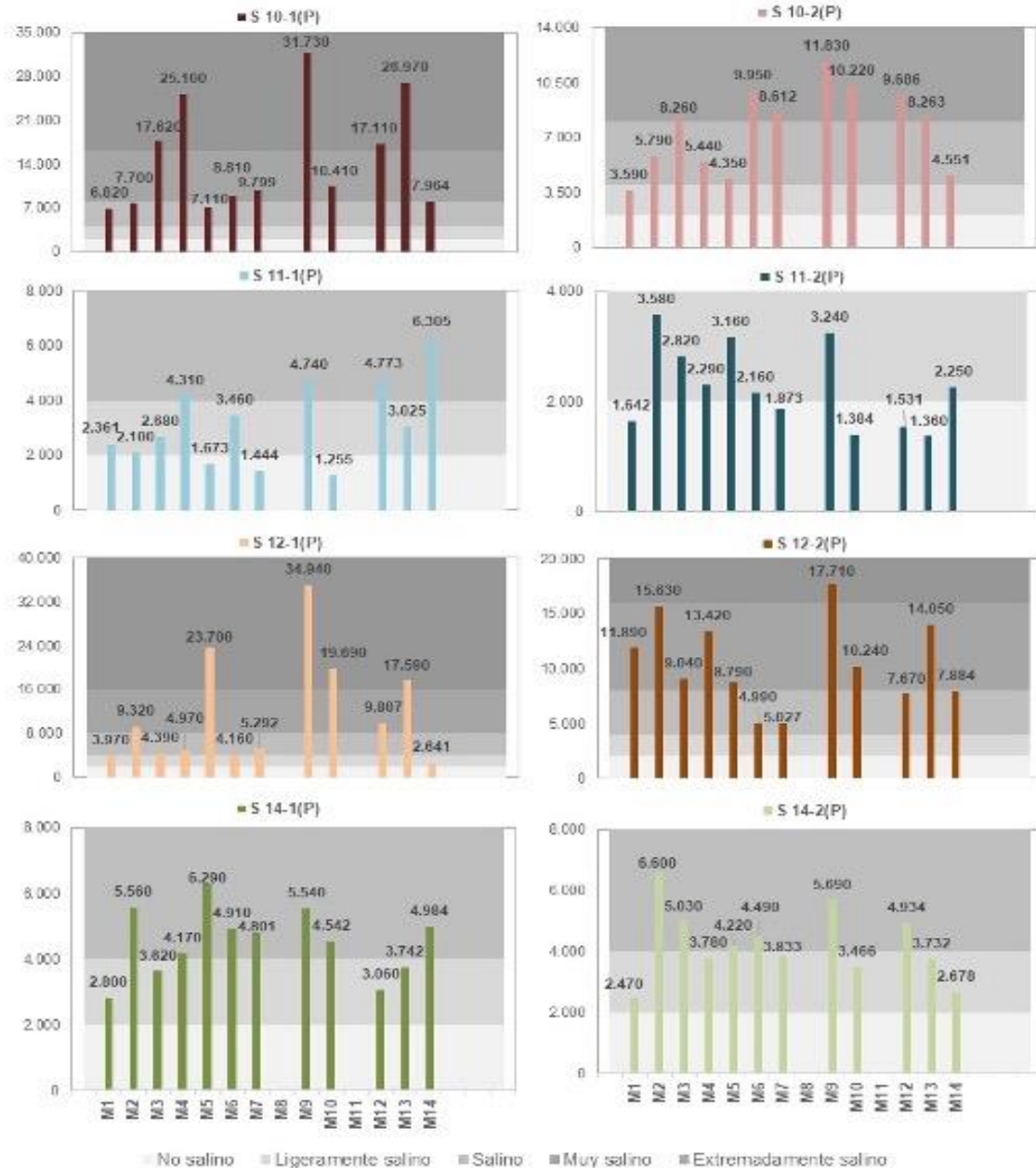
Figura N° 13-52. Resultados C.E ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: elaboración propia.

En el sector de **Peine**, en los puntos S 11-1, S 11-2, S 14-1 y S 14-2 la conductividad eléctrica es inferior a 6.600 $\mu\text{S/cm}$, es decir, corresponden a suelos cuyas categorías varían de **no salino** a **salinos**. Sólo en el primero de ellos se observan algunos monitoreos donde ésta es menor a 2.000 $\mu\text{S/cm}$ (**no salinos**) en el punto superficial o profundo, correspondiendo a los puntos S 11-1 (M5, M7 y M10) y S 11-2 (M1, M7, M10, M12 y M13), con una variación entre 1.255 $\mu\text{S/cm}$ y 6.600 $\mu\text{S/cm}$. En los puntos restantes (S 10 y S 12) esta variación es más amplia, fluctuando entre 2.641 y 34.940 $\mu\text{S/cm}$ (**Figura N° 13-53**).

Figura N° 13-53. Resultados C.E. ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

En M9 en la mayoría de los puntos (excepto S 14) se presenta un aumento de la conductividad eléctrica comparada con los monitoreos anteriores, para volver a un comportamiento similar a los primeros 7 monitoreos en los cuatro últimos (**Figura N° 13-54**), presentándose en M14 valores similares a los registrados en M1.

Por lo tanto, en este sector es posible determinar todas las categorías de salinidad, variación que implica cambios en las categorías para los mismos puntos en los diferentes monitoreos. Por otra parte, cabe destacar que no se observan diferencias estacionales marcadas.

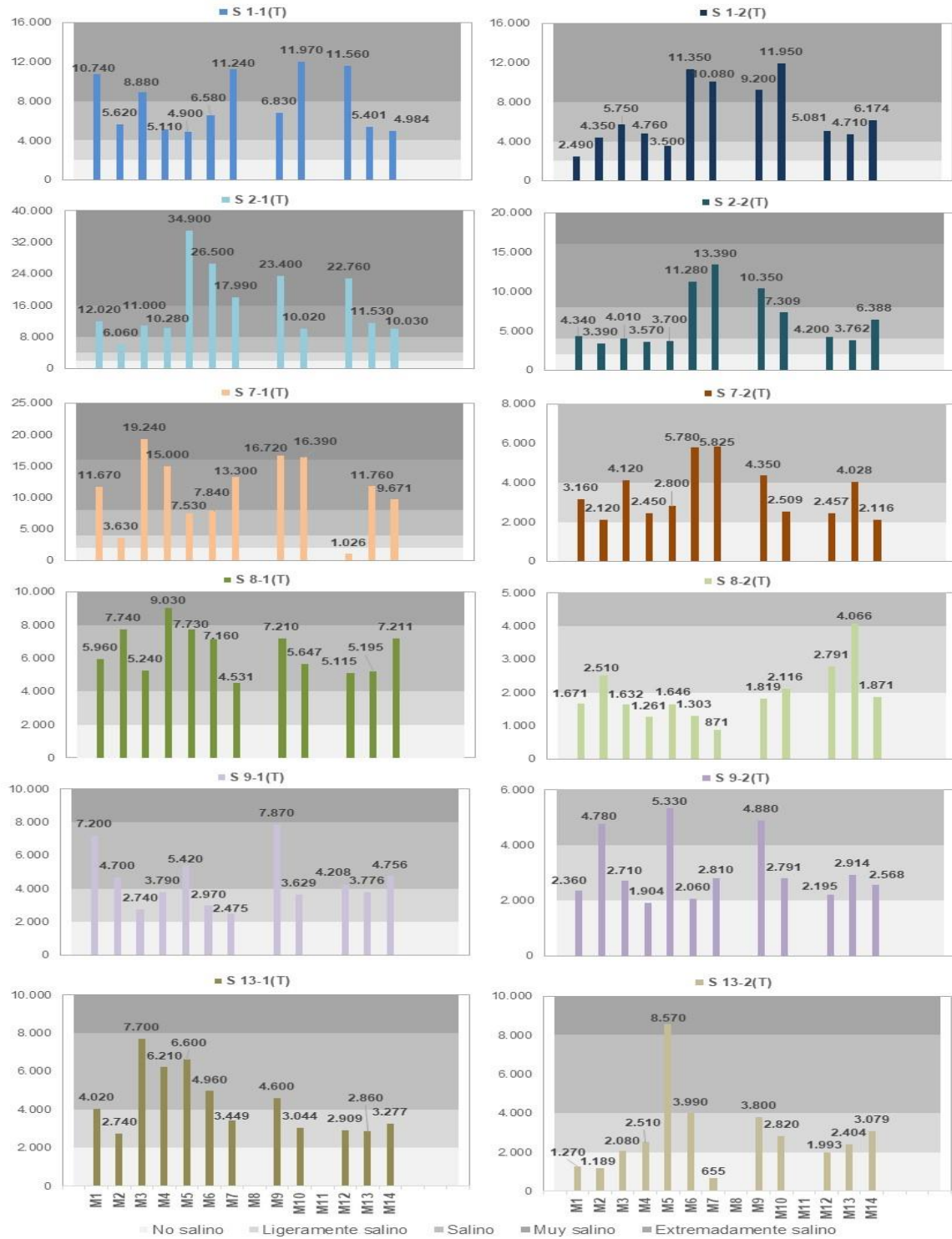
En el sector de Tilopozo, y tal como se aprecia en la **Figura N° 13-54**, no existe una diferencia notoria en los resultados o un comportamiento similar para los monitoreos invernales y estivales. Sin embargo, se puede observar que en los puntos S 7-2, S 8, S 9 S 13, en la mayoría de los puntos para todos los muestreos la conductividad eléctrica es inferior a 8.000 $\mu\text{S/cm}$, excepto S 8-1 (M4) y S 13-2 (M5), observándose incluso valores menores a 2.000 $\mu\text{S/cm}$ (suelos **no salinos**). En los restantes puntos (S 7-1, S 1 y S 2), la variación es más amplia (2.490 a 34.900 $\mu\text{S/cm}$), siendo posible reconocer las categorías **ligeramente salino**, **salino**, **muy salino** y **extremadamente salino**. Para estos puntos se observa un aumento en la conductividad a partir de M6, en la mayoría de los cuales se extiende hasta M10, y con una disminución de los valores a partir de M12 o M13, pero levemente superior a los primeros 5 monitoreos.

El monitoreo M2 es el que presenta una menor variación numérica de la conductividad eléctrica para todos los puntos (**Figura N° 13-54**), encontrándose la mayoría de los suelos en las categorías **ligeramente salino** y **salino** y muy escasos los **no salinos**. Mientras que, en las restantes evaluaciones la variación incluye hasta 4 categorías por monitoreos, lo que implica una alta variabilidad de la salinidad de los suelos de este sector.

Para todos los sectores, no se observa una estacionalidad marcada en término de resultados, presentándose algunos valores muy altos tanto en invierno como en verano. Sin embargo, en general los mayores valores se presentan habitualmente en los mismos puntos para todas las evaluaciones (S 6, S 10, S 12, S 1, S 2 y S 7-1).

Este sector se caracteriza por una variación significativa en la conductividad eléctrica y de las categorías entre los monitoreos, lo cual es atribuible exclusivamente a la heterogeneidad de los suelos dado los diversos materiales parentales que los han originados como también a las condiciones ambientales, y no por efecto de actividades antrópicas.

Figura N° 13-54. Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6 M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

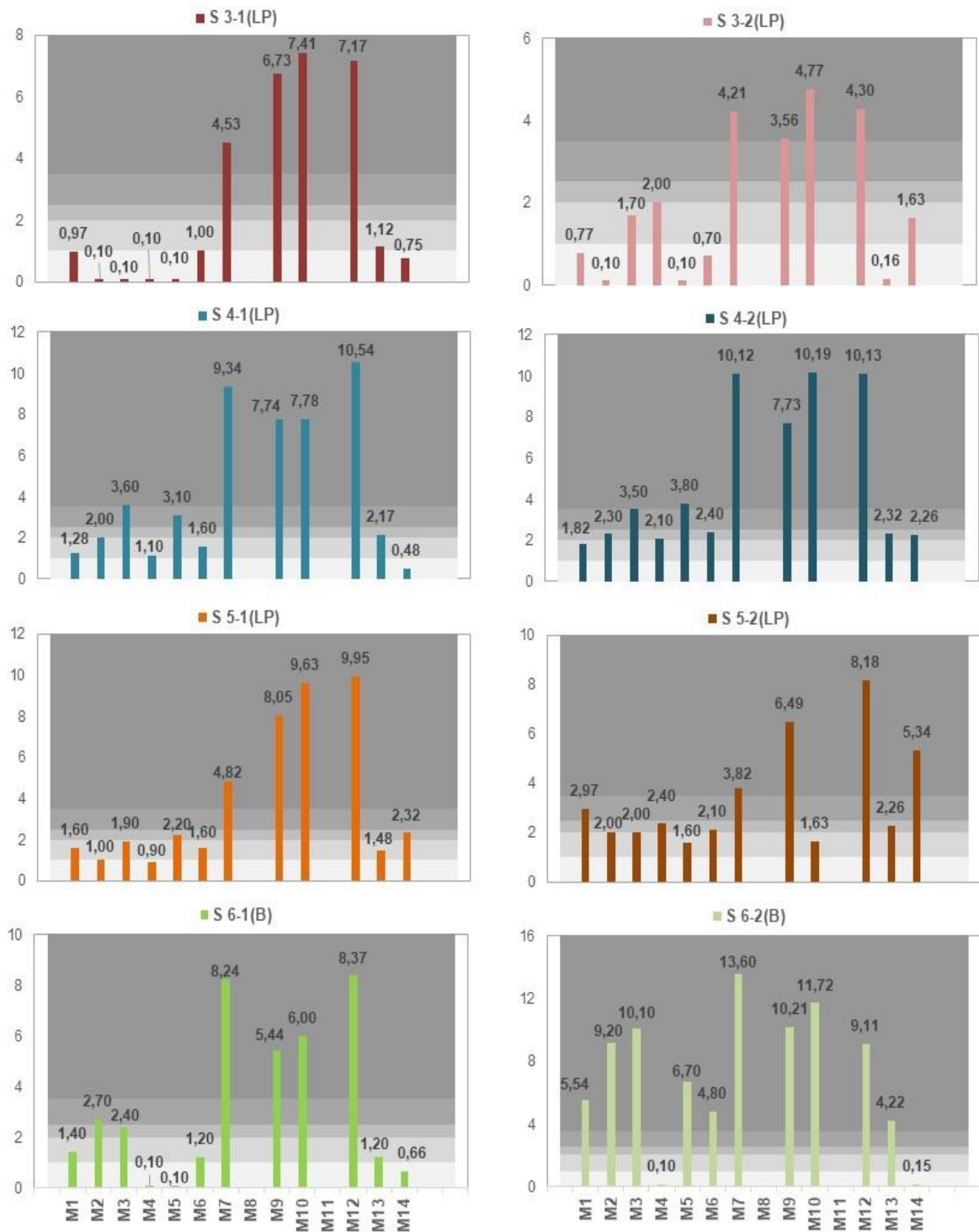
13.4.2.2 *Materia Orgánica*

En general, para el área de estudio y como se observa en la **Tabla N° 1-3, Anexo 2**, la concentración de materia orgánica de M1 a M6 fue mayoritariamente **baja y muy baja**, excepto para S 7 y S 8 donde ésta fue **muy alta**, mientras que a partir de M7 a M12, se observó un fuerte incremento siendo en general **alta y muy alta**. Este incremento coincide con un cambio de laboratorio encargado de los análisis de las muestras para este parámetro (SGS a ANAM). Situación similar se presenta para M13 y M14, donde nuevamente hubo un cambio de laboratorio (los análisis los realizó ALS) y los valores fueron similares a los presentados desde M1 a M6. Aun cuando se utilizó la misma metodología de laboratorio, los resultados son diferentes, por lo que se estima que el aumento en el contenido de materia orgánica y posterior disminución en los suelos del área de estudio, podría estar relacionado con el cambio de laboratorio, por lo que no se puede atribuir solamente a cambios en las condiciones ambientales y/o antrópicas de los sectores estudiados.

Tal como se observa en la **Figura N° 13-55**, en el sector de **La Punta-La Brava** la materia orgánica presenta una gran variabilidad en los resultados, tanto para los puntos de muestreo, como entre los monitoreos. Sin embargo, a pesar de la variabilidad que presentan los resultados, los monitoreos M1, M2, M3, M6, M13 y M14 como también M7, M9, M10 y M12 presentan valores similares entre ellos. Mientras que, en los monitoreos M4 y M5 se observan valores inferiores a las otras evaluaciones, con algunos de ellos **muy bajos** y no siendo coincidentes entre sí, lo que indica que no existe una estacionalidad en los resultados.

Para este sector, aquellos puntos que presentan el mayor porcentaje de materia orgánica por monitoreo corresponden en general a los mismos.

Figura N° 13-55. Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.

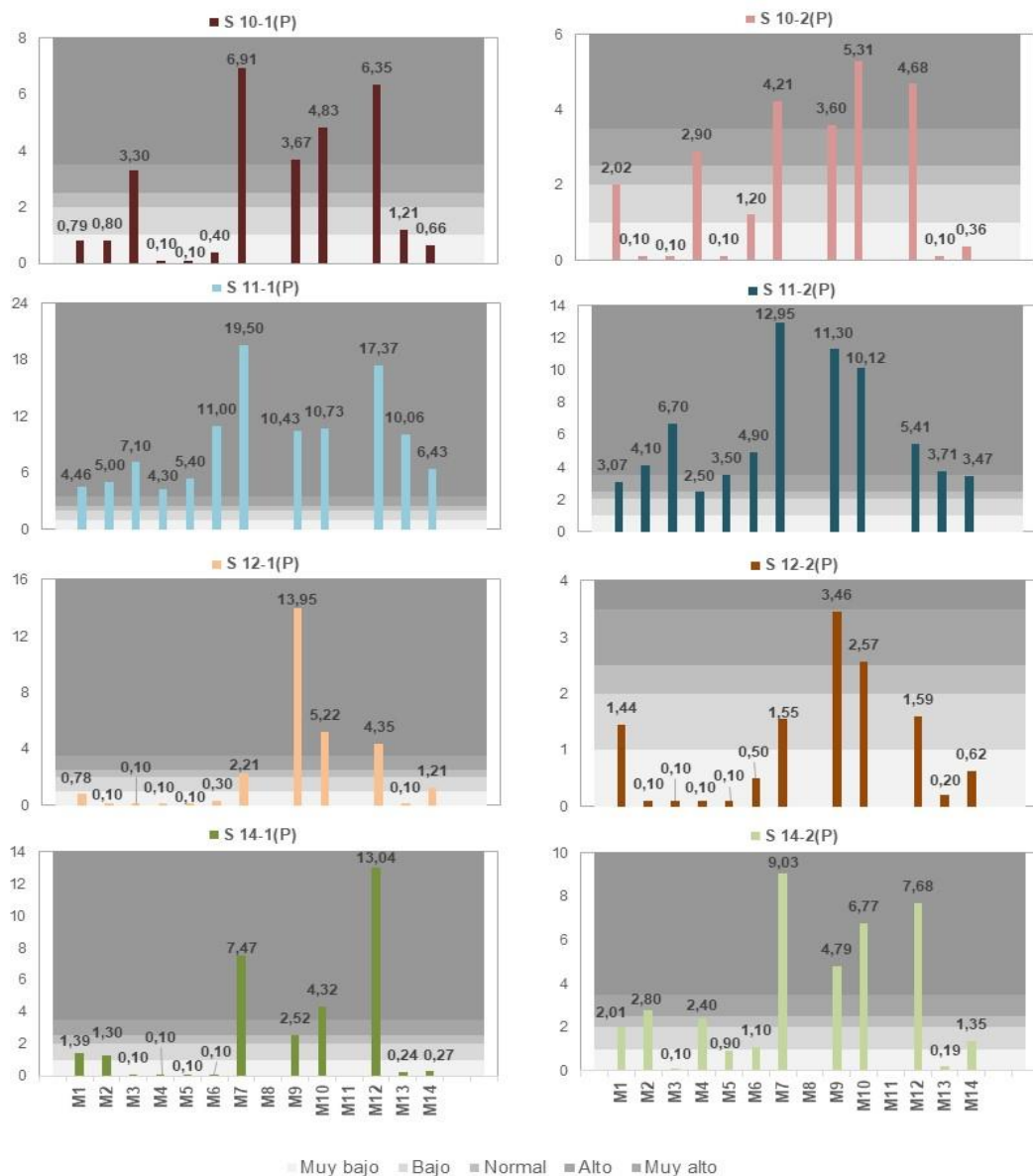


■ Muy bajo ■ Bajo ■ Normal ■ Alto ■ Muy alto

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se aprecia en la **Figura N° 13-56**, para el sector de **Peine** en los puntos S 10, S 12 y S 14, se observa una disminución en el porcentaje de materia orgánica en la mayoría de los muestreos realizados en los monitoreos M2 a M6, al ser comparado con los valores determinados para M1, con un fuerte aumento a partir de M7 a M12, para disminuir nuevamente en M13 y M14 a valores similares a los anteriores, esto corrobora que la concentración de este parámetro no responde a la estacionalidad. En general, para los primeros 6 monitoreos y los últimos 2, la materia orgánica presentó una disponibilidad mayoritariamente **muy baja**, excepto en algunos monitoreos donde en estos puntos se determinaron las categorías **baja**, **normal** y **alta**.

Figura N° 13-56. Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine



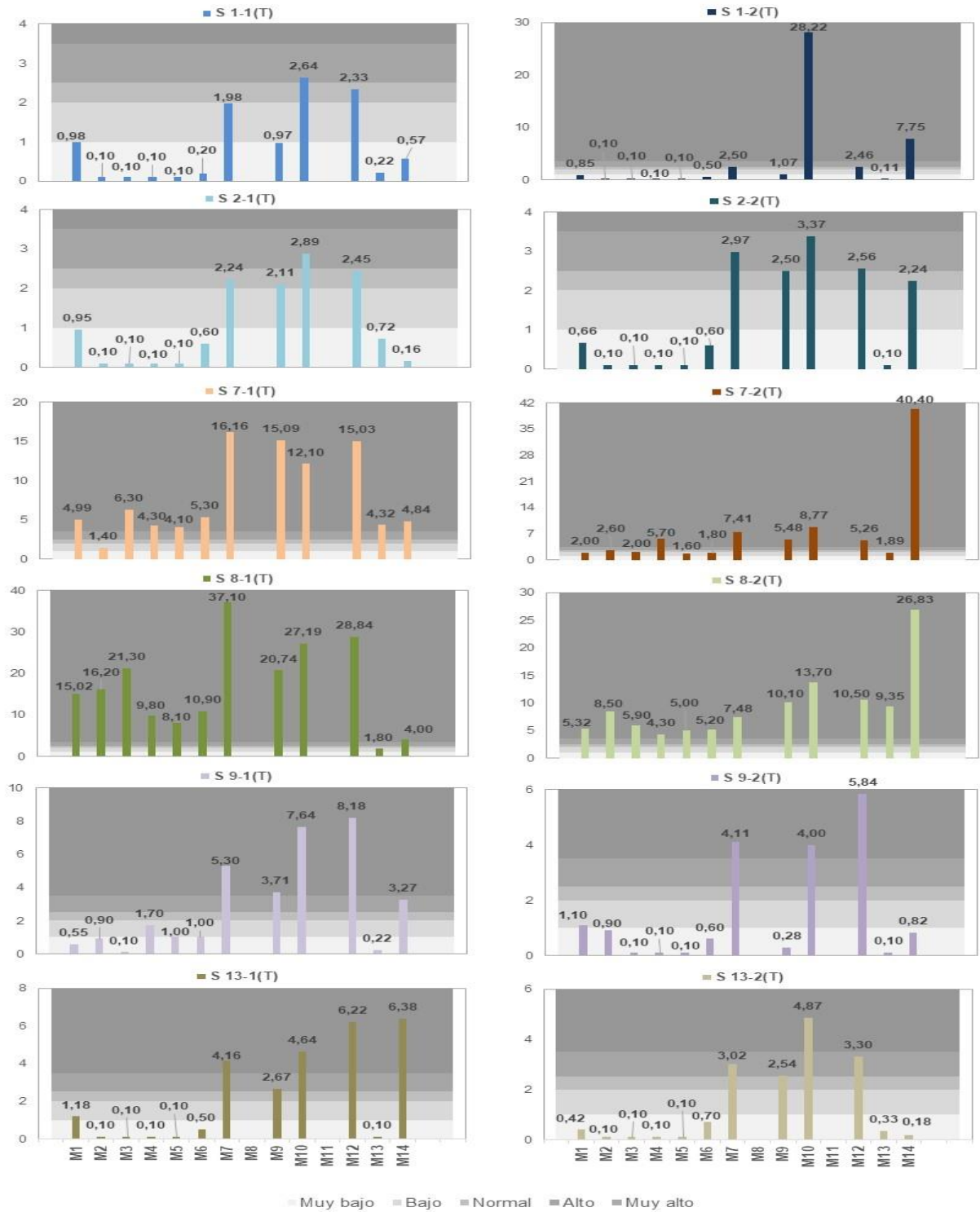
Fuente: Elaboración Propia

En cambio, en el punto S 11, y para todos los monitoreos, se observan los mayores porcentajes de materia orgánica, siendo dominante la categoría **muy alta**, excepto en S 11-2 (M1, M5 y M4) donde ésta es **alta** en los primeros 2 y **normal** en el tercero. Este punto se ubica en un sector con vegetación azonal (vega). En los monitoreos M7 a M12, para la mayoría de los puntos se determinó un porcentaje **muy alto** de materia orgánica, excepto para S 12-2 en el cual la categoría varía de **baja** a **alta** y S 14-1 (M9) donde ésta es **normal** (**Figura N° 13-56**).

Para el sector de **Tilopozo**, y tal como se observa en la **Figura N° 13-57**, en los monitoreos M1 a M6 y M13, los puntos S 1, S 2, S 9 y S 13 presentaron en la mayoría de los casos valores inferiores a 0,9% de materia orgánica (categoría **muy baja**), excepto S 9-1 (M4, M5 y M6), S 9-2 y S 13-1 (M1), donde la materia orgánica es **baja**. Cabe señalar que se verificó un aumento en la materia orgánica en la mayoría de estos puntos para los monitoreos M7 a M12 y M14 (**muy baja a muy alta**).

Mientras que, en los puntos S 7-1, S 8-1 y S 8-2, la materia orgánica es **muy alta** en todos los monitoreos, excepto en M2 (S 7-1) donde esta es **baja**, al igual que en M13 para S 8-1. En el punto S 7-2, en tanto, se observan varias categorías, siendo **muy alta** en M4, M7, M9, M10, M12 y M 14 (**Figura N° 13-57**). Estos corresponden a los puntos más estables de los monitoreos para el sector, tanto en su estrato superficial como en profundidad.

Figura N° 13-57. Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En general para el área de estudio, los valores más altos de materia orgánica para todos los monitoreos se presentan en puntos asociados a vegetación del tipo azonal (humedal), excepto el punto S 6-2 (La Brava), el cual se asocia a una zona denudada y con una estrata salina en superficie, pero se podría deber a la presencia de abundantes restos vegetales provenientes de antiguas vegas que fueron cubiertas por aluviones.

Para el área de estudio, las variaciones estacionales como la diferencia entre los puntos, se puede atribuir principalmente a las características propias de los suelos que conforman el sector, esto referido exclusivamente a los materiales parentales que lo originaron, los cuales son de muy diversa procedencia, como también a las variadas condiciones ambientales entre las estaciones. Por lo tanto, la variación en el contenido de materia orgánica no está relacionada con las actividades antrópicas desarrolladas en el área. Sin embargo, se observa un aumento en la concentración de materia orgánica a partir de M7 hasta M12, para luego volver a valores similares a las primeras 6 evaluaciones, lo cual coincide con cambios en el laboratorio, esto explicaría estos cambios.

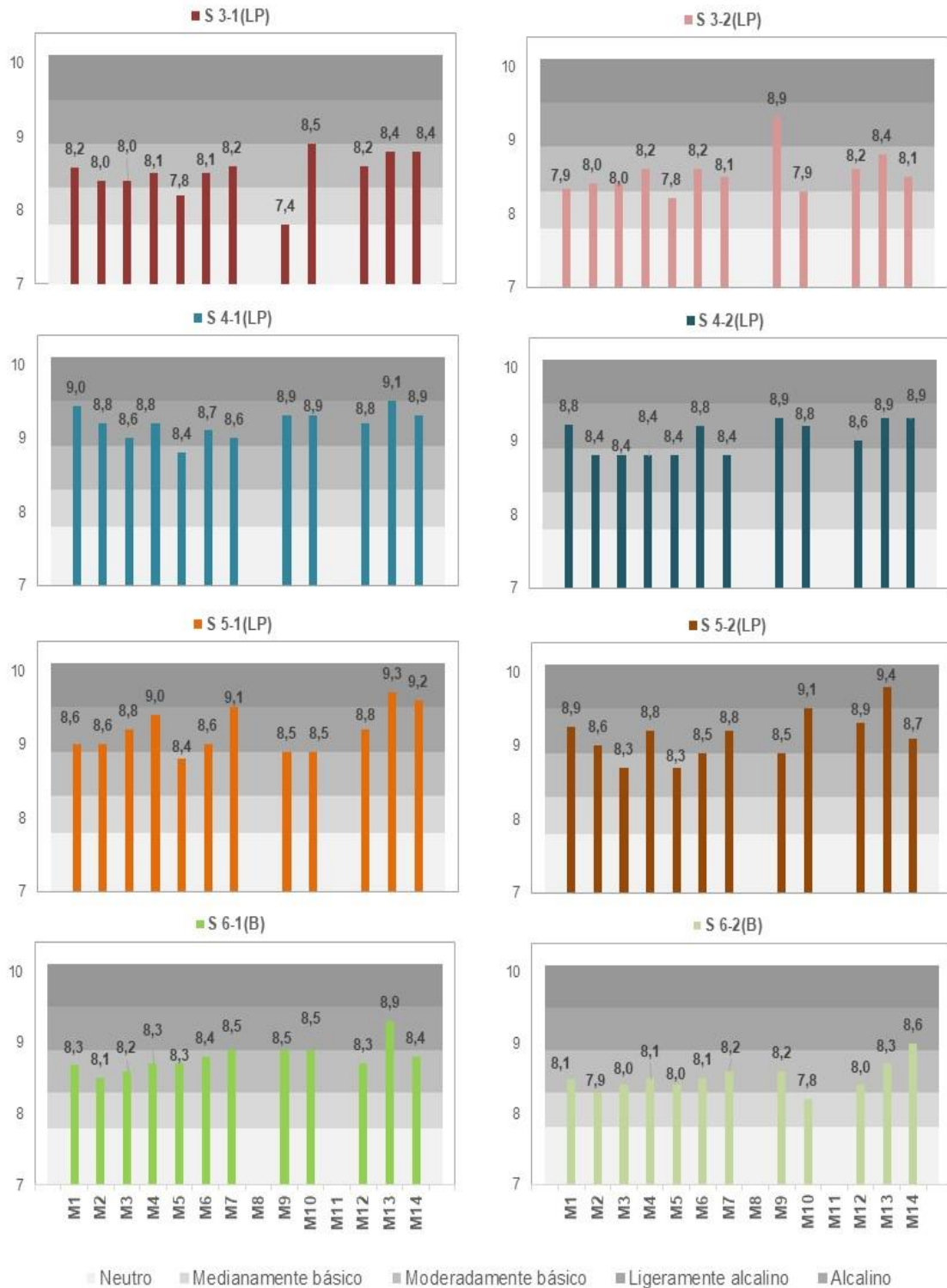
Aun cuando no existe una estacionalidad, en general los valores más altos de materia orgánica se presentan siempre en los mismos puntos (S 6-2, S 11, S 7 y S 8), de los cuales los tres últimos se asocian a suelos orgánicos (vegas) o muy próximo a estos, mientras que, en el caso de primer punto, y tal como se mencionó con anterioridad, correspondería a una antigua vega enterrada.

13.4.2.3 pH

Para el área de estudio, el pH dominante de los suelos es **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, siendo escasos los suelos más básicos o más ácidos, condición típica de las zonas áridas, lo que indica un comportamiento estable del sistema para esta variable. Las variaciones numéricas están dadas principalmente por los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo, dada la heterogeneidad de los materiales parentales que los constituyen, lo que determina cambios para un mismo punto entre dos monitoreos consecutivos, a pesar de la escasa distancia entre ellos (menos de 50 cm). Esto determina cambios en la categoría entre monitoreos, siendo muy escasos los puntos en los cuales ésta permanece constante en todas las campañas.

Para el sector **La Punta-La Brava**, la mayoría de los puntos de los monitoreos M1 a M4, M6 a M12 y M14, presentan una leve variación numérica en el pH, manteniéndose dentro las mismas categorías (**moderadamente básico** o **ligeramente alcalino**), excepto en un reducido número de puntos. En cambio, en M5 se observa una leve acidificación del suelo, común a toda el área respecto a los otros monitoreos, lo que determina que en la mayoría de los sustratos el pH sea **moderadamente básico** y en un reducido número puntos (S 3-1 y S 3-2) **medianamente básico**. Por otra parte, en M 13 el suelo en general es más alcalino (**Figura N° 13-58**).

Figura N° 13-58. Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.

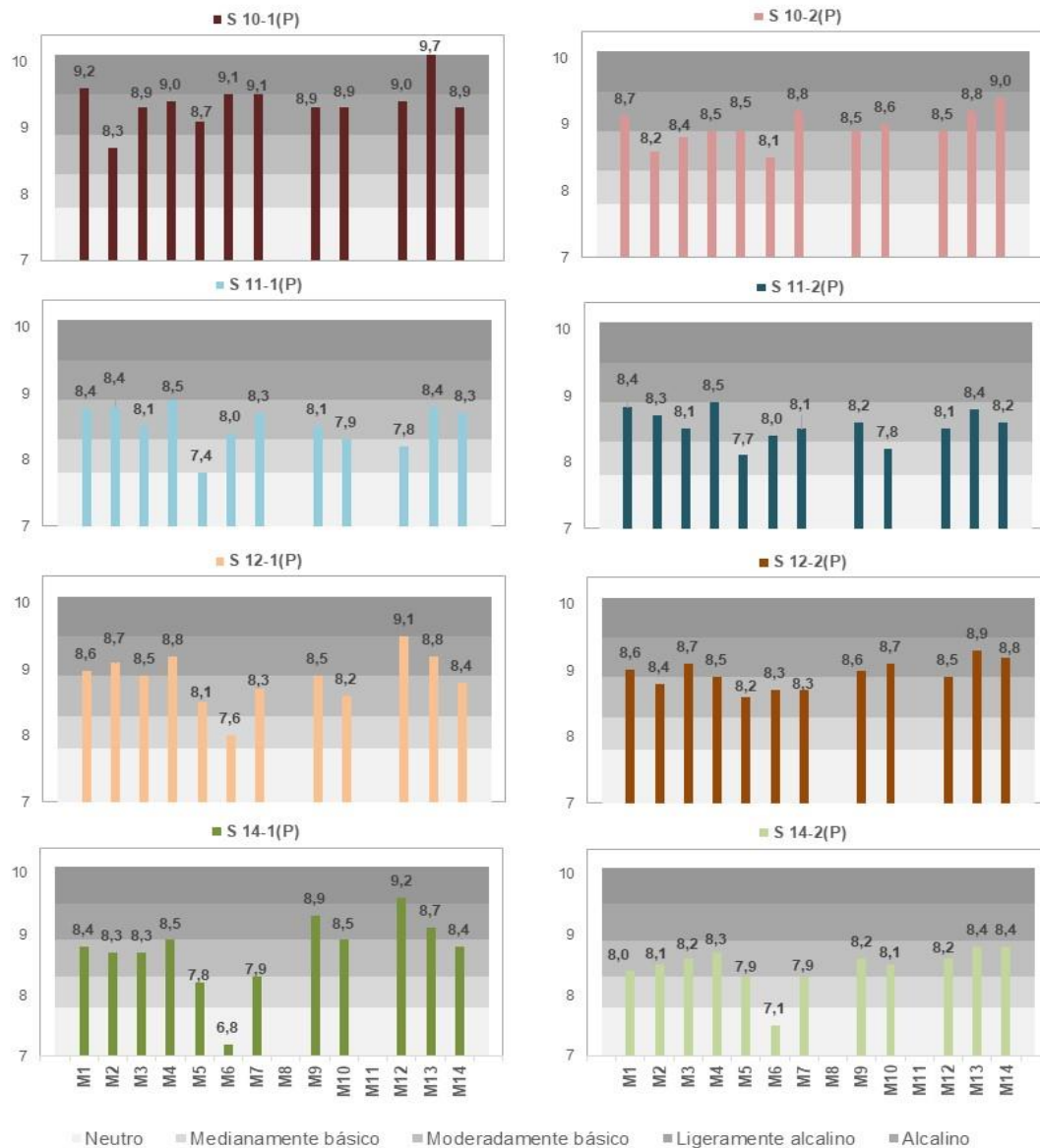


Fuente: Elaboración Propia

Para este sector se observa una estabilidad del pH de los suelos respecto a las categorías consideradas, para los diferentes puntos en todas las evaluaciones, aun cuando existe una variación numérica, lo que es normal considerando la diversidad de materiales parentales que conforman los suelos del sector.

En el sector de **Peine**, en los monitoreos M1 a M4 y M7 a M14, en la mayoría de los puntos de muestreo el suelo presenta un pH **moderadamente básico**, luego **ligeramente alcalino** y muy escaso los suelos **alcalinos**, excepto en S 11-2 (M10) donde el pH es **medianamente básico**, siendo el más ácido para estos monitoreos (**Figura N° 13-59**).

Figura N° 13-59. Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

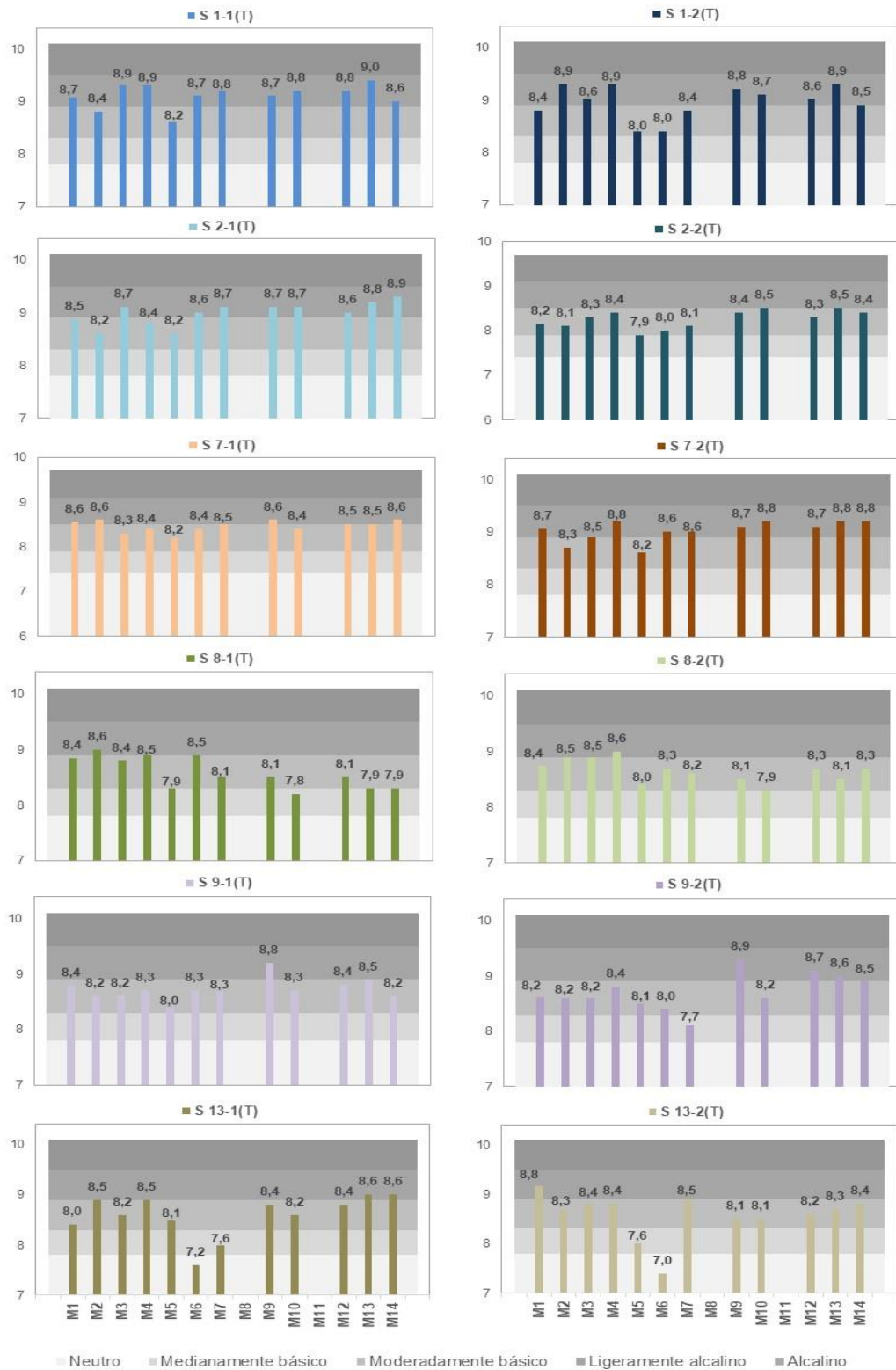
Mientras que, en M5 y M6 se produce una acidificación en la mayoría de los suelos del sector (**Figura N° 13-59**), donde el pH dominante es **moderadamente básico**. e incluso en algunos puntos es **neutro** y **medianamente básico** y de manera muy poco frecuente los suelos son **Ligeramente alcalinos** y **alcalinos**.

Para este sector, y tal como se observa en la figura anterior, existe una variabilidad numérica temporal de los registros, y por ende para un mismo punto se observan diferentes categorías durante todas las evaluaciones. Este es un comportamiento normal para este tipo de suelo considerando su origen. Lo anterior se verificó en todos los puntos del Sector Peine, excepto en el punto S 14-2, donde del total de monitoreo solo en una evaluación (M6) se determina un cambio de categoría, respecto a los otros monitoreos.

En el sector de **Tilopozo**, los resultados de los monitoreos M1 a M4 y M6 a M14, aun cuando se observa una variación numérica, esta es leve, por lo que en la mayoría de los puntos el pH del suelo es mayoritariamente **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**. Dentro de las condiciones particulares identificadas en relación a las categorías de pH, se destaca el punto S 13 (M6) que es **neutro**, y S 9-2 y S 13-1 (M7) y S 8-1 (M10) que son **medianamente básico**, ver **Figura N° 13-60**.

En cambio, en M5 en la mayoría de los puntos se observa una acidificación de los suelos respecto a los otros monitoreos, lo que determina que en esta evaluación la categoría de pH dominante en este sector es **moderadamente básica**, excepto en el punto S 13-2 donde es **medianamente básico** (**Figura N° 13-60**).

Figura N° 13-60. Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M 14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 13-60**, en el sector de **Tilopozo** se observan variaciones numéricas en el pH entre monitoreos para un mismo punto, y en general este cambio ocasiona cambios en la categoría, manteniéndose en general en dos categorías. Son muy escasos los puntos donde los cambios involucren tres categorías, lo que indica que el sector presenta una relativa estabilidad, y los cambios en general son producto de las características propias de los suelos, las cuales están determinadas por condiciones ambientales y no antrópicas.

Para el área de estudio, se observa una disminución de los valores del pH en todos los puntos para M5, estimándose que existen algunos factores ambientales que podrían haber alterado este parámetro, ya que en los monitoreos posteriores se observa un aumento en el valor del pH, siendo este similar a los obtenidos para los monitoreos M1 a M4.

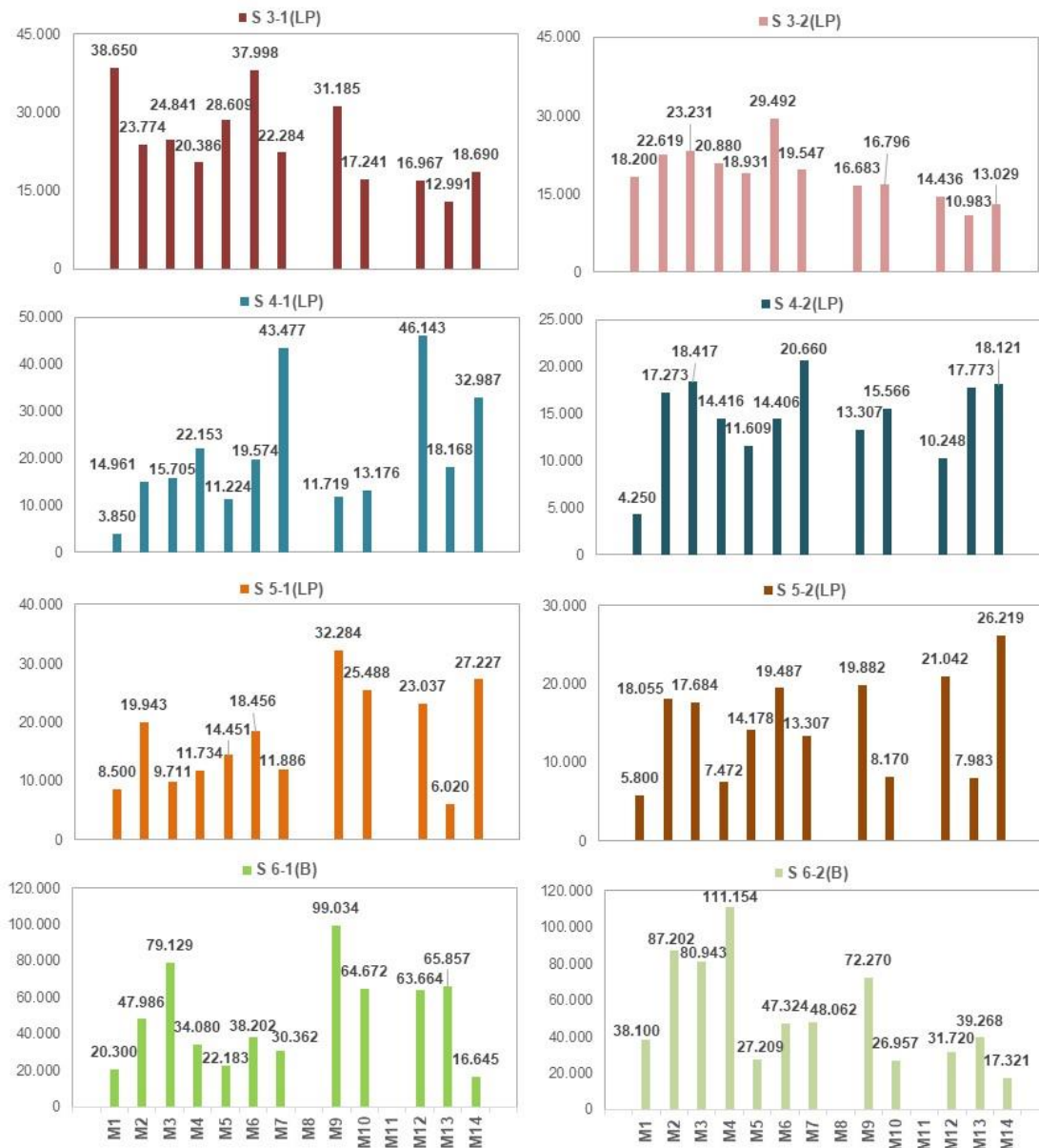
13.4.2.4 Salinidad

Para el sector **La Punta-La Brava**, tal como se observa en la **Figura N° 13-61**, en relación a M1 se observa un aumento en la concentración de sales solubles a partir de M2, en la mayoría de los puntos, excepto en S 3-1 (M2 a M14) y S 3-2 (M9 a M14) y en algunas evaluaciones de S 6-2 (M5, M10, M12 y M14). Este aumento en la concentración respecto a M1 y entre monitoreos es variables, es decir, en algunos de ellos aumenta el valor y en otros disminuye, por lo que no se observa una tendencia clara en el comportamiento de este parámetro.

Tal como se observa en la **Figura N° 13-61**, para este sector en general los puntos donde se determinaron las mayores concentraciones son siempre los mismos (S 6-1, S 6-2), luego se presentan S 3-1 y S 3-2, con valores inferiores a S 6 pero mayores a los restantes puntos de muestreo, aun cuando se presentan variaciones numéricas entre los diferentes monitoreos para estos puntos. Esta misma situación se presenta para el punto S 5-1 en los monitoreos M9, M10, M12 y M14, donde la concentración de sales es una de las mayores del sector.

Respecto a los puntos S 3 y S 6, los cuales se caracteriza por presentar los valores más altos de sales en todas las evaluaciones, se localizan en suelos con una estrata salina en superficie de una potencia superior a 15 cm y en S 5-1 el estrato presenta una potencia inferior a 5 cm. Sin embargo, la presencia del estrato salino no es determinante en la concentración de sales soluble que presenta el suelo, por cuanto el punto S 14, situado en un suelo similar a S 3 y S 6, presenta una concentración situada en el promedio para el área.

Figura N° 13-61. Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.

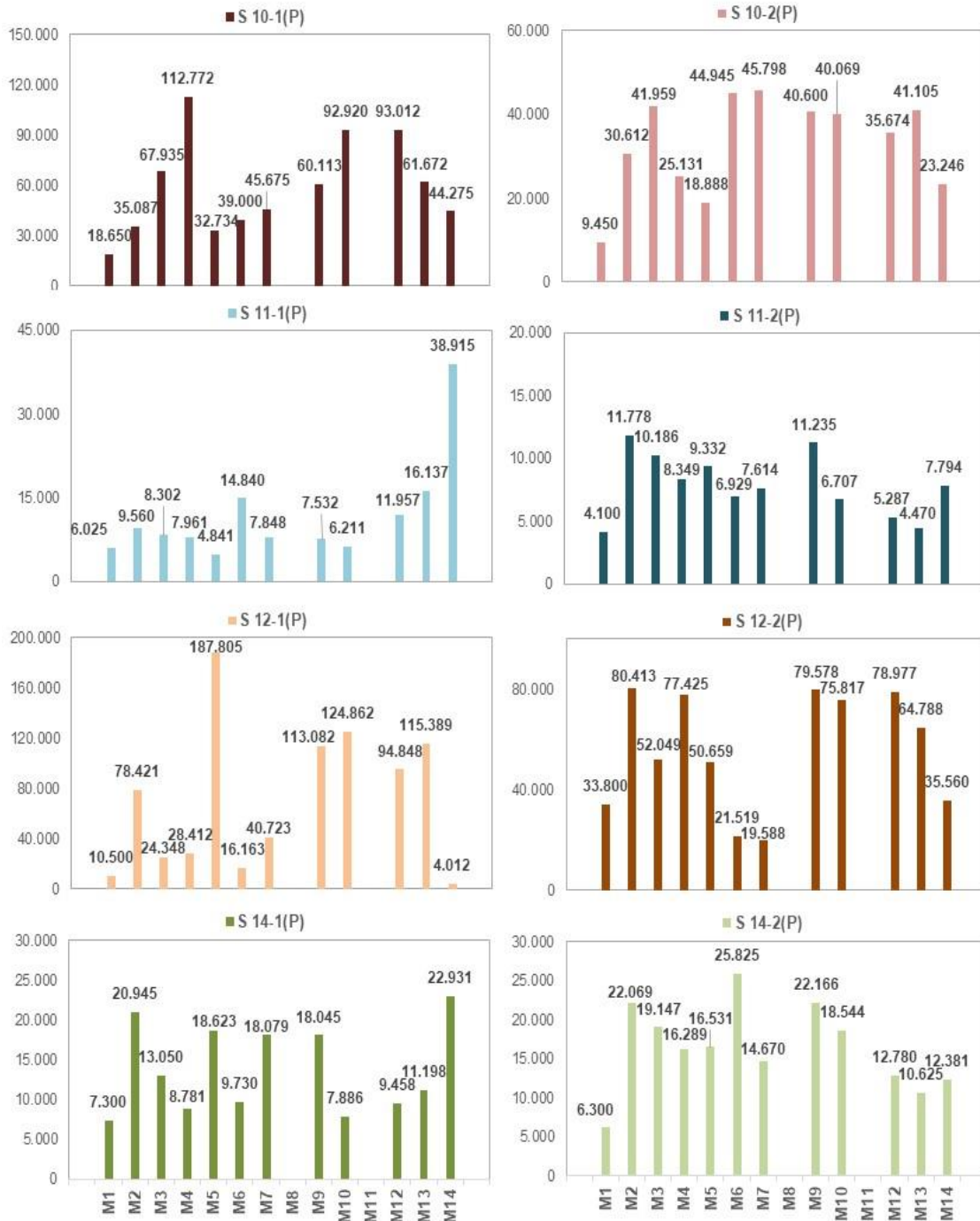


Fuente: Elaboración Propia

En **Peine**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la concentración de sales entre M2 y M4, respecto a M1 y luego se observa una leve disminución respecto a los 3 monitoreos anteriores a partir de M5, pero en general superior a M1, destacando la gran variabilidad de los resultados para los puntos en los diferentes monitoreos. En general, los mayores valores corresponden a los puntos S 12 y S 10 para todos los monitoreos, y los menores se presentan en S 11 y S 14, con valores levemente superiores a este últimos, pero inferiores a los dos primeros (**Figura N° 13-62**).

Para el sector y en general se observa una gran variabilidad, no observándose estacionalidad en los resultados o puntos que presenten los valores más altos para todas las evaluaciones (Figura N° 13-62).

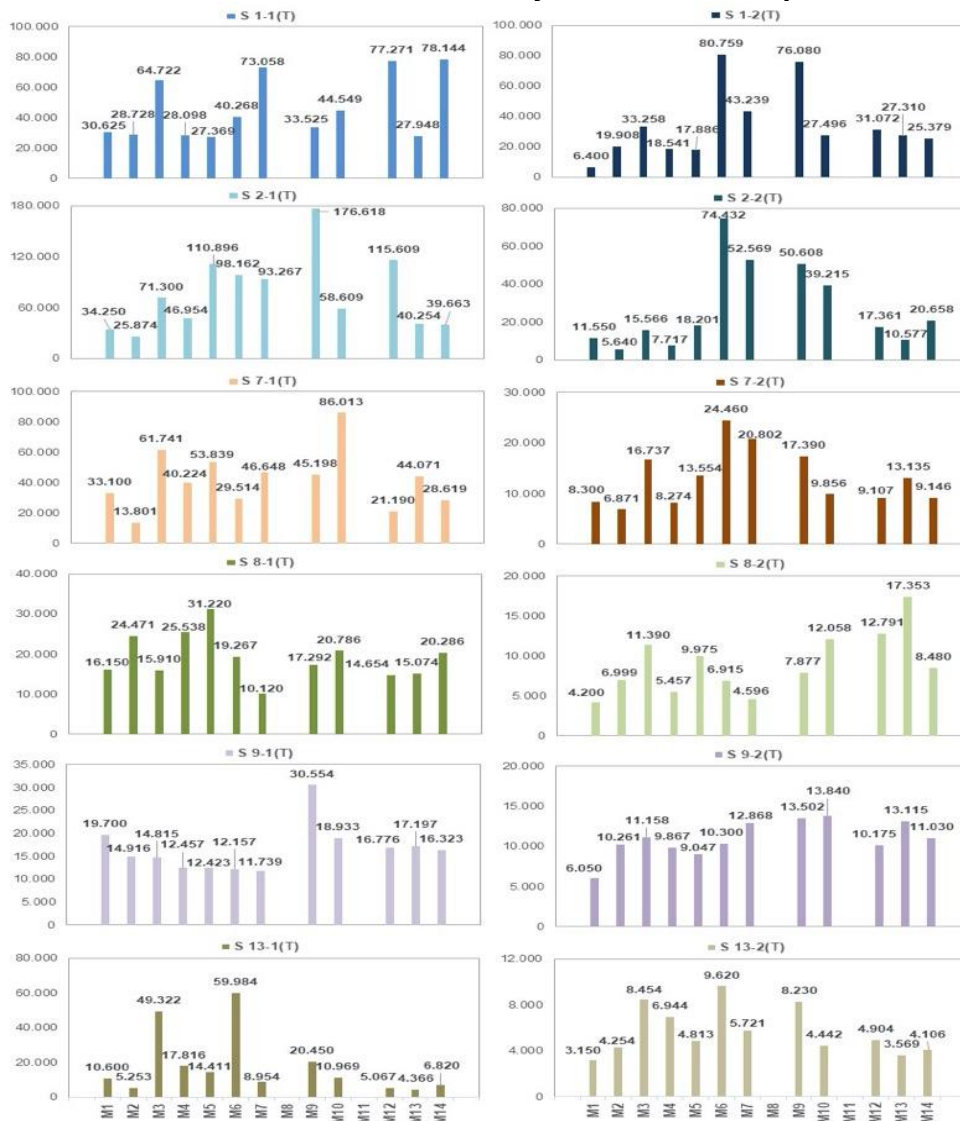
Figura N° 13-62. Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Tilopozo**, la concentración de sales solubles presenta un aumento a partir de M3 en la mayoría de los puntos, siendo mayor a partir de M6 y disminuyendo en la mayoría de los puntos a partir de M 13, a valores similares a los primeros monitoreos. En general los puntos de medición se caracterizan por presentar una amplia variabilidad numérica entre monitoreos. Sin embargo, destacan los puntos S 2-1, S 2-2, S 1-1, S 1-2 y S 7-1 como los de mayores concentraciones en todos los monitoreos, aun cuando en algunas evaluaciones se observan algunos valores inferiores al resto de los muestreos. Por otra parte, en este sector las concentraciones de sales solubles más bajas se han presentado en los puntos S 8-2 y S 13-2 (**Figura N° 13-63**).

Figura N° 13-63. Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En general para el área de estudio, la concentración de sales solubles varía en la mayoría de los puntos de muestreo para los diferentes monitoreos. Esto se puede atribuir tanto a las características intrínsecas de los suelos (pH, MO, textura, humedad, entre otros), como a factores ambientales (precipitaciones, temperatura, viento, entre otros), siendo lo más importantes la evapotranspiración y disponibilidad hídrica en el perfil.

La evapotranspiración corresponde a la salida del agua del perfil a la atmósfera. Durante este proceso, existe un ascenso por capilaridad de las sales hacia la superficie del perfil donde se depositan. De este modo, cuando la lixiviación por arrastre de las sales en profundidad, como causa del movimiento vertical del agua es insuficiente para lavar el perfil, se produce un aumento en las sales en superficie.

13.4.2.5 Conductividad Hidráulica o Permeabilidad

En general, para el área de estudio la conductividad hidráulica del perfil de suelo (permeabilidad) es **muy alta** y **alta**, siendo muy escaso los puntos donde esta es **moderadamente alta**. Este parámetro se caracteriza por presentar una importante variación numérica en toda el área estudiada.

Para **La Punta-La Brava** no se dispone información de los puntos S 3-2 y S 5-1 para M1, esto debido a las características físicas de los suelos en el punto muestreado -presencia horizonte extremadamente duro- lo que no permitió extraer las muestras.

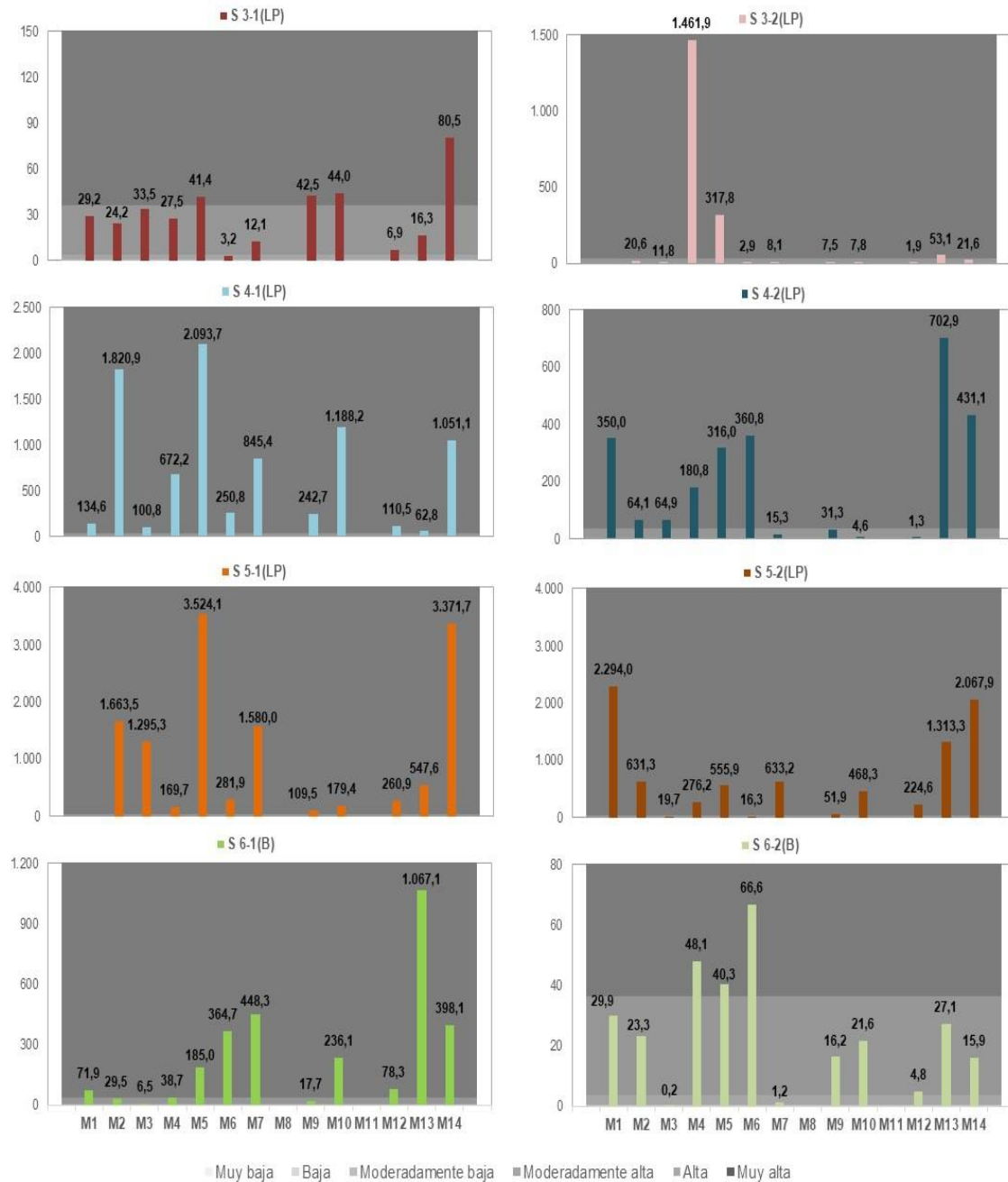
Este sector se caracteriza por presentar una gran variabilidad en la permeabilidad del agua entre puntos para los diferentes monitoreos. En el 66,7% de los puntos de M1 y el 50% de los muestreos realizados para M2, M7, M9 y M12, la permeabilidad es **muy alta**, y en los restantes es **alta**. Mientras que, en M3, sólo el 37,5% de los puntos presenta una categoría **muy alta**, en otros (4) **alta** y en uno **moderadamente alta (Figura N° 13-64)**.

En lo restantes monitoreos (M4, M5, M6, M10, M13 y M14) la permeabilidad **muy alta** se presenta en un 62,5% o más de los puntos de muestreo, incluso alcanzando a la totalidad de los puntos en M5. Las restantes categorías identificadas en los puntos de monitoreo corresponden **alta** y **moderadamente alta (Figura N° 13-64)**.

Para este sector sólo los puntos S 4-1 y S 5-1 presentaron una velocidad **muy alta** en todos los muestreos realizados, aun cuando la variación numérica es muy amplia para las diferentes evaluaciones. Los restantes puntos presentan tanto velocidad **alta** como **muy alta**, e incluso en algunos ésta es **moderadamente alta (Figura N° 13-64)**.

Estos resultados son un indicador de la gran variabilidad de este parámetro, lo cual se debería principalmente al cambio en el tipo de suelo entre monitoreos, a pesar de que la distancia es mínima entre uno y otro, la evaluación de clases texturales da cuenta de ello. La variación en los suelos se debe a la heterogeneidad de los materiales parentales, que conforman el sustrato del sector.

Figura N° 13-64. Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.

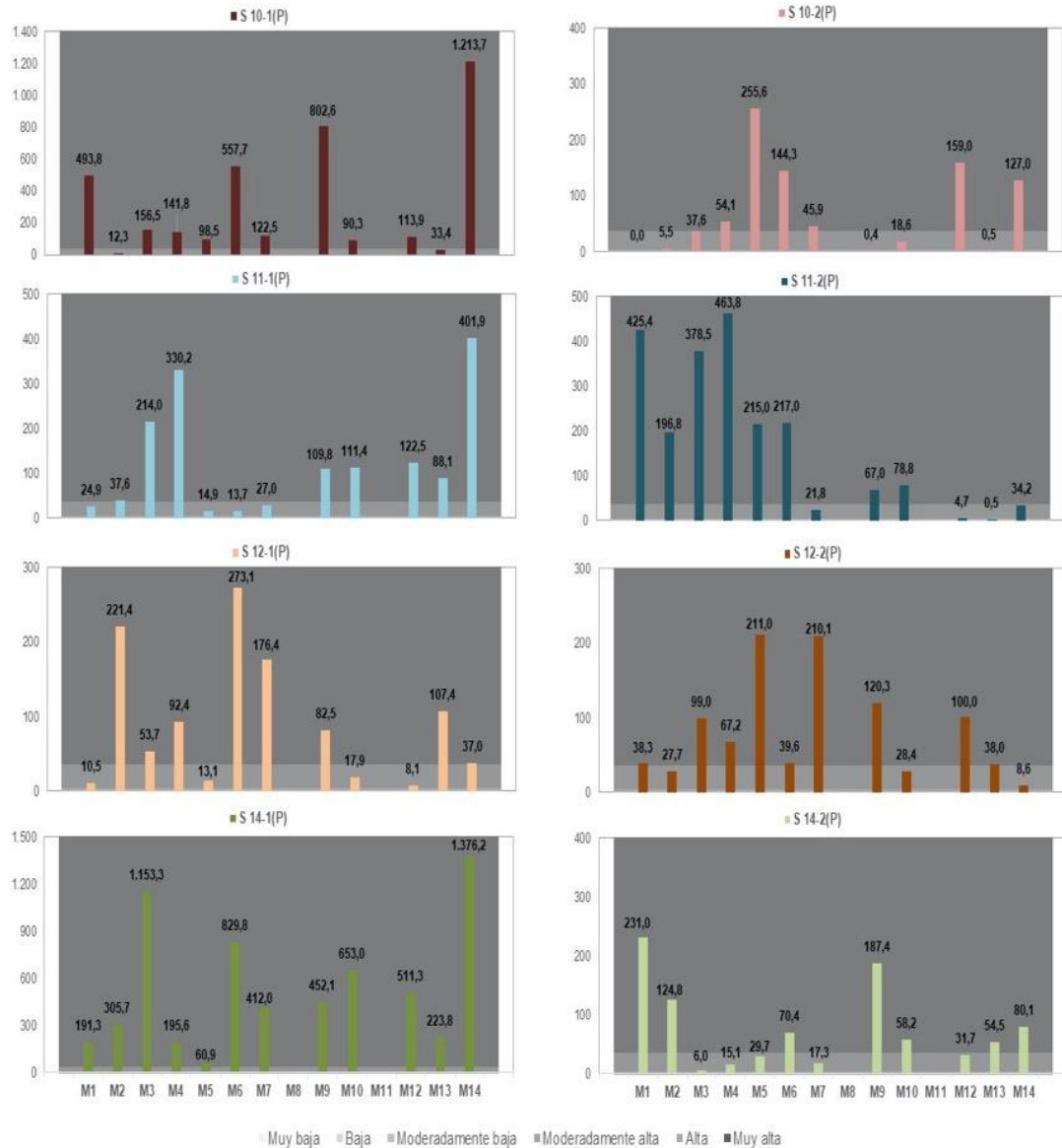


Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Peine**, al igual que en **La Punta-La Brava**, la permeabilidad del perfil de suelo es muy variable en el tiempo en los distintos puntos de monitoreo. Es así como en los monitoreos M1, M2, M5, M7, M10, M12 y M13, el 62,5% de los puntos presenta una permeabilidad **muy alta** y en los restantes es **alta**, excepto en S 10-2 y S 11-2 en M13, donde ésta es **moderadamente alta** (Figura N° 13-65). Mientras que, en M3, M4, M6 y M9 la

permeabilidad de la mayoría de los puntos (87,5%) es **muy alta**, y solo en uno de estos es **alta** o **moderadamente alta**.

Figura N° 13-65. Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.

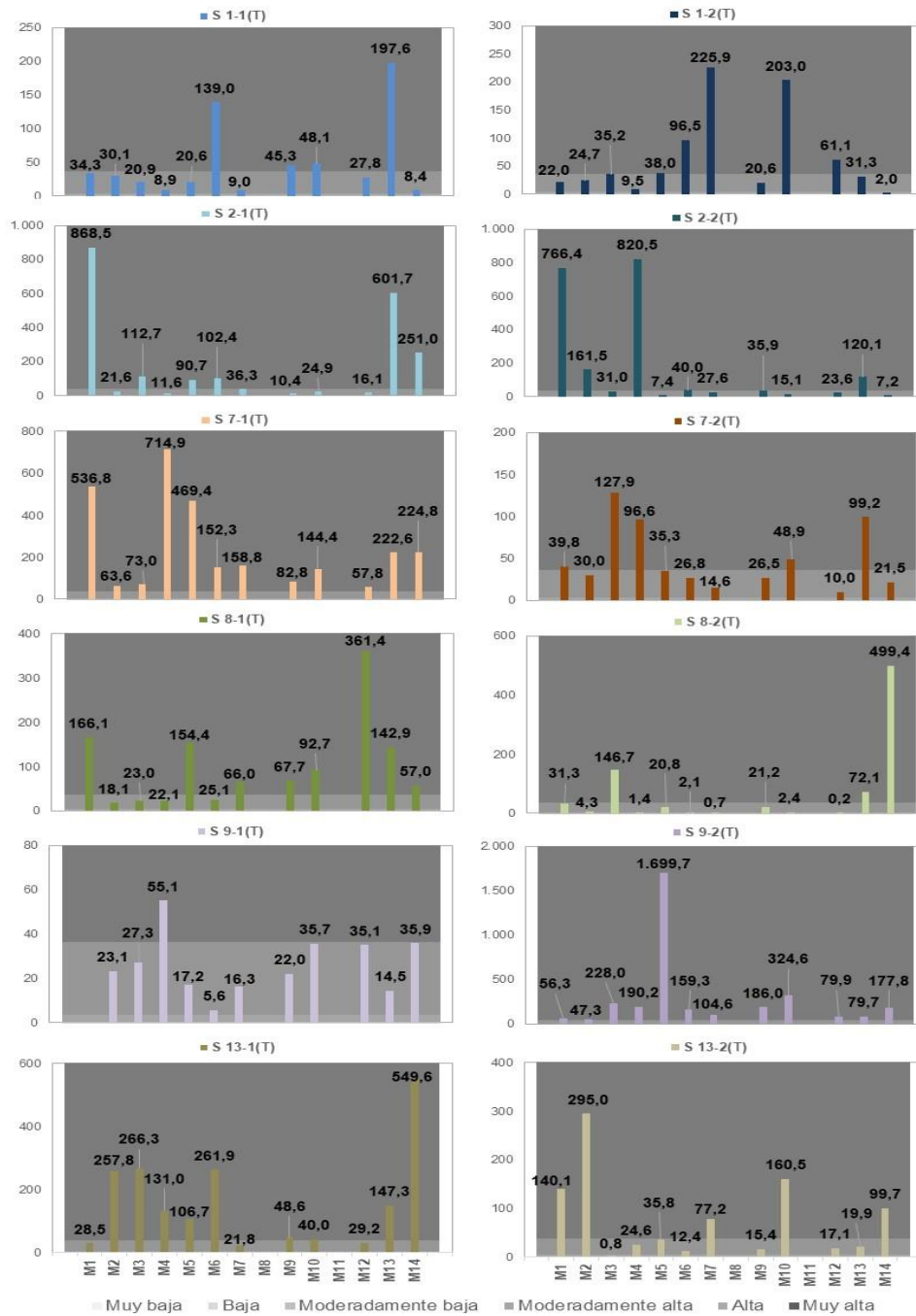


Fuente: Elaboración Propia

Dado que se observa una gran variabilidad en los resultados de la permeabilidad del suelo, en el sector de **Peine**, solo el punto S 14-1 mantiene la categoría (**muy alta**) para todos los monitoreos (**Figura N° 13-65**). Esta variabilidad en la velocidad es la condición esperable, la cual está determinada por la heterogeneidad de los sustratos, situación generalizada en el área de estudio.

En el sector de **Tilopozo**, en el punto S 9-1 no fue posible tomar muestras para determinar permeabilidad en M1 (por dureza del material del nivel superior), por lo que se tomó en profundidad (S 9-3). Posteriormente, al cambiar localización de calicata, fue factible tomar muestras a la profundidad establecida.

Figura N° 13-66. Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 13-66**, para este sector, en los monitoreos M1, M6, M10, M13 y M14, la permeabilidad es **muy alta** está representada con un 58,3% o más de los puntos por evaluación, y con una menor frecuencia participa la categoría **alta** y **moderadamente alta**.

Mientras que, en un 50% de los puntos de los monitoreos M3, M4, M5 y M7 la categoría de permeabilidad determinada es **muy alta**, y en los restantes puntos ésta es **alta** y **moderadamente alta**. Finalmente, en los monitoreos M2, M9 y M12 los puntos con permeabilidad **muy alta** corresponden a un 41,7% o menos del total, siendo más frecuente la velocidad **alta** y con una escasa participación la velocidad **moderadamente alta** (**Figura N° 13-66**).

Tal como ocurre en **La Punta-La Brava** y **Peine**, en **Tilopozo** este parámetro presenta una gran variabilidad numérica en la permeabilidad del agua, lo cual sería la condición normal del sistema, condición que está dada por la heterogeneidad de los materiales parentales que dan origen a los suelos.

En los suelos del área de estudio, tanto la textura como la estructura son los principales factores que regulan el comportamiento de la permeabilidad. Por lo tanto, ante cambios en estas propiedades del suelo, se modifica la permeabilidad, no observándose agentes antrópicos que afecten estas propiedades, como por ejemplo el paso de maquinaria pesada, que afecte la densidad de los suelos u otro tipo de actividad que altere las características intrínsecas de los suelos.

13.4.2.6 Nutrientes

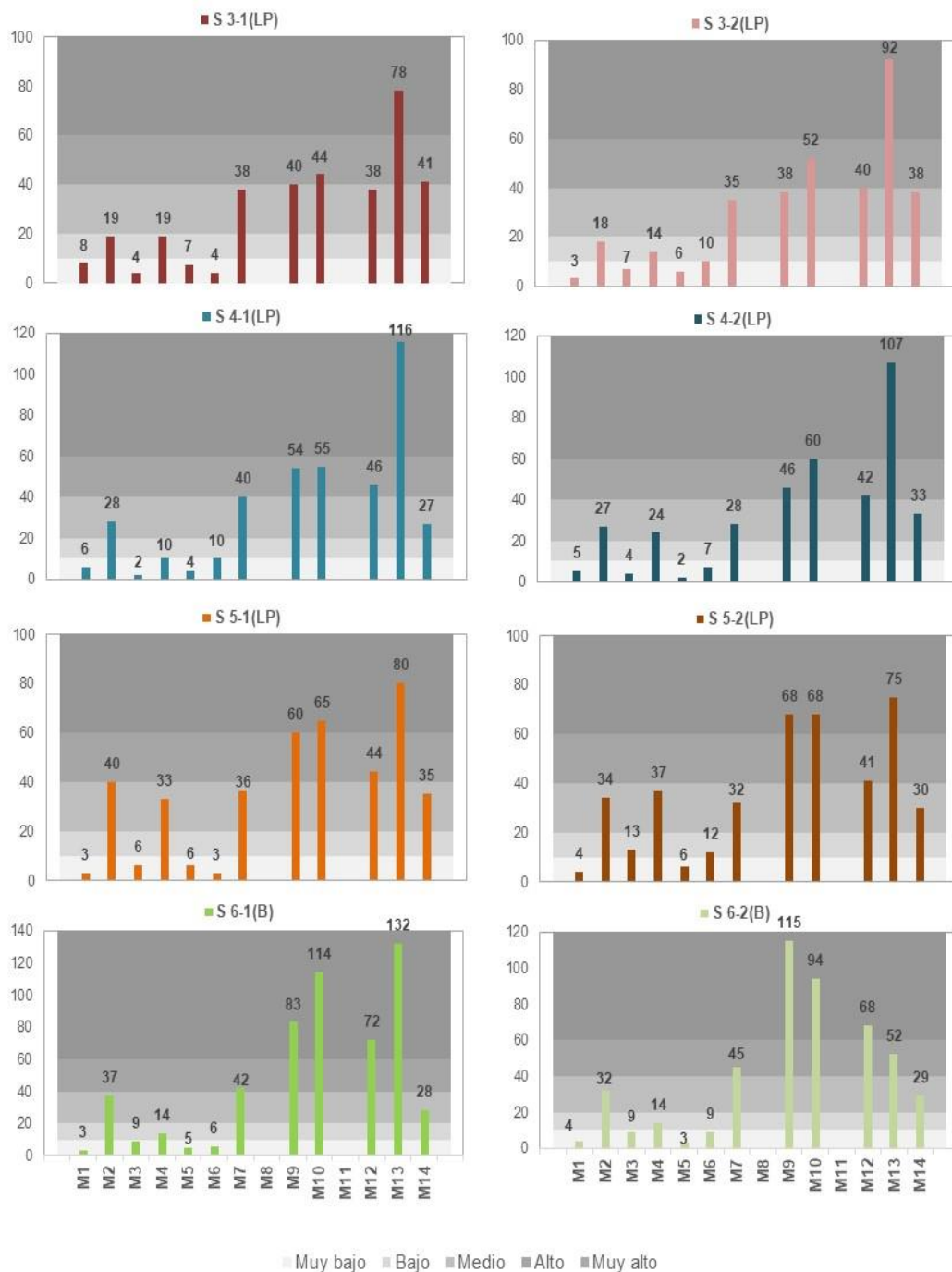
En relación a estos parámetros, es necesario indicar que a partir del M7 (invierno 2019) se realizó cambio de laboratorio, lo cual coincide con un aumento significativo en los valores de nitrógeno disponible, implicando un aumento en la categoría de gran parte de los puntos de muestreo, por lo que, para este parámetro el análisis de los resultados se realiza por separado, es decir, se comparan los resultados de los monitoreos M1 a M6 y M7 a M14, y para el monitoreo M13, se encargó a otro laboratorio realizar los análisis, pero no se observó un cambio significativo en los resultados. En relación al potasio, no se observan cambios significativos en los valores luego de los cambios de laboratorio y por lo tanto, en categorías de disponibilidad. Lo mismo ocurre con el fósforo.

a) Nitrógeno

En el sector de **La Punta-La Brava**, los valores presentados en los monitoreos M1, M3 M5 y M6 son muy similares, siendo los suelos de disponibilidad **muy baja** los más frecuentes y los **bajos** muy escasos. En cambio, en M2 y M4 la disponibilidad de nitrógeno aumenta a **baja** y **media**, siendo ambas las de mayor frecuencia y sólo en un punto (S 4-1, M4) el nitrógeno es **muy bajo** (**Figura N° 13-67**).

En cambio, a partir de M7, coincidiendo con el cambio de laboratorio, se observa un aumento en la disponibilidad de nitrógeno para todos los puntos, siendo **media** y **alta** en M7 y M14; **alta**, **muy alta** y **media** en M9 y M12, **muy alta** y **alta** en M10 y M13, ver **Figura N° 13-67**.

Figura N° 13-67. Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 13-67**, no existe una relación clara entre la disponibilidad de este macronutriente y la estación del año en que fue realizado el muestreo, ya que las menores disponibilidades se presentan tanto en algunos monitoreos invernales (M1, M3, M5) como estivales (M6), mientras que la disponibilidad fue alta en M2 y M4 (estivales).

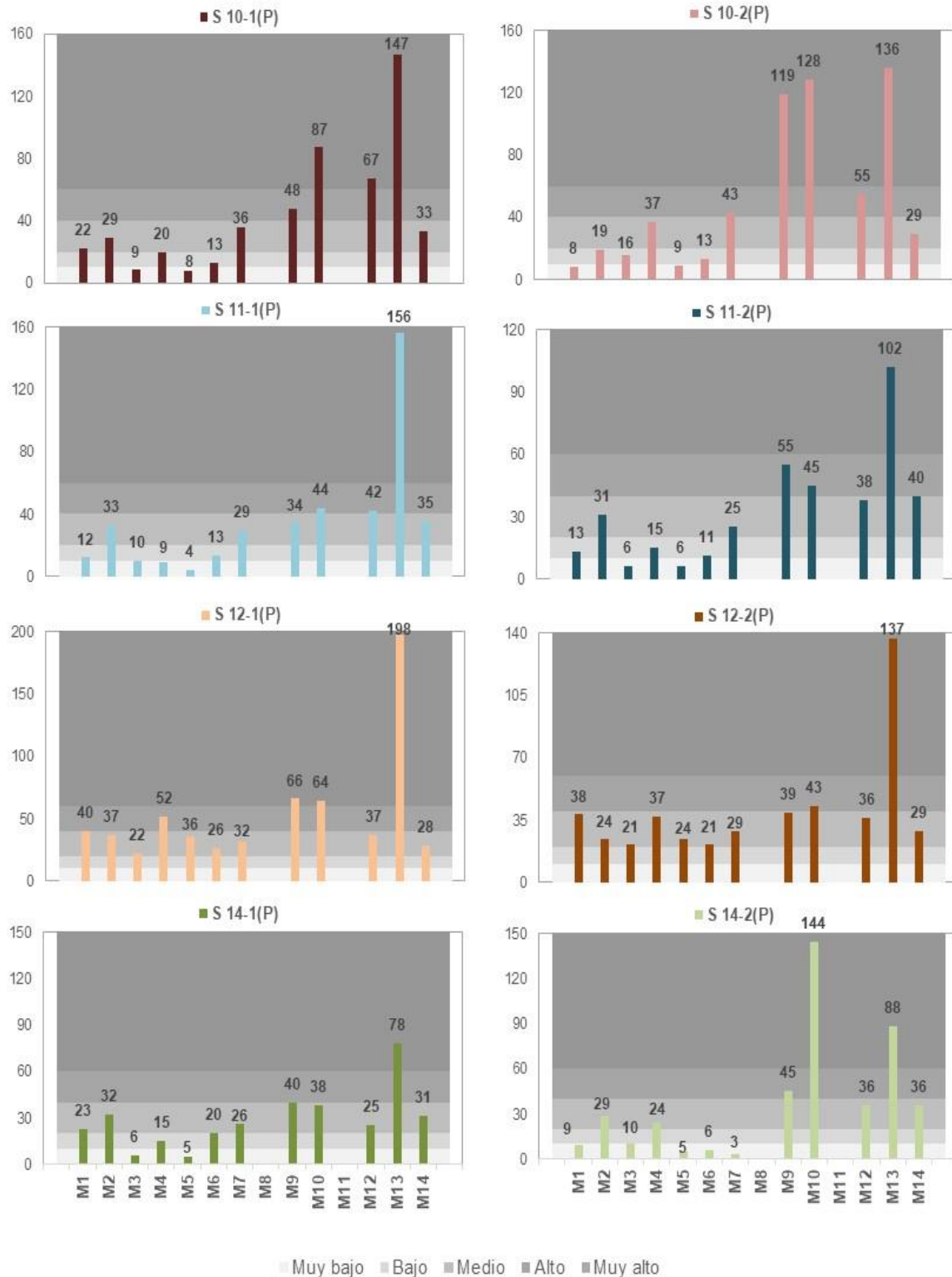
En relación a los 6 últimos monitoreos, se observa que M10 y M12 (estival) y M9 (invernal) presentan valores similares en cuanto a disponibilidad de nitrógeno, mientras que, M7 (invernal) y M14 (estival) presenta la totalidad de valores inferiores a estas 3 evaluaciones, siendo M13 (invernal) el monitoreo donde se determinó la mayor disponibilidad de nitrógeno para todas las evaluaciones realizadas a la fecha, ver **Figura N° 13-67**.

Por lo tanto, la disponibilidad de nitrógeno estaría relacionada con otros factores, asociados a las características intrínsecas del suelo, como también a factores ambientales, y no sólo a la estación del muestreo.

En el sector de **Peine**, en los monitoreos M3 y M5 la disponibilidad más frecuente es **muy baja**, luego **media** y muy escasa la categoría **baja**. En cambio, en M1 y M6 se presentan 3 categorías de disponibilidad **media**, **baja** y **muy baja**, siendo la primera más frecuente en M1 y la segunda en M6, a diferencia de lo que ocurre en M2, M7 y M14 donde la categoría **media** es la única determinada, excepto en S 10-2 (M2 y M7) y S 14-2 (M7), ver **Figura N° 13-68**.

Para los monitoreos M4, M9, M10 y M12 se verifican hasta 4 categorías de disponibilidad y sólo en M12 la disponibilidad **media** es mayoritaria. En los restantes monitoreos no existe una dominancia de algunas de las categorías definidas. Para este sector destaca la evaluación realizada en invierno 2022 (M13), donde todos los puntos presentaron una disponibilidad **muy alta**, ver **Figura N° 13-68**.

Figura N° 13-68. Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

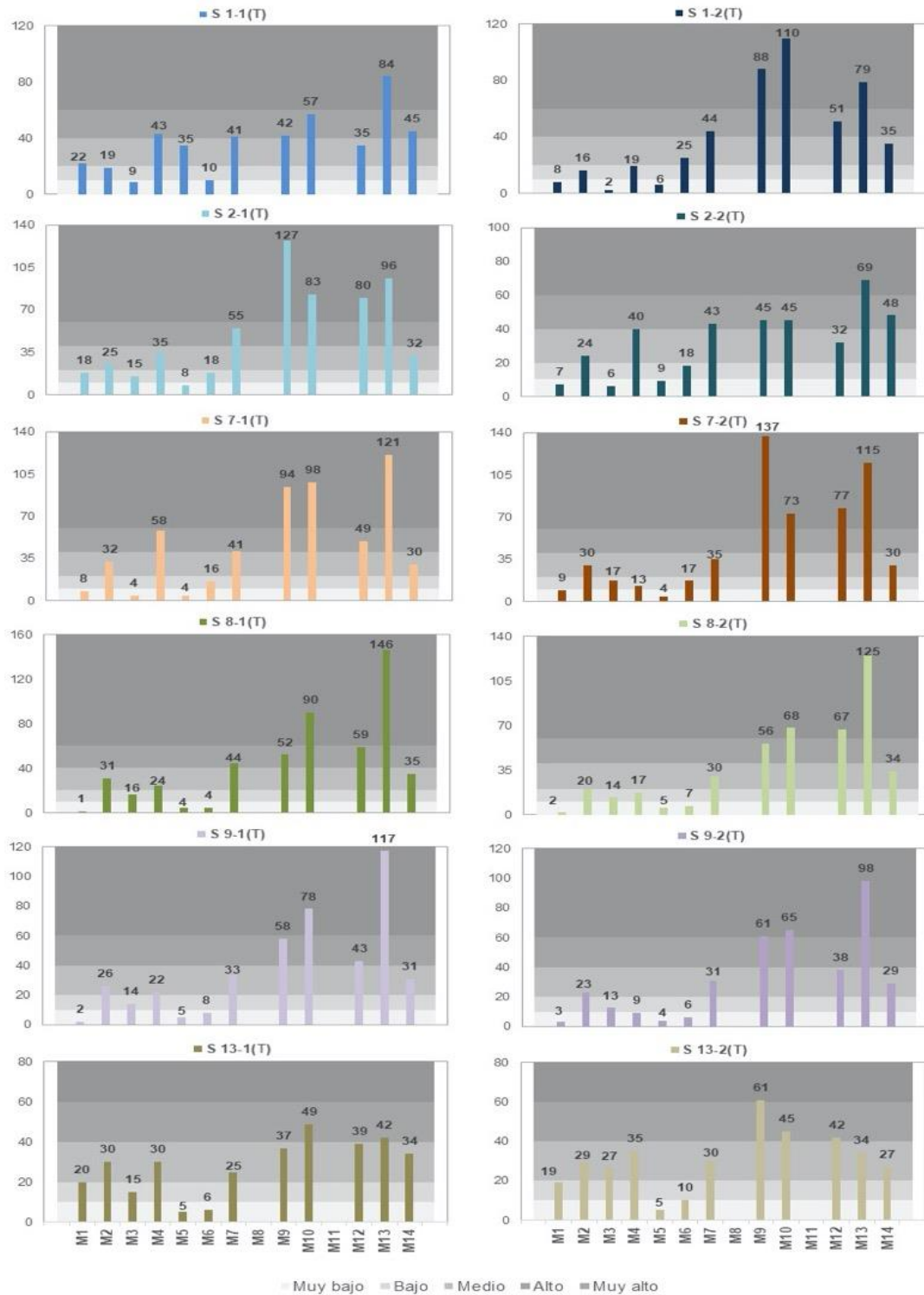
La variabilidad en la concentración de nitrógeno de los puntos para los diferentes monitoreos realizados, indica que este es el comportamiento normal de los suelos y que los cambios entre una evaluación y otra se deberían exclusivamente a las condiciones naturales del sustrato y no serían por efecto de actividades antrópicas o de la estacionalidad.

En el sector de **Tilopozo**, el nitrógeno disponible presenta una similitud en las categorías de los monitoreos M1, M3 y M6, en relación a su concentración, la cual se presenta mayoritariamente en las categorías **muy baja** y **baja**, siendo muy escasa la disponibilidad **media**. En cambio, en M2, M4 y M14 las categorías de mayor frecuencia corresponden a **media** y **baja**, y sólo en M4 y M12 se presentan 2 puntos donde ésta es **alta** (**Figura N° 13-69**). En M5, en tanto, la mayoría de los puntos presenta disponibilidad **muy baja** y sólo en S 1-1 ésta es **media**.

Mientras que, en M7, coincidiendo con el cambio de laboratorio, la mitad de los puntos de muestreo presenta disponibilidad **alta** y los restantes **media**. Cabe señalar que los resultados de este monitoreo no presentan similitud con los resultados de las otras campañas de medición.

En los monitoreos M9, M10 y M13, el nitrógeno disponible se presenta en la categoría **muy alta** y con una menor frecuencia la disponibilidad **alta** y **media**, ver **Figura N° 13-69**. En cambio, en M12 la variación tanto numérica como en categoría es más amplia, determinándose la categoría **media**, **alta** y **muy alta** en diferentes puntos de monitoreo siendo completamente distinto a las restantes evaluaciones efectuadas a la fecha.

Figura N° 13-69. Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Para al área de estudio no se observa una relación del nitrógeno disponible entre los puntos de muestreo para los diferentes monitoreos. Al comparar las 6 primeras evaluaciones destaca la variabilidad tanto numérica como en categorías, presentándose mayoritariamente la disponibilidad **muy baja, baja y media**. Igual situación respecto a la variabilidad se presenta luego del cambio de laboratorio, en los monitoreos M7 a M14, pero aquí las categorías corresponden principalmente a **media, alta y muy alta**.

Al analizar la estacionalidad, en el período comprendido entre M1 y M7, destacan los monitoreos M2 y M4 (estivales), que en general presentan los mayores valores (medio y en menor proporción bajo). En el sector de **Peine** el monitoreo M6 (estival) presenta valores similares a M2 y M4, mientras que, en los otros sectores, los valores para este monitoreo son similares a los presentados en los monitoreos invernales. Por otra parte, en **Peine** en M1 (invernal) los resultados son similares a los presentados en los monitoreos estivales (M2, M4 y M6), mientras que en los restantes monitoreos invernales se presentan principalmente las categorías **muy baja y baja**.

Respecto a los monitoreos para el período entre M7 a M14, los valores más altos son determinados para M9 y M10, siendo estos similares entre sí, mientras que M7 y M14 presentan valores inferiores, pero siempre sobre 25 mg/kg (disponibilidad **media**), excepto S 14-2 para M7, donde el nitrógeno es **muy bajo**. Mientras que, en M12, aun cuando las categorías son las mismas, se observa una disminución numérica respecto a M9 y M11, siendo los registros levemente superiores a M7 y M14. En M13, en tanto, se presentan los valores más altos de todas las mediciones realizadas a la fecha.

Respecto a las variaciones temporales identificadas en los puntos monitoreados, se deberían a los cambios en las propiedades del suelo por efecto de la heterogeneidad de los materiales parentales.

En cuanto al efecto de las actividades antrópicas y desarrolladas en el área de estudio sobre la disponibilidad de nitrógeno, se considera que no son un factor que las afecte, por lo que la variación se debería sólo a factores ambientales.

b) Potasio

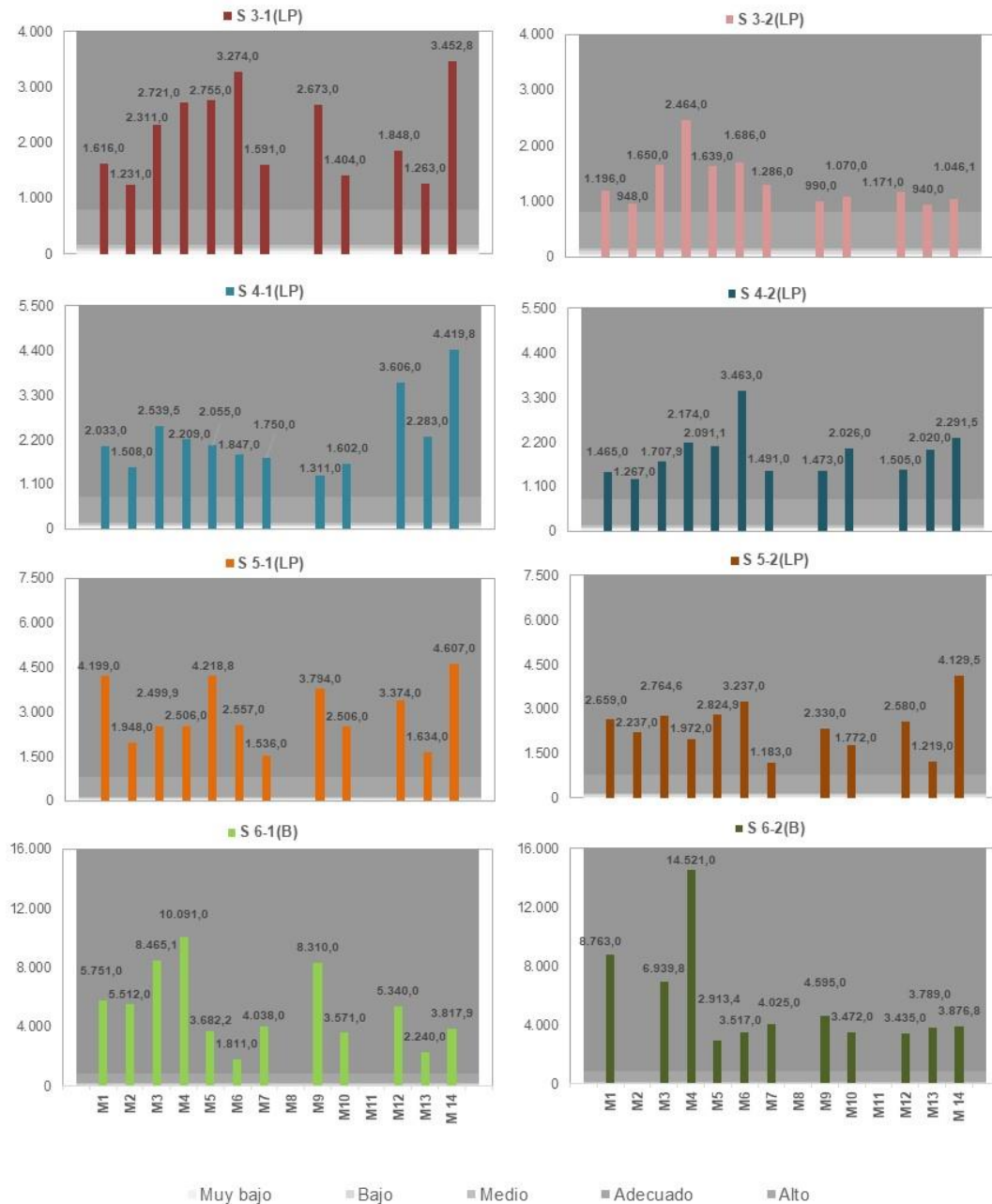
Para el área de estudio, la mayoría de los puntos de muestreos presenta una disponibilidad de potasio **alta**, y en menor proporción **adecuada**, y no se detectan las otras categorías inferiores.

En la totalidad de los monitoreos realizados para el sector de **La Punta-La Brava**, el potasio disponible es **alto**, aun cuando se observan variaciones en la concentración para los mismos puntos en los diferentes monitoreos (**Figura N° 13-70**).

En general, se observa un aumento en la concentración de este macroelemento a partir de M3 respecto a los monitoreos anteriores, y con los mayores valores en M4, M5, M6, M12 y M14,

ver **Figura N° 13-70**. En el sector los valores se encuentran mayoritariamente bajo los 4.000 mg/kg, siendo muy escasos los puntos donde éste es superior.

Figura N° 13-70. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2⁴⁸, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14⁴⁹. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

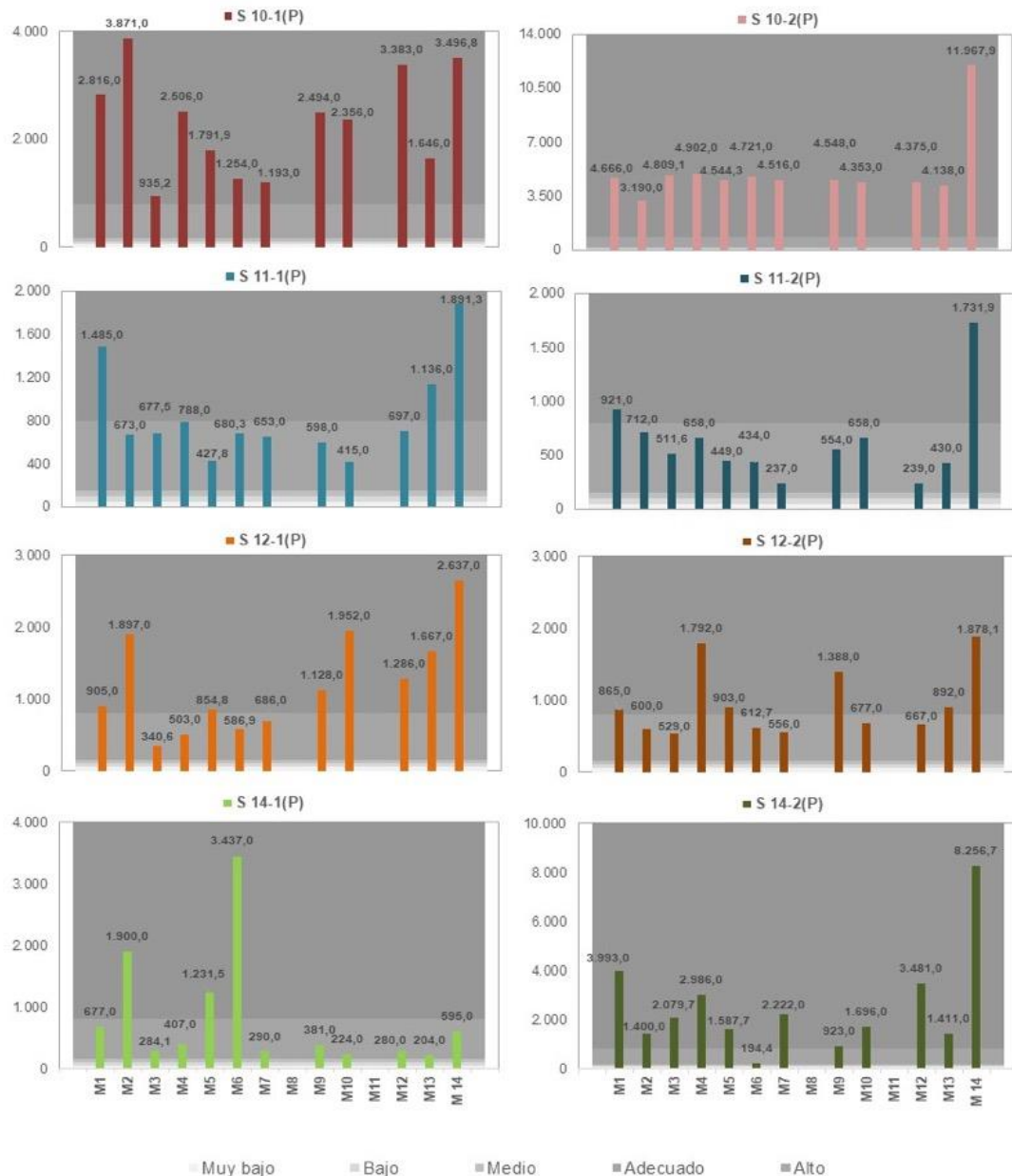
⁴⁸ En el monitoreo M2, debido a problemas en el procesamiento de las muestras el material no fue lo suficiente para realizar este análisis.

⁴⁹ Debido a un problema administrativo del laboratorio encargado de estos análisis, las muestras no fueron adecuadamente ingresados, por lo que, no se realizó la determinación de potasio para la calicata S 9.

En el sector de **Peine**, se observa una gran variabilidad en la concentración de potasio, lo que ocasiona alternancia entre las categorías **adecuada** y **alta** para los puntos S 12-1, S 12-2 y S 14-1 en todos los monitoreos, mientras que el punto S 11-1 y S 11-2 sólo en M1, M13 y M14 se determinó una disponibilidad **alta** y en los restantes monitoreos (M2 a M12) esta es **adecuada**, ver **Figura N° 13-71**.

En cambio, en S 10-1 y S 10-2 para todos los monitoreos el potasio es **alto**. Igual situación se presenta en S 14-2, excepto para M6, donde es **adecuado** (**Figura N° 13-71**).

Figura N° 13-71. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.

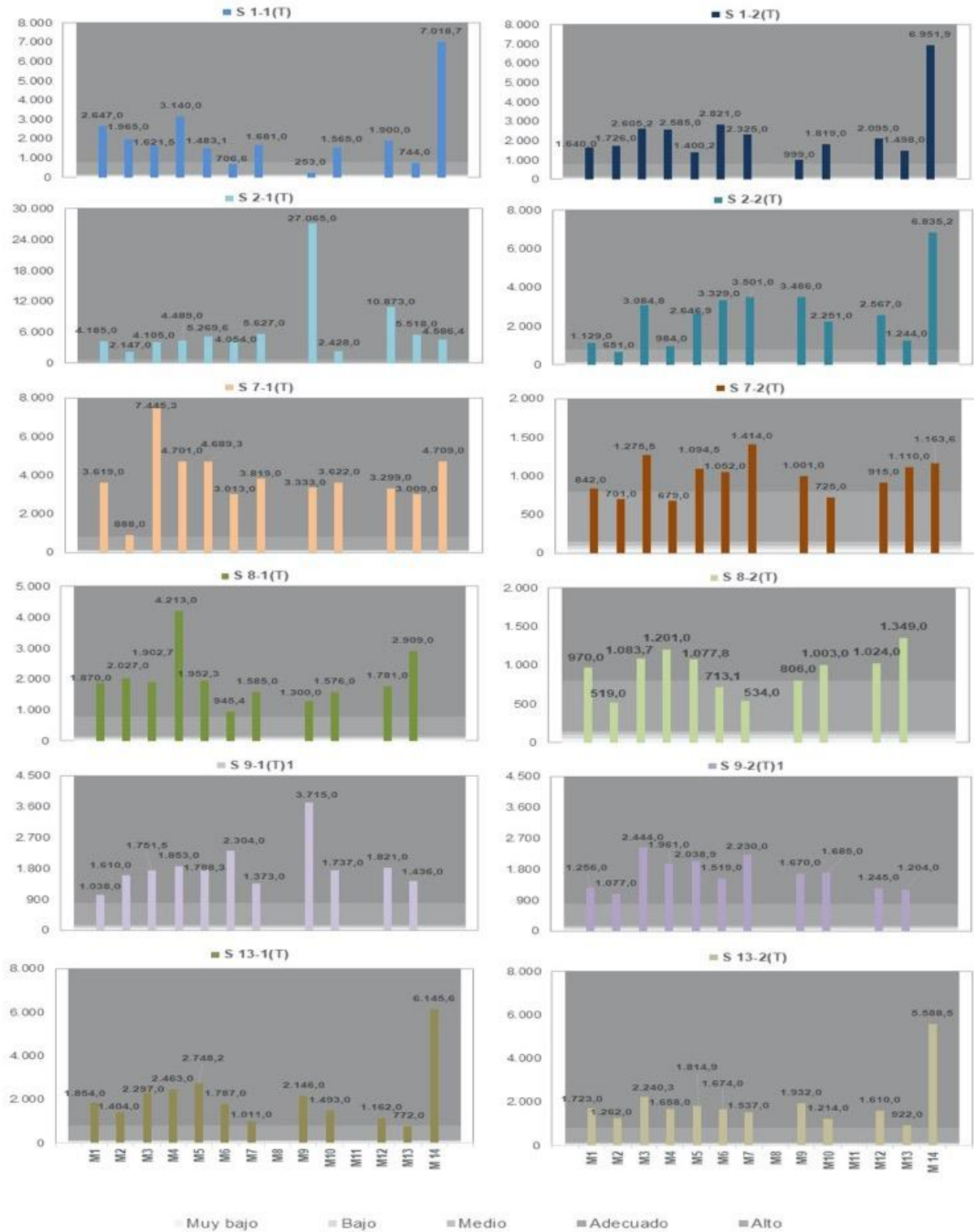


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, los resultados de los monitoreos no presentan una relación entre las diferentes evaluaciones o la estacionalidad del muestreo. Esto implica que la variación en la concentración estaría en función de la disponibilidad de este elemento en el suelo, la cual puede fluctuar de acuerdo al origen de los materiales parentales. Sin embargo, esta disminución no implica un efecto sobre la vegetación, por cuanto los niveles son **adecuados a alto**.

Para el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos de los diferentes monitoreos la disponibilidad de potasio es **alta**, excepto en un reducido número de puntos en donde la categoría es **adecuada (Figura N° 13-72)**, observándose fluctuaciones en la concentración de los mismos puntos, para las diferentes evaluaciones.

Figura N° 13-72. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Tilopozo**, no se observa una estacionalidad en los resultados. Aun cuando existe una variación numérica para un mismo punto de muestreo en las distintas evaluaciones, en general en la mayoría de ellos la disponibilidad es alta (**Figura N° 13-72**), y no se determina un cambio de categoría en gran parte de los puntos, esto se produce sólo en un reducido número de muestreos y sólo para algunos monitoreos.

Respecto al comportamiento del potasio en el sector, se caracteriza por presentar una condición normal al igual que en la mayoría de los suelos chilenos, ya que se indica como un elemento de alta disponibilidad.

En cuanto a obtener conclusiones definitivas para el área de estudio y que permitan explicar la variación en la disponibilidad de potasio, a la fecha, con los antecedentes recopilados, no es factible aún, por cuanto la disponibilidad de potasio en el suelo es multifactorial, destacando entre estos factores: tipo de material parental, meteorización, minerales, textura del suelo, tipo de arcilla, tipos de suelo (fijadores), pH, lixiviación, relación con otros elementos, entre otros, por lo que se requieren mayores datos para determinar si la variación es constante o sólo efecto de la época y precipitaciones. Pero en general, la variación de los puntos entre monitoreos estaría determinada por la heterogeneidad de los suelos debido a los diferentes tipos de materiales que los constituyen.

c) Fósforo

Para el área de estudio, y considerando la totalidad de los monitoreos, se observa que los suelos de disponibilidad **muy baja** son los de mayor frecuencia, posteriormente los **bajo** y **medio**, y los suelos de disponibilidad **alta** y **muy alta** son los menos frecuentes.

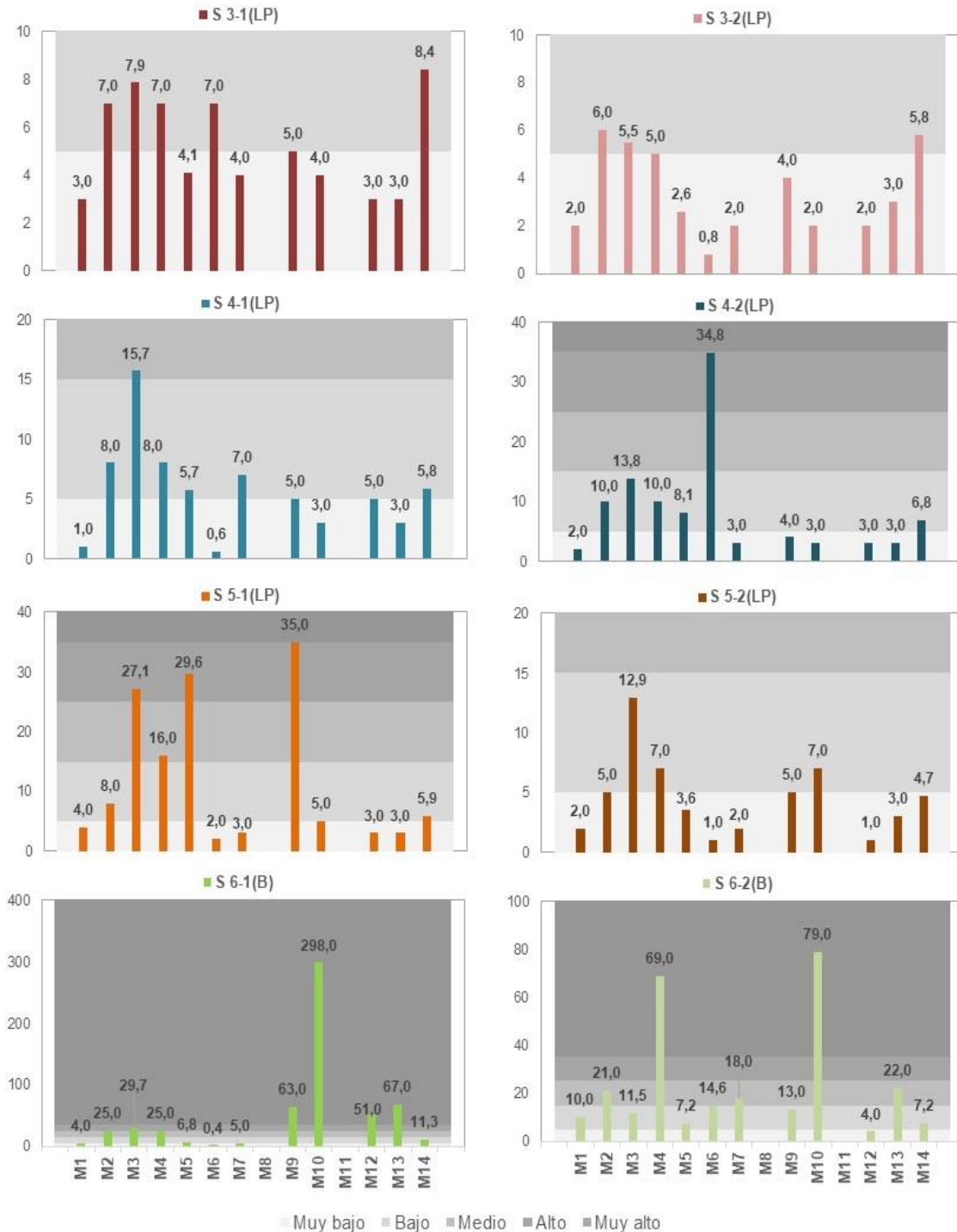
En el sector de La **Punta-La Brava**, se determina un aumento en la concentración de fósforo a partir de M2 alcanzando un máximo en la mayoría de los puntos en M3 excepto S 6-2, para luego iniciar un descenso hasta valores mínimos en M6, donde la concentración de fósforo es inferior a M1 (**Figura N° 13-73**), luego iniciar nuevamente un aumento a partir de M7 con un máximo en M9 e iniciar una leve disminución hasta M13 tramo en los cuales los valores son levemente superiores a M1, para finalmente volver a aumentar en M14.

En términos de la categoría que presenta el fósforo disponible para los puntos en los diferentes monitoreos, en las campañas M1, M6, M7, M9, M10, M12 y M13, la mayoría de los puntos presenta una categoría **muy baja** de fósforo disponible. En las restantes evaluaciones, la disponibilidad de fósforo varía de **muy baja** a **muy alta**, siendo mayoritariamente **baja** y **media** (**Figura N° 13-73**).

En este sector, los resultados de los monitoreos no presentan correlación entre ellos y los valores obtenidos para los puntos presentan una importante variación numérica entre los diferentes monitoreos (**Figura N° 13-73**). Sin embargo, en general los valores más altos se presentan en el punto S 6. Este comportamiento es normal de este sistema, por cuanto los factores que determinan la disponibilidad de este elemento están en relación directa con el

tipo de suelo, que tal como se indicó anteriormente, es muy heterogéneo, incluso en un mismo punto, dado los diversos orígenes de los materiales parentales que lo constituyen.

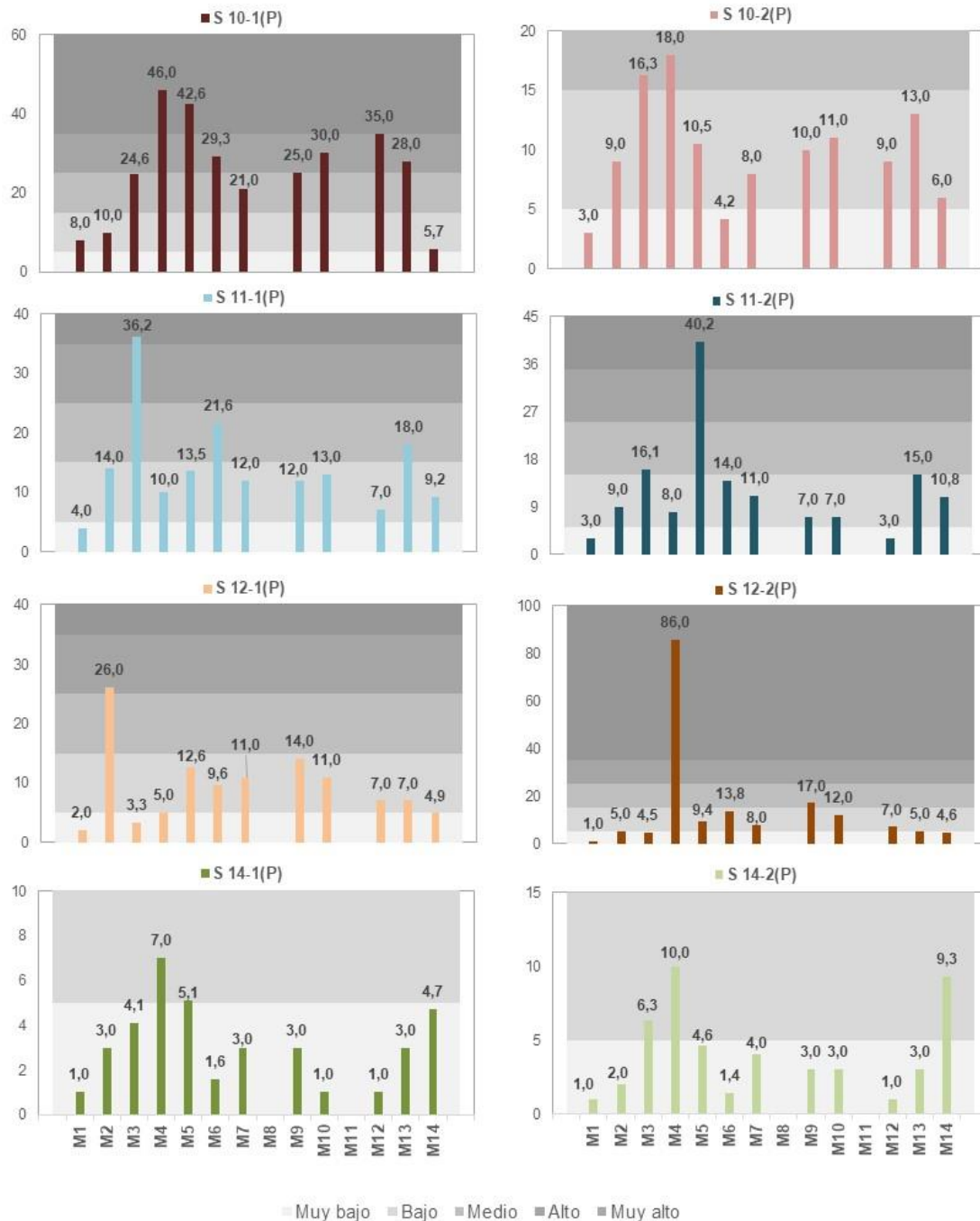
Figura N° 13-73. Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, se observa un aumento en la concentración de fósforo en la mayoría de los puntos a partir de M2, lo que implica un cambio en la categoría de disponibilidad (**Figura N° 13-74**). En todos ellos se observan variaciones numéricas en la concentración de este macronutriente, para los mismos puntos entre los diferentes monitoreos.

Figura N° 13-74. Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M2, M13 y M14. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

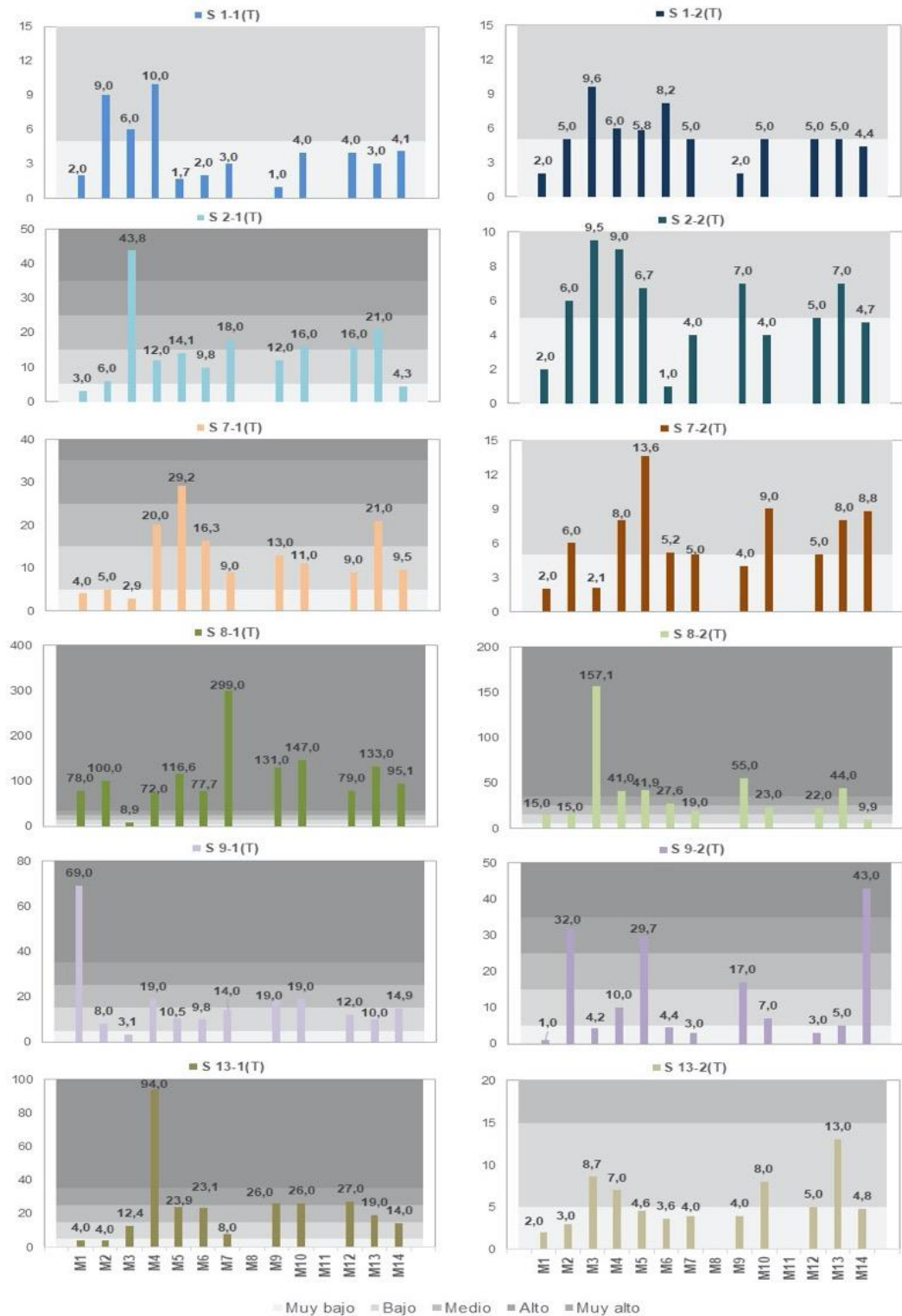
En este sector destaca el punto S 10-1, el cual en la mayoría de las evaluaciones (M1, M5 a M13) presentó la mayor disponibilidad de fósforo y en las restantes tuvo una de las mayores concentraciones, muestreo realizado en un suelo de origen mineral. Otro punto para destacar es el S 14, el cual a partir de M6 presenta la menor disponibilidad del sector, siendo esta **muy baja**, excepto en M14, muestreo realizado en un suelo del tipo salino. En los restantes puntos las concentraciones son variables, y sólo en algunos la categoría se mantiene por 2 o 3 monitoreos continuos (**Figura N° 13-74**).

En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la concentración de fósforo a partir de M2, siendo las concentraciones de la mayoría de los monitoreos mayores a las determinados para M1 (**Figura N° 13-75**). Las categorías dominantes son **muy baja**, **baja** y **media**, excepto para los puntos S 8-1 y S 8-2, donde la categoría más frecuente es **muy alta**, este último situado en un suelo orgánico (vega). En general, las categorías de fósforo disponible presentan similitud entre los monitoreos M4, M5, M9, M10, M12 y M13, entre M2 y M7, y entre M3, M6 y M14.

En este sector, la variabilidad en la concentración para los mismos puntos entre monitoreos es tal que, en M1 la mayoría de los puntos se ubica en el rango de disponibilidad **muy baja**, aumentando a disponibilidad **baja** y **media** en los restantes monitoreos. Por su parte, la categoría **alta** sólo se presenta en un reducido número a partir de M5 a M14, y la **muy alta** está presente en todos los monitoreos, pero en un reducido número de puntos, ver **Figura N° 13-75**.

Para el sector de **Tilopozo**, no se observa una relación directa entre los resultados para los diferentes monitoreos, determinándose concentraciones con una amplia variación entre monitoreos para un mismo punto y no existiendo una estacionalidad marcada (**Figura N° 13-75**). En general, este sector se caracteriza por presentar en la mayoría de los puntos desde niveles **muy bajo** a **muy alto**. Dichas variaciones estarían explicadas por la heterogeneidad de los suelos, dado los diferentes materiales parentales que los constituyen.

Figura N° 13-75. Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En el área de estudio, no existe una relación directa entre los resultados de los diferentes monitoreos para los mismos puntos y se observa una gran variabilidad en la concentración de fósforo, lo que indica que este sería el comportamiento normal de este parámetro, esto basado en que la mayoría de los factores que inciden en la disponibilidad se relacionan con las propiedades fisicoquímica del suelo, entre estos se pueden destacar el tipo de suelo, el material parental, clima, erosión, pH, materia orgánica y humedad.

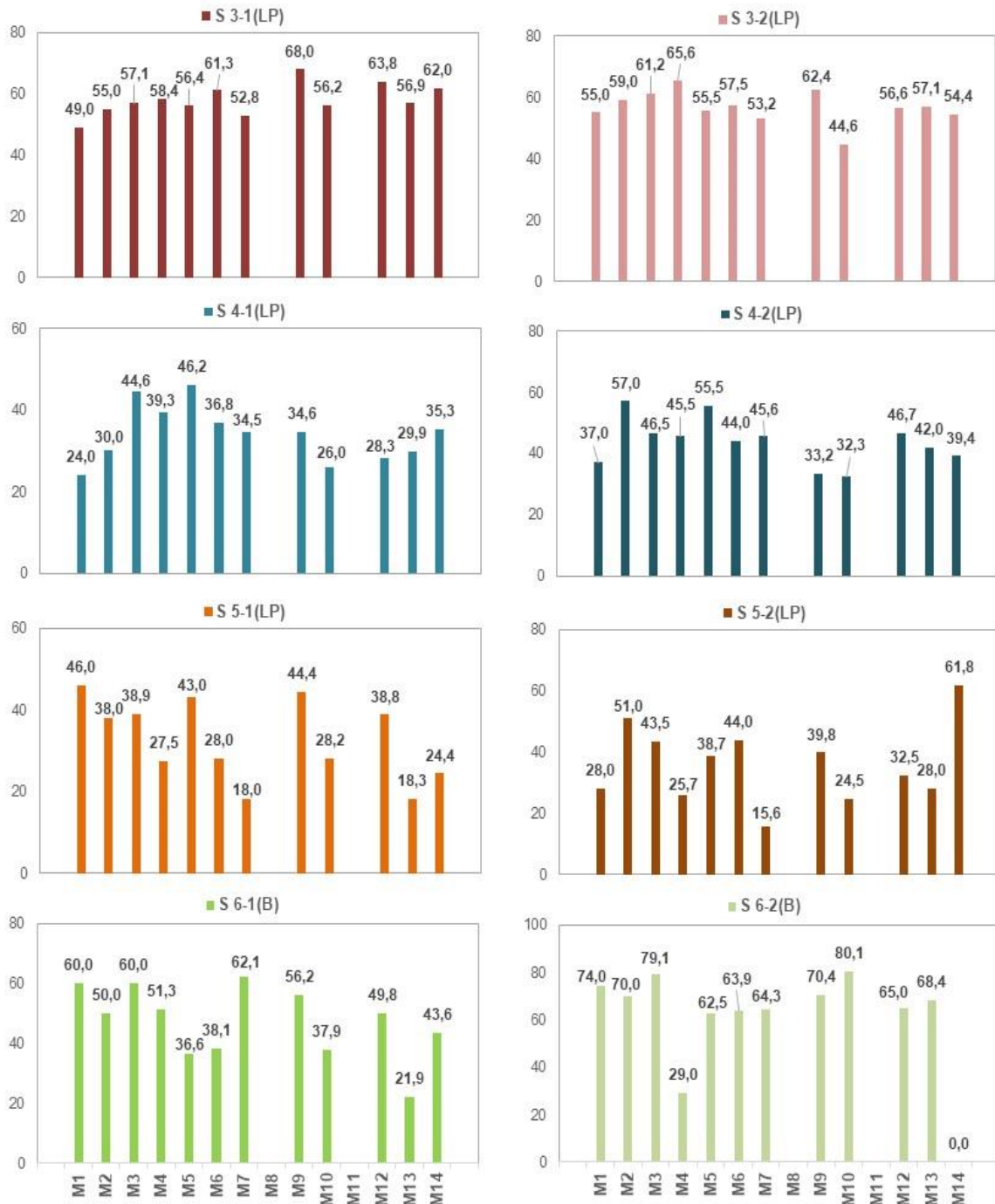
La condición heterogénea de los materiales que constituyen los suelos y su accionar sobre los otros factores, explicaría las variaciones en la concentración de los mismos puntos para los diferentes monitoreos, indicando además que no existen actividades antrópicas locales, que afecten la concentración del fósforo.

13.4.2.7 Humedad

En general, y considerando todos los monitoreos (M1 a M14) para el área de estudio, el rango en el contenido de humedad de los suelos varía entre 1 a 80,1%.

En **La Punta-La Brava**, no se observan en general diferencias marcadas en la estacionalidad de muestreo de esta variable, esto dado la existencia de las lluvias estivales que son recurrentes todos los años, lo que permite disminuir la brecha entre verano e invierno. Sin embargo, se observa una mayor variabilidad del contenido de humedad para algunos puntos, destacando S 5, en el cual la humedad varía entre 15 a 46% independiente de la estación del año y en general presenta los menores porcentaje de humedad del sector, como también se observan algunos puntos que en todos los monitoreos presentan valores alto y con un menor rango de variación (S 6 y S 3), ver **Figura N° 13-76**.

Figura N° 13-76. Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector La Punta-La Brava.

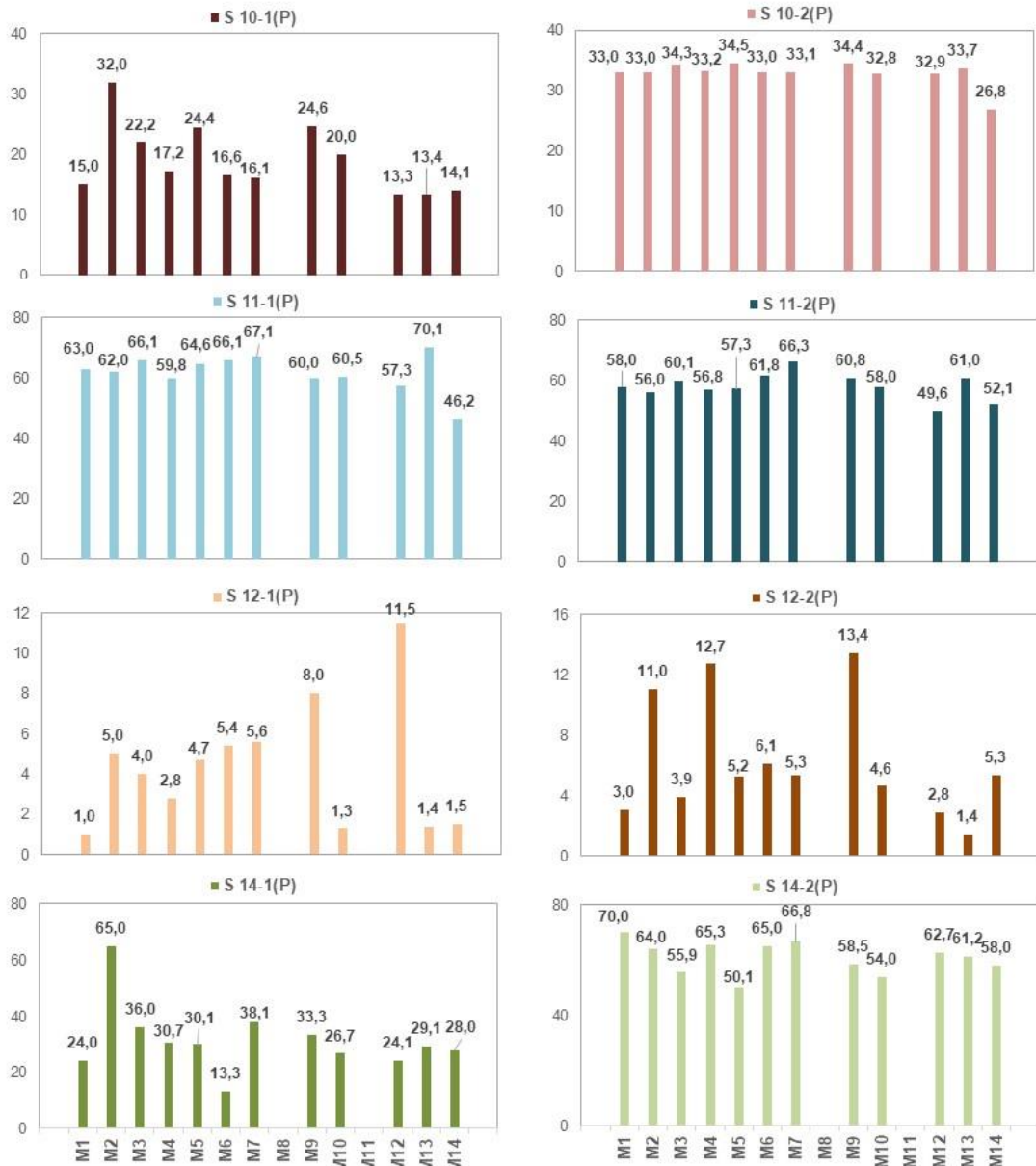


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **La Punta-La Brava** la diferencia entre el porcentaje mínimo y máximo de humedad para un mismo punto, para la totalidad de los monitoreos, es superior a 20%, con un valor máximo de 51,1% (S 6-2), lo que determina una gran variabilidad de la humedad.

Para el sector de **Peine**, en la mayoría de los monitoreos (invernales y estivales), la humedad presenta un comportamiento similar en términos de las zonas con mayores (S 11) y menores registros (S 12), los cuales corresponden en general a los mismos puntos (**Figura N° 13-77**). Por otra parte, no se identifica la existencia de estacionalidad en los registros del contenido de humedad.

Figura N° 13-77. Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Peine.

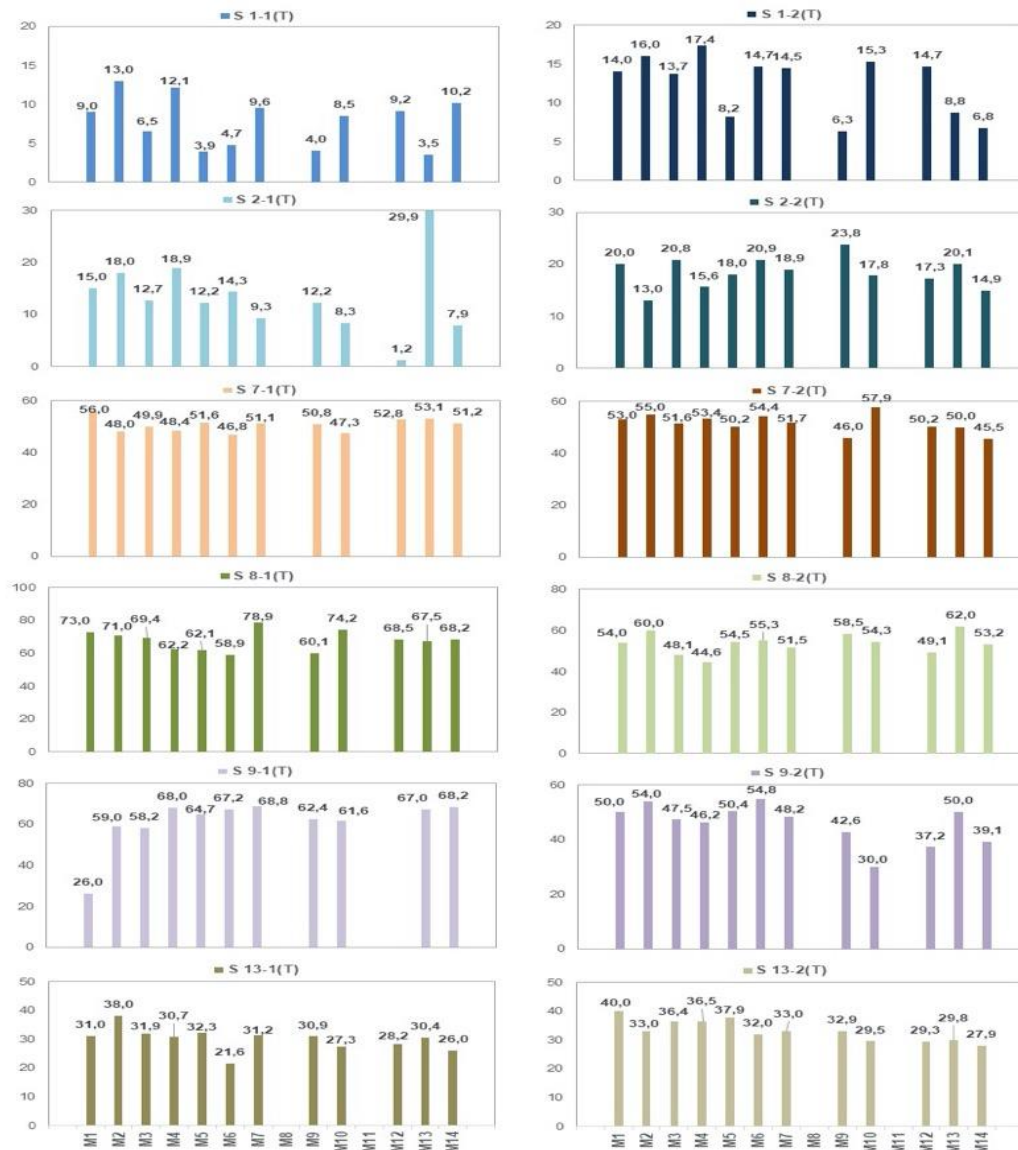


Fuente: Elaboración Propia

Para este sector se observa cambios en el contenido de humedad en la totalidad los puntos entre monitoreos, con un mínimo de 7,7% (S 10-2) y un máximo de 51,7% (S 14-1), **ver Figura N° 13-77.**

En el sector de **Tilopozo**, para todos los monitoreos, los puntos S 1 y S 2 son los que presentan el menor porcentaje de humedad (**Figura N° 13-78**), condición que se presenta tanto en superficie como en profundidad. Estos puntos se encuentran asociados a suelos de textura gruesas y en la base de conos aluviales, lo que implica una menor retención de agua en el perfil. De los restantes puntos, los mayores contenidos de humedad se presentan en S 8, S 7 y S 9.

Figura N° 13-78. Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Otro punto con bajo contenido de humedad, pero mayor que S 1 y S 2, corresponde a S 13, el cual se asocia a suelos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, donde es probable que los macroporos sean dominante. Esta condición implica una menor retención de humedad en el perfil de suelo.

Tal como se observa en la **Figura N° 13-78**, el porcentaje de humedad para los mismos puntos en los diferentes monitoreos es levemente variable. Sin embargo, se puede observar que en general, tanto los puntos de mayor como los de menor porcentaje de humedad, son los mismos para todos los monitoreos, indicando estabilidad del sistema en este sector a lo largo de los monitoreos.

Respecto a la diferencia del contenido de humedad entre el valor máximo y mínimo para un mismo punto en todos los monitoreos, en 10 puntos es superior a 10%, con un máximo de 42,8% (S 9-1) y solamente en dos es inferior a 10%, lo que implica una variabilidad importante, que se considera normal en el área, de acuerdo a las características de los suelos monitoreados.

En términos generales, si bien se observan comportamientos generales tendientes a la estabilidad en los puntos de monitoreados, es relevante consignar que la humedad presenta una variabilidad entre los mismos puntos a diferentes profundidades para los diferentes monitores, como también dentro de cada sector. Este comportamiento se debe a que el contenido de humedad del perfil está relacionado principalmente con el tipo de suelo del horizonte muestreado, destacando la textura y cantidad de macroporos, lo que implica una mayor o menor retención de humedad en el perfil. Además, se debe tener presente que la humedad se encuentra en función de las temperaturas ambientales (evaporación), de la actividad biológica (evapotranspiración) y de las precipitaciones (recarga del agua en el perfil).

13.4.2.8 Textura

En el sector de **La Punta-La Brava** se definieron 6 texturas con 7 clases texturales, correspondiendo a fina (**arcillo arenosa**), media (**franca** y **franco limosa**), moderadamente gruesa (**franco arenosa**), gruesa (**areno francosa**), moderadamente fina (**franco arcillo arenosa**) y muy gruesa (**arenosa**), ver detalle en **Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

En el sector de **Peine**, no se observa una clara dominancia de una textura en los suelos de los diferentes puntos de muestreos, siendo ésta muy variable para los mismos puntos en los diferentes monitoreos. En este sector se presentan 7 texturas con 11 clase texturales, correspondiendo a muy fina (**arcillosa**), fina (**arcillo limosa**), moderadamente fina (**franco arcillosa**, **franco arcillo limosa** y **franco arcillo arenosa**), media (**franca**, **limosa** y **franco limosa**), moderadamente gruesa (**franco arenosa**) y gruesa (**areno francosa**), muy gruesa (**arenosa**), ver detalle en **Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

En **Tilopozo**, se definieron 7 texturas con 10 clase texturales, siendo estas: muy fina (**arcillosa**), fina (**arcillo limosa**), moderadamente fina (**franca arcillosa, franca arcillo arenosa y franca arcillo limosa**), media (**franca y franca limosa**), moderadamente gruesa (**franca arenosa**), gruesa (**areno francosa**) y muy gruesa (**arenosa**), ver detalle en **Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

13.4.2.9 Nivel Freático

En la **Figura N° 13-79**, se grafica la profundidad del nivel freático medida desde la superficie del suelo a lo largo de los monitoreos realizados, datos que se entregan en la **Tabla N° 13-44**.

Es necesario señalar que aquellos puntos en los cuales no se indica presencia de nivel freático, no implica necesariamente que éste no exista, ya que es posible que se presenta a una mayor profundidad de la prospectada.

Tabla N° 13-44. Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 y M14.

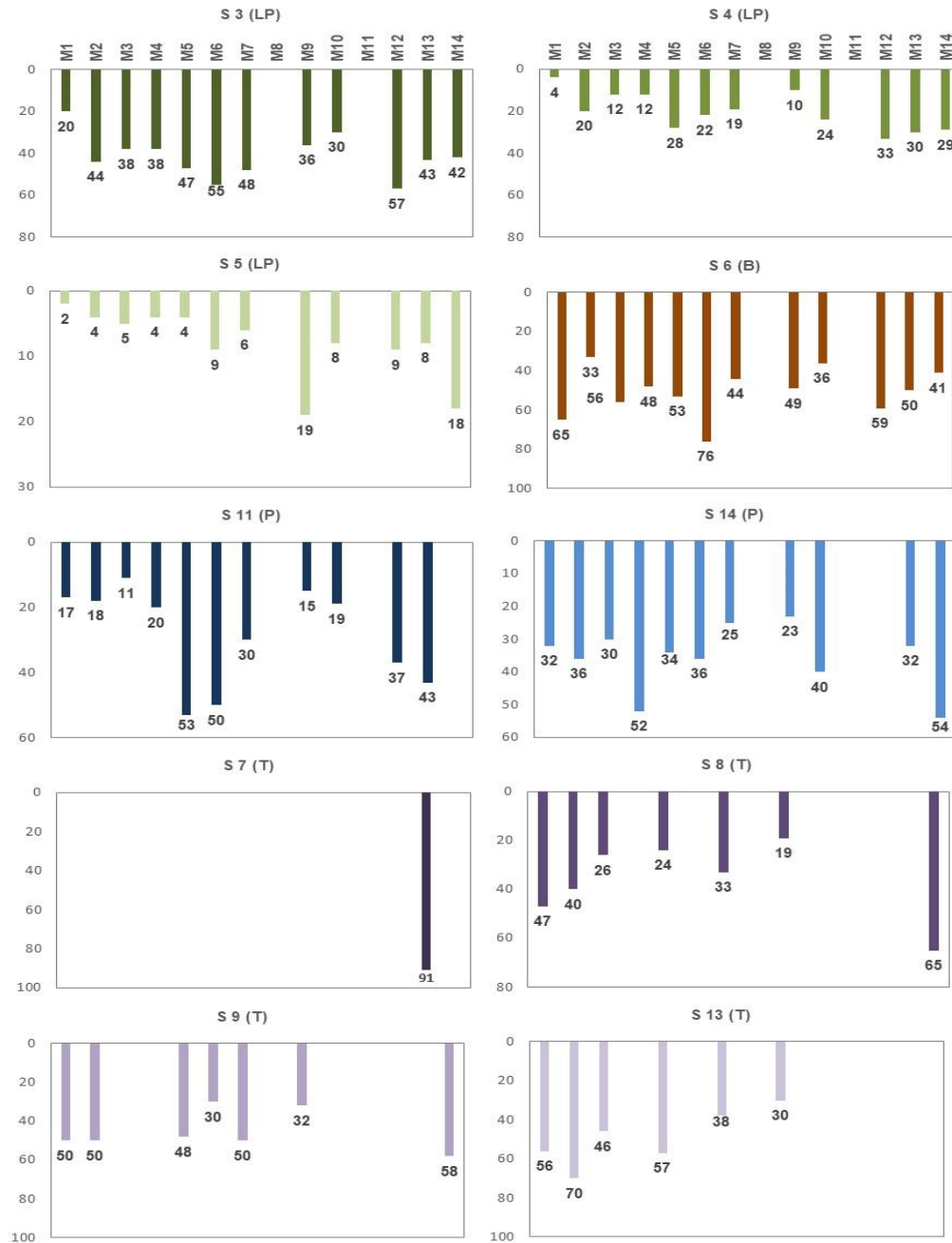
Sector	ID punto de muestreo final de suelo	Nivel freático(cm.)													
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
La Punta	S 3	20	44	38	38	47	55	48	---	36	30	---	57	43	42
La Punta	S 4	4	20	12	12	28	22	19	---	10	24	---	33	30	29
La Punta	S 5	2	4	5	4	4	9	6	---	19	8	---	9	8	18
La Brava	S 6	65	33	56	48	53	76	44	---	49	36	---	59	50	41
Peine	S 10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Peine	S 11	17	18	11	20	53	50	30	---	15	19	---	37	43	---
Peine	S 12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Peine	S 14	32	36	30	52	34	36	25	---	23	40	---	---	32	54
Tilopozo	S 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	91	---
Tilopozo	S 8	47	40	26	---	24	---	33	---	19	---	---	---	---	65
Tilopozo	S 9	50	50	---	---	48	30	50	---	32	---	---	---	---	58
Tilopozo	S 13	56	70	46	---	57	---	38	---	30	---	---	---	---	---

Fuente: Elaboración Propia

En lo referente a los niveles freáticos durante M1 se detectó en 9 puntos de muestreo nivel freático a profundidad de trabajo. En los mismos puntos de muestreo se verificó esta condición en M2, M5, M7 y M9. Dicha condición varió en las restantes campañas: M3 (8 observaciones), M4 y M10 (6), M6, M13 y M14 (7), y M12 (5), siendo esta última la que registró el menor número de todas la evaluaciones, ver **Tabla N° 13-44** y **Figura N° 13-79**.

Respecto a la profundidad del nivel freático en el área de estudio, y tal como se aprecia en la **Figura N° 13-79**, en general no existe una relación entre la época de muestreo y la profundidad de éste, dado que en todos los puntos se observa un amplio rango de variación.

Figura N° 13-79. Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilipozo.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto a este parámetro, se observa en general una clara tendencia a que el nivel del agua fluctúe respecto a la profundidad a la cual es detectada en los diferentes monitoreos, incluso

en algunos se profundiza a tal punto que no se detecta a nivel de trabajo, y puede reaparecer en el monitoreo siguiente.

En cuanto a las precipitaciones y basado en los antecedentes, estas son relevantes en el aporte que hacen tanto a los sistemas acuáticos superficiales, como a la recarga del agua en el perfil de suelo y su acumulación (nivel freático), lo cual se produce por la presencia de una estrata fuertemente compactada la cual para los puntos de muestreo se presenta entre los 0,5 a 1 m de profundidad, esta estrata impide que el agua infiltre en profundidad en el perfil, como también la recarga a partir de aguas subterráneas, lo cual queda en evidencia cuando se rompe esta estrata aflora un flujo hídrico importante.

En el área no se observa una relación en la detección de nivel freático a profundidad de trabajo con la fecha de monitoreo, es decir, que se debería detectar en la mayoría de los puntos nivel freático más superficial en verano, por efecto de las precipitaciones estivales ("invierno boliviano"), lo que produciría un equilibrio con las observaciones invernales, pero tal como se observa en los últimos monitoreos estivales (M4, M6, M10, M12, M13 y M14) el número de puntos es inferior y el agua se presenta a mayor profundidad,

La explicación a esta situación, se podría atribuir a las menores precipitaciones o aun cuando el volumen de agua es alto, las precipitaciones se hacen efectivas en corto tiempo, lo que determina que el agua no infiltra y sólo escurre superficialmente, principalmente, por dos condiciones: la primera es la rápida saturación de los primeros centímetros del perfil de suelo, lo que impide la infiltración del agua en profundidad y en segundo lugar el poco tiempo en el cual el agua permanece sobre la superficie, tanto por escurrimiento a sectores más bajo, como también por evaporación y evapotranspiración, lo que limita la infiltración del agua y otro aspecto a considerar es la fecha de las precipitaciones.

13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2022 como para el monitoreo de verano 2023, los parámetros físicos y químicos analizados en los tres sectores de estudio estuvieron en general dentro de los rangos determinados para estos sistemas según el marco de referencia utilizado (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 verano 2023, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-5 y S-9), laguna Saladita (SA-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible monitorearlo, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

El sistema de lagunas del Sector Peine en invierno 2022 presentó aguas con alta salinidad y conductividad, con altas concentraciones de cloruros y sulfatos, además de temperaturas superiores a 17°C en la mayoría de las estaciones, acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua a pesar de ser invierno. La conductividad mostró en general un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna, alcanzando los 42.120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17. En el caso del oxígeno disuelto, se registraron valores entre 3,19 y 6,85 mg/L, que principalmente disminuyó desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual se relaciona con la solubilidad del oxígeno que disminuye en ambientes hipersalinos (Javor 1989). Por otra parte, las lagunas de este sector presentaron todas un pH alcalino (>8), lo cual está relacionado con los valores alcalinidad total y bicarbonato registrados. El Nitrógeno Total Kjeldhal mostró valores entre 0,7 y 1,3 mg/L con su máximo en la estación I-17. Por su parte la clorofila “a”, presentó una variación en el sector de <0,02 a 1,24 $\mu\text{g}/\text{L}$, con su máximo registro en S-10, mientras que la clorofila en Perifiton mostró un rango entre <0,02 y 12,7 mg cl-a/m² con su máximo en S-9 (laguna Salada), lo que se relaciona con actividades fotosintéticas particulares en cada estación. En los casos del fósforo y el ortofosfato, mostraron valores bajo el límite de detección.

El Sector La Punta y La Brava, se caracterizó por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, además de altas temperaturas (principalmente en verano) acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua. Se observó un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava (excepto en LB-3), alcanzando los 127.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LB-2 en verano de 2023. En La Brava, las mayores diferencias se distinguen en la estación LB-3 respecto a las

otras estaciones de muestreo, que corresponde a un punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando menor valor en aquellos parámetros vinculados a conductividad y salinidad. La Punta y La Brava, presentaron valores de pH entre 7,32 y 8,91 (este último en invierno 2022 en LP-23), esto en concordancia con los altos valores de alcalinidad total y de bicarbonato registrados (similares). En este sistema, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más bajas en verano 2023 respecto de invierno 2022 (mínimo 1,57 mg/L en LB-2 en verano 2023 y máximo 7,56 mg/L en LB-3 en invierno 2022), lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en las distintas campañas, que afecta la solubilidad del oxígeno en el agua.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema con menor conductividad eléctrica (máximo 4.539 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en TB-2 en verano 2023), salinidad y concentración de cloruro que los otros sectores de estudio y un pH principalmente neutro (6,34 a 7,85), condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas, que se encuentran más alejadas del núcleo del salar. Las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de afloramiento subsuperficial de <2 m de profundidad y TB-2 a un pajonal hídrico.

Es importante destacar que, en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en el verano de 2015 para la elaboración del PMB de la Adenda 5 (que corresponden a la línea base de la componente), por lo que los desvíos con respecto a dichos datos pueden deberse a la variación estacional. Los resultados descritos para las estaciones del sector Peine y del sector La Punta y La Brava, presentan valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB), para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total. En el caso de la materia orgánica y COT, estos parámetros están relacionados directamente con actividad biológica y aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica. El alto contenido de fósforo puede deberse a la misma razón. Cabe señalar que el potencial redox en invierno 2022 en todas las estaciones presentó valores negativos (indicadores de sedimentos de características reductoras), mientras que en verano 2023, la mayoría de las estaciones de La Punta y La Brava mostraron sedimentos característicos de ambientes oxidativos (valores positivos).

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 registros históricos de las campañas invierno y verano de línea de base contempladas en el Plan de Manejo Biótico. Cabe señalar que, la abundancia ha presentado en el tiempo una disminución de los registros para ambos componentes en todos los sistemas, sin embargo, para fitobentos en la campaña verano 2022 y 2023 se observó un aumento en las abundancias.

Para los invertebrados, zoobentos y zooplancton, en invierno 2022 y verano 2023, 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*. Respecto al zoobentos, sus riquezas de *taxa* fueron bajas y las abundancias fueron bajas en Peine y La Punta y La Brava, mientras que en Tilopozo fueron altas principalmente en verano 2022.

Dentro de los invertebrados, destaca el caracol de la Familia Cochliopidae, representado por *Heleobia atacamensis* que es de importancia 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. En verano 2023 fue encontrado en altas abundancias en las estaciones del sector Tilopozo.

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* sp., *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 (Peine, 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 Invierno 2022 y Verano 2023

13.5.1.1 Calidad de agua

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2022 y verano 2023 para los parámetros de calidad de agua de los sectores de La Punta y La Brava y Tilopozo.

Cabe destacar que, en la campaña verano 2023, en el Sector Peine no fue posible monitorear las estaciones, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

Los registros de parámetros de calidad de agua en el sector **Peine** para invierno 2022, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (Plan de Manejo Biótico). Este sistema de lagunas se caracterizó por presentar aguas con alta salinidad y conductividad propios de sistemas de salares, con altas concentraciones de cloruros y sulfatos, además de temperaturas superiores a 17°C en la mayoría de las estaciones, acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua a pesar de ser invierno. La conductividad mostró en general un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna, alcanzando los 42.120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17. En el caso del oxígeno disuelto se registraron valores entre 3,19 y 6,85 mg/L, que en general disminuyó desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual se relaciona con la solubilidad del oxígeno que disminuye en ambientes hipersalinos (Javor 1989). Por otra parte, las lagunas de ese sector presentaron todas un pH alcalino (>8), lo cual se relaciona con los valores alcalinidad total registrados, que se explican principalmente por la presencia de bicarbonato. El Nitrógeno Total Kjeldhal mostró valores entre 0,7 y 1,3 mg/L con su máximo en la estación I-17. Por su parte la clorofila "a", presentó una variación en el sector de <0,02 a 1,24 $\mu\text{g}/\text{L}$, con su máximo registro en S-10, mientras que la clorofila en Perifiton mostró un rango entre <0,02 y 12,7 mg cl-a/m² con su máximo en S-9 (laguna Salada), lo que se relaciona con actividades fotosintéticas particulares en cada estación. En los casos del fósforo y el ortofosfato, mostraron valores bajo el límite de detección (**Tabla N° 10-8**). Según el Sistema de Venecia de 1959 (The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity), las aguas pueden discriminarse en aguas dulces (con valores de salinidad total <0,5 g/L), aguas oligohalinas (0,5 a 4 g/L), mesohalinas (4 a 18 g/L), polihalinas (18 a 30 g/L), euhalinas (30- 40 g/L, el promedio del agua de mar oceánica tendría un valor de 34,9 g/L) y aguas hipersalinas (>40 g/L) (Ribera, 2016), por lo que el agua del sistema de Peine se encuentra entre aguas mesohalinas a hipersalinas para el periodo de invierno 2022, incrementándose desde laguna Salada hacia laguna Interna.

Los registros obtenidos en las estaciones de **La Punta y La Brava** durante los monitoreos de invierno 2022 y verano 2023, mostraron un sistema de lagunas caracterizado por presentar las aguas de mayor salinidad y conductividad del sector evaluado (mayor en verano 2023), asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 61.399,4 mg/L en La Brava (LB-2) en verano 2023. Se observó un incremento en conductividad desde la laguna La Punta hacia La Brava (exceptuando LB-3, que se ubica en una zona de descarga de agua afluente a laguna la Brava), alcanzando valores máximos para este parámetro de 127.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano 2023 (LB-2) y de 73.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en invierno 2022 (LB-1). En esta laguna, el menor valor de conductividad se registró en la estación LB-3, punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava (26.410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en invierno 2022) (**Tabla N° 9-10 y Tabla N° 10-28**). Según el sistema de Venecia de 1959, los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto en invierno 2021 como en verano 2022, clasifican esta agua como hipersalina (>40 g/L) (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 invierno 2022 se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a laguna La Punta, alcanzando un máximo de 18,87°C en LB-2, mientras que en verano 2023 se registraron valores mayores a 24°C en laguna La Punta y entre 16,94°C y 29,19°C en Laguna La Brava, los cuales están acordes con la baja profundidad de estos cuerpos de agua (**Tabla N° 9-10 y Tabla N° 10-28**).

Por otra parte, las lagunas La Punta y La Brava presentaron valores alcalinos de pH superiores a 8 en invierno 2023, mientras que en verano 2023 se registraron valores de pH menores a 8 en todos los puntos de monitoreo. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total observados (**Tabla N° 9-10 y Tabla N° 10-28**).

En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más bajas en verano 2023 respecto de invierno 2022 (mínimo 1,57 mg/L en LB-2 en verano 2023 y máximo 7,56 mg/L en LB-3 en invierno 2022), lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en las distintas campañas que afecta la solubilidad del oxígeno en el agua. Otro parámetro a considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, observándose una tendencia de incrementarse desde laguna La Punta a La Brava (exceptuando LB-3), alcanzando un máximo de 7.911 mg/L en LB-2 en verano 2023 (**Tabla N° 9-10 y Tabla N° 10-28**).

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 km² 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 estaciones cercanas al núcleo del salar (LB-1 y LB-2 en La Brava e I-17 en Interna), en concordancia con lo descrito anteriormente.

Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo** para invierno 2022 y verano 2023, corresponden a las estaciones TB-1 y TB-3, las cuales son pozas de <2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, junto a la estación TB-2, que corresponde a una zona inundada de baja profundidad formando un pajonal hídrico. Este sector muestra un sistema notablemente menos salino que Peine y La Punta y La Brava, lo que es esperable al ser una zona de vegas y por su lejanía del núcleo del salar, donde se registraron valores menores de

conductividad (entre 4.011 y 4.539 \square S/cm), salinidad (de 2,2 a 2,3 g/Kg), un pH neutro (6,34 a 7,85) siendo en verano 2023 levemente inferior y con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 333 y 349 mg/L (**Tabla N° 10-10** y **Tabla N° 10-29**).

Se observa que los resultados obtenidos en las estaciones de Tilopozo son similares en la mayoría de los parámetros y en ambas campañas, como las temperaturas que en general fueron altas (entre 25,39 y 25,95 °C) y un oxígeno disuelto que presentó concentraciones entre 3,4 y 6,44 mg/L (valores máximos en TB-2). Cabe destacar los valores obtenidos de Nitrato (entre 3,57 mg/L y 4,4 mg/L para ambos monitoreos) y clorofila-a en Perifiton (máx. 732,52 mg/m² en TB-3, verano 2023) (**Tabla N° 10-10** y **Tabla N° 10-29**).

Tales valores registrados para Clorofila “a” en Perifiton podrían estar indicando algún grado de eutrofización en estas pozas. Si bien el sistema presenta una condición de oligotrofia según los valores de nitrógeno total <700 mg/L y fósforo total <25 mg/L consignados en el presente estudio, muestra una condición de mesotrofia a eutrofia, según los valores de clorofila-a en perifiton >70 mg/m² registrados en 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.

13.5.1.2 Calidad de sedimentos

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2022 y verano 2023 para los parámetros de calidad de sedimentos de los sectores de La Punta y La Brava y Tilopozo. Cabe destacar que, en la campaña verano 2023, en el Sector Peine no fue posible monitorear las estaciones del sector, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine. Además, los ensayos granulométricos no se pudieron llevar a cabo en el laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.)

Los resultados descritos para las estaciones del sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna) en invierno 2022, presentaron porcentajes de materia orgánica en su mayoría sobre un 10%, con un máximo registrado de 20,25% en S-5 (laguna Salada). De igual forma el contenido de carbono orgánico total (COT) tuvo un máximo de 117,5 g/Kg en la misma estación. Los resultados de la calidad de sedimentos en este sector indican en su mayoría valores fuera del rango de la LB para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica, Nitrógeno Total Kjeldahl (máximo 9,75 mg/L en S-5) y potencial redox (mínimo -325 mV en S-9). En el caso del contenido de fósforo, este fue inferior o igual a 500 mg/Kg (límite de detección del parámetro) en todas las estaciones monitoreadas de Peine (**Tabla N° 10-11**). Esto se explica por lo acotado del registro de LB, que corresponde tan solo a una campaña realizada en verano de 2015, no habiendo registros de LB en invierno para calidad de sedimentos. Cabe mencionar, que no se observó una tendencia o gradiente espacial de estos parámetros en las estaciones de este sector. Tales parámetros del sedimento están

relacionados directamente con actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halófilicos, que por lo demás pueden afectar la morfología, cinética de precipitación y la ocurrencia de los distintos minerales de evaporitas que se forman en estos sistemas. Si bien los sedimentos tienden a ser relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica (Javor, 1989).

Cabe señalar que el potencial redox en las lagunas de Peine presentó características reductoras en todas las estaciones, conservando la condición de ambientes de características reductoras. Esto se relaciona con las características los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), que corresponden a sedimentos salinos delgados ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996) (**Tabla N° 10-11**)

Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, muestran que el parámetro de materia orgánica tendió a ser variable al comparar invierno 2021 y verano 2022, con registros entre 9,06% en LP-23 (verano 2023) y 15,16% en LP-24 (invierno 2022). Respecto al carbono orgánico total (COT), también se registraron valores mayores en invierno 2022 (55,2 a 87,9 g/Kg) respecto al verano 2023 (52,55 a 71,4 g/Kg), registrándose los mayores valores en La Punta en invierno 2022. Por su parte, los valores de nitrógeno total Kjeldahl también fueron más altos en invierno 2022 (1,62 a 14,09 g/Kg) respecto al verano 2023 (0,182 a 0,198 g/Kg), observándose una variabilidad mayor en La Brava. Los resultados de la calidad de sedimentos en este sector indican también valores fuera del rango de la LB para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica, Nitrógeno Total Kjeldahl (verano) y potencial redox. Respecto al fósforo total, en invierno 2022 y verano 2023 correspondió a <500 mg/Kg en todas las estaciones monitoreadas. Tales concentraciones corresponden a valores bajo el límite de detección. Respecto al potencial redox, este mostró sedimentos con características reductoras en invierno 2022 con valores negativos entre -327 y -287 mV, mientras que en verano 2023 se registraron valores mayoritariamente positivos (un registros igual a -395 mV en LB-1 y los restantes entre 13,4 mV y 420 mV) mostrando una condición de ambiente de características oxidativa (**Tabla N° 10-12 y Tabla N° 10-30**).

Respecto a la granulometría, tanto en invierno 2022 como en verano 2023, no se pudo llevar a cabo ningún análisis granulométrico en laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.) en las Cartas R172/2022 y R129/2023 incluidas en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron en ambas campañas valores moderados para los parámetros de carbono orgánico total (COT) y materia orgánica, con máximos de 92,4 g/Kg de COT y 15,93% de materia orgánica, ambos en TB-3 y en invierno 2022. El fósforo total por su parte alcanzó los 1100 mg/Kg en la estación TB-1 en invierno 2022, registrándose también en el sector concentraciones elevadas de nitrógeno total Kjeldahl en invierno 2022 (entre 8,39 y 9,83 g/Kg) y bajas en verano 2023 (entre 0,13 y 0,17 g/Kg). Por su parte, el potencial redox mostró sedimentos con características reductoras tanto invierno 2022 como

en verano 2023 (entre -333 y -255 mV). Cabe mencionar que las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de <2 m de profundidad, donde se favorece la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos (**Tabla N° 10-13** y **Tabla N° 10-31**).

13.5.1.3 Biota acuática

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2022 y verano 2023 para las variables riqueza, abundancia, diversidad de Shannon y equidad de la biota acuática presente en los sectores Peine, La Punta y La Brava y las vegas de Tilopozo.

Cabe destacar que, en la campaña verano 2023, en el Sector Peine no fue posible monitorear ninguna de las lagunas, debido a restricciones de acceso determinadas por la comunidad de Peine.

- Fitobentos

Las comunidades de microalgas, **Fitobentos**, en la campaña invierno 2022, presentaron riquezas similares a lo observado en la línea de base en el sector Peine. Respecto de las abundancias en el sector Peine y en todas las estaciones de monitoreo, las abundancias obtenidas fueron mayores al límite máximo consignado en la línea de base para fitobentos.

En el contexto histórico (invierno 2016-2022) en el sector Peine, para el fitobentos 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.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2022 y verano 2023 considerando el sector **La Punta** y **La Brava**, presentó registros diferentes entre el periodo de invierno y verano con 22 y 17 géneros en total respectivamente. La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2022 y verano 2023 para el sector **La Punta** y **La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 10-15** y **Tabla N° 10-32**.

Los valores de riqueza por estación de muestreo fueron similares entre las lagunas La Punta y la Brava en invierno 2022 y en verano 2023. En invierno las estaciones LP-23 y LB-3 presentaron la mayor riqueza con 12 géneros, mientras que, en verano la estación LB-2 registró el máximo con 10 géneros. Por otra parte, en ambas lagunas se observaron las menores riquezas, específicamente, en las estaciones LB-1 (La Brava) en invierno con 8 géneros y en LP-24 (La Punta) en verano con 5 géneros.

La abundancia total detectada en La Punta y La Brava, fue menor en el periodo de invierno 2022 respecto de verano 2023, con 1.592.400 cel/cm² y 1.996.915 cel/cm² respectivamente.

En relación con las abundancias por estación de monitoreo, se detectó la mayor abundancia en la laguna La Brava, en las estaciones LB-3 en invierno con 578.000 cel/cm² y LB-1 en verano, con 1.294.994 cel/cm². Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-24 (laguna La Punta) en invierno con 109.444 cel/cm² y en la estación LB-2 (laguna La Brava) en verano con 16.510 cel/cm².

Por otra parte, el fitobentos en este sector presentó, una diversidad mayor en la estación en LB-3 en invierno y en LB-2 en verano, ambas de la laguna La Brava. En tanto, la equidad fue mayor en LB-3 (laguna La Brava) en invierno y en LP-23 (laguna La Punta) en verano. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación LB-2 (laguna La Brava) en invierno y LB-1 (laguna La Brava) en verano. En tanto, la equidad fue menor en la estación LB-2 (laguna La Brava) en invierno y en LB-1 en verano.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2022 y verano 2023, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-3** y **Figura N° 10-14**). En invierno 2022, dominaron las diatomeas *Denticula* y *Achnantheidium*, en cambio, en verano 2023 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*, y la cianobacteria *Gloeocapsa*, los que corresponden a *taxa* recurrentes entre periodos y campañas de monitoreo.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, seguida de Cyanobacteria, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2022 y verano 2023.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2022 y verano 2023 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro distinto entre el periodo de invierno y verano con 9 y 13 géneros en total respectivamente. La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2022 y verano 2023 para el sector vegas de Tilopozo son mostradas en la **Tabla N° 10-16** y **Tabla N° 10-33**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo en invierno y verano, los presentó la estación TB-1 con 7 y 9 géneros respectivamente. En tanto, los menores registros fueron observados en las estaciones TB-3 con 4 géneros en invierno y TB-2 con 5 géneros en verano. La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue menor en el periodo de invierno 2022 respecto de verano 2023, con 195.431 cel/cm² y 228656 cel/cm² respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2022 y verano 2023 se detectó la mayor abundancia en la estación TB-3 con valores entre 74.700 cel/cm² y 196.653 cel/cm² respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-2 en invierno con 53.400 cel/cm² y en verano con 5.796 cel/cm².

En la campaña de invierno 2022 y verano 2023, los valores de diversidad en la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-1 para ambos periodos y para la equidad fueron mayores en TB-3 en invierno y TB-2 en verano.

En relación con los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2022 y verano 2023, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-4** y **Figura N° 10-15**). En invierno, dominaron las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia*, en cambio, en verano las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Nitzschia* y *Fragilaria*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, seguida de Cyanobacteria presentaron la mayor representatividad en las estaciones que conforman el sector vegas de Tilopozo para la campaña invierno 2022 y verano 2023.

Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2022 y verano 2023, estos correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Cocconeis*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos como *Haloroundia* (que se distribuye a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009) además de encontrarse algunos géneros de cianobacterias en estrecha relación con los denominados tapetes microbianos (Mirande & Tracanna, 2015).

En relación con las variaciones obtenidas para el fitobentos en riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, se sugiere que las variaciones estacionales dadas entre invierno y verano (muestreo post lluvias) para el componente, estarían en estrecha relación con las diferencias entre evaporación y precipitación entre periodos estacionales, el nivel y la disponibilidad de agua y los cambios asociados al hábitat principalmente relativos a la conductividad y salinidad en los sistemas (Cepeda-Pizarro 2013). Cabe destacar que en ambas campañas se observó diferencias en la abundancia, siendo más altas en periodo de verano respecto de invierno, en tanto para las riquezas presentaron mayores registros en invierno para La Punta-La Brava y en verano para Tilopozo.

- Fitoplancton

Las comunidades de microalgas, **Fitoplancton**, en la campaña invierno 2022, presentaron riquezas similares a lo observado en la línea de base en el sector Peine, con excepción de lo obtenido en la estación S-10 (Peine, laguna Salada) donde se registró una riqueza de géneros menor al límite mínimo de la línea de base. Respecto de las abundancias en el sector Peine y en todas las estaciones de monitoreo, las abundancias obtenidas se observaron dentro del rango de variación, aunque con registros bajos y cercanos al límite mínimo de la línea de base.

En el contexto histórico (invierno 2016-2022) en el sector Peine, la riqueza y la abundancia presentaron en general una tendencia a la disminución de los registros en el tiempo respecto de la línea de base.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2022 y verano 2023 considerando el **Sector La Punta y La Brava**, presentó un registro diferente entre periodos siendo mayor en invierno respecto de verano con valores de 16 y 12 géneros en total respectivamente. La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2022 y verano 2023 para el sector **La Punta y La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 10-18** y **Tabla N° 10-34**.

Los mayores valores de riqueza por estación de monitoreo fueron observados en la laguna La Punta en invierno y en verano. La estación LB-3 (laguna La Brava) presentó la mayor riqueza con 12 géneros en invierno y 8 géneros en verano. Por otra parte, en la laguna La Punta específicamente en la estación LP-24 se observó la menor riqueza con 4 géneros en invierno y en LB-1 y LB-2 de la laguna La Brava en verano con 2 géneros respectivamente.

En relación con la abundancia total detectada en La Punta y La Brava, se observaron mayores registros de abundancia en la laguna La Brava en ambos periodos con 122 cel/mL y 89 cel/mL respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, se detectó la mayor abundancia en la estación LB-3 (La Brava) con 69,5 cel/mL en invierno 2022 y 49 cel/mL en verano 2023. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LB-1 (laguna La Brava) en invierno con 17 cel/mL y en verano en LB-2 (La Brava) con 15 cel/mL.

Por otra parte, durante invierno 2022 y verano 2023, el fitoplancton presentó en este sector, una diversidad mayor en invierno y verano en la estación LP-23, ubicada en laguna La Punta, destacándose además el alto registro de diversidad observado en verano en la estación LB-3 (laguna La Brava). En tanto, la mayor equidad fue observada en LP-23 (La Punta) en invierno y en la estación LB-2 (La Brava) en verano. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación LP-24 (La Punta) en invierno y en la estación LB-1 (La Brava) en periodo de verano. La equidad por su parte presentó menores registros en la laguna La Brava, en la estación LB-2 en invierno y en LB-1 y LB-3 en verano.

En la campaña de invierno 2022 y verano 2023, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-6** y **Figura N° 10-16**). En invierno 2022, dominaron la diatomea *Nitzschia* y la cianobacteria *Chroococcus*, en cambio, en verano 2023 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, seguida de la clase Cyanobacteriia, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2022 y verano 2023.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2022 y verano 2023 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro diferente entre el periodo de invierno y verano con 10 y 12 géneros en total respectivamente. La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2021 y verano 2022 para el sector **vegas de Tilopozo** son mostradas en la **Tabla N° 10-19** y **Tabla N° 10-35**.

En invierno se registraron riquezas diferentes entre 4 y 7 géneros en TB-1 y TB-3, mientras que, en verano se observaron entre 3 géneros en TB-1 y 8 géneros en TB-2 y TB-3.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue menor en el periodo de invierno 2022 respecto de verano 2023, con 298 cel/mL y 778 cel/mL respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, en invierno y verano se detectó la mayor abundancia en la estación TB-1 con 171 cel/mL y en TB-3 con 714 cel/mL respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-2 en invierno con 27 cel/mL y en TB-1 en verano con 28 cel/mL.

En la campaña de invierno 2022 y verano 2023, los mayores valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitoplancton, en general, fueron observados en la estación TB-2.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2022 y verano 2023, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-7** y **Figura N° 10-17**). En invierno 2022, dominaron la diatomea *Halamphora* y a la cianobacteria filamentosa *Oscillatoria*, en cambio, en verano 2023 las mayores representatividades la presentaron la zygnetomoficea *Spirogyra* y las cianobacterias *Microcystis* y *Merismopedia*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las estaciones que conforman el Sector vegas de Tilopozo para la campaña invierno 2022 y Bacillariophyceae y Cyanobacteriia en verano 2023.

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, concentración 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 general, para los sistemas estudiados (La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) y para ambos periodos de monitoreo se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitoplancton de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), seguido de Cyanobacteriia y Zygnematophyceae.

Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2022 y verano 2023, estos correspondieron a las diatomeas *Halophora*, *Nitzschia* y *Denticula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos como *Haloroundia* (que se distribuye a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009).

Cabe mencionar la presencia de zygnematoficeas del género *Spirogyra* y algunas cianobacterias de los géneros *Oscillatoria*, *Microcystis* y *Merismopedia* las cuales corresponden a microalgas filamentosas en algunos casos y cosmopolitas, determinadas para el Salar de Atacama, la que pueden colonizar variados ambientes de preferencia de agua dulce (Parra & Bicudo 1995).

En relación con las variaciones obtenidas para el fitoplancton en riqueza de géneros y abundancia total en los sistemas estudiados, se sugiere que para este componente al igual que para fitobentos, las variaciones estacionales dadas entre invierno y verano (muestreo post lluvias), estarían en estrecha relación con las diferencias entre evaporación y precipitación entre periodos estacionales, el nivel y la disponibilidad de agua y los cambios asociados al hábitat principalmente relativos a la conductividad y salinidad en los sistemas (Cepeda-Pizarro 2013).

- Zooplancton

En la comunidad de zooplancton del sector de **Peine** en invierno 2022, se observaron riquezas entre 1 y 3 *taxa* en las estaciones de muestreo. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp., por el branquiópodo *Artemia franciscana* y gusanos Nematoda. Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton variaron entre 1,96 ind/L en SA-25 (laguna Saladita) y 50,83 ind/L en S-9 (laguna Salada). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en las tres lagunas de Peine fueron los copépodos *Tigriopus* sp., obteniendo su máximo registro en S-9. Por su parte *A. franciscana* se encontró en bajas abundancias, registrándose su máxima densidad en laguna Interna (I-17) con 0,25 ind/L. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad (H) en todas las estaciones fue baja (entre 0,09 y 0,35 nits/ind) al igual que la equidad (J') (entre 0,13 y 0,49), dado por las bajas riquezas y a que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-20**).

La comparación entre invierno 2022 y verano 2023 de la comunidad zooplanctónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación fueron bajas en este sector en ambos periodos, con un máximo de 3 *taxa* principalmente en laguna La Punta y un mínimo de 1 taxón en LB-3 (verano 2023) (**Tabla N° 10-21** y **Tabla N° 10-36**).

Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron en general más bajas en verano 2023 (min 0,2 ind/L y max 10,65 ind/L), respecto a las de en invierno 2022 (min 1,17 ind/L y max 24,04 ind/L). En ambas campañas la menor abundancia total se registró en LB-3 (mínimo en

verano 2023) y la mayor en LB-1 (máximo en invierno 2022). Las diversidades y equidades estimadas tendieron a ser bajas tanto en invierno 2022 como en verano 2023, debido a las bajas riquezas y a que las abundancias de los *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-21** y **Tabla N° 10-36**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, durante la campaña de invierno 2022 y verano 2023, se observó que las representatividades de los distintos *taxa* fueron diferentes dependiendo de la laguna. En invierno 2022, la estructura comunitaria del zooplancton en este sector mostró que el grupo dominante en La Punta fueron los copépodos Cyclopoida y *Tigriopus* sp., mientras que en La Brava principalmente fue *Tigriopus* sp. Para el verano 2022, el grupo dominante en laguna La Punta fueron los copépodos *Boeckella poopoensis*, mientras que en La Brava principalmente fueron los copépodos Harpacticoida y el branquiópodo *Artemia franciscana* (**Tabla N° 10-21** y **Tabla N° 10-36**).

En las estaciones muestreadas del **Sector de Tilopozo** en invierno de 2022, se registraron riquezas entre 1 y 2 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, mientras que en verano 2023 las riquezas fueron de entre 1 y 3 *taxa* por estación. Si bien las abundancias totales de zooplancton por estación fueron bajas en ambos periodos, en invierno 2022 fueron mayores y tuvieron un rango de 0,55 a 3,65 ind/L, siendo el organismo más abundante el ostrácodo Cyprididae con 2 ind/L en TB-1. Por su parte, en verano 2023 las abundancias totales estuvieron entre 0,03 y 0,32 ind/L. La fauna zooplanctónica en este sector durante invierno 2022 estuvo compuesta por copépodos Cyclopoida, *Tigriopus* sp., ostrácodos Cyprididae y por insectos Chironomidae, siendo el taxón con mayor frecuencia el copépodo *Tigriopus* sp., que se encontró en TB-2 y TB-3. En verano 2023, la fauna zooplanctónica estuvo compuesta por el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014), ostrácodos Cyprididae y por insectos Chironomidae y Coenagrionidae (Odonata). El taxón con mayor frecuencia fue *Heleobia atacamensis*, que se encontró en TB-2 y TB-3 (**Tabla N° 10-22** y **Tabla N° 10-37**).

- Zoobentos

El zoobentos del Sector **Peine** en invierno 2022 registró una riqueza entre 1 y 4 *taxa*, encontrándose el máximo en la estación S-10 (laguna Saladita). La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por copépodos *Tigriopus* sp. e insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Dolichopodidae y Ephydriidae. Las abundancias totales por estación tuvieron valores entre 260 ind/m² en I-17 y 279.333 ind/m² en S-9. Los organismos más abundantes fueron los copépodos *Tigriopus* sp, alcanzando los 266.991 ind/m² en S-9 (laguna Salada) y 20.658 ind/m² en S-10 (laguna Saladita), siendo también importante de mencionar a los dípteros Ceratopogonidae que alcanzaron los 12.343 ind/m² en S-9. (**Tabla N° 10-23**).

Las abundancias totales de zoobentos en el sector **La Punta y La Brava** fueron menores en invierno 2021 respecto a verano 2022. El menor registro fue de 0 ind/m² en LB-1 en verano 2023 y las mayores abundancias totales ocurrieron en el mismo monitoreo alcanzando 39.756

ind/m² en LP-23 y 58.075 ind/m² en LB-3, dadas por las altas abundancias registradas de ostrácodos Limnocytheridae y por gasterópodos *Heleobia* sp.. Las diversidades y equidades estimadas en general fueron bajas para ambos periodos debido a las bajas riquezas (entre 0 y 5) y lo disímil de sus abundancias (**Tabla N° 10-24** y **Tabla N° 10-38**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2022 y verano 2023 en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la estación y campaña. En invierno 2022 los *taxa* dominantes por cada estación fueron *Heleobia* sp. en LP-23, los copépodos *Tigriopus* sp. como dominantes en LP-24 y LB-1, mientras que en LB-2 y LB-3 fueron los los dípteros Ceratopogonidae. En verano 2023, los *taxa* dominantes fueron *Heleobia* sp. en LP-24, *Heleobia* sp. junto a los ostrácodos Limnocytheridae en LP-23 y LB-3, mientras que en LB-2 dominó el insecto díptero Ephydridae (**Tabla N° 10-24** y **Tabla N° 10-38**).

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en invierno 2022 solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zoobentónicos (riqueza total de 2 *taxa*), donde se registraron los dípteros Ceratopogonidae (como dominantes) y Chironomidae (*Cricotopus* sp.), alcanzando una abundancia total de 1.299 ind/m². Por su parte, en verano de 2023, el zoobentos presentó una riqueza de 2 a 6 *taxa*, ocurriendo el máximo en la estación TB-2 y el mínimo en TB-1. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Limnocytheridae, anfípodos *Hyaella* sp. e insectos de las familias Elmidae (Coleoptera), Coenagrionidae (Odonata) y los dípteros Ceratopogonidae y Dolichopodidae. Los organismos con las mayores abundancias y dominantes fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, alcanzando altas densidades en las tres estaciones, con un máximo de 132.521 ind/m² en TB-1. Los ostrácodos Limnocytheridae también se encontraron en altas abundancias en las tres estaciones, alcanzando un máximo de 16.760 ind/m² en TB-1. Las estimaciones de diversidad fueron en general bajas, entre 0,32 y 0,63 nits/ind, al igual que la equidad, con estimaciones que estuvieron en el rango de 0,23 a 0,51, dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-25** y **Tabla N° 10-39**).

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 la literatura para el sector de Tilopozo en específico (Collado *et al.*, 2011). Su ciclo de vida es completamente acuático al respirar por branquias (Philippi, 1860) y no se conocen datos sobre tendencias poblacionales, salvo que no se registran antecedentes en otros sistemas hidrológicos del norte de Chile (Biese, 1947). Como se mencionó, su presencia ha sido descrita en el sector de Tilopozo, el cual es alimentado superficialmente por quebradas de orientación sur a norte. Los Sectores Tilopozo y La Punta – La Brava no presentan comunicación superficial, aunque no se descarta que pudiera existir una pendiente de escorrentía entre estos la cual permita el desplazamiento de *Heleobia atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.

- Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

El total de especies registradas en los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo en la campaña de invierno 2022 y en La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo en verano 2023, fue de 9 y 8 especies respectivamente. Los *taxa* correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis* sp. En relación con el origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies consignadas presenta categoría de conservación.

En las campañas de invierno LB y monitoreos PMB, los sectores evaluados presentan baja riqueza de plantas acuáticas en el contexto de lo detectado en sistemas de alta salinidad y humedad y respecto de otros sistemas acuáticos altoandinos (Teillier & Becerra 2003). Además, se observó en el **Sector Peine** la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en porcentajes intermedios. Cabe destacar que, en la laguna Interna del sector Peine en la Línea Base se observaron 3 especies, en tanto, en los monitoreos de invierno no se ha reportado plantas vasculares acuáticas, excepto en la campaña invierno 2022 en la estación I-11.

En relación con el sector de **Peine**, no es posible realizar el análisis comparativo entre periodos de monitoreo, dado que como se mencionó no fue posible acceder al sector.

En las lagunas **La Punta** y **La Brava** fueron detectadas entre 4 especies en invierno y verano respectivamente. En detalle *R. filifolia* fue detectada en las estaciones LP-24 y LB-3. En las orillas de la laguna La Punta en la estación LP-23 fue detectada la presencia de las helófitas emergentes *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida* y *Sarcocornia fruticosa*, esta última también presente en LP-24. En tanto, en la laguna La Brava (LB-2), solo se reportó un pequeño parche aislado *T. concinna*.

En el Sector de **vegas de Tilopozo**, fueron detectadas 5 y 4 especies en invierno y verano respectivamente. En ambos periodos de monitoreo se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* en altos porcentajes de cobertura dentro de las pozas correspondientes a las estaciones TB-1 y TB-3. En relación con la especie, durante invierno y verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las estaciones, además sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3 y favoreciendo la disponibilidad de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces.

Por otra parte, en invierno fue detectada la presencia de las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus* observada en TB-3, *Juncus balticus* en las vegas presentes en TB-1, *Distichlis spicata* en TB-1 y *Baccharis* sp. en TB-1, TB-2 y TB-3. En verano si bien se detectaron las mismas especies presentaron pequeñas diferencias respecto de invierno, es así como las helófitas emergentes *S. californicus* fue observada en TB-1, TB-2 y TB-3, *Distichlis spicata* en TB-1 y TB-2 y *Baccharis* sp. en TB-1 y TB-3.

En **La Punta y La Brava** en ambos periodos de monitoreo *R. filifolia* fue la única hidrófita observada, encontrándose sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. En invierno 2022 esta especie fue detectada en las estaciones LP-23 con 3% de cobertura, en LP-24 con 2% de cobertura y LB-3 con 9% de cobertura y en verano 2023 con una cobertura de 8% en la laguna La Punta (LP-24) y 48% en la laguna La Brava (LB-3). Respecto de las helófitas en invierno *Triglochin concinna* presentó coberturas que oscilaron entre 7% en LP-23 y 23% en LB-2 y en verano entre 7% y 20% en LP-23 y LB-2 respectivamente. *Sarcocornia fruticosa* presentó coberturas entre 60% (invierno) y 55% (verano) en la estación de la laguna La Punta LP-23 y se identificó su presencia en LP-24 con un 13% de cobertura, en tanto no fue detectada en la laguna La Brava. Por último, se verificó la presencia de *P. frigida* en la estación LP-23 en invierno 2022, mientras que en verano 2023 presentó 2% de cobertura en la misma.

Finalmente, en el sector vegas de Tilopozo, *Z. palustris* presentó coberturas, en general, de un 33% en TB-1 y TB-3 en invierno y verano respectivamente. En invierno *S. californicus* presentó un 33% en TB-3, mientras que, en verano tuvo presencia en las 3 estaciones, variando entre 33% y 63% en TB-3 y TB-2. La especie *J. balticus* fue detectada en invierno, solo presencia. Luego en invierno *D. spicata* presentó una cobertura del 33% en TB-1, mientras que, en verano fue detectada en TB-1 con 8% de cobertura y 7% en TB-2. Por último, *Baccharis* sp. presentó entre 33% y 67% de cobertura en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 en invierno y en verano con 10% en TB-1 y 33% en TB-3.

13.5.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)

13.5.2.1 Calidad de agua

Para el análisis comparativo entre línea de base y los registros de monitoreo, se consideró la comparación de los parámetros de calidad de agua 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 son comparados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo invierno 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5), 2019 (M7), 2020 (M9), 2021 (M11) y 2022 (M13). Por otro lado, se comparan 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) y 2023 (M14).

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 (**Figura N° 13-80** y **Figura N° 13-81**). En efecto, los valores reportados son propios de lagunas salinas e hipersalinas (Alonso y Risacher 1996; Ribera, 2016). Los registros de calidad de agua para los inviernos del período 2016 - 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 los inviernos 2019 y 2020 en la estación I-17 (**Figura N° 13-80 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 la gran mayoría de estos valores son menores a los reportados durante las campañas de verano.

Para el análisis de la calidad de agua en las campañas de verano en Peine, se consideró la comparación de los parámetros más preponderantes para 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 verano. Para ello se utilizó la data de línea de base de los periodos de verano 2014 y 2015. Estos datos son contrastados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo de verano 2017, 2018, 2019 y 2022. En verano 2020 no se realizó el

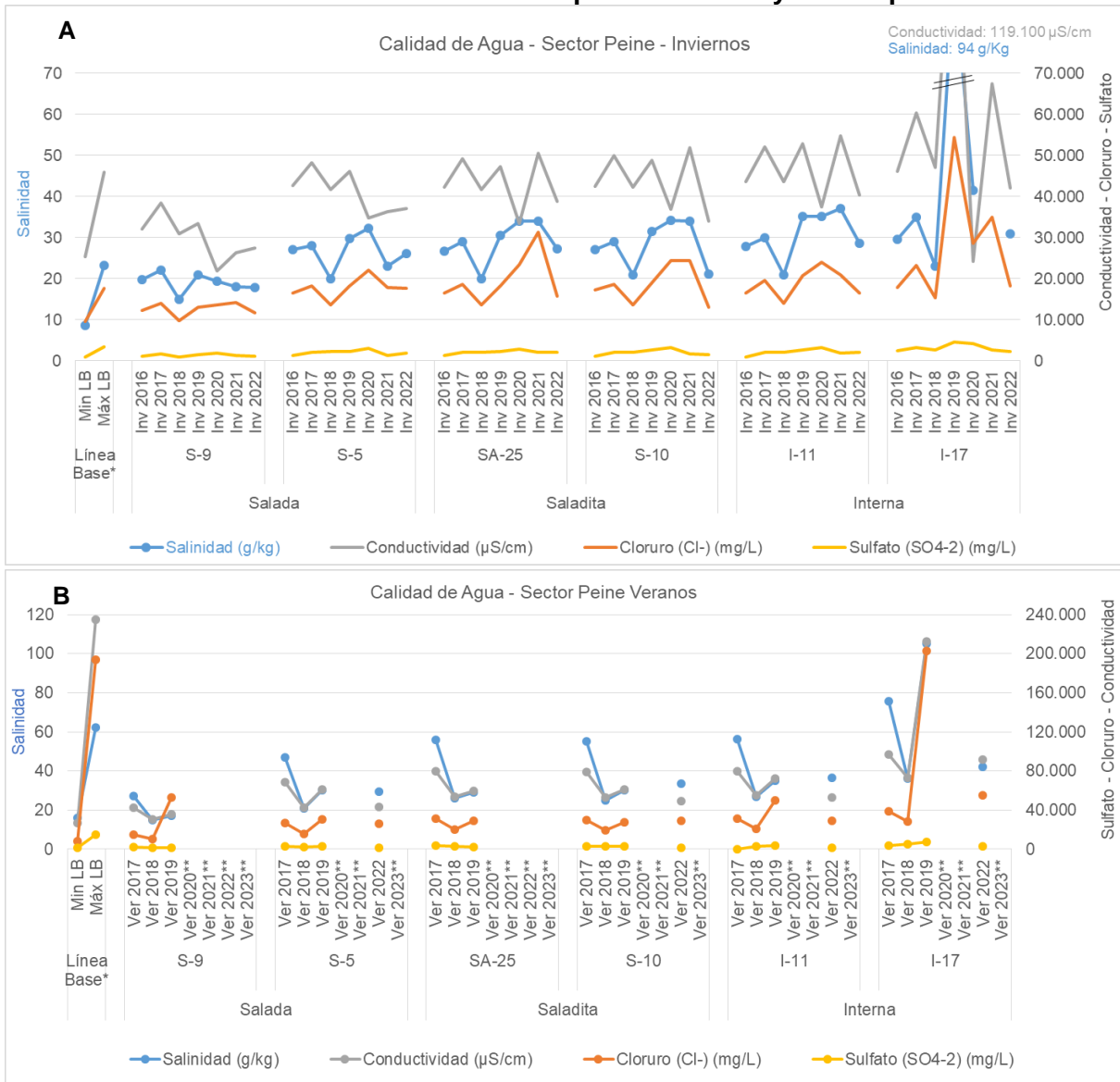
monitoreo producto de la pandemia COVID-19, además de las campañas de verano 2021, parte de la campaña de verano 2022 y la campaña verano 2023 en Peine, debido a las restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine

Los registros de parámetros de calidad de agua en el **Sector de Peine** para los veranos del período con registros 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° 13-80 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 de tipo mesohalinas a hipersalinas.

Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentan un marcado carácter básico en todas las campañas de verano e invierno, con un pH entre 8 y 9 en todos los registros (con máximos en invierno 2022), esto en concordancia con los altos valores de alcalinidad total registrados (menores al límite inferior de la LB), observándose para este parámetro una tendencia espacial de disminución 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. Las altas temperaturas 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, considerando además que la temperatura del agua tiene variabilidad horaria, aun así, 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

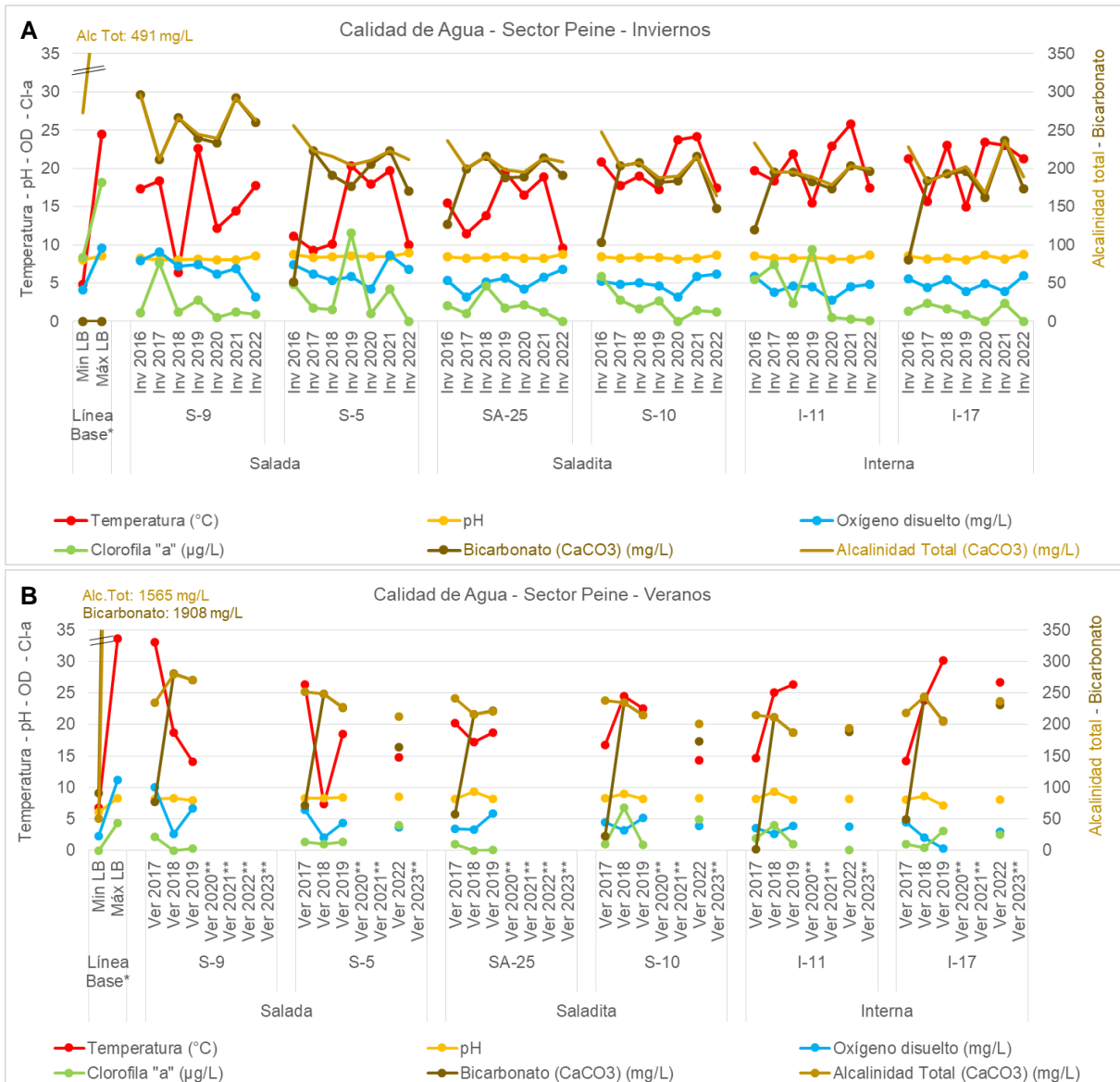
su mayoría dentro de los valores de LB para todos los inviernos y veranos, observándose una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, lo cual se puede relacionar con las altas salinidades y temperaturas registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones 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 (**Figura N° 13-81**).

Figura N° 13-80. 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 la campaña de verano 2022 y campaña verano 2023, no se realizó el muestreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas por parte de la comunidad de Peine.

Figura N° 13-81. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua in situ, los relacionados con el pH y CI-a 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 la campaña de verano 2022 y campaña verano 2023, no se realizó el muestreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas por parte de la comunidad de Peine.

Los registros obtenidos durante los monitoreos en **La Punta y La Brava** en invierno y verano, mostraron 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 observó un incremento en conductividad y salinidad desde laguna La Punta hacia La Brava, con mínimos históricos registrados de 26.360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y 13 g/Kg de salinidad en La Punta (LP-23) en invierno 2018, para alcanzar los máximos de 165.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 81,4 g/Kg, respectivamente, 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (invierno 2022) y 69.960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (invierno 2020).

Observando la evolución en el tiempo en este sector de La Punta y La Brava, se tuvo un incremento de conductividad en verano 2019 respecto a verano 2017, para luego disminuir en verano 2021, 2022 y 2023, observándose en las últimas campañas en general valores dentro del rango de la LB. Tales fluctuaciones pueden ser atribuibles a las variaciones de precipitación y evaporación propias del salar. En términos de dinámica espacial de las lagunas de este sector, se observó en general un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava (sin considerar LB-3) tanto en invierno como en verano (**Figura N° 13-82**).

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.

Otro parámetro por considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, observándose una tendencia de incrementarse desde laguna La Punta a La Brava (mínimo de 992 mg/L en LP-24 en invierno 2016 y máximo de 12.861 mg/L en LB-3 en verano 2019) (**Figura N° 13-82**).

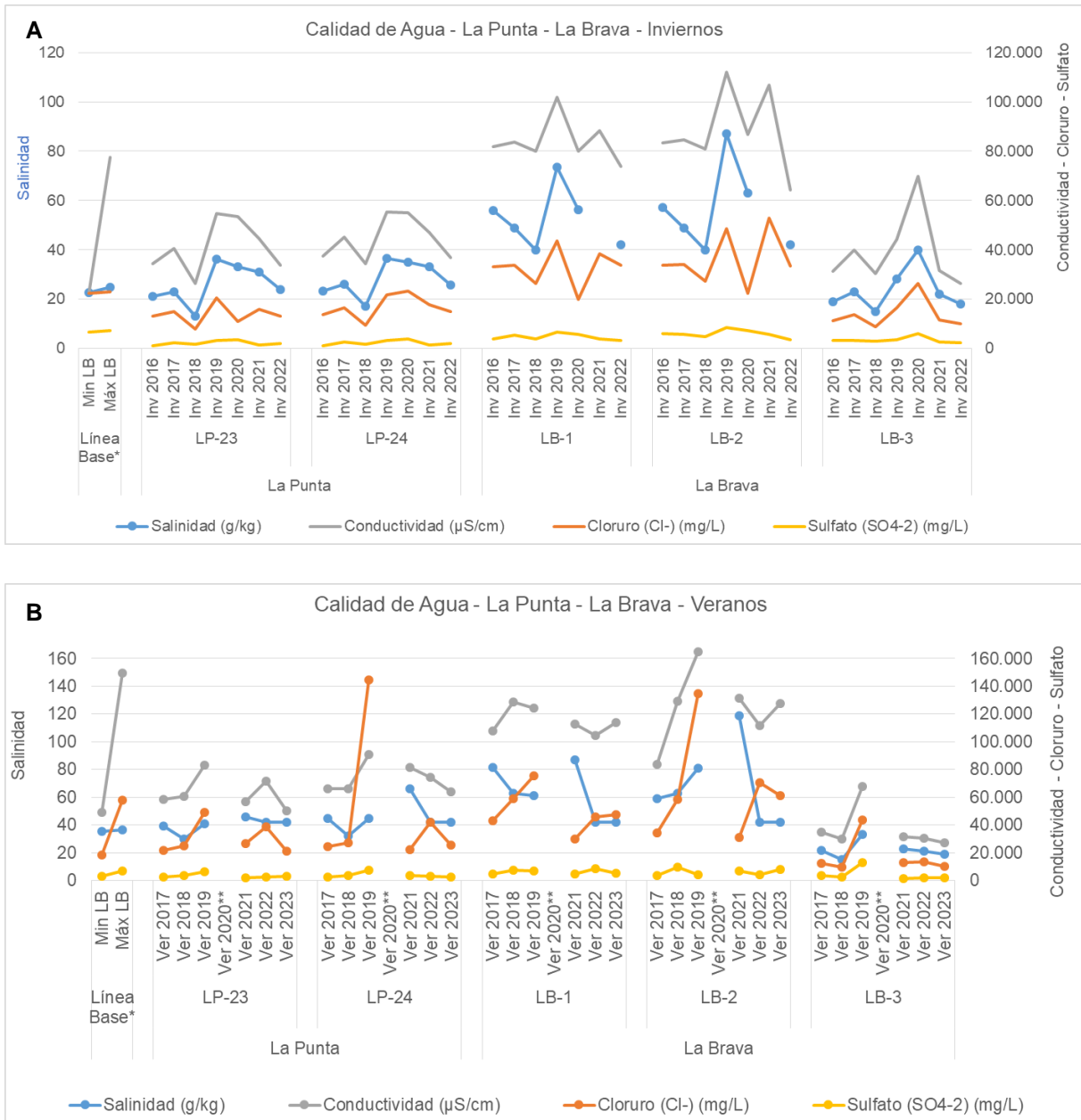
En un contexto geoquímico, cabe señalar que el Salar de Atacama comprende dos unidades principales en su territorio: un núcleo y una zona marginal. El núcleo (1.100 km² y 900 m de espesor) consiste en un haluro poroso (90%) impregnado con una salmuera de cloruro de sodio rica en litio, potasio, magnesio 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.

Se registraron mayores temperaturas en las estaciones de laguna La Brava respecto a las estaciones de laguna La Punta, en la gran mayoría de los periodos monitoreados, las cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, estacionalidad y hora de registro (máximo de 31,3°C en LB-2 en verano 2017 y mínimo de 5,16°C en LP-24 en invierno 2022). Por otra parte, las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH para todos los puntos de monitoreo en todos los veranos (>8) y para la mayoría de las estaciones de monitoreo de inviernos, con registros principalmente entre 8 y 8,9 unidades (mayores valores en invierno 2022), esto en concordancia con los valores de alcalinidad total y bicarbonato, similares entre ellos, siendo los más altos registros de bicarbonato en los veranos de 2018 y 2023. Respecto a este último parámetro, el PMB solo cuenta con valores de LB de una sola campaña (2015), por lo tanto, las desviaciones respecto a este registro podrían deberse a oscilaciones que ocurren de forma natural (**Figura N° 13-83**).

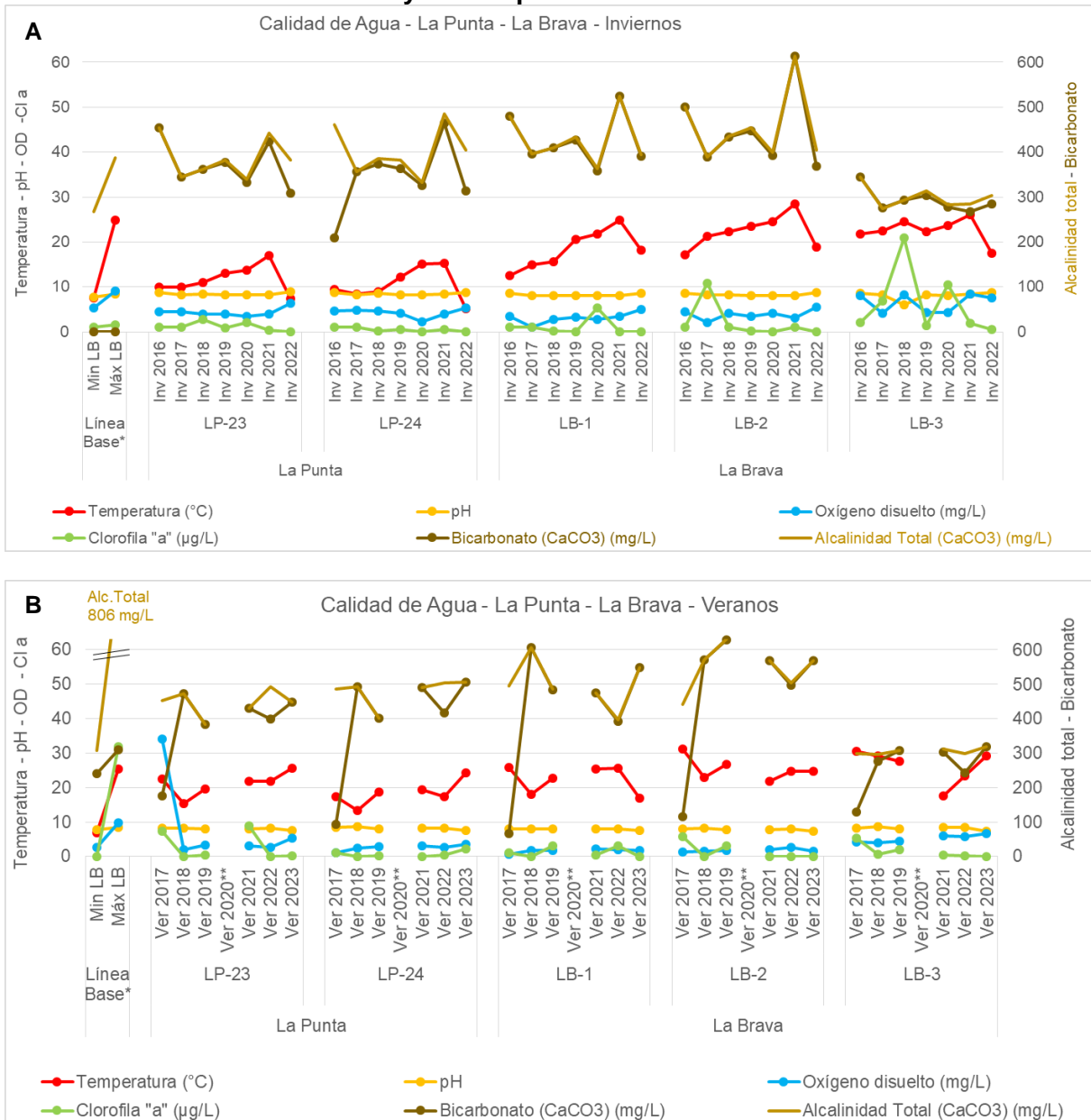
En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones comparativamente más bajas en los monitoreos de verano respecto de los de invierno, en la mayoría de las estaciones de este sistema lagunar (exceptuando por el máximo de 34 mg/L en LP-23 en verano 2017), lo cual se relaciona con las mayores temperaturas registradas en verano que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones de Clorofila “a” tuvieron una importante variabilidad tanto en las campañas de invierno como de verano, las cuales se relacionan con la actividad fotosintética (crecimiento microalgal) (**Figura N° 13-83**).

Figura N° 13-82. 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° 13-83. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua *in situ*, los relacionados con el pH y Cl-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.

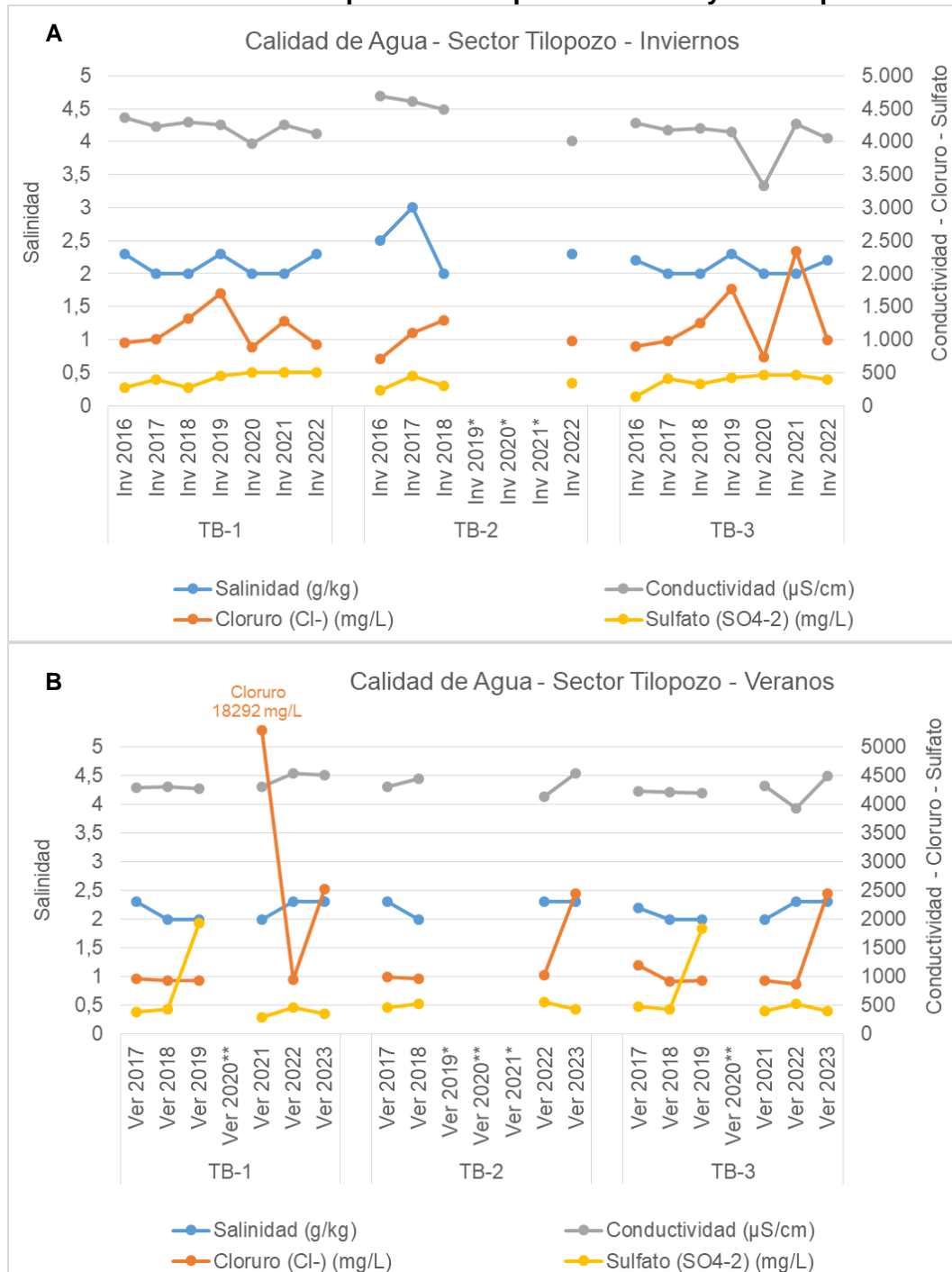
Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo**, muestran un sistema con menor conductividad (entre 3.336 y 4.690 \square S/cm), salinidad (2 a 3 gr/Kg) y sulfato (139 a 1925 mg/L), en comparación con los otros sectores de estudio, condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. El

parámetro de cloruro se ha mantenido con valores <2400 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 de dicha campaña, por lo que se considera como un registro anómalo. Tal valor responde a un registro puntual, que no representa las condiciones de este sector, considerando los parámetros más conservativos de conductividad y salinidad. Se registró un pH de neutro a básico (6,4 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. 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 (**Figura N° 13-84**).

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° en verano 2023. 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.

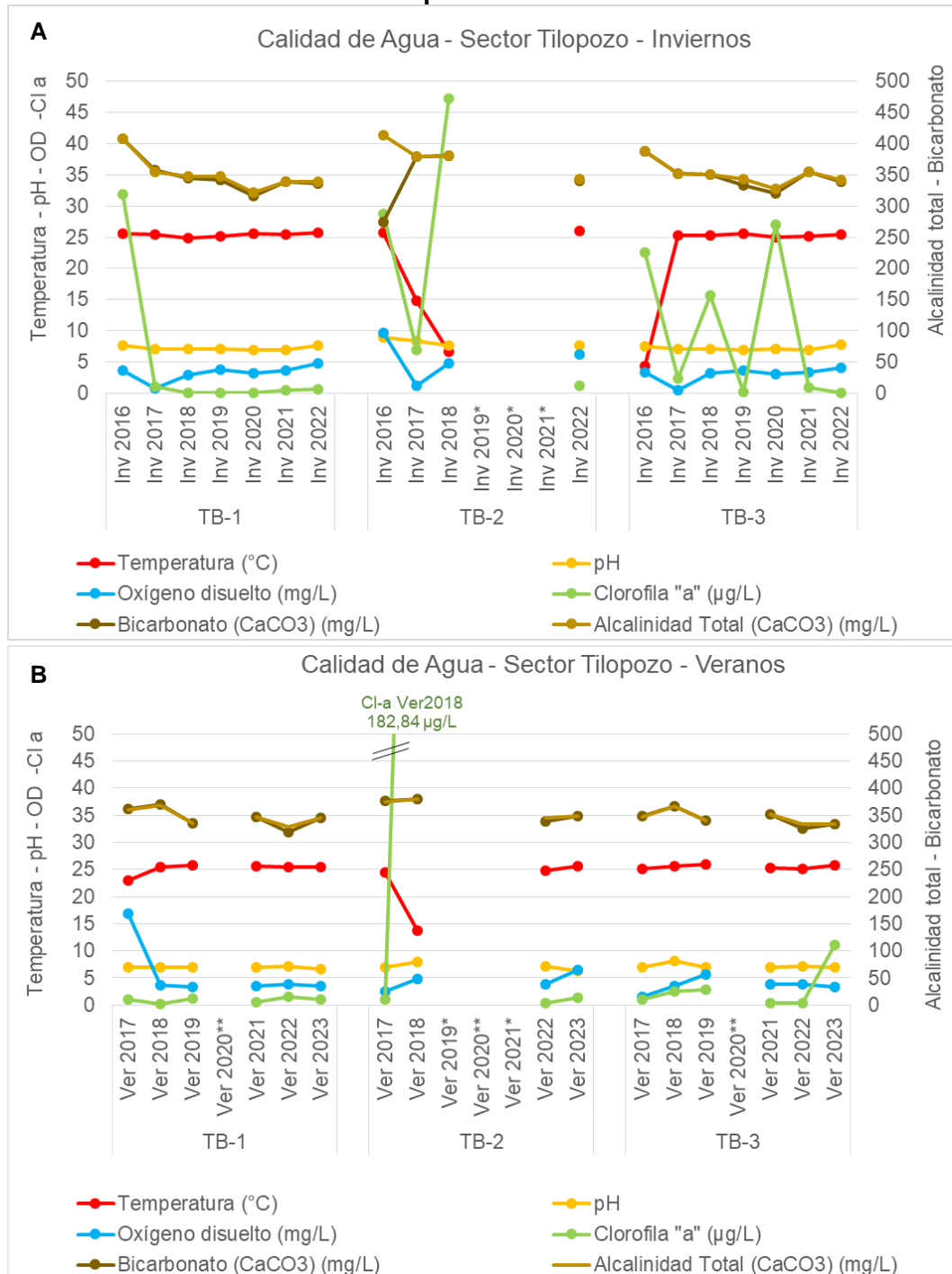
Ahora bien, en verano 2018 la clorofila “a” en fitoplancton alcanzó un valor de 182,84 µg/L, este último valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector, el cual correspondería a una condición de eutrofia (Smith *et al.* 1999 y Dods *et al.* 1998). Respecto de todas las estaciones 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 consignados en el presente estudio y de meso a eutrofia según los valores de clorofila-a perifiton >70 mg/m² 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° 13-85**).

Figura N° 13-84. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector 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° 13-85. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua *in situ*, los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector 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

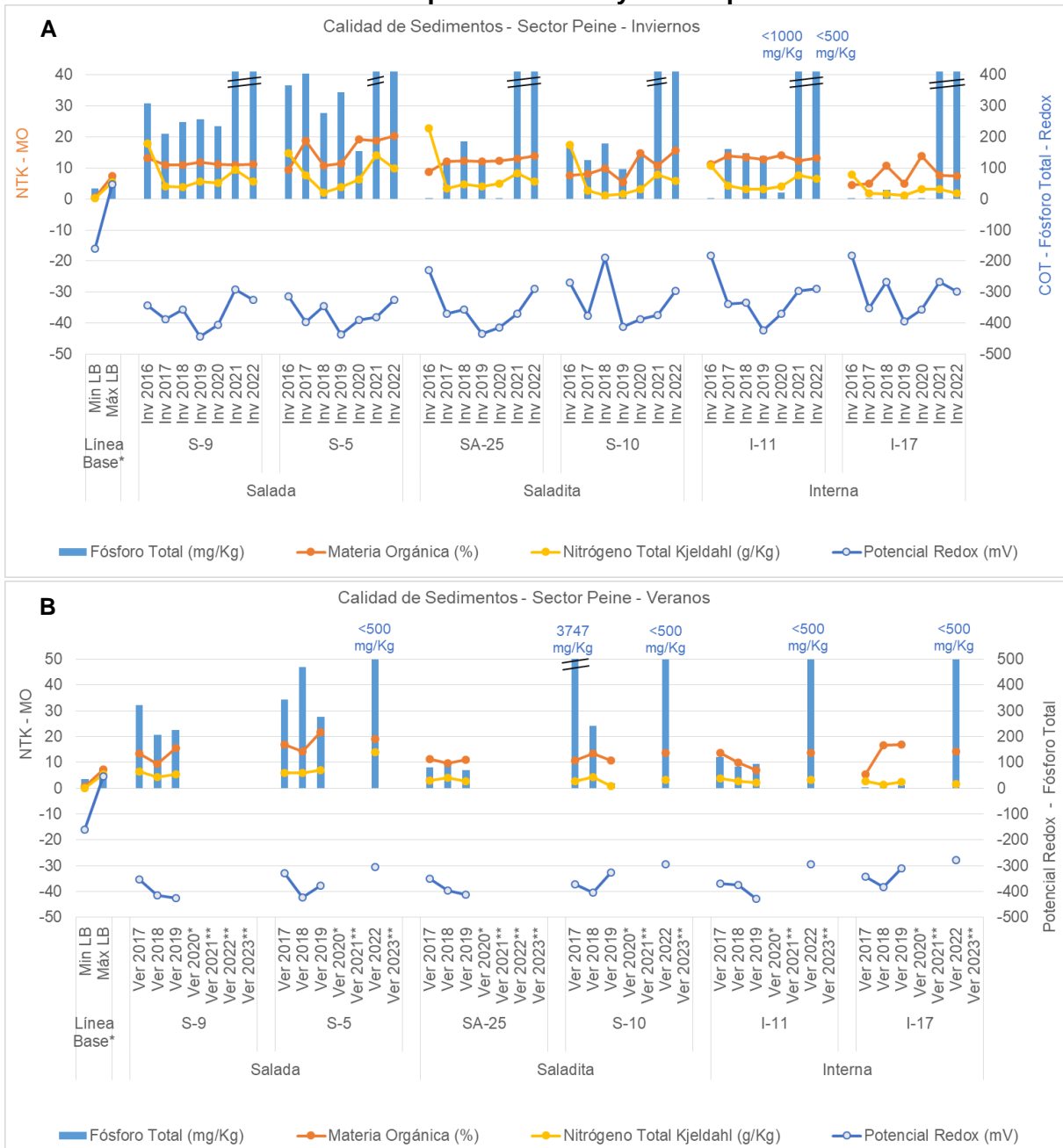
13.5.2.2 Calidad de sedimentos

Para el análisis comparativo entre línea de base y los registros de monitoreo, se consideró la comparación de los parámetros de calidad de sedimentos 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 del periodo de enero 2015 como único periodo disponible como referencia. Estos datos de LB se comparan con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo invierno 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5), 2019 (M7), 2020 (M9), 2021 (M11) y 2022 (M13). Por otro lado, se comparan 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) y 2023 (M14). Es importante destacar que, en el caso del sedimento, como sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en verano de 2015 para la elaboración de la LB, los desvíos con respecto a dichos datos pueden deberse a la variación natural de los sistemas.

Los resultados obtenidos 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 sin observarse una tendencia clara temporal y espacialmente (**Figura N° 13-86**). En el caso de la materia orgánica y COT, están relacionados directamente con actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halófilicos, 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 fósforo, 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° 13-86. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. 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. En las campañas de verano 2021, parte de la campaña de verano 2022 y campaña verano 2023, no se realizó el muestreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas por parte de la comunidad de Peine.

Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, para los parámetros de materia orgánica 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 de la materia orgánica y el COT, tienen el mismo comportamiento por lo que solo se grafica el porcentaje de materia orgánica (mínimo 6,32% y máximo 24,6%), la cual se registra en general con valores mayores a 10%. 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.

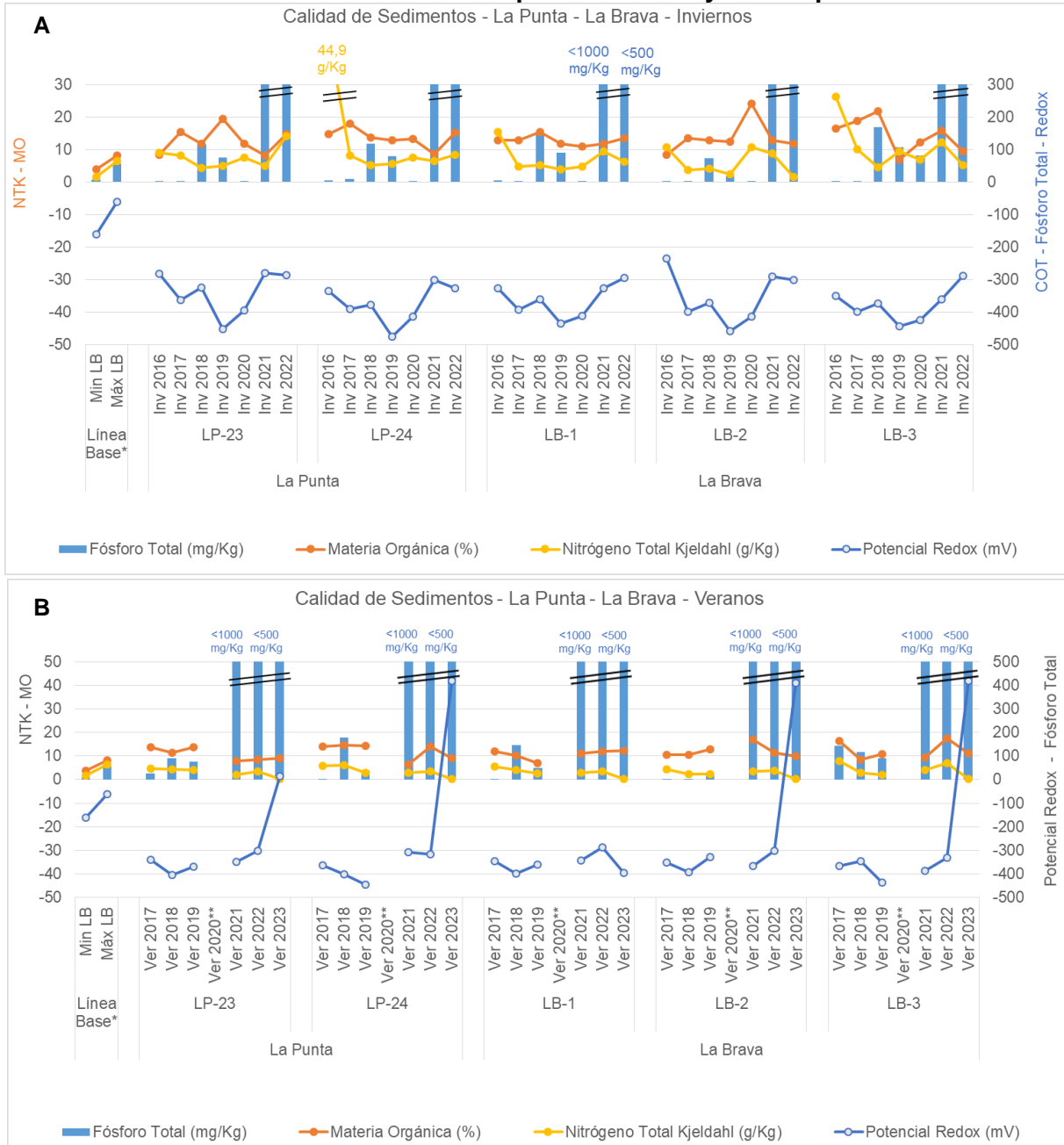
Tales características del sedimento se relacionan con la actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos generados por microorganismos halofílicos. A su vez, el potencial redox en todas las estaciones presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones 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 todas las estaciones y monitoreos presentó características reductoras con valores negativos, exceptuando en la última campaña de verano 2023 donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas. Cabe mencionar que en general los parámetros de calidad de sedimentos registrados, han mostrado valores fuera del rango de la línea base desde la primera medición del Plan de Manejo Biótico, sin embargo, 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° 13-87**).

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total en los sedimentos, este último alcanzando los 1800 mg/Kg en la estación TB-3 en verano 2021, además de importantes concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl en el sector (máximo de 16,38 g/Kg en verano 2022 en TB-3). Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en la mayoría de los periodos en las tres estaciones de monitoreo (

Figura N° 13-88). Cabe mencionar que los registros de carbono orgánico total y materia orgánica fueron más altos en TB-2, esto podría estar relacionado con que esa estación está

ubicada a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual se encontró sin agua superficial en verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021. Por su parte las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de <2 de profundidad, respectivamente, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos.

Figura N° 13-87. 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.

Figura N° 13-88. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 en los veranos de 2019 y 2021 se encontró sin agua al momento del muestreo y en 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.

13.5.2.3 *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) y 2022 (M13). 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) y 2023 (M14).

Cabe señalar que, la campaña de verano 2020 (M8) no se pudo realizar producto de la pandemia COVID-19 y que para la campaña de verano 2021, parte de la campaña 2022 y en la campaña 2023, no se obtuvieron datos de monitoreo para el Sector Peine, por restricciones impuestas por la comunidad de Peine.

Además, 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**.

- Fitobentos

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 (Min 5; Max 9) contenido dentro de lo observado en la LB (Min 2; Max 14). En tanto, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2022, presentó valores máximos en todas las estaciones de Peine, sobre lo observado en la LB y en la mayoría de los monitoreos. En la actual campaña invierno 2022, las estaciones S-5 (Salada) y SA-25 (Saladita) presentaron los registros máximos. Rango (Min 16146; Max 198375) en invierno 2022 versus (Min 47; Max 6787) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-89 A**).

Cabe señalar que, 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.

No se cuenta con información de verano 2023. Por este motivo, se realizó el comparativo entre campañas de monitoreo de verano 2017-2022 y LB (periodos de verano), al respecto se observó en su mayoría registros variables para la riqueza y valores bajos, en general, para la abundancia.

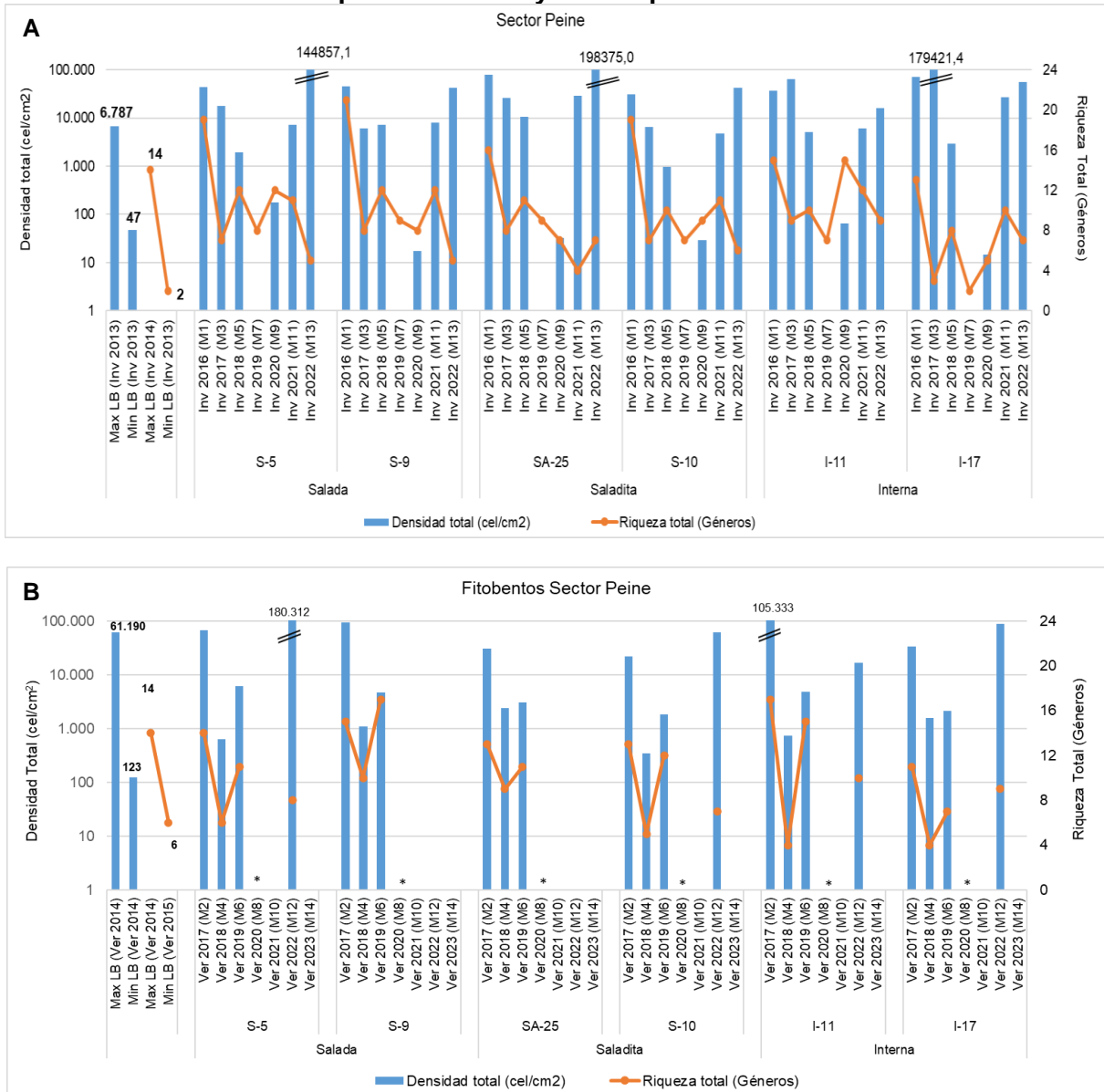
Entre campañas de monitoreo en periodo de verano, se ha observado un rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros (Min 4; Max 17) en un rango más amplio que lo observado en la LB (Min 6; Max 14). Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada entre monitoreos de verano, se observó que han presentado registros por sobre lo observado en la LB, en su límite máximo. Rango (Min 346 cel/cm²; Max 180313 cel/cm²) versus (Min 123 cel/cm²; Max 61190 cel/cm²) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-89 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 COVID19, y las campañas 2021 y 2023, 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 y, presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos – Calidad de Agua**).

Figura N° 13-89. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021 y 2023 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones por parte de la comunidad de Peine. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25).

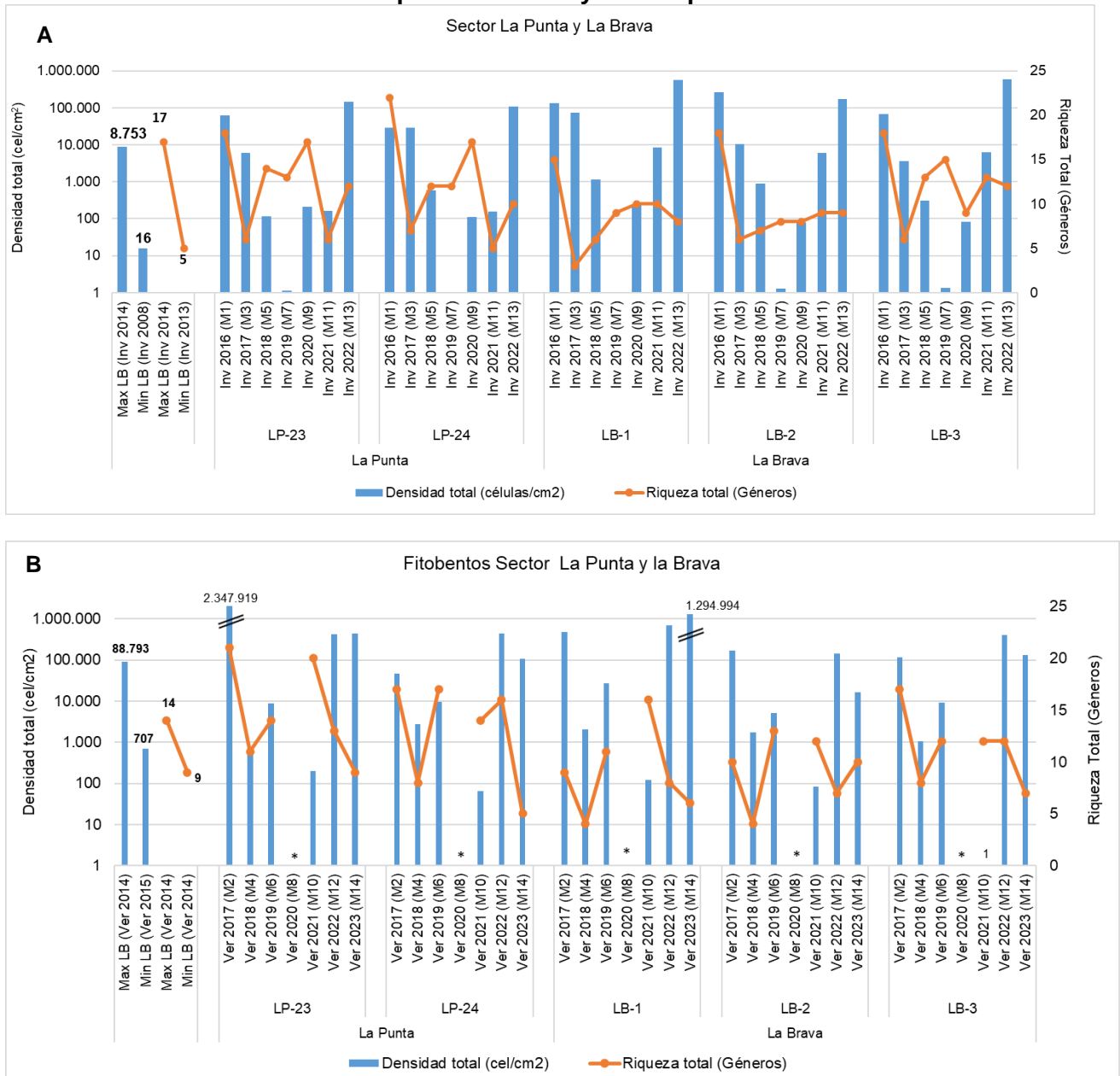
En el sector **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2022 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2023 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares solo para la riqueza en el periodo estacional de invierno y variables (con valores mínimos y máximos que la LB en periodos de verano. En cambio, los registros para la abundancia fueron variables, en invierno y verano se mantuvieron por sobre el rango de variación de la LB.

En invierno 2022, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 8; Max 12) en invierno 2022 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2022, se detectaron registros por sobre lo observado en la LB. Rango (Min 109444; Max 588000) en invierno 2022 versus (Min 16; Max 8753) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-90 A**). Cabe señalar que algunos valores de abundancias del fitobentos no se observan en el gráfico debido a la gran variación en órdenes de magnitud en los registros entre estaciones de monitoreo y en el tiempo, por lo que no se evidencian tendencias.

En verano 2023, el valor mínimo de riqueza de géneros detectado (5), fue inferior al límite mínimo de la LB, en tanto, el máximo (9 géneros) estuvo contenido dentro del rango de variación de la LB en periodos de verano (Min 9; Max 14). La riqueza en verano 2023 presentó valores debajo del límite mínimo de la LB en las estaciones LP-24, LB-1 y LB-3. Cabe señalar que los registros de riqueza han sido variables en el tiempo, presentando en verano 2018 valores inferiores a la LB, específicamente 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° 13-90 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2023 (Min 16.510; Max 1.294.994), los valores registrados estuvieron con un valor máximo por sobre lo observado en la LB en periodos de verano (Min 707; Max 88.793) (**Figura N° 13-90 B**). El máximo de abundancia fue detectado en la estación LB-1 de la laguna La Brava, sin embargo, desde verano 2021 que las abundancias han aumentado en todas las estaciones de monitoreo del sector.

Figura N° 13-90. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021 y 2023 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones por parte de la comunidad de Peine. 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.

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 *Denticula* y *Achnantheidium* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2022, mientras que *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En tanto, las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2023, mientras que, *Denticula*, *Amphora* (ambas diatomeas) y *Oscillatoria* (cianobacteria), presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano. Cabe señalar que, los géneros más recurrentes y dominantes entre monitoreos invierno – verano correspondieron a *Denticula* y *Nitzschia* (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 invierno y verano 2019, invierno 2020 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 del período 2016-2022 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y 2020 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 con un rango de 11 y 12 géneros y en TB-1 en invierno 2021 con 20 géneros (**Figura N° 13-91 A**).

Respecto de los periodos de verano, los registros de la riqueza de géneros observada en el período 2017 – 2023 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 lo que solamente cuenta con 4 campañas con registros. 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. (**Figura N° 13-91 B**).

Así mismo, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016 - 2022, 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 2022 (**Figura N° 13-91 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 2022. Cabe resaltar que la estación TB-1 presentó los menores registros promedio de abundancia, con valores que oscilaron entre 33,5 cel/cm² y 63.861 cel/cm², con un valor máximo registrado en verano 2021. En tanto, la estación TB-3 presentó los mayores valores que oscilaron entre 0,6 y 196.653 cel/cm² registradas en verano 2021 y 2023 (**Figura N° 13-91B**). Para el fitobentos en vegas de Tilopozo no se evidencian tendencias ni en las estaciones ni entre periodos estacionales.

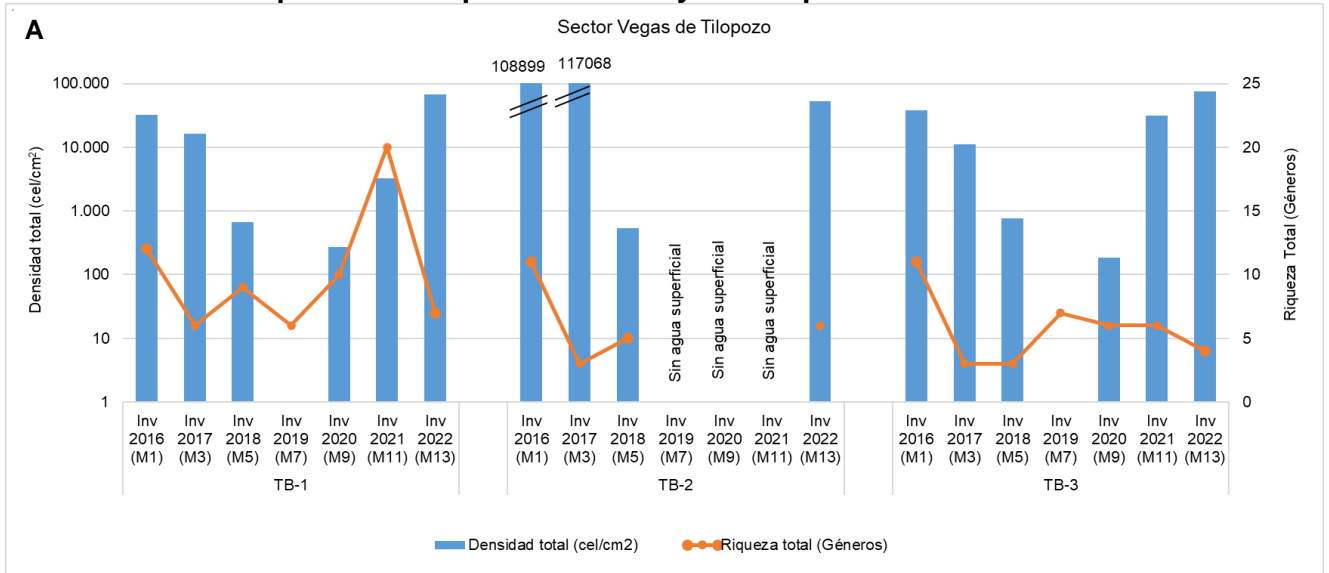
En el sector **vegas de Tilopozo**, las dominancias en el fitobentos fueron variables entre campañas de monitoreo y entre estaciones de muestreo, presentando diferencias entre microalgas dominantes.

En el sector vegas de Tilopozo, las dominancias en el fitobentos cambiaron 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* y en invierno 2021 dominaron las diatomeas *Pseudostaurosira* y *Nitzschia*. Por último, en invierno 2022 las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia*.

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 cianófita *Oscillatoria* y la clorófita *Mougeotia*, en tanto en verano 2018 dominaron las diatomeas *Craticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. Por otra parte, 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* y en verano 2023 por *Nitzschia* y *Fragilaria* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

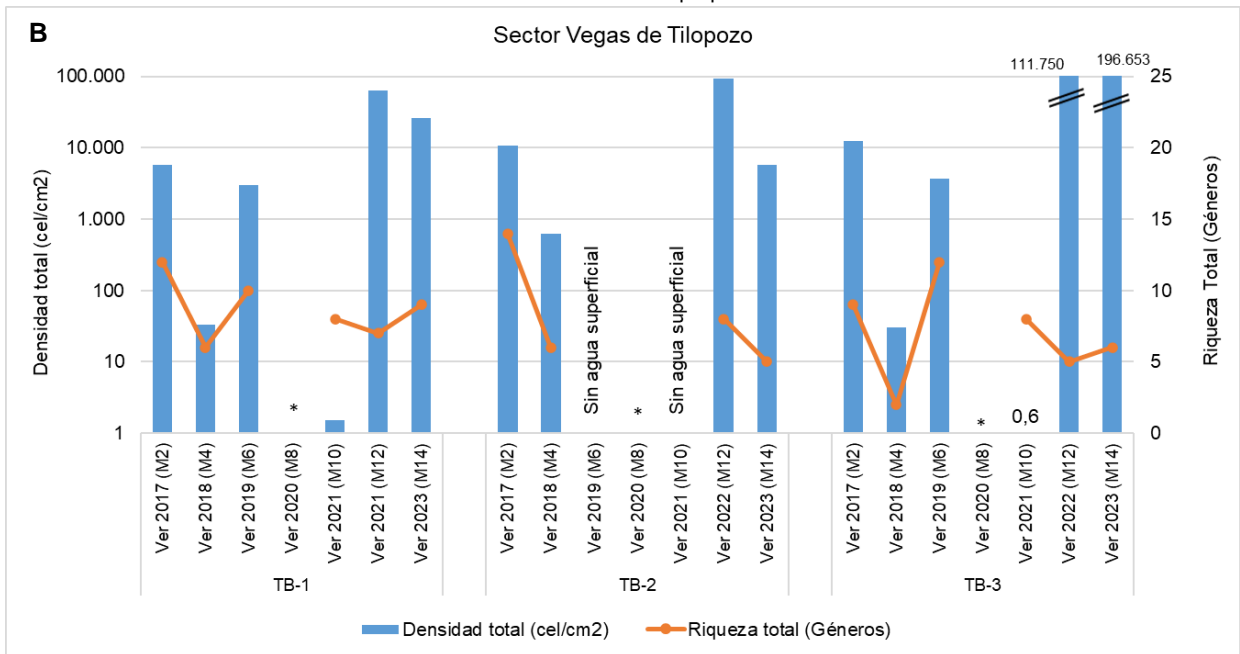
La variabilidad en las dominancias entre monitoreos, en general, se relaciona con las condiciones de hábitat al momento del muestreo. Sin embargo, los géneros consignados son *taxa* de ambientes halófilos. Finalmente, hay que destacar que para todos los monitoreos de invierno como de verano, la dominancia 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° 13-91. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La estación TB-2 en invierno 2019, 2020 y 2021 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

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.

- 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 general para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) 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 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 (Min 29; Max 85), también estuvo dentro rango observado en la LB (Min 29; Max 5.280) (**Figura N° 13-92 A**).

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. Cabe destacar que, en verano 2020 no se obtuvieron registros de fitoplancton en este sector debido a la pandemia y en verano 2021 y 2023 por imposibilidad de ingresar al sector.

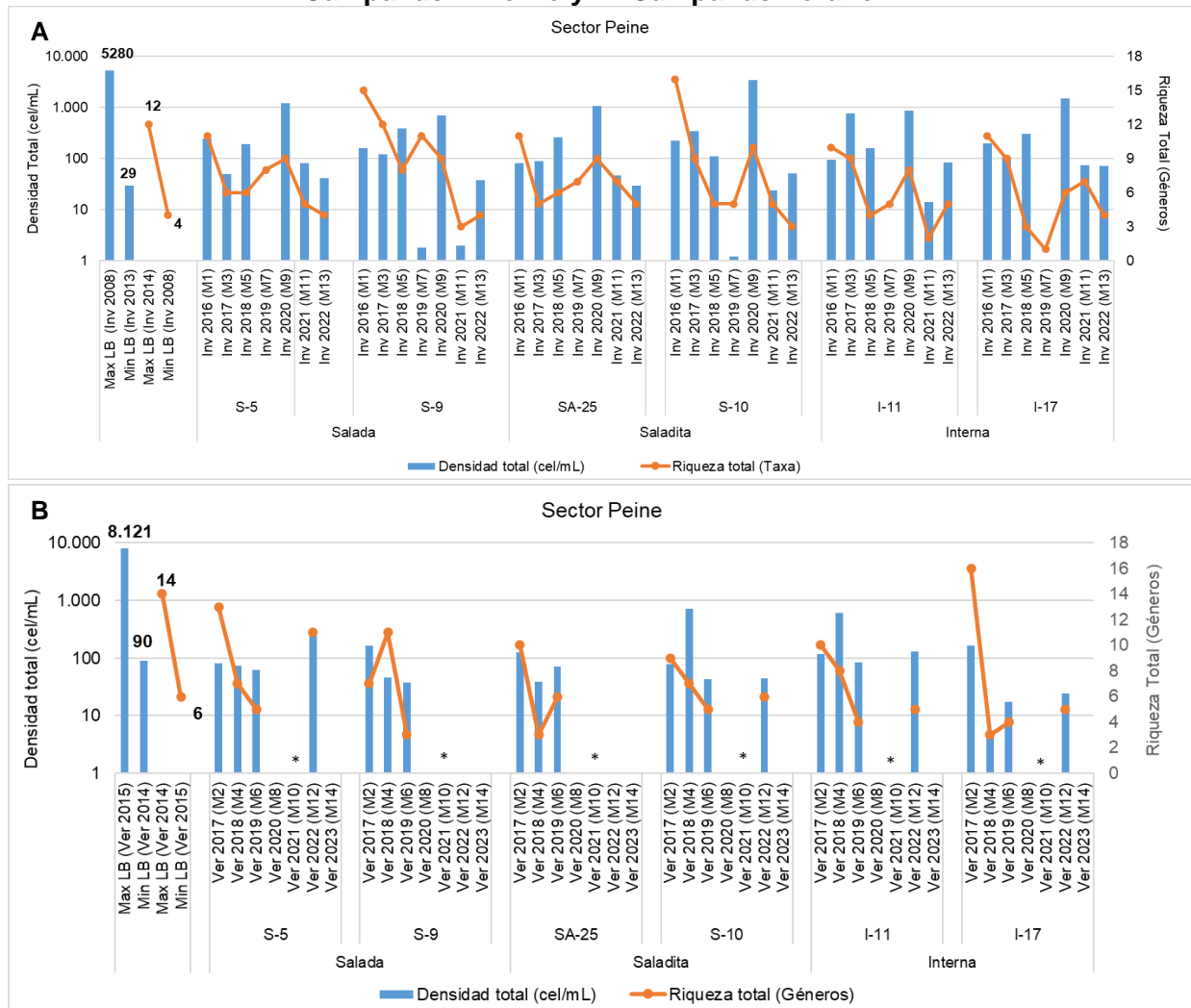
Entre campañas de monitoreo en periodo de verano, se ha observado un rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros (Min 3; Max 16) en un rango más amplio que lo observado en la LB (Min 6; Max 14) (**Figura N° 13-92 B**).

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 la campaña de verano 2020, no fue monitoreada por ocurrencia de la pandemia COVID19, y las campañas

2021 y 2023 tampoco fueron monitoreadas, porque no se pudo acceder al sector, en tanto, para verano 2022 se pudo acceder a monitorear solo algunas estaciones (**Figura N° 13-92 B**).

Cabe señalar que, en las estaciones del sector Peine, para la riqueza y para la abundancia se observó en general la tendencia a la disminución de los registros en el tiempo respecto de la línea de base.

Figura N° 13-92. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021 y 2023 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones por parte de la comunidad de Peine. 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.

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 (ej. las diatomeas *Navicula* y *Nitzschia*), ya sea entre periodos estacionales y entre la LB y las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional.

Respecto a los géneros que presentaron las mayores representatividades en periodos de invierno, se observó que *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB, mientras que, en la campaña de invierno 2022 las mayores representatividades estuvieron dadas por las diatomeas *Nitzschia* y *Halamphora*. 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).

En el **sector La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2022 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 de la LB, con bajos registros en todas las estaciones de las lagunas La Punta y La Brava.

Cabe señalar que, en las estaciones del sector La Punta-La Brava, si bien para la riqueza se observó una tendencia variable en el tiempo, ~~para~~ la abundancia ha mostrado una tendencia de disminución entre periodos de invierno, presentando invierno 2022 una de las menores abundancias registradas a la fecha.

En periodo de verano, en el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre campaña de monitoreo verano 2023 y Línea Base (periodos de verano), se observó registros menores de riqueza y abundancia en verano 2023 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.

Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total periodos de invierno con los periodos de verano, se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron menores en invierno.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2022 presentó un rango dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 4; Max 12) en invierno 2022 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-93**

A). Respecto del rango de variación mínimo y máximo, la abundancia detectada en invierno 2022, estuvo por debajo en todas las estaciones de lo observado en el rango de variación de la LB. Rango (Min 17; Max 70) en invierno 2022 versus (Min 76; Max 4.905) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-93 A**).

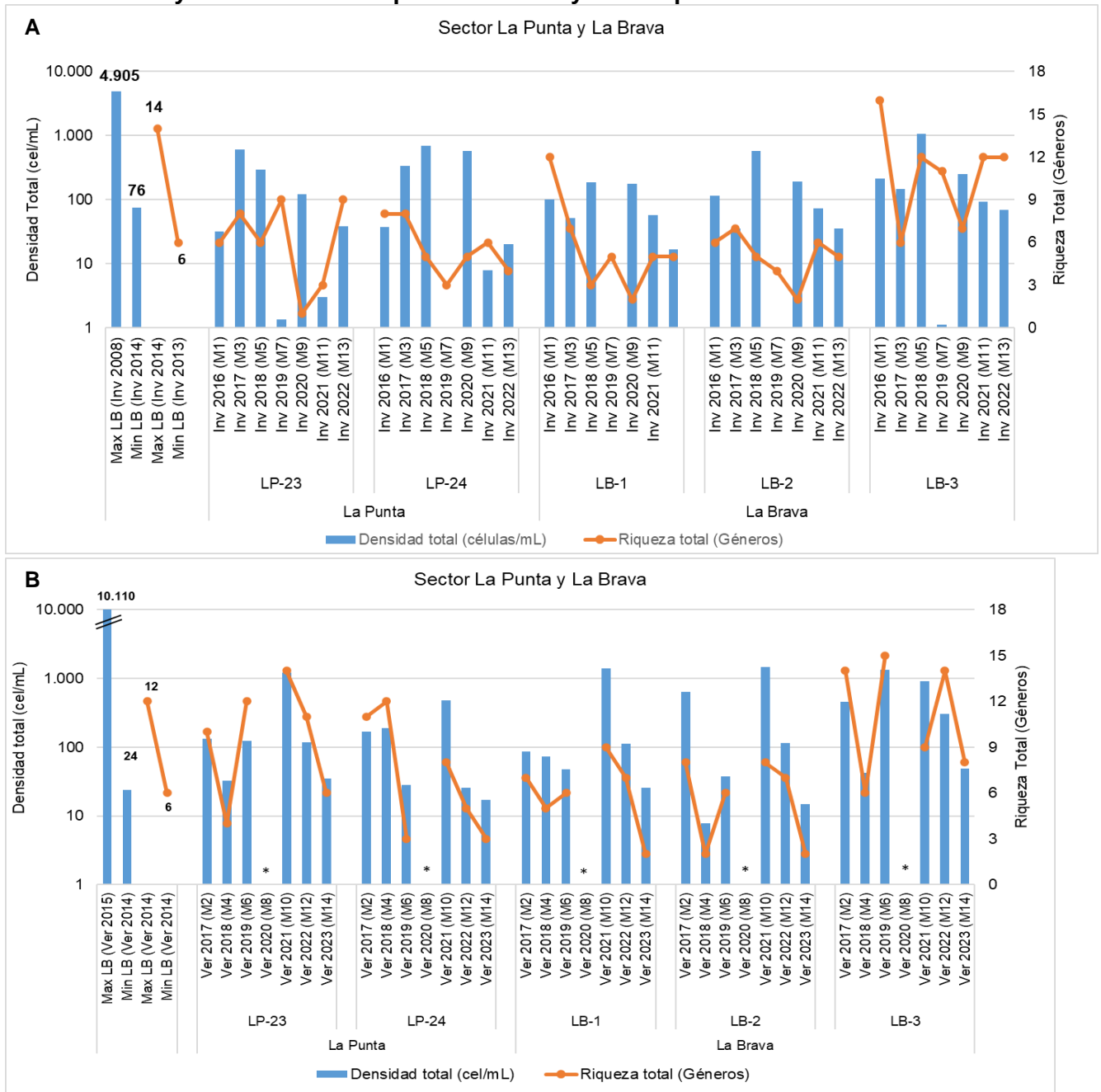
El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en verano 2023 (Min 2; Max 8), fue menor a lo observado en la Línea Base en periodos de verano (Min 6; Max 12). Cabe señalar que durante la campaña de verano de 2023 las estaciones LP-24 (La Punta), LB-1 y LB-2 (ambas de La Brava) presentaron una riqueza entre 2 y 3 géneros, registros que estuvieron por debajo del mínimo de Línea Base (**Figura N° 13-93 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2023, estuvo contenida dentro de lo observado en el período de verano de la Línea Base (Min 24; Max 10110) en tres estaciones de monitoreo (LP-23, LB-1 y LB-3, con un rango Min 15; Max 49). Las estaciones LP-24 (La Punta) y LB-2 (La Brava), en tanto, presentaron registros por debajo del límite mínimo de la LB (**Figura N° 13-93 B**).

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 no observándose un patrón de géneros dominantes, 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 la diatomea *Nitzschia* y la cianófito *Chroococcus* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2022, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB. En periodo de verano, se observó que las diatomeas *Denticula* y *Nitzschia* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2023, 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**.

Figura N° 13-93. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia.

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.

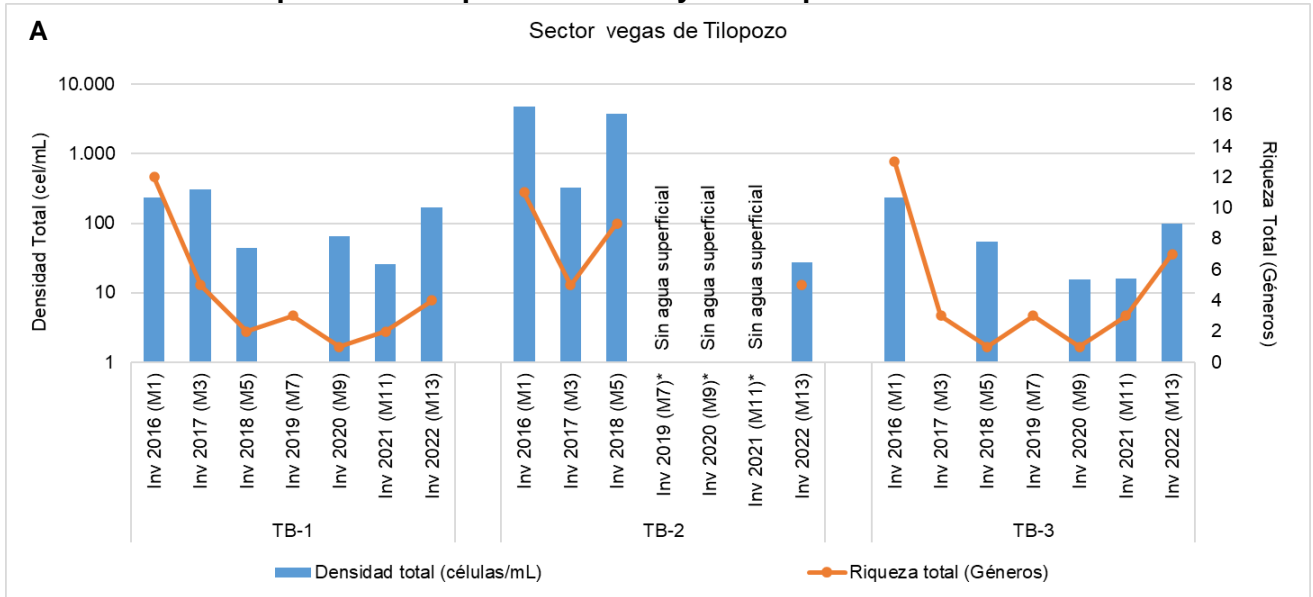
Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que la riqueza y la abundancia presentaron menores registros en periodos de invierno.

Los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre invierno 2016 - 2022 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y 2018, específicamente en la estación TB-2.

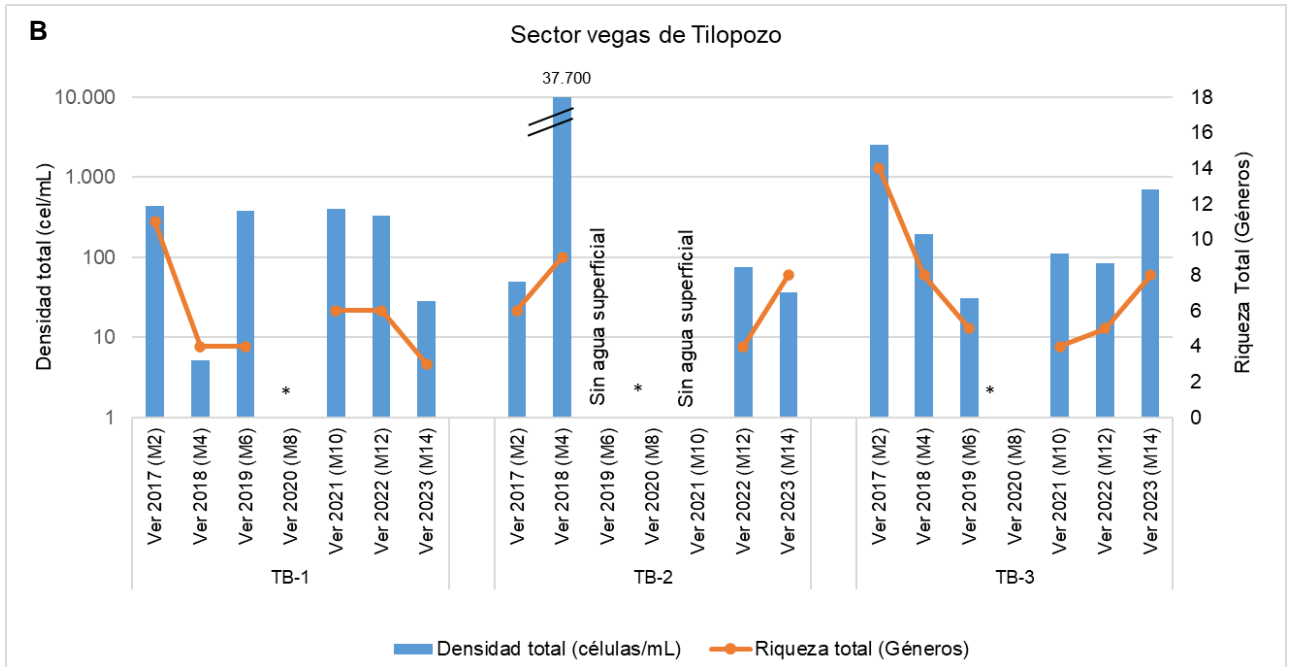
El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre invierno 2016 y 2022-presentó diferencias detectándose los mayores registros en invierno 2016 y mínimos en invierno 2020. Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016 y 2022, fueron mayores en invierno 2016 y menores en invierno 2018 y 2020 (**Figura N° 13-94 A**).

En tanto, para los periodos de verano 2017-2023 se 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 (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 con 5,1 cel/mL y en verano 2023 en TB-1 y TB-2 con abundancias de 28 y 36 cel/mL (**Figura N° 13-94 B**).

Figura N° 13-94. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La estación TB-2 en invierno 2019, 2020 y 2021 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

Para el fitoplancton las dominancias (géneros con mayor abundancia y representatividad) cambiaron entre los periodos de invierno y de verano, observándose un recambio de géneros en el sector vegas de Tilopozo. Por otra parte, entre estaciones de muestreo también fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

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 zygneumatofícea *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 zygneumatofícea *Mougeotia*. Por último, en invierno 2022, los géneros *Halamphora* (diatomea) y *Oscillatoria* (cianofitas).

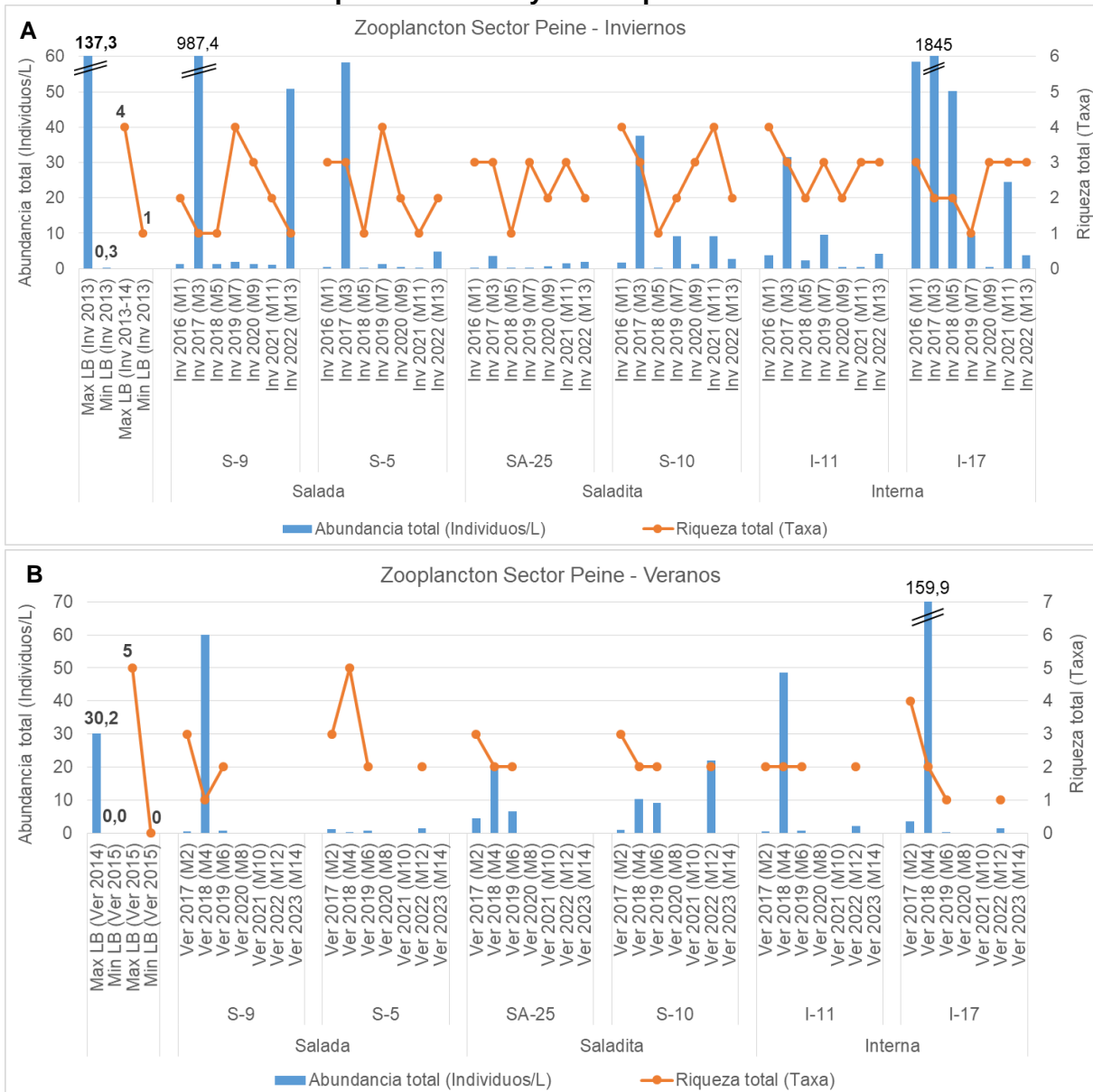
En verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Amphora* y las cianobacterias *Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*. Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en verano 2018, donde se observó una alta predominancia de las diatomeas *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula*. 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* y en verano 2023 dominaron las cianobacterias *Microcystis* y *Merismopedia* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Cabe destacar que, que para todos los monitoreos de invierno como de verano en vegas de Tilopozo, 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).

- Zooplankton

La comunidad de zooplankton 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 harpacticóideos. En la campaña de invierno 2022 solo la estación S-9 tuvo una abundancia mayor a 50 ind/L, dada 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.

Figura N° 13-95. 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 estivales de 2021 y 2023 no se realizó el muestreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones determinadas por parte de la comunidad de Peine. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25).

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

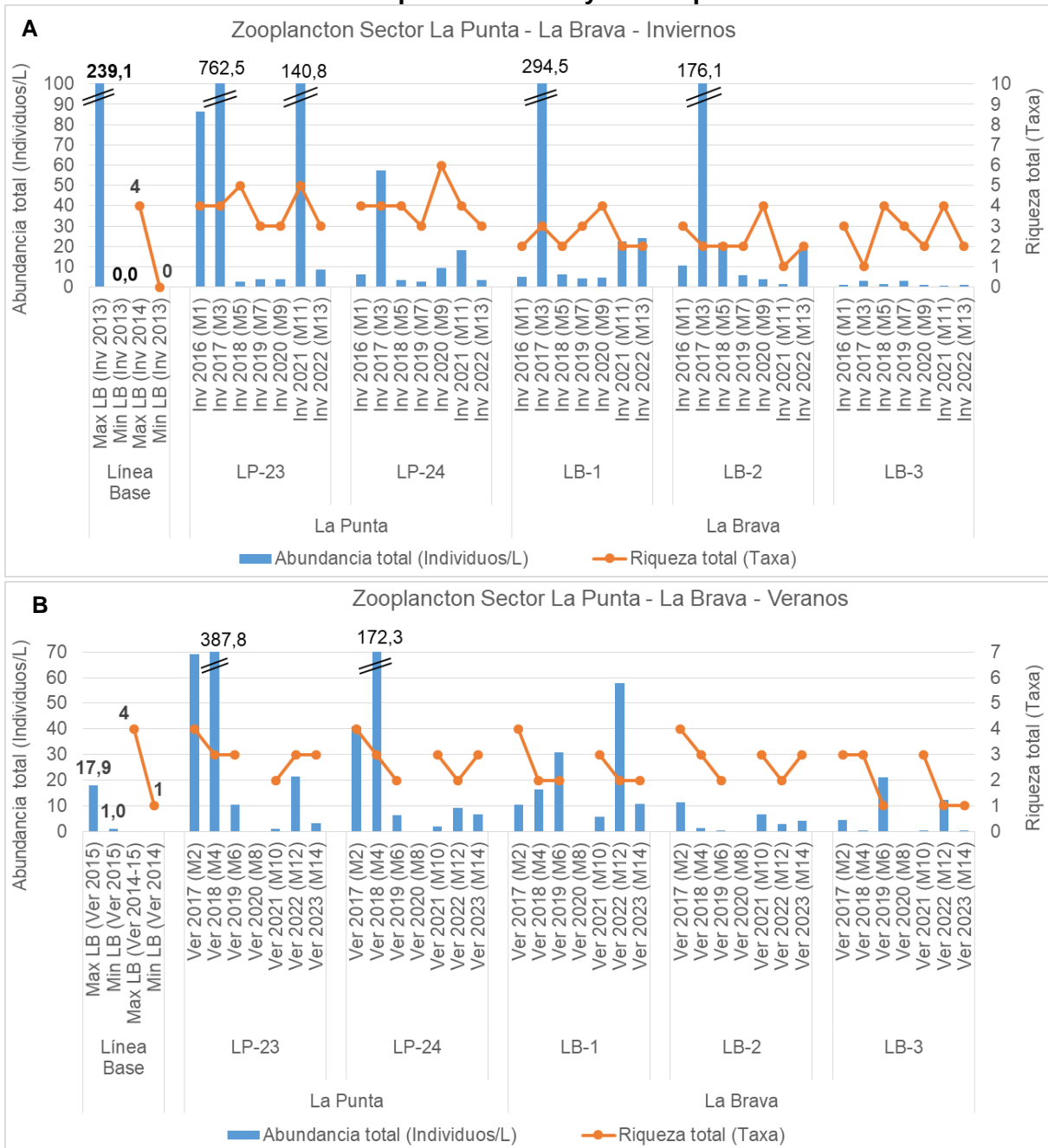
último monitoreo de verano 2019 (menores en general en este último). Las riquezas de *taxa* en general han sido bajas en todos los monitoreos de verano, con valores entre 1 y 5, con el máximo registro en laguna Salada (S-5) durante el verano 2018 Cabe mencionar que la campaña de verano 2020 no se realizó 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° 13-95**).

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 en ese monitoreo 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).

Respecto a 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, LB-1 y LB-2, 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 y en verano 2022 en las estaciones LP-23 y LB-1, 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° 13-96**). 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*. Por su parte, en LB-1 y LB-3 en verano 2019, el zooplancton fue representado principalmente por *Artemia franciscana* y el copépodo Harpacticoidea *Tigriopus* sp. En la campaña de verano 2021, 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 zooplancteres, como es el caso de *Boeckella poopoensis* 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 zooplancteres 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° 13-96. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



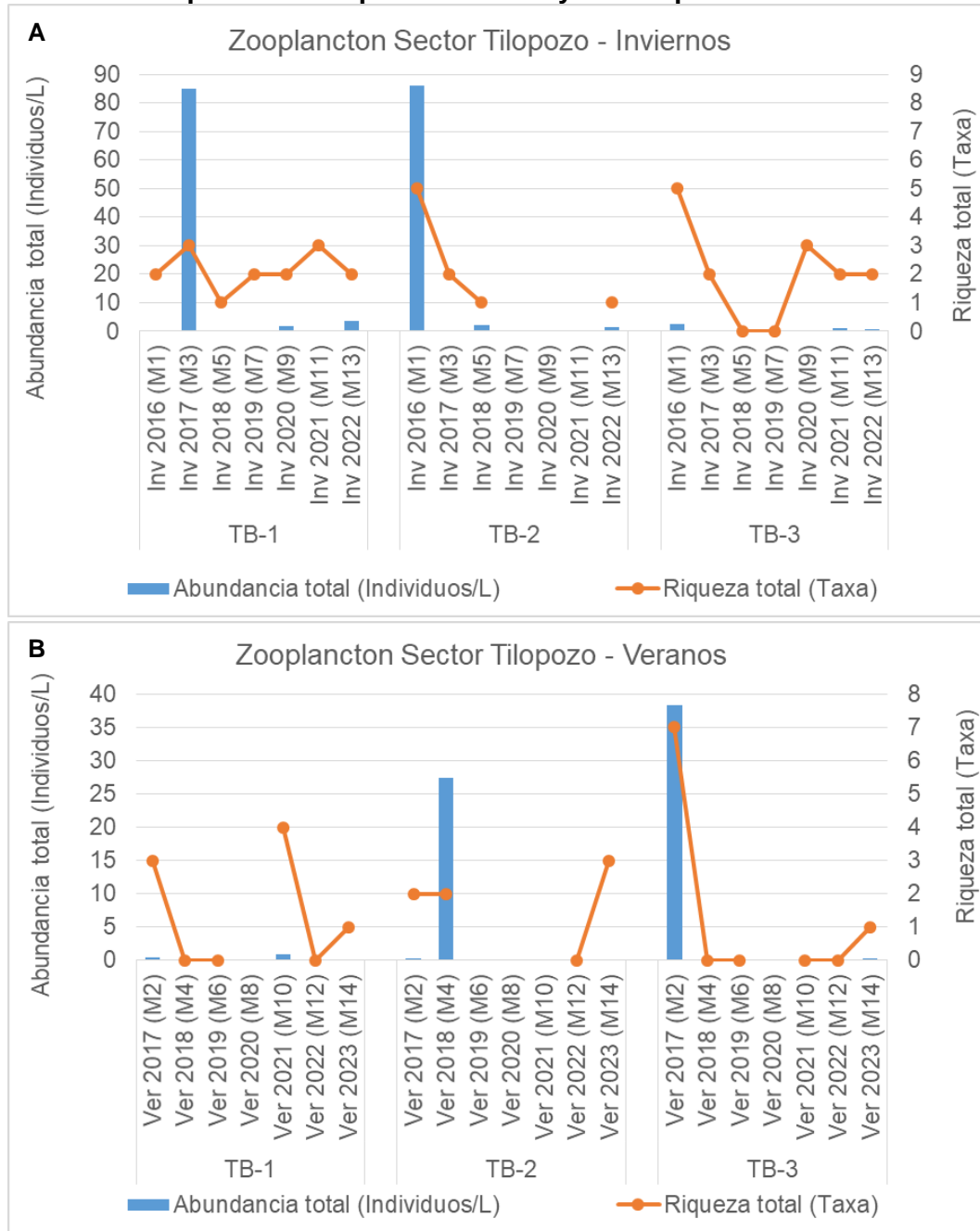
Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19.

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 90 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 la campaña de verano de 2021. Cabe mencionar que la estación TB-2, en verano 2019 y 2021, se encontró sin agua al momento del muestreo (**Figura N° 13-97**).

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 el último monitoreo de verano 2023, 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° 13-97. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. La estación TB-2, en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021, se encontró sin agua al momento del muestreo. La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19.

- Zoobentos

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/m², 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/m² 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° 13-98**).

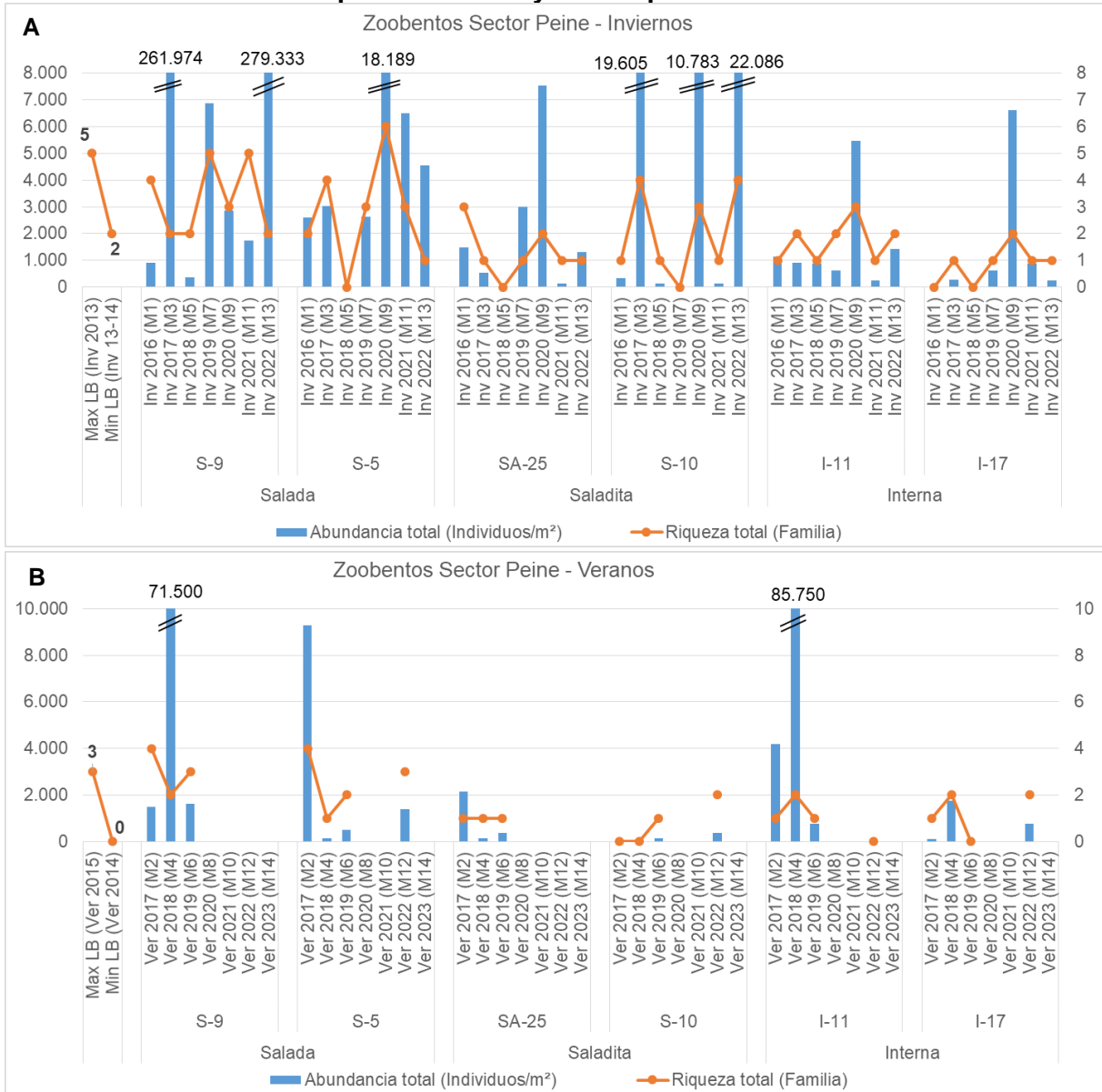
En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros, exceptuando por S-9 en verano 2019, donde dominaron los gasterópodos del género *Heleobia* sp. De los dípteros, 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.

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 bajo los 20.000 ind/m², sin embargo se encontraron abundancias totales mayores a este valor en invierno 2018 e invierno 2022 (LB-1), 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/m² en LB-3 durante el verano 2023 (**Figura N° 13-99**).

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 campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. En verano 2019, en LP-23 dominó el díptero Stratiomyidae seguido por Ephydriidae, mientras que en LP-24 dominó solo el díptero Ephydriidae en esa campaña. 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

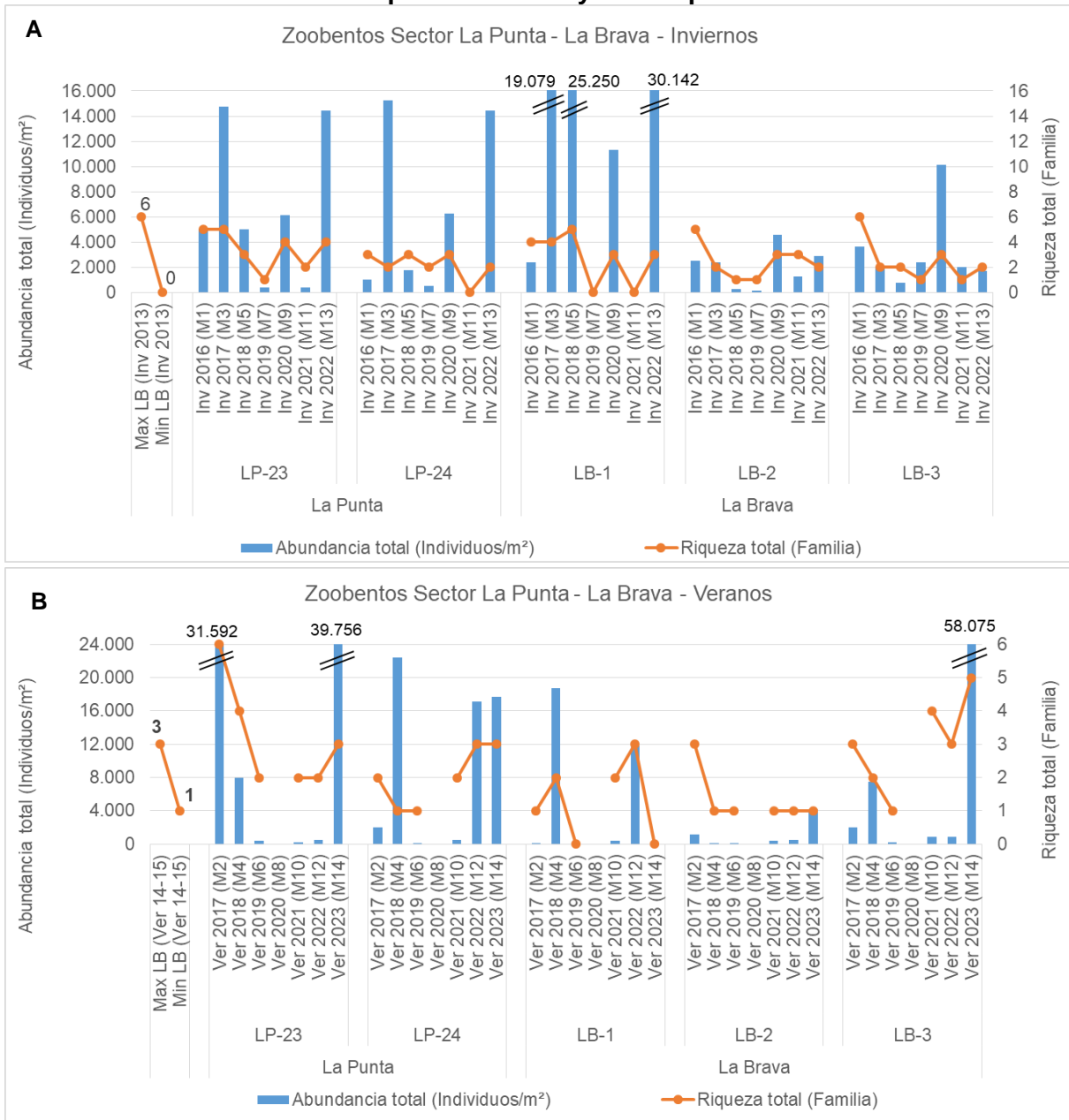
Heleobia sp., sin embargo, en la campaña 2023 los taxa dominantes fueron los ostrácodos Limnocytheridae y el gasterópodo *Heleobia* sp.

Figura N° 13-98. 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 la campaña estival de 2021 y 2023 no se realizó el muestreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas por parte de la comunidad de Peine. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25).

Figura N° 13-99. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



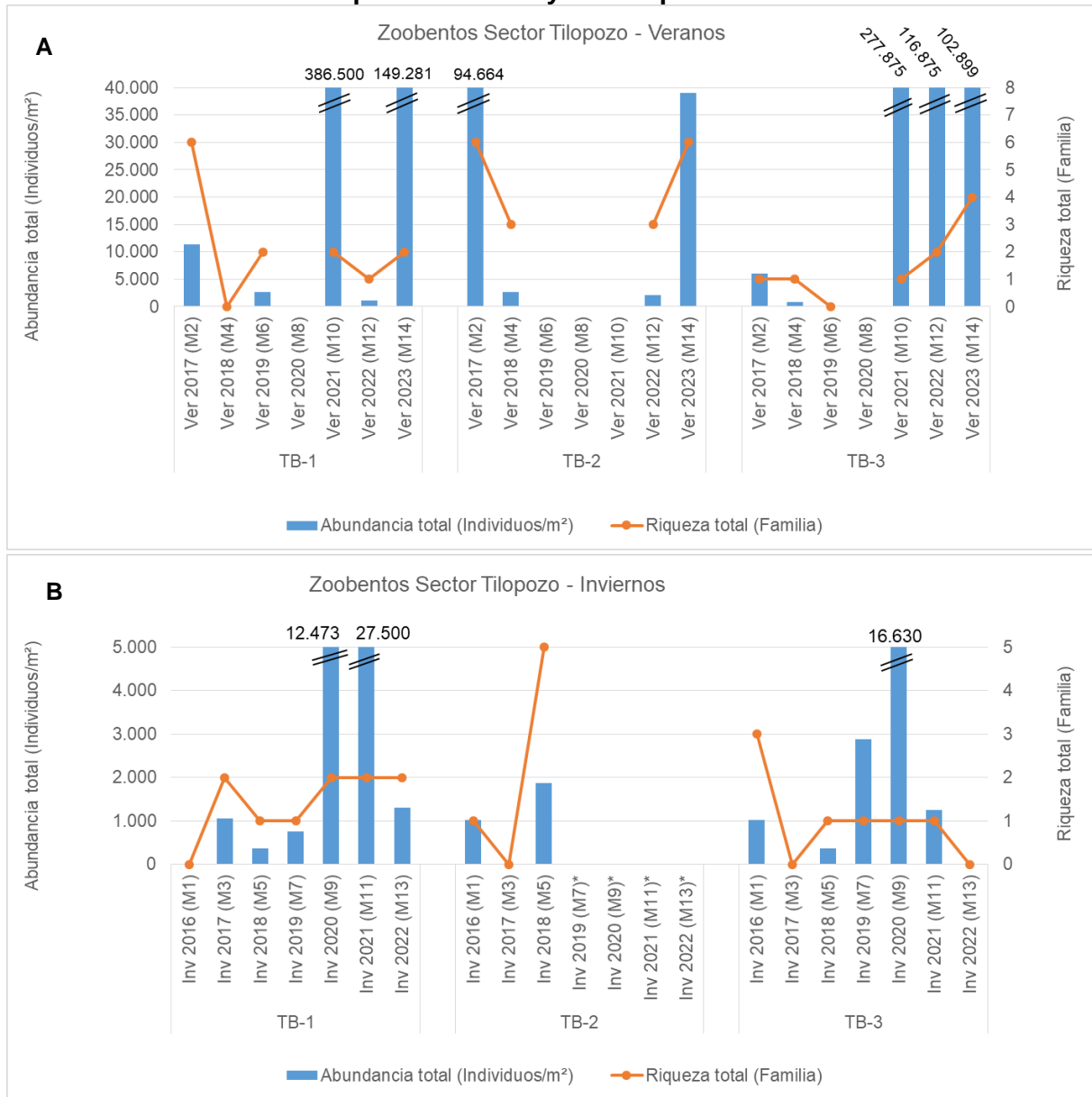
Fuente: Elaboración propia. La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Respecto al zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en las campañas de invierno y verano se registraron bajas riquezas de *taxa*, 0 a 5 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. La mayor abundancia total ocurrió en TB-1 en verano 2021 (386.500 ind/m²), en TB-3 durante esa misma campaña (277.875 ind/m²) y en TB-3 en verano 2022 (116.875 ind/m²) (**Figura N° 13-100**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Tilopozo durante estas campañas, se observó que en TB-1 y TB-3 dominaron ampliamente los gasterópodos *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 *Heleobia atacamensis*. En la estación TB-2 (que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad) dominaron los dípteros. Esta estación se encontró sin agua superficial en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021.

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 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. Los Sectores Tilopozo y La Punta – La Brava no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que pudiera existir una pendiente de escorrentía entre estos la cual permita el desplazamiento de *Heleobia atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.

**Figura N° 13-100. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo.
 A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2, en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021, se encontró sin agua al momento del muestreo. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19.

- Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

En relación con el registro histórico de plantas vasculares acuáticas en los sectores Peine, La Punta y La Brava y vegas de Tilopozo, obtenidas en las campañas realizadas en la LB invierno (2008, 2013 y 2014) y los monitoreos invierno (2016 - 2022), 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 - 2023), 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 hidrófitas *Ruppia filifolia*, *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata*, *Puccinellia frigida*, *Triglochin concinna*, *Baccharis* sp., y *Sarcocornia fruticosa*. Salvo excepciones como *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófito *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° 13-45**).

Tabla N° 13-45. Resumen de especies detectadas en los sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo 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	Helófito	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	Helófito	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófito	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófito	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófito	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófito	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófito	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófito	Nativa

*Especies detectadas solo en Línea de Base en periodo de invierno.

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° 13-101 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° 13-101 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° 13-101 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, si bien durante la LB 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° 13-101 B**).

Por último, hay que señalar que, excepcionalmente, no se registraron monitoreos en la campaña verano 2021 y 2023 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, estas comenzaron a ser registradas desde la campaña de invierno 2016 en adelante, no siendo consideradas en las campañas de invierno 2008 y 2014. 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 respecto al 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, en invierno 2017 se registraron coberturas entre 30 y 25% en la estación S-5 y en las estaciones SA-25 y S-10, 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° 13-101 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* (sin ser determinada la cobertura) 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° 13-101 A**).

Con relación a la riqueza histórica detectada en periodo de verano, como se señaló anteriormente no hubo acceso en la actual campaña verano 2023, 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.

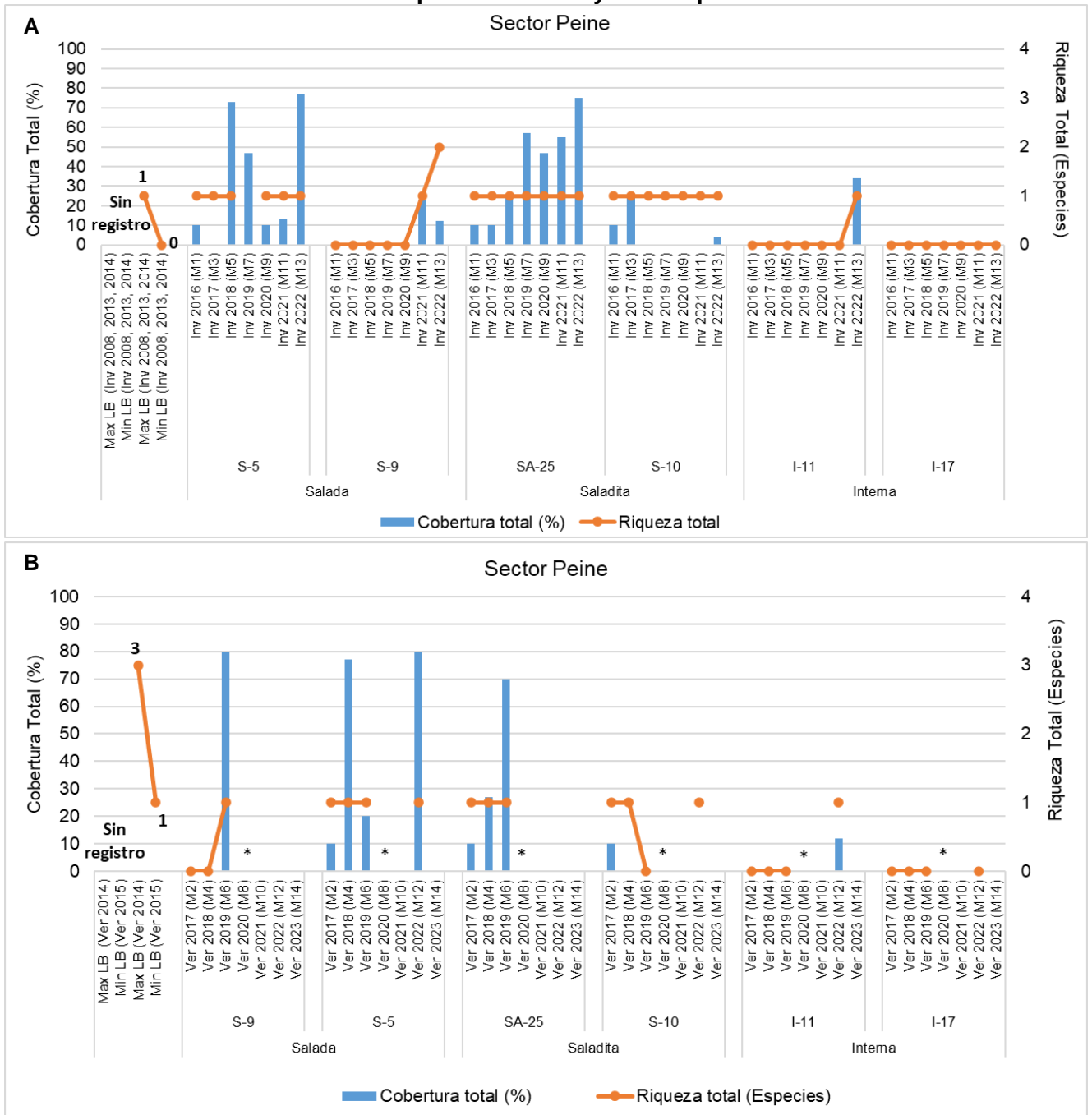
Respecto de las coberturas totales, han sido registradas desde verano 2017 en adelante, no existiendo registros de línea de base (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

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° 13-101 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° 13-101 B**). Cabe señalar que no se han registrado campañas de monitoreo en verano 2020, 2021, 2022 (solo algunas estaciones) y 2023 por imposibilidad de acceso y por la pandemia COVID-19.

Figura N° 13-101. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas 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 por COVID-19: Para la campaña estival 2021 y 2023 no se realizó monitoreos en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine. 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.

En relación con la riqueza histórica total detectada en el sector **La Punta - La Brava**, se observó en periodo de invierno un registro total de plantas vasculares acuáticas de 6 especies las que correspondieron a *Ruppia filifolia*, *Patosia clandestina*, *Potamogeton pectinatus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*. Mientras que para el periodo de verano se registraron 4 especies *R. filifolia*, *S. fruticosa*, *T. concinna*, *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**).

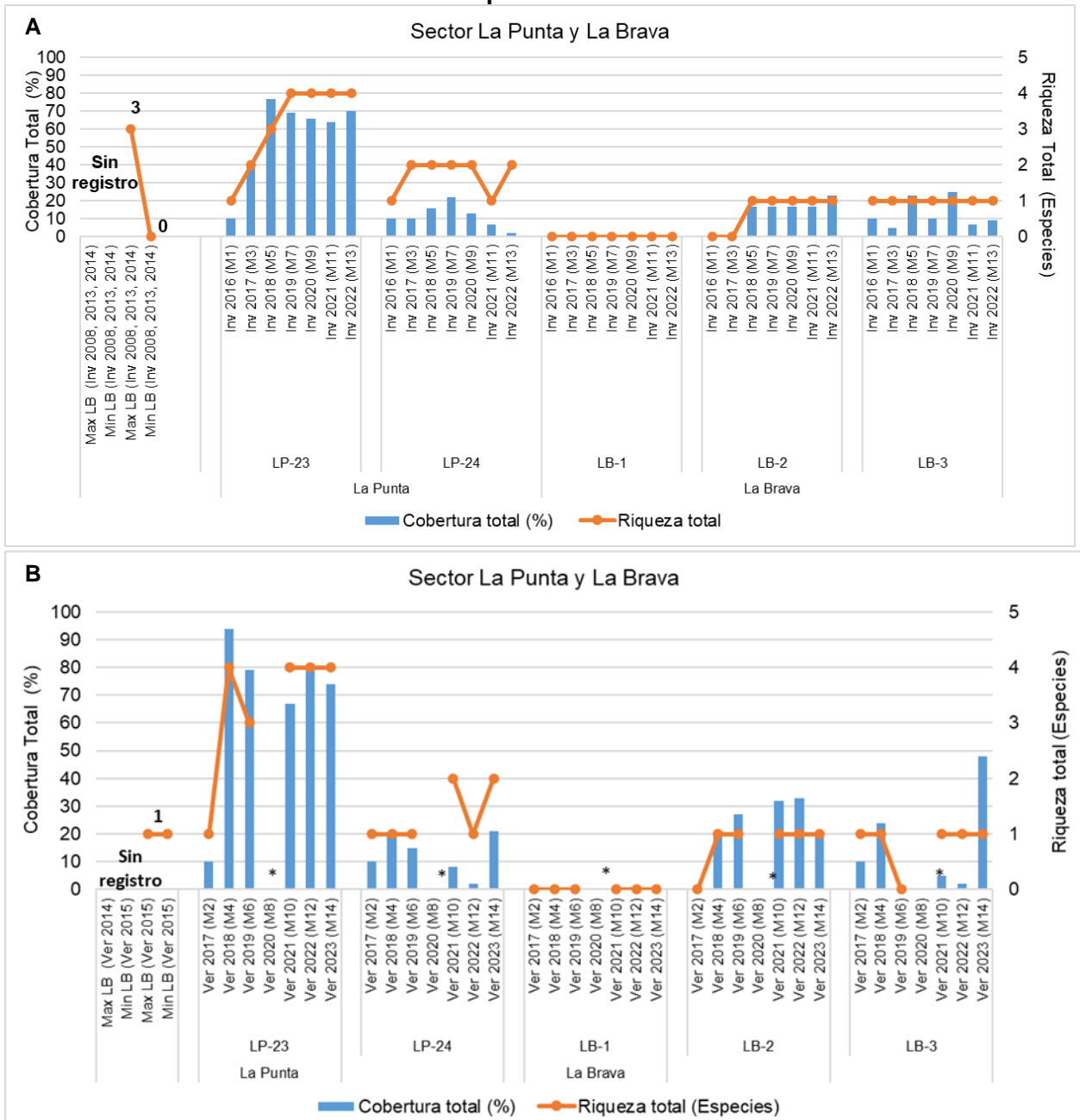
Cabe destacar que en campañas de los monitoreos del período 2016 - 2023, se observó que la hidrófita *Ruppia filifolia*, siempre estuvo sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. Por otra parte, solo en las orillas de la laguna La Punta se reportó la presencia de la helófito emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* fue reportada en invierno 2018, 2020, 2021 y 2022 y en verano 2018 a 2023 (no hubo monitoreo en verano de 2020) 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 acuáticas. 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° 13-102 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° 13-102 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 y 2022 y verano 2018, 2021, 2022 y 2023 en la estación LP-23 (**Figura N° 13-102 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, se observa que en los monitoreos la estación LP-23 ha presentado valores máximos en invierno de 2018 con 77% y verano 2018 con 94%, manteniéndose normalmente con cobertura superiores a 60% (con la 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 campañas de verano con registros entre 2 y <50% (**Figura N° 13-102 B**).

Figura N° 13-102. 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.



(*) 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 ambos periodos estacionales de invierno y verano. Las que correspondieron a la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* y las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. Cabe señalar que el sector de vegas de Tilopozo no presenta registro de línea de base, por lo que se analizan los registros del monitoreo desde invierno 2016 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

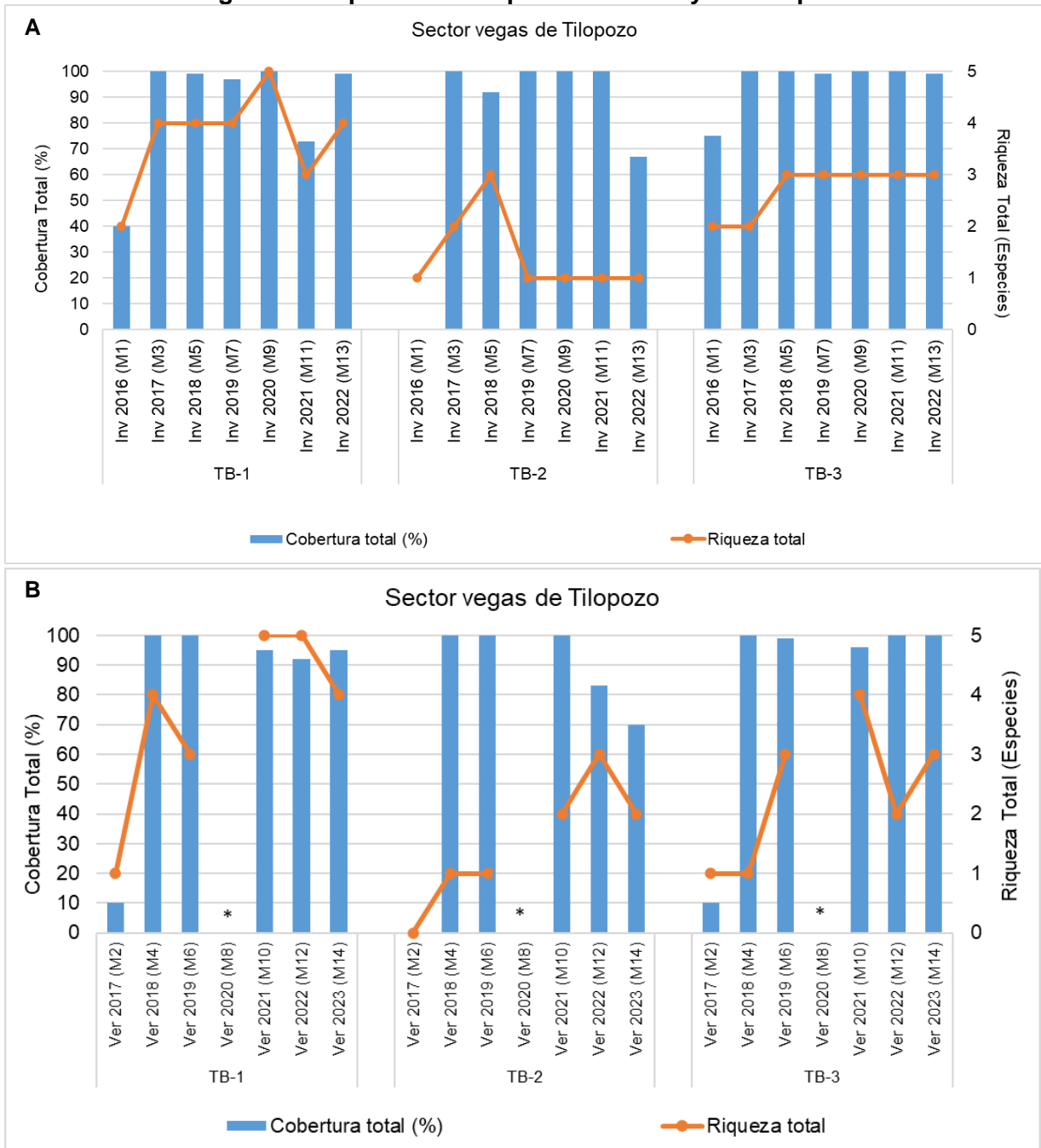
La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 5 especies en invierno y verano, encontrándose diferencias entre estaciones de muestreo, que se describen en los próximos párrafos. Cabe consignar que, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos tipo pozas y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico (**Figura N° 13-103 A y B**).

En relación a las coberturas totales de las plantas acuáticas, en periodos de invierno y verano, en 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° 13-103 A y B**).

Respecto de las coberturas, se observa que en los monitoreos 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, las estaciones ubicadas en las vegas de Tilopozo, registraron un número mayor de especies respecto del sector Peine y menor a La Punta y La Brava, siendo este último sector el que presentó menor 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° 13-103. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

13.6 En relación con Área de Lagunas

13.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos de la Adenda 5 (2015)

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el séptimo año de monitoreo 2022 con respecto a los registros históricos se presenta en la **Tabla N°13-46**.

Tabla N°13-46. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades - 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2022 (invierno y verano), respecto de los registros de la Adenda 5 (2015).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)		Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2022			
		Superficie mínima histórica - Adenda 5 Landsat (ha)*	Superficie mínima histórica - Adenda 5 AR (ha)**	Invierno 2022		Verano 2022	
				ha	m ²	ha	m ²
Superficies Pleiades - 1A de alta resolución	LP LB	-	31,6 ha (febrero 2014)	45,1	451.057	25,3	253.216
	PE	-	48,9 ha (marzo 2006)	50,5	504.796	24,2	242.284
Superficies Landsat 8 de media resolución	LP LB	19,2 (marzo 1973)	-	56,9	569.345	26,9	269.378
	PE	25,4 (noviembre 1975)	-	62,8	628.203	27,7	276.620

Dónde: PB: La Punta y La Brava, PE: Peine.

(*): 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 por otro lado, superficies de mediana resolución (LANDSAT), que se presentaron para el PSAH en el "Apéndice L. Monitoreo de dinámica espacio-temporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de imágenes satelitales LANDSAT" 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

Cabe señalar que los valores estimados de AR que se tienen de referencia previo a agosto 2016 para el caso de La Punta - La Brava, fueron cinco superficies estimadas en los meses de enero, febrero y abril, obteniendo un mínimo para febrero 2014 (31,6 ha). En el caso de Peine, se contó con cuatro datos de superficies AR, correspondientes a los meses de marzo y abril, donde el mínimo se tiene para marzo 2006 con una superficie de 48,9 ha.

En el caso de las superficies Landsat, se tienen de referencia previo a agosto 2016, las presentadas en Apéndice L del Anexo 1 del PSAH, las cuales fueron estimadas sin trabajo de terreno y en unidades de m².

De los valores de las superficies en alta resolución estimadas para invierno (agosto) 2022 y verano (diciembre) 2022, para el sector **La Punta - La Brava** y sector **Peine** se observan sobre el mínimo histórico en invierno 2022 y bajo el mínimo histórico en los resultados de verano 2022. En el caso de los registros histórico de Landsat, estos se encuentran por debajo de los registros semestrales de invierno y verano de 2022.

Las mayores variaciones con respecto a los registros históricos de alta resolución se presentan en el sector La Punta – La Brava en invierno 2022 con +13,5 ha (+42,7%) y en verano 2022 en el sector Peine con -24,7 ha (-50,5%).

Las diferencias señaladas respecto a la situación de línea base, 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 robustecer el análisis de la evolución en el tiempo de las superficies lagunares y considerando que durante la evaluación del proyecto se generaron antecedentes que formaron parte de los análisis históricos, es que en este séptimo año del PMB se incluyen como parte del análisis comparativo histórico de las superficies lagunares antecedentes de imágenes Landsat desde 1972 hasta 2014 (presentados durante la evaluación ambiental del proyecto). Lo anterior, busca presentar la misma información que se entrega a través del seguimiento lagunar del Plan de Seguimiento Hídrico o PSAH y con ello, explicar la evolución de las superficies obtenidas en estos últimos 7 años de seguimiento de frecuencia semestral y saber si son parte de una variabilidad interanual y/o intranual histórica, considerando además todos los factores que influyen en el funcionamiento lagunar de cada uno de los sistemas. Las imágenes Landsat se suman a las imágenes de alta resolución disponibles, cuyo análisis se incluye también dentro de la presente discusión.

De esta forma, y desde el punto de vista de las imágenes Landsat, se cuenta con los siguientes tres (3) 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.

La comparativa de los datos históricos desde 1972 a 2014, realizados durante la evaluación del proyecto (por el proveedor 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. El resultado, son las superficies de los cuerpos de agua en metros cuadrados (m²) 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, 2016-2022 (serie complementaria Adenda 5)
Como complemento al análisis anteriormente citado, se agrega en el presente PSAH la serie temporal interanual de los años 2016 a 2022. En este caso, la metodología empleada busca asemejarse a la aplicada en la Adenda 5, es decir, mantiene la referencia a los meses de máxima y mínima extensión lagunar (agosto y diciembre; inviernos y veranos) y la estimación de la superficie lagunar mediante el índice NDWI; sin embargo, la estimación de la superficie lagunar es mediante la realización de “máscaras de agua” es decir, una clasificación binaria en que se obtiene valores de agua y no agua, donde el resultado final es el análisis de la frecuencia de píxeles con valores positivos a agua ($NDWI > 0$, umbral fijado en 0) y su conversión a metros cuadrados (m^2). El valor de umbral fue determinado a partir de la observación de histogramas⁵⁰, el muestreo al azar de píxeles y la verificación de los umbrales usados en los monitoreos de 2016 a 2022. Para todas las imágenes, la automatización del proceso de correcciones radiométrica y atmosférica se realizó mediante la plataforma de análisis “R”, que se encuentra bajo la Licencia Pública General (GPL) del proyecto colaborativo de software libre GNU. La secuencia de operaciones se ejecutó en un *script*, basados en los paquetes *Landsat*, *Landsat8*, *Rgdal*, *Rgeos*, y *Raster*; este *script* también considero la obtención del índice espectral utilizado (NDWI) y su reclasificación, además del corte de áreas de estudio. Esta metodología se utiliza tanto en el análisis intranual como interanual de las imágenes Landsat 8.

3. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2022, PMB N°1 a N°7 (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°6 y del presente informe N°7 (PMB y PSAH), 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 el análisis visual.

De esta forma, las superficies resultantes que se realizan en base a esta metodología de clasificación supervisada entregan en mayor detalle las superficies de los cuerpos de agua, ya que cuenta con la combinación de cuatro índices espectrales y el trabajo en terreno 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 – 2022), ya que esta última establece los rangos promedios ocupados por cuerpos de agua considerandos por un solo índice (NDWI) en un contexto de larga data.

⁵⁰ Representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

Si bien las áreas determinadas en base a las imágenes Landsat, poseen diferentes metodologías utilizadas por los diferentes proveedores que las analizaron para Albemarle en su oportunidad, éstas no son limitantes para ampliar la visión general del 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. Por lo tanto, se considera que la información recopilada de Landsat permite tener una visión general del comportamiento histórico y por ello se analiza en su conjunto, para ampliar el espectro de la variabilidad que se tienen de las superficies lagunares en su análisis con imágenes de alta resolución (AR), que vale la pena indicar, corresponden sólo a 4 o 5 imágenes entre los años 2006 y 2015; y que por lo demás, corresponden a las fechas de 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 (serie complementaria mensual) (ver imágenes utilizadas en análisis en **Anexo Área de Lagunas 1.19 Imágenes Landsat 2019 – 2022 – Análisis NDWI**), 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 del 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 PSAH 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 de la Adenda 5 (2015), para el funcionamiento lagunas, se tiene que el origen de la alimentación de las lagunas del Sistema La Punta y 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, se genera una interfase salina, que se dispone perpendicular al flujo, por lo que el agua dulce-salobre se ve forzada a ascender, aflorando en superficie, dando origen a las lagunas. 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.

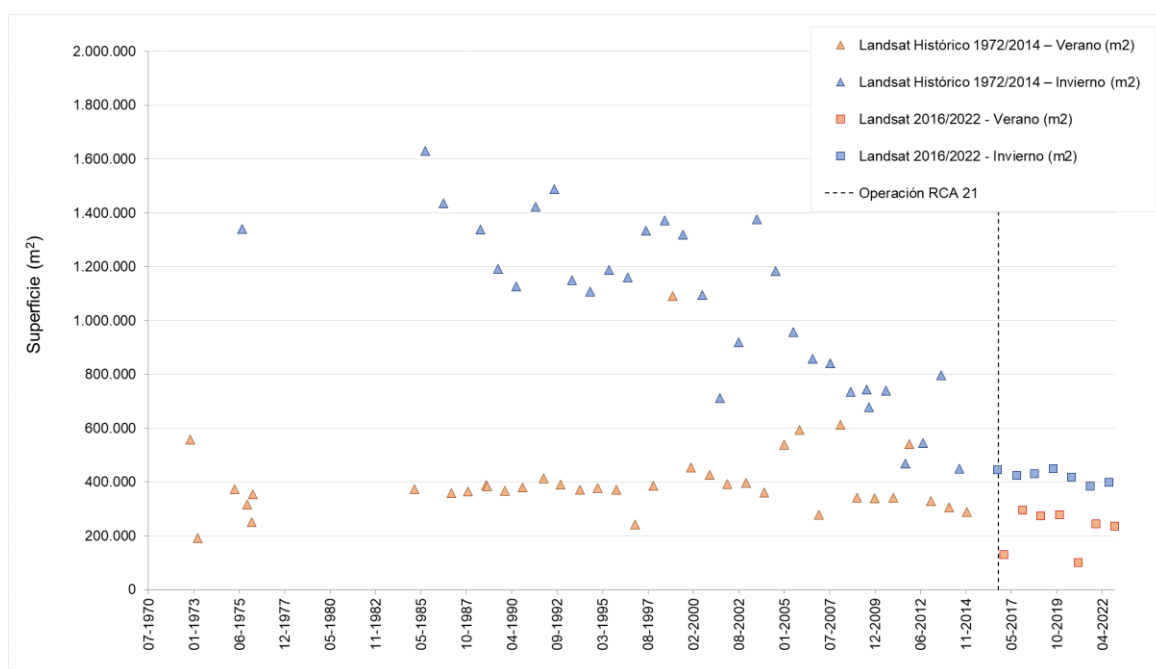
- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria)

En la Figura N° 13-104 se presenta la serie histórica entre los años 1972 y 2022 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 m²), diciembre 2016 (130.500 m²) y diciembre 2020 (99.900 m²).

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, excepción de un evento de alza en enero del año 1999. 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 una leve baja en las coberturas estimadas en invierno 2021 e invierno 2022. Con respecto a los resultados de verano, se mantiene el verano de 2020 como la fecha con menor superficie estimada.

Figura N° 13-104. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.

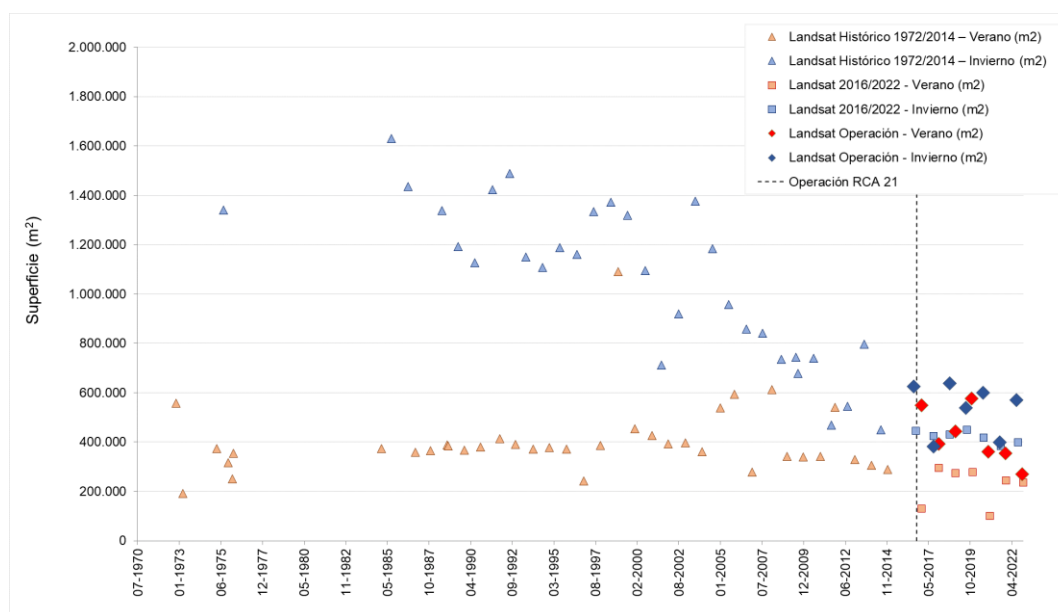


Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5.

- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (series PMB) en relación a las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)
- Los registros de superficies calculadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2022, como parte del PSAH/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 y también las superficies Landsat de los últimos años 2008-2014, como se observa en la Figura N° 13-105

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, 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 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.

Figura N° 13-105. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas 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

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat (serie complementaria)

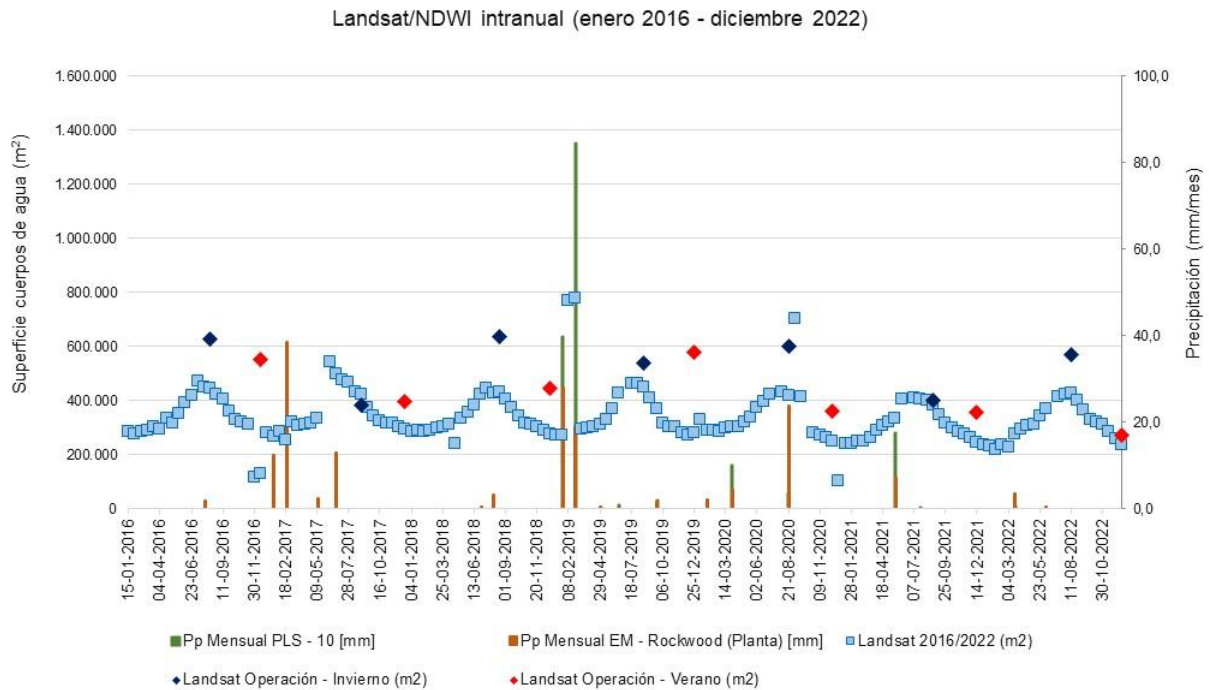
De la serie Landsat 2016-2022 (Figura N° 13-106), si bien se observa aumentos de superficie lagunar en invierno y descensos en período de verano, la amplitud de la variación es pequeña y no se observa una correspondencia directa con la precipitación medida en la estación meteorológica planta con las superficies observadas, sino más bien se da una respuesta puntual y de plazo casi inmediato, 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 a los eventos

puntuales. No se han registrado a la fecha eventos de precipitaciones que puedan generar un aporte a las superficies lagunares en seguimiento.

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 o inmediato. Este comportamiento es coherente con el observado en los niveles de pozos y barrenos del sector. De los registros de superficies calculadas semestrales del PSAH durante los monitoreos 2016 – 2022, Figura N° 13-106, se observa que coinciden temporalmente con las variaciones en la serie de tiempo de NDWI intranual y el mayor aporte de precipitaciones (agosto 2020).

De la serie Landsat periodo 2016-2022 se observa además una tendencia al descenso de las superficies máximas (de invierno) y en menor grado de las superficies mínimas de verano. Se observa a partir del verano 2020, un nuevo nivel mínimo (de verano) que se ha mantenido en los últimos 2 años 2021 y 2022.

Figura N° 13-106. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.



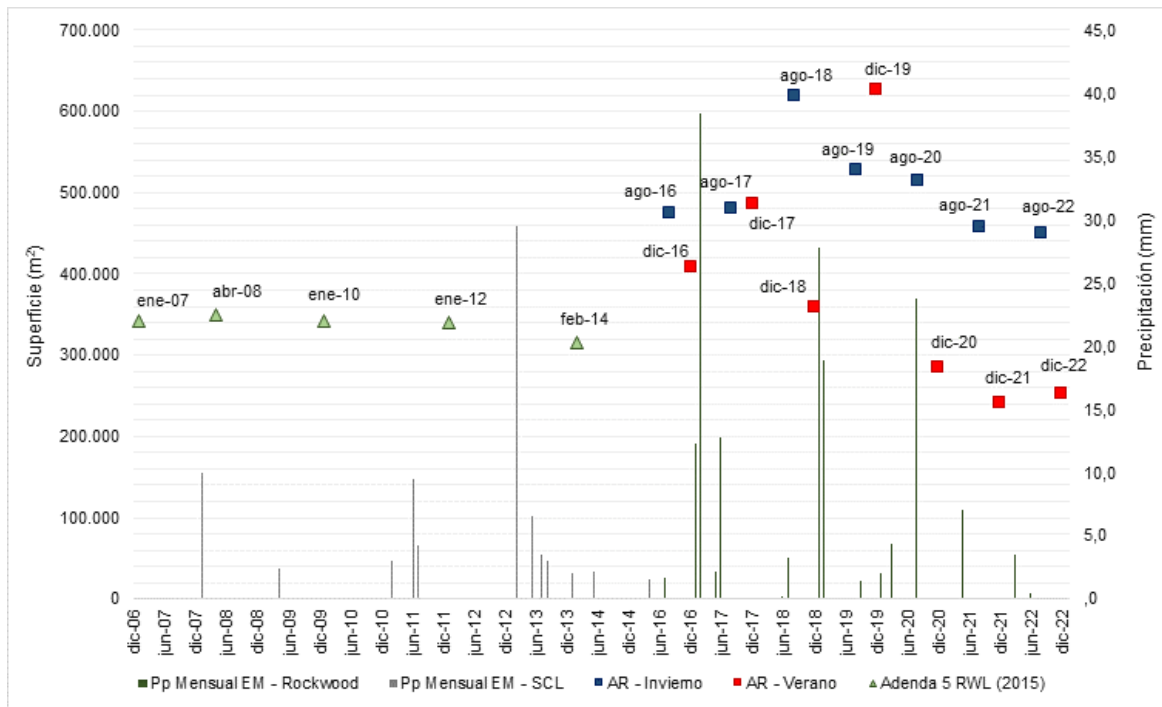
Fuente: Elaboración Propia

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución con registros históricos

Con respecto a la variación de las superficies lagunares, en la **Figura N° 13-107**, se presentan las imágenes de alta resolución para el sector de La Punta - La Brava, junto a las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015). Las superficies semestrales desde imágenes de alta resolución del PSAH, se presentan en general sobre los registros históricos, a excepción de los meses de diciembre de los años 2020, 2021 y 2022; sin embargo es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

De los aportes de precipitaciones en el periodo 2016 – 2022, los cuales se presentaron en general en los meses de enero - febrero y mayo - junio; 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 2018, 2020, 2021 y 2022 no presentan lluvias asociadas y ambas están precedidas de meses de nula precipitación. 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 de referencia de AR (**Figura N° 13-107**) 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° 13-107. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava.

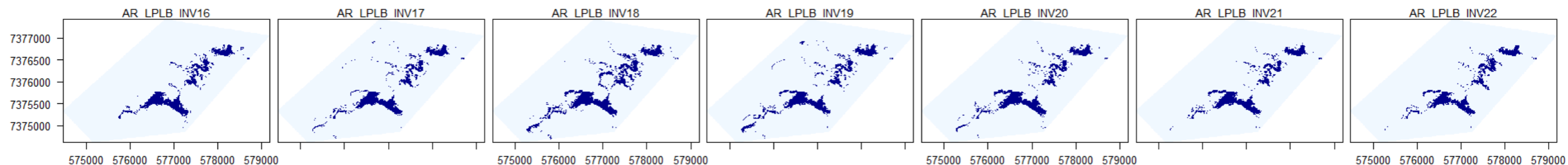


Fuente: Elaboración Propia

- Comparación Imágenes/Cartográfica entre monitoreos 2016 al 2022

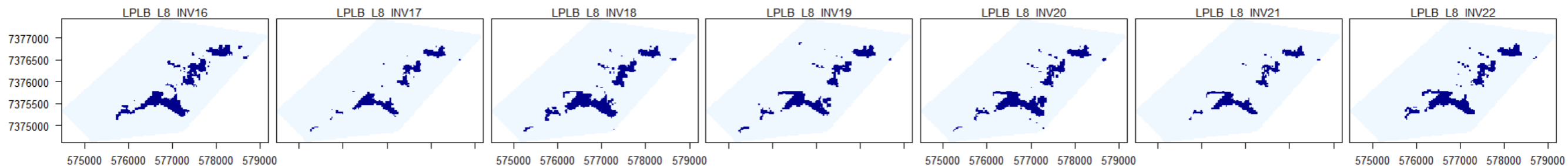
La Figura N° 13-108 a la Figura N° 13-111, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo, desde 2016 a la fecha y su representación espacial. Para el sector de La Punta - La Brava, se observan variaciones cíclicas interanuales (estacional), con un aumento de las superficies observables de los cuerpos de agua en el registro de invierno 2018 y verano 2019, tanto en las imágenes de alta como de mediana resolución. De estas imágenes se puede ver que el aumento de los cuerpos de agua se produce en las superficies de ocupación no permanentes y zonas ribereñas; en estos casos las precipitaciones dan como resultado un aumento de las superficies observadas, las cuales tienen una condición no persistente, concentrándose en los bordes del cuerpo de la Laguna La Brava e inundaciones menores cercanas a la cuña salina.

Figura N° 13-108. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades - 1A.



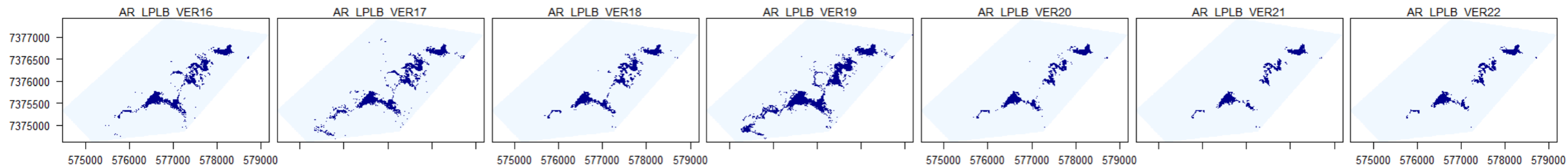
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N° 13-109. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



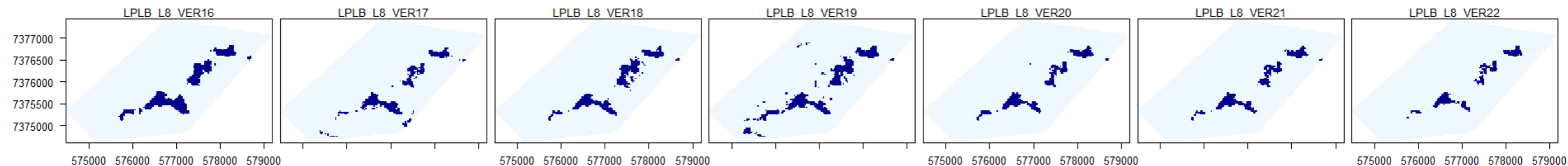
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N° 13-110. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades - 1A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022.

Figura N° 13-111. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), 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 2022.

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), 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° 13-112) lo cual se corrobora con el análisis intranual año 2016-2022 de la misma Figura.

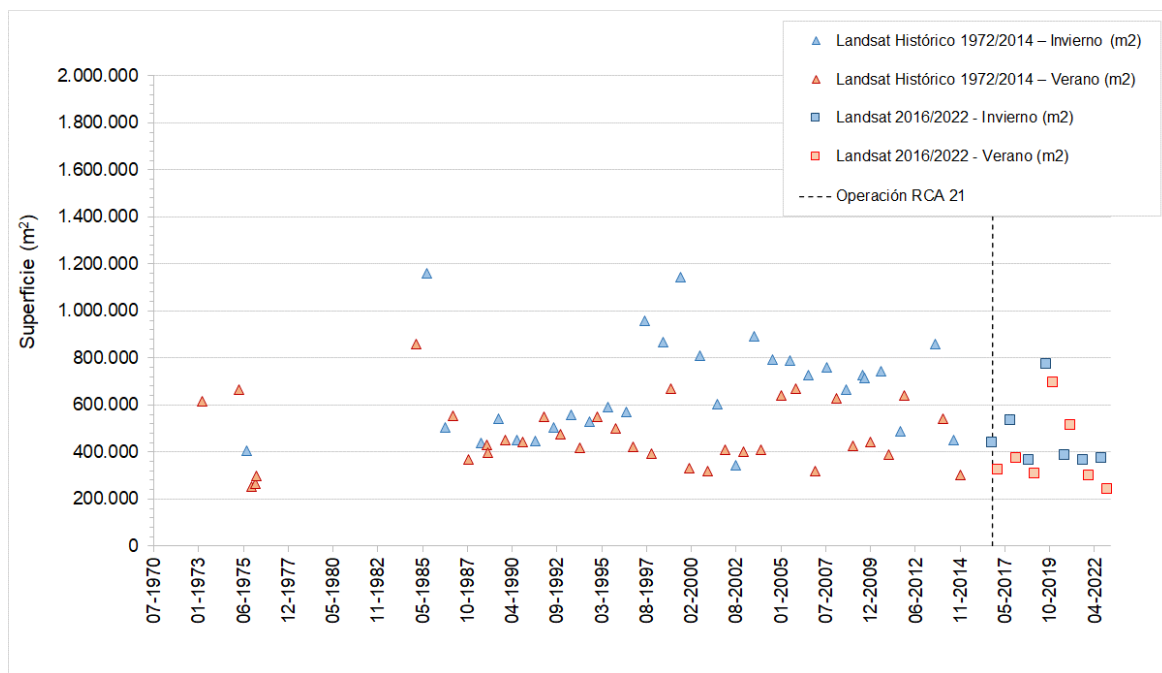
De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5, se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, *“las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose 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 y serie complementaria)

En la Figura N° 13-112, se presenta la serie histórica (1972 – 2020) de imágenes de mediana resolución. En la serie, se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo los años con mayor superficie en julio 1985, julio de 1999 y julio de 1997 cuyas superficies bordean o superan los 1.000.000 m². En el último tiempo (2016-2022) se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, manteniéndose estable y en el rango de los valores históricos.

La tendencia de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto, triángulos celestes), muestra un ascenso desde 1972 a 1998; luego una tendencia al descenso desde esa fecha, con leve aumento en el 2013; y finalmente una variación no concluyente entre 2015 a 2022. Por otro lado, la tendencia de las superficies reportadas en verano (triángulos naranjas) muestra una cierta variabilidad hasta el año 2005 y luego una tendencia a la baja de sus valores mínimos Figura N° 13-112.

Figura N° 13-112. 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 (series PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)

En la **Figura N° 13-113** se presentan las superficies lagunares determinadas en el PSAH entre los años 2016-2022, con relación a las superficies históricas determinadas mediante NDWI – Landsat (1972-2020). En la figura se observa que las superficies reportadas para el PSAH se encuentran dentro del rango histórico, y que a su vez entre 2016 – 2020 se muestran superiores a las determinadas mediante la metodología NDWI – Landsat en el periodo 2016-2022; sin embargo las mediciones de invierno 2021, verano 2021 y verano 2022, son mayormente concordantes a los valores de la serie NDWI, con superficies entre los 350.000 m² y 280.000 m² aproximadamente.

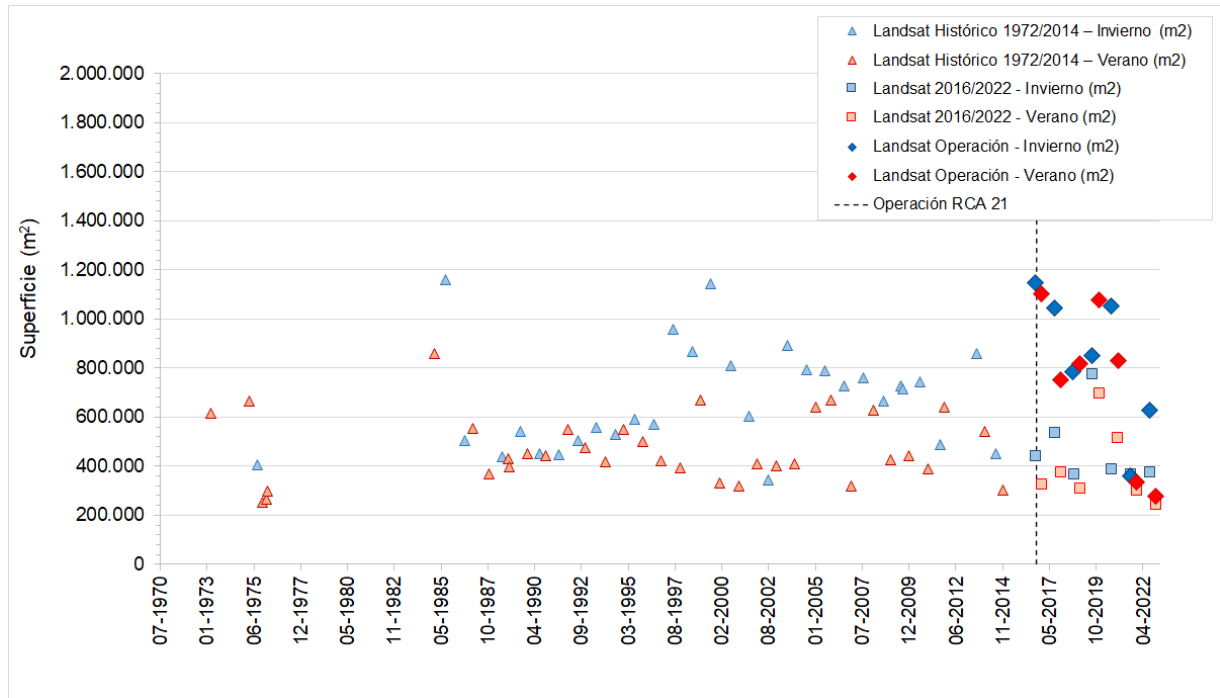
Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presentan combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno y análisis visual fotointerpretativo, 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. En particular para el sector de Peine, resulta relevante mencionar que la laguna Interna, ubicada al final del sistema lagunar de acuerdo con la dirección del flujo, resulta ser una laguna terminal de gran superficie en relación con la superficie total del sector Peine, cuya fisonomía está determinada de manera importante por la presencia de sales. En ese sentido, la validación en terreno implementada en el marco del PSAH ha sido fundamental para mejorar la delimitación de este sistema lagunar, en particular en la laguna Interna, proceso que no ha sido considerado en la metodología NDWI-Landsat.

Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2022 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 - 2022. 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 e invierno y veranos de 2022, siendo los veranos los que presentan un mayor descenso.

Entre las principales diferencias con los registros anteriores en temporada de verano, se puede apreciar que el subsector del desborde y canales de la Laguna Interna no presenta superficie de agua para la temporada de diciembre 2021 y 2022. Cabe señalar que la Laguna Interna se “llena” posterior a las lluvias, y no se han presentado precipitaciones en el periodo 2021 – 2022 que aporten a esta condición de llenado post - lluvias, a la que resulta ser el área que aporta la mayor diferencia proporcional entre los registros de invierno y verano. Además, para el

sector Peine, se verifica un descenso en el área (grosor) de los canales de conexión entre lagunas Salada y Saladita, donde el subsector Laguna Saladita también presenta menor área de ocupación de agua; estos datos son consistentes a los determinados por las imágenes analizadas (AR – L8) y los resultados de la inspección visual a la zona.

Figura N° 13-113. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector Peine.



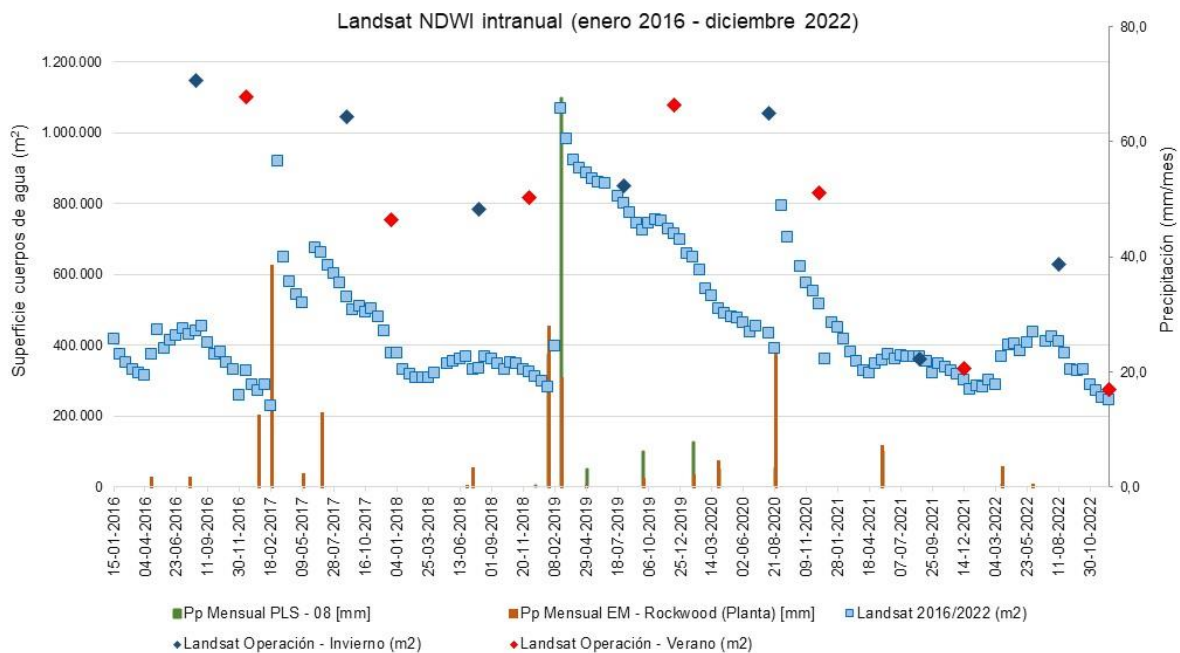
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat (serie complementaria mensual)

En el caso de los años 2016-2022, la serie de superficies lagunares de mayor data (mediante serie Landsat/NDWI) muestra las superficies más altas entre febrero de 2019 y enero 2020, fluctuando a la baja entre febrero de 2020 y agosto de 2020, con una fuerte alza en septiembre de 2020, para volver en la fluctuación a la baja hasta fines de 2020; desde marzo de 2021 hasta fines del mismo año, las superficies fluctúan en el rango de los 340.000 m², muy similar a los presentado en el periodo de enero 2018 a enero 2019. La relación con fluctuaciones puntuales asociadas con las precipitaciones en el sector, son visibles en los análisis pluviométricos asociados al área y sus alzas en febrero 2019 (18,9 mm EM-Rockwood; 67,5 mm PLS Peine) y agosto 2020 (23,8 mm EM- Rockwood; 3,29 mm PLS Peine). Desde septiembre 2020 a la fecha, no se han reportado aumentos significativos en los cuerpos de agua del sector.

Con respecto a las variaciones de las superficies lagunares del índice Landsat/NDWI 2016-2022 y los registros calculados como parte del PSAH, estos últimos se encuentran entre los registros máximos y mínimos para la serie total hasta diciembre de 2022; sin embargo los registros de invierno y verano 2021 y verano 2022, se presentan en el rango mínimo de las superficies calculadas del índice NDWI, correspondiendo a valores promedio que bordean los 350.000 m² entre los meses de julio – diciembre 2022, por lo que representarían las superficies mínimas que la serie señala para el sector y que coinciden con los valores promedios señalados como parte del PSAH para los meses de agosto y diciembre. Para la serie Landsat/NDWI 2016- 2022, (Figura N° 13-114, lado derecho), no se observa una tendencia clara para este período, en donde las superficies mínimas en verano 2016 y verano 2017 se presentan similares en magnitud a la superficie estimada para verano 2022. Las superficies máximas que se presentan son posteriores a eventos de precipitaciones.

Figura N° 13-114. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

Con respecto a la variación de las superficies semestrales del PMB desde imágenes de alta resolución, para el sector Peine (Figura N° 13-115), se puede observar una cierta variabilidad estacional reflejada por una diferencia entre el área de invierno con la de verano, salvo en lo observado en los años 2017 y 2018. Lo anterior, junto con los resultados de superficie desde

imágenes Landsat, corrobora el modelo conceptual planteado durante la evaluación del proyecto, respecto a que en general no se observa una variación estacional de la superficie lagunar Peine por influencia de la evaporación.

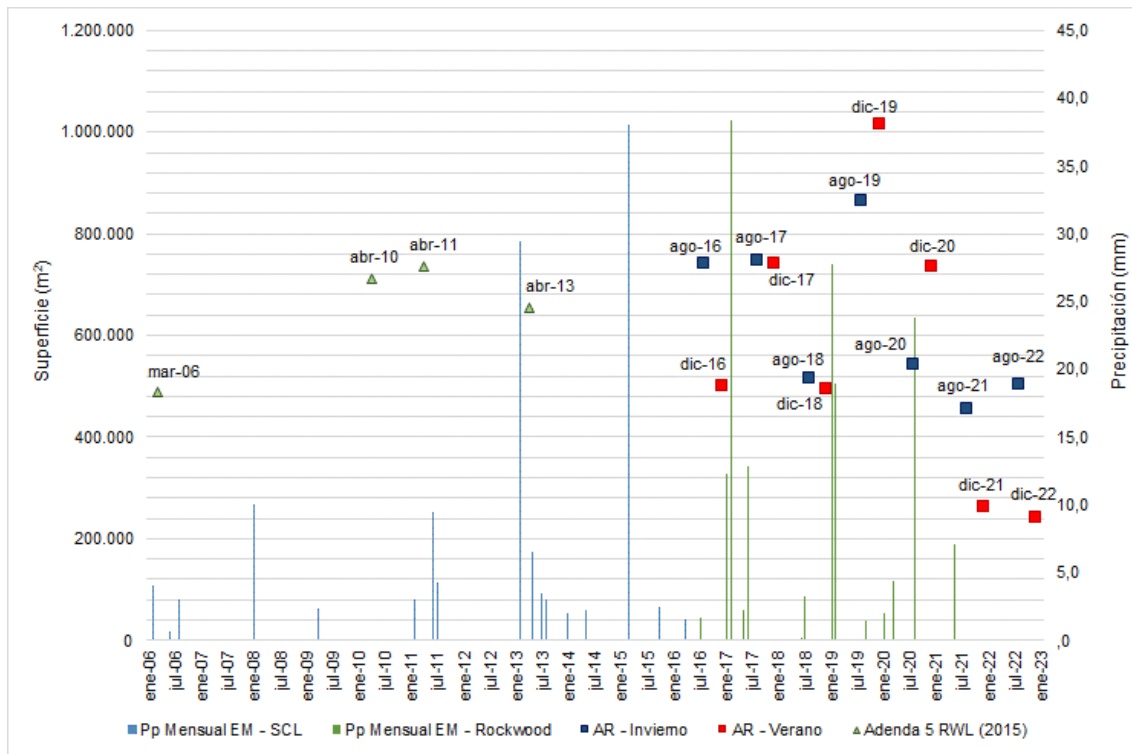
En relación con las magnitudes de las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales, de invierno 2021, verano 2021 y verano 2022, se presentan bajo el mínimo históricos AR (489.000 m²). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Con respecto a las precipitaciones para el sector⁵¹, y considerando las precipitaciones registradas por estación Peine y en los últimos años la estación de Albemarle, observando la Figura N° 13-115, se desprende que las 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 precipitaciones reportadas por la estación meteorológica ubicada en la Planta Albemarle, muestra un aumento de las precipitaciones en los meses de enero a junio de 2017 con 65,7 mm acumulados para el periodo (la estación DGA – Peine reporta para febrero de 2017, 45 mm acumulados), que no tiene un efecto directo en las superficies de agosto y diciembre de 2017, que se presentan dentro del rango estimado para el sector. Por otro lado, las precipitaciones de enero a abril de 2019 con 46,8 mm acumulados (5,5 mm acumulados según DGA – Peine), podría relacionarse con un aumento de las superficies de los reportes semestrales de agosto y diciembre 2019; sin embargo el volumen es menor a otras cifras reportadas que no han resultado en un alza en las superficies de los cuerpos de agua del sector. Los reportes de agosto 2020 con 23,8 mm., pudieron significar un aumento de las superficies reportadas en diciembre 2020; para el periodo enero – diciembre 2021, solo se reportan precipitaciones en el mes de mayo 2021 (7,1 mm datos Planta Salar) que podría significar un leve aumento de las superficies en agosto 2021. Para el periodo 2022 no se reportan precipitaciones. Lo anterior, muestra diversas respuestas y variaciones puntuales de superficies asociadas en algunos casos a eventos de precipitaciones, pero no siempre, lo que indica una cierta relación de ambas variables pero si duda que existen otros factores que también inciden, como la evapotranspiración y los niveles subsuperficiales.

⁵¹ 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 (diciembre 2022); por lo tanto, se agregan datos de las estaciones meteorológicas Planta Albemarle para contextualización.

Figura N° 13-115. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.

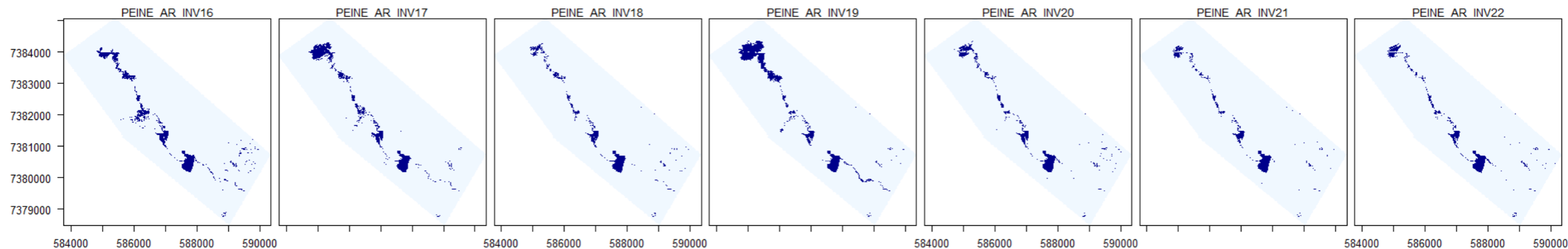


Fuente: Elaboración Propia

- Comparación Imágenes/Cartográfica entre monitoreos 2016 al 2022

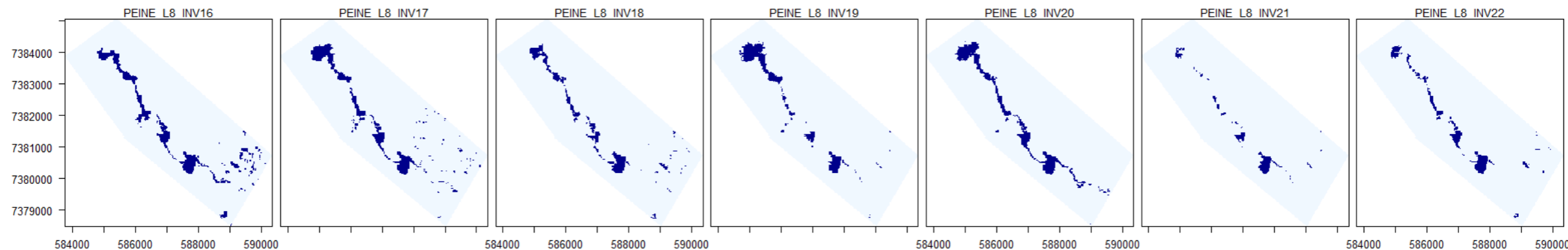
En las Figura N° 13-116 a la Figura N° 13-119, muestran los cambios en las superficies de los cuerpos de agua, desde 2016 a la fecha, y su representación espacial respectivamente. Entre las principales diferencias entre registros, se observa un aumento de las superficies de los cuerpos de agua en el registro de invierno 2018 y verano 2019; además, el subsector Laguna Interna no presenta superficie de agua para las temporadas de diciembre 2021 y diciembre 2022, lo que se extiende a sus canales de conexión con el subsector de Laguna Salada, que también muestra un retroceso de sus zonas de inundación. En la temporada de invierno, se observan variaciones en los canales de alimentación sur – norte a laguna Salada, canal de orientación sur – norte de laguna Salada a Laguna Saladita y bordes de laguna Saladita y en Laguna Interna principalmente de la sección final norte, específicamente en los años agosto 2021 y agosto 2022.

Figura N° 13-116. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades - 1A.



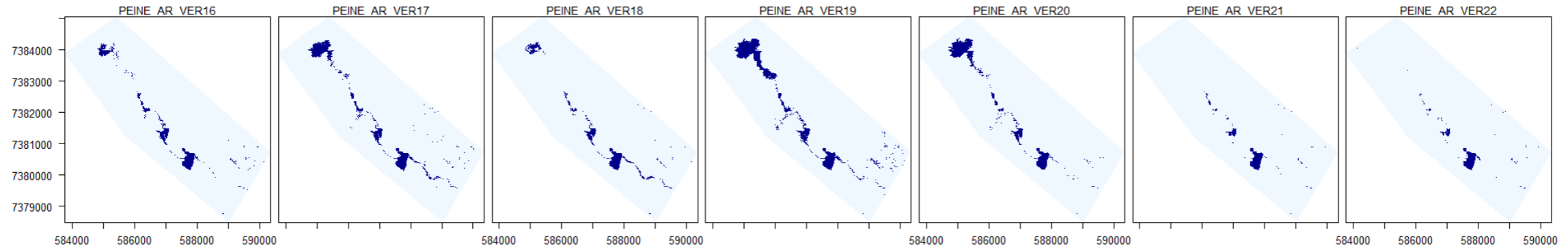
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N° 13-117. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



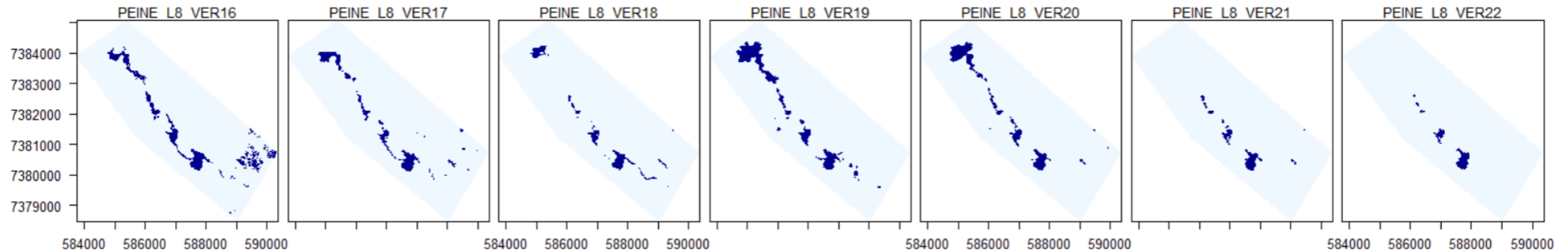
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N° 13-118. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades - 1A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022.

Figura N° 13-119. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022.

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 casi perfecto*⁵² para todos los sistemas lagunares (con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2022 que van entre 0,85 (Peine) y 0,67 (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 – 2022 van entre 0,78 (Peine) y 0,58 (La Punta - La Brava), presentando un valor mínimo de 0,44 en La Punta - La Brava para diciembre de 2020 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.

⁵² 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° 13-47. 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 y La Brava	Peine
PLEIADES 1A – ALTA RESOLUCIÓN	ago-16	Superficie (ha)	47,4	74,1
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,45</i>	<i>0,89</i>
	dic-16	Superficie (ha)	40,9	50,2
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,82</i>	<i>0,91</i>
	ago-17	Superficie (ha)	48,1	74,6
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,50</i>	<i>0,86</i>
	dic-17	Superficie (ha)	48,6	74,1
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,73</i>	<i>0,83</i>
	ago-18	Superficie (ha)	61,9	51,5
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,78</i>	<i>0,88</i>
	dic-18	Superficie (ha)	35,9	49,4
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,83</i>	<i>0,80</i>
	ago-19	Superficie (ha)	52,8	86,7
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,66</i>	<i>0,83</i>
	dic-19	Superficie (ha)	62,7	101,7
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,79</i>	<i>0,91</i>
	ago-20	Superficie (ha)	51,4	54,2
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,64</i>	<i>0,96</i>
	dic-20	Superficie (ha)	28,4	73,5
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,62</i>	<i>0,73</i>
	ago-21	Superficie (ha)	45,8	45,7
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,80</i>	<i>0,92</i>
	dic-21	Superficie (ha)	24,1	26,4
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,61</i>	<i>0,78</i>
ago-22	Superficie (ha)	45,1	50,5	
	<i>Índice Kappa</i>	<i>0,67</i>	<i>0,90</i>	
dic-22	Superficie (ha)	25,3	24,2	
	<i>Índice Kappa</i>	<i>0,41</i>	<i>0,71</i>	
Promedio Kappa			0,67	0,85
LANDSAT 8 – MEDIA RESOLUCIÓN	ago-16	Superficie (ha)	62,6	114,7
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,47</i>	<i>0,83</i>
	dic-16	Superficie (ha)	55,0	110,3
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,62</i>	<i>0,83</i>
	ago-17	Superficie (ha)	38,2	104,6
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,50</i>	<i>0,74</i>
	dic-17	Superficie (ha)	39,3	75,3
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,54</i>	<i>0,59</i>
	ago-18	Superficie (ha)	63,7	78,4
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,55</i>	<i>0,73</i>
	dic-18	Superficie (ha)	44,4	81,7
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,84</i>	<i>0,83</i>
	ago-19	Superficie (ha)	53,8	85,1
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,54</i>	<i>0,79</i>
	dic-19	Superficie (ha)	57,7	107,8
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,59</i>	<i>0,76</i>
	ago-20	Superficie (ha)	60,0	105,4
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,56</i>	<i>0,77</i>
	dic-20	Superficie (ha)	36,1	83,0
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,44</i>	<i>0,73</i>
	ago-21	Superficie (ha)	40,0	36,0
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,92</i>	<i>0,93</i>
	dic-21	Superficie (ha)	35,5	33,4
		<i>Índice Kappa</i>	<i>0,50</i>	<i>0,87</i>
ago-22	Superficie (ha)	56,9	62,8	

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar	
			La Punta y La Brava	Peine
		<i>Índice Kappa</i>	0,59	0,83
	dic-22	Superficie (ha)	26,9	27,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,46	0,75
		Promedio Kappa	0,58	0,78

Fuente: Elaboración Propia.

13.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas

En las Figuras presentadas en el capítulo de resultados de esta variable, se observa gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha (marzo 2023). Es importante tener presente que, si bien se cuenta con alrededor de 10 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 2022 y verano 2023

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 año de monitoreo (abril 2022 a marzo 2023) 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. Para el caso de los eventos de precipitación de febrero y marzo de 2023, no es posible evaluar con certeza su influencia en el nivel del pozo BA-21, debido a la imposibilidad de acceso al Sector Peine indicada previamente, si bien se cuenta con registros de abril de 2023 que muestran que hubo un incremento significativo en el nivel freático.

Con respecto a la amplitud de la variación estacional del nivel freático para el período 2022-2023, en La Punta - La Brava el rango varió entre 5,9 cm (BA-16) y 10,7 cm (BA-07), disminuyendo en ambos casos 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 octubre de 2022, 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 máximo y mínimo registrados entre abril de 2022 y septiembre de 2022 correspondieron a 1,8 cm en BA-22 y 3,2 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° 13-48 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° 13-48: Valores⁵³ 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 2022 - Marzo 2023 (m s.n.m) ¹
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
		BA-05	LP-LB	2.300,148
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990	2.299,970
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,858

¹En el caso de meses con más de un registro, se utilizó el primer dato del mes

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los registros de la Tabla N° 13-48, 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° 13-48, 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 línea base.

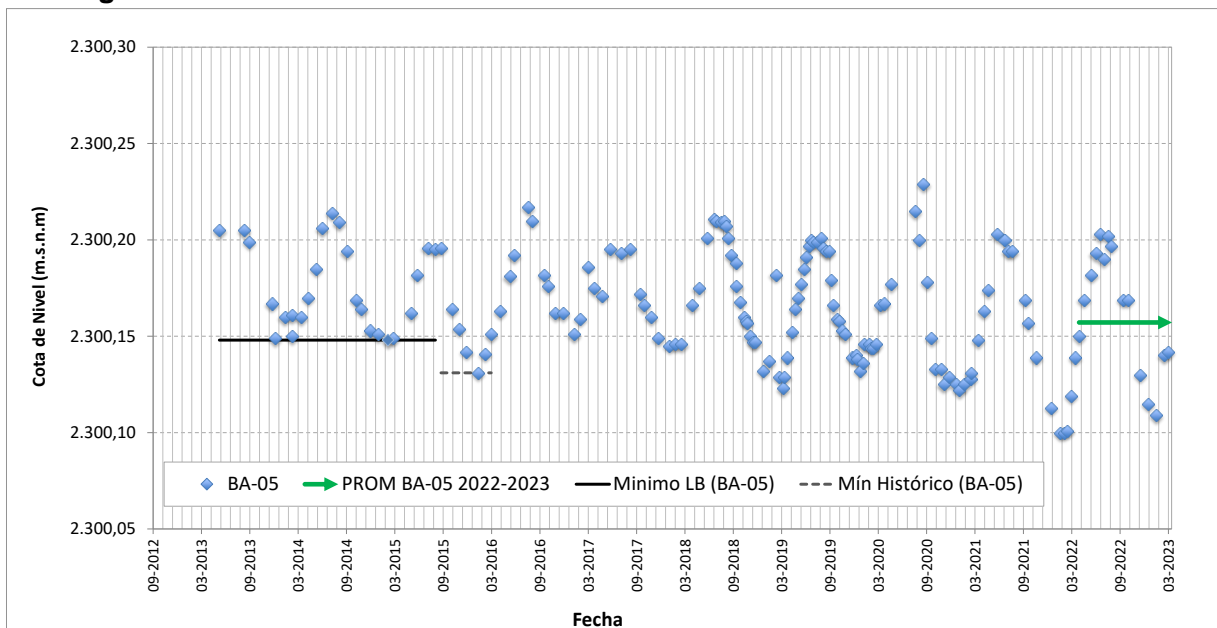
En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector La Punta - La Brava, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran

⁵³ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°7 PMB.

las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

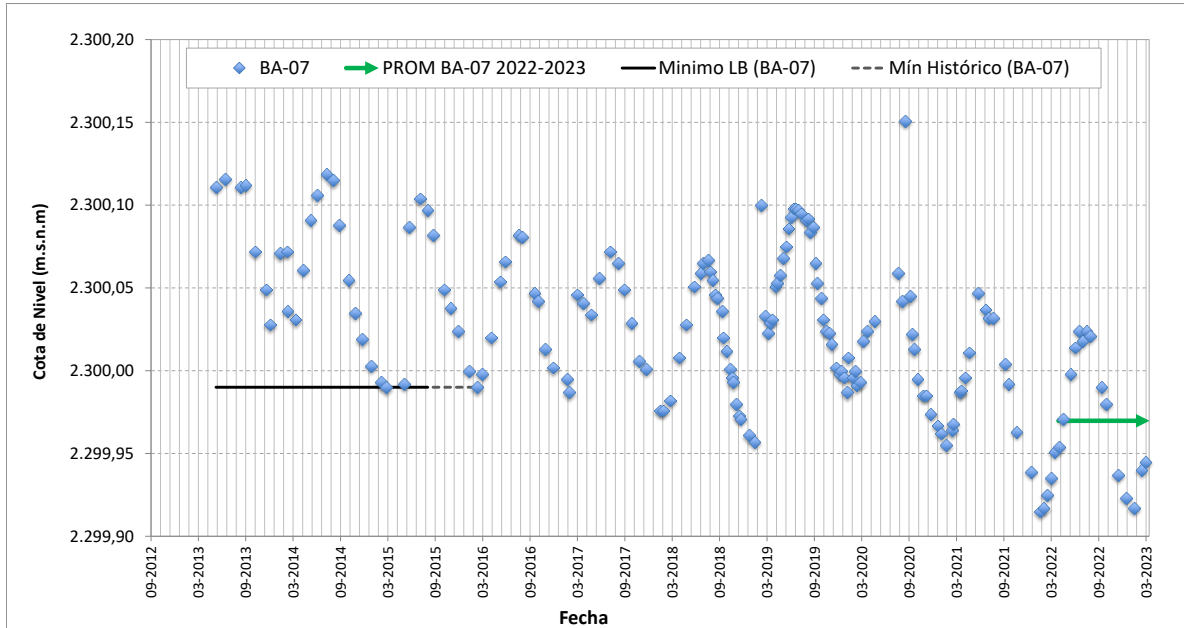
Para el **pozo BA-05** (Figura N° 13-120) los registros muestran una leve tendencia general al descenso y un mínimo histórico en enero del año 2016 (2.300,131 m s.n.m.), inferior al valor mínimo de la línea base, indicado con línea discontinua (este registro corresponde al valor mínimo previo a la etapa 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 2.300,100 m s.n.m, en enero de 2022. En el último año (abril 2022 – marzo 2023) se observó un incremento del valor mínimo, en relación al año previo. En este período, el promedio anual fue levemente superior al valor mínimo de la línea base y al del periodo histórico.

Figura N° 13-120: Variación del nivel freático en el Pozo BA-05 – Sector LP-LB



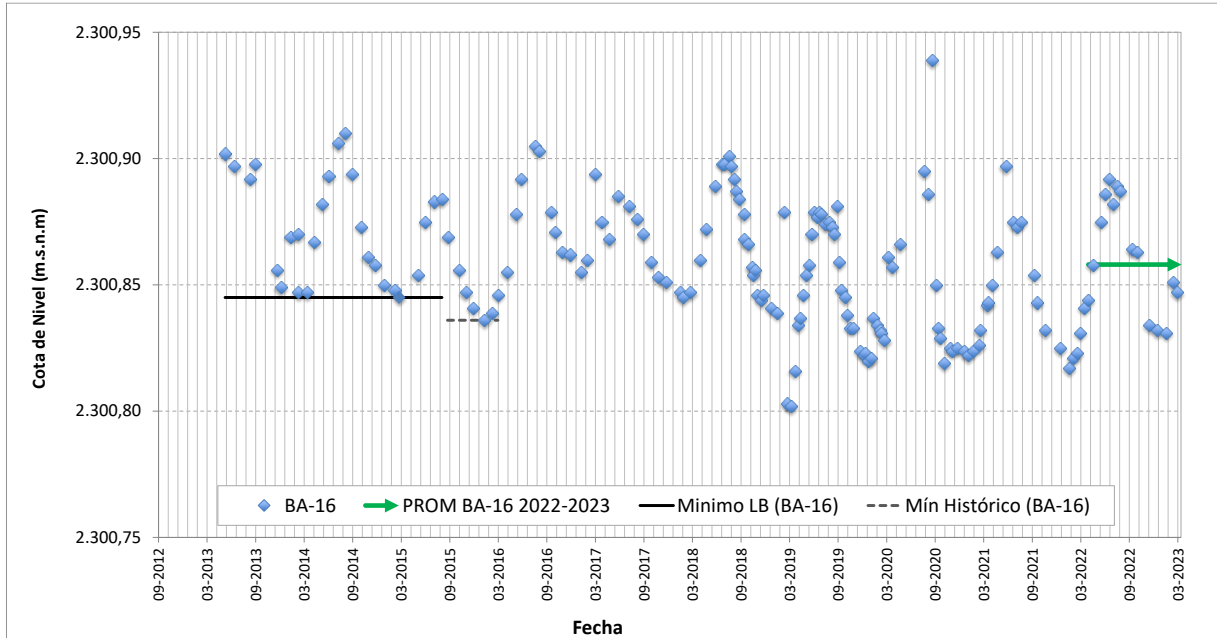
Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07** (Figura N° 13-121), 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. En el período abril 2022 a marzo 2023, el nivel medido durante el período de invierno fue inferior al de los años previos. En el caso del período de verano, los datos fueron similares a los del año previo, siendo el nivel mínimo medido levemente superior al del verano del año 2022 (2.299,915 en 2022 y 2.299,917 en 2023). El promedio anual del período abril 2022 - marzo 2023 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 durante 2023.

Figura N° 13-121: Variación del nivel freático en el Pozo BA-07 – Sector LP-LB

Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16** (Figura N° 13-122) 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 2022 a marzo 2023, los niveles fueron levemente superiores a los del año previo. Si bien el nivel máximo (invierno 2022) fue inferior al nivel máximo del invierno del año 2021 (registro medido luego de un evento de precipitación), los registros se mantuvieron altos por un período de mayor extensión, entre junio y agosto de 2022, y fueron similares a los medidos todos los inviernos desde 2019, siendo incluso superior al registro máximo de invierno de 2015. Por otra parte, los registros mínimos del período de verano fueron superiores a los de todos los años previos, desde 2019 en adelante. Al respecto, cabe señalar que los registros de febrero y marzo de 2023 son posteriores a eventos de precipitación ocurridos en el Salar de Atacama en dichos meses. Si bien hubo un aumento en los valores mínimos medidos, en relación a los años previos, los niveles medidos entre noviembre de 2022 y enero de 2023 fueron inferiores al mínimo de línea base y también al mínimo del periodo histórico (previo al inicio de la construcción del Proyecto). Sin perjuicio de lo anterior, el promedio anual para BA-16 fue superior al del período abril 2021 – marzo 2022 (2.300,858 m s.n.m.) y además fue superior al registro mínimo de la línea base.

Figura N° 13-122: Variación del nivel freático en el Pozo BA-16 – Sector LP-LB

Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, abril 2022 a marzo 2023, el nivel freático medido en los pozos BA-05 y BA-16 presentan valores dentro de los rangos de variación de los registros precedentes, con una leve recuperación respecto al año previo, en particular en los valores mínimos. En lo que respecta al pozo BA-07, si bien los niveles máximos, del período de invierno, mantienen la tendencia al descenso que se ha observado históricamente y se acentúa posteriores a las precipitaciones del año 2019, las mediciones del período de verano fueron similares, en incluso levemente superiores, a los del año anterior, estando también dentro del rango de los registros previos medidos en el pozo.

13.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine

Los registros del período 2022-2023 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 período 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 2022 – septiembre 2022), muestran que en el pozo BA-22 el valor máximo (2.300,294 m s.n.m, medido en junio y agosto) fue levemente inferior al del año anterior (2.300,299 m s.n.m, registrado en junio de 2021), mientras que en BA-21 el valor máximo (2.300,093 m s.n.m, en el mes de junio) fue levemente

superior al del año previo (2.300,091 m s.n.m, medido en junio de 2021). 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° 13-49 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 2022 – septiembre 2022, por lo que no son característicos del promedio anual del nivel freático.

Tabla N° 13-49: Valores⁵⁴ Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Abril 2022 - Sept 2023 ¹ (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,071
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,288

¹En el caso de meses con más de un registro, se utilizó el primer dato del mes. Solamente se cuenta con registros hasta septiembre de 2022.

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° 13-49).

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.

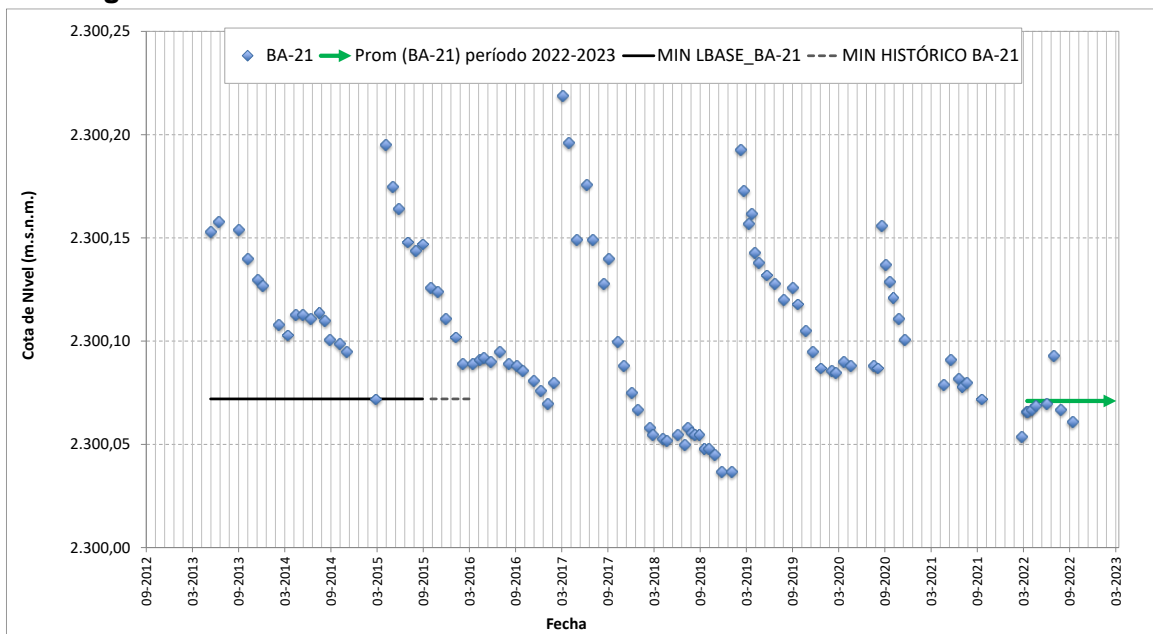
Para el **pozo BA-21** (Figura N° 13-123), se observa una dinámica diferente a la de los pozos ubicados en el Sector La Punta – La Brava, mostrando el nivel freático una baja estacionalidad y una alta influencia de los eventos de precipitación de alta intensidad, como se aprecia en el incremento abrupto 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

⁵⁴ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°7 PMB

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 manifestó en que los valores medidos en el período 2021 – 2022 fueron inferiores a los de 2019 – 2020, mientras que los registros del período evaluado en el presente documento (abril 2022 – marzo 2023) fueron levemente inferiores a los de 2021 – 2022. Al respecto, se debe hacer notar que las lluvias de febrero y marzo de 2023 generaron un incremento del nivel freático, que se puede verificar en el primer registro del monitoreo de abril de 2023 (2.300,078 m s.n.m, 14 de abril), que fue 12 cm superior al primer registro medido en abril de 2022 (2.300,066 m s.n.m, 1 de abril). Esto es indicador de que, en caso de haber contado con datos de todo el período, es probable que el promedio anual hubiera sido superior al medido en el año anterior, considerando que el efecto de las precipitaciones se habría manifestado en los registros de febrero y marzo. Por otra parte, se debe señalar que el promedio de los registros del último año, que incluye datos entre abril 2022 y septiembre de 2022, por lo que no es característico del promedio anual, es levemente inferior al valor mínimo de línea base e histórico.

Figura N° 13-123. Variación del nivel freático en el Pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

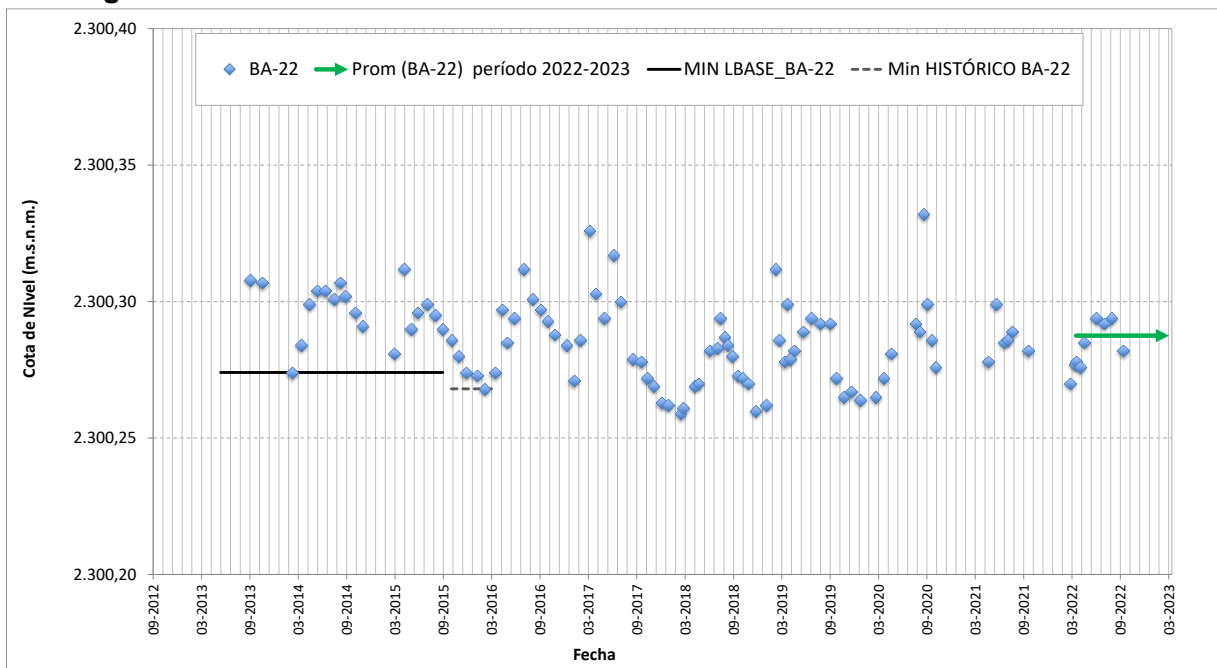
Para el **pozo BA-22**, la serie presenta oscilaciones estacionales dentro de un rango de variación estable del nivel freático, aumentando en los meses de invierno (junio a agosto) y disminuyendo en la temporada de verano (enero-febrero).

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 2022 y septiembre de 2022 (data disponible para el último año) los registros son similares a los del año previo, con una amplitud acotada (2,4 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° 13-124. 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 indicadoras 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 Informe Anual PMB N°6 del año 2022 en relación al mismo, donde se observó que:

Respecto de los niveles freáticos, como una de las variables de estado, “se observa el Sector de La Punta-La Brava con tendencia al descenso de sus niveles desde antes de la operación del proyecto y en particular con la evolución del punto BA-07 en el último año 2021-2022 con nivel promedio anual fuera del rango de línea de base, por lo que no se mantendría el estado ecológico”.

“Lo anterior, presenta consistencia con las infracciones constatadas y sancionadas por la SMA mediante Res. Ex N° 341 de 09 de marzo de 2022 en contra de Minera Escondida Limitada, cuestión que además derivó en la presentación de una demanda por daño ambiental contra Minera Escondida por generar descensos mayores a los autorizados en esta cuenca, la cual fue posteriormente ampliada por el Consejo de Defensa del Estado hacia todos los actores que extraen agua en la cuenca. Los datos observados a la fecha confirman que la causa de los descensos se origina de manera previa al proyecto de Albemarle y que se deberían a un menor flujo de recarga del agua subterránea en el lugar”.

En línea con lo mencionado previamente, ALB también tiene un Plan de Seguimiento Hídrico y un Plan de Alerta Temprana, él 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 2023, la que se extendió hasta abril del mismo año. Cabe señalar que Albemarle ha dado cumplimiento a sus compromisos ambientales y ha presentado su último Informe de Investigación de las Causas en julio del presente año (Código SMA 1028011).

En relación con la evolución de la cobertura vegetal de algunos sectores y en la estructura comunitaria, evaluada mediante transectas, en el sistema La Punta-La Brava se observó una leve disminución de la cobertura, especialmente en las transectas asociadas al herbazal de *J. balticus* en Tilopozo (T30) y La Punta y La Brava (T13) y el herbazal de *Triglochin concinna* en este mismo sector (T10, T11). En la variación de la cobertura en las transectas, en los seis años de monitoreo (2016-2022), se observaba una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, y en algunas transectas se observaba una tendencia al descenso desde el inicio al sexto año de monitoreo. Con todo y evaluando también la estructura comunitaria y sustrato salino, los cuales se observaban sin una tendencia clara, se concluyó para esta variable que *“los cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas sugieren continuar el análisis para comprobar una tendencia debido a las fluctuaciones que se registran entre monitoreos, dando a entender que los cambios significativos podrían enmarcarse a un ciclo de variación histórica según muestran los análisis de larga data del NDVI en el sistema”*.

Finalmente, para el caso de superficies lagunares, se observó que, *“La disminución de la superficie de las lagunas en La Punta La Brava sigue la misma tendencia al descenso en el largo plazo que se observa en el período de línea base (previo al proyecto). Esto es coincidente con un descenso sostenido en los niveles de agua subterránea del acuífero, lo que genera necesariamente, una disminución en la superficie de las lagunas. La disminución de niveles en la cuenca que alimenta el sistema La Punta – La Brava fue constatada por la Superintendencia en el marco del procedimiento sancionatorio seguido en contra de Minera Escondida. El hecho que la tendencia al descenso en la superficie de las lagunas sea igual a la tendencia presentada por los niveles deja en evidencia que el tamaño en las lagunas ha disminuido por la misma fuente que la disminución de los niveles.”*

Considerando lo anterior, para este año 2023 e Informe Anual PMB N°7, se considera que el análisis de estado ecológico (AEE) 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°7, el que será entregado posterior al presente informe.

Sin perjuicio de que como conclusión general el PMB Anual N°6 no evidenciaba un cambio en el estado ecológico para las tres variables de estado, Albemarle a partir del año 2022 comenzó a considerar ser proactivo y preventivo en estas materias y 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 séptimo año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle, correspondiente a los monitoreos de invierno 2022 (M13) y verano 2023 (M14), además de un análisis sobre la evolución del componente con los valores históricos del monitoreo base (MB0-2016) y los monitoreos de los siete años de seguimiento (M1 a M14; 2016 a 2023). 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 séptimo 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 37 formaciones vegetales en invierno 2022, sumando dos formaciones en verano 2023 (39 en total), no obstante, se tiene que 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 en polígonos no visitados anteriormente, generando una actualización general en la cartografía de vegetación, 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*).

En relación a las formaciones vegetales caracterizadas a través de transectas, en M14 (verano-post lluvia 2023) 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 siete 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 en el último verano (M14). 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) y aparece en el verano 2022 (M12) en dos transectas de Peine (T01 y T02), manteniéndose en invierno 2022 (M13) en la transecta T02.

Respecto a la evolución general de las **coberturas vegetales** en el periodo de seguimiento (2016-2023), se puede observar un descenso de las coberturas vegetales para varias de las transectas respecto al monitoreo inicial-MB0 (exceptuando dos transectas: T21 y T22 en Tilopozo), asimismo un aumento en la cobertura de rastrojos (exceptuando tres transectas: T21 y T31 en Tilopozo y T10 en el subsector La Brava). 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 desde MB0 (invierno 2016), aunque el **sector Peine** presenta variaciones dinámicas entre monitoreos, registrando en el último periodo (M13-M14) coberturas mayores a las registradas en los primeros descensos en invierno 2016 (M1) y verano 2018 (M4), mientras que el **sector La Punta y La Brava**, es el que presenta una disminución de la cobertura vegetal en forma más paulatina al sexto año de seguimiento (verano 2022-M12), recuperándose levemente en el último periodo (M13 y M14). 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 en los últimos cinco años solo se tiene sólo una campaña de muestreo por año, lo que influye en la interpretación sobre su evolución en estos siete años de seguimiento. Por último, el **sector Tilopozo**, presentaba hasta el quinto año de seguimiento (verano 2021-M10) una estabilidad en su cobertura vegetal, registrando posteriormente un descenso leve en el verano 2022 (M12) aumentando esta disminución en el último periodo (M13 y M14), 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 relacionar la variación de cobertura vegetal entre monitoreos, estos reflejan, en general, una variabilidad al descenso desde MB0 a M14, con excepción en algunos casos, recordando igualmente, que las coberturas registradas en MB0 representaban una condición más favorable, excepcional para un monitoreo de invierno, para todas las formaciones en seguimiento.

En este sentido, al relacionar solo las coberturas de invierno desde MB0 a M13, 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). 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 de CONAF, no obstante, destaca que entre los inviernos evaluados se observa la mayor estabilidad en las coberturas de vegetación promedio (35-40% aproximadamente).

En el caso de los monitoreos de verano, al analizar el primer verano (M2; 2017) como monitoreo referencial, se observa mayor estabilidad entre las coberturas registradas (M2 a M14). En Peine, el mayor descenso ocurre en el verano 2018 (M4; 62,5%) recuperándose en los monitoreos siguientes (M6 a M12 con 72,5% a 70,1%) y presenta un leve descenso en el último verano (M14; 65,2%). En Tilopozo se presenta estable la cobertura promedio del sector entre el verano 2017 al 2021 (M2 a M10; 30-35% aproximadamente), presentando un leve descenso en el 2022 (M12; 26,1%) a un 17,9% en el último año (M14), 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%). 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 26,5% en último verano (M14).

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 seis transectas con variaciones significativas, la transecta T06 en un matorral de *T. absinthioides* en Peine, las transectas T23, T24 y T25 en matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo y las transectas T16 y T17 en un matorral de *Sarcocornia fruticosa* en Aguas de Quelana. Para los herbazales, solo la transecta T13, en un herbazal de *Triglochin concinna* 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 2023 variaciones enmarcadas a la evolución del monitoreo, a causa de otros factores. 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 términos específicos, cabe señalar algunas variaciones sobre la cobertura vegetal absoluta registradas por transecta:

- Aumento de cobertura vegetal en dos transectas en M14, respecto a MB0: transectas **T21 y T22**, ambas en herbazales de *D. spicata* en Tilopozo. En ambas se registra una cobertura dinámica entre monitoreos, pero con un bajo rango de variación. En T21 se registra la mayor cobertura en el verano de 2022 (M12; 6,8%) y la menor cobertura en los primeros inviernos de 2016 (MB0 y M1; 3,0%). En T22 la mayor cobertura se registra en el último verano (M14; 21,6%) de un menor registro en el verano de 2017 (M2; 10,0%), destacando para esta transecta el aumento de la cobertura específica de la especie *Lycium humile* en la formación, registrando su mayor cobertura absoluta en M14 (9,8%).
- 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%) que en el último verano 2023 (M14), a pesar de una alta cobertura de rastrojo (67,6%) la cobertura vegetal se recupera en gran parte de la formación (62,8%). 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 esta cobertura en el verano (M14; 44,0%), registrando en el último año (M13 y M14), una alta cobertura de rastrojo (84% y 83%). Cabe destacar, que en esta formación se observó presencia de animales en el último año, 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. 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 M14 indicarían una menor variación, con un mínimo de cobertura absoluta de 4,8% en M12 a un máximo de 13,2% en M5.

- 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%), al igual que en T28, con una baja sostenida desde el invierno 2020 y registrando en el último verano la menor cobertura (M14; 4,4%).
- 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 en el último año marca una diferencia en más del 90% de su cobertura (M14; 1,2%), 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 M14; 0,2%).
- Disminución de la cobertura vegetal en matorrales de *Tessaria absinthioides*, principalmente en la transecta **T06** en Peine: Si bien en todas las transectas de esta formación se observan menores coberturas en el tiempo, la principal variación destaca en T06, que registraba una cobertura absoluta de 24,6% en el primer invierno (MB0-M1) disminuyendo al verano siguiente a menos de un 40% de su cobertura (M2; 14,2%) y un mínimo de 3,4% registrado en el último verano (M14).

De acuerdo a estas variaciones, 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, y considerando todas las áreas de los 4 sectores (LP-LB, Peine, Tilopozo, Soncor y Quelana), el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 19,4% (1.405,9 hectáreas) de la COT, y en base a la evolución en el tiempo, se concluye que existiría una mantención general de las superficies de vegetación activa, dentro del rango de los registros históricos de línea de base en los sectores de estudio en que se encuentran. En cuanto a los valores históricos mínimos (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015) desde imágenes de alta resolución, las superficies de vegetación activa en los sectores de **Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine**, en los siete años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido.

Particularmente, la comparación específica de la cobertura de vegetación activa en la formación de **herbazal de *Schoenoplectus californicus***, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, supera la superficie mínima en los siete años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos, mientras que el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico (22,6 ha) en los siete periodos, y levemente inferior al rango observado en 2021-2022. Estas variaciones de superficie con respecto al registro histórico pueden estar determinadas por factores propios de la variación de las coberturas vegetales y estados fenológicos, como también ser consecuencia de los ajustes de superficie vegetal de la Carta de Ocupación de Tierras (COT).

Cabe recordar que los descensos en la superficie de vegetación activa de esta formación están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período Invierno 2018 – Verano 2019 de monitoreos, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una recuperación de la cobertura vegetal post-incendios, sin embargo, también se registra un descenso de la cobertura vegetal a nivel de formación en el último año, de acuerdo al análisis con las transectas, observando inclusive un deterioro de la vegetación en el caso de los herbazales de *S. californicus* de Tilopozo.

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 14 campañas semestrales programadas y realizadas, ha habido 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**. En verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia, en verano 2021 y 2023 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo (no se muestrearon las lagunas de Peine) y en verano 2022 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo (no se completaron los muestreos de las lagunas de Peine, por restricciones de la comunidad), 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 14 campañas (de invierno 2016 a verano 2023), la riqueza es de 66 especies de vertebrados, con una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 47 especies de aves y 16 especies de mamíferos. La riqueza total en este séptimo 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 21 especies nuevas, no registradas en dicho periodo.

Los tres sectores presentan una riqueza acumulada que varía entre 48 especies en el sector de Tilopozo, a 24 especies en el sector de La Punta y La Brava, y con 32 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 al 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 60 especies son nativas, y finalmente, cuatro especies son catalogadas como introducidas y/o domesticadas.

De las 66 especies de fauna detectadas, 26 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 23 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 26 especies en categoría de conservación, 11 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 (cinco 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) 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 57 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, 10 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 46 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 2020 (41 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

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 y 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 campañas⁵⁵, 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)⁵⁶, 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). Las campañas de verano 2021, 2022 y 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 y 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

⁵⁵ Excluyendo el monitoreo de verano 2021, verano 2022 y verano 2023, sin muestreo o incompleto de las lagunas de Peine por restricción de acceso (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

⁵⁶ Ídem nota 6.

de ejemplares). 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), 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 séptimo 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.

Los resultados del registro de tapetes microbianos en los sistemas lagunares se tiene que para el sector Tilopozo, en las campañas invierno 2022 y verano 2023, nuevamente y por sexto 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, en la campaña invierno 2022 y verano 2023, se observa la presencia de microbialitos (I-11, sólo invierno 2022) en el Sector de Peine, y 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.

- *Respecto a los periodos de monitoreos invierno 2022 y verano 2023*

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta de macrozonas, se observó presencia de tapetes con tres macrozonas de pigmentación (Tipología 1). En el Sector La Punta-La Brava, estos tapetes presentaron en la macrozona subsuperficial capas comunes de tonalidad verde y naranja, respecto a las capas de la macrozona Intermedia, generalmente presentaron tonalidades rosada y/o púrpura. Finalmente, en la macrozona profunda, se hallaron principalmente capas de tonalidad marrón.

Cabe destacar que no se realizó monitoreo del Sector Peine, debido a restricciones de acceso en campaña verano 2023.

Sobre el número de capas promedio, para las campañas invierno 2022 y verano 2023 en el Sector La Punta-La Brava, se observó una disminución de las capas promedio (en una 1 capa promedio) las cuales podrían deberse a la falta de tapetes sumergidos en la estación LP-24. Es importante mencionar que, las variaciones en el número de capas, no implica que existan o no cambios directamente asociados a las estructuras de los tapetes, donde predominó la Tipología 1 en ambas campañas de monitoreo (invierno 2022 y verano 2023) para dicho sector.

El máximo valor de espesor (9 mm), correspondiente a invierno 2022 fue registrado en Laguna La Punta (LP-23), mientras que el menor espesor (2 mm) fue detectado también en la misma laguna (LP-24). En cuanto a nivel de espesor promedio, el mayor valor fue registrado en Laguna Punta (LP-23) con 7,7 mm, mientras que el menor valor fue de 4,8 mm, detectado en Laguna La Brava (LB-3). Respecto a verano 2023, el máximo y mínimo valor de espesor fueron detectados en Laguna La Brava ambos en la misma estación (LB-1), con 15 y 3 mm, respectivamente. Referente al valor de espesor promedio, se pudo observar que Laguna La Punta (LP-23) mostró el mayor valor (13 mm), así como el menor valor promedio (3,8 mm) en LP-24.

Respecto a la morfología de los tapetes, Laguna La Brava, en tanto, presentó tapetes con textura superficial coriácea y morfología convexa en ambas campañas (*i.e.* LB-1).

El sector vegas de Tilopozo en las campañas invierno 2022 y verano 2023, nuevamente y por sexto año consecutivo, no registró presencia de tapetes microbianos.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2022 la presencia de microbialitos (I-11, LP-23, LB-1) y de evaporitas (LP-24), así también para la campaña verano 2023 tanto de microbialitos (LP-23, LB-1) como de evaporitas (LP-24).

- *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 en las trece campañas realizadas a la fecha.

En el Sector Peine, predominaron los tapetes de Tipología 1 en invierno 2016, verano 2017, invierno 2017, verano 2018 e invierno 2018, sin embargo, en la campaña verano 2019, invierno 2019, invierno 2020 y verano 2021 disminuyeron respecto a lo observado en campañas anteriores, debido a un aumento en la detección de tapetes de Tipología 2 en los respectivos

inviernos, acompañado de un aumento de Tipología 3. en dicho sector en invierno 2020. Durante invierno 2021 y verano 2022, se observó un nuevo aumento, en la prevalencia de la Tipología 1. Cabe destacar, que en verano 2022, el Sector Peine fue muestreado parcialmente, por lo que el aumento en la Tipología 1 debe ser evaluado en el tiempo. Finalmente, la Tipología 1 volvió a ser predominante tanto en invierno 2022.

En el Sector La Punta - La Brava, la Tipología 1 predominó en invierno 2016, verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 y verano 2019, mientras que en invierno 2019 predominó la Tipología 2, como consecuencia de la disminución de tapetes de Tipología 1, lo cual se ve evidenciado debido a que los tapetes de Tipología 3 se mantuvieron estables en el tiempo (6 - 15%). La prevalencia de la Tipología 2 se observó hasta invierno 2021. Posteriormente en verano 2022, invierno 2022 y verano 2023, volvió a predominar la Tipología 1.

En general, los tapetes de Tipología 1 durante las 14 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 (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 trece 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.

De los cambios importantes detectados en la estratificación de capas pigmentadas de tapetes microbianos en las estaciones de monitoreo, se observó una disminución en el número de capas observadas en La Punta-La Brava (Laguna La Punta), en verano 2023 (4 capas promedio), respecto a invierno 2022 (5 capas promedio), por otro lado, en verano 2022 se registró un menor número de capas promedio (3 capas promedio). No obstante, en campañas anteriores (invierno 2016 a invierno 2021) el rango fluctuó entre 4 y 7 capas promedio. Laguna La Punta, muestra una menor número de capas desde verano 2022, comparado a inviernos en los mismos periodos, con 3 y 4 capas, promedio. En los veranos previos (2017 a 2021), el rango fluctuó entre 4 y 7 capas, mientras que en inviernos (2016 a 2020), el rango fluctuó entre 4 y 6,5 capas promedio). Por otro lado, en Laguna La Brava ha evidenciado en casi todas las campañas un promedio de 4 capas, excepto por verano 2017 y 2018 donde mostró 7 capas e invierno 2017, 2018 y 2022, con 5 capas.

Respecto al Sector La Punta-La Brava, similar a lo observado entre invierno 2021 y verano 2022, en invierno 2022 y verano 2023, las capas promedio se mantuvieron relativamente estables, con variaciones entre 15 y 20%. Respecto al espesor de tapetes en el Sector La Punta-La Brava, se observó un aumento en invierno 2022, comparado a 2021, entre 30 y 90%, mientras que en verano 2023, el valor promedio anotó un aumento de entre 26 y 87%, respecto a verano 2022. Por otro lado, el valor promedio de espesor más alto según sistema de laguna en la totalidad de las campañas se detectó particularmente en Laguna La Brava en verano 2017 (13 mm), Laguna Salada en invierno 2021 (13 mm).

A partir de la totalidad de campañas de monitoreo (14), 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 2022 y verano 2023, 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

Los suelos del área de estudio corresponden a tipo entisol, es decir, suelos con escaso o nulo desarrollo pedogenético, de origen mayoritariamente depositacional, tanto eólico como por transporte de flujos de agua (aluvional recientes y antiguos), coincidiendo con lo señalado en la literatura, lo que implica que se estén depositando constantemente nuevos materiales en superficie, los cuales se caracterizan por ser altamente heterogéneos debido a su origen mineralógico distinto. Esto determina la existencia de una alta variabilidad espacial en la característica de estos suelos y por consiguiente en los parámetros evaluados, incluso a una escasa distancia entre dos puntos.

En lo que dice relación con la topografía, la mayoría de los suelos son planos a moderadamente inclinados, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial. Por otra parte, en relación con la erosión, en la totalidad del área ésta es no aparente, y en general los suelos del área son de Capacidad de Uso VII⁵⁷ y VIII.⁵⁸

Para el área de estudio, y considerando los 12 monitoreos, la **conductividad eléctrica** varía entre 654,6 y 34.940 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que determina la presencia de suelos **no salinos** hasta **extremadamente salinos**, siendo lo más frecuentes los **salinos** y **ligeramente salinos**, y con una menor frecuencia se presentan aquellos suelos donde la C.E es inferior a 2000 (**No salino**) o superior a 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**extremadamente salino**).

En general, para el área de estudio se observa una variación en los valores de conductividad eléctrica para los mismos puntos en los diferentes monitoreos, pero no se aprecian diferencias estacionales, basado en los resultados para el área de estudio donde son frecuentes los suelos **salinos** y **ligeramente salinos** y escasas las otras categorías.

En el sector de **La Punta-La Brava** en la mayoría de los puntos la conductividad eléctrica es inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, exceptuando algunos puntos (S 3-1, S 5-1, S 6-1 y S 6-2), los cuales presentan valores superiores en algunas evaluaciones. Igual comportamiento presenta este parámetro en **Peine** para los puntos S 10 y S 12, al igual que S 1, S 2 y S 7-1 en **Tilopozo**. En los tres sectores los valores mayores se presentan habitualmente en los mismos puntos.

Específicamente, para el área de estudio las variaciones en los valores de conductividad eléctrica se pueden atribuir principalmente a las características fisicoquímicas de los suelos, las cuales condicionan el comportamiento de los factores que influyen en el aumento a

⁵⁷ Capacidad de Uso VII, son suelos con limitaciones severas que los hacen inadecuados para cultivos y su uso fundamental es pastoreo y forestal (CIREN, 1996)

⁵⁸ Corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal, y su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoya hidrográficas (CIREN, 1996).

disminución de las sales en el perfil. Entre estos destaca la humedad, textura, estructura, porosidad, entre otros. Estos pueden aumentar o disminuir la lixiviación, como también arrastrar las sales a la superficie por capilaridad, generando cambio en la concentración en el perfil a profundidad de muestreo, lo cual se encuentra también en función de las precipitaciones.

La **materia orgánica** para el área de estudio varía desde porcentajes inferiores a 0,1% hasta un 28,8%. Considerando los resultados de todos los monitoreos, las categorías de disponibilidad más frecuentes son las **muy baja y muy alta**, esta última se da principalmente entre M7 a M12, lo cual se podría atribuir al menos en parte al cambio de laboratorio ocurrido a partir de M7, y no completamente a condiciones ambientales de los puntos. Las restantes categorías participan con un menor número de puntos.

Si bien el aumento en el porcentaje de materia orgánica entre M7 y M12 podría estar relacionado con el cambio de laboratorio, es necesario disponer de mayor información para poder corroborarlo. Al respecto, cabe destacar que, por aspectos técnicos y administrativos se debió cambiar nuevamente laboratorio a partir de M13, y los resultados obtenidos para los 2 últimos monitoreos son similares a los resultados de las primeras 6 evaluaciones, lo que sería indicador de que efectivamente los cambios verificados en la materia orgánica a partir de M7 sería consecuencia del cambio de laboratorio.

En el área de estudio (**Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo**), en general se determinaron variaciones numéricas en los porcentajes de materia orgánica en la mayoría de los puntos de muestreo en las diferentes evaluaciones y no se observa una diferencia estacional en los resultados. En estos sectores, tanto los puntos con las concentraciones más altas como las menores corresponden en general a los mismos.

En términos generales, los puntos de menor porcentaje de materia orgánica se asocian a sectores sin cobertura vegetal, o cuando esta existe es del tipo arbustiva, pero asociadas a suelos de texturas gruesas o con alto contenido de sales, tanto en superficie como en profundidad. Por otra parte, los puntos con un mayor contenido de materia orgánica se presentan habitualmente en áreas con una abundante cobertura vegetal, principalmente, del tipo herbácea y un alto contenido hídrico (humedal). Una excepción a la situación anterior es el punto S 6-2 (**La Punta-La Brava**) el cual en la mayoría de los monitoreos ha presentado altos valores de materia orgánica, donde a pesar de no existir vegetación, el contenido de materia orgánica en profundidad es muy alto. Esto se podría deber a la presencia en profundidad de abundantes restos vegetales, mineralizados, los cuales corresponderían a antiguas vegas enterradas por fenómenos de aluvionales.

El **pH** del área de estudio varía entre 6,8 y 9,7 (rango que incluye las categorías **neutro, medianamente básico, moderadamente básico, ligeramente alcalino y alcalino**), siendo los suelos de mayor frecuencia aquellos donde el pH es **moderadamente básico y ligeramente alcalino**, y con una menor proporción los suelos de pH **medianamente básico**. Las restantes categorías son muy poco frecuentes.

En el sector de **La Punta-La Brava**, se observa que el pH del suelo aun cuando presenta variaciones numéricas, se mantiene en las categorías **moderadamente básico** o **ligeramente alcalino** siendo más frecuente el primero, excepto en M5 donde se observa una acidificación de los suelos.

En **Peine**, y al igual que el sector anterior, los valores de pH presentan variaciones entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos. Sin embargo, tanto desde M1 a M4, como M6 a M 14 el pH de mayor frecuencia es **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, y las otras categorías son menos frecuente. Mientras que, para M5 los suelos presentan una leve acidificación, por lo que el pH dominante es **moderadamente básico**. Igual situación se presenta en **Tilopozo**

En general para el área de estudio, y considerando todos los monitoreos, no se observa una variabilidad estacional del pH. Aun cuando se determinan variaciones numéricas en la mayoría de los monitoreos, estas generan pocos cambios en las categorías de pH del suelo, excepto en un reducido número de puntos, donde éste es más ácido o alcalino. Es necesario indicar que se determinó una acidificación del suelo en la mayoría de los puntos para M5, volviendo a los valores habituales en los monitoreos posteriores, por lo que se estima que este resultado podría deberse a una condición ambiental atípica.

La concentración de **sales solubles** (Salinidad) para el área de estudio varía entre 3.150 y 187.805 mg/kg, dependiendo del sector y se observa una importante variación de los valores de todos los puntos de muestreo entre monitoreos.

Para **La Punta-La Brava**, la concentración menor se presenta en M1 y a partir de M2 los valores aumentan en general sobre los 10.000 mg/kg, con algunos puntos donde la concentración de sales es superior a 30.000 mg/kg. Mientras que, en **Peine**, no existe una marcada diferencia en la salinidad para los puntos entre los monitoreos, y en general en la mayoría de éstos la concentración excede los 10.000 mg/kg, excepto en M1, donde la mayoría de los muestreos se encuentra bajo este valor. Los mayores registros de salinidad se identificaron en los puntos S 10-1, S 12-1 y S 12-2.

En el sector de **Tilopozo** se observa un amplio rango en la concentración de sales solubles en cada monitoreo, como entre los monitoreos (3.150 a 176.618 mg/kg). En general en la mayoría de los puntos la concentración se encuentra entre los 10.000 y 50.000 mg/kg y sólo en algunos puntos la salinidad es superior a 50.000 mg/kg, correspondiendo en la mayoría de los casos a los mismos puntos (S 1, S 2 y S 7-1). En este sector los monitoreos M1, M2 y M4 presentan los valores más bajos en relación al resto.

Para el área de estudio el comportamiento de este parámetro no presenta una estacionalidad marcada.

Respecto a este parámetro, cabe señalar que el agua (tanto superficial como de las precipitaciones), la temperatura y el tipo de suelo, son los principales factores que determinan el movimiento de las sales en el perfil. Es así como el rol del agua es mover la sales en el

perfil, ya sea profundizándolas (lixiviación) o moviéndola hacia la superficie por capilaridad. En este proceso, la temperatura ambiental es fundamental, dado que, a mayores temperaturas, mayor será la evaporación del agua desde el perfil, ocasionando la acumulación de sales en horizontes más superficiales, junto con las condiciones intrínsecas de un determinado sustrato, en términos de facilitar tanto el ascenso como descenso del agua en el perfil, como también la infiltración de las aguas lluvias. Tomando en consideración estos antecedentes, se podría señalar que, en el aumento de la concentración de sales solubles observadas en el área, no existirían factores antrópicos que estén jugando un rol relevante en este proceso.

La **permeabilidad** (conductividad hidráulica) para el área de estudio varía entre 0,2 cm/h a 3.524,1 cm/h, presentando un comportamiento muy variable en el área de estudio, pero con una categoría dominante de **alta a muy alta**, siendo las permeabilidades más bajas muy escasas.

En relación con los factores que determinan la permeabilidad en el perfil del suelo, la principal condición corresponde a la textura y estructura del suelo, las cuales están relacionadas con el tamaño y número de los poros, que en el área de estudio presentan una gran variabilidad debido a la heterogeneidad de los materiales que componen los distintos tipos de suelos presentes. Otro factor importante es de carácter antrópico, y está relacionado con la compactación del suelo, y que en el área no se verifica, por lo tanto, la variación entre puntos se debe exclusivamente a las características de los suelos y a sus cambios generados por factores ambientales.

Respecto al **nitrógeno** disponible, en el área de estudio la concentración de este macroelemento presenta una variación importante, con valores que fluctúan entre 1 a 198 mg/kg.

En general, para los tres sectores, los menores valores se presentan en los monitoreos M1, M3, M5 y M6, correspondiendo a muestreos invernales los primeros y estival el último, lo que indica que no existiría para el área de estudio una relación directa entre estos resultados y la estacionalidad. En efecto, tanto M2 como M4 y M14 presentan valores mayores que los monitoreos indicados anteriormente, siendo todos estos monitoreos estivales.

Respecto a los monitoreos M7, M9, M10, M12, M13 y M14, el nitrógeno presenta valores superiores a los obtenidos para los monitoreos que comprenden desde M1 a M6, esto se puede atribuir al cambio de laboratorio a partir de M7, considerando que los valores en los últimos 6 monitoreos se mantienen sobre niveles medios. Aun cuando se utilizó la misma metodología de laboratorio las diferencias son claras.

Estos resultados confirman lo indicado anteriormente en relación a que no existe estacionalidad, por cuanto los monitoreos M7, M9 y M13 son invernales, mientras que M10, M12 y M 14 son estivales, y presentan categorías de disponibilidad similar entre ellos.

En el sector **La Punta-La Brava**, el nitrógeno disponible en los monitoreos invernales en la mayoría de los puntos es **muy bajo**, al igual que en M6 (estival), siendo la categoría **baja** poco

frecuente, mientras que en M2, M4 y M14 la categoría más frecuente es **media** y luego **baja**, la **muy baja** muy escasa al igual que la categoría **alta**. Si no se consideran los resultados de M6, se podría asumir que los valores son menores en la estación invernal y mayores en la estival.

Respecto a los monitoreos M7 a M13, con valores más altos, pero con un comportamiento similar a los anteriores, es decir, presencia de algunos valores **medios** en los monitoreos invernales y sin valores medios en el período estival, por lo que se requieren más evaluaciones para determinar el comportamiento del sistema. Situación similar se observa en los monitoreos para los sectores de **Peine** y **Tilopozo**.

La disponibilidad de nitrógeno en el suelo depende de muchos factores tanto físico como biológicos. Sin embargo, es necesario destacar que la mayoría de estos factores son irrelevantes, dada la proximidad de los puntos de muestreo, excepto la estacionalidad, precipitaciones y la variación espacial del tipo de suelo –la cual se puede presentar, incluso en puntos muy cercanos-. Sin embargo, basado en los resultados, tanto la estacionalidad como la precipitación para el área de estudio en su conjunto, no serían factores que modifiquen la disponibilidad, por lo que se estima que el factor principal es el suelo (heterogeneidad de los materiales que lo constituyen), esto dada la diversidad de los materiales que lo originaron.

En cuanto al **potasio disponible**, y de acuerdo con los resultados de los monitoreos, en el área de estudio se presentan valores numéricos muy disímiles, tanto a nivel de sector como también de punto de muestreo, principalmente en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M9 y M13, mientras que en M5, M6, M7, M10, M12 y M14 la variación entre puntos es menor. Los valores determinados para el potasio disponible varían entre 194,4 y 27.065 mg/kg.

El potasio disponible en el sector de **La Punta-La Brava** en la totalidad de los puntos es **alto**, mientras que en **Peine** es **adecuado** a **alto** y en **Tilopozo** es mayoritariamente **alto**, con algunos puntos donde este es **adecuado**.

Se debe considerar que la disponibilidad de potasio en el suelo es multifactorial, destacando entre otros: tipo de material parental, meteorización, minerales, textura del suelo, tipo de arcilla, tipos de suelo (fijadores), pH, lixiviación, relación con otros elementos, entre otros, por lo que se requieren mayores datos para determinar si la variación es constante, o sólo efecto de la época y precipitaciones. Pero en general, la variación numérica estaría determinada por la heterogeneidad, tanto de los suelos presentes en cada sector, como la de los materiales que lo constituyen, no estando estas variaciones relacionadas con las actividades antrópicas que se desarrollan en el área.

El contenido de **fósforo disponible** para el área presenta valores entre 1 y 299 mg/kg, siendo las categorías más frecuente **muy baja**, **baja** y **media**, y las restantes escasas. Para el área de estudio, no se observa una similitud entre los valores de los puntos de muestreo entre monitoreos, y no hay correlación de los resultados que indiquen una estacionalidad de los registros.

Para el sector de **La Punta-La Brava**, los menores valores se presentaron en M1, para ir en aumento hasta M5 y luego volver a descender a partir de en M6 a concentraciones **muy baja** hasta M13 y aumentar nuevamente en M 14, aun cuando en algunos puntos se observa concentraciones que varían de **baja a muy alta**, principalmente en S 6 y S 5-1

Tanto en **Peine** como **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos el fósforo disponible es **muy bajo**, pero también se determinó la presencia de las otras categorías siendo la más frecuente la **media**. En M1 se observó una menor disponibilidad de fósforo en la mayoría de los puntos de medición, en relación a los restantes monitoreos. Cabe señalar que no se observa un comportamiento similar entre los puntos para los diferentes monitoreos.

La disponibilidad de este macroelemento en el suelo es multifactorial, entre los cuales se pueden señalar tipo de suelo y material parental, clima, erosión, pH, materia orgánica y humedad del suelo. Un factor de relevancia en este caso correspondería al tipo de suelo, que tiene una relación importante con los otros factores y debido a la heterogeneidad de los materiales que los conforman, determina que existan variaciones relevantes entre puntos muy cercanos unos a otros. A su vez, este factor actúa como agente modificador del comportamiento de los otros factores, lo cual podría explicar dichas variaciones.

En el área no se observan actividades antrópicas locales que expliquen las variaciones en la concentración del fósforo.

Respecto a la **humedad**, ésta varía entre 1% y 80,1% y en términos generales se observa una gran variabilidad para un mismo punto en todos los monitoreos, siendo un reducido número de puntos donde la humedad es inferior a 10%, exclusivamente en **Peine** (S 12) y **Tilopozo** (S 1 y S 2-1) y en 21 de ellos la diferencia entre el máximo y mínimo es superior a 20%. Estos cambios están definidos principalmente por el tipo de suelo, específicamente número y tamaño de los poros (textura), debido a la heterogeneidad de los materiales y a los procesos formativos del suelo, como también la temperatura y precipitaciones.

En el sector de **La Punta-La Brava**, se reconocen 46 texturas y 7 clases texturales, correspondiendo estas últimas a **arcillo arenosa, franca, franco limosa, franco arenosa, areno francosa, franco arcillo arenosa y arenosa**. Mientras que, **Peine**, se definen 7 texturas con 11 clase texturales, siendo estas **arcillosa, arcillo limosa, franco arcillosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa, franca, limosa, franco limosa, franco arenosa, areno francosa y arenosa**, y en **Tilopozo**, se definieron 7 texturas con 10 clase texturales, correspondiendo estas últimas a **arcillosa, arcillo limosa, franca arcillosa, franca arcillo arenosa, franca arcillo limosa, franca, franca limosa, franca arenosa, areno francosa y arenosa**.

Esta variación, tanto en texturas como clases texturales se debe principalmente al proceso formativo de los suelos (depositacionales y fundamentalmente por procesos aluvionales), como también a la diversidad de materiales parentales que los conforman, lo que determinaría la gran variabilidad de las propiedades de los suelos.

Respecto al **nivel freático**, para el área de estudio, tanto en M1 como en M2, M5, M7 y M9, se detectó **nivel freático** a profundidad de trabajo en 9 puntos. Este número descendió a 8 en M3, a 7 en M6, M13 y M14, a 6 en M4 y M10, y a 5 en M12.

La presencia de nivel freático a profundidad de trabajo está en función de condiciones ambientales, principalmente precipitaciones y temperatura, como también de las características propias de los suelos, incluyendo la topografía, por lo que, cambios en algunos de estos factores pueda ocasionar la profundización del agua más allá de la profundidad de trabajo y no ser detectada en el monitoreo, lo que se podría atribuir a cambios en el clima global y no de los suelos.

En términos generales, para el área de estudio la profundidad a la cual se detecta el nivel freático es variable para un mismo punto en los distintos monitoreos, no existiendo una relación entre los resultados de éstos y los diferentes monitoreos realizados.

Para el área de estudio, y como ocurre con frecuencia para los suelos, principalmente para aquellos del tipo depositacional o que no se originan *in situ*, la variabilidad en sus propiedades físico-químicas es lo frecuente. Incluso esto ocurre en aquellos suelos originados *in situ*, donde se observa también una importante variabilidad.

Esta variabilidad se debe fundamentalmente a los diversos materiales parentales que lo conforman, como también a la interrelación entre los parámetros, los cuales dependen de las propiedades intrínsecas del suelo, como también de otras condiciones ambientales (clima, vegetación, topografía, entre otras), lo que se observa en este registro de la componente Suelo en el PMB.

Por lo tanto, es esperable la variación observada, aun cuando los puntos de muestreo se encuentren muy próximos uno de otro, y no implica necesariamente influencias de actividades antrópicas, sino que son características propias de este tipo de suelos, cuyas variabilidades con mayor registro de datos en el tiempo podrán indicar si hay o no tendencias, o relacionar entre los parámetros que las condicionan.

14.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

En relación a los resultados de los monitoreos de limnología del período 2016-2023, se debe tener presente la ausencia de registros en verano 2020 en todos los sectores, en verano 2021, 2022 y 2023 particularmente en Peine, que tal como se indicó previamente, 2020 no se ejecutó producto de la pandemia COVID-19, en los veranos 2021 y 2023 por no tener acceso al sector y en verano 2022 no fue posible acceder a las estaciones de Saladita (SA-25) y Salada (S-9).

En relación con la calidad de agua en invierno 2022 y verano 2023 de los sistemas de lagunas del sector Peine, La Punta y La Brava, estos se caracterizaron por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica (máximo en La Brava en verano 2023 con 127.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad), asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, además

de un pH generalmente alcalino (cerca de 8), relacionado con los valores de alcalinidad total dados por el bicarbonato, junto a temperaturas variables (debido a su variabilidad horaria), alcanzando altos valores en algunas estaciones de monitoreo, principalmente durante el verano, acorde con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 29,19°C en LB-3 en verano 2023 y mínimo de 5,16°C en LP-24 en invierno 2022). Tales características se observaron principalmente en las lagunas de Peine, La Punta y La Brava, las cuales se encuentran en la zona marginal más próximas al núcleo del salar, a diferencia del sector de Tilopozo, ubicado más al sur y que corresponde a un sistema de vegas menos salino (conductividad entre 4.011 y 4.539 μ S/cm y salinidad 2,3 g/Kg) y pH neutro, sistema ubicado más alejado del núcleo, el cual está compuesto por pozas de <2 m de profundidad y por un pajonal hídrico de baja profundidad (TB-2). Cabe mencionar que este pajonal se encontró sin agua superficial en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021.

Los registros de parámetros de calidad de agua para los veranos e inviernos estuvieron dentro de los rangos determinados para los sistemas de Peine y La Punta y La Brava, según el marco de referencia utilizado (LB). Los parámetros de conductividad y salinidad mostraron un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en todos los periodos, siendo la mayor conductividad histórica en verano 2019, alcanzando los 212.600 μ S/cm en I-17, que corresponde a una salinidad de 105 g/kg. En la misma estación, también se registraron valores altos de salinidad en invierno 2019 y 2021. En general los parámetros de calidad de agua, después de los máximos registrados durante verano de 2019, volvieron a encontrarse dentro de los límites de la línea base.

Con los resultados obtenidos al séptimo año de monitoreo, se puede señalar que 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, caracterizados por una alta salinidad y conductividad eléctrica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos.

El análisis calidad de sedimentos contó con solo un monitoreo de Línea de Base como referencia (enero 2015). Debido a que la referencia del sistema da cuenta de una condición puntual podría no ser representativa de toda su variabilidad natural, lo que podría explicar las diferencias encontradas entre el registro del PMB y dicho monitoreo de LB, como valores sobre el máximo para los parámetros de carbono orgánico total (COT) en materia orgánica y fósforo total en la mayoría de las estaciones y campañas, principalmente en los años 2018 y 2019, tanto en verano como en primavera, junto con un potencial redox en todas las estaciones y campañas con características reductoras (valores negativos), lo cual se relaciona directamente con las características de los sedimentos de esta zona marginal del Salar, que corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos.

En relación 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 2022, se registraron riquezas dentro del rango de la LB del PMB para el fitobentos en los sectores de Peine y La Punta - La Brava, mientras que se detectaron altas abundancias respecto de la LB. En tanto, para el fitoplancton se detectaron, en general, riquezas y abundancias bajas, incluso bajo el rango establecido previamente en la LB del PMB. Respecto al sector de Tilopozo, mostró riquezas y abundancias dentro del rango de variación obtenido en el monitoreo de invierno para fitobentos y fitoplancton. De la evolución en los inviernos en las comunidades biológicas, se observa en Peine y en La Punta-La Brava una mayor variabilidad en estos sistemas en comparación a Tilopozo, registrándose en general altas abundancias de fitobentos y menores abundancias de fitoplancton.

Para La Punta-La Brava y Tilopozo, en verano 2023, las comunidades de fitobentos y fitoplancton presentaron riquezas variables, bajas en La Punta-La Brava (entre 4 y 10 géneros fitobentos y entre 2 y 8 géneros fitoplancton) en verano 2023. El sector presentó para fitobentos y fitoplancton riquezas variables en relación con lo observado en la LB, registrando valores por debajo del límite mínimo de la LB (La Punta: LP-24; La Brava: LB-1 y LB-3), en tanto, el máximo estuvo contenido dentro del rango de variación de la LB. Mientras que las abundancias fueron mucho mayores respecto de la Línea Base para fitobentos, para fitoplancton fueron menores, incluso con algunos registros por debajo del límite mínimo consignado para la Línea Base, específicamente en LP-24 (La Punta) y LB-2 (La Brava).

Por último, en invierno 2022 y verano 2023, como en los anteriores, 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, tales como *Haloroundia*.

En relación con las variaciones de *fitobentos* y *fitoplancton* en la riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas y las variaciones ambientales, es probable su relación con las variaciones estacionales dadas entre los periodos invierno y verano (monitoreo post lluvias), siendo las abundancias en general menores en invierno y mayores en verano.

Entre invierno 2022 y verano 2023, se observaron altas abundancias para el fitobentos y bajas abundancias para el fitoplancton respecto del registro histórico. Esto podría relacionarse con la disminución de la altura en la columna de agua en las lagunas Salada y Saladita en Peine, y en la laguna La Brava. Por otra parte, las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad entre periodos estacionales, entre otras variables, relacionadas con las variaciones de precipitación y evaporación propias del salar, el nivel y la disponibilidad de agua, pueden tener

una influencia sobre las comunidades microalgales bentónicas y planctónicas y zooplanctónica, la que podría manifestarse en las riquezas y abundancias de estos componentes, los cuales se relacionan como productores primarios y consumidores secundarios en los sistemas acuáticos.

Respecto al *zooplancton* observado, en general se han registrado bajas riquezas en los tres sistemas monitoreados (históricamente de 0 a 6 *taxa*), siendo los zooplancteres más abundantes en Peine los copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Para esta última especie se ha observado en general un incremento en su abundancia desde laguna Salada a laguna Interna a lo largo de todo el PMB (2016-2022), lo cual tiene relación con el incremento en conductividad y salinidad (desde un contexto espacial) dados en este sistema históricamente. Esta especie se considera como halófila, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L. En La Punta y La Brava, en invierno 2021 y verano 2022, dominaron copépodos del género *Boeckella* y *Tigriopus*, junto con *Artemia franciscana*. Los copépodos 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 ciclopoídeos durante invierno y dípteros quironómidos en verano.

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 algunas oportunidades dominantes los gasterópodos *Heleobia* sp. En el sector de Tilopozo dominó ampliamente el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano, en las dos estaciones que corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial (TB-1 y TB-3). En el pajonal hídrico de baja profundidad dominaron los dípteros. 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 2022 y verano 2023 e históricamente (campañas 2016 a 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 2022 y verano 2023, 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 en los sistemas en estudio.

14.6 En relación con Área de Lagunas

De los resultados de las campañas para el año 2022, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno (agosto 2022) se encuentran por sobre el mínimo histórico; y para la estación de verano (diciembre 2022) todos los sistemas presentaron superficies bajo el mínimo histórico. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos (mar – abr) a los reportados semestralmente en el PMB/PSAH (agosto y diciembre), 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 2022, en 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 casi perfecta*⁵⁹. Se obtuvieron **valores promedios anuales** que van entre 0,85 (Peine) y 0,67 (La Punta - La Brava) desde imágenes de alta resolución; y Landsat 8 con valores promedio entre 0,78 (Peine) y 0,58 (La Punta - La Brava).

La correlación entre las superficies calculadas desde de alta resolución (Pleiades - 1A) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestran que para los sectores, las variables tienen una *relación positiva*, con una correlación *moderada*; mientras que los valores *p* indican que existe *evidencia estadística* sobre la *significancia* de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat. Esto señala que para los sectores que existe una relación entre los resultados provenientes de alta y media resolución, y que las diferencias presentes 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 de los recubrimientos (por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución), lo que produce diferencias en la magnitud de los valores, pero relacionándose en sentido directo (a valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos).

⁵⁹ 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).

- Sector La Punta-La Brava

Según el análisis de comparación con registros de la Adenda 5 (2015), y considerando la evolución que permite observar a través de las superficie mediante imágenes NDWI-Landsat, para el sector de La Punta - La Brava se observa que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno y los registros más bajos en general se observan en verano.

En el sector La Punta-La Brava, se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), desde el año 1984, las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan una cierta estabilidad en sus valores a excepción de un evento de alza en enero del año 1999. 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 a la fecha.

Las superficies obtenidas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2022, como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en las superficies de invierno y verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y 2016 - 2022.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector La Punta y La Brava en relación con las superficies históricas AR (Adenda 5 RWL, 2015), muestran que las superficies semestrales, se presentan sobre los históricos, a excepción de los meses de diciembre de los años 2020, 2021 y 2022; sin embargo es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre).

- Sector Peine

Para el sector Peine, la serie histórica muestra que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo en el último tiempo (2016-2022) donde se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano. Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2022 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI-Landsat, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 – 2022.

Para la variabilidad intranual, el periodo 2016 – 2022 muestra un aumento de las superficies lagunares en septiembre de 2020, ligado eventualmente a un mayor aporte de precipitaciones ocurridas en agosto 2020. Este acontecimiento y otros previos, denota una relación entre las precipitaciones y la variación de la superficie lagunar en este sector; sin embargo, no es

concluyente al considerar otros datos, inter e intranuales, entregados por las estaciones meteorológicas y las variaciones de las superficies registradas en el sector.

La variación de las superficies semestrales 2022 de alta resolución del PMB para el sector Peine, se encuentran en el rango de los valores de la Adenda 5 (2015), a excepción de los estimados en agosto 2021 (invierno), diciembre 2021 y diciembre 2022, en donde estos últimos se presentan bajo el mínimo AR considerado de línea base (marzo 2006), con una variación estacional no tal influenciada por la evaporación y donde no se evidencia una relación directa entre la precipitación registrada en la estación meteorológica DGA - Peine y Planta Albemarle, y las variaciones en el área de ocupación de los cuerpos de agua. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies de línea base en AR fueron determinadas en meses (marzo y abril) distintos a los reportados semestralmente en el PMB (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en este análisis.

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 2022 – marzo 2023, 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. La ausencia de registros además impidió cuantificar los cambios asociados a las precipitaciones de febrero y marzo de 2023.

Respecto al período con registros (abril 2022 – septiembre 2022), el pozo BA-22 presentó valores similares a los del año previo, mientras que en BA-21, si bien el nivel máximo medido fue superior al del año anterior, al considerar todos los datos medidos, se observó un leve descenso con relación al año previo. Al respecto, se debe considerar que no se incluyeron registros post-precipitación, de febrero y marzo de 2023, que habría generado un incremento en el nivel de BA-21, como se puede apreciar en datos medidos durante abril de 2023.

Para el sector La Punta – La Brava, se sigue observando una tendencia generalizada al descenso. Sin embargo, se aprecia en relación al año previo un leve incremento del nivel freático en los pozos BA-05 y BA-16, de mayor magnitud en este último. En cuanto al pozo BA-07, si bien los registros del período de invierno mantienen una tendencia a la profundización verificada en años anteriores, el nivel freático del período de verano (diciembre 2022 – marzo 2023), fue similar al del año anterior.

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, Iran, 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 abril de 2023 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

- Albemarle 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.
- 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. *Noticiario 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.
- 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., Jarman, 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 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(2): 335-350.

BURNE R, L Moore. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 241-254.

CARDOSO DC, Cretoiu MS, Stal LJ, et al. 2019. Seasonal development of a coastal microbial mat. *Scientific reports*, 9(1): 9035.

DEMERGASSO C., Escudero L., Casamayor E. O., 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. <https://doi.org/10.1007/s00792-008-0153>

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.

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, et al. (2017) Prokaryotic diversity and biogeochemical characteristics of benthic microbial ecosystems at La Brava, a hypersaline lake at Salar de Atacama, Chile. PLoS ONE 12(11): e0186867. [https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0186867](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186867)
- 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, et al. 2010. Microbial Mats and Microbialites in the Freshwater Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. Lecture Notes in Earth Sciences, 187–205.
- GLUNK C., CHRISTOPHE DUPRAZ, OLIVIER BRAISSANT, KIMBERLEY L. GALLAGHER, ERIC P. VERRECCHIA, PIETER T. VISSCHER. 2011. Microbially mediated carbonate precipitation in a hypersaline lake, Big Pond (Eleuthera, Bahamas). Sedimentology 720-736 pp.
- GUEDES A, AMARO H, MALCATA F. 2011. Microalgae as Sources of Carotenoids. Marine Drugs, 9: 625-644.
- KONHAUSER K. 2007. Introduction to Geomicrobiology. Blackwell Science. Australia. 425 pp.
- MADIGAN M, MARTINKO J, DUNLAP P, CLARK D. 2009. Brock Biología de los Microorganismos. 12th 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
- 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

- Agrolab, 2017. Comunicación Personal con Sra. Rosa Espinoza, Gerente Técnico Agrolab.
- American Public Health Association, 2012. American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition. 2510 B. Laboratory Method.
- American Public Health Association, 2005. American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21nd Edition. 4500 B. Electrometric Method.
- 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, 1996. 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.

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.

Rioja Molina, A. (2002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., España.

SAG 2007. Protocolo de métodos de análisis para suelo y lodos. Determinación de textura.

Sierra C. Y Rojas, C. 1985. La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. INIA.

Sierra, C., Céspedes, R. y Osorio, A. 2001. Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del valle del río Copiapó. INIA.

Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. SCS. U.S. Dep. Agric. Handb. 18. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. (<http://soils.usda.gov/technical/manual/>).

www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/NITRATOS%20Y%20SALARES.pdf

U.S.D.A. 2012. Field book for describing and samplly soils. Versión 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 altoandino 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.

- 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 e 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. Mollenhauer (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. Mollenhauer (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. & 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.
- 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 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.
- 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, *, G.D. Tilman b, J.C. Nekola c. 1999. *Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems*. *Environmental Pollution* 100 (1999) 179±196.
- Stevenson J, M. Bothwell & R. Lowe. (1996). *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem*. Academic Press. Pp 753.
- 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, 2021. Informe Técnico de Investigación N°1 Activación PAT Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Agosto 2021)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – IZUMI. Julio 2021

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.
- 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.

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.

PSAH, 2022. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual N°7 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico, comprobante SMA Cód. 1019267 de fecha 31 marzo 2023 y SMA Cód. 1019459 del 04 de abril 2023.

16 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Anual N°7 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.