



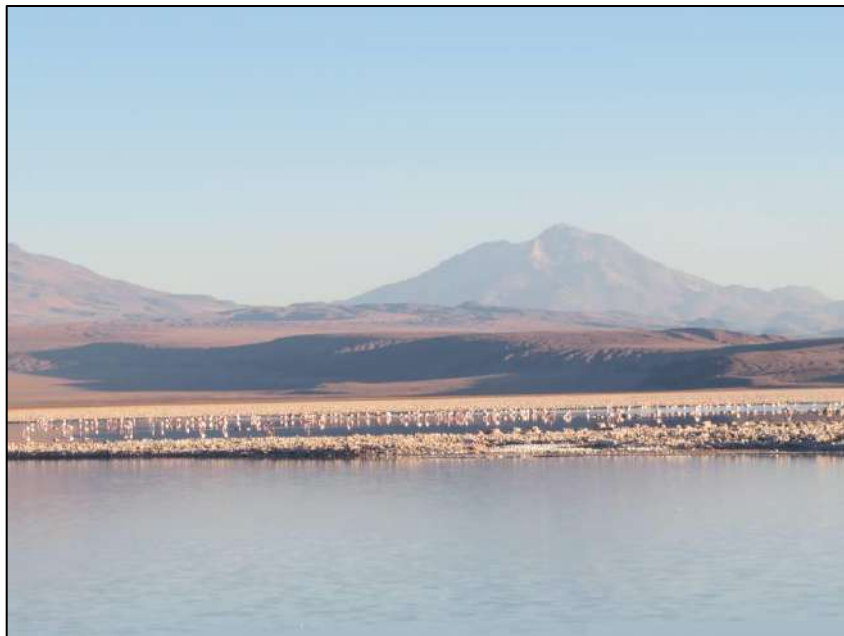
Plan de Manejo Biótico

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

(RCA N°21/2016)”

Monitoreo Invierno 2021 – Verano 2021-2022

Informe Anual N°6



Región de Antofagasta

Agosto de 2022

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN	47
2	INTRODUCCION	96
3	OBJETIVO	108
4	ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME	108
5	GLOSARIO	109
6	FLORA Y VEGETACIÓN	111
6.1	MATERIALES Y MÉTODOS	113
6.1.1	COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT)	113
6.1.2	FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	131
6.1.3	DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI	149
6.2	RESULTADOS	158
6.2.1	RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT).....	158
6.2.2	RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	176
6.2.3	RESULTADOS DE DISTRIBUCION Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI.....	193
6.2.4	Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación.....	196
7	FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES	197
7.1	MATERIALES Y MÉTODOS	198
7.1.1	Descripción del área de estudio	198
7.1.2	Ubicación de puntos muestreo	200
7.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	206
7.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	206
7.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	218
7.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 218	
7.2	RESULTADOS	219
7.2.1	Resultados del monitoreo campaña de invierno 2021	219
7.2.2	Resultados del monitoreo campaña de verano 2022.....	238
7.2.3	Límites considerados en la evaluación	257
8	TAPETES MICROBIANOS	258
8.1	MATERIALES Y MÉTODOS	259
8.1.1	Descripción del Área de Estudio.....	259
8.1.2	Estaciones de Monitoreo	260

8.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	261
8.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	262
8.1.5	Materiales y Equipos Utilizados.....	264
8.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 265	
8.2	RESULTADOS	265
8.2.1	Resultados Campaña Invierno 2021.....	265
8.2.2	Resultados Campaña Verano 2022.....	318
8.2.3	Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos.....	366
9	SUELO O SUSTRATO	367
9.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	368
9.1.1	Descripción del área de estudio	368
9.1.2	Ubicación de puntos muestreo	368
9.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	371
9.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	372
9.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	377
9.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 378	
9.2	RESULTADOS	379
9.2.1	Resultados campaña de verano 2022	379
9.2.2	Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato	407
10	LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS).....	408
10.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	408
10.1.1	Descripción del área de estudio	408
10.1.2	Ubicación de puntos muestreo	409
10.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	412
10.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	412
10.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	418
10.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 419	
10.2	RESULTADOS	421
10.2.1	Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2021 y verano 2022	421
10.2.2	Resultados del muestreo campaña de invierno 2021 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)	435
10.2.3	Resultados del muestreo campaña de verano 2022 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)	468

10.2.4	Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)	499
11	AREA DE LAGUNAS	502
11.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	506
11.1.1	Descripción del área de estudio	506
11.1.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua.....	508
11.1.3	Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua.....	508
11.1.4	Materiales y equipos utilizados.....	511
11.1.5	Metodología de muestreo y/o medición	511
11.1.6	Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua.....	525
11.1.7	Fechas de medición	525
11.2	RESULTADOS	526
11.2.1	Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	526
11.2.2	Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar.....	530
11.2.3	Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua	536
12	NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS	537
12.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	538
12.1.1	Área de Estudio.....	538
12.1.2	Ubicación de Puntos de Monitoreo.....	540
12.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables.....	541
12.1.4	Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.....	541
12.1.5	Materiales y Equipos utilizados	542
12.1.6	Fechas de medición, muestro y/o análisis.....	542
12.2	RESULTADOS	543
12.2.1	Resultados de los registros abril 2021 a marzo 2022	543
12.2.2	Límites considerados en la evaluación	548
13	DISCUSIÓN.....	549
13.1	En relación con Flora y Vegetación	549
13.1.1	Análisis Vegetación (COT)	549
13.1.2	Análisis Flora y Vegetación (Transectas)	551
13.1.3	Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI	565
13.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	572
13.2.1	Representatividad del muestreo.....	572
13.2.2	Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres.....	573

13.2.3	Análisis por clase	580
13.2.4	Composición por ambiente	582
13.2.5	Similitud	585
13.2.6	Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas)	587
13.2.7	Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)	596
13.2.8	Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres	599
13.3	En relación con Tapetes Microbianos	623
13.3.1	Análisis Año 6: Monitoreo invierno 2021 y verano 2022	623
13.3.2	Análisis evolución inviernos 2016 a 2021	633
13.3.3	Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos	637
13.3.4	Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas	661
13.3.5	Análisis evolución veranos 2017 a 2022	663
13.3.6	Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos	667
13.3.7	Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas	684
13.3.8	Evolución de Parámetros Físicos y Químicos	686
13.4	En relación con Suelo o Sustrato	694
13.4.1	Comparación monitoreo invierno 2021 y verano 2022	694
13.4.2	Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 - 2018 – 2019 – 2020- 2021 y 2022	694
13.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)	734
13.5.1	Comparación Invierno 2021 y Verano 2022	737
13.5.2	Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)	755
13.6	En relación con Área de Lagunas	807
13.6.1	Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base	807
13.6.2	Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua	840
13.7	En relación con Nivel Freático en Lagunas	842
13.7.1	Análisis comparativo invierno 2021 y verano 2022	842
13.7.2	Análisis comparativo con valores históricos	842
13.8	En relación con el Estado Ecológico del Sistema	850
13.8.1	Sistema La Punta – La Brava	856
13.8.2	Sistema Peine	911
13.8.3	Análisis de correlaciones con el NDVI	947
14	CONCLUSIONES	951
14.1	En relación con Flora y Vegetación	951
14.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	955
14.3	En relación con Tapetes microbianos	959
14.4	En relación con Suelo o Sustrato	962
14.5	En relación con Limnología	969
14.6	En relación con Área Lagunas	973
14.7	En relación con Nivel Freático en Lagunas	977

14.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema	979
14.8.1 Niveles Freáticos.....	979
14.8.2 Vegetación Azonal	980
14.8.3 Superficies Lagunares.....	982
15 REFERENCIAS	983
15.1 Flora y Vegetación	983
15.2 Fauna Vertebrados Terrestres	986
15.3 Tapetes microbianos	992
15.4 Suelo o Sustrato.....	994
15.5 Limnología.....	995
15.6 Área de las Lagunas	999
15.7 Nivel Freático en Lagunas.....	1003
16 ANEXOS.....	1004

FIGURAS

Figura N° 2-1. Delimitación de las Areas de Estudio del Plan de Manejo Biótico	97
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)	103
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	104
Figura N° 6-1. Área de estudio Vegetación y Flora.....	115
Figura N° 6-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.	136
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.....	137
Figura N° 6-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama.....	138
Figura N° 6-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama.....	139
Figura N° 6-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama.....	140

Figura N° 6-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama.....	141
Figura N° 6-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama.	151
Figura N° 6-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2022 en el Salar de Atacama.	154
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. Verano de 2022.	164
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. Verano de 2022.....	165
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. Verano de 2022.....	166
Figura N° 6-13. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Distichlis spicata</i>. (Ver 2022).....	182
Figura N° 6-14. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Juncus balticus</i>. (Ver 2022).....	182
Figura N° 6-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>. (Ver 2022).....	183
Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Triglochin concinna</i>. (Ver 2022).....	183
Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>. (Ver 2022).....	184
Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>. (Ver 2022).....	184

Figura N° 7-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).....	199
Figura N° 7-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio.....	204
Figura N° 7-3. Categorías de conservación de la UICN.....	214
Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2021.....	234
Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2022.	253
Figura N° 8-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos.	261
Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.	263
Figura N° 8-3. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2021.....	267
Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}), Invierno 2021.	268
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 2021.....	269
Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava, Invierno 2021.	270
Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2021.	313
Figura N° 8-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2021.	314
Figura N° 8-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2021.	315
Figura N° 8-10. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos.	320
Figura N° 8-11. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}). Verano 2022.	321

Figura N° 8-12. 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. Verano 2022.	322
Figura N° 8-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2022.	323
Figura N° 8-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2022.	361
Figura N° 8-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2022.	362
Figura N° 8-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2022.	363
Figura N° 9-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.	371
Figura N° 10-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.	411
Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2021).	446
Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	448
Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2021).	450
Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2021).	452
Figura N° 10-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	454
Figura N° 10-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2021).	455
Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2021).	457
Figura N° 10-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	459

Figura N° 10-10. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2021).	460
Figura N° 10-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2021).	462
Figura N° 10-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2021).	464
Figura N° 10-13. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2021).	465
Figura N° 10-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (verano 2022).	478
Figura N° 10-15. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	480
Figura N° 10-16. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2022).	482
Figura N° 10-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (verano 2022).	484
Figura N° 10-18. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	486
Figura N° 10-19. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2022).	488
Figura N° 10-20. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Peine (verano 2022).	490
Figura N° 10-21. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	492
Figura N° 10-22. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (verano 2022).	493
Figura N° 10-23. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2022).	495
Figura N° 10-24. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2022).	497

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).....	507
Figura N°11-2. 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 2021.....	513
Figura N°11-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2021.....	514
Figura N°11-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2021 (izquierda – RGB) y verano 2021 (derecha - RGB).....	515
Figura N°11-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales. .	517
Figura N°11-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (<i>raster</i>) a polígonos (<i>shape</i>).....	524
Figura N° 11-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.	531
Figura N° 11-8. 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 2021 – diciembre 2021.....	532
Figura N° 11-9. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.	534
Figura N° 11-10. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2021.	535
Figura N° 12-1. Área de Estudio.....	539
Figura N° 12-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine.....	541
Figura N° 12-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava ..	547
Figura N° 12-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine.....	548
Figura N° 13-1. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M12) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en sector Tilopozo.	555

Figura N° 13-2. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M12) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en sector Aguas de Quelana.....	557
Figura N° 13-3. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza por sector. .	562
Figura N° 13-4. Cobertura promedio de otros recubrimientos por sector en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10 y M12.....	564
Figura N° 13-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2022).....	586
Figura N° 13-6. 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.....	611
Figura N° 13-7. 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.....	614
Figura N° 13-8. 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..	617
Figura N° 13-9. 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.....	618
Figura N° 13-10. 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.	619
Figura N° 13-11. 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.	620

Figura N° 13-12. 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.....	621
Figura N° 13-13. 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).....	622
Figura N° 13-14. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2021 y Verano 2022 (Peine y La Punta-La Brava).	627
Figura N° 13-15. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2021 y Verano 2022 (Peine y La Punta-La Brava).	628
Figura N° 13-16. Espesor (\bar{x}) de tapetes microbianos. Invierno 2021 y Verano 2022 (Peine y La Punta-La Brava).....	629
Figura N° 13-17. Espesor (\bar{x}) de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2021 y Verano 2022 (La Punta-La Brava).....	629
Figura N° 13-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2021.....	635
Figura N° 13-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2021.....	636
Figura N° 13-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.....	639
Figura N° 13-21. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.....	651
Figura N° 13-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2022.	665
Figura N° 13-23. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2022.....	666
Figura N° 13-24. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine.	668
Figura N° 13-25. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, Verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022.....	674

Figura N° 13-26. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2022.	686
Figura N° 13-27. Variación promedio de la conductividad (µS/cm) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	687
Figura N° 13-28. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	688
Figura N° 13-29. Variación promedio de oxígeno disuelto (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	689
Figura N° 13-30. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	690
Figura N° 13-31. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO₃_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	691
Figura N° 13-32. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	692
Figura N° 13-33. Variación promedio de potencial redox (ORP) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	693
Figura N° 13-34: Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.	695
Figura N° 13-35: Resultados C.E. (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	696
Figura N° 13-36: Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6 M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	697
Figura N° 13-37: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.	699
Figura N° 13-38: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine	700
Figura N° 13-39: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	701
Figura N° 13-40: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M1 y M12. Sector La Punta-La Brava.	703
Figura N° 13-41: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	704

Figura N° 13-42: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.....	705
Figura N° 13-43: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.....	707
Figura N° 13-44: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	708
Figura N° 13-45: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	709
Figura N° 13-46: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.	711
Figura N° 13-47: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.....	712
Figura N° 13-48: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	713
Figura N° 13-49: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.	715
Figura N° 13-50: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	716
Figura N° 13-51: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	718
Figura N° 13-52: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.....	720
Figura N° 13-53: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	721
Figura N° 13-54: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.....	722
Figura N° 13-55: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.....	724
Figura N° 13-56: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	725

Figura N° 13-57: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	726
Figura N° 13-58: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.	728
Figura N° 13-59: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.	729
Figura N° 13-60: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.	730
Figura N° 13-61: Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo.	733
Figura N° 13-62. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	757
Figura N° 13-63. 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.	758
Figura N° 13-64. 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.	761
Figura N° 13-65. 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.	762
Figura N° 13-66. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	764
Figura N° 13-67. 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.	765
Figura N° 13-68. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	767
Figura N° 13-69. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	769

Figura N° 13-70. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	770
Figura N° 13-71. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	772
Figura N° 13-72. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	775
Figura N° 13-73. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	777
Figura N° 13-74. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	780
Figura N° 13-75. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	783
Figura N° 13-76. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	785
Figura N° 13-77. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	788
Figura N° 13-78. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	790
Figura N° 13-79. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	791
Figura N° 13-80. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	793
Figura N° 13-81. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	794
Figura N° 13-82. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	796
Figura N° 13-83. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	800
Figura N° 13-84. 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.....	803

Figura N° 13-85. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	806
Figura N° 13-86. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.	812
Figura N° 13-87. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector La Punta y la Brava.	813
Figura N° 13-88. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.	815
Figura N° 13-89. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2021).....	817
Figura N° 13-90. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta y La Brava.....	818
Figura N° 13-91. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.	819
Figura N° 13-92. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.	821
Figura N° 13-93. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	822
Figura N° 13-94. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.....	823
Figura N° 13-95. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	824
Figura N° 13-96. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.	826
Figura N° 13-97. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector Peine.....	828
Figura N° 13-98. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.	830
Figura N° 13-99. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2021).....	831

Figura N° 13-100. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.	834
Figura N° 13-101. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.	835
Figura N° 13-102. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.	836
Figura N° 13-103. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.	837
Figura N° 13-104. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.	838
Figura N° 13-105. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.	839
Figura N° 13-106: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.....	844
Figura N° 13-107: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.....	845
Figura N° 13-108: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.....	846
Figura N° 13-109. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine.....	848
Figura N° 13-110. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine.....	849
Figura N° 13-111. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.....	857
Figura N° 13-112. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.....	857
Figura N° 13-113. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.....	858
Figura N° 13-114. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.	861
Figura N° 13-115. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de las formaciones Herbazal de <i>Juncus balticus</i> y Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>.	864
Figura N° 13-116. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de las formaciones Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>, Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>.	865

Figura N° 13-117. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de la formación de <i>Tessaria absinthioides</i>.	866
Figura N°13-118. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales de los sectores Tilopozo (arriba) y en La Punta y La Brava (abajo).	870
Figura N°13-119. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en sector Tilopozo.	874
Figura N°13-120. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Juncus balticus</i>, en sector de Tilopozo.	875
Figura N°13-121. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Juncus balticus</i>, en sector La Punta y La Brava.	876
Figura N° 13-122. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en sector Tilopozo.	877
Figura N° 13-123. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en La Punta y La Brava.	878
Figura N° 13-124. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en sector La Punta y La Brava....	879
Figura N° 13-125. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en sector Tilopozo.	880
Figura N° 13-126. Variación porcentual de la cobertura vegetal de las especies dominantes en las formaciones del sector Tilopozo y La Punta y La Brava, de los monitoreos iniciales (MB0-M1; invierno 2016) con respecto al periodo total de monitoreo (M2 a M12).	884
Figura N° 13-127. Variación porcentual de la cobertura vegetal de las especies acompañantes en las formaciones del sector Tilopozo y La Punta y La Brava, de los monitoreos iniciales (MB0-M1; invierno 2016) con respecto al periodo total de monitoreo (M2 a M12).	885
Figura N°13-128. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en los subsectores La Punta y La Brava (arriba) y Tilopozo (abajo).	887
Figura N°13-129. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del	

NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava en superficie con vegetación del sector.....	889
Figura N°13-130. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i>. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava.....	890
Figura N°13-131. Proceso metodológico de determinación del nivel de recurrencia de la cobertura de vegetación activa obtenida con el NDVI de imágenes de alta resolución para el periodo de verano (post - lluvia) 2017-2022. .	894
Figura N°13-132. Variación anual en formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava, caso herbazal de <i>D. spicata</i> en subsector Tilopozo.	895
Figura N° 13-133. Nivel de recurrencia en formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava, caso herbazal de <i>D. spicata</i> en subsector Tilopozo.	896
Figura N°13-134. Evaluación de la recurrencia de la cobertura vegetal activa en las formaciones de monitoreo, obtenida con el NDVI de imágenes de alta resolución en monitoreos anuales de verano 2017-2022 en los subsectores de Tilopozo y La Punta- La Brava.	898
Figura N°13-135. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – abril 2022) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo.	902
Figura N°13-136. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i>. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post-lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2022) en el sector Tilopozo.....	903
Figura N° 13-137. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.	905
Figura N° 13-139. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2022, Sector La Punta y la Brava.	907
Figura N° 13-140. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2021, Sector La Punta y la Brava	908

Figura N°13-141. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector La Punta y La Brava.	909
Figura N°13-142. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2021, Sector La Punta y La Brava.	910
Figura N° 13-143. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine.	912
Figura N° 13-144. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine.	912
Figura N°13-145. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.	915
Figura N°13-146. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en el sector Peine.	917
Figura N° 13-147. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.	920
Figura N° 13-148. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en sector Peine.	923
Figura N° 13-149. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en sector Peine.	924
Figura N° 13-150. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en sector Peine.	925
Figura N° 13-151. Variación porcentual de la cobertura vegetal de las especies dominantes y acompañantes en las formaciones del sector Peine, de los monitoreos iniciales (MB0-M1; invierno 2016) con respecto al periodo total de monitoreo (M2 a M12).	927
Figura N° 13-152. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.	929
Figura N°13-153. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.	931
Figura N°13-154. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i>. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-	

2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine.....	932
Figura N°13-155. Evaluación de la recurrencia de la cobertura vegetal activa en las formaciones de monitoreo, obtenida con el NDVI de imágenes de alta resolución en monitoreos anuales de verano 2017-2022 en el sector Peine.....	933
Figura N°13-156. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2022) en la superficie con vegetación del sector Peine.	936
Figura N°13-157. Formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> . Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2022) en el sector Peine.....	937
Figura N°13-158. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* (AR) durante monitoreos de verano 2018 y 2022 en unidades de herbazal de <i>S. californicus</i> en el sector Peine.	938
Figura N° 13-159. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.	940
Figura N° 13-160. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine	940
Figura N° 13-161. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2021, Sector Peine.	942
Figura N° 13-162. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2021, Sector Peine	944
Figura N°13-163. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector Peine	945
Figura N°13-164. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2021, Sector Peine.....	946
Figura N° 13-165. Correlaciones lineales entre el NDVI (obtenidos de imágenes de Alta Resolución- AR <i>izquierda</i> y Landsat - <i>derecha</i>) y las coberturas vegetales en transectas de los tipos de vegetación de monitoreo (2016-2022): matorrales (<i>arriba</i>) y herbazales (<i>abajo</i>).....	948

Figura N° 13-166. Correlación multitemporal del NDVI Landsat promedio con variables hidroclimáticas (anuales en mm): precipitación, evaporación y balance precipitación-evaporación.....	950
---	------------

TABLAS

Tabla N° 1-1: Volumen extraído de la cuenca MNT hasta diciembre 2020	91
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. ..	101
Tabla N° 2-2. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis.....	105
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.	106
Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de verano 2022.....	117
Tabla N° 6-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes.....	119
Tabla N° 6-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación.....	119
Tabla N° 6-4. Rango de valores para la cobertura vegetal.....	120
Tabla N° 6-5. Categorías de posición topográfica.	120
Tabla N° 6-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales.....	121
Tabla N° 6-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno.	125
Tabla N° 6-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio.	125
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.....	128
Tabla N° 6-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV).	128

Tabla N° 6-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT.	129
Tabla N° 6-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales.	129
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).	130
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.	133
Tabla N° 6-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector.	142
Tabla N° 6-16. Contenido de humedad del suelo.	145
Tabla N° 6-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades - 1A. 153	
Tabla N° 6-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo. ... 156	
Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2022.	160
Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2022.	162
Tabla N° 6-21. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.	176
Tabla N° 6-22. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 12 (verano 2022), en cada subsector.	177
Tabla N° 6-23. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 12 (verano 2022).	187
Tabla N° 6-24. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 12 (verano 2022).	190
Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 12 (verano 2022).	192
Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 12 (verano 2022).	193
Tabla N° 6-27. Superficie de vegetación activa (NDVI) post – lluvias 2022 en base a la COT de verano 2022, por sector.	194

Tabla N° 7-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19.	201
Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2021. Se indica presencia (X) en cada sector.	220
Tabla N° 7-3. Especies de fauna registradas por ambiente (invierno 2021). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.	232
Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2021).....	236
Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. (invierno 2021).....	238
Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo segunda campaña de monitoreo (verano 2022). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.....	240
Tabla N° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo segunda campaña de monitoreo (verano 2022). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.	252
Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Décimo segunda campaña de monitoreo (verano 2022).....	255
Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Décimo segunda campaña de monitoreo (verano 2022).....	257
Tabla N° 8-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB.	260
Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. Invierno 2021.	266
Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2021.	271
Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S6-A. (S/C: sin capas pigmentadas).	275
Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-9. (S/C: sin capas pigmentadas).....	276
Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas).....	279

Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).	281
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)	281
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).	284
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)	284
Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (S/C: sin capas pigmentadas).	287
Tabla N° 8-12. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2021.	288
Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2021.	289
Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2021.	289
Tabla N° 8-15. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas)	292
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)	294
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)	295
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).	297
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)	297

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).	300
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).	300
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).	303
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).	304
Tabla N° 8-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2021.	305
Tabla N° 8-25. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2021.	306
Tabla N° 8-26. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2021.	307
Tabla N° 8-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Invierno 2021.	309
Tabla N° 8-28. Calidad de agua para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2021.	317
Tabla N° 8-29. Calidad de sedimentos para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2021.	317
Tabla N° 8-30. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos.	319
Tabla N° 8-31. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.	324
Tabla N° 8-32. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	329
Tabla N° 8-33. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	331

Tabla N° 8-34. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).....	332
Tabla N° 8-35. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (S/C: sin capas pigmentadas).....	334
Tabla N° 8-36. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Verano 2022.....	335
Tabla N° 8-37. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Verano 2022.....	336
Tabla N° 8-38. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Verano 2022.....	336
Tabla N° 8-39. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).....	339
Tabla N° 8-40. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).....	342
Tabla N° 8-41. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....	345
Tabla N° 8-42. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).....	346
Tabla N° 8-43. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....	348
Tabla N° 8-44. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).....	348
Tabla N° 8-45. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....	351
Tabla N° 8-46. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).....	352

Tabla N° 8-47. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2022.	353
Tabla N° 8-48. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2022.	354
Tabla N° 8-49. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2022.	354
Tabla N° 8-50. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2022.	357
Tabla N° 8-51. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2022.	365
Tabla N° 8-52. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2022.	365
Tabla N° 9-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M12, puntos de muestreo suelo.	370
Tabla N° 9-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo.	371
Tabla N° 9-3: Parámetros evaluados y método de análisis. Componente Suelo.	374
Tabla N° 9-4: Valores de Materia orgánica (%).	374
Tabla N° 9-5: Interpretación del pH.	375
Tabla N° 9-6: Categorías de Salinidad.	375
Tabla N° 9-7: Niveles de Fosforo (mg/kg).	375
Tabla N° 9-8: Niveles de Nitrógeno (mg/kg).	376
Tabla N° 9-9. Niveles de Potasio (mg/kg).	376
Tabla N° 9-10. Rangos de conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h).	376
Tabla N° 9-11. Tamaño de partículas que determina la textura del suelo.	376
Tabla N° 9-12. Clases texturales del suelo.	377
Tabla N° 9-13. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Verano 2022.	380

Tabla N° 9-14. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Verano 2022.	382
Tabla N° 9-15. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Verano 2022.	383
Tabla N° 9-16. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Verano 2022.	386
Tabla N° 9-17. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Verano 2022.	388
Tabla N° 9-18. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Verano 2022.	390
Tabla N° 9-19. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Verano 2022.	392
Tabla N° 9-20. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Verano 2022.	394
Tabla N° 9-21. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Verano 2022.	396
Tabla N° 9-22. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Verano 2022.	398
Tabla N° 9-23. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Verano 2022.	400
Tabla N° 9-24. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Verano 2022.	402
Tabla N° 9-25. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Verano 2022.	404
Tabla N° 9-26. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Verano 2022.	406
Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2021 y verano 2022.	410
Tabla N° 10-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.	413
Tabla N° 10-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.	414

Tabla N° 10-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).	415
Tabla N° 10-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.	415
Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición <i>in situ</i> de parámetros del agua	418
Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.	418
Tabla N° 10-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables.	420
Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2021).	435
Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	436
Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2021).	438
Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2021).	439
Tabla N° 10-13: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Peine (invierno 2021).	440
Tabla N° 10-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	441
Tabla N° 10-15: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	442
Tabla N° 10-16. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2021).	442
Tabla N° 10-17: Resultados granulométricos de los Sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2021).	443
Tabla N° 10-18. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2021).	445
Tabla N° 10-19. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	447
Tabla N° 10-20. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2021).	449
Tabla N° 10-21. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2021).	451

Tabla N° 10-22. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	453
Tabla N° 10-23. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2021).	455
Tabla N° 10-24. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2021).	457
Tabla N° 10-25. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	459
Tabla N° 10-26. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2021).	460
Tabla N° 10-27. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (invierno 2021).	461
Tabla N° 10-28. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).	463
Tabla N° 10-29. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2021).	465
Tabla N° 10-30. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2021).	466
Tabla N° 10-31. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2021).	467
Tabla N° 10-32. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (verano 2022).	468
Tabla N° 10-33. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	469
Tabla N° 10-34. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (verano 2022).	471
Tabla N° 10-35. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (verano 2022).	473
Tabla N° 10-36. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	474
Tabla N° 10-37. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2022.	475

Tabla N° 10-38. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 2022).	476
Tabla N° 10-39. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	479
Tabla N° 10-40. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2022).	481
Tabla N° 10-41. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 2022).	483
Tabla N° 10-42. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	485
Tabla N° 10-43. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2022).	487
Tabla N° 10-44. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (verano 2022).	489
Tabla N° 10-45. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	491
Tabla N° 10-46. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en en Sector Peine (verano 2022).	493
Tabla N° 10-47. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (verano 2022).	494
Tabla N° 10-48. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (verano 2022).	496
Tabla N° 10-49. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2022).	498
Tabla N° 10-50. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 2022).	499
Tabla N°11-1. Resumen de Componentes y Variables	503
Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.	504
Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2021, 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.	510
Tabla N°11-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2021, 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.	510
Tabla N°11-5. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.	512
Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8	515
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 2021.	521
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, 2021.	527
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, 2021.	528
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, 2021.	528
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, 2021.	529
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 2021 (invierno y verano).	530
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 2021 (invierno y verano).	530
Tabla N° 12-1: Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas	540
Tabla N° 12-2: Materiales y Equipos	542

Tabla N° 12-3: Fechas de Medición del Año.....	543
Tabla N° 12-4: Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava	544
Tabla N° 12-5: Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine.....	545
Tabla N° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por campaña.	550
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 2022.....	551
Tabla N° 13-3. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos Alta Resolución por sector.....	567
Tabla N° 13-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a las formaciones de seguimiento según PMB, por sector.	568
Tabla N° 13-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de <i>Schoenoplectus californicus</i>, en relación a los registros históricos de alta resolución.....	571
Tabla N° 13-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las 12 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2022). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector.....	575
Tabla N° 13-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022.....	583
Tabla N° 13-8. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022.	590
Tabla N° 13-9. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022.	593
Tabla N° 13-10. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 12 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2022).....	597
Tabla N° 13-11. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022	598
Tabla N° 13-12. 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 y verano 2022.	601

Tabla N° 13-13. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas del PMB (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2022).....	604
Tabla N° 13-14. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas del PMB (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2022)..	607
Tabla N° 13-15. 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.	609
Tabla N° 13-16. 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.	612
Tabla N° 13-17. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.	615
Tabla N° 13-18. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector Peine, invierno 2021 y verano 2022.	626
Tabla N° 13-19. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2021 y verano 2022.....	631
Tabla N° 13-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2021.....	640
Tabla N° 13-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2021.....	643
Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.	645
Tabla N° 13-23 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2021.....	646
Tabla N° 13-24. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2021....	649
Tabla N° 13-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2021.	652

Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2021.	654
Tabla N° 13-27 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2021.	655
Tabla N° 13-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2021.....	657
Tabla N° 13-29 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2021.....	658
Tabla N° 13-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava, inviernos 2016 a 2020.	659
Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2021. (S/C: sin capas pigmentadas).....	660
Tabla N° 13-32. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.....	662
Tabla N° 13-33. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, estaciones S-6A y S-9. Campaña verano, 2017 a 2019.....	669
Tabla N° 13-34. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita, estaciones SA-25 y S-11. Campaña verano, 2017 a 2022**.....	670
Tabla N° 13-35. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Interna, estaciones I-11 e I-17. Campaña verano, 2017 a 2022.....	671
Tabla N° 13-36. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2022.	672
Tabla N° 13-37. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2022.	672

Tabla N° 13-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2022.....	675
Tabla N° 13-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2022.....	676
Tabla N° 13-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2022.....	677
Tabla N° 13-41. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2022.....	678
Tabla N° 13-42. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2022.....	679
Tabla N° 13-43. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2022.....	681
Tabla N° 13-44. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2022.....	682
Tabla N° 13-45. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2022.....	683
Tabla N° 13-46. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022.....	685
Tabla N° 13-47: Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12.....	732
Tabla N° 13-48. Resumen de especies detectadas en los sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo en campañas de línea de base y monitoreo.	797
Tabla N°13-49. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).	807

Tabla N° 13-50. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8.	841
Tabla N° 13-51: Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB.....	843
Tabla N° 13-52: Valores Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine.....	847
Tabla N° 13-53. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB.....	856
Tabla N° 13-54. Registros históricos de superficies de vegetación activa obtenidos con el NDVI de imágenes de alta resolución.....	888
Tabla N°13-55. Homologación de formaciones vegetales de seguimiento, según monitoreos de Transectas y COT- NDVI.....	893
Tabla N° 13-56. Superficies y porcentajes de cobertura de vegetación activa según nivel de recurrencia entre el Año 1 (2017) y Año 6 (2022) obtenidos con el NDVI de imágenes satelitales de alta resolución para monitoreos anuales de verano en las formaciones en seguimiento por subsector Tilopozo y La Punta-La Brava.	897
Tabla N°13-57. Características de los sensores utilizados en el análisis NDVI.....	899
Tabla N° 13-58. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine.....	911
Tabla N° 13-59. Registros históricos de superficies de vegetación activa obtenidos con el NDVI de imágenes de alta resolución.....	930
Tabla N° 13-60. Superficies y porcentajes de cobertura de vegetación activa según nivel de recurrencia entre el Año 1 (2017) y Año 6 (2022) obtenidos con el NDVI de imágenes satelitales de alta resolución para monitoreos anuales de verano en las formaciones de seguimiento en el sector Peine.	933
Tabla N°13-61. Coeficientes de correlación lineal del NDVI promedio por estación, obtenidos desde imágenes Landsat 2009-2022 con la precipitación anual (estación meteorológica de la Planta Albemarle) en formaciones de herbazales y matorrales monitoreadas.	949

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 6-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar.....	144
Fotografía N° 6-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastros.....	146
Fotografía N° 6-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación.	147
Fotografía N° 6-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2022.	168
Fotografía N° 6-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2022.	173
Fotografía N° 6-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.	174
Fotografía N° 6-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.	175
Fotografía N° 6-8. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en verano 2022, en distintas transectas de estudio.....	179
Fotografía N° 6-9. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en verano 2022, en transectas de estudio.	179
Fotografía N° 6-10. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en verano 2022, en transectas de estudio.	180
Fotografía N° 6-11. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en verano 2022, en transectas de estudio.	180
Fotografía N° 6-12. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en verano 2022, en transectas de estudio.	180
Fotografía N° 6-13. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en verano 2022, en transectas de estudio.	181
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).	205
Fotografía N° 7-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo.	211

Fotografía N° 7-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.	211
Fotografía N° 7-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).	225
Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: playero de Baird (superior, izquierda), Tijeral común (superior, derecha), Parina Grande (inferior, izquierda) y chorlo de la puna (inferior, derecha).	227
Fotografía N° 7-6. Macromamífero en el área de estudio: zorro culpeo.	229
Fotografía N° 7-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejado amarillo (superior), y ratón andino (inferior).	230
Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).	245
Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: playero de Baird (superior, izquierda), flamenco andino y chileno (superior, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y mero gaucho (inferior, derecha).	247
Fotografía N° 7-10. Macromamífero en el área de estudio: vicuña (especie nueva para el monitoreo). Sector La Punta-La Brava. Subsector Laguna La Brava (PM FP3).	249
Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón andino (arriba) y ratón orejado amarillento (abajo).	250
Fotografía N° 8-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.	264
Fotografía N° 8-2. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, invierno 2021.	273
Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo S-6A; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2021.	274
Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo S-9; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2021.	276
Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2021.	277
Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano. Laguna Saladita, invierno 2021.	278

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 2021.....	280
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. Laguna Interna, invierno 2021.	283
Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano y d, Muestra sedimento. Laguna Interna, invierno 2021.	286
Fotografía N° 8-10. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, invierno 2021.....	291
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. Laguna La Punta, invierno 2021.	293
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. Laguna La Brava, invierno 2021.	296
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 2021.....	299
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 2021.	302
Fotografía N° 8-15. a. Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. invierno 2021.....	308
Fotografía N° 8-16. Estación de monitoreo TB-2. invierno 2021.....	308
Fotografía N° 8-17. Estación de monitoreo TB-3; B. Muestra de Sedimentos. invierno 2021.....	309
Fotografía N° 8-18. Microbialitos (a. I-11, b. LP-23 y c. LB-1) y Evaporitas (d. LP-24). Invierno 2021.....	310
Fotografía N° 8-19. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, verano 2022.....	326

Fotografía N° 8-20. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, verano 2022.....	327
Fotografía N° 8-21. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano y c. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, verano 2022.	328
Fotografía N° 8-22. a. Estación de monitoreo I-11; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna Interna, verano 2022.....	330
Fotografía N° 8-23. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana inundada; c. Tapete superficial plano. Laguna Interna, verano 2022.....	333
Fotografía N° 8-24. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2022.....	338
Fotografía N° 8-25. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2022.....	341
Fotografía N° 8-26. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna La Brava, verano 2022.	344
Fotografía N° 8-27. 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 2022.....	347
Fotografía N° 8-28. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2022.....	350
Fotografía N° 8-29. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2022.....	355
Fotografía N° 8-30. a Estación de monitoreo TB-2; b. Muestra de Sedimentos. verano 2022.....	356
Fotografía N° 8-31. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2021.....	356
Fotografía N° 8-32. Microbialitos (a. I-11, b. LP-23, c. LB-1 y d. LB-3) y Evaporitas (d. LP-24). Verano 2022.....	358

Fotografía N° 9-1. Materiales utilizados para extraer muestras de suelo para conductividad hidráulica (permeabilidad).....	378
Fotografía N° 9-2. Vista general punto de muestreo S 1. Verano 2022.	379
Fotografía N° 9-3. Vista general perfil punto de muestreo S 1. Verano 2022.....	380
Fotografía N° 9-4. Vista general punto de muestreo S 2. Verano 2022.	381
Fotografía N° 9-5. Vista general perfil punto de muestreo S 2. Verano 2022.....	382
Fotografía N° 9-6. Vista general punto de muestreo S 7. Verano 2022.	383
Fotografía N° 9-7. Vista general perfil punto de muestreo S 7. Verano 2022.....	384
Fotografía N° 9-8. Vista general punto de muestreo S 8. Verano 2022.	385
Fotografía N° 9-9. Vista general perfil punto de muestreo S 8. Verano 2022.....	386
Fotografía N° 9-10. Vista general punto de muestreo S 9. Verano 2022.	387
Fotografía N° 9-11. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Verano 2022.....	388
Fotografía N° 9-12. Vista general punto de muestreo S 13. Verano 2022.	389
Fotografía N° 9-13. Vista general perfil punto de muestreo S 13. Verano 2022.....	390
Fotografía N° 9-14. Vista general punto de muestreo 3 (S 3). Verano 2022.	391
Fotografía N° 9-15. Vista general perfil punto de muestreo S 3. Verano 2022.....	392
Fotografía N° 9-16. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2022.....	393
Fotografía N° 9-17. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2022.....	394
Fotografía N° 9-18. Vista general punto de muestreo S 5. Verano 2022.	395
Fotografía N° 9-19. Vista general perfil punto de muestreo S 5. Verano 2022.....	396
Fotografía N° 9-20. Vista general punto de muestreo S 6. Verano 2022.	397
Fotografía N° 9-21. Vista general perfil punto de muestreo S 6. Verano 2022.....	398
Fotografía N° 9-22. Vista general punto de muestreo S 10. Verano 2022.	399
Fotografía N° 9-23. Vista general perfil punto de muestreo S 10. Verano 2022.....	400
Fotografía N° 9-24. Vista general punto de muestreo S 11. Verano 2022.	401
Fotografía N° 9-25. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Verano 2022.....	402

Fotografía N° 9-26. Vista general punto de muestreo S 12. Verano 2022.	403
Fotografía N° 9-27. Vista general perfil punto de muestreo S 12. Verano 2022.....	404
Fotografía N° 9-28. Vista general punto de muestreo S 14. Verano 2022.	405
Fotografía N° 9-29. Vista general perfil punto de muestreo S 14. Verano, 2022.....	406
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.....	411
Fotografía N° 10-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2021 a. Panorámica de la estación y b.Sustrato fino, flujo moderado y baja profundidad.	422
Fotografía N° 10-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2021 y verano 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Panorámica de la estación verano.....	422
Fotografía N° 10-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2021 y verano 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Panorámica de la estación verano.....	423
Fotografía N° 10-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación en invierno. b. Parche de la hidrófita <i>Ruppia</i> en línea de costa y sustrato fino.	424
Fotografía N° 10-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2021 y verano 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Panorámica de la estación verano.....	424
Fotografía N° 10-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino.	425
Fotografía N° 10-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2021 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas y Campaña Verano 2022 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.	426
Fotografía N° 10-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2021 y Verano 2022. a y c. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófita: <i>Triglochin concinna</i>).....	427
Fotografía N° 10-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2022. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita.	428

-
- Fotografía N° 10-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* (helófito). Campaña Verano 2022. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófito (*Ruppia*). 429**
- Fotografía N° 10-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2021 y Verano 2022. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas... 430**
- Fotografía N° 10-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2021 y Verano 2022 a y c. Vista panorámica de la estación b y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófito) con lamas de microalgas bajo el agua..... 431**
- Fotografía N° 10-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófito *Schoenoplectus californicus*. Campaña Verano 2022. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y d. Escurrimiento al costado de la estación de monitoreo. 432**
- Fotografía N° 10-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2021 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 2022 c. Vista panorámica de la estación, presencia de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis* sp. en línea de costa. y d. Interior de la poza. 434**

1 RESUMEN

El presente informe corresponde al Sexto 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, Informe Anual N°6 se da cuenta de las campañas de invierno 2021 y verano 2021-2022, las cuales se desarrollaron respectivamente durante los meses de septiembre y octubre del 2021; y entre diciembre del 2021 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-abril del 2022 (para todo el resto de las variables). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2021 a marzo 2022.

La campaña correspondiente a invierno 2021 (Monitoreo M11), se desarrolló entre los días 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021, constituyendo la décimo primera campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto. Por su parte, la campaña correspondiente a verano 2021-2022 (Monitoreo M12), dependiendo de la variable, se desarrolló durante los meses de diciembre 2021 y marzo-abril 2021, constituyendo la duodécima campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto. Corresponden estas fechas de verano 2021-2022, por una primera parte, a la campaña de medición de superficie de Lagunas, realizada entre 14 al 17 de diciembre de 2021, y por otra parte, a la campaña estival de monitoreo de componentes bióticas que fue realizada a su vez en dos fases, en marzo y abril 2022. La primera fase que consideró los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, se desarrolló en terreno entre el **13 y 19 de marzo de 2022**, en estacionalidad de verano. La segunda 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 **12 y 19 de abril de 2022**, correspondiente a temporada de post-lluvias de verano tardío para el área de estudio.

Cabe indicar previamente que para la campaña invierno 2021, hubo suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar, por ocasión de una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle, donde se produjeron hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando por consiguiente dificultades de traslado, accesos y movimientos, por lo cual y para seguridad y resguardo de las personas, no fue posible ejecutar en su totalidad los

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

trabajos de monitoreo correspondientes a la campaña de terreno PMB de invierno 2021. Detalles de lo anterior, en **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta de Albemarle a SMA donde informa suspensión de actividad de monitoreo**. La campaña estaba programada originalmente para iniciar el 15 de agosto 2021 (superficie de lagunas) y el 29 de agosto 2021 el resto de las componentes, sin embargo se reprogramó posteriormente para iniciar el 21 de septiembre, lo que tampoco logró materializarse, solo pudiendo llevarse a cabo las actividades entre el 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021 (**Ver en Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, la Programación Inicial Propuesta y Reprogramaciones**).

Por los anteriores motivos, en el monitoreo invierno 2021, no fue posible llevar a cabo las campañas de monitoreo de los **componentes vegetación y flora y suelos**, así como tampoco se logró realizar la validación en terreno para la **componente superficies lagunares** y su vuelo dron - UVA en los sectores de La Punta – La Brava y Peine. Debido a lo anterior, los análisis de validación supervisada para la estimación de las superficies lagunares, se basaron en la imagen satelital de base, fotointerpretación, tomada durante el monitoreo.

En este sentido, en el presente informe anual, se da cuenta para el monitoreo semestral invierno 2021, solo de las componentes **Fauna de Vertebrados Terrestre, Biota Acuática (Limnología, calidad de aguas y sedimentos), Tapetes microbianos, Superficies Lagunares y Nivel Freático en Lagunas**.

Por su parte para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, se presentan registros de mayor frecuencia de medición para el mes de julio, debido a la activación del Plan de Alerta Temprana (PATH) Sector Alerta Norte (**Ver en Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta ALB-GMA-2021-SMA-038 Activación PATH sector alerta acuífero. Campaña PMB Invierno 2021**). Esto se enmarca dentro de lo comprometido para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH²). En relación a lo anterior, cabe mencionar que el aumento en la frecuencia de mediciones debería haberse realizado en agosto y septiembre también, dentro del presente semestre analizado, sin embargo, producto de las tomas de caminos, no se pudo realizar una medición en agosto y septiembre para los puntos del Sistema La Punta La Brava, y en cuanto al puntos del Sistema Peine, no fue posible ejecutar una medición en agosto y dos en septiembre.

² 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.

En lo correspondiente a la campaña semestral Verano 2021-2022³, cabe señalar respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, que sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), pudieron ser muestreados solo parcialmente debido a la restricción de acceso hacia las lagunas Salada y Saladita, definida *in situ* por los veedores⁴ ambientales de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua. Esta indicación queda registrada en libro de obras de Cedrem Consultores y se adjunta al presente informe anual (**ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**). Por esta razón, para la campaña verano, estos componentes presentan información de monitoreo parcial o incompleta para el sector Peine en particular.

Igualmente, en la campaña de verano (diciembre 2021) del componente **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 un 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). Lo anterior, se puede ver en **Anexo Área de Lagunas 1.10 Carta N° YYY/2021. Carta suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021 y en Anexo Cartas Programaciones y Prohibiciones**.

Por su parte para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones entre los meses de noviembre 2021 a febrero 2022 en BA-21 y BA-22. Esto implica que se cuenta con menos datos durante este semestre para el análisis de niveles en esos barrenos. Igualmente, la no

³ 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.

⁴ Los veedores son representantes de las Comunidades indígenas locales (*no contratados por Albemarle*), y que acompañan las actividades de monitoreo que realiza Albemarle. Los veedores dependen y reportan a la Comunidad y tienen como función asegurar que los trabajos planificados e informados a la Comunidad se realicen conforme a lo proyectado. Además, toman nota de las acciones realizadas y de las mediciones tomadas en terreno, tienen la oportunidad de realizar consultas, plantear inquietudes y velar porque se cumplan los estándares en materia de seguridad. Junto a ello, velan por el buen cumplimiento del protocolo de acceso al territorio que tiene cada Comunidad Indígena Atacameña. En síntesis, los veedores se desempeñan como fiscalizadores comunitarios y reportan a sus respectivas comunidades con el propósito de resolver los aspectos levantados en las actividades de monitoreo.

autorización del ingreso antes referida es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar (**ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**).

Respecto de la componente Área de Lagunas, cabe agregar que es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, la cual quedó establecida 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 2022⁵.

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 operaciones⁶. En cambio, desde diciembre 2016 a abril 2022, 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 sexto 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 será 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 (2019 – 2022) y comparando dicha evolución de las variables de estado versus su comportamiento

⁵ 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 2022. División de Fiscalización SMA. Cod: 125133

⁶ 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.

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°6 del Plan de Manejo Biótico - PMB, según estas subcomponentes o variables monitoreadas:

En relación con Flora y Vegetación:

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

En relación con el monitoreo y caracterización de la flora y vegetación del área de estudio, el presente informe se enmarca entre los monitoreos realizados en el sexto año del plan de seguimiento, correspondiente en esta ocasión solo a información correspondiente al monitoreo de verano 2022 (M12), cuyo monitoreo fue realizada entre los días 12 y 19 de abril de 2022 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 el presente informe anual no se incluye la información de monitoreo correspondiente a Invierno 2021 (M11) del componente Flora y Vegetación, debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar en agosto 2021 por razones de seguridad. Esto por la ocurrencia de una huelga asociada a un sindicato de Albemarle, donde se produjeron hechos violentos y cortes de caminos con barricadas, ocasionando por consiguiente dificultades de traslado, acceso y movimientos en el área de estudio (ver **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta de Albemarle a SMA donde informa suspensión de actividad de monitoreo**).

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 sexto 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 sexto año de monitoreo se describen 37 formaciones vegetales, 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.

En la COT de **verano 2022 (M12)**, 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 agrupaciones de formaciones de matorral zonal según dominancia; seis agrupaciones de formaciones vegetales azonales de humedal (vegas); y tres tipos de formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral – vega, y seis formaciones de matorral hídrico – vega según dominancia.

Entre las formaciones más representativas, destacan los matorrales zonales con dominancia de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 hectáreas (4,9%), concentrados 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%) localizada principalmente en el sector de Tilopozo; y los matorrales – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* con 2.139,3 hectáreas (6,5%), distribuidos de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana.

La formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (46 unidades) y a su vez, las unidades de esta formación presentan una variación de cobertura vegetal, de escasa a muy densa (5% a 100%). En contraste, el matorral de *Atriplex imbricata*, la vega de *Triglochin concinna*, el matorral hídrico - vega de *Distichlis spicata* y de *Triglochin concinna*, la vega de *Phragmites australis*, *Schoenoplectus*

californicus 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.

Descrito lo anterior, el monitoreo semestral de verano 2022 describe 37 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 sexto año (M12), con la única excepción de T21 en Tilopozo respecto de MB0 y de las transectas T01, T02, T04, T21 y T28 respecto al último monitoreo (M10). 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 en M12, aumentando la riqueza registrada en una especie.

De acuerdo con la comparación histórica entre los monitoreos de transectas, la relación que se hizo con algunos puntos de línea base de 2014, no permite ser concluyentes, ya que difieren de la localización puntual aunque sean las mismas formaciones. En Tilopozo, en la formación de *S. californicus* (T19/T29) y en matorral de *T. absinthioides* (T26/T24) se encontraron puntos más cercanos a las transectas en seguimiento, encontrando una relación con las coberturas históricas, indicando una estabilidad de las coberturas en relación con el histórico 2014. Asimismo, en Aguas de Quelana, la transecta T17 podría ser una referencia para el seguimiento del valor histórico de línea base, donde indicaría igualmente una estabilidad frente a esta cobertura.

En relación con la comparación histórica desde MB0 a M12, en general, al analizar la **cobertura promedio de la vegetación entre sectores**, se observa que son diferentes. En Peine, sector con mayor cobertura vegetal y mayor variabilidad entre monitoreos, se observa una disminución en M1 respecto a MB0, observándose luego un alza sostenida en M5 y M6, esta última variación relacionada a la quema registrada principalmente en

herbazales de *S. californicus*, en M7 se estabiliza la cobertura a lo recuperado en M6, similar a lo registrado en M9 (68,5%), M10 (71,9%) y M12 (70,1%), 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, presentando desde MB0 a M5 un rango promedio con menor variación, entre 33,8% (M2) y 39,9% (MB0), presentando una baja moderada en M6 (30,6%), pero recuperándose en M7 con una cobertura de 35,7% y en M9 y M10 con valores similares (31%) pero con un descenso en M12 (26,1%), por lo que no se puede establecer una tendencia entre MB0 a M12, ya que se han observado fluctuaciones de la cobertura vegetal entre monitoreos y diferencias entre las formaciones o áreas de monitoreo dentro del sector. **En La Punta y La Brava se registran variaciones leves de cobertura promedio, aunque con consistencia a la baja desde MB0**, pasando por un rango desde 39,1% (en MB0) a 24,5% en M6, con un aumento leve en M7 (26,4%) y presentando valores estables entre M9 y M10 (24% aproximadamente) y llegando a M12 con 17,9%. 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% y en M12 se presenta igualmente una disminución de la cobertura promedio (29,9%).

Al relacionar la cobertura de **rastrojos o cobertura muerta en los sectores, esta presenta un aumento moderado para todos los sectores según lo registrado en M12, respecto de MB0**. No obstante, los mayores registros de cobertura muerta por sector no ocurren en este último año de seguimiento, teniendo máximos de 22,6% en Peine para el monitoreo de invierno 2019-M7 (M12; 13,9%) y en Tilopozo se registra un máximo de 20,3% en invierno 2020-M9 (M12; 16,6%), mientras que para los sectores La Punta y La Brava y Aguas de Quelana el mayor registro de rastrojo ocurre en M12 (11,9% y 9,3%, 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 con un leve descenso en M10 y M12 (últimos monitoreos de verano) respecto a monitoreos anteriores, 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 para la vegetación azonal en seguimiento con las transectas, las coberturas absolutas de vegetación registradas en el tipo de formación herbazales tienen un mayor rango de variación entre las transectas de estudio comparado con las formaciones de matorral, aunque con variaciones menos marcadas entre las estaciones de invierno y verano, a diferencia de los matorrales que representan una mayor cobertura en invierno que en la estación de verano en algunas transectas.

Al analizar la variación de cobertura vegetal en las transectas, en general, se observa en algunas transectas una disminución desde MB0 a M12, con excepción en algunos casos, como por ejemplo mayor cobertura en M12 en el herbazal de *D. spicata* (T21 en Tilopozo), en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0). En 10 transectas las variaciones registradas hasta M12 presentan menos del 10% de variación en la cobertura según lo registrado en MB0 (T02, T09 y T05 en Peine, T31, T20, T22, T26, T27, T28 y T25 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 6 años de monitoreo para éstas. En 11 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 (T19 y T23 en Tilopozo, T08, T06 y T07 en Peine, T10 en La Brava, T11 y T12 en La Punta y T15, T16 y T17 en Aguas de Quelana), seis transectas con una variación entre un 20% y 40% de cobertura, también con una variación en aumento (T03 y T04 en Peine, T18, T30 y T24 en Tilopozo y T13 en La Punta) y dos transectas con una variación mayor al 50% (T01 en Peine 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% en MB0 y M1; T26, 7,8%). Por el contrario, las transectas T29 y T01, en herbazales de *S. californicus*, si bien presentan unos de los mayores descensos desde MB0, continúan presentando altas coberturas vegetales en M12, donde T01 presenta un 127% de cobertura absoluta (M12) de 207% en MB0 y un 84,8% (T29) de un 136% en MB0.

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 24,4% (1.453 hectáreas) de la COT (5.944 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 2022 y los resultados del monitoreo verano 2021, se observa un aumento de la vegetación activa en todos los sectores, principalmente en el sector Tilopozo – La Punta y La Brava.

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 seis períodos (2017-2022), 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 seis 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 hidrórmorfismo, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los seis años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico, en el rango de lo observado en 2021 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°222/2021 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta (ver Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres).

La décimo primera campaña de monitoreo, invierno 2021 (en adelante M11), se realizó entre el 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021, con un equipo integrado por seis especialistas, divididos en tres grupos. Se muestrearon 25 puntos de muestreo, con la metodología de transectos (en los 25 puntos) y muestreos complementarios: trapeos 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 26 especies, identificándose: dos especies de reptiles, 19 especies de aves y cinco especies de mamíferos. Del total, 10 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, cuatro se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a dos especies de reptiles, cuatro especies de aves y cuatro 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 una especie es catalogada como introducida, *Equus asinus* (burro).

En la campaña de invierno 2021, no se registraron nuevas especies al monitoreo.

En relación con la riqueza por sector, se registraron 14 especies en el sector Tilopozo, 15 especies en Peine y 12 especies en La Punta y La Brava, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la composición por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), variando entre 12 especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, nueve especies en el humedal salar de Peine y nueve especies en el humedal pajonal de Tilopozo.

La décimo segunda campaña de monitoreo semestral de fauna vertebrada terrestre, verano 2022 (en adelante M12), se realizó entre el 13 y 19 de marzo de 2022 (campaña efectiva entre el 15 al 18 de marzo), con un equipo integrado por 6 especialistas, divididos en 3 grupos. Se realizaron 22 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso parcial al sector de lagunas de Peine, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase

reproductiva (**ver Anexo Cartas, Programaciones 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.

Se registró una riqueza total de 19 especies, identificándose: dos especies de reptiles, 11 especies de aves y seis especies de mamíferos. Del total, 10 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, tres especies de aves y cinco especies de mamíferos.

En esta campaña de verano 2022 se registró una especie nueva, no observada en todo el monitoreo (ni en verano ni en invierno: la vicuña *Vicugna vicugna*). Dicha especie si había sido registrada en el monitoreo histórico de línea de base (PMB, 2015).

En relación a la riqueza por sector, se registraron 11 especies en el sector Tilopozo, y nueve especies en La Punta y La Brava y 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 nueve especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, junto con el humedal pajonal de Tilopozo, y seguido por el humedal salar de Peine, con sólo seis especies (como fue indicado previamente, dicho sector no fue muestreado completamente por restricciones de acceso establecidas por la comunidad atacameña de Peine).

En el área de estudio, y en relación con la riqueza acumulada en las 12 campañas de monitoreo, ésta asciende a un total de 58 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 44 especies de aves y 11 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 2016. En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza, ambiente específico de esta especie, 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 2021, destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas (salvo en verano 2021 y verano 2022, que no tuvieron muestreos completos de los sistemas lagunares).

Comparando las 12 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, la quebrada y el humedal pajonal. Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal y el área desprovista de vegetación costra salar.

En el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió entre 0,8% a 13,3%. En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% a un 21,7%. La yaca del norte y la lauchita de pie sedoso solo se registraron en la campaña de verano 2019 e invierno 2019, con un IDR de 0,8%.

En una primera escala gruesa de comparación con la Línea de Base, las 58 especies registradas en total para las 12 campañas de monitoreo (de 2016 a 2022⁷) son un subconjunto de 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). Sin embargo, hay 17 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 que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base). En particular, para las aves (y excepto en verano de 2021 y 2022, con menor monitoreo, debido a las restricciones de acceso), los parámetros son mayores en el Monitoreo del PMB que en la Línea de Base (ej. mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos), 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).

⁷ A la fecha se han ejecutado 5 campañas estivales efectivas de terreno, que corresponden a 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022. La campaña verano 2020 no pudo efectuarse por COVID, sin embargo, para efectos de generalizarlas campañas del PMB se consideran 6 campañas en verano (además de las 6 de invierno), dado que si se logró hacer otras componentes.

En general, para todos los monitoreos (desde 2016 a 2022), la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene. Esto se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema lagunar Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). Analizando el sistema lagunar de La Punta y La Brava (con menor abundancia absoluta de aves, con algunas decenas de ejemplares), si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: 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 mencionar, que de las 12 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia Covid-19 y en los veranos 2021 y 2022 se efectuaron 20 y 22 de los 25 puntos de muestreo, respectivamente (faltando todos o parte de los puntos de monitoreo de las lagunas de Peine), por lo que las comparaciones 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 2021 y verano 2022, 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 2021 (30 de septiembre, 01 y 02 de octubre de 2021) y verano post-lluvias 2022 (15, 16 y 17 de marzo de 2022), que corresponde al sexto informe de monitoreo anual del subcomponente tapetes microbianos. Durante verano 2022, algunas estaciones de las lagunas Salada (S-9) y Saladita (SA-25), correspondientes al Sector Peine, no lograron ser muestreadas por la imposibilidad de acceder a dicho sector dadas las restricciones impuestas por la comunidad de Peine (**ver Anexo Cartas, Programaciones 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, ni de la campaña verano 2021, para el Sector Peine, debido a la imposibilidad de muestrear el área por restricciones de acceso.

Se analizaron *in situ* muestras de 16 puntos de monitoreo, en invierno 2021 y 13 de los 16 puntos en verano 2022, 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 2021 y en 8 de las 13 estaciones de monitoreo establecidas (61,5%) en verano 2022. Cabe resaltar que originalmente son 16 estaciones, no obstante, 3 estaciones no pudieron ser muestreadas por restricciones de acceso. 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 2021 fue registrado en Laguna Salada (S-9) con 30 mm, mientras que en verano 2022, los mayores espesores (13 mm), fueron detectados en Laguna Interna (I-17), Laguna La Punta (LP-23) y Laguna La Brava (LB-3).

El sector Tilopozo en las campañas invierno 2021 y verano 2022, no registró presencia de tapetes microbianos.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2021 y verano 2022, presencia de microbialitos en el Sector Peine (I-11) 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.

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 y verano 2022, 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 doce 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 y en verano 2021 debido a imposibilidad de acceder a dicho sector. Los tapetes de Tipología 1 predominaron en 2016, 2017, 2018, sin embargo, desde la campaña verano 2019 disminuyeron respecto a lo observado en campañas anteriores, a razón de una mayor detección de tapetes Tipología 2 en verano 2019 y un incipiente aumento de tapetes de Tipología 3 en invierno 2020. 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 Sector Peine (invierno 2021 y verano 2022) y en Sector La Punta-La Brava (verano 2022).

En general, los tapetes Tipología 1 durante las doce 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 relativa disminución en el número de capas observadas, tanto en Sector Peine (Laguna Saladita) como en La Punta-La Brava (Laguna La Punta), en verano 2022, respecto a invierno 2021.

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, esta estación no ha vuelto a ser evaluada ni en verano 2020 (debido a Pandemia COVID-19) ni en verano 2021 y verano 2022 (debido a restricciones de acceso).

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 doce campañas de monitoreo. 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 y verano 2022.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 2 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 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 de verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018, verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021, invierno 2021 y verano 2022, no se han detectado tapetes en este sector.

En relación con Suelo o Sustrato:

El periodo reportado para la componente de Suelos (subcomponente sustrato), en el presente informe anual se enmarca entre los días 10 al 16 de abril de 2022, fecha entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de verano (M12). En este informe no se incluye la información de monitoreo correspondiente al Invierno 2021 (M11), debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar en agosto 2021 por razones de seguridad. Esto por la ocurrencia de una huelga asociada a un sindicato de Albemarle, donde se produjeron hechos violentos y cortes de caminos con barricadas, ocasionando por consiguiente dificultades de traslado, acceso y movimientos en el área de estudio (ver **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta de Albemarle a SMA donde informa suspensión de actividad de monitoreo**).

Para el área de estudio, en la campaña semestral de verano (M12), se evaluaron 14 puntos de muestreo, en los cuales se confeccionaron 14 calicatas de una profundidad máxima de 74 cm. En cada una de ellas se extraen muestras de suelo a dos profundidades diferentes, las cuales se encuentran 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 estas 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 los puntos de muestreo: S 1 (VT6)⁸, 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 se encuentran los puntos: S 10 (VTM1), S 11 (VB01), S 12 (VB02) y S 14 (VB03), y;
- 3 La Punta-La Brava: los puntos S 3 (VLP3), S 4 (VLP2), S 5 (VLP1) y S 6 (VLB2).

Señalar, que no se pudo realizar el análisis comparativo del año para este componente (comparación M11 y M12) debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar en agosto 2021, correspondiendo al monitoreo M11, esto por razones de seguridad. En relación a la campaña de verano 2020 (M8), esta no se realizó debido a la condición sanitaria (COVID 19) nacional e internacional.

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) se tiene que:

En el sector de **La Punta-La Brava**, la **conductividad eléctrica** de la mayoría de los puntos es inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y sólo en algunos puntos es superior, mientras que en S 6 ocurre lo contrario, es decir, la mayoría de los puntos presentan valores superiores a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En **Peine**, en la mitad de los puntos de muestreo (S 11 y S 14) el 100% presenta una conductividad eléctrica inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, corresponde a suelos no salino hasta salinos. Mientras que, en los restantes puntos un 62,5% 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 S 7-2, S 8, S 9, y S 13 es inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, excepto en 2 (S 8-1 M4 y S 13-2 M5) lo que implica que para estos puntos los suelos dominantes son no salino hasta salinos, y en los restantes la variación es más amplia con valores desde 2.490 a 34.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, determinando en esto 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

⁸ Entre paréntesis se indica código original Punto Muestreo Suelos (PMB, 2015)

aumento en la concentración a partir de M7, 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, aumento que se observa nuevamente para M12.

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 muestreos en los monitoreos M1, M6, M7 y M12, en los cuales éste es más ácido o más alcalino.

En **Tilopozo** y al igual que en los otros sectores los **pH** dominantes son **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, y con un reducido número de muestreo donde éste es más ácido (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, excepto en algunos de ellos 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 amplia rango entre los valores máximos y mínimos, siendo constantes entre los diferentes monitoreos.

En relación con la **conductividad hidráulica**, en el sector de **La Punta-La Brava**, no presenta una relación entre los resultados para los diferentes monitoreos, ni entre los mismos puntos, 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 y M12, 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. 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 **media** para M7, M9, M10 y M12.

La disponibilidad de **potasio** para el sector de **La Punta-La Brava**, es en la totalidad de los monitoreos para todos los puntos es **alta**. 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. En relación a la disponibilidad esta es mayoritariamente **muy baja** en M1, M6, M7 y M10, 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 tanto 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, 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 determina nivel freático a profundidad de trabajo, lo cual se podría atribuir a una disminución de las precipitaciones o cuando estas ocurren, son de gran volumen en corto tiempo, por lo que, el agua no infiltra en su totalidad y escurre hacia el centro del salar.

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 de 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.

En el sector de **Tilopozo**, en la mitad de los puntos de muestreo, se detectó nivel freático a profundidad de trabajo, destacando la ausencia de nivel freático en algunos puntos como también para todo el monitoreo (M4, M10 y M12).

En relación con Limnología:

El presente informe consolidado da cuenta del monitoreo del sexto 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 doce 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 y 2021 correspondiente a la época de invierno, y marzo de 2017 y 2022 y abril 2018, 2019, y 2021 correspondientes 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 la campaña estival de 2021, 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 como en el sector Peine (**Ver Anexo Cartas, Programaciones 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.

En este sexto informe consolidado, los resultados del componente agua de las campañas de monitoreo de invierno 2021 y verano 2022, 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 2021 y verano 2022, 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 acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua.

El **Sector de Peine**, se caracteriza por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros (máximo de 55018,4 mg/L en I-17 en verano 2022). La conductividad mostró un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en ambos periodos, siendo mayores los valores en verano 2022, alcanzando los 91480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17 que corresponde a una salinidad >42 g/kg. El Sulfato, registró valores en general altos de concentración, acordes con el tipo de sedimentos de esta zona, ricos en sulfatos y yeso, incrementándose también de laguna Salada a laguna Interna, tanto en invierno como en verano. En los registros de calidad de agua para los inviernos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, se observa que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro tuvieron mayores valores (incluso por sobre el máximo registrado durante la LB) durante los inviernos 2017, 2019 y 2021 en las estaciones S-5, SA-25, S-10 e I-11, mientras que en la estación I-17 los máximos ocurrieron en los inviernos 2016, 2017, 2019 y 2021. Cabe mencionar que en verano 2022 los valores de estos parámetros volvieron a encontrarse dentro de los límites de la línea 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. Estas altas conductividades, salinidades y concentraciones de sulfato, son propias de estos sistemas salobres y están dadas por la cercanía de las lagunas al núcleo del salar.

Respecto a las altas temperaturas fueron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, incrementándose también desde laguna Salada hacia laguna Interna en ambos periodos. Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentaron un carácter básico de manera conservativa entre invierno 2021 y verano 2022, con un pH en general por sobre un valor de 8 (en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados) alcanzando las 8,52 unidades de pH en laguna Salada (S-5) en verano 2022. Para el caso del carbonato y la alcalinidad parcial (con la mayoría de los valores bajo el límite de detección de análisis) solo fueron altos en S-5 en verano 2022, lo que explicaría el incremento de pH básico en esa estación y temporada. Referente al oxígeno disuelto en Peine, las concentraciones fueron variables, con un registro mínimo de 2,94 mg/L en I-17 (laguna Interna) en verano 2022 y un máximo de 8,7 mg/L en S-5 (laguna Salada) en

invierno 2021, lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en los distintos períodos, que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

Para el **sector La Punta-La Brava**, los registros obtenidos durante los monitoreos de invierno 2021 y verano 2022, mostraron un sistema de lagunas caracterizado por aguas de alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 70616,4 mg/L en La Brava (LB-2) en verano 2022. Se observó un incremento en conductividad desde la laguna La Punta hacia La Brava, alcanzando los máximos para estos parámetros en La Brava (LB-2) en verano 2022 con 111900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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 (30770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano 2022). 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 29.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (verano 2018) 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 y 2022, 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 cercanos a un valor de 8 en la mayoría de las estaciones en ambos períodos. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. Se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a laguna La Punta, principalmente en invierno 2021 los cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 28,42°C en LB-2 en invierno 2021 y mínimo de 15,23 °C en LP-24 en invierno 2021). En estas lagunas, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más bajas en verano 2022 respecto de invierno 2021 (mínimo 2,01 mg/L en LB-1 en verano 2022 y máximo 8,45 mg/L en LB-3 ambos en invierno 2021), lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en las distintas campañas que afecta la 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 2021 y verano 2022, corresponden a las estaciones TB-1 y TB-3, las cuales son pozas de 2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial. La estación TB-2, que corresponde a una zona inundada de baja profundidad (pajonal hídrico) se encontró con agua superficial solo en la campaña de verano 2022. 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 de su lejanía del núcleo del salar, donde se registraron valores menores de conductividad (entre 3929 y 4551 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (de 2 a 2,3 g/Kg), un pH neutro (6,89 a 7,22) y con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 319 y 354,8 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 24,72 y 25,5 °C) y un oxígeno disuelto que presentó concentraciones entre 3,27 y 3,84 mg/L. Cabe destacar los valores obtenidos de nitrato (máx. 4,3 mg/L en TB-3, verano 2022), Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT) (máx. 5 mg/L en TB-3, invierno 2021) y clorofila-a en Perifiton (máx. 106,26 mg/m² en TB-1, verano 2022).

Respecto de todas las estaciones de Tilopozo, según los valores registrados para Clorofila a 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

Desde un punto de vista histórico, 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 de 6,7°C en invierno 2018 y 25,7 en invierno 2016, para estar cerca de los 25° en verano 2022. 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 un pajonal hídrico de baja profundidad.

Respecto a la calidad de sedimentos, los resultados descritos son las estaciones del **sector Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna), tanto para los monitoreos de invierno y verano, 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. El potencial redox en todas las estaciones presentó valores de ambientes con características reductoras (valores negativos), lo cual 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. Respecto al análisis granulométrico del sector de Peine, los sedimentos mostraron que el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre arena fina y arena gruesa, con un grado de selección de Pobremente seleccionado a Muy pobremente seleccionado. Tales grados de selección implican que la composición granulométrica de los sedimentos presentó varios tipos de tamaño de arena, pero principalmente arena fina a arena media en Laguna Interna y Laguna Saladita y arena gruesa de mayor diámetro en Laguna Salada.

Los resultados de sedimentos para las estaciones del **sector La Punta y La Brava** (campañas invierno 2021 y verano 2022), muestran valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB). 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 (históricamente) 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. Respecto al fósforo total, en invierno 2021 correspondió a <1000 mg/Kg en todas las estaciones, mientras que en verano 2022 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 presentó características reductoras en todas las estaciones y en ambas campañas (invierno 2021 y verano 2022), con valores <0,1 mV en invierno 2021 (bajo el límite de detección) y entre -332 y -288 mV en verano 2022, conservando la condición de ambientes de características reductoras, lo cual se relaciona con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos.

Respecto a la granulometría obtenida en invierno 2021, en laguna La Punta el diámetro medio de grano obtenido en LP-24, correspondió a *Arena Media* (0,276 mm) con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *Grava Muy Fina* (2,341 mm) en LB-2 y *Arena gruesa* (0,546

mm) en LB-3, con un grado de selección de *Muy bien seleccionado* en LB-2 y *Muy pobremente seleccionado* en LB-3.

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 altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT) y materia orgánica, con máximos de 130 g/Kg de COT en invierno 2021 y de 17,09% de materia orgánica en verano 2022. El fósforo total por su parte alcanzó los 1100 mg/Kg en la estación TB-1 en invierno 2021 y en TB-3 en verano 2022, registrándose también concentraciones elevadas de nitrógeno total Kjeldahl en el sector, tanto en invierno 2021 como en verano 2022 (entre 9,59 y 16,37 g/Kg). Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en invierno 2021 (-275 a -281 mV) y más oxidativas en verano 2022 (56,2 y 96,4 mV). Cabe mencionar que las estaciones TB-1 y TB-3 como corresponden a pozas de 2 de profundidad, donde se favorece la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos. Tales parámetros han sido variables a lo largo del PMB (históricamente), sin una tendencia clara observada. Cabe mencionar que las estaciones TB-1 y TB-3 como corresponden a pozas de 2 m de profundidad, se favorece la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos. Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo en invierno 2021, muestran que el diámetro medio de grano obtenido correspondió a Arena Fina en TB-1, con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*, mientras que en TB-3 correspondió a Grava Muy Fina, con un grado de selección de *Bien seleccionado*.

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. En los componentes de fitobentos, fitoplancton y zooplancton se observaron en general valores menores de abundancia en el periodo de verano respecto al de invierno.

En general, para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) y para ambos 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 Cyanophyceae. Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2021 y verano 2022, estos 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 clorófitas y cianófitas la que en el presente monitoreo anual estuvo representado por el género *Chlamydomonas* y *Chroococcus* respetivamente, ambas cosmopolitas, y determinadas para el Salar de Atacama, este y otros *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 observó 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.

En el **sector Peine** para *fitobentos* y *fitoplancton*, como se mencionó, no se tuvo acceso a algunas estaciones de monitoreo, las que correspondieron a S-9 de la laguna Salada y SA-25 de la laguna Saladita.

La comparación de la riqueza total para la *comunidad fitobentónica* en el monitoreo anual (invierno 2021 – verano 2022), fue mayor para invierno 2021 con 21 géneros respecto de verano 2022 en el que se detectaron 16 géneros en total. Respecto del *fitoplancton*, fue similar entre periodos de invierno y verano en el que se detectaron 11 y 13 géneros en total.

Para el *fitobentos* la mayor riqueza fue observada en la laguna Salada e Interna en ambos periodos de monitoreo. En invierno 2021 las estaciones S-9 (Salada) e I-11 (Interna) presentaron la mayor riqueza, mientras que, en verano 2022 fue mayor en la estación I-11 (Interna). En tanto, la menor riqueza en invierno fue detectada en la estación SA-25 (Saladita) y en verano en S-10 (Salada). Respecto del *fitoplancton*, la mayor riqueza fue observada en la laguna Saladita e Interna en invierno 2021 y en Salada en verano 2022.

En invierno las estaciones SA-25 e I-17 presentaron la mayor riqueza, mientras que, en verano la presentó la estación S-5. Por otra parte, la menor riqueza fue observada en invierno en I-11 (Interna) y en verano 2022 en I-11 e I-17 ambas de la laguna Interna.

La abundancia total para *fitobentos*, en tanto, fue menor en el periodo de invierno 2021 (82054 cel/cm²) respecto de verano 2022 (346842 cel/cm²). Las abundancias por estación de monitoreo fueron variables, en invierno 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación SA-25 (laguna Saladita), mientras que, en verano 2022 se observó la mayor abundancia en S-5 (laguna Salada). Por el contrario, en invierno 2021 se detectó la menor abundancia en S-10 (laguna Saladita) y en verano 2022 en I-11 (laguna Interna). Respecto del *fitoplancton*, la abundancia total fue menor en el periodo de invierno 2021 (242 cel/mL) respecto de verano 2022 (440 cel/mL). Las abundancias por estación de monitoreo fueron variables, en invierno 2021 así como en verano 2022 se detectó la mayor abundancia en S-5 (laguna Salada). Por el contrario, en invierno 2021 se detectó la menor abundancia en S-9 (laguna Salada) y en verano 2022 en I-17 (laguna Interna).

Por otra parte, el *fitobentos* presentó una diversidad y equidad mayor en la estación I-17 (laguna Interna) en invierno 2021. En tanto, en verano 2022, la diversidad fue mayor en las estaciones S-5 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna). En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación SA-25 (ambos periodos) y estación S-10 (periodo invierno), ambas ubicadas en la laguna Saladita. En tanto, para *fitoplancton* la diversidad y equidad fue mayor en las estaciones I-17 (laguna Interna) y S-5 (laguna Salada) en invierno y verano respectivamente. Respecto de la equidad, los mayores registros fueron detectados en S-9 (laguna Salada) en invierno y en I-17 (laguna Interna) en periodo de verano. En tanto, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación I-11 (laguna Interna) para ambos periodos de monitoreo.

Respecto del ***fitobentos y su evolución histórica*** en el sector **Peine**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2022 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros de riqueza de géneros fueron similares entre periodos estacionales considerando LB y monitoreo. En cambio, para la abundancia se observaron máximos respecto del registro histórico considerando LB y monitoreo, con altas abundancias en laguna Interna (I-17) en invierno 2021 y en todas las estaciones de monitoreo de Peine en verano 2022.

En tanto, para ***fitoplancton y su evolución histórica***, para riqueza de géneros al comparar invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno), se observó registros similares considerando LB y monitoreo. En el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre verano 2022 y línea de base (periodos de verano), se observó registros en general contenido dentro de la LB, las estaciones I-11 e I-17 (laguna Interna) presentaron registros

por debajo del mínimo de la LB. Respecto de la abundancia total en invierno 2021, estuvo por debajo (en la mayoría de las estaciones) de lo observado en la LB. En tanto, en verano 2022 los valores de abundancia registrados estuvieron en general dentro de lo observado en la LB. Las estaciones S-10 (laguna Saladita) e I-11 (laguna Interna) presentaron registros por debajo del mínimo de la LB.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica y fitoplanctónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el sector **La Punta** y **La Brava**, presentaron registros con diferencias entre el periodo de invierno y verano con 25 y 28 géneros para *fitobentos* y 13 y 17 géneros en total para *fitoplancton*.

Las mayores riquezas por estación de monitoreo para *fitobentos* fueron observadas en la laguna La Brava en invierno 2021 y en La Punta en verano 2022. En invierno la estación LB-3 presentó la mayor riqueza, mientras que, en verano correspondió a la estación LP-24. Por otra parte, en ambas lagunas específicamente en las estaciones LP-24 en invierno y en LB-2 en verano se observaron las menores riquezas. Para el *fitoplancton*, las mayores riquezas fueron observadas en la laguna La Brava en invierno y en verano. La estación LB-3 (laguna La Brava) presentó la mayor riqueza en invierno y verano respectivamente. Por otra parte, en la laguna La Punta, en la estación LP-23 se observaron las menores riquezas en invierno y en LP-24 en verano.

En cuanto a la abundancia total para *fitobentos*, fue menor en el periodo de invierno 2021 (21038 cel/cm²) respecto de verano 2022 (2108485 cel/cm²). En relación con las abundancias por estación de monitoreo, se detectó la mayor abundancia en la estación LB-1 (laguna La Brava), para ambos periodos de monitoreo. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-24 (laguna La Punta) en invierno y en la estación LB-2 (laguna La Brava) en verano. Para el *fitoplancton* la abundancia total en La Punta y La Brava, fue mayor en el periodo de verano 2022 respecto de invierno 2021, en ambas lagunas. Las abundancias por estación de monitoreo, se detectó la mayor abundancia en la estación LB-3 (La Brava) en invierno 2021 y en verano 2022. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-23 (laguna La Punta) en invierno y en verano en LP-24 (La Punta).

Por otra parte, durante invierno 2021 y verano 2022 el *fitobentos* presentó, una diversidad mayor en la estación en LB-3 (La Brava) en invierno y en LP-24 (La Punta) en verano. En tanto, la equidad fue mayor en LP-23 (La Punta) y LB-3 en invierno y en LP-24 en verano. En cambio, la menor diversidad fue observada en LP-24 (La Punta) en invierno y LB-2 (La Brava) en verano. En tanto, la equidad fue menor en la estación LB-1 (La Brava) en invierno y en LB-2 en verano.

En relación con el *fitoplancton* se observó una diversidad mayor en invierno 2021 y verano 2022 en la estación LB-3 (La Brava). En tanto, la mayor equidad fue observada en LP-23 (La Punta) en invierno y en LB-1 (La Brava) en verano. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación LB-1 (La Brava) en invierno y en LP-24 (La Punta) para la diversidad y LB-3 (La Brava) para la equidad en periodo de verano.

En tanto, para ***fitobentos y su evolución histórica*** en **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2022 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares solo para la riqueza para un mismo periodo estacional. Al comparar los registros de riqueza de géneros de invierno con los de verano se observó que estos también fueron similares.

En cambio, los registros para la abundancia fueron variables, en invierno se mantuvo dentro del rango de variación de la LB, en tanto, en verano se observaron por sobre los registros respecto de la LB. En cambio, la abundancia total presentó valores menores en invierno 2020 no obstante, dentro del rango de variación de la línea de base y menores en verano 2021, con valores menores al rango de variación de la LB. Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que ambos parámetros fueron diferentes, siendo menores en la campaña de invierno 2020.

Respecto del ***fitoplancton y su evolución histórica*** en **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno) estuvo contenido en general dentro de lo observado en la LB, excepto por el registro mínimo de 3 géneros en LP-23 (laguna La Punta) en invierno 2021 el que fue menor a lo consignado en la LB. En periodo de verano, en el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre campaña de monitoreo verano 2022 y línea de base (periodos de verano), se observó registros ligeramente mayores de riqueza en verano 2022. La abundancia total en el contexto comparativo entre invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno), presentó valores bajo el rango de variación de la LB. En cambio, en verano 2022 si bien la abundancia total presentó registros bajos (valores cercanos al límite inferior de la LB), se mantuvo dentro del rango de variación de la LB.

La comparación de la riqueza total de la comunidad *fitobentónica* y *fitoplanctónica* entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el sector **Vegas de Tilopozo**, presentó un registro distinto entre el periodo de invierno y verano, con 21 y 11 géneros para *fitobentos* y 4 y 7 géneros en total para *fitoplancton*.

Para *fitobentos* la mayor riqueza por estación de monitoreo en invierno, la presentó TB-1, mientras que, en verano fue observada en TB-2. En tanto, los menores registros fueron observados en TB-3 en invierno y verano. Para *fitoplancton* la mayor riqueza por estación

de monitoreo en invierno y verano, lo presentó la estación TB-3 y TB-1 respectivamente, y los menores registros fueron observados en TB-1 en invierno y en TB-2 en verano.

La abundancia total para *fitobentos*, fue menor en el periodo de invierno 2021 (34871 cel/cm²) respecto de verano 2022 (270111 cel/cm²). Para *fitoplancton*, fue menor en el periodo de invierno 2021 (42 cel/mL) respecto de verano 2022 (495 cel/mL).

En relación con la abundancia por estación de monitoreo para *fitobentos*, en invierno 2021 y verano 2022 se detectó la mayor abundancia en la estación TB-3. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-1 en invierno y en verano. En relación con la abundancia para *fitoplancton*, en invierno y verano se detectó la mayor abundancia en la estación TB-1. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-3 en invierno y en TB-2 en verano.

En la campaña de invierno 2021 y verano 2022 para *fitobentos*, los mayores valores de diversidad fueron para la estación TB-1 y para la equidad fueron mayores en TB-1 y TB-3. Para *fitoplancton*, los valores de diversidad y equidad fueron mayores en la estación TB-3.

Respecto a la **evolución temporal en vegas de Tilopozo**, para *fitobentos* en relación con la riqueza de géneros y abundancia total, al comparar periodos de invierno fueron diferentes, observándose mayores valores en invierno 2016 en todas las estaciones de monitoreo y entre monitoreos ha presentado una disminución en el tiempo. En tanto, para periodos de verano, los registros de riqueza de géneros fueron similares y para la abundancia total presentaron diferencias, presentando para la abundancia total los menores registros en verano 2021 y los mayores en verano 2022.

Respecto del *fitoplancton*, y en relación con la riqueza de géneros y abundancia total, al comparar periodos de invierno fueron diferentes, observándose mayores valores en invierno 2016 (TB-3). En tanto, para periodos de verano, los registros de riqueza de géneros y la abundancia total también presentaron diferencias aun cuando hay varios vacíos de información, observándose para la riqueza de géneros mayores valores en verano 2017 (TB-1 y TB-3) y mayores valores para la abundancia en verano 2018 observados en la estación TB-2, siendo el registro de los dos últimos veranos (2021 y 2022) más homogéneo.

La comunidad de *zooplancton* en el **Sector Peine** en invierno 2020, entre invierno 2021 y verano 2022, se pudo observar que presentó en general bajas riquezas de *taxa* (1 a 4 *taxa* por estación) con el mayor valor de riqueza registrado en el periodo de invierno 2021 en la estación S-10 (laguna Saladita). Las abundancias totales en Peine durante el invierno 2021 y verano 2022 en general fueron bajas, con un registro menor de 0,15 ind/L en S-5 y el mayor de 24,55 ind/L en I-17, ambos en invierno 2021. Al comparar por estación y período, en general las abundancias totales fueron mayores en verano 2022, exceptuando por I-17, donde las abundancias totales fueron mayores en invierno 2021. Las diversidades y

equidades estimadas en general fueron bajas debido a las bajas riquezas y disimiles abundancias. En relación a los taxa dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que en invierno 2021, dominaron los copépodos *Tigriopus* sp. sobre los otros taxa encontrados en las lagunas Salada, Saladita e Interna, mientras que en verano 2022 dominó el branquiópodo *Artemia franciscana* en todas las estaciones del sector. Cabe mencionar que esta última especie fue más abundante en laguna Saladita en ambos períodos, principalmente verano 2022, observándose un incremento en abundancia desde laguna Salada, llegar al máximo en S-10 y decrecer en abundancia en laguna interna.

Históricamente, la comunidad de zooplancton en el Sector Peine registró en general valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la línea base del PMB, excepto por casos puntales de alta abundancia tanto en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) en invierno 2017 y como en S-9, I-11 e I-17 en verano 2018. 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 halofílica, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L

La comparación entre invierno 2021 y verano 2022 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 5 taxa en LP-23 en invierno 2021 y un mínimo de 1 taxón en LB-2 (invierno 2021) y LB-3 (verano 2022). Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron en general más bajas verano 2022 (min 2,50 ind/L y máx. 26,15 ind/L) respecto a las de en invierno 2021 (min 0,69 ind/L y máx. 140,79 ind/L). La menor abundancia total se registró en LB-3 y la mayor en LP-23, ambas en verano 2022. Al comparar por estación y período, las abundancias totales fueron mayores en invierno 2021 en laguna La Punta y mayores en verano 2022 en laguna La Brava. En relación a los taxa dominantes registrados en La Punta y La Brava, durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna. En invierno 2021, el grupo dominante en laguna La Punta fue el copépodo *Boeckella poopoensis*, en las estaciones de laguna La Brava fue dominada por el copépodo *Tigriopus* sp. y de manera secundaria se registró el branquiópodo *Artemia franciscana* en ambas lagunas. Para el verano 2022, la fauna zooplanctónica en este sector estuvo dominada principalmente por *A. franciscana* (La Punta) y por los copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp. (La Brava), observándose también copépodos *Boeckella poopoensis* en La Punta.

Respecto de la evolución histórica, 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 estadios tempranos de desarrollo de otros zooplancteres, como es el caso de *Boeckella poopensis* 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 el sector **Tilopozo** en invierno de 2021, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zooplanctónicos. Por su parte la estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo en invierno 2021. En TB-1 la riqueza total fue de 3 *taxa*, donde se encontró insectos Elmidae, gasterópodos *Heleobia* sp. y gusanos Oligoquetos en bajas abundancias, alcanzando una abundancia total de 0,37 ind/L. En la estación TB-3, ocurrieron 2 *taxa*, copépodos *Tigriopus* sp. y *Heleobia* sp., con abundancias de 0,5 ind/L respectivamente. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad fue baja en ambas estaciones, entre 0,69 y 0,84 nits/ind, mientras que la equidad tendió a ser alta (0,76 en TB-1 y 1 en TB-3), debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron similares. En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2022 (TB-1, TB-2 y TB-3), no se encontraron organismos zooplanctónicos. La evolución en el tiempo 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 abundancias totales fueron muy bajas o cercanas a 0. 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 mencionar 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** tanto en invierno 2021 como en verano 2022, mostró bajas riquezas de taxa (entre 0 y 5 taxa por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada en invierno 2021. Las abundancias totales en Peine durante el invierno 2021 y verano 2022, fueron en general bajas en las estaciones de las lagunas Saladita e Interna, registrando mínimos de 125 ind/m² en Saladita (invierno 2021), mientras que en laguna Salada tendieron a ser mayores en ambos periodos (máximo de 6500 ind/m² en S-5 en invierno 2021). En I-17, no se encontraron organismos zoobentónicos en ninguna de las dos campañas. En relación a los taxa dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que en laguna Salada y parte de laguna Saladita dominaron los ostrácodos de la familia Cyprididae y gasterópodos del género *Heleobia* sp., mientras que los insectos dípteros principalmente de la familia Chironomidae dominaron en laguna Interna. Históricamente, el zoobentos del Sector Peine tanto en 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 10000 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 y en invierno 2020 en las estaciones S-5 y S-10, registrándose un máximo total de 261.974 ind/m² en S-9 en 2017.

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 LP-24 y LB-1 (invierno 2021) y las mayores de 17125 ind/m² en LP-24 y 11875 ind/m² en LB-1 (verano 2022), estas últimas dadas por la alta abundancia del copépodo *Tigriopus* sp. En relación a los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022 en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la estación y campaña. En invierno 2021 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-23, *Tigriopus* sp. en LP-24 y LB-1, dípteros

Ephydriidae en LB-2 y ostrácodos Cyprididae en LB-3. 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 10000 ind/m², sin embargo se encontraron abundancias totales mayores a este valor en verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 e invierno 2020, principalmente en LP-23, LP-24 y LB-1, alcanzando un máximo de 31.592 ind/m² en LP-23 durante el verano 2017.

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, tanto en invierno 2021 como en verano 2022, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 1 y 3 *taxa* por estación). Durante invierno 2021, en TB-1 se encontró el gasterópodo Cochliopidae *Heleobia* sp. y *Heleobia atacamensis*, este último en alta abundancia (27375 ind/m²). En la estación TB-3, ocurrió el taxón *Heleobia atacamensis* con una abundancia de 1250 ind/m². Por su parte la estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo en invierno 2021. Durante verano 2022, la fauna zoobentónica estuvo compuesta por los moluscos gasterópodos *Heleobia atacamensis*, por anfípodos *Hyalella* sp., coleópteros de la familia Elmidae y ostrácodos de la familia Cyprididae. Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 1125 y 116875 ind/m² donde se encontró en gran abundancia el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, registrándose un máximo de 116750 ind/m² en TB-3. Históricamente en este sector se registró que 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).

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, mientras que el sector La Punta y La Brava es alimentada por la quebrada del Tucúcaro. Ambos sistemas no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que exista una pendiente de escorrentía desde el sector Tilopozo a La Punta y La Brava la cual permita el desplazamiento de *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 2021 y verano 2022, 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 helófita *Patosia clandestina* sólo han sido reportadas en campañas de línea de base de invierno.

En invierno 2021 y verano 2022, 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 2021 en todas sus estaciones y en verano 2022 en la mayoría de las estaciones, excepto S-9 de la laguna Salada y SA-25 de la laguna Saladita, debido a restricciones de acceso.

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 helófita 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: (1) La Punta y 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 2021.

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 2021, 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.

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar trabajos de terreno y por ende no se pudo realizar la validación en terreno y tampoco se pudo realizar vuelo dron - UVA en los cuatro sectores de estudio, dada la suspensión de actividades en la Planta Salar⁹ (Ver **Anexo Áreas Lagunas 1.17 ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**). Los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación), para las cuales las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 16 de agosto de 2021 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 24 de agosto de 2021.

Respecto a la campaña verano 2021, ésta se llevó a cabo los días **14 al 17 de diciembre de 2021** en la que solo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y

⁹ Debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle, donde se han producido hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando consiguientemente dificultades de traslado, accesos y movimientos.

vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en una porción del sector Peine (en laguna interna). Por su lado, se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso al sector Peine en sector de lagunas Salada y Saladita, reduciendo las posibilidades de validación en este sector principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución.

Como se señaló previamente, en el sector Laguna Interna si se pudo realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA, 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 detalles en **Anexo Áreas Lagunas 1.18. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021**).

Los valores de ajuste se obtuvieron mediante el índice *Kappa*¹⁰, este índice tuvo valores de 0,80 y 0,92 para imágenes de alta resolución y de 0,92 y 0,93 para imágenes de resolución media en agosto de 2021, en los sectores de La Punta y La Brava y Peine, respectivamente. Respecto de diciembre de 2021, este índice tuvo una variación entre 0,61 y 0,78 para imágenes de alta resolución y desde 0,50 a 0,87 para imágenes de media resolución, en los sectores de La Punta y La Brava y Peine, respectivamente. Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderada a casi perfecto*.

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución (Pleiades 1A) en invierno de 2021 correspondieron a: (1) 45,8 ha en La Punta y La Brava y (2) 45,7 ha en Peine; y para verano de 2021 las superficies son: (1) 24,1 ha en La Punta y La Brava y (2) 26,4 ha en Peine.

Las superficies lagunares estimadas en el monitoreo desde imágenes de media resolución (Landsat 8), en invierno de 2021 correspondieron a: (1) 40,0 ha en La Punta y La Brava y (2) 36,0 ha en Peine; y para verano de 2021 las superficies son: (1) 35,5 ha en La Punta y La Brava y (2) 33,4 ha en Peine.

En relación al análisis comparativo entre las imágenes satelitales, las diferencias entre las imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, son atribuibles principalmente a diferencias en la resolución espacial (tamaño píxel) entre las mismas. Las variaciones registradas en el sistema lagunar Peine, en agosto de 2021, muestran una diferencia de +21,3% de Pleiades 1A sobre Landsat 8 (+9,7 ha); por otra parte, en verano 2021 esta diferencia alcanza un

¹⁰ 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).

+21,0% (+7,0 ha) de Landsat 8 sobre Pleiades 1A para el mismo sector. Para el sector de La Punta y La Brava, las superficies de los cuerpos de agua de agosto 2021 muestran una diferencia de Pleiades 1A sobre Landsat 8 de un +12,8% (+5,9 ha). Desde imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +32,2% (+11,4 ha) para diciembre 2021.

En relación con la evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria semestral (2016 – 2021), en todos los sectores de estudio se observa que la máxima extensión de la superficie de los cuerpos de agua se presenta en los meses de invierno, con registros más bajos en verano. En general, para Sistema La Punta – La Brava se observa una tendencia al descenso de las superficies en la condición de invierno y de verano, siendo más destacada desde el año 2020. En el caso del Sistema Peine, las mínimas (que no se dan sólo en verano) se ven más estables y las máximas se ven aminoradas en el último año.

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 – 2021), las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2021, como parte del PMB, 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 y verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y 2016 - 2021.

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 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 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 (Adenda 5). Sin embargo, las restricciones de movilidad en el marco sanitario o en el control de acceso a zonas de nidificación de flamencos en fase reproductiva, ha reducido las áreas de control *in situ* en los últimos dos años.

En relación a la variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución, la variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector La Punta – 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 del mes de diciembre de 2020 y diciembre 2021. En general, las variaciones estacionales con inviernos de mayor área de ocupación lagunar y veranos con menor superficie lagunar, puede observarse tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, pero en la serie de alta resolución no se observa una diferencia tan grande entre inviernos y veranos, a excepción de los años 2020 y 2021 donde se puede ver mayor diferencia entre temporadas.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector Peine, se encuentran bajo los mínimos históricos de AR para la temporada 2021, con una variación estacional no influenciada por la evaporación, donde no existe una correlación clara entre la precipitación registrada y las variaciones en el área de ocupación de los cuerpos de agua.

Dentro de la comparativa anterior, es importante destacar que las superficies históricas en AR (línea base) fueron determinadas en meses distintos (enero – abril) a los reportados semestralmente (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada.

En relación con Nivel Freático en Lagunas:

Se realizó medición de los niveles freáticos en 5 los 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 2021 a marzo 2022.**

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 2021 a marzo 2022, para los pozos del sector La Punta - La Brava y Peine, se presentan registros de mayor frecuencia de medición (de mensual a quincenal) en abril 2021; entre julio y septiembre 2021; y entre febrero y marzo 2022. En **abril 2021**, se estaba midiendo con frecuencia quincenal en forma precautoria por las medidas bajo el umbral ocurridas en el sector de Alerta Acuífero. En el caso del sector de Peine, no fue

posible medir abril ya que la Comunidad de Peine cerró el ingreso¹¹ a las Lagunas, dada la época de reproducción de flamencos.

En los meses de julio, agosto y septiembre 2021, el aumento de frecuencia del PSAH tuvo su origen en la activación¹² del PATH Sector Alerta Norte en Fase II, informado a través de carta **ALB-GMA-2021-SMA-038** y por ende la aplicación de la medida del aumento de frecuencia de las mediciones. En agosto y septiembre 2021, no se pudieron realizar todas las medidas contempladas en los puntos, debido a la toma y corte de caminos asociado a un huelga de trabajadores de Albemarle (**ALB-GMA-2021-SMA-047**).

Entre los meses de noviembre 2021 a febrero 2022, para los pozos del Sector Peine, pozos BA-21 y BA-22, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar, lo cual se encuentra en **Carta Comunidad de Peine Doc. N°YYY/2021**¹³ en **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones y Anexo Niveles Freáticos** de este Informe Anual.

Por último, para los meses de febrero y marzo 2022, se tiene nuevamente aumento de frecuencia de monitoreo quincenal, debido a la activación del PAT Sector Alerta Acuífero que tuvo lugar el 31 de enero del 2022, lo que fue informado a la autoridad mediante **carta ALB-GMA-2022-SMA-010 (Ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones)**. Lo anterior, implicó aplicar las medidas preventivas de aumentar la frecuencia de medición desde el mes de febrero (por 3 meses) para todos los puntos del PSAH.

Del monitoreo de niveles en los 5 puntos comprometidos como parte del PMB en los Sistemas de Lagunas (3 puntos en La Punta - La Brava, y 2 puntos en Peine), se puede concluir, para el período abril 2021 a marzo 2022 y para cada uno de los puntos de monitoreo, excepto BA-07, los valores promedio anuales de los niveles del período analizado se encuentran sobre el valor mínimo de la Línea Base. Para el sector La Punta – La Brava se observan niveles con una tendencia a la baja en los pozos BA-05, BA-07 y BA-16, y para el sector Peine se tienen niveles estables sin tendencia clara en los pozos BA-21 y BA-22.

A modo general, se tiene que, al igual que para años anteriores, durante la época de verano (principalmente entre diciembre y febrero, previo a las precipitaciones del invierno altiplánico) se registran los niveles más bajos de las lagunas, niveles que suelen comenzar a subir en marzo, lo que en ocasiones coincide con el periodo posterior a las lluvias estivales. Cabe señalar que durante el verano de 2021-2022 las estaciones registran que hubo precipitaciones, en enero y marzo de 2022, pero de una magnitud baja tal que no tuvo

¹¹ Verificadores no autorización de ingreso a lagunas de Peine.

¹² Activación PAT Sector Alerta Norte de ALB se gatilla por la activación del Plan de Contingencias de SQM, excedencia de punto L1-5 ubicado en sistema Soncor.

¹³ La carta de la comunidad Peine está numerada literalmente de esta forma: "N°YYY"

efectos en los niveles (más allá de la estacionalidad natural que generalmente muestra el inicio de los aumentos en los niveles desde febrero-marzo de cada año).

Para el **Sistema La Punta - La Brava**, considerando toda la data disponible (abril 2013 - marzo 2022) en los pozos BA-05, BA-07 y BA-16 se observan sus niveles con una tendencia al descenso principalmente en los últimos años, registrándose nuevos mínimos históricos en BA-05 y BA-07 en este último periodo, con ciclos anuales representados por niveles más elevados (o aguas más someras) en los meses de invierno, entre julio y agosto. Este último año los máximos fueron en junio y valores de niveles menores (o aguas más profundas), en los meses de verano, entre diciembre y marzo.

Para el período, BA-05 presentó varios valores bajo los mínimos LB/histórico, agrupados en el periodo estival (noviembre 2021 – marzo 2022), registrándose un nuevo mínimo histórico en el periodo analizado (abril 2021 – marzo 2022), específicamente en enero 2022, cuando se registra un nivel de 2.300,100 m s.n.m, valor que supera en 2 cm el mínimo anterior registrado (2.300,122 m s.n.m, correspondiente a enero 2021). Por otro lado, se tiene un peak de nivel en junio de 2021. Con todo, **el promedio anual se encuentra por encima tanto del mínimo de Línea Base como del periodo histórico.**

El pozo BA-07, presenta tendencia al descenso de sus niveles (en sus cotas mínimas y máximas) hasta el verano de 2019. Luego del peak registrado en febrero de 2019 (post lluvia) el pozo recuperó los niveles, pero el 2020 vuelve a presentar tendencia a la baja vista para los años anteriores. En el período abril 2021 a marzo 2022, si bien en invierno los niveles subieron, en el periodo de verano se registraron los niveles más bajos en el pozo, mostrando una continuidad con la tendencia al descenso de los niveles mínimos, registrándose un nuevo mínimo histórico de 2.299,915 m s.n.m en enero 2022. **Considerando todo lo anterior, el nivel promedio anual para BA-07 se encuentra por debajo del mínimo de Línea Base e histórico.**

Para BA-16, en el período en análisis (abril 2021 a marzo 2022), comienza su ciclo en una condición más favorable que la observada en el periodo anterior, llegando a su máximo nivel en junio 2021, con un valor de 2.300,897 m s.n.m, Luego, se observa una caída abrupta de los niveles en el pozo (similar a lo acontecido posterior a las lluvias estivales de 2019 y 2020), no obstante lo cual después se retoma la tendencia natural de los niveles del punto, llegando a un mínimo de 2300,817 m s.n.m en el mes de enero. El promedio anual para BA-16 (2.300,848 m s.n.m.) es superior al promedio del periodo anterior **y está por sobre el mínimo de la Línea Base e histórico.**

Para el **Sistema Peine**, representado por los pozos BA-21 y BA-22, se observa en primer lugar la falta de información en el sector de Peine dado por la toma de caminos producto de la toma de caminos, en agosto y septiembre de 2021, y producto de que la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones al pozo entre noviembre de 2021 y febrero de 2022.

Considerando toda la data disponible (abril 2013 - marzo 2022) en los pozos BA-21 y BA-22, se puede señalar que es un sector que presenta 2 tipos de pozos: BA-21, que se ubica en la zona media de lagunas, y por ende su variación se ve más parecida a los puntos ubicados en el núcleo, los cuales responden más rápidamente a las precipitaciones y elevan sus niveles para luego tener bajas progresivas en el tiempo; y BA-22, con variaciones estacionales marcadas. Ambos presentan períodos con tendencia al descenso en los valores mínimos, hasta 2019, pero que a partir del 2020 se revirtieron, y a la fecha marzo 2022, no se puede concluir una tendencia, y ambos presentan promedios anuales por sobre el valor de nivel mínimo de línea de base e histórico.

En este último año (abril 2021 – marzo 2022), BA-21 registró valores en el rango de los mínimos de línea de base, sin tanta amplitud en las variaciones (3,7 cm). Hasta el verano de 2019 los registros de la serie indicaban una tendencia al descenso de los valores mínimos de la serie, y un ascenso de los valores máximos. Esto se revierte en el periodo 2019-2020, aumentando la cota de los valores mínimos, sin embargo, en el período 2021-2022, el mínimo de este período está por debajo el mínimo del año anterior, pero por sobre el mínimo de 2019. **El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base e histórico.**

Para el pozo BA-22, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero). En este último año (abril 2021 – marzo 2022), en el contexto de la imposibilidad de tener mediciones en agosto y septiembre 2021 y entre noviembre y febrero 2022, se registraron valores dentro del rango de los valores históricos, sin tanta amplitud en las variaciones (2,9 cm). **El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base e histórico.**

En relación con el Estado Ecológico del Sistema:

En relación con Niveles Freáticos, se puede señalar que, de acuerdo al criterio general indicado en el Anexo 2 de la Adenda 5, *“Se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente, en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”*¹⁴, del análisis de tendencia de los niveles freáticos éstos presentan comportamientos diferentes en ambos sectores, se puede decir que:

En el Sector La Punta - La Brava, los niveles presentan una tendencia sostenida al descenso en todo el período de registro, incluyendo el período de línea base. Dicho descenso es mayor en los pozos BA-05, BA-07 y presenta la misma tendencia de descenso en la superficie lagunar. Respecto de los rangos fuera tendencia, la excepción del promedio

¹⁴ Fuente: Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo biótico

anual de este último año (2021-2022) es el pozo BA-07, el cual se encuentra más profundo que los niveles de Línea Base como del histórico (por debajo tanto del mínimo de línea base como el mínimo histórico). Cabe señalar, que en este último punto se activó el PAT Acuífero en enero 2022 (Parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico- PSAH), lo que fue notificado a la autoridad mediante carta ALB-GMA-2022-SMA-010, de fecha 1 de febrero 2022, entregando el “Informe de Investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del Plan de Alerta Temprana” (PAT), en el sector de alerta Acuífero” a través de carta ALB-GMA-2022-SMA-038 el 29 de julio 2022.

Para el Sector Peine, considerando todas las mediciones a la fecha y del análisis de tendencia de los niveles promedio no se observa una tendencia al descenso durante la operación de Albemarle. Es relevante indicar que en los puntos BA-21 y BA-22, existen periodos con ausencia de datos por la restricción de ingreso a las lagunas, dada la época de reproducción de flamencos.

Considerando niveles como una de las variables de estado del análisis de estado ecológico del sistema, 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 en este punto.**

Es importante destacar que aguas arriba del sector La Punta La Brava, en el acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (MNT) existen extracciones de aguas subterráneas por parte de Compañía Minera Zaldívar (CMZ) y Minera Escondida Limitada (MEL). Albemarle extrae agua superficial aguas arriba del sistema lagunar y aguas subterráneas en el extremo poniente del acuífero, sin embargo, estas extracciones se encuentran “agua abajo” del acuífero MNT. En cuanto a volúmenes, las extracciones desde el acuífero de MNT Sector Negrillar y Monturaqui, por parte de CMZ y MEL respectivamente, se resume en lo siguiente (MEL, 2021):

- El volumen total extraído desde el campo de pozos de Negrillar entre 1995 y 2020, es de 140.776.696 m³, ver **Tabla N° 1-1**.
- El volumen total extraído desde el campo de pozos de Monturaqui hasta diciembre de 2019, fue de 764.924.781 m³, ver **Tabla N° 1-1**. Posterior a esta fecha el bombeo se detiene.
- El volumen total acumulado, extraído desde ambos campos de pozos hasta diciembre de 2020, es de 905.701.477 m³.

Por otra parte, el volumen total extraído por ALB (considerando aguas subterráneas en Tucúcaro y aguas superficiales en la Vertiente Tilopozo), es del orden de 4.700.000 m³, según muestra la **Tabla N° 1-1**.

Tabla N° 1-1: Volumen extraído de la cuenca MNT hasta diciembre 2020

Empresa	Sector	Volumen (MMm ³)
MEL	MNT	764,9 (1)
CMZ		140,8 (2)
ALB	Aguas abajo MNT	4,7 (3)

(1) Volumen extraído desde el inicio septiembre 1998 hasta dic 2019

(2) Volumen extraído desde el inicio junio 1995 hasta dic 2020

(3) Calculado desde octubre 1997 al año 2020

Cabe agregar que MEL fue precisamente sancionada con una multa de 10.000 UTA aplicada por la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Res. Ex. N° 341 DE 9 de marzo de 2022, por no haber activado su Plan de Alerta Temprana en dicho acuífero desde el año 2005 en adelante y no haber reducido sus extracciones. De esta manera, los descensos en La Punta La Brava tienen su origen en una menor recarga, que es la cantidad de aguas subterráneas que alimenta los sistemas y que no estaría llegando en las mismas condiciones de años previos al área producto de variables naturales y de la extracción de aguas subterráneas por parte de la Minería Metálica, la que ha generado que se propague el cono de depresión desde Negrillar y Monturaqui hacia aguas abajo (en dirección a las lagunas)¹⁵.

En relación con Vegetación Azonal, respecto del indicador de cobertura promedio de vegetación por sector, en términos generales, de acuerdo a los resultados de los seguimientos de 2016-M1 a 2022-M12, se tiene que: (1) el sector de Tilopozo que presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos principalmente desde MB0 a M5. En relación con la cobertura de rastrojos para el sector Tilopozo, en general se presentan promedios mayores a los registrados en MB0, (2) En el sector La Punta y La Brava, se observa en la mayoría de los monitoreos coberturas menores a lo registrado en MB0-M1, (3) el sector Peine presenta mayor cobertura vegetal promedio que el sector Tilopozo – La Punta y La Brava. En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, LPLB y Tilopozo presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable hasta M12; el sector Peine presenta variaciones moderadas.

Con respecto a la riqueza, se observa una variabilidad entre los monitoreos desde MB0 a M12, con variación máxima de tres especies en los sectores de análisis.

En relación a las coberturas absolutas de las transectas, por formación vegetal, se tiene: para el sector La Punta y La Brava respecto a la variación de la cobertura en las

¹⁵ Junto a la menor recarga los niveles de un pozo en particular se pueden ver afectados, además, por condiciones locales incluyendo la posibilidad de precipitación-disolución de sales y flujos preferentes en el acuífero.

transectas en los seguimientos de M1 a M12 (2016- 2022), se observa en general un descenso de las coberturas vegetales desde MB0.

En Tilopozo, se observa descenso en algunas transectas, sin embargo, presentan una variabilidad intermitente entre monitoreos sin observar una tendencia clara. Los descensos más marcados se observan en el herbazal de *J. balticus*, la transecta T26 en un herbazal de *D. spicata* y los matorrales de *T. absinthioides*, pero éstos presentan la particularidad de que los inviernos tienden a tener una cobertura vegetal más activa y al año 6 falta este dato (M11). En el caso de La Punta-La Brava, el herbazal de *J. balticus* también representa una de las mayores variaciones al descenso (T13) junto al herbazal de *T. concinna* (T10). Por su parte, el herbazal de *S. californicus* en Tilopozo, presenta la mayor cobertura vegetal del sector y leves variaciones entre monitoreos, destacando en M12 la transecta T29 con el único registro menor al 100% de cobertura (84,8%).

Para el sector Peine, en las coberturas absolutas de las transectas, se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M12 (2016-2022), que no se traducen en una tendencia marcada al descenso o alza de tales coberturas; donde se destacan las formaciones de herbazal de *S. californicus*, que registra una cobertura absoluta cercana o sobre el 100%, que en general no ha registrado variaciones significativas (a pesar del descenso de la transecta T01 en M1, en comparación a su condición base, porque se ha mantenido estable en el rango de los valores entre monitoreos). En general, el resto de las formaciones presentan valores dentro del rango de variación en comparación a MB0, si bien el matorral de *T. absinthioides* presenta una mayor disminución al año 6 (M12) respecto MB0, ésta no se puede traducir en una tendencia debido a la dinámica de variaciones que presenta estacionalmente.

Respecto de la estructura comunitaria, o composición de las especies, durante el periodo de seguimiento (M12; verano 2022) a nivel de los sectores LPLB – Tilopozo, se presenta en general estable con cambios específicos en la estructura de ciertas transectas. En términos generales, algunas variaciones presentan cambios significativos, aunque estos cambios no presentan una tendencia clara y se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica.

Para el sector Peine, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos, aunque algunas variaciones en el matorral de *T. absinthioides* sí se presentan con mayor tendencia al descenso, y en este sentido los cambios en la cobertura de los matorrales podrían corresponder a otros factores, mientras que los descensos estimados en las otras formaciones se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar.

En relación a la salinidad (sustrato salino), para el sector La Punta y La Brava, la comparación entre los promedios anuales de la cobertura salina durante los 6 años de monitoreo, en la mayor parte de las transectas, muestra variaciones leves entre 0,5% y

12,3% respecto al primer monitoreo M1. En el subsector Tilopozo, la mayor parte de las transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura salina durante el periodo de seguimiento, con una baja leve (inferior al -10%) del año 6 respecto al monitoreo inicial M1.

Para el **sector Peine**, cuatro de las nueve transectas de monitoreo del sector registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con ausencia de la cobertura para el año 6 y porcentajes muy bajos para el resto de los años (herbazal de *S. californicus*). En el herbazal de *D. spicata*, se presenta una mayor variación de la cobertura salina en la transecta T09, donde bajan las coberturas hasta un máximo de -13,6% en el quinto año de seguimiento, respecto MB0.

Finalmente, en base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación en base a lo establecido en el PMB “*se entenderá como un cambio en tendencia si después de 3 años consecutivos (periodos), se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino [...] o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”, **se concluye la mantención del estado ecológico en la cobertura, la composición de las especies y el sustrato salino durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas.** Lo anterior, sugiere el continuar el análisis para comprobar una tendencia debido a las fluctuaciones que se registran entre monitoreos, en donde los cambios significativos podrían enmarcarse a un ciclo de variación histórica según muestra los análisis de larga data del NDVI en el sistema.

En relación con la vegetación activa con el NDVI, se observa una **mantención general de la variabilidad dentro del rango histórico en la actividad vegetal**, para las formaciones vegetales en seguimiento, según la cobertura y los valores del NDVI obtenidos en imágenes de alta resolución (Pleiades 1A), como de media resolución (Landsat 8), en todos los sectores de estudio (Tilopozo-La Punta y La Brava y Peine). Para la formación de herbazal de *S. californicus* del sector Peine, se observa una recuperación parcial de 2020 a 2022 considerando la baja que se venía observando respecto a los registros históricos.

Respecto de la evaluación de cobertura de vegetación activa mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución, según lo establecido por el PMB respecto a que “*se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)*”, se puede indicar que a la fecha, **se registra una mantención del estado ecológico de la cobertura activa (NDVI) a nivel de los sectores de evaluación.**

En cuanto al análisis de la evolución de superficies lagunares, y de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5 para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que “*se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)*”, se concluye para las superficies determinadas

por imágenes de Alta Resolución (AR), que el promedio anual para 2021, se registran sobre el mínimo histórico para el sector La Punta y La Brava, y bajo el mínimo histórico para el sector Peine. Los años 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado para el sector La Punta y La Brava, sin embargo, los valores de verano 2020 y 2021 (ambos en diciembre) se encuentran fuera de los rangos registrados en la línea base. Para el sector Peine los promedios de los años 2019 y 2020 se encuentran dentro del rango de línea base. Para el año 2021, los datos de agosto 2021 y diciembre 2021 se encuentran fuera de los valores registrados históricamente en marzo y abril (línea de base), es decir, el último período estaría bajo las áreas obtenidas en marzo del 2006 y abril 2010 a 2013. Lo anterior se confirma también para las superficies de abril 2021 y abril 2022. Las disminuciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

Así, considerando el indicador de superficie lagunar y el criterio establecido en la Adenda 5, en su Anexo 2, **a la fecha ambos sistemas indican una mantención del estado ecológico**. Para el sector La Punta-la Brava los valores medidos anualmente en promedio, se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente (2007-2014), sin embargo, los registros de la condición de verano de diciembre 2020 y diciembre 2021 auspician una tendencia a la baja. En el caso del Sector de Peine, los valores medidos anualmente en promedio, también se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente (2007-2014), con la excepción del último período 2021, en donde el registro de diciembre hace disminuir el promedio anual.

La conclusión más importante es que se observa en el largo plazo una disminución de los niveles en el período anterior a la ejecución del proyecto a una tasa similar a los descensos posteriores. Estos descensos de largo plazo se ven modificados en torno a las precipitaciones, generando un aumento puntual de los niveles y luego un descenso a mayor velocidad hasta alcanzar la tendencia de largo plazo.

Considerando todas las mediciones a la fecha se tiene que, existe una tendencia al descenso en todos los pozos desde antes de la operación del proyecto en cuestión. Dicha tendencia es leve en el pozo BA-16, comparada con los pozos BA-05 y BA-07. Se observa, además, que la tendencia de largo plazo no se ha visto modificada si se compara el período anterior al proyecto de Albemarle en comparación al período posterior.

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 deben a un mejor flujo de agua subterránea en el lugar.

Por último, y de acuerdo a lo comentado anteriormente, los pozos de este Sector (LP-LB) presentan promedios anuales por encima (más someros) del mínimo de Línea Base y del mínimo histórico, **a excepción del promedio anual de este último año (2021-2022) en el pozo BA-07**, el cual corresponde al mínimo del registro de niveles en el pozo, y se encuentra por debajo (más profundo) tanto del mínimo de Línea Base como del mínimo histórico. Cabe señalar, que en este punto se activó el PAT Acuífero en enero 2022, lo que fue notificado a la autoridad mediante carta **ALB-GMA-2022-SMA-010**, de fecha 1 de febrero 2022, entregando el “*Informe de Investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del Plan de Alerta Temprana*” (PAT), en el sector de alerta Acuífero” a través de carta ALB-GMA-2022-SMA-038 el 29 de julio 2022 (ver **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**).

2 INTRODUCCION

El presente informe corresponde al tercer 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 operaciones¹⁶. 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°6, 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):

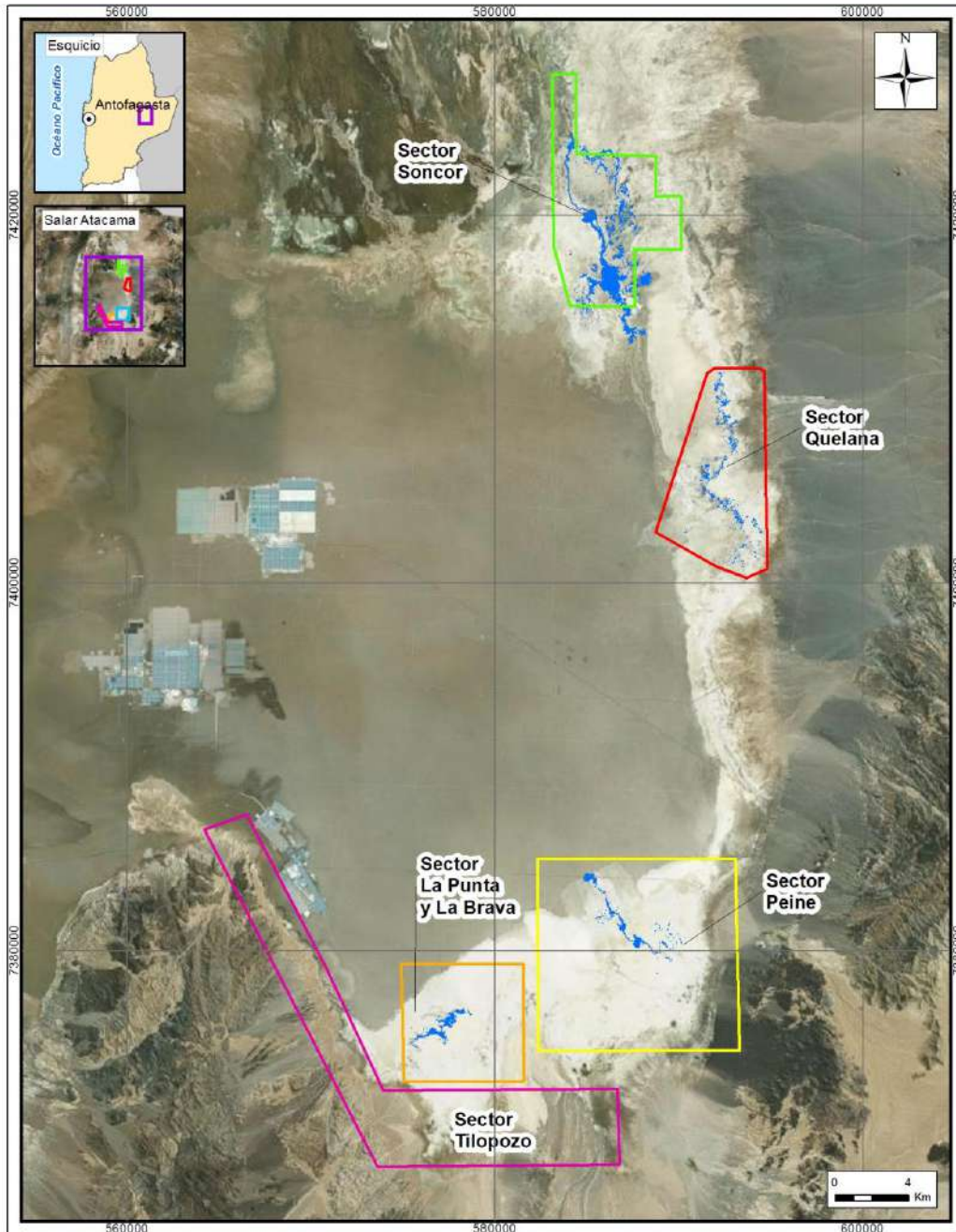
- 4) Sistema Soncor (*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
- 5) Quelana (*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

(*) 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

¹⁶ 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, da cuenta de las campañas de invierno 2021 y verano 2021-2022, las cuales se desarrollaron respectivamente durante los meses de septiembre y octubre del 2021; y entre diciembre del 2021 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-abril del 2022 (para todo el resto de las variables). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2021 a marzo 2022.

La campaña correspondiente a invierno 2021 (Monitoreo M11), se desarrolló entre los días 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021, constituyendo la décimo primera campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto. Por su parte, la campaña correspondiente a verano 2021-2022 (Monitoreo M12), dependiendo de la variable, se desarrolló durante los meses de diciembre 2021 y marzo-abril 2021, constituyendo la duodécima campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto. Corresponden estas fechas de verano 2021-2022, por una primera parte, a la campaña de medición de superficie de Lagunas, realizada entre 14 al 17 de diciembre de 2021, y por otra parte, a la campaña estival de monitoreo de componentes bióticas que fue realizada a su vez en dos fases, en marzo y abril 2022. La primera fase que consideró los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, se desarrolló en terreno entre el **13 y 19 de marzo de 2022**, en estacionalidad de verano. La segunda 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 **12 y 19 de abril de 2022**, correspondiente a temporada de post-lluvias de verano tardío para el área de estudio.

Cabe indicar previamente que para la campaña invierno 2021, hubo suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar, por ocasión de una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle, donde se produjeron hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando por consiguiente dificultades de traslado, accesos y movimientos, por lo cual y para seguridad y resguardo de las personas, no fue posible ejecutar en su totalidad los trabajos de monitoreo correspondientes a la campaña de terreno PMB de invierno 2021. Detalles de lo anterior, **en Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta de Albemarle a SMA donde informa suspensión de actividad de monitoreo**. La campaña estaba programada originalmente para iniciar el 15 de agosto 2021 (superficie de lagunas) y el 29 de agosto 2021 el resto de las componentes, sin embargo, se reprogramó posteriormente para iniciar el 21 de septiembre, lo que tampoco logró materializarse, solo pudiendo llevarse a cabo las actividades entre el 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021 (**Ver en Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, la Programación Inicial Propuesta y Reprogramaciones**).

Por los anteriores motivos, en el monitoreo invierno 2021, no fue posible llevar a cabo las campañas de monitoreo de los **componentes vegetación y flora y suelos**, así como tampoco se logró realizar la validación en terreno para la **componente superficies lagunares** y su vuelo dron - UVA en los sectores de La Punta – La Brava y Peine. Debido a lo anterior, los análisis de validación supervisada para la estimación de las superficies

lagunares, se basaron en la imagen satelital de base, fotointerpretación, tomada durante el monitoreo.

En este sentido, en el presente informe anual, se da cuenta para el monitoreo semestral invierno 2021, solo de las componentes **Fauna de Vertebrados Terrestre, Biota Acuática (Limnología, calidad de aguas y sedimentos), Tapetes microbianos, Superficies Lagunares y Nivel Freático en Lagunas.**

Por su parte para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, se presentan registros de mayor frecuencia de medición para el mes de julio, debido a la activación del Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH) Sector Alerta Norte (**Ver en Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta ALB-GMA-2021-SMA-038 Activación PATH sector alerta acuífero. Campaña PMB Invierno 2021**). Esto se enmarca dentro de lo comprometido para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH¹⁷). En relación a lo anterior, cabe mencionar que el aumento en la frecuencia de mediciones debería haberse realizado en agosto y septiembre también, dentro del presente semestre analizado, sin embargo, producto de las tomas de caminos, no se pudo realizar una medición en agosto y septiembre para los puntos del Sistema La Punta La Brava, y en cuanto al puntos del Sistema Peine, no fue posible ejecutar una medición en agosto y dos en septiembre.

En lo correspondiente a la campaña semestral Verano 2021-2022¹⁸, cabe señalar respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, que sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), pudieron ser muestreados solo parcialmente debido a la restricción de acceso hacia las lagunas Salada y Saladita, definida *in situ* por los veedores¹⁹ ambientales de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua. Esta indicación queda

¹⁷ 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 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.

¹⁸ 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.

¹⁹ Los veedores son representantes de las Comunidades indígenas locales (*no contratados por Albemarle*), y que acompañan las actividades de monitoreo que realiza Albemarle. Los veedores dependen y reportan a la Comunidad y tienen como función asegurar que los trabajos planificados e informados a la Comunidad se realicen conforme a lo proyectado. Además, toman nota de las acciones realizadas y de las mediciones tomadas en terreno, tienen la oportunidad de realizar consultas, plantear inquietudes y velar porque se cumplan los estándares en materia de seguridad. Junto a ello, velan por el buen cumplimiento del protocolo de acceso al territorio que tiene cada Comunidad Indígena Atacameña. En síntesis, los veedores se desempeñan como fiscalizadores comunitarios y reportan a sus respectivas comunidades con el propósito de resolver los aspectos levantados en las actividades de monitoreo.

registrada en libro de obras de Cedrem Consultores y se adjunta al presente informe anual **(ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones)**. Por esta razón, para la campaña verano, estos componentes presentan información de monitoreo parcial o incompleta para el sector Peine en particular.

Igualmente, en la campaña de verano (diciembre 2021) del componente **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 un 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). Lo anterior, se puede ver en **Anexo Área de Lagunas 1.10 Carta N° YYY/2021. Carta suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021 y en Anexo Cartas Programaciones y Prohibiciones.**

Por su parte para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones entre los meses de noviembre 2021 a febrero 2022 en BA-21 y BA-22. Esto implica que se cuenta con menos datos durante este semestre para el análisis de niveles en esos barrenos. Igualmente, la no autorización del ingreso antes referida es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar **(ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones)**.

El Plan de Manejo Biótico (PMB) definido en el Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, establece para las componentes de Biotas, 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 lo establecido en el PMB y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto de fecha 20 de enero del 2016, RCA 21/2016.

Tabla N° 2-1. 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	59**	-	59**
	Fauna Terrestre	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia	16	9	25
	Flora y Fauna acuática (**Limn)	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	12	2	14
	Tapetes microbianos	Semestral	Caracterización de tapetes / Presencia evaporitas y microbialitos	10	6	16
Suelo	Sustrato	Semestral	Físicas y Químicas	14	-	14
	Sedimento (****Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
Agua	Calidad de agua (**Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
	Lagunas	Mensual	Nivel freático lagunas	5	-	5
	Lagunas	Semestral	Superficie cuerpos de agua	No aplica	No aplica	No aplica

*: Definición de puntos de transectas en levantamiento 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 59 puntos de monitoreo corresponden a puntos de validación semestral de la COT del área de estudio. Sin embargo, para la campaña de verano 2021, se pudo validar 68 puntos de monitoreo corresponden a puntos de validación semestral de la COT del área de estudio en campaña verano 2022. A los 59 puntos de monitoreo COT previamente definidos en campañas anteriores; se adiciona un punto que se levantó en el monitoreo M7 en invierno de 2019; y ocho puntos adicionales levantado en el monitoreo M12 de verano 2022 para actualizar la cartografía de vegetación.

*** 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.

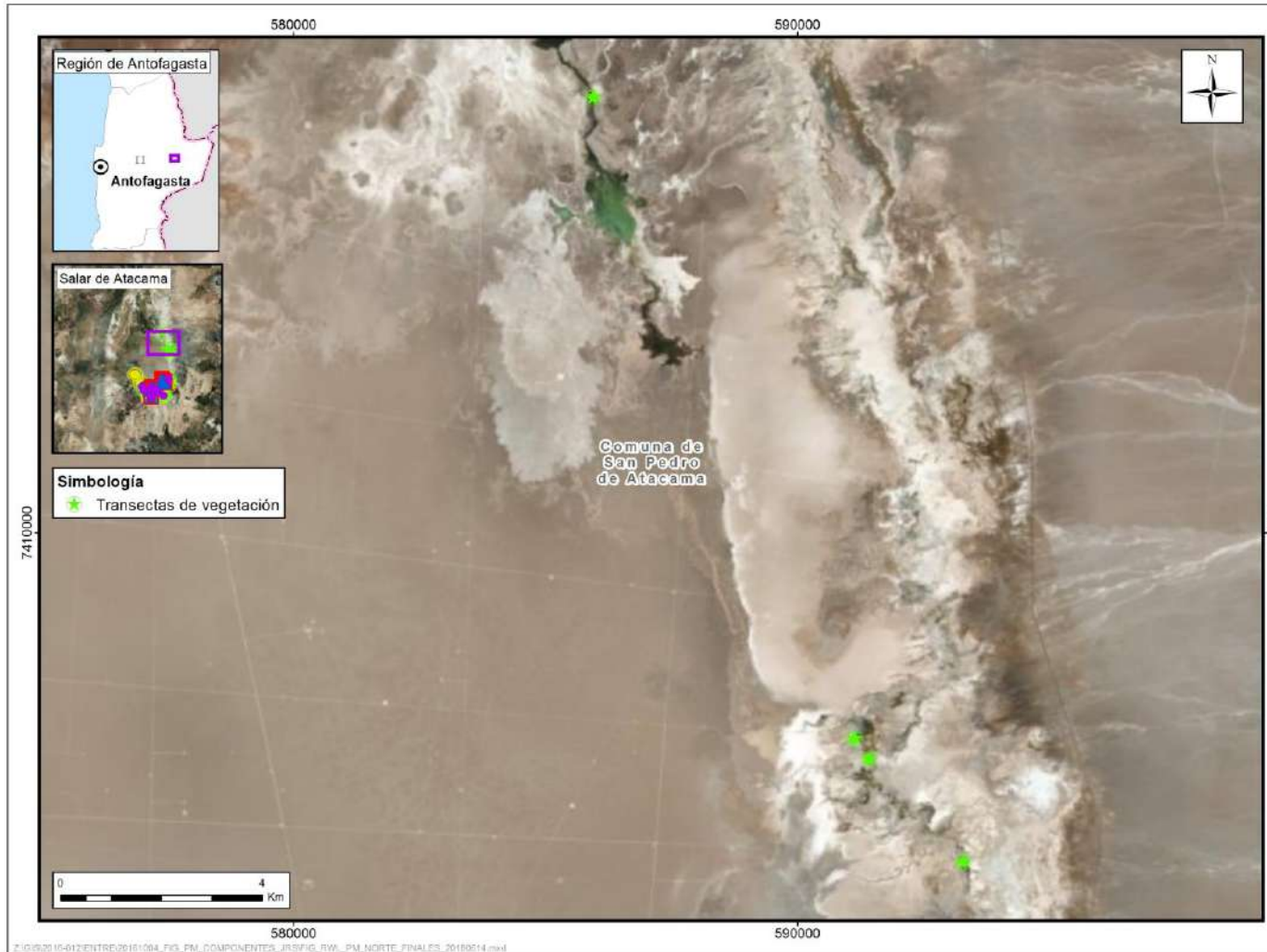
El estado ecológico, de acuerdo a lo establecido en el PMB, se evalúa en términos de tres variables de estado: (1) nivel freático, (2) vegetación azonal²⁰, y (3) superficie de las lagunas, las cuales se analizan en el **capítulo 13.8** de este informe.

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.

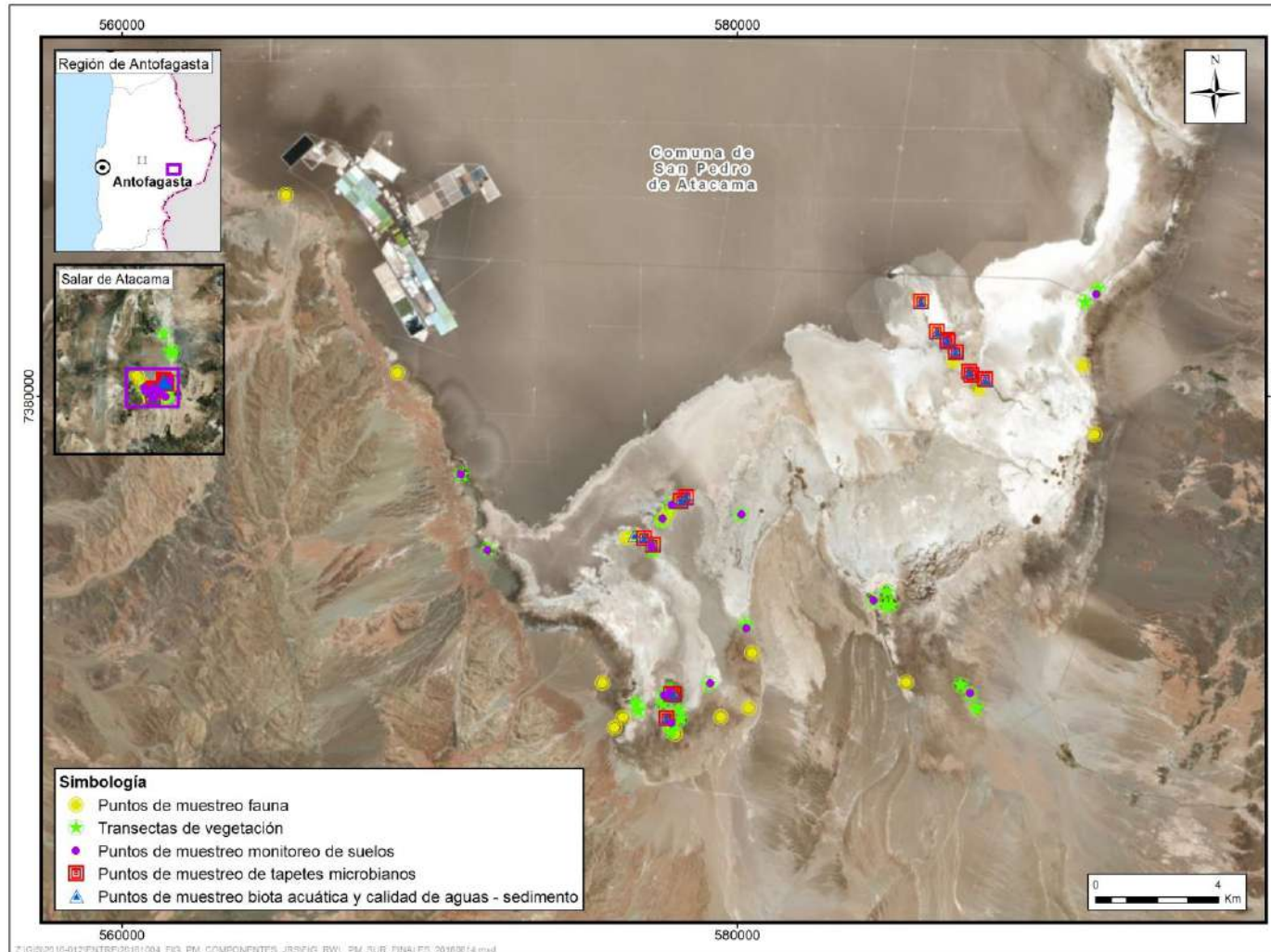
²⁰ La definición de puntos de transectas de vegetación azonal, para la subcomponente de flora terrestre, se realiza en levantamiento previo realizado en terreno en el mes de julio de 2016, denominado en adelante "Monitoreo Base 0 – MBO" (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la 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 2021 y verano 2021-2022 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
Sustrato	Físicas y químicas	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	Laboratorios acreditados como ETFA: ALS Life Sciences Chile S.A.; y ANAM 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	Albemarle	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 físico químicos 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 físico-químicos 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 físico-químicos 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°6 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 2021 y a la estación de verano 2021-2022, 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 (2019 – 2022) 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 Hídrico de Albemarle, 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.
- PATH: Plan de Alerta Temprana Hídrico, 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 (Julio de 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.

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 2021 y verano post lluvias 2022, 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 cinco 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 19 de abril de 2022, fechas en que se realizó la campaña estacional de verano de 2022 (Monitoreo 12 o M12). En cuanto al monitoreo semestral de invierno 2021, llamado en adelante Monitoreo 11 (M11), no se realizó la campaña estacional para el relevamiento de la vegetación (COT) y flora (composición y cobertura a través de transectas). 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 (en esta oportunidad solo para verano 2022) 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 (verano 2022).
 - 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 2022, con los registros históricos de la línea de base y el monitoreo realizado en verano 2021, verano 2020, verano 2019, verano 2018 y en verano 2017.
 - Comparar en la discusión la cobertura y composición vegetal actual (Monitoreo 12) con el monitoreo inicial (MB0) realizado en la etapa pre operacional del proyecto, junto con la variación o evolución de los monitoreos anteriores.

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 Brava²¹, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana²² (**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 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 Brava²³, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana²⁴ (**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 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

²¹ 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*.

²² 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.

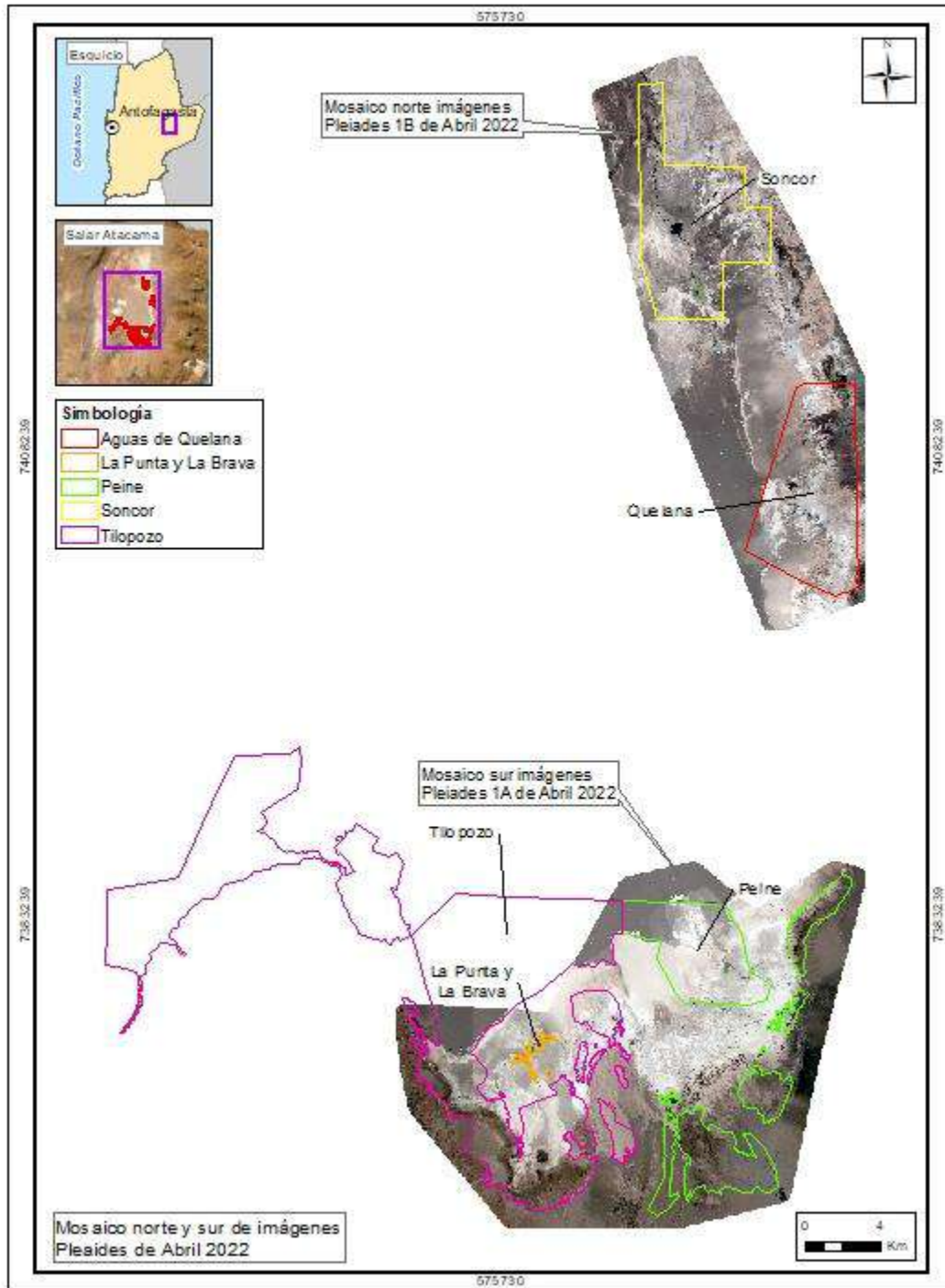
²³ Con el fin de homologar la sectorización a la establecida por el PMB, se decidió seccionar el área de Tilopozo en dos subsectores: *La Punta y La Brava*, y *Tilopozo*.

²⁴ 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.

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 **Tabla 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) y también en los Informes Semestrales.

Para este monitoreo, correspondiente al sexto año de seguimiento, se levantó información de 68 puntos de monitoreo en verano 2022, 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 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 (verano 2022)**).

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.

Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de verano 2022.

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	-	T14*	585849	7418685
	SO001	RPV015	585849	7418685

*: Transecta y punto COT sin muestreo estacional en Monitoreo M12 por falta de acceso en el subsector Soncor; **: puntos COT nuevos, levantados en Monitoreo M12 para actualizar la cartografía de vegetación.

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 verano 2022.

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, 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 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 verano 2022 se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución del sensor Pleiades-1A/1B de abril de 2022.

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 10.3, usando imágenes multiespectrales de alta resolución, las cuales provienen del satélite Pleiades-1A (píxel de 2 metros).

Los polígonos resultantes son atribuidos 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 suelo²⁵ definidas para el Catastro y Evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF 1999). La **Tabla N° 6-8** lista las categorías usadas en el presente estudio.
- VI. **Tipo de recubrimiento de suelo:** conjunto de tipos de recubrimientos de suelo clasificados como vegetación u otros recubrimientos. Además, para los tipos “con vegetación”, ésta se divide en dos tipos según sus patrones de distribución:
- a) *vegetación zonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución espacial que responde a elementos característicos de la zona, donde las condiciones climáticas regionales están plenamente expresadas.
 - b) *vegetación azonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución local y/o particular, independiente de las condiciones climáticas regionales, ya que responden a elementos específicos del sitio, como el tipo de suelo, sustrato o humedad (Luebert & Pliscoff 2006; Font-Quer 1965). Esta cobertura de vegetación está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, los que las hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

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

²⁵ 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
	Humedales	Cuerpos de agua	Suelos removidos	1.2
			Lagunas, Lagos, Embalses	2.1
			Salares	3.1
			Áreas desnudas	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 desnudas 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	<i>Nomenclatura COT</i>	Formación herbácea muy clara (H3).
	<i>Nomenclatura Proyecto</i>	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (H3)
2	<i>Nomenclatura COT</i>	Formación leñosa baja muy clara (LB3) - Formación herbácea baja muy clara (H3).
	<i>Nomenclatura Proyecto</i>	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 cm y 0,50 m 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

Para el Monitoreo 11 (M11) correspondiente a la estación de invierno 2021, no se ejecutó el levantamiento y validación COT, por las razones de fuerza mayor indicadas al comienzo de este informe.

El Monitoreo 12 (M12) de verano se realizó durante el período tardío de verano (post-lluvias), entre los días 12 y 19 de abril de 2022.

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**.

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**).

Cabe señalar que en el Monitoreo 12 (verano 2022) no se tuvo acceso al sector Soncor para poder realizar la transecta T14, aunque ésta fue validada a distancia a través de un

punto COT complementario corroborando su fisionomía de área desprovista de vegetación y sin registros florísticos.

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			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							
	VT2	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			T23	T23i	578198	7369527	2.307	SO
									T23f	578153	7369506		
					T24			T24	T24i	577922	7369310	2.310	SO
T24f									577879	7369283			
T25			T25	T25i	577901	7369109	2.311	SO					
				T25f	577851	7369103							
VT5	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T26	T26i	571909	7375029	2.303	SE						

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

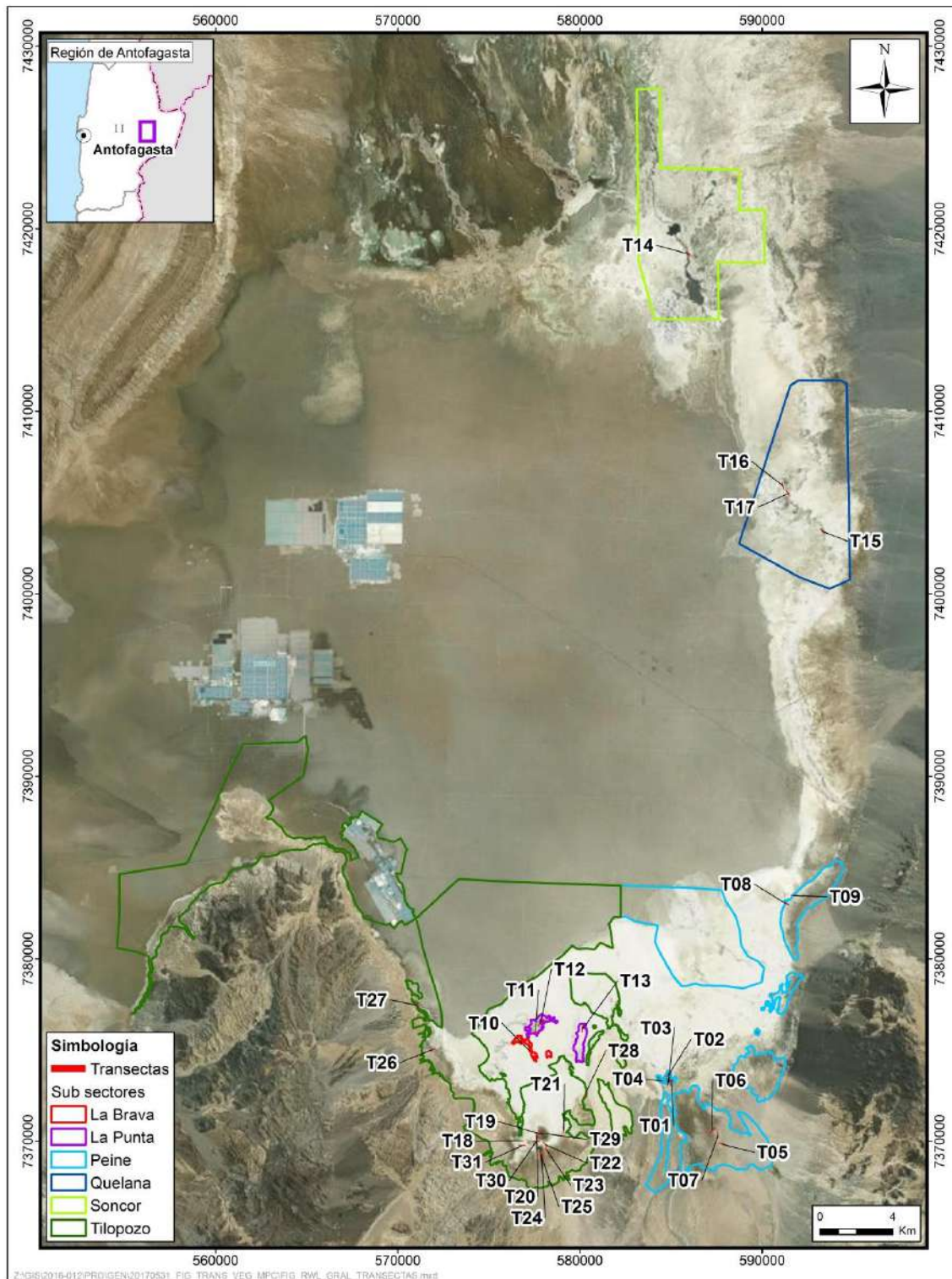
Dónde: Punto Asociado*: Puntos propuestos para monitoreo en el Plan de Manejo Biótico;

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

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

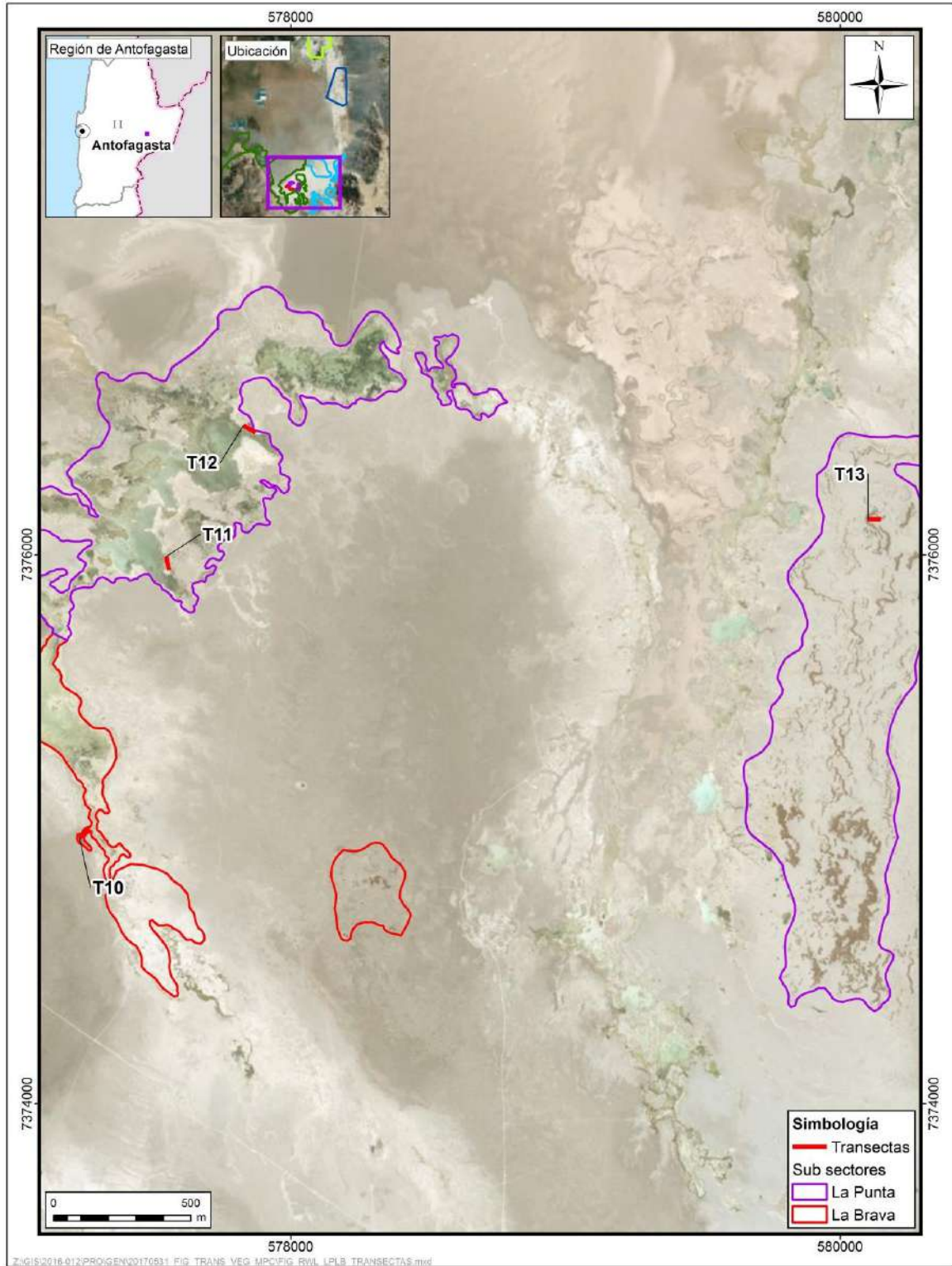
Fuente: Elaboración propia.

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



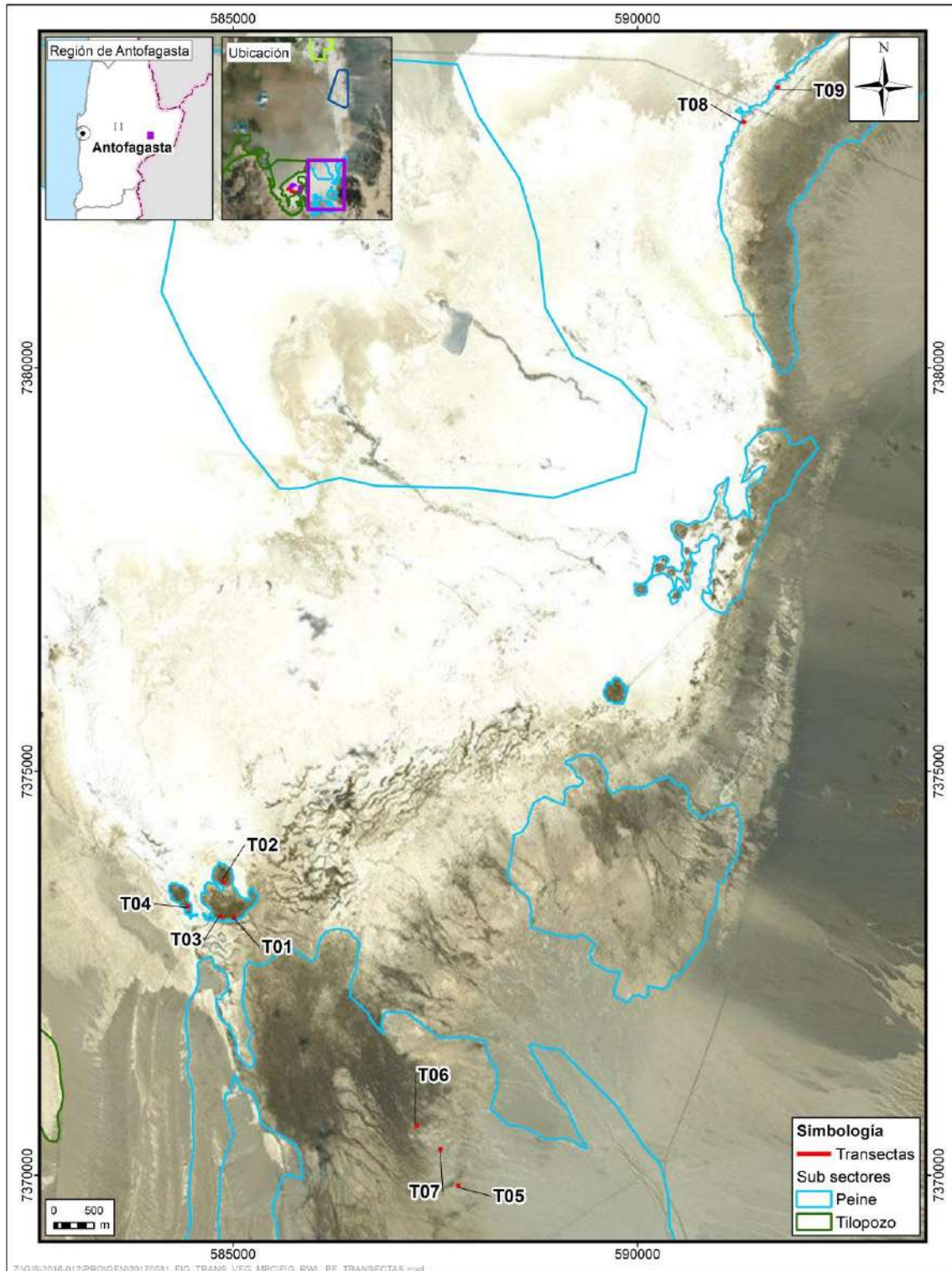
Fuente: Elaboración propia.

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.



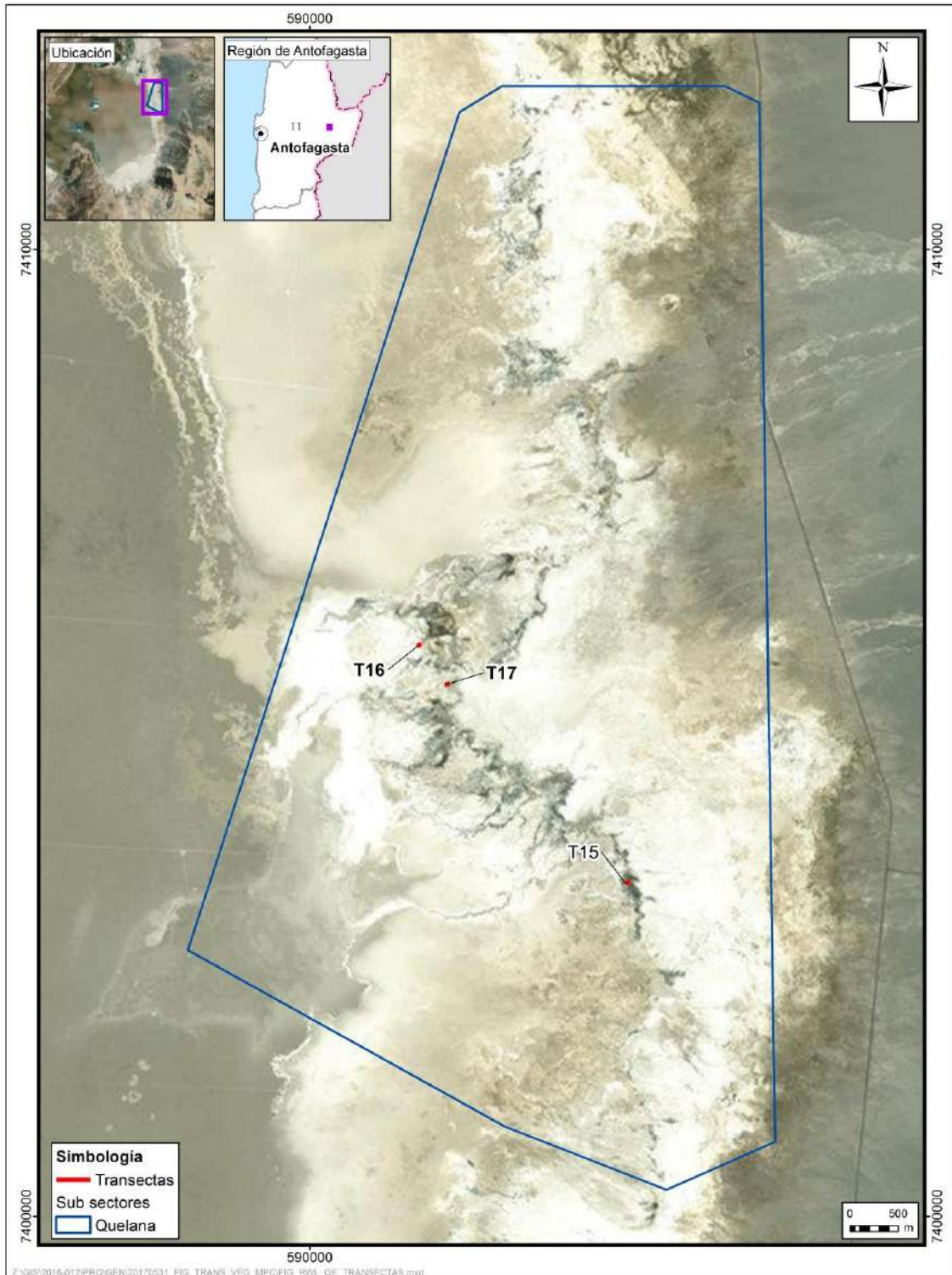
Fuente: Elaboración propia.

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



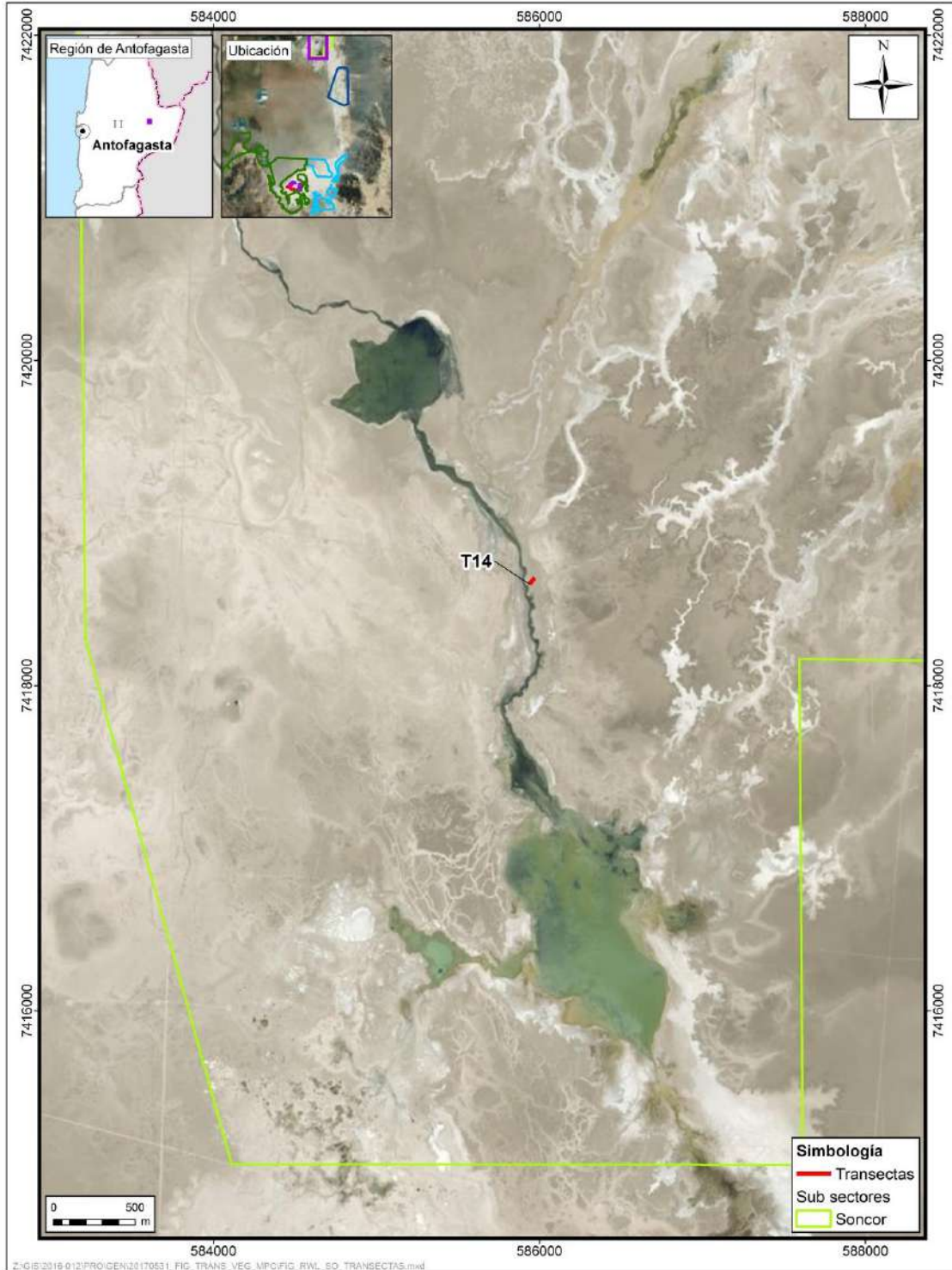
Fuente: Elaboración propia.

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



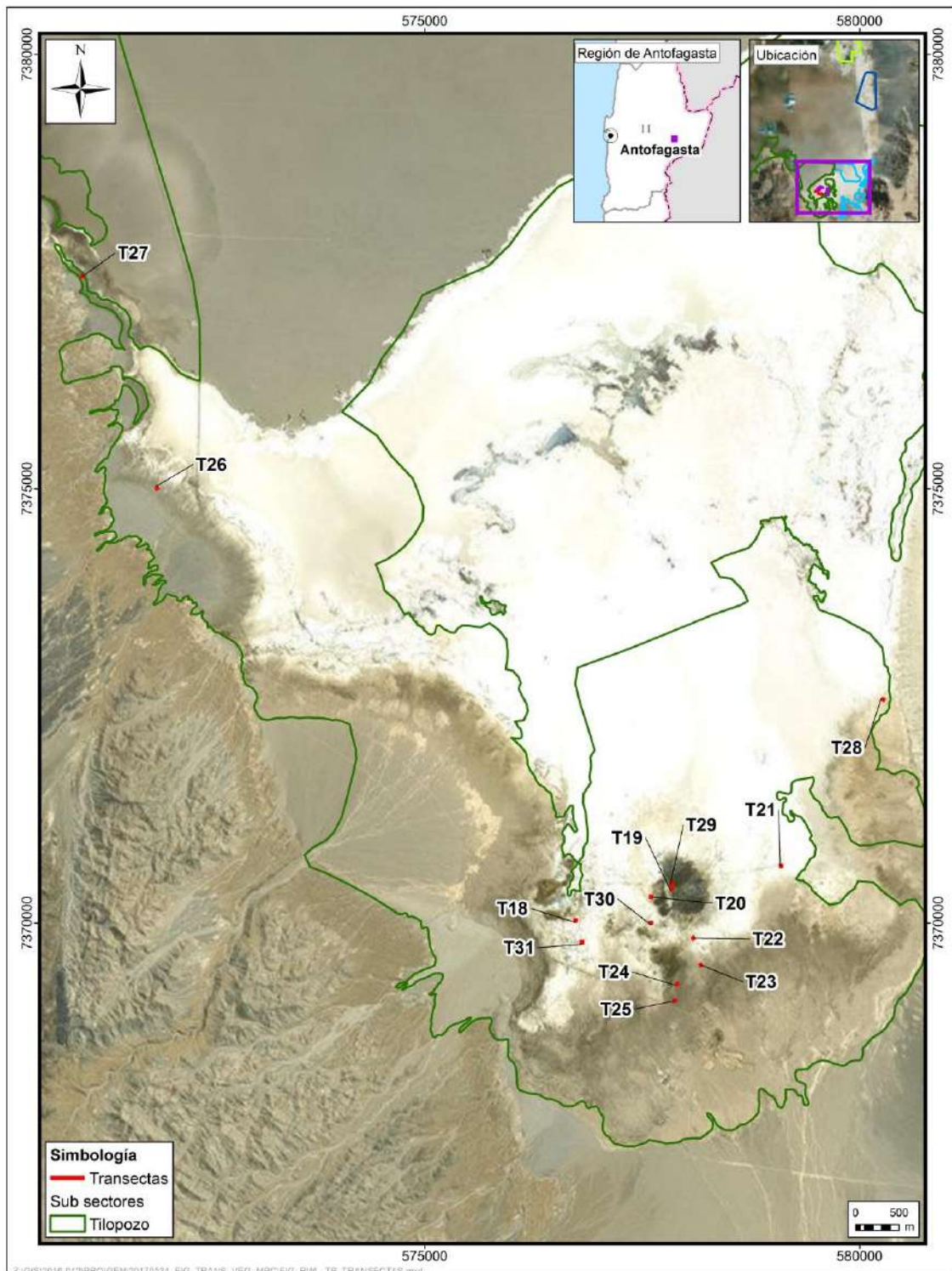
Fuente: Elaboración propia.

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 (rastroy).

6.1.2.3 Materiales y equipos utilizados

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

- Un navegador Garmin 20X ETREX. 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.

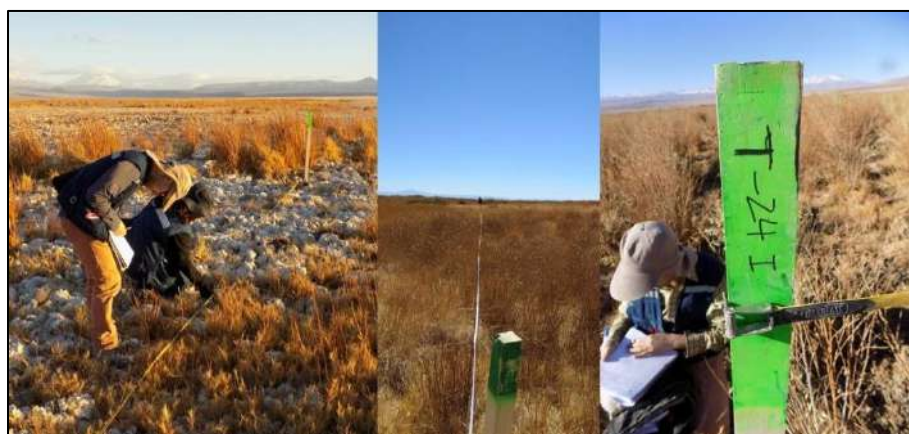
El método de intercepto de puntos en transectos, entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, para la misma cantidad de puntos muestreados (Blackman, 1935; Goodall, 1952; Greg- Smith, 1983). Por lo anterior, el método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat”,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

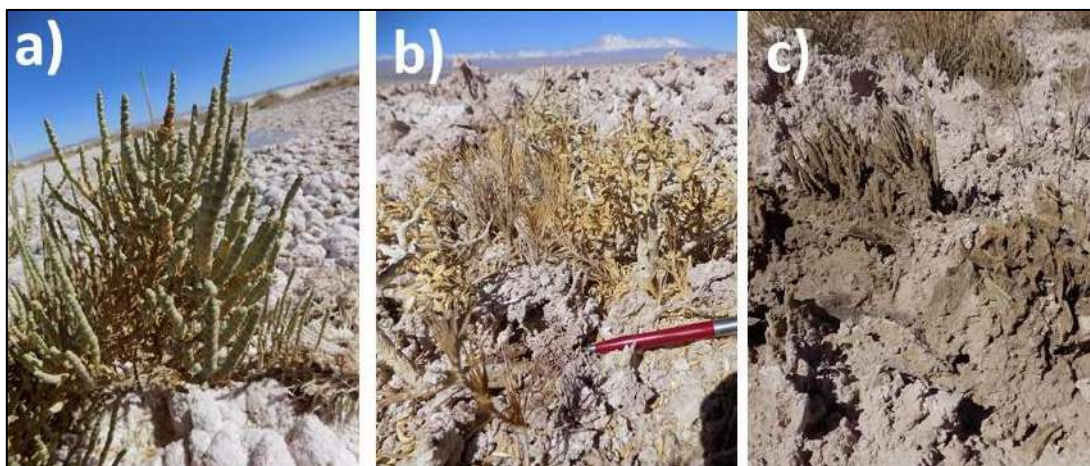
Para el levantamiento de la información, las transectas se marcan utilizando una huincha métrica (**Fotografía N° 6-1**). Seguidamente, se visita cada punto de muestreo y se proyecta una línea perpendicular al suelo, para registrar todos los taxa que se interceptan con esta vertical.

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.

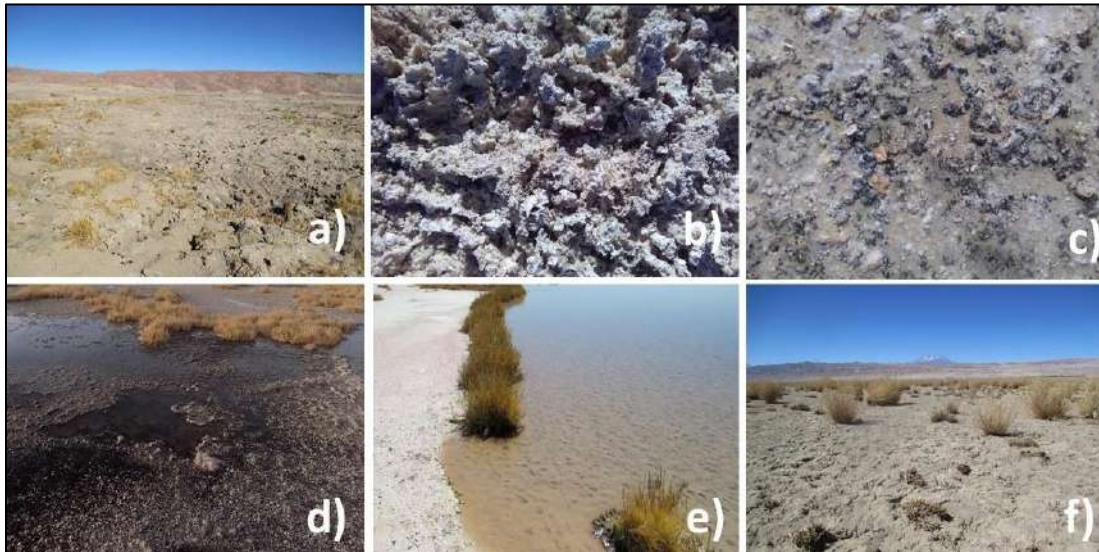
Fuente: Elaboración propia

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 coordenadas²⁶ 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.

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

²⁶ UTM (Universal Transversal de Mercator)

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 11 (M11) correspondiente a la estación de invierno 2021 no se ejecutó el levantamiento y validación de transectas de flora, por las razones de fuerza mayor indicadas al comienzo de este informe.

El Monitoreo 12 (M12) de verano se realizó durante el período tardío de verano (post-lluvias), entre los días 12 y 19 de abril de 2022.

6.1.3 DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO 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 2022, siendo la versión actualizada del mapeo de vegetación del área de estudio, en cuanto a distribución y superficie de las formaciones vegetales.

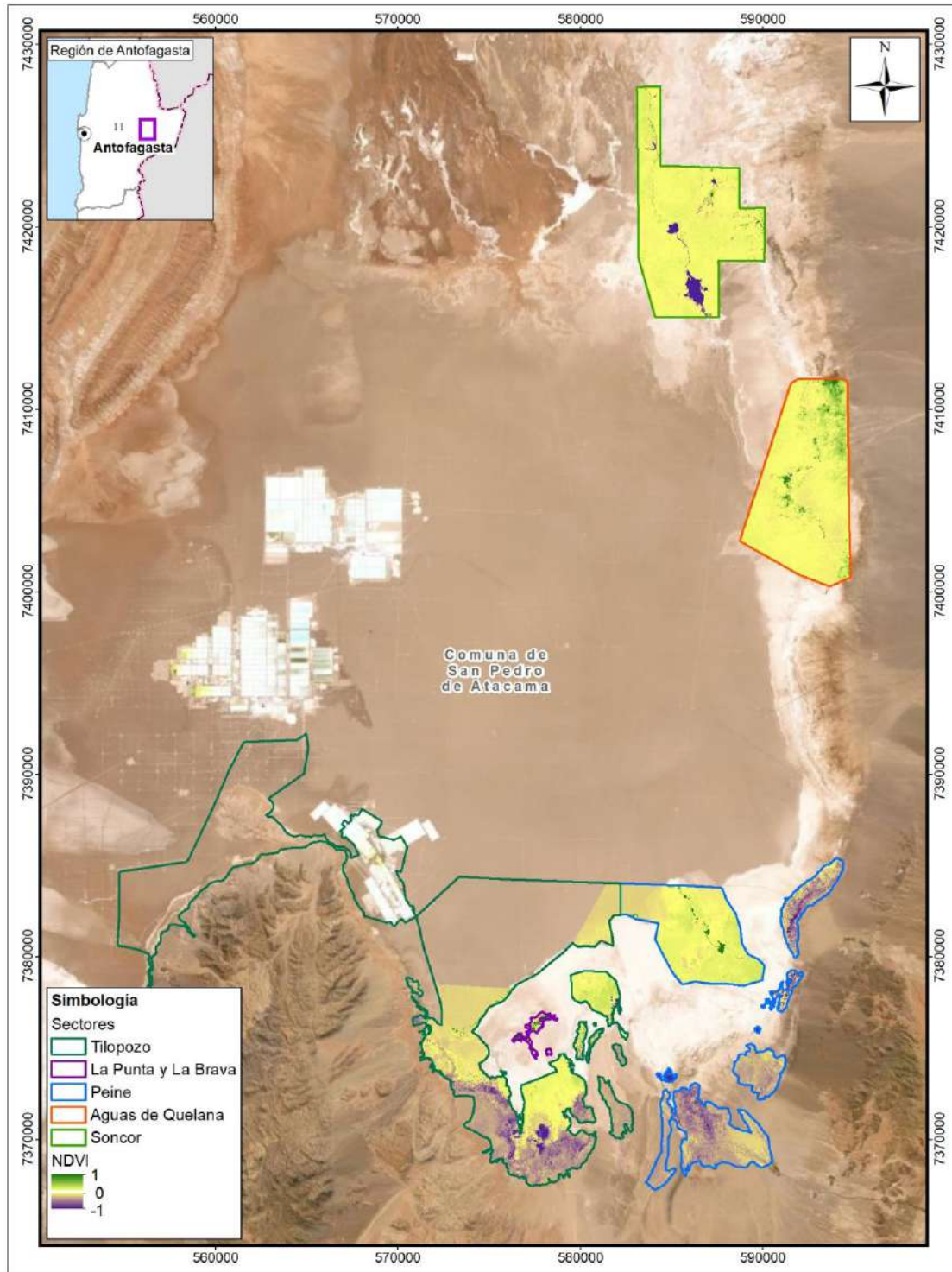
Es necesario recordar, que la COT en términos generales se ha estabilizado campaña a campaña, respecto de cómo se posicionan espacialmente las superficies y distribución de las formaciones vegetales en seguimiento, y es este dato el que se usa. En este sentido, las coberturas y variaciones que se puedan 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 2022; Ver **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (verano 2022)**) 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, 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).

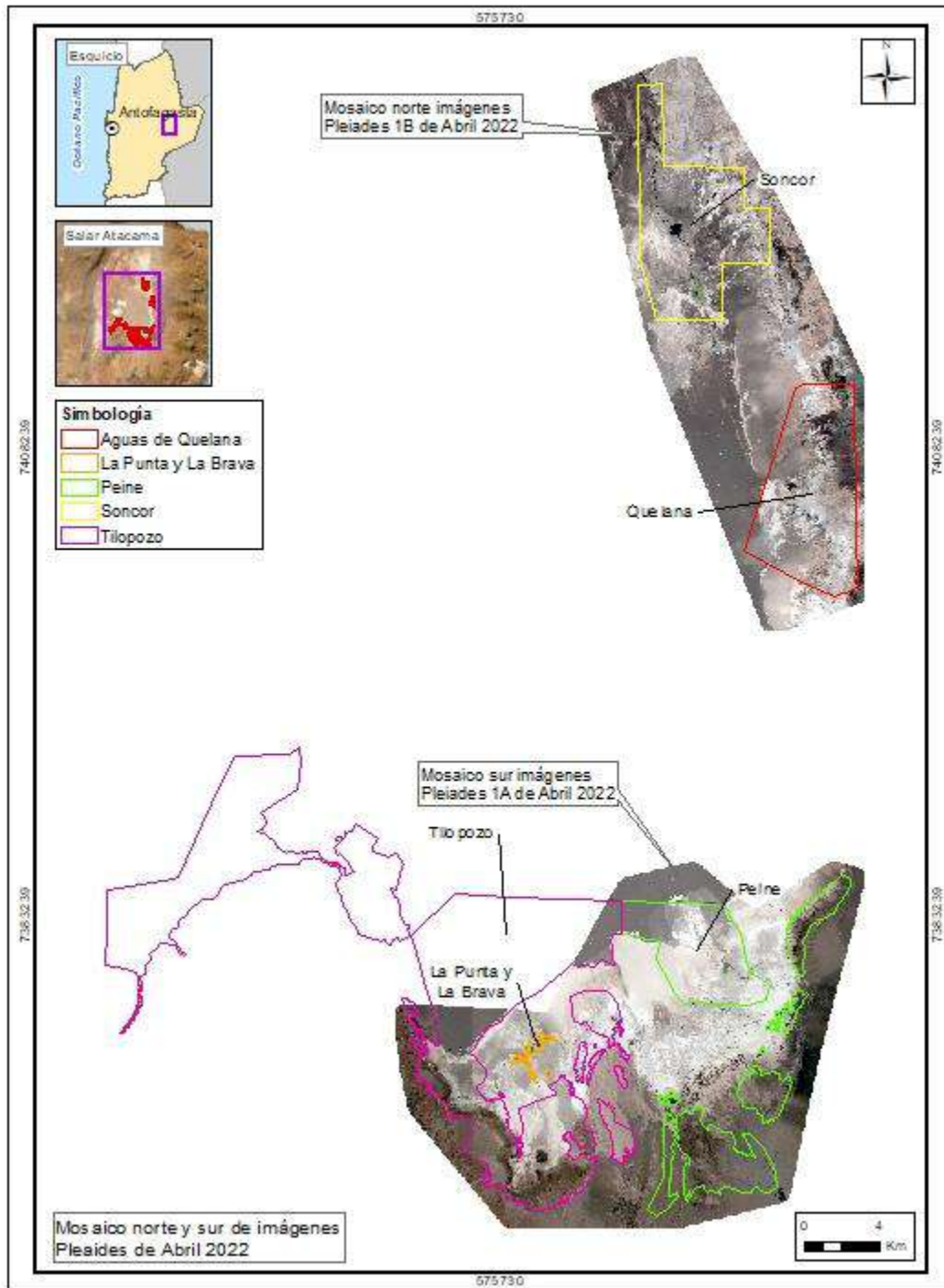
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales con resolución de 2 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro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

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 2022 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, 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 píxeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)²⁷. 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

²⁷ 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”²⁸, para cada formación vegetal (polígonos) definidas en la COT, considerando la cobertura más actual existente (verano 2022). A excepción de las formaciones Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis* y Matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa*, cuyo índice respondió mejor al método de clasificación por “cuantiles” (Tabla N° 6-18).

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	
Tilopozo - La Punta y La Brava	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Ephedra breana</i> (T)	>0,100	>0,094	
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (T)	>0,128	>0,126	
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (LPLB)	>0,107	>0,099	
			Vega de <i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,154	>0,150	
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,107	>0,104	
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i> (T)	>0,107	>0,106	
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Juncus balticus</i> (T)	>0,115	>0,134	
			Vega de <i>Juncus balticus</i> (T)	>0,104	>0,097	
			Vega de <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,107	>0,096	
			Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,107	>0,104	
			Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i> (LPLB)	>0,051	>0,053	
			Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,099	>0,108	
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,134	>0,135	
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,122	>0,127	
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,154	>0,124	
			Vega de <i>Triglochin concinna</i> (T)	>0,092	>0,084	
			Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,103	>0,103
				Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,111	>0,106
	Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i> (T)	>0,102		>0,097		
	Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,145		>0,138		

²⁸ 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
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,126	>0,116
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> (T)	>0,144	>0,129
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,097	>0,098
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Triglochin concinna</i> (LPLB)	>0,110	>0,096
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Distichlis spicata</i> (T)	>0,114	>0,092
			Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i> (T)	>0,094	>0,097
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i> (LPLB)	>0,100	>0,125
Peine	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	>0,089	>0,086
			Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	>0,088	>0,085
			Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,077	>0,079
			Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,080	>0,083
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,126	>0,123
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,106	>0,101
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,128	>0,111
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,115	>0,152
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,157	>0,201
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,177	>0,177
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,114	>0,114
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,169	>0,169
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,085	>0,080
Aguas de Quelana	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,073	>0,076
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	>0,086	>0,085
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,086	>0,082
			Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,109	>0,111
		Matorral - Humedal	Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	>0,081	>0,096
			Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,087	>0,088
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	>0,113	>0,116
Soncor	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,130	>0,133
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,146	>0,144

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 20 y 21 de abril de 2022 (en detalle **metadata imágenes satelitales en Anexo Vegetación y Flora**).

6.2 RESULTADOS

6.2.1 RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT)

6.2.1.1 Resultados del muestreo campaña de verano de 2022

6.2.1.1.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo con lo observado en verano 2022, 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, 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 2022 (**Tabla N° 6-19**), 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; seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo con la dominancia de sus especies; y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y seis de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Tabla N° 6-19**). 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 (**Tabla N° 6-19**). 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 con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 522,7 ha (1,6%), distribuida solo en el sector Aguas de Quelana. 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.

Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano 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 RECUBRIMIENTO DE SUELO	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*. UC: Unidades Cartográficas.

Fuente: Elaboración propia.

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

Como se observa en la **Tabla N° 6-19**, la formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (46 unidades), las cuales presentan 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. En contraste, cinco formaciones vegetales están representadas por solo una unidad cartográfica (**Tabla N° 6-19**).

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 de vega (16,9 hectáreas), matorral - vega (7,8 hectáreas) y cuerpos de agua (231,5 hectáreas). Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de verano 2022, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2022)**.

Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 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	4(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)	

RECUBRIMIENTO DE SUELO	Especies dominantes	Cobertura vegetal	
		LB	H
<i>Formación vegetal</i>			
Matorral hídrico - Vega con dominancia de dp	Lh dp	2	2
Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb	Lh jb dp	2(2-3)	4(3-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc	Sf tc	2	3
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh	Lh dp sca jb bj	2(2-4)	3(3-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf	Sf dp nia pu tc	3(2-4)	2(2-4)
Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	Tb Lh dp	3	2
Total Unidades cartográficas con cobertura vegetal			

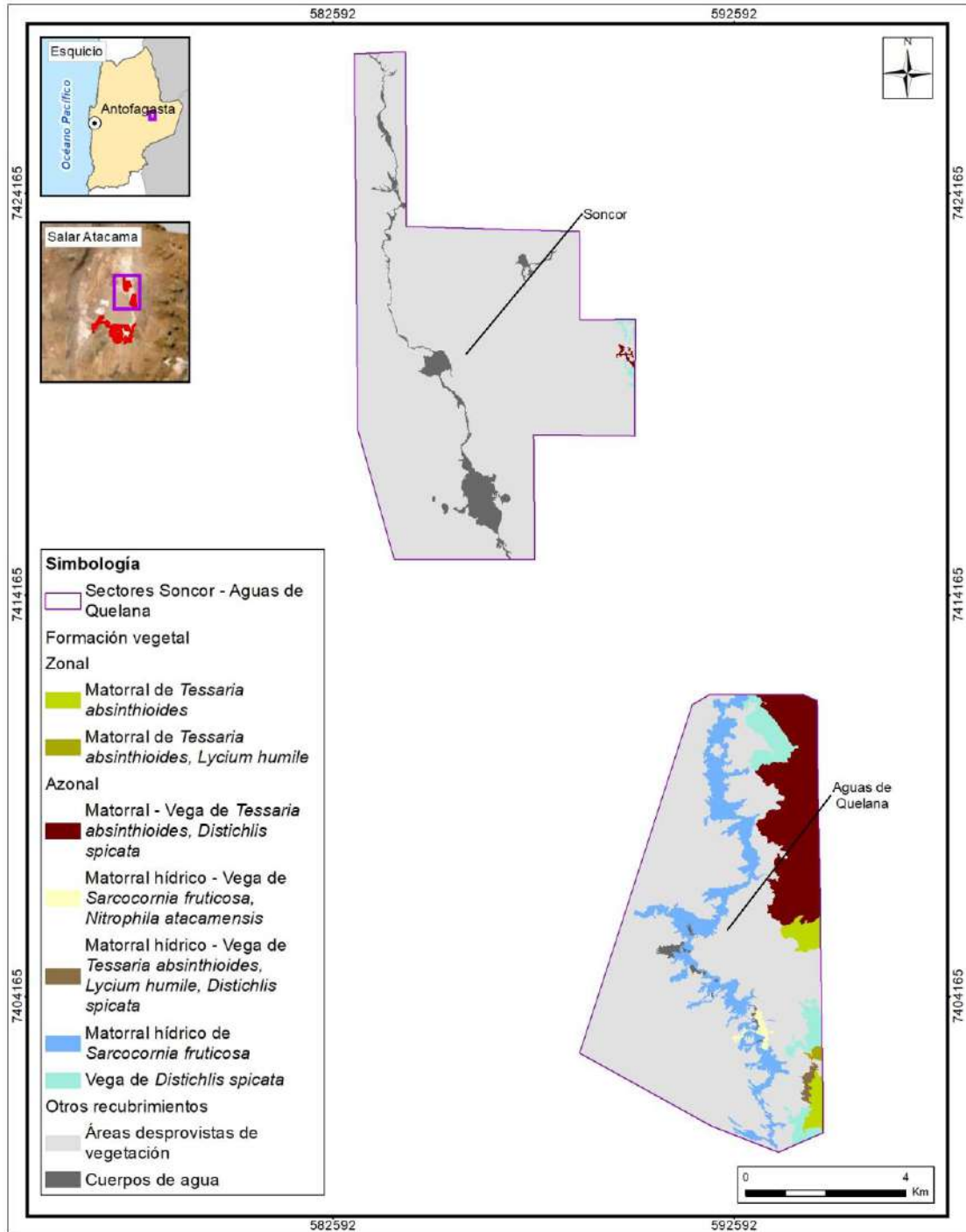
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

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 <i>Atriplex atacamensis</i>	cid <i>Cistanthe densiflora</i>
3	muy clara (10-25)	Ad <i>Aloysia deserticola</i>	cis <i>Cistanthe salsoloides</i>
4	clara (25-50)	Ai <i>Atriplex imbricata</i>	dp <i>Distichlis spicata</i>
5	poco densa (50-75)	Eb <i>Ephedra breana</i>	jb <i>Juncus balticus</i>
6	densa (75-90)	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>

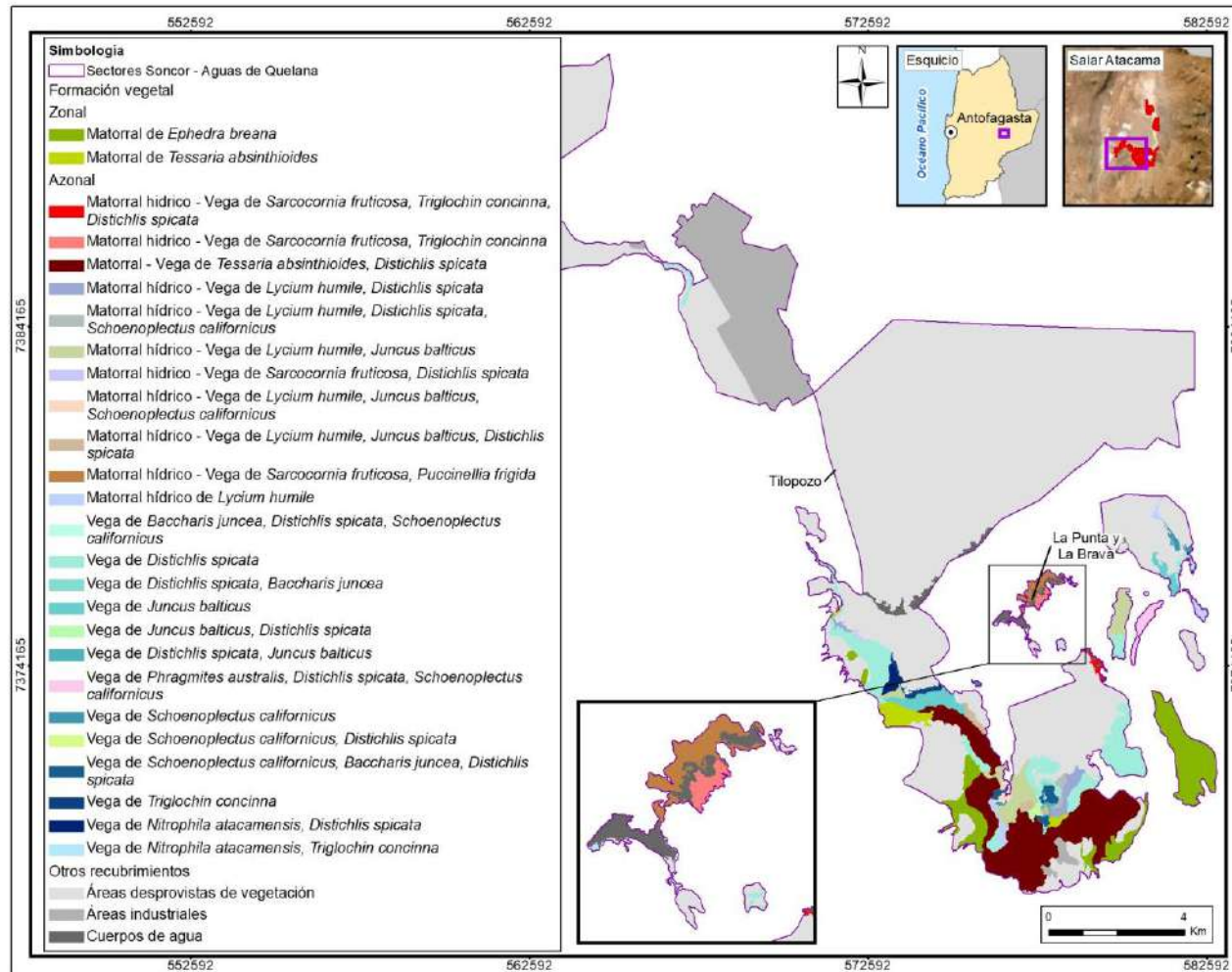
Fuente: Elaboración propia.

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



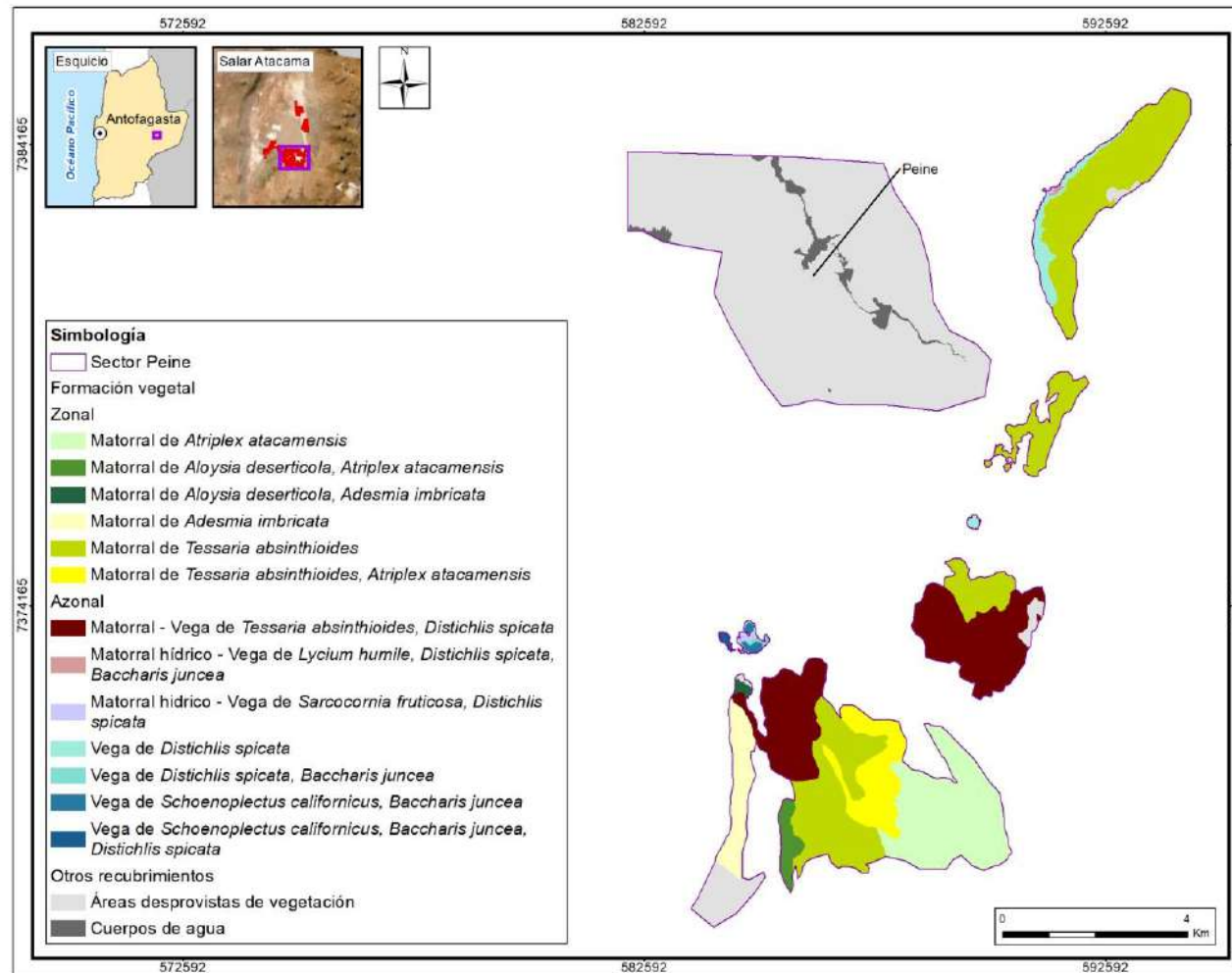
Fuente: Elaboración propia.

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. Verano 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. Verano de 2022.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.1.1.2 Formaciones vegetales - verano 2022

A continuación, como resultado de la campaña de verano 2022, se describe la vegetación de acuerdo a sus patrones de distribución zonal y azonal, y se añade 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 verano de 2022 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de verano 2022, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2022)**.

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 varía entre muy clara y clara (10 a 50%) para el estrato arbustivo y clara (25-50%) para el herbáceo (**Tabla N° 6-20**).

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° 6-19**).

- *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%), y para el estrato herbáceo como clara (25-50%) (**Tabla N° 6-20**).

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° 6-19**).

- *Matorral de Atriplex imbricata*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Atriplex imbricata* “ojalar”, donde destaca la herbácea *Cistanthe densiflora* como especie acompañante en la formación. 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 la especie arbustiva *Ephedra breana* “pingo-pingo”, acompañada de la herbácea *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal está representada por un estrato arbustivo con una cobertura vegetal que varía entre escasa y muy clara (5 a 25%), y una cobertura herbácea muy escasa (5-10%), ver **Tabla N° 6-20**.

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° 6-19**).

- *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 destaca el arbusto *Atriplex atacamensis* como especie acompañante en la formación y *Lycium humile*. La cobertura vegetal está representada por un estrato arbustivo que varía de escaso a poco denso (5 a 75%), y el estrato herbáceo presenta una cobertura muy escasa (1-5%), ver **Tabla N° 6-20**.

Esta formación se observó 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. Verano 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 observó en 46 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 914,3 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 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° 6-19**).

- *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 se observó 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*

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%), ver **Tabla N° 6-20**.

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° 6-19**).

- *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 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%) entre sus unidades (**Tabla N° 6-20**).

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° 6-19**).

- *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 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° 6-19**).

- *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*, *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 observó en siete 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 representada 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 verano 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 formaciones relacionadas a áreas naturales (no intervenidas) sin vegetación, correspondientes a las superficies cubiertas de sal, el salar propiamente tal y áreas denudadas 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

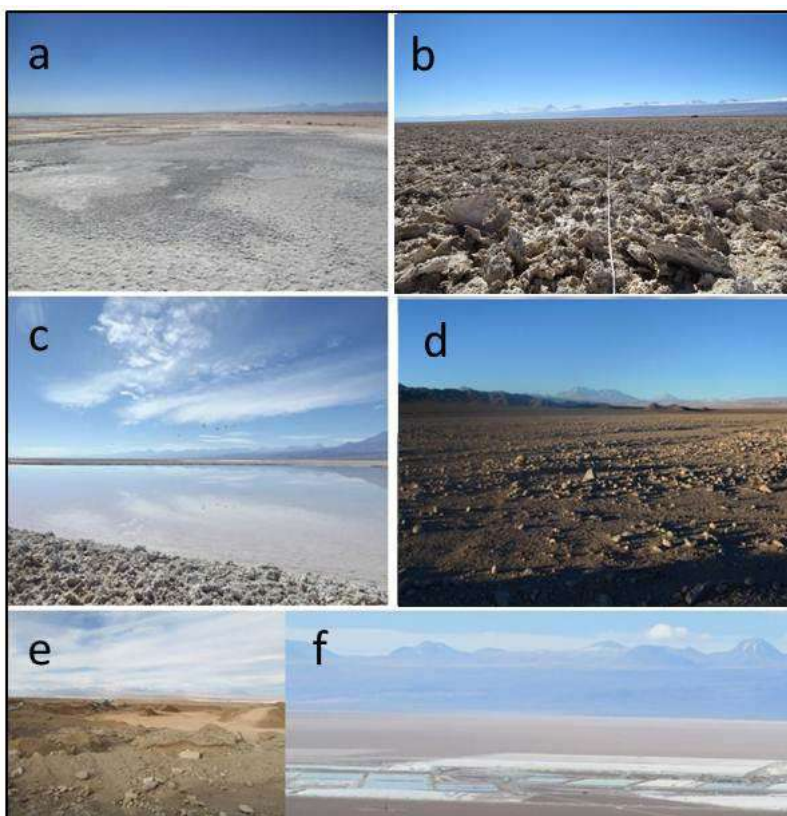
El recubrimiento de áreas industriales está representado por una unidad caracterizada como centro industrial que correspondería a las instalaciones de Albemarle y se añaden

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° 6-19**).

- 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 hectáreas²⁹ (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**).

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



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

Fuente: Elaboración propia.

²⁹ 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° 6-7. 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 ©

6.2.2 RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

6.2.2.1 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de verano de 2022

6.2.2.1.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 6-21**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de verano 2022.

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.

Tabla N° 6-21. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.

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

Dónde: *: Transectas control vegetación.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la descripción de las formaciones vegetales, en la **Tabla N° 6-22**, se presentan las principales características de las transectas para la campaña de verano 2022, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado de alteración) como 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° 6-8**, **Fotografía N° 6-9**, **Fotografía N° 6-10**, **Fotografía N° 6-11**, **Fotografía N° 6-12** y **Fotografía N° 6-13**.

Tabla N° 6-22. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 12 (verano 2022), en cada subsector.

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración*	Riqueza
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	Peine	T08	H4	dp bj	No saturado	50-80%	1	2
		T09	H4	dp	No saturado	50-80%	1	1
	Tilopozo	T20	H5	dp	No saturado	>80%	2	1
		T21	H3	dp	No saturado	>80%	2	2
		T22	LB2 H2	dp Lh	No saturado	50-80%	1	3
		T26	H2	dp	No saturado	<10%	1	1
		T27	H3	dp	No saturado	<10%	1	1
		T28	H3	dp	No saturado	>80%	1	1
Riqueza total en formación vegetal								4
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	LB3 H3	jb Lh	No saturado	50-80%	1	2
	Tilopozo	T18	LB3 H4	jb Lh	No saturado	50-80%	1	2
		T30	LB1 H3	jb dp Lh	No saturado	50-80%	1	3
		T31	LB2 H3	jb Lh	No saturado	>80%	1	3
	Riqueza total en formación vegetal							
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	H7	sca	Sobresaturado	<10%	2	5
		T02	H7	sca bj	No saturado	<10%	2	4
		T03	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	3
		T04	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	2	4
	Tilopozo	T19	H6	sca bj dp	No saturado	<10%	2	3
		T29	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	4
		Riqueza total en formación vegetal						
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	H2	nia tc	No saturado	>80%	1	2
	La Punta	T11	LB2 H3	tc Sf	Sobresaturado	50-80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	La Punta	T12	LB3 H2	Sf pu	Sobresaturado	>80%	1	1
	Aguas de Quelana	T15	LB3 H2	Sf nia	No saturado	>80%	1	4
		T16	LB3	Sf	No saturado	>80%	1	1
		T17	LB4	Sf	No saturado	>80%	1	1
		Riqueza total en formación vegetal						
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	LB4	Tb Aa	No saturado	50-80%	1	1
		T06	LB4 H1	Tb Aa	No saturado	30-50%	1	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	30-50%	1	1

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración*	Riqueza
	Tilopozo	T23	LB4	Tb	No saturado	50-80%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	30-50%	2	2
		T25	LB4 H2	Tb dp	No saturado	10-30%	2	2
	Riqueza total en formación vegetal							
Área desprovista de vegetación	Soncor*	T14*	ADV	-	-	-	-	-

*Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 12 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:	
4 clara (25-50)	ADV: Áreas desprovistas de vegetación	dp: <i>Distichlis spicata</i> Sf: <i>Sarcocornia fruticosa</i>
5 poco densa (50-75)	Grado de Alteración:	
6 densa (75-90)	1 Vegetación en estado natural	Lh: <i>Lycium humile</i> nia: <i>Nitrophila atacamensis</i>
7 muy densa (>90)	2 Vegetación alterada	sca: <i>Schoenoplectus americanus</i>

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-8. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en verano 2022, en distintas transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-9. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en verano 2022, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-10. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en verano 2022, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-11. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en verano 2022, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-12. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en verano 2022, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

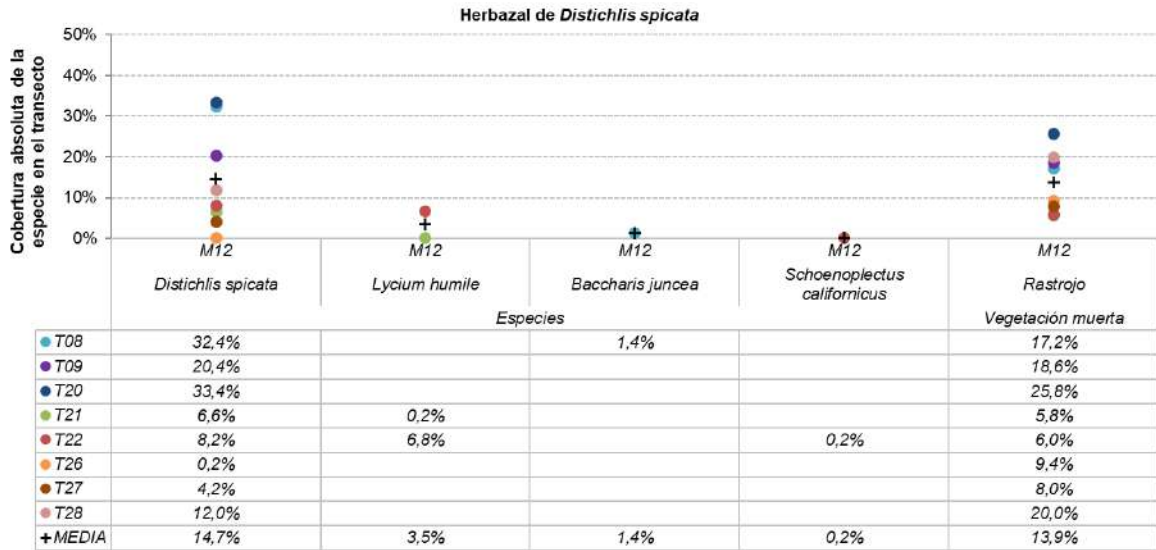
Fotografía N° 6-13. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en verano 2022, en transectas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.1.2 Composición y cobertura**6.2.2.1.2.1 Cobertura absoluta de especies**

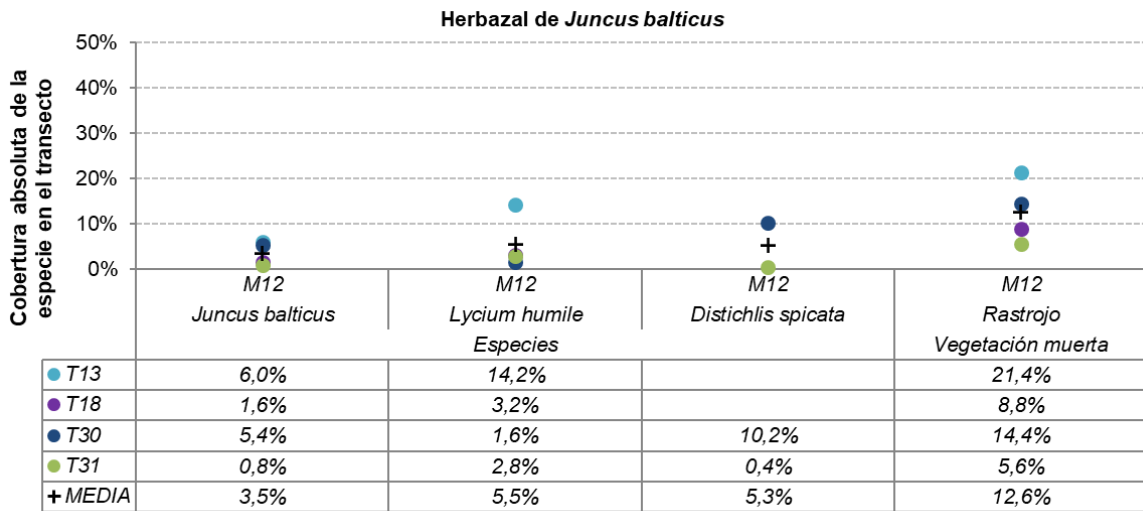
La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 12 (verano 2022), se presenta por transecta en los siguientes seis gráficos, ordenados según las seis formaciones vegetales. En cuanto a las coberturas de los otros recubrimientos por transecta y por formación vegetal, se detallan en la **Tabla N°1-2 del Anexo Vegetación y Flora**, y el detalle del tipo de recubrimiento por transecta se observa en la **Tabla N°1-3 del Anexo Vegetación y Flora**.

Figura N° 6-13. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Distichlis spicata*. (Ver 2022)



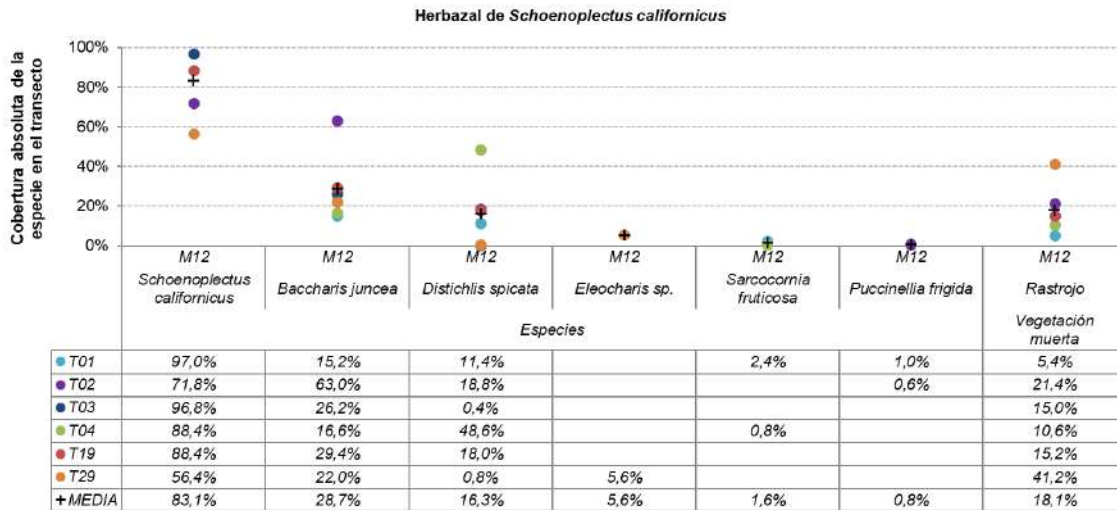
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-14. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Juncus balticus*. (Ver 2022)



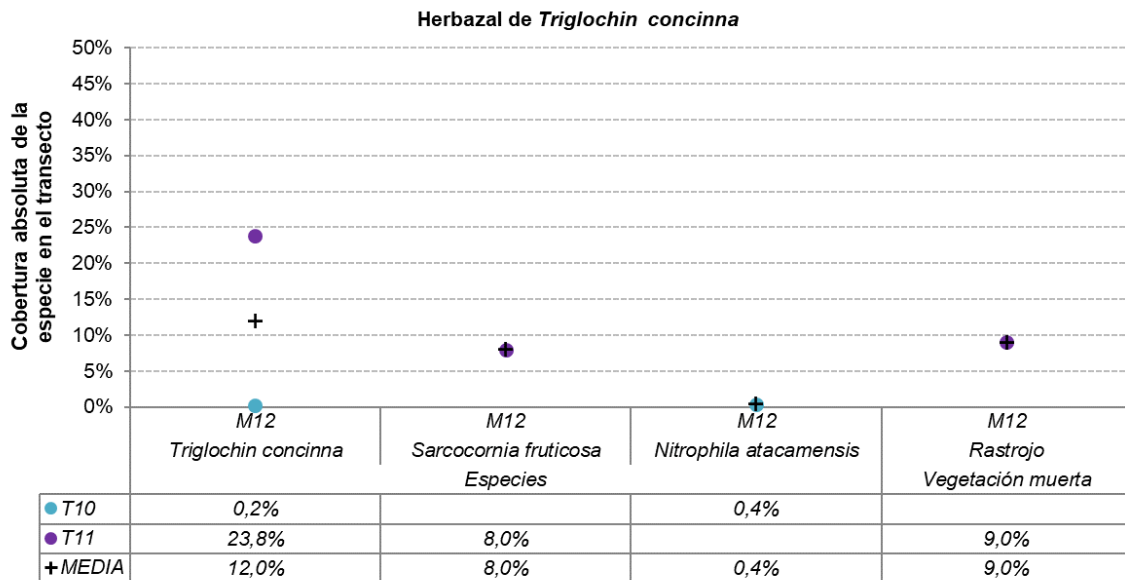
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*. (Ver 2022)



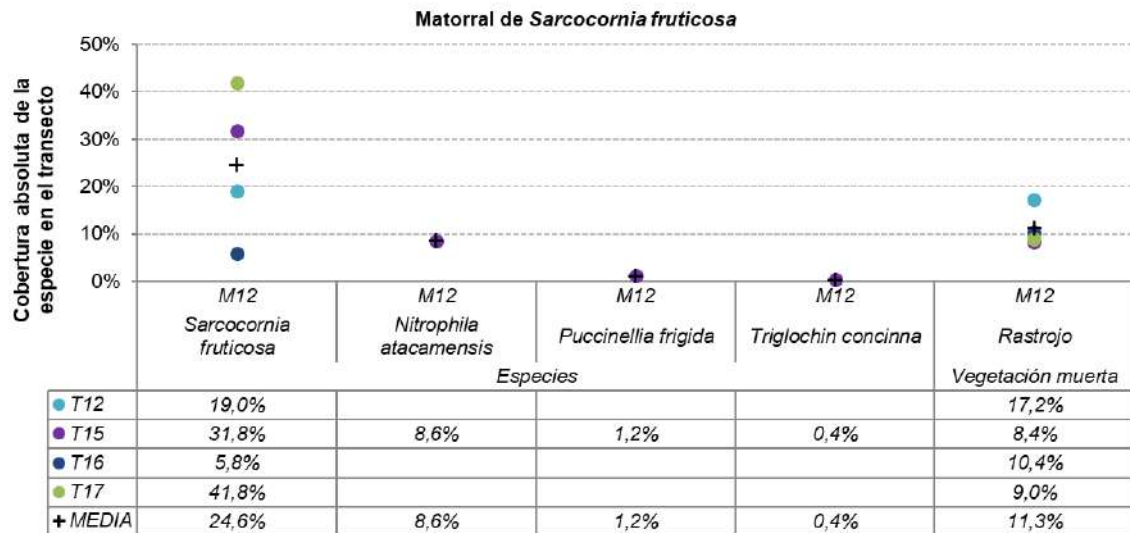
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Triglochin concinna*. (Ver 2022)



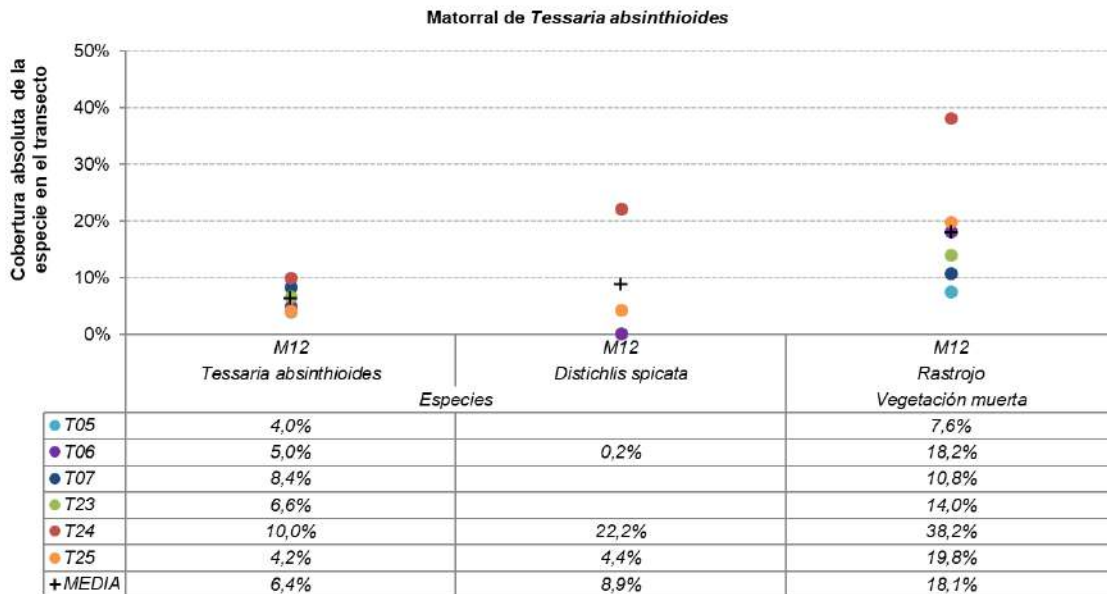
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa*. (Ver 2022)



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de *Tessaria absinthioides*. (Ver 2022)



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los resultados presentados, destaca la especie *Schoenoplectus californicus* como aquella especie dominante de mayor cobertura absoluta en sus transectas, con una cobertura sobre un 80% en cuatro de las seis transectas (T01, T03, T04 y T19), ver **Figura N° 6-15**. Además, esta especie conserva la mayor cobertura promedio de todas las

especies registradas, con una media de 83,1% observado en la formación dominada por esta especie. Esta especie se registra también en la transecta T22, en una formación de *Distichlis spicata*, aunque con una cobertura (absoluta) mínima de 0,2% (**Figura N° 6-13**).

Entre las especies dominantes de formaciones vegetales que presentan los valores de cobertura más baja, destacan las especies *Juncus balticus* y *Tessaria absinthioides*. La especie *J. balticus* alcanza un máximo de 6,0% en la transecta T13 y una cobertura (absoluta) mínima de 0,8% en la transecta T31, registrando una cobertura promedio de 3,5% en la formación que domina. Esta especie no se registra en otras transectas de otras formaciones, ver **Figura N° 6-14**.

La arbustiva *T. absinthioides* registra en las transectas T05 y T25 coberturas mínimas de 4,0% y 4,2%, respectivamente, y en la transecta T24 un máximo de cobertura absoluta de 10,0%, presentando una cobertura media de 6,4% en la formación de matorral en que domina (**Figura N° 6-18**). Esta especie no se registra en transectas de otras formaciones.

Entre las especies acompañantes, destacan por una menor representatividad dentro de las formaciones las especies *Nitrophila atacamensis*, *Eleocharis* sp. y *Puccinellia frigida*. Registradas en las formaciones dominadas por *S. fruticosa*, herbazales de *T. concinna* y de *S. californicus*. Entre éstas, la especie *N. atacamensis* registra la mayor cobertura absoluta de 8,6% en la transecta T15 en el matorral de *S. fruticosa* (ver **Figura N° 6-15 a Figura N° 6-17**).

Por su parte, la especie acompañante *Baccharis juncea* destaca al alcanzar una cobertura media de 28,7% en el herbazal de *S. californicus* (**Figura N° 6-15**).

6.2.2.1.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Tabla N° 6-23**, se presentan las coberturas absolutas y promedio, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de verano 2022 (Monitoreo 12).

En el Monitoreo 12, se observa que casi todas las transectas correspondientes a la formación dominada por *Schoenoplectus californicus* presentan coberturas absolutas superiores al 100%, destacando las transectas T02 y T04, ambas del sector Peine, que alcanzan la mayor cobertura absoluta para la formación con un 154,2% y 154,4%, respectivamente. Estos valores se explican por la presencia de más de una especie acompañante con coberturas altas en las transectas de la formación (**Tabla N° 6-23, Figura N° 6-15**). En consecuencia, la transecta T29 del sector Tilopozo, si bien no alcanza más del 100% de cobertura absoluta, igualmente la formación presenta una alta cobertura de 84,8%. Por otra parte, para esta formación los valores de cobertura promedio por transecta se observan altos con respecto a las otras formaciones vegetales, variando entre un 21,2 y 45,3%.

Por su parte, el herbazal de *Distichlis spicata* presenta algunos de los valores más bajos de cobertura absoluta por transecta. El valor mínimo se presenta en la transecta T26, con un 0,2% de cobertura absoluta, seguida de las transectas T21 y T27 de esta formación con coberturas de 6,8 y 4,2%, todas localizadas en el sector de Tilopozo. Mientras que en las dos transectas de Peine en esta formación se alcanzan mayores coberturas (T08 y T09; 33,8% y 20,4%) al igual que la transecta T20 en Tilopozo (33,4%). En cuanto al herbazal de *Triglochin concinna*, si bien la formación registra una cobertura de 31,8% en el subsector La Punta (T11), en el subsector La Brava registra una cobertura absoluta de 0,6% en T10 (**Tabla N° 6-23**).

La vegetación del área no se destaca por presentar una alta riqueza de especies vasculares, con una riqueza por transecta variando generalmente entre una a cuatro especies, exceptuando la transecta T01 con la mayor riqueza de cinco especies. Las transectas que registran una riqueza de cuatro especies corresponden a T02, T04, T29 y T15, las tres primeras localizadas en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* y la última en el matorral de *Sarcocornia fruticosa* en Aguas de Quelana (**Tabla N° 6-23**).

Por otra parte, la misma **Tabla N° 6-23** presenta las coberturas muertas detectadas por transecta. Al respecto, casi todas las transectas presentan alguna cobertura de rastrojo, ya que la transecta T10 en La Brava (herbazal de *T. concinna*) es la única que no registra cobertura muerta. Mientras que en la transecta T29 (herbazal de *S. californicus*) y la transecta T24 (matorral de *T. absinthioides*), ambas en Tilopozo, es donde se registra la mayor cobertura de rastrojos con un 41,2% y 38,2%, respectivamente.

En cuanto al resto de las transectas, los porcentajes de cobertura muerta varían desde un mínimo de 5,4% en un herbazal de *S. californicus* (T01; Peine), hasta un máximo de 25,8% en un herbazal de *D. spicata* (T20; Tilopozo). En resumen, se observa que la cobertura de rastrojos por transecta es menor a un 10% de cubrimiento en 11 transectas; en 13 transectas se observa una cobertura entre 10% y 20%; en tres transectas se registran coberturas de rastrojos entre 20% y 30% (T02, T13 y T20); y en las transectas T24 y T29 las mayores coberturas muertas, mayor al 30% de cobertura absoluta, ver **Tabla N° 6-23**.

Por último, en la **Tabla N° 6-23** también se observa la cobertura de los otros tipos de recubrimientos que se registran en las transectas, la que se registra en todas las formaciones vegetales, exceptuando al herbazal de *Schoenoplectus californicus*, cuyos valores son importantes en relación con el recubrimiento vegetal (valores entre 40,8% y 99,6%). El detalle de las coberturas de los otros recubrimientos por transecta se presenta a continuación.

Tabla N° 6-23. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 12 (verano 2022).

Tipo de formación	Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
				Absoluta	Promedio	Rastrojos/muerta	Otros recubrimientos	
Herbazal	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	127,0%	25,4%	5,4%	-	5
			T02	154,2%	38,6%	21,4%	-	4
			T03	123,4%	41,1%	15,0%	-	3
			T04	154,4%	38,6%	10,6%	-	4
		Tilopozo	T19	135,8%	45,3%	15,2%	-	3
			T29	84,8%	21,2%	41,2%	-	4
	<i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	20,2%	10,1%	21,4%	63,4%	2
		Tilopozo	T18	4,8%	2,4%	8,8%	87,2%	2
			T30	17,2%	5,7%	14,4%	73,4%	3
			T31	4,0%	1,3%	5,6%	90,4%	3
	<i>Distichlis spicata</i>	Peine	T08	33,8%	16,9%	17,2%	50,2%	2
			T09	20,4%	20,4%	18,6%	61,0%	1
		Tilopozo	T20	33,4%	33,4%	25,8%	40,8%	1
			T21	6,8%	3,4%	5,8%	87,4%	2
			T22	15,2%	5,1%	6,0%	81,4%	3
			T26	0,2%	0,2%	9,4%	90,4%	1
T27			4,2%	4,2%	8,0%	87,8%	1	
T28			12,0%	12,0%	20,0%	68,0%	1	
<i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	0,6%	0,3%	-	99,6%	2	
	La Punta	T11	31,8%	15,9%	9,0%	63,4%	2	
Matorral	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	La Punta	T12	19,0%	19,0%	17,2%	63,8%	1
			Quelana	T15	42,0%	10,5%	8,4%	52,2%
		T16		5,8%	5,8%	10,4%	83,8%	1

Tipo de formación	Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
				Absoluta	Promedio	Rastrojos/muerta	Otros recubrimientos	
			T17	41,8%	41,8%	9,0%	49,2%	1
	<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	4,0%	4,0%	7,6%	88,4%	1
T06			5,2%	2,6%	18,2%	76,6%	2	
T07			8,4%	8,4%	10,8%	80,8%	1	
		Tilopozo	T23	6,6%	6,6%	14,0%	79,4%	1
			T24	32,2%	16,1%	38,2%	41,2%	2
			T25	8,6%	4,3%	19,8%	72,0%	2

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.1.2.3 Cobertura de otros recubrimientos en transectas

En la **Tabla N° 6-24** se puede observar en detalle las coberturas absolutas de los otros recubrimientos por transecta, los cuales están asociados a las características del sustrato donde se desarrolla la vegetación, tales como costra salina, agua superficial, suelo terroso entre otros.

Como se había mencionado anteriormente, destaca que para casi todas las formaciones vegetales el porcentaje de cobertura de otros recubrimientos registrado por transecta es alto (>40%), en comparación al recubrimiento vegetal, excluyendo todas las transectas de la formación dominada por *Schoenoplectus californicus*. El sustrato principal registrado en otros recubrimientos es la costra salina, presente en 18 transectas con valores entre 36,4% y 90,4%, siendo una cobertura característica en el herbazal de *Juncus balticus* (entre 60 a 90%) y en el matorral de *S. fruticosa* (entre 36% y 84% aproximadamente); también con valores altos en el herbazal de *D. spicata*, pero esta formación además registra altos valores de costra salina terrosa (T28) y sustrato terroso (T27). Asimismo, el matorral de *Tessaria absinthioides* registra mayormente sustratos terrosos o de costra salina terrosa (**Tabla N° 6-24**).

Cabe señalar que las transectas que presentaron agua en superficie corresponden a las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* (T10 y T11) con un máximo de 50,0% de agua superficial en T10, y la transecta T12 en un matorral de *S. fruticosa* en el subsector La Punta registra un 4,0% de agua superficial (**Tabla N° 6-24**), las tres transectas localizadas en bordes o cercanas a sistemas lagunares de La Punta y La Brava.

Tabla N° 6-24. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 12 (verano 2022).

Tipo de formación	Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M12(%)						
			Agua superficial	Costra Salina (Cs)				Terroso	Total (%)
				Cs	Cs sobresaturada	Cs saturada	Cs terrosa		
Herbazal	<i>Schoenoplectus californicus</i>	T01	-	-	-	-	-	-	0,0%
		T02	-	-	-	-	-	-	0,0%
		T03	-	-	-	-	-	-	0,0%
		T04	-	-	-	-	-	-	0,0%
		T19	-	-	-	-	-	-	0,0%
		T29	-	-	-	-	-	-	0,0%
	<i>Juncus balticus</i>	T13	-	63,4%	-	-	-	-	63,4%
		T18	-	87,2%	-	-	-	-	87,2%
		T30	-	73,4%	-	-	-	-	73,4%
		T31	-	90,4%	-	-	-	-	90,4%
	<i>Distichlis spicata</i>	T08	-	50,2%	-	-	-	-	50,2%
		T09	-	61,0%	-	-	-	-	61,0%
		T20	-	40,8%	-	-	-	-	40,8%
		T21	-	87,4%	-	-	-	-	87,4%
		T22	-	81,4%	-	-	-	-	81,4%
		T26	-	90,4%	-	-	-	-	90,4%
		T27	-	-	-	-	-	87,8%	87,8%
		T28	-	-	-	-	68,0%	-	68,0%
	<i>Triglochin concinna</i>	T10	50,0%	45,8%	-	3,8%	-	-	99,6%
		T11	2,8%	60,6%	-	-	-	-	63,4%
Matorral	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	T12	4,0%	59,8%	-	-	-	-	63,8%
		T15	-	36,4%	-	15,8%	-	-	52,2%
		T16	-	83,8%	-	-	-	-	83,8%

Tipo de formación	Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M12(%)						
			Agua superficial	Costra Salina (Cs)				Terroso	Total (%)
				Cs	Cs sobresaturada	Cs saturada	Cs terrosa		
		T17	-	40,8%	-	8,4%	-	-	49,2%
	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T05	-	-	-	-	88,4%	-	88,4%
		T06	-	-	-	-	76,6%	-	76,6%
		T07	-	-	-	-	-	80,8%	80,8%
		T23	-	79,4%	-	-	-	-	79,4%
		T24	-	-	-	-	41,2%	-	41,2%
		T25	-	72,0%	-	-	-	-	72,0%

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.1.2.4 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 6-25** se observan los valores promedios de cobertura por subsector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura de vegetación (70,1%).

El subsector de Soncor no se muestreó por dificultades de acceso al área, aunque de antemano se conoce que esta área no presenta cobertura vegetal, ya que se encuentra sobre una costra salina y corresponde a un área desprovista de vegetación. Por otra parte, el subsector La Brava tiene el menor valor de cobertura absoluta, entre los subsectores con vegetación, con un 0,6% que representa una formación parchosa de vegetación correspondiente a un herbazal de *Triglochin concinna* que se desarrolla en bordes de lagunas (**Tabla N° 6-25**).

Los subsectores La Punta, Tilopozo y Aguas de Quelana presentan valores similares entre ellos, con coberturas vegetales promedio de 23,7%, 26,1% y 29,9%, respectivamente (**Tabla N° 6-25**).

Por otro lado, la cobertura promedio de la vegetación muerta registra un valor máximo de 16,6% en el subsector Tilopozo, seguido de un 15,9% de cobertura muerta registrado en el sector La Punta y de un 13,9% en Peine. El subsector Aguas de Quelana registra menos de un 10% de cobertura promedio de rastrojos y en La Brava no se registra cobertura muerta (**Tabla N° 6-25**).

Finalmente, la riqueza de especies por subsector se observa entre dos y siete especies de flora vascular, exceptuando al subsector Soncor que no registra vegetación o individuos de flora (**Tabla N° 6-25**). La **Tabla N° 6-26**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 12 (verano 2022).

Sector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por sector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Brava	1	0,6%	0%	2
La Punta	3	23,7%	15,9%	4
Peine	9	70,1%	13,9%	6
Aguas de Quelana	3	29,9%	9,3%	4
Soncor	1	-	-	-
Tilopozo	14	26,1%	16,6%	7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 12 (verano 2022).

Especie	Subsector Área de estudio				
	La Brava	La Punta	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
<i>Baccharis juncea</i> (Cass.) Desf.			x		x
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene			x		x
<i>Eleocharis</i> sp.					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	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	x		x	
Riqueza total por subsector	2	4	6	4	7

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 RESULTADOS DE DISTRIBUCION Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI

De acuerdo con el Anexo N°2, Adenda 5 RWL (2015), en este acápite se presentan los resultados obtenidos a partir del método NVDI - imágenes satelitales, que representan la cobertura vegetal y su grado de vigorosidad, es decir, vegetación activa para verano post lluvias 2022, 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 2022: (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° 6-27** y se grafican en los archivos cartográficos presentados en el **Anexo de Vegetación y Flora** de este Informe Anual.

Tabla N° 6-27. Superficie de vegetación activa (NDVI) post – lluvias 2022 en base a la COT de verano 2022, por sector.

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT
Peine	601,1	5.925,0
Área desprovista de vegetación	0,0	2.936,0
Zonal	385,7	2.181,0
Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	7,1	148,5
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	1,8	9,3
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	7,0	60,1
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	80,1	542,8
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	256,3	1.193,7
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	33,3	226,5
Azonal	215,4	808,0
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	159,8	687,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	6,0	8,9
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	1,1	3,4
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	26,8	85,3
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,1	5,3
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,1	11,6
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	6,1
La Punta y La Brava	9,6	118,5
Área desprovista de vegetación	0,0	59,2
Azonal	9,6	59,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Triglochin concinna</i>	1,2	13,6
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	7,5	41,1
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	0,3	2,3
Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	0,6	2,4
Aguas de Quelana	258,6	4.954,2
Área desprovista de vegetación	0,0	3.435,4
Zonal	37,4	114,8
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	34,6	104,9
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	2,8	9,8
Azonal	221,2	1.404,0
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	96,3	637,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	2,5	21,6
Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,8	18,6
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	56,4	522,7

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Superficie Total COT
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	62,2	203,9
Soncor	7,7	5.018,2
Área desprovista de vegetación	0,0	4.993,5
Azonal	7,7	24,8
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,6	7,8
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	4,2	16,9
Tilopozo	727,2	17.054,1
Área desprovista de vegetación	0,0	14.408,0
Zonal	58,1	583,0
Matorral de <i>Ephedra breana</i>	45,1	491,1
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	13,1	91,8
Azonal	669,1	2.063,2
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	409,6	806,8
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	54,1
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	32,0	188,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	3,8	16,5
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	6,2	34,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	4,1	14,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,8	4,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,3	13,8
Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i>	4,1	49,6
Vega de <i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	1,1	1,1
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	105,3	586,8
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	6,3	6,6
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Juncus balticus</i>	6,5	7,2
Vega de <i>Juncus balticus</i>	20,1	113,5
Vega de <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,7	11,2
Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Distichlis spicata</i>	0,3	27,0
Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	10,1	42,5
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8,8	22,5
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,9	2,3
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	36,1	36,7
Vega de <i>Triglochin concinna</i>	0,5	23,5
Total general	1.604,3	33.070,1

Fuente: Elaboración propia.

La vegetación activa calculada a partir del NDVI, corresponde a 1.604,3 ha, superficie que representa un 4,9% de la superficie total de la COT (33.070,1 ha), incluyendo áreas desprovistas de vegetación. En tanto, la superficie con vegetación de la COT es de 7.238,0 ha, donde la vegetación activa representa un 22,2% (1.604,3 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.

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

De acuerdo con lo señalado en el Anexo 2, Adenda 5 RWL (2015), la evaluación del subcomponente flora y vegetación se realizará durante las temporadas de crecimiento de la vegetación, idealmente después de las precipitaciones estivales (marzo o abril).

Según lo dispuesto en la Adenda 5 y la RCA que aprueba al proyecto, donde se explica que *“se entenderá un cambio de tendencia si después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector”* (PMB, Capítulo 4. Monitoreo Estado Ecológico; Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B). Por otra parte, la RCA 21 en el Considerando 7, indica *“mantención dentro de su variación histórica”*. En este contexto, los resultados del presente informe, que presenta información hasta el sexto año de seguimiento, se incluye un análisis de tendencias de los seis años de monitoreo en contraste con los valores históricos, expuesto en la discusión y análisis integral del **Capítulo del Estado Ecológico del Sistema**.

En concordancia con lo establecido por el PMB, donde se señala que *“...se establece que los valores medidos anualmente en promedio se mantengan dentro de los valores registrados históricamente por sector”*, los resultados generados en el presente informe se presentan de la manera requerida, es decir, por sector, los que se comparan con los valores históricos de cada metodología de medición de parámetros de composición y cobertura de especies y distribución y cobertura de la vegetación azonal.

7 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos semestrales de invierno 2021 y verano 2022 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 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno, y entre los días 13 al 19 de marzo de 2022, correspondiente al monitoreo semestral de verano.

En la campaña de verano 2022, se realizaron 22 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando por segunda 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. 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 222/2021 (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 primera y décimo segunda 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 2021 y verano de 2022, 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

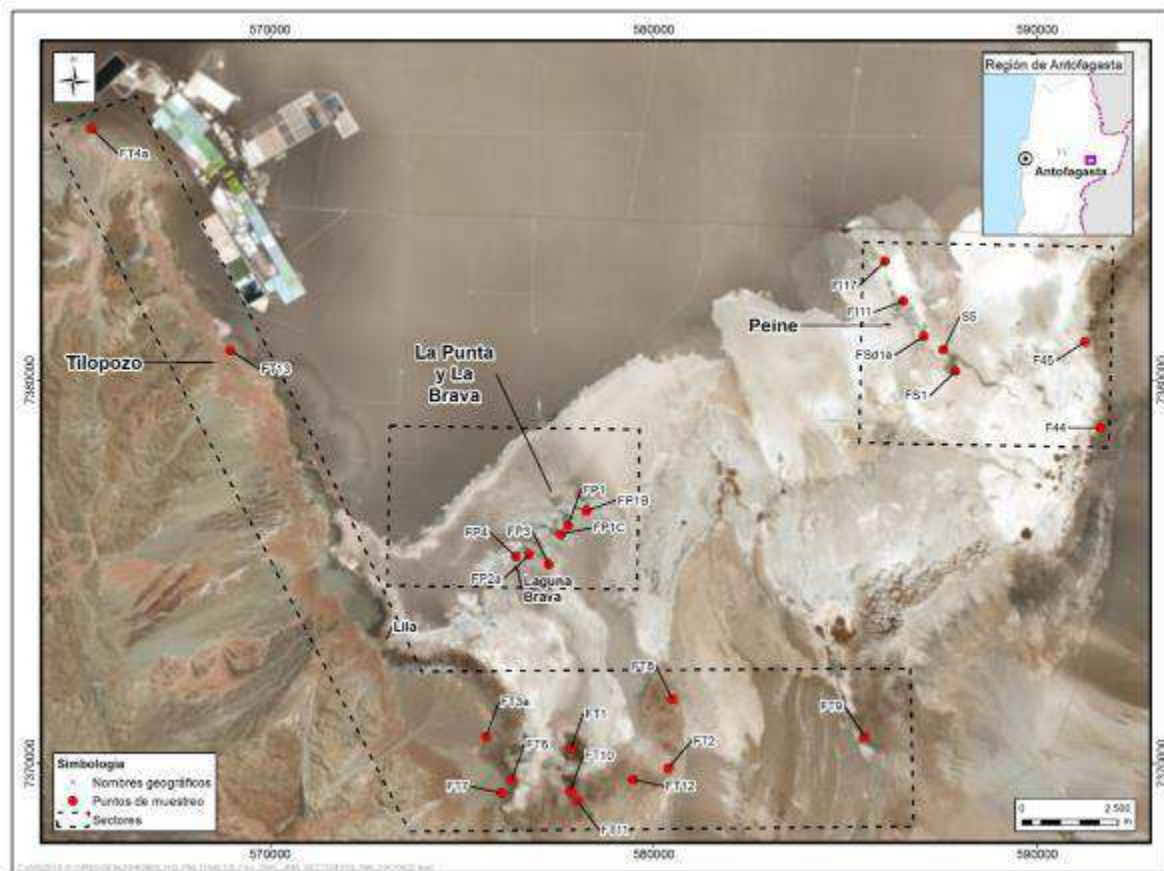
El área de estudio se ubica en el borde sur del Salar de Atacama, donde operativamente, siguiendo la línea del PMB (Adenda 5), se dividieron los muestreos en tres sectores: a) La Punta y La Brava; b) Peine (incluyendo las lagunas Salada, Saladita e Interna, y dos puntos con ambiente terrestre), y c) Tilopozo (**Figura N° 7-1**). Los dos primeros sectores corresponden principalmente a borde de salar (lagunas), mientras que Tilopozo incluye pozas de agua dulce, pero mayoritariamente son ambientes terrestres. Toda el área se localiza en un sector plano, variando entre las cotas de 2.304 m s.n.m. a los 2.312 m s.n.m.

Para el área específica de estudio, y analizando los datos de muestreos de línea base (PMB, 2015), los que se resumen en varias campañas (desde los años 2006 a 2015), se ha registrado una riqueza acumulada de 62 especies de vertebrados, de las cuales 49 corresponden a aves (79%), 10 especies a mamíferos (16,1%), dos a reptiles (3,2%) y una a anfibios (1,6%). Del total, y considerando las actualizaciones de los procesos de clasificación (17 procesos oficiales a la fecha), 15 de dichas especies se encuentran en alguna categoría de conservación: una especie En Peligro (*Liolaemus fabiani*); cinco clasificadas como Vulnerables (*Phoenicoparrus andinus*, *P. jamesi*, *Rhea pennata tarapacensis*, *Lama guanicoe* y *Vicugna vicugna*); tres categorizadas como Casi amenazadas (*Vultur gryphus*, *Phoenicopteris 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 *Ctenomys fulvus*, *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 (PMB 2015), y otros nueve puntos, de carácter voluntario, que han sido incorporados de modo de hacer más robusta la caracterización, con mejor ubicación para censar, no tan cerca de la presencia y actividad humana; y en definitiva, representar todos los ambientes presentes en el área de estudio.

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 2022, por inconvenientes de permiso, no se pudo acceder a tres de los 25 puntos (lagunas de Peine: Salada y Saladita) por lo que el muestreo se efectuó en 22 de los 25 puntos (detalle en **Tabla N° 7-1**).

En relación con el esfuerzo de muestreo, en invierno 2021 se efectuaron 25 transectos (uno en cada punto de muestreo), nueve estaciones de trampeo de micromamíferos y 12 estaciones con trampas cámara. En verano 2022, se efectuaron 22 transectos, nueve estaciones de trampeo de micromamíferos y 11 estaciones con trampas cámara, en tanto que por inconvenientes de permiso (asociado a toque de queda), no se realizaron los muestreos nocturnos de aves y 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

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Voluntario
	Este	Norte	Este	Norte				Anf	Rep	Aves	Mam	
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	-

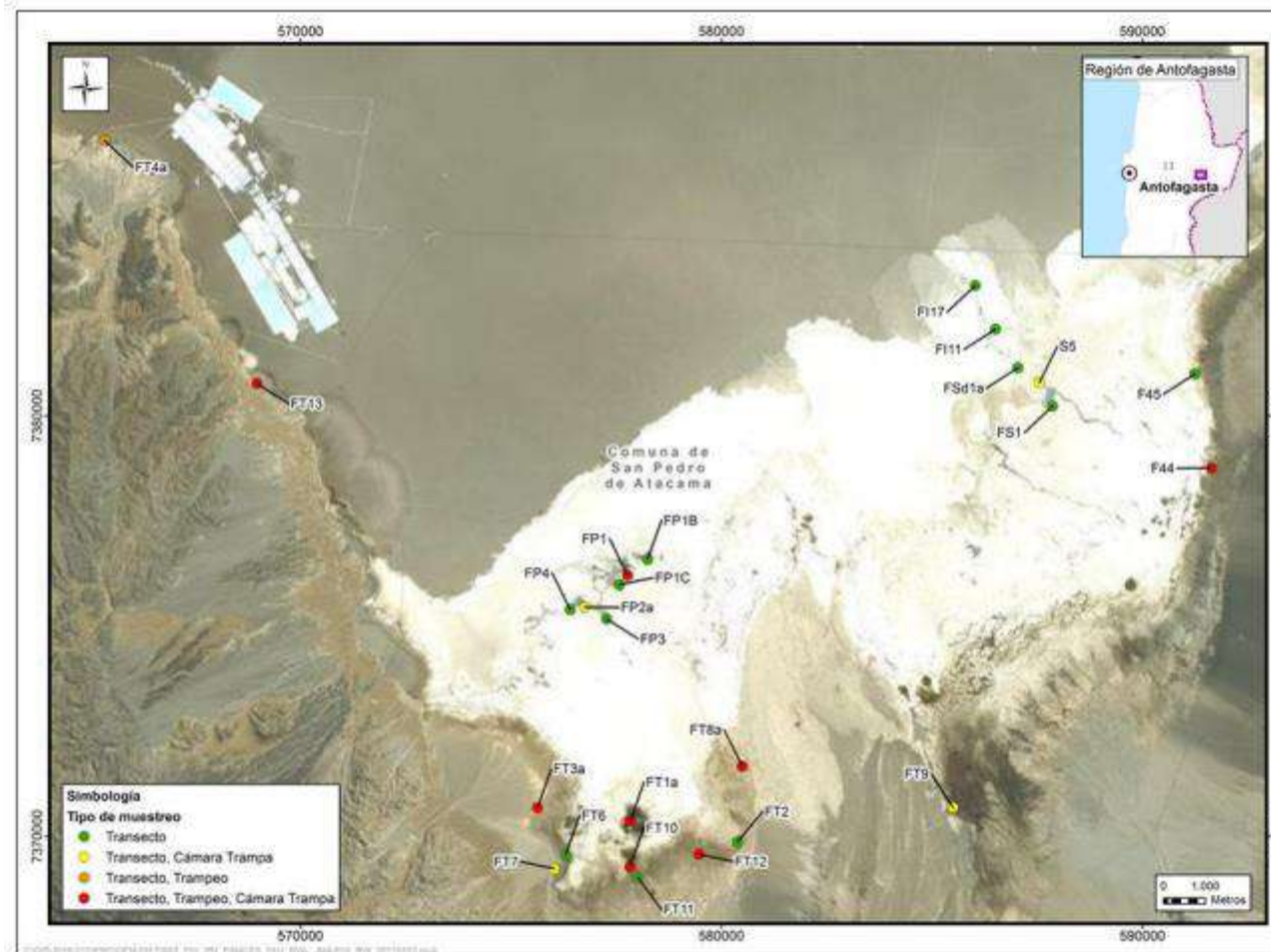
Nota: Las estaciones que presentan una letra a minúscula, representa una adecuación de la estación original, en cuanto a la ubicación exacta (ej. FT4a corresponde a la estación original FT4, que se cambió de lugar, manteniendo el ambiente). *: **los puntos resaltados en negrita y con asterisco no fueron muestreados en la campaña de verano 2022, 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.

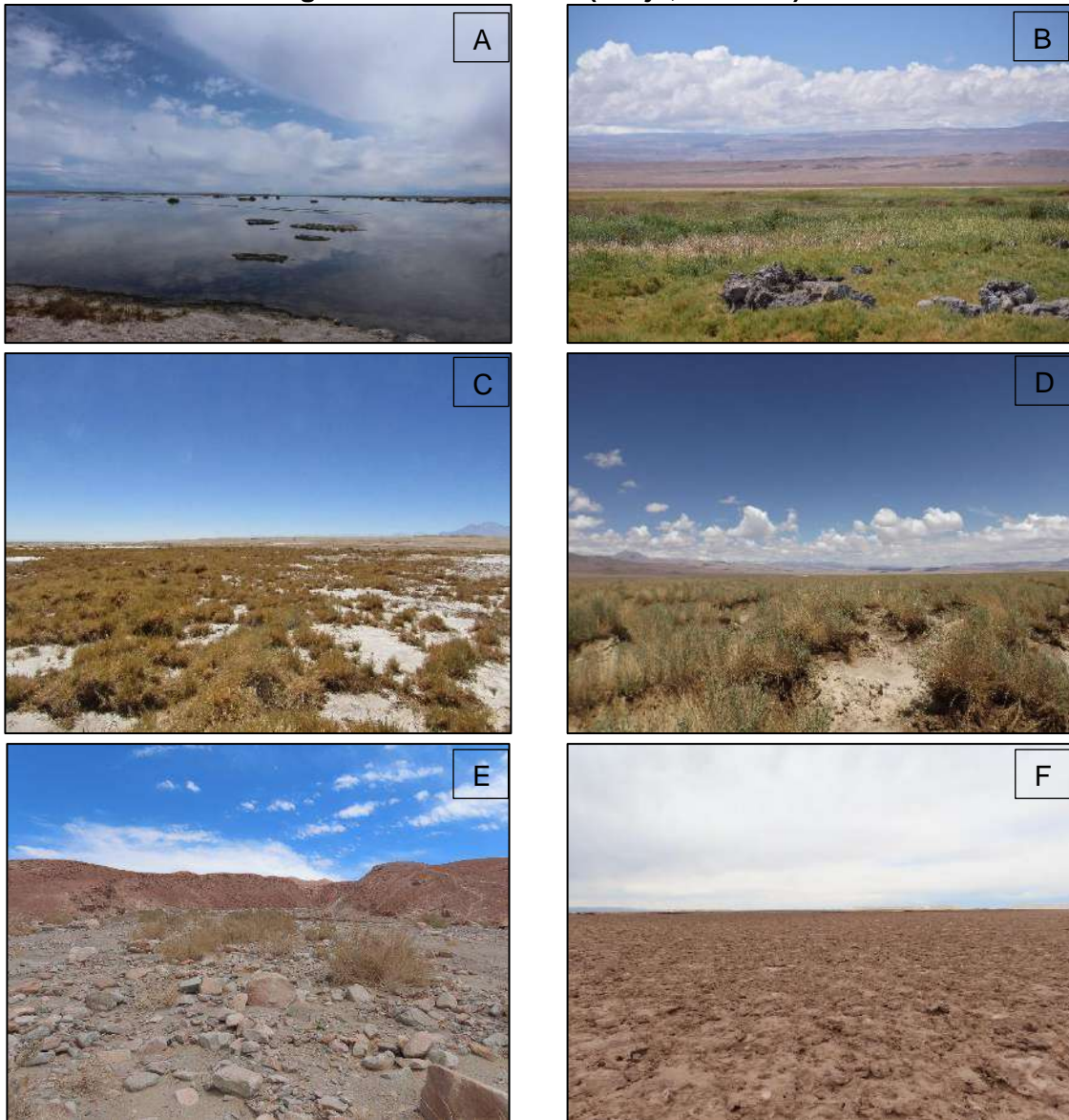
Los puntos de muestreo se agruparon en tres sectores: a) La Punta y La Brava (con 6 puntos); b) Peine, en las lagunas Salada, Saladita e Interna (con 5 puntos), además de 2 puntos en ambiente terrestre (7 puntos en total) y c) Tilopozo (12 puntos; **Figura N° 7-1**). Los dos primeros son sectores caracterizados 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 trampeos y muestreos nocturnos es representativa de todos los ambientes acuáticos y terrestres presentes en el área de estudio.

Figura N° 7-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-1. Ambientes del área de estudio. A) humedal salar (arriba; izquierda); B) humedal pajonal (arriba, derecha); C) herbazal (centro, izquierda); D) matorral (centro, derecha); E) quebrada (abajo, izquierda) y F) área desprovista de vegetación costra salar (abajo, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.3 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: trapeo de roedores y marsupiales, muestreo nocturno de aves y anfibios, y cámara trampa con atrayente olfativo.

Las definiciones de los tipos de muestreo son las siguientes:

- Transecto (T): Caminata a partir de un punto, para detectar evidencias directas e indirectas de fauna vertebrada terrestre.
- Trapeo de roedores y marsupiales (TR): Captura viva de especies de pequeños mamíferos.
- Muestreos Nocturnos (MN): Muestreo indirecto por playback de aves nocturnas y anfibios.
- Cámara trampa con atrayente olfativo (CT): Se instalan cámaras trampa con atrayente olfativo para detectar visualmente especies de carnívoros.

7.1.4.2 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 en el 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.

Seguidamente, 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, edentados³⁰ y a la familia chinchillidae del orden de los roedores como una categoría intermedia (mesomamíferos) y se consideraron como macromamíferos a los carnívoros, artiodáctilos

³⁰Si 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)³¹. 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:

³¹ 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)³². 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.

³²Para 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 BSE³³ (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:

³³ 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 2021 a través de trabajo efectivo en terreno entre los días 30 de septiembre al 3 de octubre (duración campaña: 28 de septiembre al 4 de octubre de 2021), mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 5 al 15 de octubre de 2021.

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de verano entre el 13 al 19 de marzo de 2022 (con muestreo efectivo entre el 15 al 18 de marzo), mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 01 al 18 de abril de 2022.

7.2 RESULTADOS

7.2.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2021

7.2.1.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de invierno 2021 se presentan en detalle en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**, y en la **Tabla N° 7-2**.

En el área de estudio, en la presente campaña de monitoreo, se registraron 26 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 19 especies de aves y cinco especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 7-2**). En esta campaña de invierno 2021 no se registraron nuevas especies.

De las 26 especies de fauna detectadas, 11 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: de ellas, 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). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles, cinco especies de aves y cuatro especies de mamíferos (Ver detalle en **Tabla N° 7-2**).

Del total de 11 especies en categoría de conservación, cinco se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías: En Peligro (una especie de reptil), Vulnerable (tres especies de aves) y Casi amenazada (una especie de 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 26 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 7-2**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 7-2**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que dos de las 26 especies registradas en la campaña (7,7%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas); otras 23 especies de las 29 detectadas (86,2%) se clasifican como nativas (19 especies de aves y cuatro especies de mamíferos), mientras que una especie es catalogada como introducida, *Equus asinus* (burro, especie introducida; **Tabla N° 7-2**).

Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2021. Se indica presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA												
SQUAMATA												
TROPIDURIDAE												
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC 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	X	
TOTAL RIQUEZA REPTILIA										1	2	1
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35		X	
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	-	-	-	N	R	S	A	30			X
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	-	-	-	N	R	S	A	15	X	X	
CHARADRIIFORMES												
RECURVIROSTRIDAE												
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	VU ⁷	BS	-	N	R	S	A	57,85	X	X	
CHARADRIIDAE												
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	R	N	A	10,85	X		
LARIDAE												
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC ⁵	S	-	N	R	S	A	18,65	X	X	X
SCOLOPACIDAE												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	-	B	-	N	V	S	A	31,65	X	X	
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	-	BS	-	N	V	S	A	18,35	X		
COLUMBIFORMES												
COLUMBIDAE												
<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	-	S	-	N	R	N	A	9,15			X
PASSERIFORMES												
TYRANNIDAE												
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		
<i>Muscisaxicola cinereus</i>	Dormilona cenicienta	-	BE	-	N	R	N	A	3,35		X	
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
FURNARIIDAE												
<i>Geositta maritima</i>	Minero chico	-	B	-	N	R	N	A	1,65		X	X
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral común	-	B	-	N	R	N	A	1,65			X
HIRUNDINIDAE												
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	R	N	A	10,85	X	X	X
THRAUPIDAE												
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	-	S	-	N	R	N	A	9,15			X
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ³	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ⁵	SE	-	N	R	S	A	65,35		X	
<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁵	SE	-	N	R	S	A	49,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA AVES										10	11	8
MAMMALIA												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
CARNIVORA												
CANIDAE												
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ¹	E	-	N	N/A	N	A	3,65	X	X	X
PERISSODACTYLA												
EQUIDAE												
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	I	N/A	N	A	N/A			X
RODENTIA												
CRICETIDAE												
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ⁸	E	-	N	N/A	N	M	11,15			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										1	2	5
TOTAL RIQUEZA SECTOR										12	15	14

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; -: Sin estado de conservación.

FUENTES EC: (1) D.S. N°33/2011 MMA; (2) D.S. N°52/2014 MMA; (3) D.S. N°38/2015 MMA; (4) D.S. N°16/2016 MMA; (5) D.S. N°23/2019 MMA; (6) D.S. N°16/2020 MMA; (7) D.S. N°44/2021 MMA; (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.

EH (Especialista de hábitat): S: sí; 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, 10 especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y nueve especies de aves (habitantes de ambientes de humedal, **Tabla N° 7-2**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: tres especies son de baja movilidad, dos especies se catalogan con movilidad media, y por último 21 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 7-2**).

Finalmente, en cuanto al índice de riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo, un reptil (*Liolaemus fabiani*, lagartija de Fabián), tres se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (tres aves de especialistas de humedal; flamenco andino, flamenco de james y caití), otras cinco se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y un mamífero), y por último 16 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (13 aves y tres mamíferos). A la única especie introducida, el burro (*Equus asinus*) no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-2**).

En el análisis por sector, se observa que la mayor riqueza se registró en Peine con 15 especies (dos reptiles, 11 aves y dos mamíferos); seguido por Tilopozo donde se registró una riqueza de 14 especies (un reptil, ocho aves y cinco mamíferos), mientras que La Punta y La Brava presenta la riqueza más baja con 12 especies, distribuidas en un reptil, 10 aves y un mamífero. Considerando las especies y su presencia en cada sector, solo tres especies se encuentran en todos los sectores: la golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*), la gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*) y el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la lagartija de Fabián y la mayoría 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 2021, 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 26 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (7,7%), ambas del Orden Squamata y de la familia Tropiduridae (**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).**



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.2.3 Aves

Del total de 26 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 19 corresponden a aves (73,1%), las que se distribuyen en seis órdenes y 12 familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-5**).

En esta campaña no se registraron nuevas especies, ya que todas han sido registradas en monitoreos previos.

Del total de aves registradas en el área de estudio, cinco (26,3%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la gaviota andina (Preocupación menor); flamenco andino, flamenco de James y Caití, clasificadas como Vulnerables; y flamenco chileno clasificado como Casi amenazado (**Tabla N° 7-2**).

En relación a la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 19 especies, 17 se encuentran en categoría B, S y/o E; mientras que las dos especies restantes no se clasifican en ninguna categoría. 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° 7-2**).

En relación al origen, todas las especies son nativas, mientras que nueve especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 19 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, tres especies presentan un riesgo alto (flamenco andino, flamenco de James y Caití), otras tres presentan un riesgo medio, y 13 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 7-2**).

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

Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: playero de Baird (superior, izquierda), Tijeral común (superior, derecha), Parina Grande (inferior, izquierda) y chorlo de la puna (inferior, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.2.4 Mamíferos

Del total de 26 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, cinco corresponden a mamíferos (19,2%), las que se distribuyen en tres órdenes y cuatro familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-6; Fotografía N° 7-7**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, cuatro especies (80,0%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes al tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*) junto al zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), catalogados como Preocupación menor, mientras que el ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) junto con el ratón andino (*Abrothrix andina*) son considerados Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 7-2**).

En relación a la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las cinco especies, cuatro 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), dos especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que dos especies se consideran benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de mamíferos se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-2**).

En relación al origen de las especies de mamíferos, cuatro son nativas, y la restante es introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie de mamífero se considera especialista de hábitat. Solo dos especies presentan movilidad alta (el zorro culpeo y el burro), dos especies presentan movilidad media (el ratón orejudo amarillo y el ratón andino), y una especie movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama). En cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, una especie presenta un índice de riesgo medio (el tuco-tuco de Atacama), tres especies presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para la especie introducida no se calcula el índice de riesgo (**Tabla N° 7-2**).

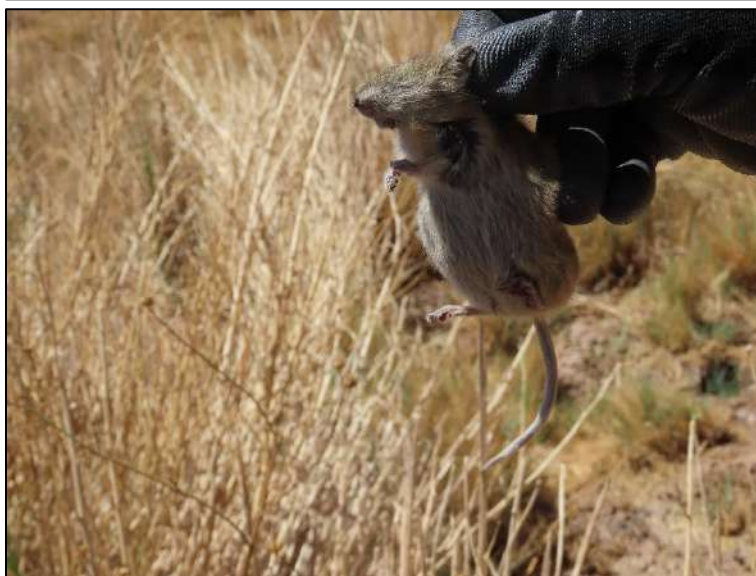
Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, presentando una especie, en tanto que Tilopozo registró cinco especies y Peine dos especies (**Tabla N° 7-2**).

Fotografía N° 7-6. Macromamífero en el área de estudio: zorro culpeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejado amarillo (superior), y ratón andino (inferior).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.3 Composición por ambiente

Para los reptiles, en el ambiente de matorral de los sectores de Peine y Tilopozo se registró solo una especie (*Liolaemus constanzae*), al igual que en el herbazal. En el humedal salar de La Punta y La Brava y Peine sólo se encuentra la lagartija de Fabián (**Tabla N° 7-3**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en el humedal salar de La Punta y La Brava, con 10 especies registradas durante la campaña (ocho de ellas acuáticas), seguido por el humedal salar de Peine con siete especies (todas acuáticas); el humedal pajonal de Tilopozo, el matorral de Tilopozo y Peine, con cuatro especies; quebrada de Tilopozo con dos especies, el ADV costra salar con solo una especie y finalmente el herbazal de Tilopozo, sin especies (**Tabla N° 7-3**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo con cinco especies, seguido por el matorral en Tilopozo, con cuatro especies. Por otra parte, el ambiente de herbazal y matorral de Peine registraron dos especies, mientras que en el humedal salar de Peine y de la Punta y La Brava solo se observó una especie. Los ambientes de ADV costra salar y quebrada de Tilopozo no registraron especies (**Tabla N° 1-3**).

Agrupando las tres clases de vertebrados, el ambiente con mayor riqueza es el humedal salar de La Punta y La Brava, con 12 especies registradas en total (un reptil, 10 aves y un mamífero), lo que representa un 46,1% de toda la fauna registrada en la campaña; seguido por los ambientes humedal salar de Peine, humedal pajonal de Tilopozo y matorral de Tilopozo, con nueve especies. El ambiente de matorral en Peine presentó una riqueza de siete especies (un reptil, cuatro aves y dos mamíferos), seguido del ambiente de herbazal de Tilopozo, con tres especies, y la quebrada de Tilopozo con dos especies. Por su parte, el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar), registró solo una especie durante esta campaña (**Tabla N° 1-3**).

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 2021). 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		X	
Lagartija de Fabián	X	X						
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	1	0	1	0	1	0
AVES								
Aguilucho común			X					
Pato jergón chico						X		
Pato juarjual	X	X						
Caití	X	X						
Chorlo de la puna	X							
Gaviota Andina	X	X		X				
Playero de Baird	X	X						
Pollito de mar tricolor	X							
Tortolita de la puna						X	X	
Colegial del norte	X							
Dormilona cenicienta			X					
Dormilona chica						X	X	X
Minero chico			X			X		
Tijeral común								X
Golondrina de dorso negro	X		X				X	
Chirihue verdoso							X	
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica		X						
Flamenco chileno	X	X						
TOTAL RIQUEZA AVES	10	7	4	1	0	4	4	2
MAMMALIA								
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	
Burro						X	X	
Ratón andino						X		
Ratón orejudo amarillo					X	X	X	
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X			X	X	

CLASE NOMBRE COMÚN	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
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	1	1	2	0	2	5	4	0
RIQUEZA POR AMBIENTE	12	9	7	1	3	9	9	2

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

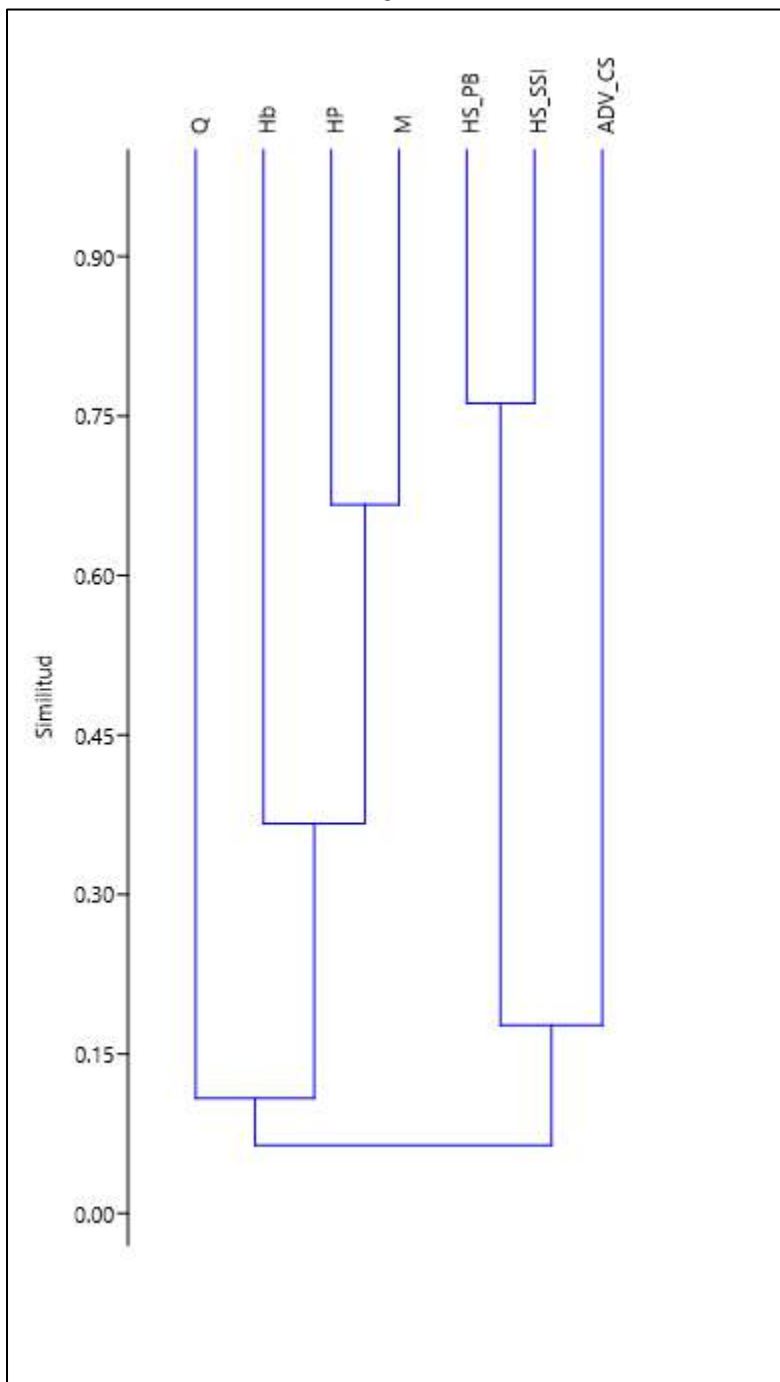
Fuente: Elaboración Propia.

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 77% de similitud, correspondientes a La Punta y La Brava por una parte, y a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna) por otra. A ese dúo se agrupa el área desprovista de vegetación costra salar (ADV_CS), a una similitud cercana al 18%. Luego, se agrupa un conjunto de cuatro ambientes (un ambiente acuático y los tres restantes terrestres) a una similitud cercana al 12,0%, dentro de los cuales los más similares son el matorral y el humedal pajonal (con un 68% de similitud), seguidos por el herbazal (con cerca de un 38% de similitud) y finalmente la quebrada, con una similitud cercana al 12% (**Figura N° 7-4**).

Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2021.



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 14 ejemplares avistados, lo que representa un 70,0% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 30,0%, con seis individuos registrados (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada en siete de los 25 puntos de muestreo, lo que representa un 28% de frecuencia relativa, mientras que la lagartija de Constanza fue registrada en seis puntos de muestreo, obteniendo un 24% de frecuencia relativa (**Tabla N° 7-4**).

En relación a las aves censadas, sobre un total de 806 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron la parina grande, con 356 ejemplares (44,2% de abundancia relativa), el chirihue verdoso (209 ejemplares; 25,9%), el flamenco chileno (67 individuos, lo que representa un 8,3% de abundancia relativa), el playero de Baird (n = 50; 6,2%), y el flamenco de James (n = 40; 5,0%), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja, variando entre uno a 15 ejemplares (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird, la parina grande y el flamenco chileno (registrados en nueve puntos; con un 36% de frecuencia), seguidos por caití (seis puntos; 24%) y el chorlo de la puna (cinco puntos, 20%). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a cuatro puntos, con un 4% a 16% de frecuencia (**Tabla N° 7-4**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron el zorro culpeo, el chululo y el burro. El primero con seis ejemplares en seis puntos, además de registros indirectos en otros cuatro puntos, por lo que su frecuencia es de 40%. En el caso del burro, hubo registro directo de cuatro individuos en un punto, además de registro indirecto en otros tres puntos, lo que representa un 16% de frecuencia, mientras que el chululo se observó sólo con registros indirectos en seis puntos de muestreo, con una frecuencia de 24% (**Tabla N° 7-4**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas mediante trapeo.

Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2021).

CLASE Nombre Común	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	6	30,0	6/25	24,0
Lagartija de Fabián	14	70,0	7/25	28,0
TOTAL REPTILIA	20	100,0	-	-
AVES				
Aguilucho común	1	0,1	1/25	4,0
Pato jergón chico	2	0,2	1/25	4,0
Pato juarjual	5	0,6	3/25	12,0
Caití	14	1,7	6/25	24,0
Chorlo de la puna	9	1,1	5/25	20,0
Gaviota Andina	15	1,9	3/25	12,0
Playero de Baird	50	6,2	9/25	36,0
Pollito de mar tricolor	12	1,5	2/25	8,0
Tortolita de la puna	4	0,5	2/25	8,0
Colegial del norte	3	0,4	3/25	12,0
Dormilona cenicienta	1	0,1	1/25	4,0
Dormilona chica	4	0,5	3/25	12,0
Minero chico	7	0,9	2/25	8,0
Tijeral común	3	0,4	1/25	4,0
Golondrina de dorso negro	4	0,5	4/25	16,0
Chirihue verdoso	209	25,9	3/25	12,0
Flamenco andino o Parina grande	356	44,2	9/25	36,0
Flamenco de James o Parina chica	40	5,0	4/25	16,0
Flamenco chileno	67	8,3	9/25	36,0
TOTAL AVES	806	100,0	-	-
MAMMALIA				
Zorro culpeo	6(6)+4X	-	10/25	40,0
Burro	4(1)+3X	-	4/25	16,0
Ratón andino	2	-	2/25	8,0
Ratón orejudo amarillo	6	-	4/25	16,0
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	6X	-	6/25	24,0

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 trampeo 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 1,27 individuos/transecto (en 11 puntos de muestreo de la Punta y La Brava junto con Peine), seguido por el ambiente matorral con 0,63 individuos/transecto (en ocho puntos de muestreo en Tilopozo y Peine), y luego el herbazal, con 0,50 individuos/transecto (en dos puntos de muestreo). En tanto, en los ambientes de área desprovista de vegetación costra salar, humedal pajonal y quebrada, no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

En el caso de las aves, claramente 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 52,00 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el matorral, con 27,50 ind/transecto, seguido por el ambiente humedal pajonal con 8,00 individuos/transecto, quebrada con 5,00 ind/transecto, área desprovista de vegetación costra salar, con 1,00 ind/transecto y finalmente el herbazal, sin ejemplares (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 trampeo: el ratón andino y el ratón orejudo amarillo (**Tabla N° 7-5**). En relación al ratón andino, fue registrado en uno de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo (humedal pajonal), con un IDR = 1,7%, con dos ejemplares capturados. El ratón de orejudo amarillo fue registrado en tres de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo, y con un IDR variando entre 0,8% (en el ambiente de humedal pajonal), 1,7% (en ambiente de matorral) y 3,3% (en herbazal), con uno a tres ejemplares capturados (**Tabla N° 7-5**). En los ambientes de humedal salar, área desprovista de vegetación costra salar y quebrada, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 7-5**).

Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. (invierno 2021).

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 / 60	0	0 / 60	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

Donde: IDR = (N° Individuos / trampa-noche)*100; N / TR = N° Individuos totales trampeados / N° Trampas-noche).

AMBIENTES: HS: Humedal salar; ADV_CS: área desprovista de vegetación costra salar; Hb: herbazal; HP: humedal pajonal; M: matorral; Q: quebrada.

Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2 Resultados del monitoreo campaña de verano 2022

7.2.2.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de marzo de 2022 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 segunda campaña de monitoreo, se registraron 19 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 11 especies de aves y seis especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 7-6**). En esta campaña de verano 2022 se registró una especie nueva, no observada en el monitoreo (la vicuña), aunque si se había registrado en la Línea de Base del PMB (2015).

De las 19 especies de fauna detectadas, 10 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: ocho 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, tres de las especies de aves y cinco de las especies de mamíferos. (Ver detalle en **Tabla N° 7-6**).

Del total de 10 especies en categoría de conservación, cinco se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie; un reptil), Vulnerable (tres especies; dos aves y un mamífero) y Casi Amenazada (una especie; un ave). Por su parte, las otras cinco 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), 18 de las 19 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 19 especies registradas en la campaña (10,5%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles); otras 16 especies de las 19 detectadas (84,2%) se clasifican como nativas (11 especies de aves y cinco especies de mamíferos), mientras que una especie es catalogada como introducida, *Equus asinus* (burro; **Tabla N° 7-6**).

Para estos valores vale recordar que solo se pudieron realizar 22 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 segunda campaña de monitoreo (verano 2022). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.

ORDEN	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
FAMILIA												
Especie												
REPTILIA												
SQUAMATA												
TROPIDURIDAE												
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC ⁴	SE	-	E	N/A	N	B	30,35			X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ²	SE	-	E	N/A	S	B	83,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA REPTILIA										1	1	1
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
CHARADRIIFORMES												
CHARADRIIDAE												
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	R	N	A	10,85	X	X	
SCOLOPACIDAE												
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	-	B	-	N	V	S	A	31,65	X	X	
PASSERIFORMES												
FURNARIIDAE												
<i>Geositta punensis</i>	Minero de la Puna	-	B	-	N	N/A	N	A	1,65			X
HIRUNDINIDAE												
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	R	N	A	10,85	X	X	X
TYRANNIDAE												
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X

ORDEN FAMILIA <i>Especie</i>	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ³	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ⁵	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁵	SE	-	N	R	S	A	49,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA AVES										7	6	5
MAMMALIA												
ARTIODACTYLA												
CAMELIDAE												
<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	VU ⁶	S	-	N	N/A	N	A	48,65	X		
CARNIVORA												
CANIDAE												
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ¹	E	-	N	N/A	N	A	3,65		X	X
PERISSODACTYLA												
EQUIDAE												
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	I	N/A	N	A	N/A			X
RODENTIA												
CRICETIDAE												
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ⁷	E	-	N	N/A	N	M	11,15			X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP ⁷	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

ORDEN FAMILIA <i>Especie</i>	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA										1	2	5
TOTAL RIQUEZA SECTOR										9	9	11

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

FUENTES EC: (1) D.S. N°33/2011 MMA; (2) D.S. N°52/2014 MMA; (3) D.S. N°38/2015 MMA; (4) D.S. N°16/2016 MMA; (5) D.S. N°23/2019 MMA; (6) D.S. N°16/2020 MMA; (7) 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.

En relación con las especies especialistas de hábitat, cinco especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y cuatro 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 14 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 7-6**).

Finalmente, 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 (dos especies de flamencos), otras cinco se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, dos aves y dos mamíferos), y por último 10 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (siete aves y tres mamíferos). A la única especie introducida, el burro (*Equus asinus*) no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-6**).

En el análisis por sector, se observa una riqueza mayor en Tilopozo, con 11 especies (un reptil, cinco aves y cinco mamíferos), seguido de La Punta-La Brava, con nueve especies (un reptil, siete aves y un mamífero), al igual que Peine, distribuidas en un reptil, seis aves y dos mamíferos (recordando que en esta campaña no se muestrearon tres puntos de las lagunas de Peine debido a restricciones de acceso). Considerando las especies y su presencia en cada sector, sólo una especie se encuentra en los tres sectores (la Golondrina de dorso negro), 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 2022, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo.

7.2.2.2.2 Reptiles

Del total de 19 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (10,5%), 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 (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2.3 Aves

Del total de 19 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 11 corresponden a aves (57,9%), las que se distribuyen en cuatro órdenes y siete familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-9**).

En esta campaña no se registraron nuevas especies, ya que todas han sido registradas en monitoreos previos.

Del total de aves registradas en el área de estudio, tres (27,3%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la parina grade y parina chica (Vulnerable) y el flamenco chileno (Casi amenazado, **Tabla N° 7-6**).

En relación con la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 11 especies, todas se encuentran en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que ocho especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), cuatro 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 con el origen, todas las especies son nativas, mientras que cuatro especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 11 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, dos especies presentan un riesgo alto (las parinas grande y chica), otras dos presentan un riesgo medio, y siete 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 siete especies, seguido de Peine, con seis especies, mientras que en Tilopozo se registró la menor riqueza de aves, con sólo cinco especies (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: playero de Baird (superior, izquierda), flamenco andino y chileno (superior, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y mero gaucho (inferior, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2.4 Mamíferos

Del total de 19 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, seis corresponden a mamíferos (31,6%), las que se distribuyen en cuatro órdenes y cinco familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-10; Fotografía N° 7-11**).

Destaca como especie nueva el registro de la vicuña (*Vicugna vicugna*) detectada en esta campaña verano 2022 en el sistema lagunar La Punta – La Brava (Punto de Monitoreo FP3, Subsector laguna La Brava). No registrada en todo el monitoreo previo, aunque si observada durante el invierno de 2008 en la línea de base histórica (PMB 2015).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, cinco especies (83,3%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes a la vicuña (*Vicugna vicugna*), clasificada como Vulnerable, 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 con la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las seis 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). Ninguna de las especies de mamíferos se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-6**).

En relación con el origen de las especies de mamíferos, cinco especies son nativas, y la restante es introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie de mamíferos se considera especialista de hábitat. Tres especies presentan movilidad alta (la vicuña, el zorro culpeo y el burro), 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 (la vicuña y el tuco-tuco de Atacama), y el resto de las especies presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para la especie introducida 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, con una especie, en tanto que Tilopozo presenta la mayor riqueza con cinco especies, seguida del sector de Peine con dos especies registradas de mamíferos (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-10. Macromamífero en el área de estudio: vicuña (especie nueva para el monitoreo). Sector La Punta-La Brava. Subsector Laguna La Brava (PM FP3).



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón andino (arriba) y ratón orejado amarillento (abajo).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.3 Composición por ambiente

Para los reptiles, la lagartija de Constanza se presentó en dos 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 siete especies registradas durante la campaña (algunas acuáticas), seguido por el humedal salar de Peine, con cinco especies (aunque no se muestreó en las lagunas Salada y Saladita), el humedal pajonal de Tilopozo, con tres especies, mientras que en la quebrada de Tilopozo se registraron dos especies, y en el matorral de Peine, sólo una especie. Por otra parte, no se registraron especies de aves en ADV costra salar, herbazal y matorral del sector de Tilopozo y el humedal salar de Peine fue evaluado sólo parcialmente (**Tabla N° 7-7**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal pajonal de Tilopozo, con cinco especies, seguido por el matorral y quebrada de Tilopozo, con tres especies, y el matorral de Peine, con dos especies. Para el único ambiente presente en el sector de La Punta y La Brava (humedal salar) se observó una especie, al igual que en herbazal de Tilopozo, mientras que en ADV costra salar (Tilopozo) y en humedal salar de Peine no se observaron mamíferos (**Tabla N° 7-7**).

Agrupando las tres clases de vertebrados (y considerando el muestreo incompleto en las lagunas de Peine), el ambiente con mayor riqueza es el humedal salar de La Punta y La Brava, con nueve especies registradas en total (un reptil, siete aves y un mamífero), junto con el humedal pajonal de Tilopozo (con un reptil, tres aves y cinco mamíferos). En tanto, los ambientes siguientes en riqueza son el humedal Salar de Peine, con seis especies (un reptil y cinco aves), la quebrada de Tilopozo, con cinco especies (dos aves y tres mamíferos) y el matorral de Tilopozo, con cuatro especies (un reptil y cuatro mamíferos). El ambiente que presentó la menor riqueza corresponde al herbazal del sector de Tilopozo con una especie. 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**).

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° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo segunda campaña de monitoreo (verano 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
REPTILIA								
Lagartija de Constanza						X	X	
Lagartija de Fabián	X	X						
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	0	0	0	1	1	0
AVES								
Aguilucho común						X		
Chorlo de la puna	X	X						
Playero de Baird	X	X						
Golondrina de dorso negro	X		X			X		
Mero gaucho						X		
Minero de la Puna								X
Colegial del norte	X							
Dormilona chica								X
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						
TOTAL RIQUEZA AVES	7	5	1	0	0	3	0	2
MAMMALIA								
Vicuña	X							
Zorro culpeo			X			X	X	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	1	0	2	0	1	5	3	3
RIQUEZA POR AMBIENTE	9	6*	3	0	1	9	4	5

Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1 – 6. * = evaluado sólo parcialmente en esta campaña (laguna Interna, no se muestreó Salada y Saladita).

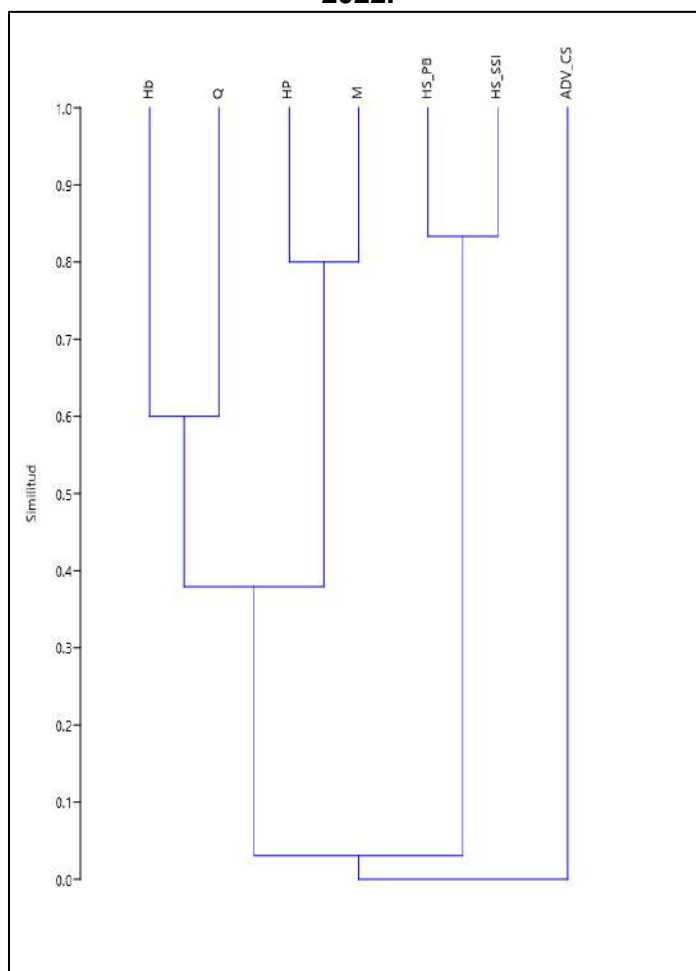
Fuente: Elaboración Propia.

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 85%) se presenta entre los dos ambientes de humedal salar, los que se unen a los otros ambientes a una baja similitud (menor al 10%). Los ambientes de humedal pajonal y matorral se agrupan a un 80% de similitud, mientras que los ambientes de herbazal y quebrada se unen a un 60% de similitud (**Figura N° 7-5**).

Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 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.

7.2.2.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Constanza, con 16 ejemplares avistados, lo que representa un 51,6% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Fabián presenta una abundancia relativa de 48,4%, 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 ambas aparecen con igual frecuencia, registrándose en cinco de los 22 puntos muestreados, con un 22,7% de frecuencia relativa (**Tabla N° 7-8**).

En relación a las aves censadas (y considerando el muestreo de 22 de los 25 puntos, en esta campaña), sobre un total de 120 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron el playero de Baird, con 29 ejemplares (24,2% de abundancia relativa), seguido por el flamenco chileno (20 ejemplares; 16,7% de abundancia relativa), la parina chica (19 individuos, lo que representa un 15,8% de abundancia relativa), el chorlo de la puna ($n = 16$; 13,3%), la golondrina de dorso negro ($n = 13$; 10,8%) y la parina grande ($n = 12$; 10,0%), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia muy baja, variando entre dos a tres ejemplares (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird (registrado en seis de los 22 puntos; con un 27,3% de frecuencia), seguido por el flamenco chileno, el chorlo de la puna y la golondrina de dorso negro (registradas en cinco puntos; 22,7% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a tres puntos, con un 4,5% a 13,6% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron el zorro culpeo y el burro. El primero registrado con dos ejemplares observados en dos puntos de muestreo y registros indirectos en otros tres puntos, por lo que su frecuencia es de 22,7%. En el caso del burro, hubo registro directo de cuatro ejemplares en un punto, y registros indirectos en otro punto, lo que representa un 9,1% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la única especie de micromamífero fosorial detectada en la campaña, el tuco-tuco de Atacama, se observó un individuo en un punto de muestreo y registros indirectos en otros cinco puntos, por lo que su frecuencia es de 27,3% (**Tabla N° 7-8**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas por trapeo, con nueve capturas del ratoncito andino y nueve del lauchón orejado amarillo.

**Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna.
 Décimo segunda campaña de monitoreo (verano 2022).**

CLASE	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA*	FRECUENCIA RELATIVA (%)
NOMBRE COMÚN				
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	16	51,6	5/22	22,7
Lagartija de Fabián	15	48,4	5/22	22,7
TOTAL REPTILIA	31	100		
AVES				
Aguilucho común	2	1,7	2/22	9,1
Chorlo de la puna	16	13,3	5/22	22,7
Playero de Baird	29	24,2	6/22	27,3
Minero de la Puna	2	1,7	1/22	4,5
Golondrina de dorso negro	13	10,8	5/22	22,7
Mero gaucho	3	2,5	2/22	9,1
Colegial del norte	2	1,7	2/22	9,1
Dormilona chica	2	1,7	2/22	9,1
Flamenco andino o Parina grande	12	10	3/22	13,6
Flamenco de James o Parina chica	19	15,8	3/22	13,6
Flamenco chileno	20	16,7	5/22	22,7
TOTAL AVES	120	100		
MAMMALIA				
Vicuña	1	-	1/22	4,5
Zorro culpeo	2(2)+3x	-	5/22	22,7
Burro	4(1)+X	-	2/22	9,1
Ratón andino	9	-	3/22	13,6
Ratón orejudo amarillo	9	-	3/22	13,6
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	1+5X	-	6/22	27,3

(*) No se consideran los 3 puntos de muestreo a los que no se tuvo acceso por problemas logísticos.

Nota 1: Para la clase Mammalia no es aplicable la suma total de ejemplares (como si ocurre para las clases Reptilia y Aves), ya que se mezclan grupos muy heterogéneos en tamaño corporal, tipo de registros (evidencia directa y/o indirecta), y metodologías de muestreo (transectos y trapeo de micromamíferos).

Nota 2: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1 – 6. La X indica presencia indirecta.

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 pajonal, con 2,5 individuos/transecto, seguido por el humedal salar, con 1,9 individuos/transecto, y el matorral, con 1,4 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 dos puntos de Peine), con 13,25 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el humedal pajonal, con 4,5 ind/transecto, seguidos por la quebrada (3,0 ind/transecto) y el matorral (0,25 ind/transecto). En los restantes ambientes, el área desprovista de vegetación costra salar y el herbazal, 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 trampeo: el ratón andino y el ratón orejado amarillo (**Tabla N° 7-9**). El ratón andino fue registrado en tres de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo; con un IDR variando (en los ambientes en que fue capturado) entre 1,7% (en el ambiente de herbazal) a 4,2% (en humedal pajonal), con dos a cinco ejemplares capturados. El ratón orejado amarillo fue registrado también en tres de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo; y con un IDR variando entre 0,8% (en el ambiente de matorral) a 5,8% (en humedal pajonal), con uno a siete ejemplares capturados en los ambientes mencionados (**Tabla N° 7-9**). En los ambientes de humedal salar 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 segunda campaña de monitoreo (verano 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	0 / 60	0,0	0 / 60	1,7	2 / 120	4,2	5 / 120	0,0	0 / 120	3,3	2 / 60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0 / 60	0,0	0 / 60	0,0	0 / 120	5,8	7 / 120	0,8	1 / 120	1,7	1 / 60

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 “Mantención dentro de su variación histórica”.

8 TAPETES MICROBIANOS

Para esta componente, se presentan las actividades y resultados obtenidos a partir de los monitoreos semestrales de invierno 2021 y verano 2022, 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 2021 y verano 2022 corresponden al undécimo y duodécimo 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 **30 de septiembre, 01 y 02 de octubre de 2021**, invierno, y **15, 16 y 17 de marzo de 2022**, verano post-lluvias, fechas entre las que se llevó a cabo la campaña en terreno del monitoreo de invierno 2021 y verano 2022 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.

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.

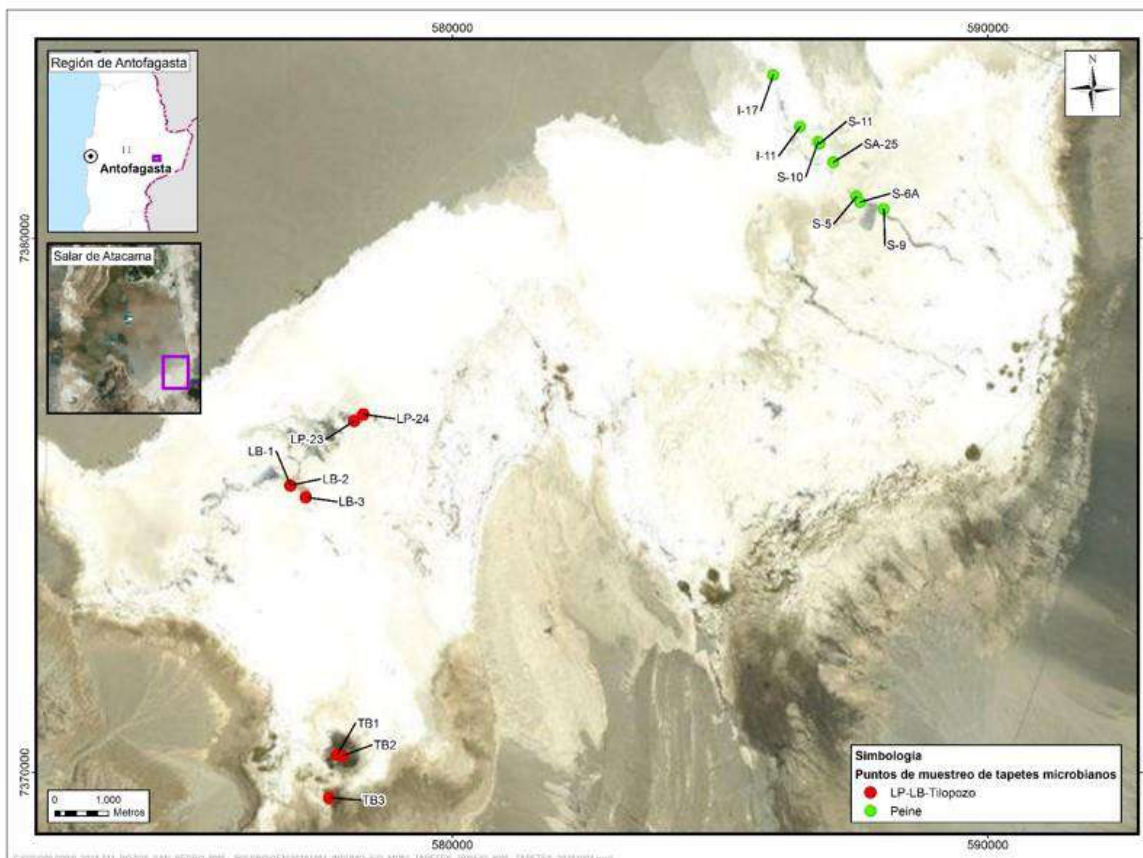
8.1.2 Estaciones de Monitoreo

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 30 de septiembre, 01 y 02 de octubre de 2021, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 15, 16 y 17 de marzo de 2022, 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.

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 seguirán los criterios teóricos de zonas macroscópicas pigmentadas, propuestas por Riding y Awramik (2000) y Konhauser (2007):

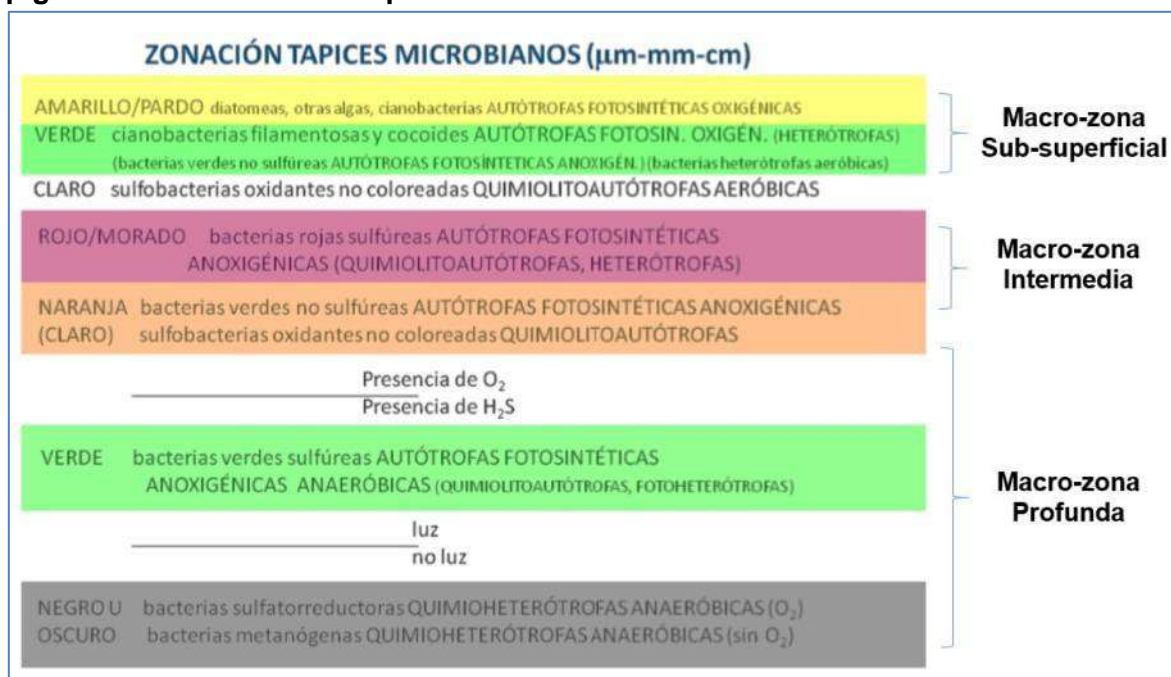
- Macro-zona sub-superficial (capas subsuperficiales), representada por la capa más superficial del tapete hasta la presencia de una capa de coloración verde.

- 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).

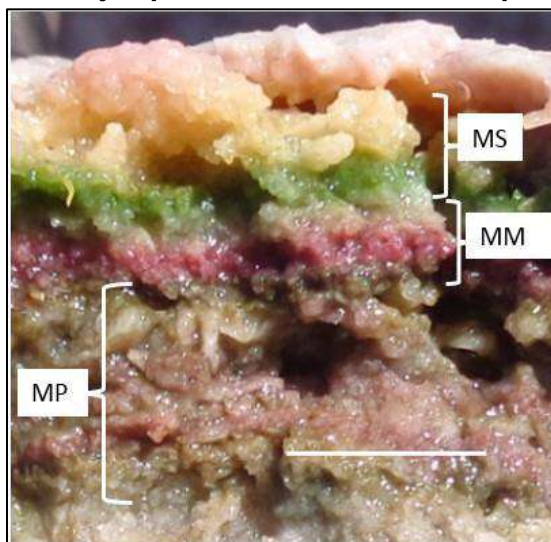
Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.



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 30 de septiembre, 01 y 02 de octubre de 2021 en época invernal y en los días 15, 16 y 17 de marzo de 2022, época 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

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de invierno 2021.

8.2.1 Resultados Campaña Invierno 2021

8.2.1.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña invierno 2021, 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 (1,0 – 9,5 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 2021.

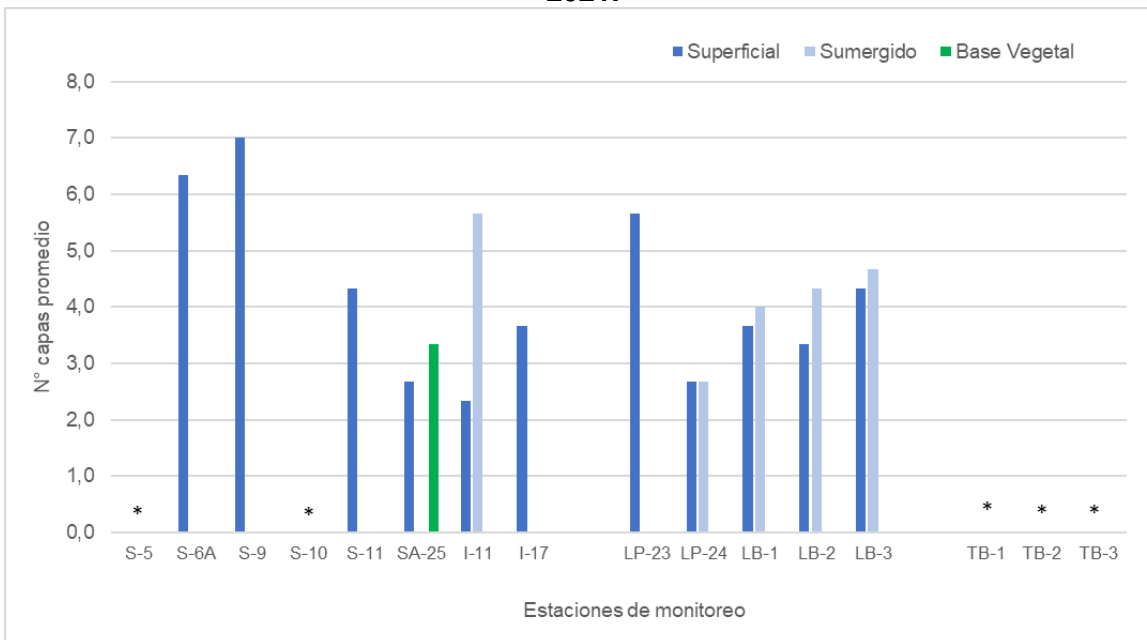
Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	5	45,5
Estaciones con Tapetes sumergidos	0	0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	6	54,5
Total Estaciones	11	100

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, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación S-9 (Laguna Salada) con 7,0 capas, mientras que, el menor valor fue registrado en LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 2,7 capas (**Figura N° 8-3**). Respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en S-9 (Laguna Salada) con 7,0 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en I-11 (Laguna Interna) y 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 I-11 (Laguna Interna) con 5,7 y menor en LP-24 (Laguna La Punta) con 2,7. Por último, en los tapetes de base vegetal de textura coriácea, se observaron 3,3 capas en promedio (**Figura N° 8-3**).

Figura N° 8-3. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2021.

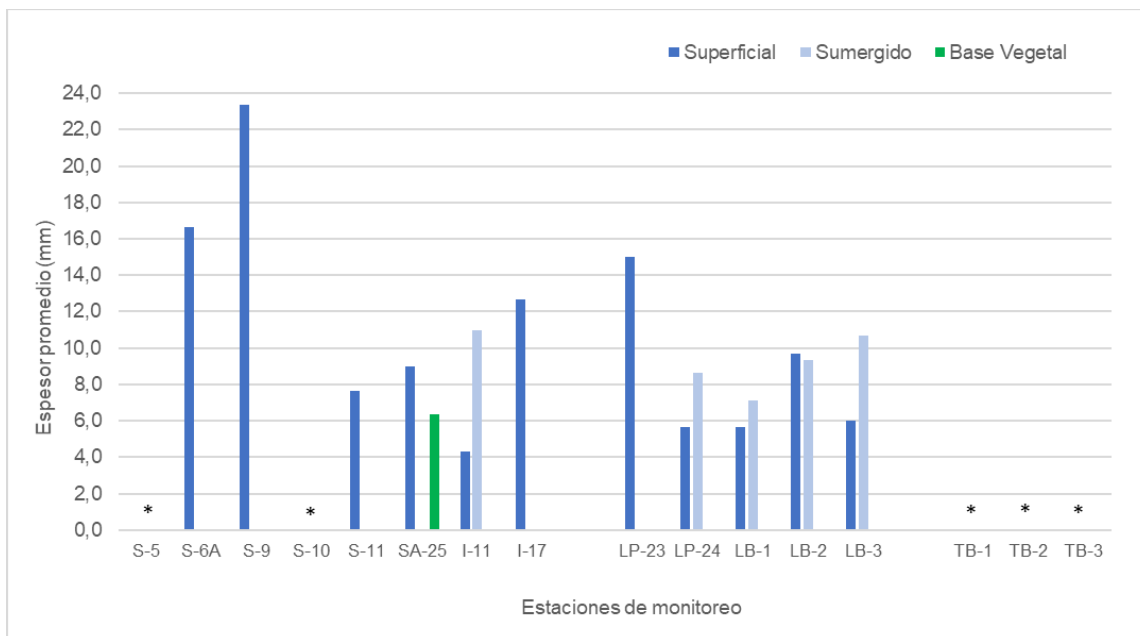


(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en S-9 (Laguna Salada), con 23,3 mm, mientras que, el menor valor fue registrado en LB-1 (Laguna La Brava) con 6,4 mm (**Figura N° 8-4**). Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en S-9 (Laguna Salada), con 23,3 mm, mientras que, fue menor en I-11 (Laguna Interna) con 4,3 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en I-11 (Laguna Interna) con 11,0 mm y el menor fue en LB-1 (Laguna La Brava) con 7,1 mm. Respecto a los tapetes de base vegetal de textura coriácea en SA-25 (Laguna Saladita), el espesor fue de 6,3 mm promedio (**Figura N° 8-4**).

Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}), Invierno 2021.



(*) 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 macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en el Sector Peine, como en el Sector La Punta y La Brava. 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, seguido en menor medida púrpura (**Tabla N° 8-12** y **Tabla N° 8-24**).
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y fue detectado en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, siendo la tipología más frecuente entre los sectores. Estos tapetes presentaron principalmente macro-zonas subsuperficiales color verde y/o naranja, seguidas de capas color rosado y/o púrpura. A su vez, particularmente se observaron tapetes con esta tipología, que exhibieron capas color

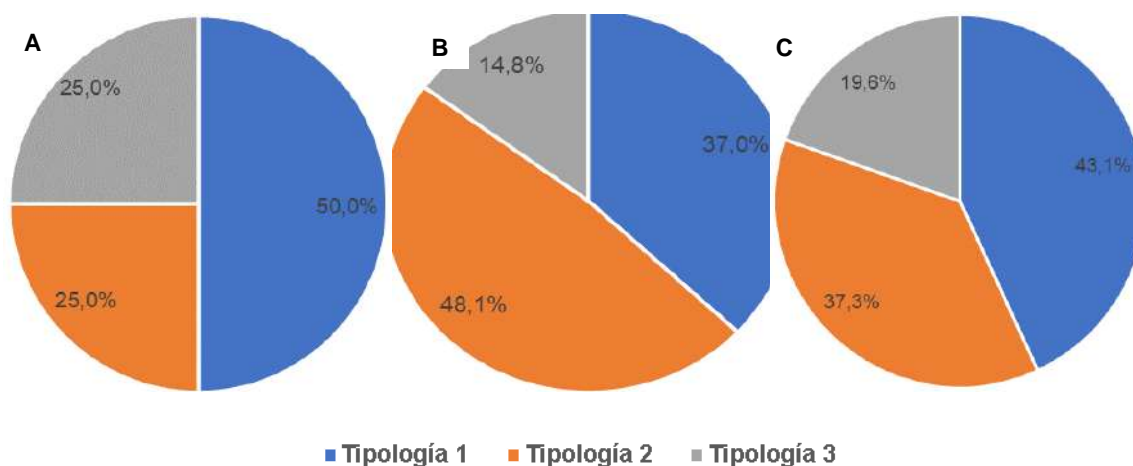
púrpura, seguida de la macro-zona Profunda de color marrón, púrpura y/o tonalidades verdes (**Tabla N° 8-13 y Tabla N° 8-25**).

- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranja, amarillo y rosado, en el Sector Peine y La Punta-La Brava y, particularmente, en I-11 donde se observó la macro-zona intermedia, con predominancia de colores verde, naranja y púrpura (**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 las Tipología 1 y 2 presentaron los mayores porcentajes con valores de 50,0 y 48,1%, respectivamente (**Figura N° 8-5 A y B**). Seguido de la Tipología 2 y 3 con 25,0% cada uno en el Sector Peine, mientras que, se detectó Tipología 1 con 37,0% y Tipología 3 con 14,8% en el Sector La Punta-La Brava.

En el mismo contexto, al considerar el área total de estudio, se observó que la Tipología 1 fue predominante entre los tapetes con un 43,1%, seguido de Tipología 2 con 37,3% y finalmente la Tipología 3 con 19,6% (**Figura N° 8-5 C**).

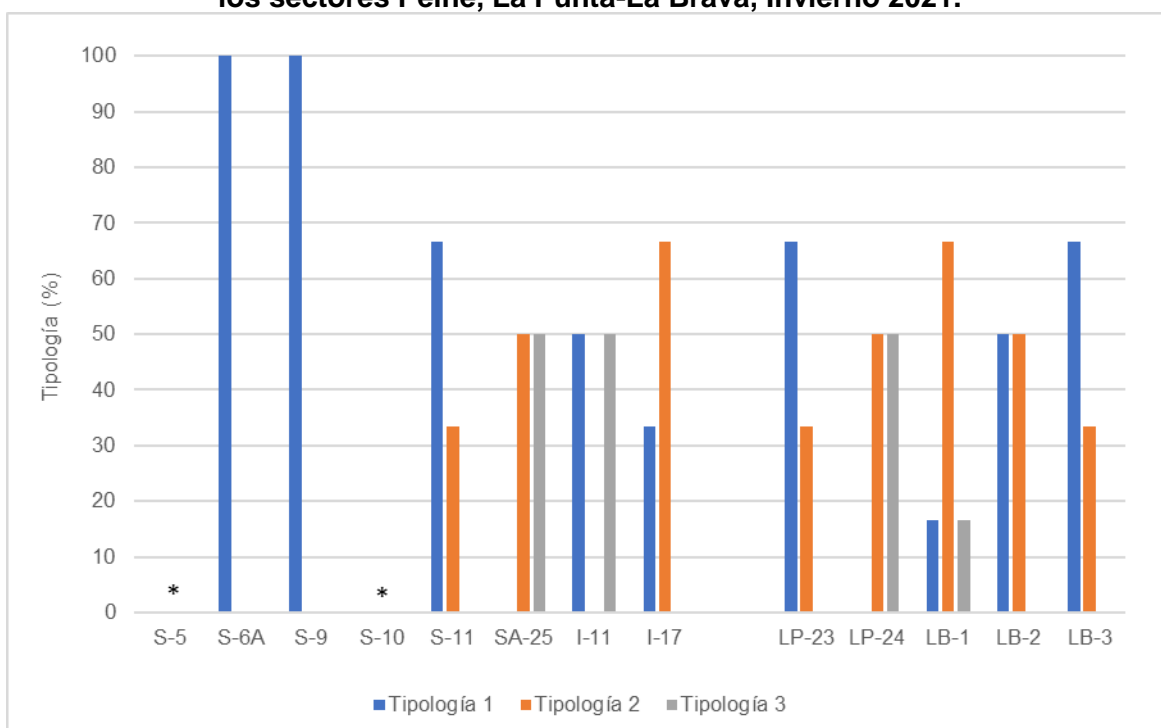
Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2021.



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-6A y S-9 con un 100%, seguido de S-11 con 67% e I-11 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 67%, principalmente en las estaciones LP-23 y LB-3. Respecto de la Tipología 2, se observó una alta representatividad en las estaciones I-17 en el Sector Peine y en el Sector La Punta-La Brava, en la estación LB-1 con 67% respectivamente. Por último, Tipología 3, fue mayormente representada en las estaciones del Sector Peine, SA-25 e I-11 con un 50%. En tanto, en el Sector La Punta-La Brava en LP-24 y LB-1 con valores de 50% en ambas estaciones de monitoreo.

Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava, Invierno 2021.



(*) 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 mucilaginoso, 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 2021, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 1. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginoso. El espesor varió entre 1,3 y 30 mm observada en LB-1 y S-9 respectivamente, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 2 y 8 en SA-25, LP-24 y S-9 (**Tabla N° 8-3**).

Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2021.

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	100	0	0	Plana	20	12	7	5
	S-9	100	0	0	Plana	30	20	8	6
	SA-25	0	50	50	Plana y coriácea	13	5	5	2
	S-10	Sin tapetes							
	S-11	67	33	0	Plana	8	7	5	4
	I-11	50	0	50	Plana y coriácea	17	4	7	2
	I-17	33	67	0	Plana	17	9	4	3
La Punta-La Brava	LP-23	67	33	0	Plana	20	10	7	4
	LP-24	0	50	50	Plana y coriácea	11	4	3	2
	LB-1	17	67	17	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginoso.	12	1,3	4	3
	LB-2	50	50	0	Plana y coriácea, consistencia blanda	11	8	5	3
	LB-3	67	33	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	13	5	6	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 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 por estación de monitoreo, la Laguna Salada (S-9) presentó tapetes con mayor estratificación en promedio (7,0 capas). Por el contrario, el menor número de capas en promedio fue observado en la Laguna Saladita (SA-25) con 3,0 capas (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que la Laguna Salada presentó los valores máximos. Se destaca que en la Laguna Salada variaron entre un máximo de 23,3 mm en la estación S-9 y un mínimo promedio de 16,7 mm en la estación S-6A. En la Laguna Saladita, se observó el mismo valor promedio, con 7,7 mm en ambas estaciones (S-11 y SA-25). Finalmente, en la Laguna Interna, estos valores fluctuaron entre un máximo de 12,7 mm en la estación I-17 y un mínimo promedio de 7,7 mm (considerando todos los tapetes, tanto superficiales planos como sumergidos coriáceos) en la estación I-11 (**Figura N° 8-4**).

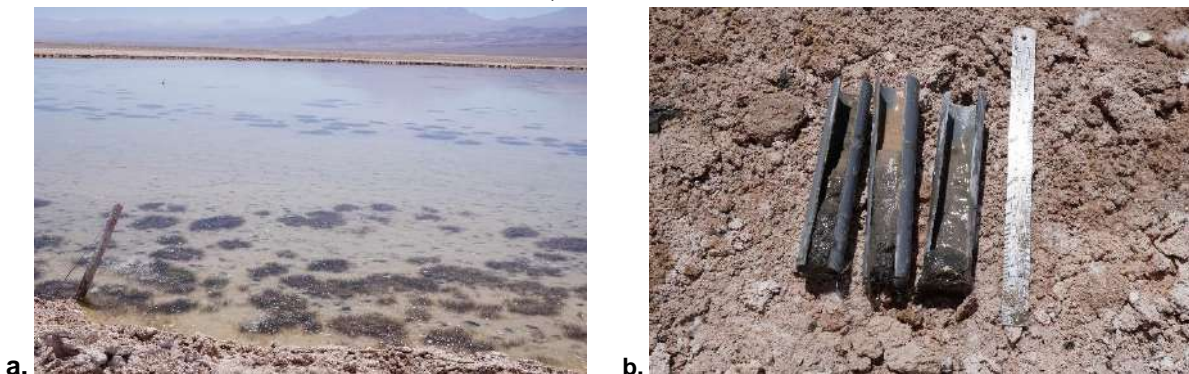
En general, en el Sector Peine, se observó entre las estaciones y lagunas, continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. Excepto por las estaciones SA-25 (Laguna Saladita) e I-11 (Laguna Interna), las que presentaron tapetes con una morfología plana y esferoidal (tapetes coriáceos). En relación a la tipología, se observó que la Tipología 1 fue la más frecuente (50%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad verde (~46,2%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (~55,6%) en la macro-zona intermedia, y marrón (~38,5%) en la macro-zona profunda, las que más predominaron (**Tabla N° 8-12**). 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.

- *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 2021.



Fuente: Elaboración propia

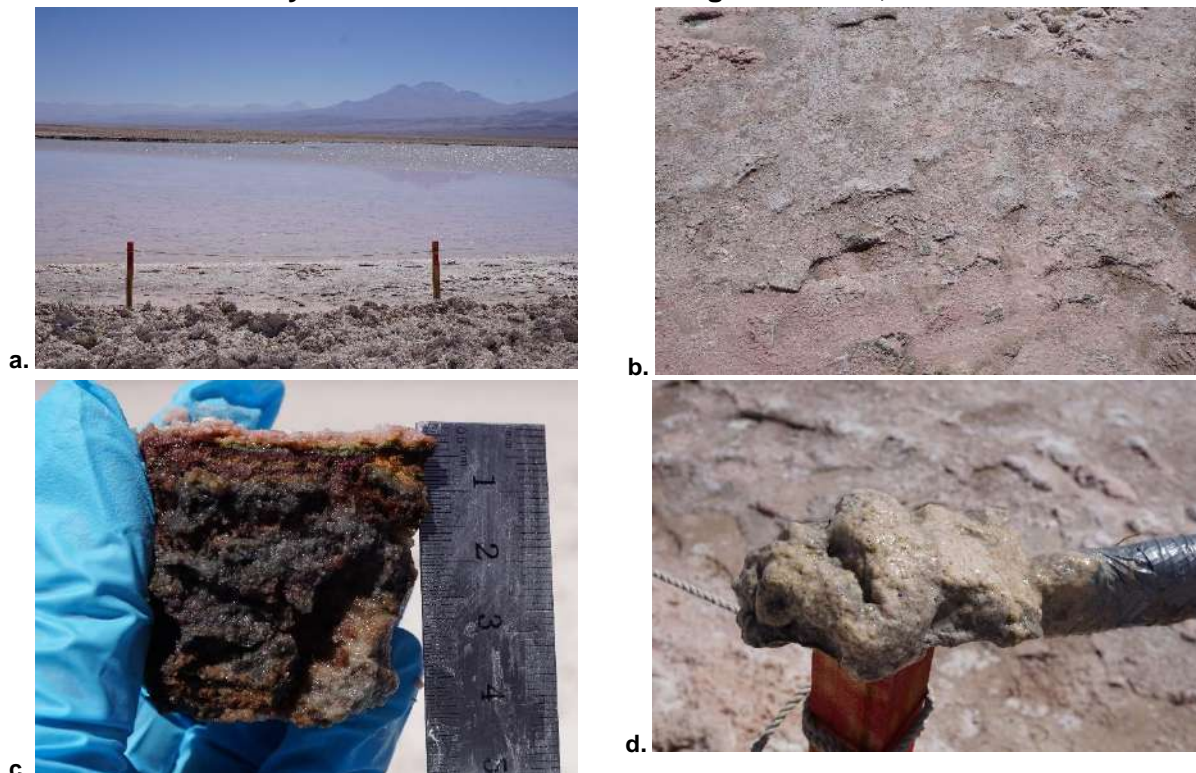
- *Laguna Salada: Estación de monitoreo S-6A*

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 rosado (costra salina ~3,6 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 (3 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 2021.



Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1. Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes correspondieron verde y en menor medida a naranja. En cuanto a la zona Intermedia, tanto la tonalidad púrpura, así como rosado y naranja, tuvieron igual preponderancia. En tanto, en la zona Profunda predominaron capas grises, mientras que, en uno de los tapetes muestreados, también se observaron tonalidades verdes, naranja y negro (**Tabla N° 8-4**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 12 y 20 mm, con un número de capas entre 5 y 7.

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	Verde
		Verde	Verde	Verde
	Intermedia	Rosado	Púrpura	Rosado
			Naranja	Púrpura
			Púrpura	Naranja
	Profunda	Negro	Gris	Gris
		Verde		
		Naranja		
		Gris		
	Total de laminaciones		7	7
Espesor (mm)		20	18	12
Profundidad (cm)		0	0	0

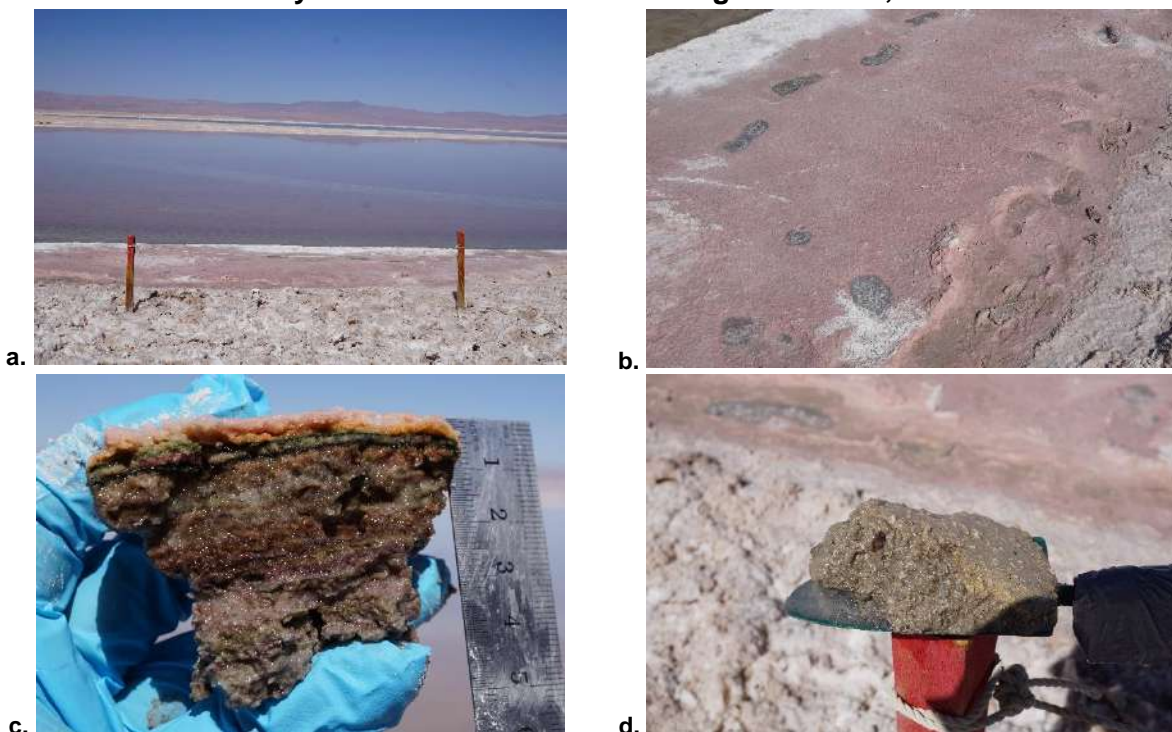
Fuente: Elaboración propia

- *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 se obtuvieron las muestras de tapetes, exhibe una superficie lisa, húmeda, y áreas de coloración predominantemente rosado, con presencia de costra salina (~4,3 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 (9 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 2021.



Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes observados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1. Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial predominaron las tonalidades verde y amarillo, mientras que en la zona Intermedia la única tonalidad observada fue rosado. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas marrón y negra y en menor medida verde y gris (Tabla N° 8-5). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 20 y 30 mm, con un número de capas entre 6 y 8.

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 rosada	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Amarillo	Amarillo	Naranja
		Verde	Verde	Amarillo
		Verde	Amarillo	Verde
				Amarillo

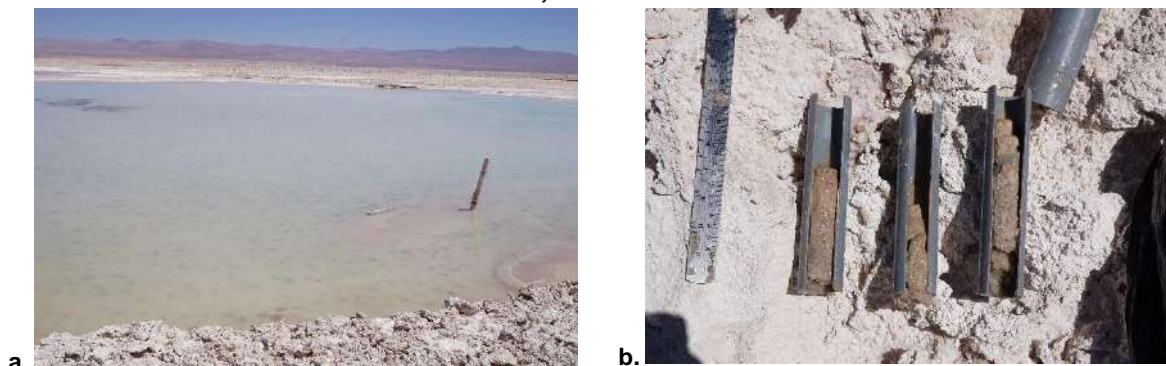
Tapetes Superficiales Planos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Intermedia	Rosado	Rosado	Rosado
Profunda	Negro	Negro	Negro
	Marrón	Marrón	Marrón
	Negro	Gris	Verde
Total de laminaciones	6	7	8
Espesor (mm)	20	30	20
Profundidad (cm)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- *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 2021.



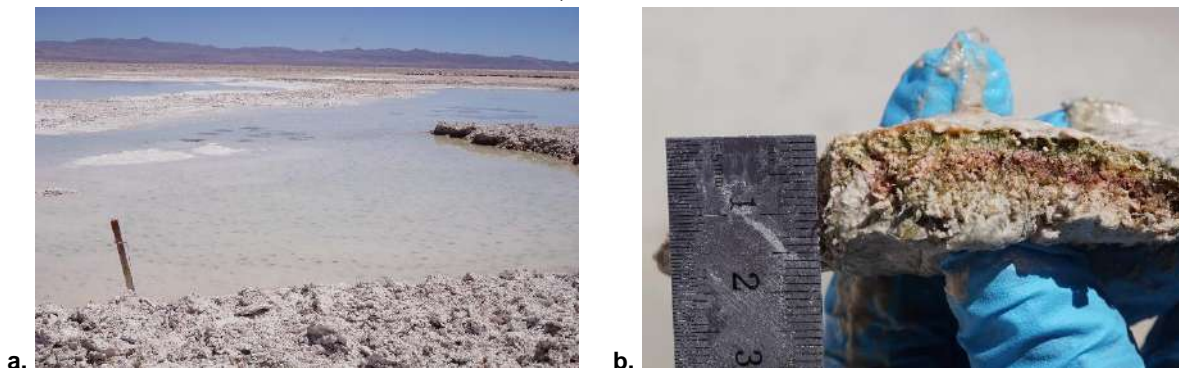
Fuente: Elaboración propia

- *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**). 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. Laguna Saladita, invierno 2021.



Fuente: Elaboración propia

Dos de los tapetes muestreados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondiente a Tipología 1, mientras que otro tapete mostró dos macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia), correspondiente a Tipología 2. Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue en general uniforme (naranja y verde), por otro lado, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a rosado y púrpura. En tanto, en la zona Profunda, se observaron capas de pigmentación marrón (**Tabla N° 8-6**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 8 mm, con un número de capas entre 4 y 5.

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

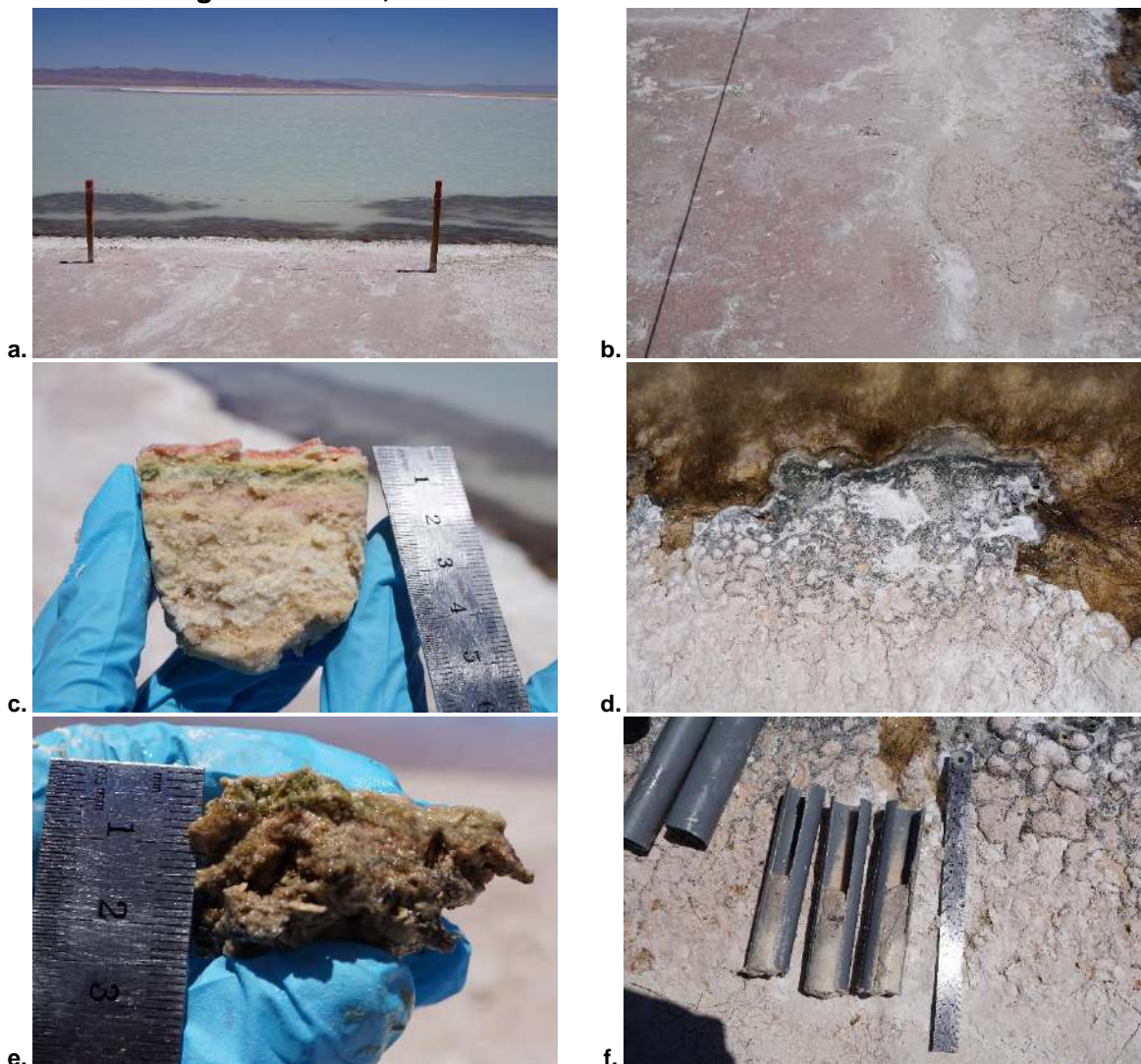
Tapetes Superficiales Húmedos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
	Total de laminaciones		4	4
Espesor (mm)		8	7	8
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- *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 mm) y tonalidades gris-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 gris-rosado (**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 (20 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 2021.



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 fue verde y amarillo. La única tonalidad observada en la zona Intermedia fue rosado. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 7 y 13 mm, mientras que, el número de capas fue de entre 2 y 4 (**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	Amarillo	Amarillo	Amarillo
		Verde	Verde	Verde
		Amarillo		
	Intermedia	Rosado	S/C	S/C
Profunda	S/C	S/C	S/C	
Total de laminaciones		4	2	2
Espesor (mm)		13	7	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes coriáceos (esferoidales y asociados a base vegetal), en dos muestras se detectaron dos macro-zonas (una Subsuperficial e Intermedia y una Subsuperficial y Profunda), correspondientes a Tipología 2, en tanto, en la tercera muestra se observaron solo una macro-zona (Subsuperficial), con Tipología 3. En la zona Subsuperficial, se observó predominantemente la tonalidad verde y en menor medida naranja, por otro lado, en la zona Intermedia predominó el color rosado y blanco. Finalmente, en la zona Profunda, predominó la tonalidad negra y rosada (**Tabla N° 8-8**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 8 mm, con un número de capas entre 2 y 5.

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 Superficiales Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Costra blanca	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Naranja
		Verde		Verde
			Amarillo	
	Intermedia	S/C	Blanco Rosado	S/C
Profunda	S/C	S/C	Negro Rosado	
Total de laminaciones		2	3	5

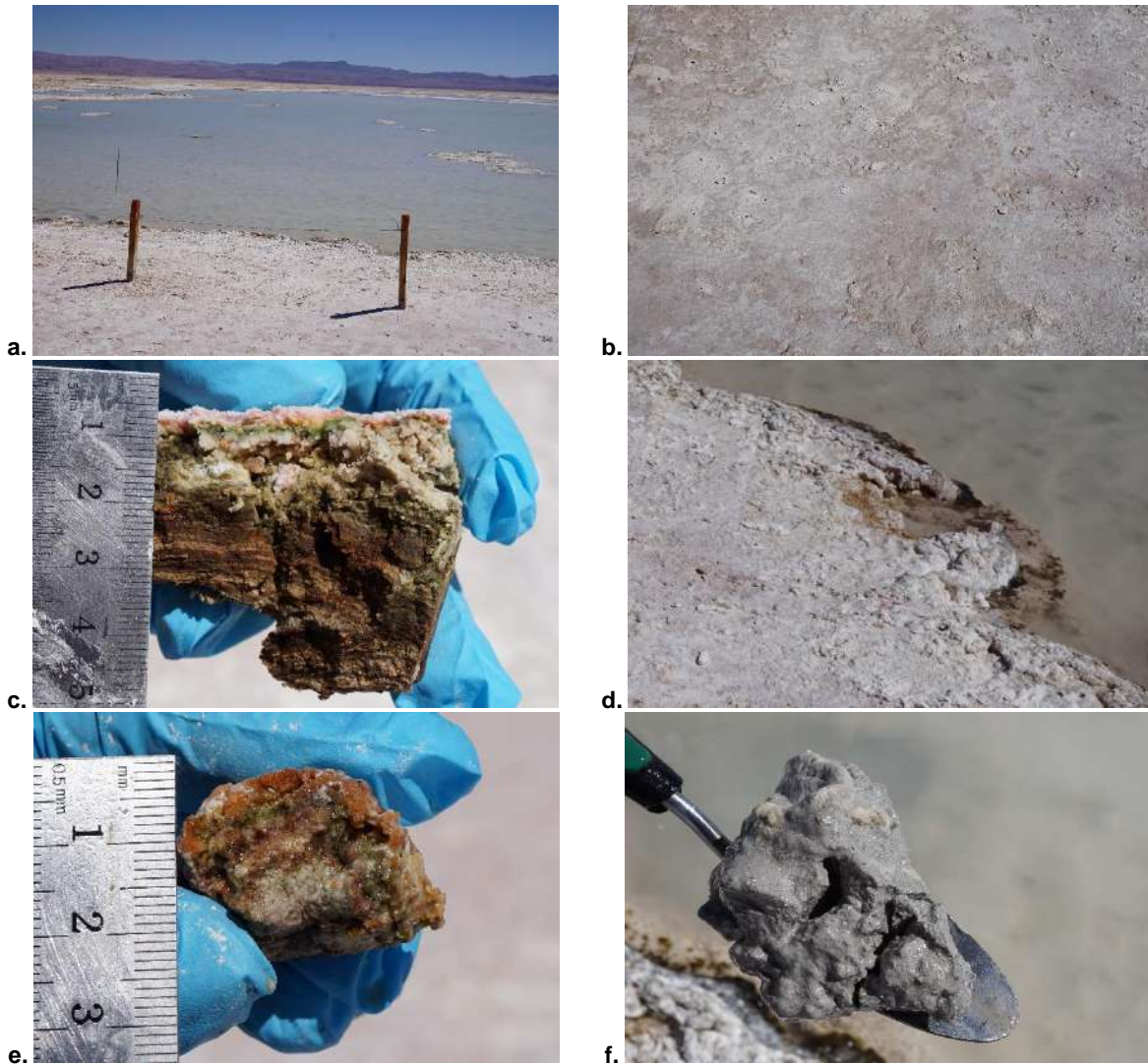
Tapetes Superficiales Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Espesor (mm)	5	8	6
Profundidad (cm)	4,5	5	7

Fuente: Elaboración propia

- *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, gris y rosado (**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 esféricas, 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 esférica, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (11 cm de profundidad), en este no se detectó presencia de tapetes microbianos. Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-8 f**).

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. Laguna Interna, invierno 2021.



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 verde y naranja, y en menor medida rosado y amarillo. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 5 mm, con un número entre 2 y 3 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, gris y rosado	Costra blanca, gris y rosado	Costra blanca, gris y rosado
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Naranja	Naranja
		Amarillo	Verde	Verde
		Verde		
	Intermedia	S/C	S/C	S/C
Profunda	S/C	S/C	S/C	
Total de laminaciones		3	2	2
Espesor (mm)		5	4	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes superficiales coriáceos, presentaron tres macro-zonas (Tipología 1). En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y naranja. En la zona Intermedia predominó la tonalidad rosada. En tanto, en la zona Profunda predominó el marrón, variando entre coloraciones blanco, negro, rosado y verde. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 17 mm, con un número de capas entre 4 y 7 (**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 Superficiales Húmedos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra coriácea	Costra coriácea	Costra coriácea
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedia	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Negro	Marrón

Tapetes Superficiales Húmedos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
		Rosado	Blanco
		Verde	Marrón
		Marrón	
Total de laminaciones	4	7	6
Espesor (mm)	6	17	10
Profundidad (cm)	5,5	9,5	9,5

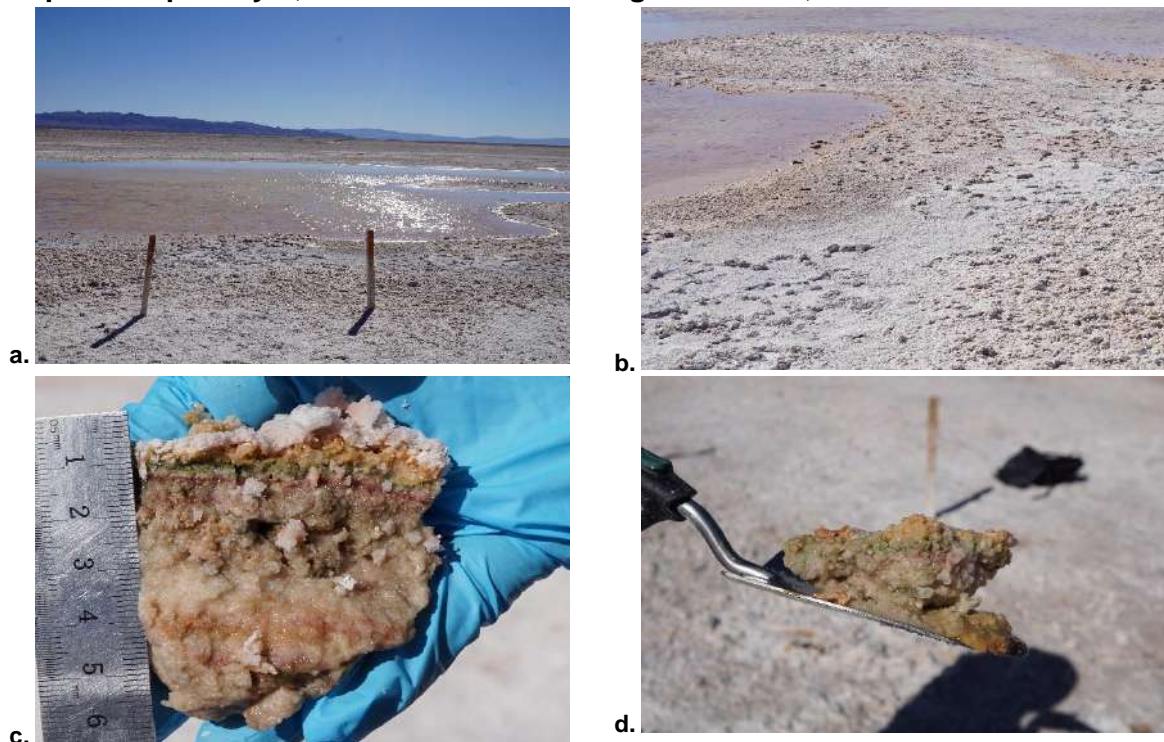
Fuente: Elaboración propia

- *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 2021, 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 superficie rugosa e irregular, con áreas de coloración predominantemente blanca, con costra salina (~3,3 mm), y sin huellas humanas (**Fotografía N° 8-9 b y c**). Cabe señalar que, a una profundidad de 2,5 cm se obtuvo sedimento y este presentó tapetes microbianos.

Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano y d, Muestra sedimento. Laguna Interna, invierno 2021.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes observados presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial e Intermedia), de Tipología 2, no observándose la zona Profunda. Por otro lado, una muestra presentó las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiendo a Tipología 1. 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 las tonalidades naranja y verde. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades púrpuras y en menor medida rosado, mientras que en la zona Profunda se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 9 y 17 mm, con un número entre 3 y 4 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Rosado
		Verde	Verde	Naranja
	Intermedia	Púrpura	Púrpura	Rosado
		Profunda	S/C	Marrón
Total de laminaciones		3	4	4
Espesor (mm)		9	12	17
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- *Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector Peine)*

En el Sector Peine, en invierno 2021, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna Salada (S-6A y S-9), Saladita (S-11) e Interna (I-11 e I-17). Presentando, de manera frecuente, en la macro-zona subsuperficial una capa verde, que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que podrían corresponder a cianobacterias filamentosas y microalgas (*i.e.* clorofíceas). En tanto en la macro-zona intermedia las tonalidades fueron rosado y en menor medida púrpura y naranja, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos los cuales podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominaron las capas de coloración marrón y en menor medida negro y gris, 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 2021.

Estación/Muestra		S-6A P			S-9 P			S-11 P		I-11 C			I-17 P
		1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde											
		Naranja											
		Amarillo											
	Intermedia	Rosado											
		Púrpura											
		Naranja											
	Profunda	Marrón											
		Negro											
		Gris											
		Verde											
		Naranja											
		Rosado											
	Blanco												

C: Tapete coriáceo; BV: Tapete Base Vegetal

Fuente: Elaboración propia

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

En Laguna Saladita (S-11 y SA-25), los tapetes presentaron frecuentemente la macro-zona subsuperficial de capas verde y en menor prevalencia naranja y amarillo, y en la macro-zona intermedia, capas de pigmentación rosada y en menor medida púrpura. Cabe destacar que sólo fue detectada la macro-zona profunda en la estación SA-25, con capas de pigmentación de tonalidad negro y rosado.

Respecto a Laguna Interna, la estación I-17, se caracterizó por exhibir una macro-zona subsuperficial con capas de tonalidad verde, naranja y rosado, y en la macro-zona profunda presentó capas de tonalidad rosada o púrpura. Por otro lado, la estación I-17 presentó una macro-zona intermedia con capas de tonalidad verde y naranja. Ninguna de las muestras de la estación I-17, exhibió la macro-zona profunda.

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 predominaron las capas de

tonalidad negra y en menor medida, rosada, las cuales representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos, y otras capas verde y amarillo, que corresponderían a microorganismos fotosintéticos, autótrofos anoxigénicos anaerobios, conocidos como bacterias verdes sulfúreas.

Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2021.

Estación/Muestra		S-11 P	SA-25 C		SA-25 P	I-17 P	
		1	2	3	1	1	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde					
		Naranja					
		Rosado					
		Amarillo					
	Intermedia	Rosado					
		Púrpura					
		Blanco					
	Profunda	Negro					
Rosado							

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). En ambas estaciones, sólo se observó macro-zona Subsuperficial con tonalidades mayoritariamente verde, y en menor medida naranja o amarillo (Tabla N° 8-14).

Cabe mencionar, que estas capas podrían corresponder a microorganismos quimioautótrofos 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 2021.

Estación/Muestra		SA-25 C	SA-25 P		I-11 P		
		1	2	3	1	2	3
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, 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 2,7 capas para LP-24 (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que la Laguna La Punta presentó el valor máximo de espesor, con 15,0 mm (LP-23), mientras que el menor valor promedio observado fue de 7,2 mm (LP-23). Por otro lado, en Laguna La Brava, el mayor espesor promedio observado fue de 9,5 mm (LB-2), mientras que el menor valor promedio registrado fue de 6,4 mm (LB-1) (**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 2 fue la más frecuente (48,0%) en el sector, siendo el verde (~41,9%) en la macro-zona Subsuperficial y el rosado (~81,8%) en la macro-zona Intermedia, 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).

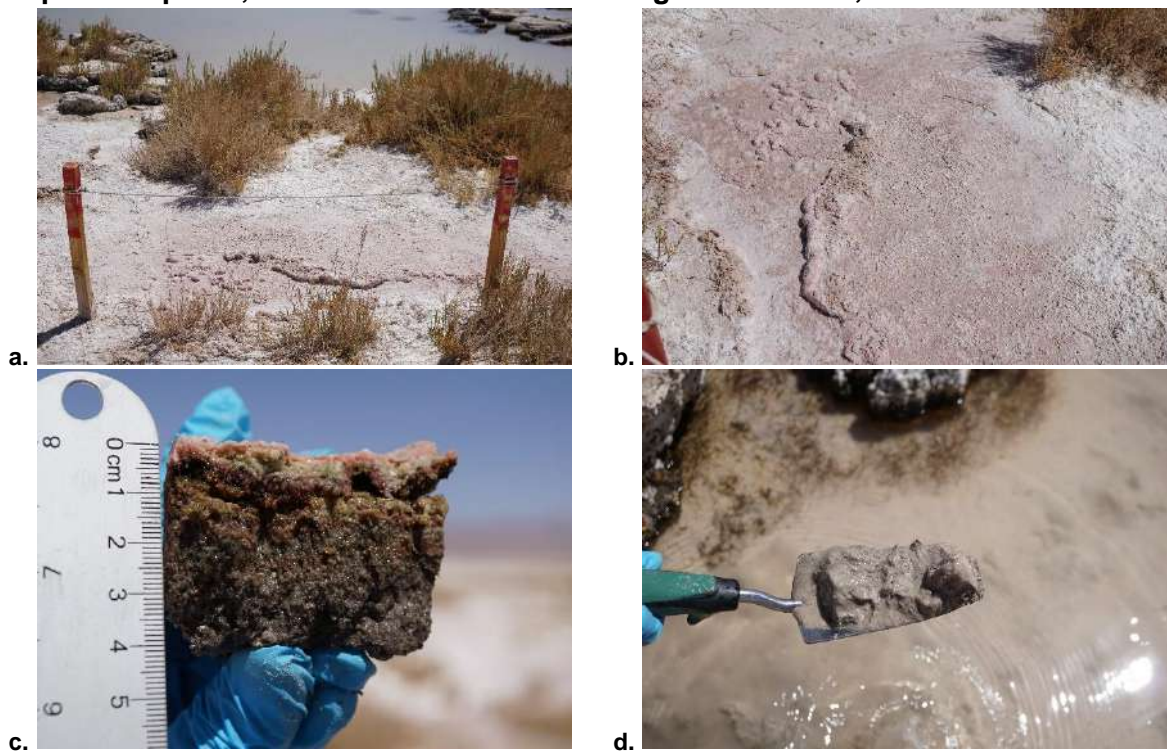
A continuación, se presentan las características de la estructura de pigmentación de los tapetes microbianos presentes en cada estación de monitoreo del Sector La Punta-La Brava.

- *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, si bien se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa, se observó un nulo flujo en la laguna, 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**). Además, presenta flujos de agua superficiales y subsuperficiales.

Las áreas de coloración fueron predominantemente rosadas y con presencia de costra salina (~2,0 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 (6 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. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, invierno 2021.



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. Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue uniforme, mayoritariamente de tonalidad verde y en menor medida, amarillo, rosado o verde oscuro. Por otro lado, la zona Intermedia, dependiendo del tapete, evidenció una tonalidad púrpura o rosado. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas marrón, gris, verde y rosado. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 10 y 20 mm, con un número de capas entre 4 y 7 (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	Verde oscuro	Amarillo	Verde
		Rosado	Verde	Verde
		Verde		
	Intermedio	S/C	Púrpura	Rosado
	Profunda	Marrón	Gris	Marrón
		Verde claro		Verde
Rosado		Rosado		
Verde		Gris		
Total de laminaciones		7	4	6
Espesor (mm)		15	10	20
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- *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 (~2 mm) y coloración blanca (**Fotografía N° 8-11 b y c; Tabla N° 8-16**), y (ii) una superficie coriácea, sumergida, 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 (13 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. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, invierno 2021.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron sólo la Tipologías 3 (macro-zona Subsuperficial), en la cual predominaron las tonalidades fueron verde y naranja, y en menor medida, amarillo o rosado. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 8 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
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Rosado	Naranja
		Amarillo	Naranja	Verde
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	S/C	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	3	2
Espesor (mm)		5	8	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, presentaron sólo las macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), todos correspondientes a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, predominaron los tonos verde y naranja, mientras que en la Intermedia se observó sólo la tonalidad rosada. En cuanto al espesor de los tapetes fluctuaron entre 7 y 11 mm, y con 2 a 3 capas. Las muestras sumergidas fueron tomadas a una profundidad entre 1 y 6 cm (**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 Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	2	3
Espesor (mm)		11	8	7
Profundidad (cm)		6	1	2

Fuente: Elaboración propia

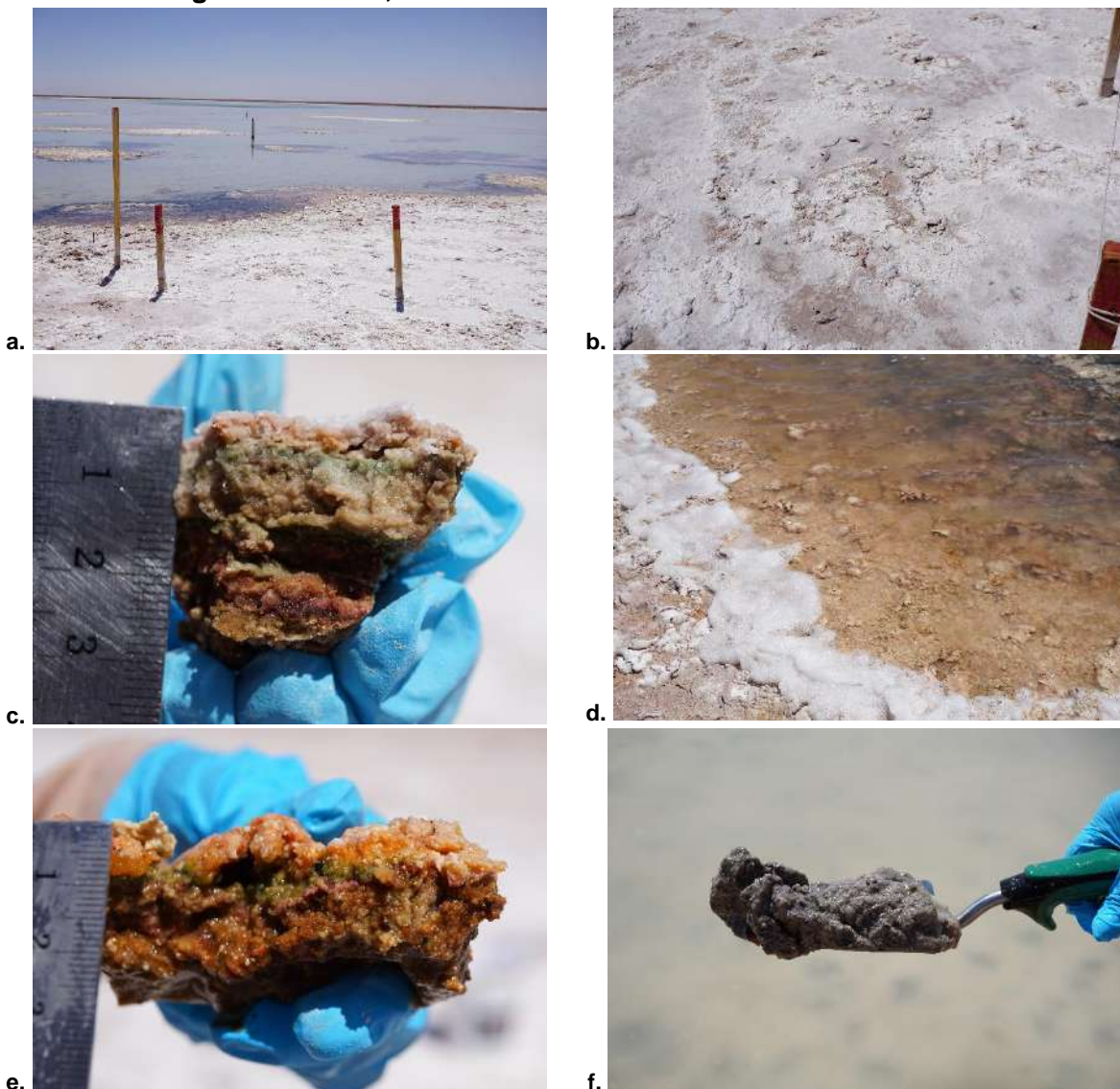
- *Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1*

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 (~1,5 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanca, 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 mucilaginosa (~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**).

Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (20 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-12 f**). Por otro lado, el examen visual del área indicó presencia de microbialitos.

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. Laguna La Brava, invierno 2021.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, dos muestras presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), configurándose en Subsuperficial e Intermedia, mientras que otra muestra evidenció una macro-zona (Subsuperficial), correspondiendo a Tipología 3. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, naranja y amarillo. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó sólo la tonalidad rosada. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 4 y 9 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 blanca	Costra blanca	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Amarillo	Verde
		Amarillo	Verde	Amarillo
	Intermedio	Rosado	S/C	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		4	3	4
Espesor (mm)		9	4	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginoso, dos presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), Subsuperficial e Intermedia y una con tres macro-zonas (Tipología 1), correspondientes a Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde, seguido de amarillo, en la zona Intermedia, predominó únicamente la tonalidad rosada, y finalmente, en la zona Profunda, se observó solo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 1,3 y 12 mm, todas con un número de 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 2 y 3 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 Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Amarillo	Amarillo	Verde
		Verde	Verde	
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	Marrón
Total de laminaciones		4	4	4

Tapetes Sumergidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Planicie expuesta	Sin costra	Sin costra	Sin costra
Espesor (mm)	12	8	1,3
Profundidad (cm)	2	2	3

Fuente: Elaboración propia

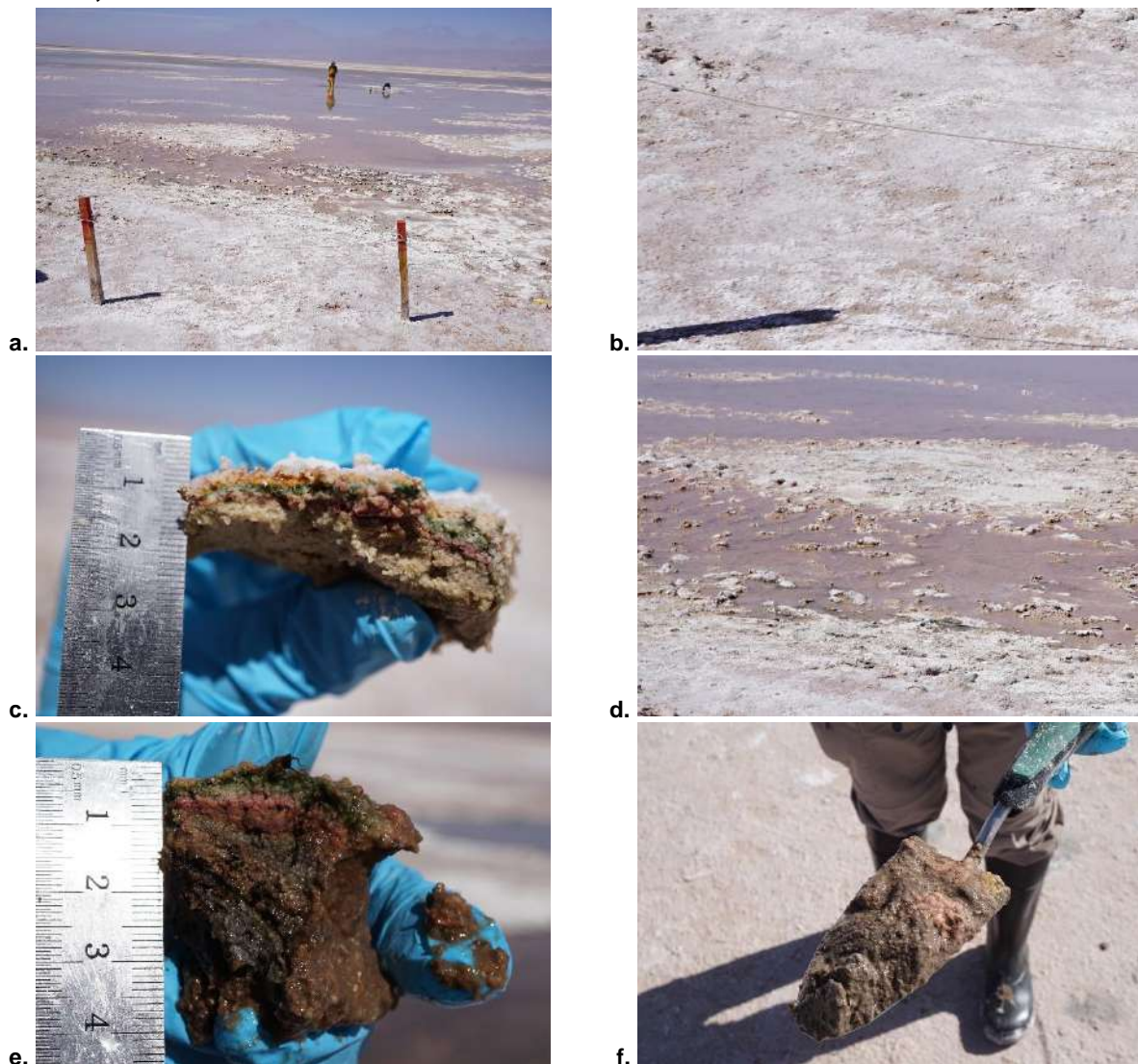
- *Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2*

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, 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 rosada 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 (8,3 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 2021.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, principalmente, dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia) correspondientes a Tipología 2 y una con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), que se corresponde con Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde. La zona Intermedia mostró tonalidades únicamente rosadas, mientras que en la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 8 y 11 mm, con un número entre 3 y 4 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	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	Marrón	S/C
Total de laminaciones		3	4	3
Espesor (mm)		8	11	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda) y Tipología 2 (macro-zonas Subsuperficial y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, y en menor medida rosado. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosadas y en menor medida, blanco. Finalmente, en la zona Profunda, se observaron únicamente tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 8 y 10 mm, con entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1 y 3 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		Costra rosada	Costra rosada	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Rosado Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	S/C	Blanco Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	4	5
Espesor (mm)		8	10	10
Profundidad (cm)		1	3	2

Fuente: Elaboración propia

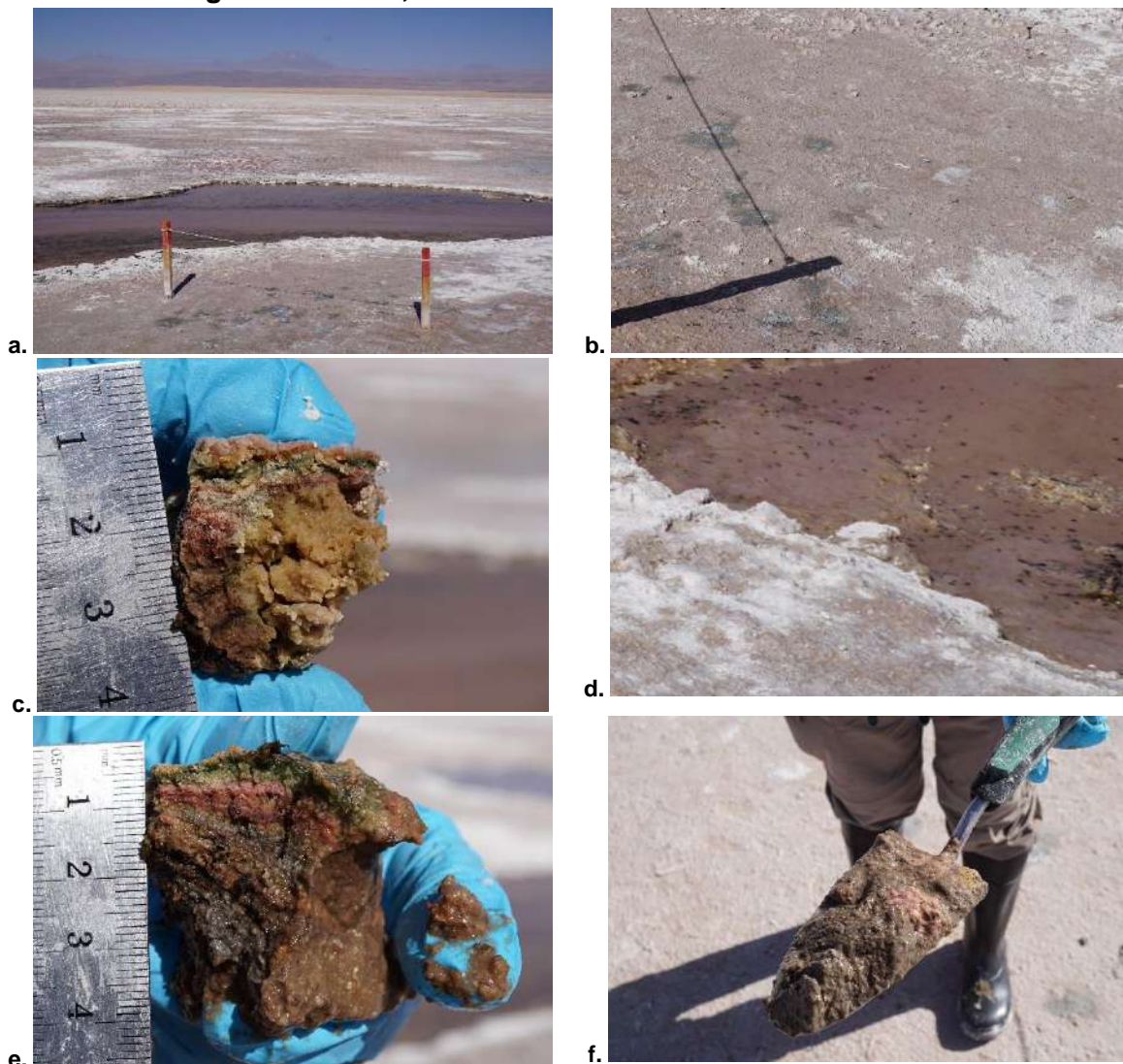
- *Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3*

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 presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular, con costra salina (~2,0 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración grisáceo, 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 (6 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 2021.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos planos presentaron, principalmente, dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda) correspondientes a Tipología 2, mientras que un tapete muestreado, presentó Tipología 1, con macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, mientras que, en la zona Intermedia, tonalidades observadas fueron púrpura y blanco o sólo rosado. En la zona Profunda predominaron la tonalidad marrón y

en menor medida, negro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 8 mm, con un número entre 3 y 6 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 Sumergidos Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra gris	Costra gris
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Blanco	Rosado	S/C
		Púrpura		
	Profunda	S/C	Negro	Marrón
			Marrón	
Negro				
Total de laminaciones		4	6	3
Espesor (mm)		5	8	5
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes sumergidos coriáceos, las tres muestras presentaron todas las macro-zona (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde. En la zona Intermedia, predominó la tonalidad rosada y en menor medida blanca. En la zona Profunda, sólo se observaron distintas tonalidades en las tres muestras, ya fuese o marrón, o negro o gris. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 8 y 13 mm, con un número entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 2,5 y 4 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		Costra rosada	Coriáceo	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Blanco	Rosado	Blanco
		Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Negro	Gris
Total de laminaciones		5	4	5
Espesor (mm)		11	8	13
Profundidad (cm)		2,5	3	4

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector La Punta-La Brava, en invierno 2021, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en Laguna La Punta (LP-23) y en la Laguna La Brava (LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde y naranja, 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 rosadas, y en menor medida púrpura y blanco, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-zona Profunda predominaron las capas marrón, y en menor medida capas de tonalidad gris, verde y rosado, 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 2021.

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

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) o subsuperficial y profunda (LP-24). En la macro-zona subsuperficial, predominaron capas verde, seguido de naranja, mientras que, en la macro-zona intermedia, predominaron las capas rosadas, por último, en la macro-zona profunda (si corresponde), se observaron capas marrón, verde, verde claro y rosado. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia (LB-1 y LB-2) o subsuperficial y profunda (LB-2 y 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. 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, y en menor medida, capas verde claro, que corresponderían a microorganismos fotosintéticos, autótrofos anoxigénicos anaerobios, conocidos como bacterias verdes sulfúreas.

Tabla N° 8-25. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2021.

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

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), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde, naranja y en menor medida, amarillo. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (**Tabla N° 8-26**).

Tabla N° 8-26. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2021.

Estación/Muestra		LP-24 P			LB-1	
		1	2	3	2	
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 2021

En la actual campaña Invierno 2021, en el sector vegas de Tilopozo, no se detectó la presencia de tapetes microbianos.

- *Vegas de Tilopozo: Estación de monitoreo TB-1*

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2308 msnm, con un ancho de sección aproximado de 7,5 m en promedio, de profundidad de 290 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento grava y arena sin flujo, con aguas transparentes, y rodeada de vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-15 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídos desde la poza (**Fotografía N° 8-15 b**).

Fotografía N° 8-15. a. Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. invierno 2021.

Fuente: Elaboración propia

- *Vegas de Tilopozo: Estación de monitoreo TB-2*

La estación TB-2 corresponde pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2307 msnm, con un ancho de sección aproximado de 16,3 x 22,0 m. En la presente campaña se observó la estación de muestreo sin agua superficial y cubierta en un 100% por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus*. Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídos desde la poza (**Fotografía N° 8-16**).

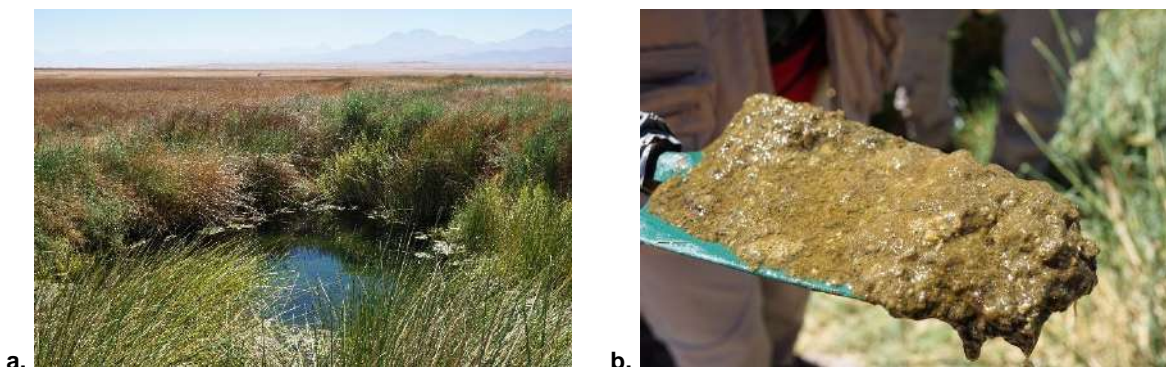
Fotografía N° 8-16. Estación de monitoreo TB-2. invierno 2021.

Fuente: Elaboración propia

- *Vegas de Tilopozo: Estación de monitoreo TB-3*

La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2316 msnm, con un ancho de sección aproximado de 9,2 m, de una profundidad de 271 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 8-17 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídos desde la poza (**Fotografía N° 8-17 b**).

Fotografía N° 8-17. Estación de monitoreo TB-3; B. Muestra de Sedimentos. invierno 2021.



Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.4 Registro de microbialitos y evaporitas, invierno 2021

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; Fotografía N° 8-18**).

Tabla N° 8-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Invierno 2021.

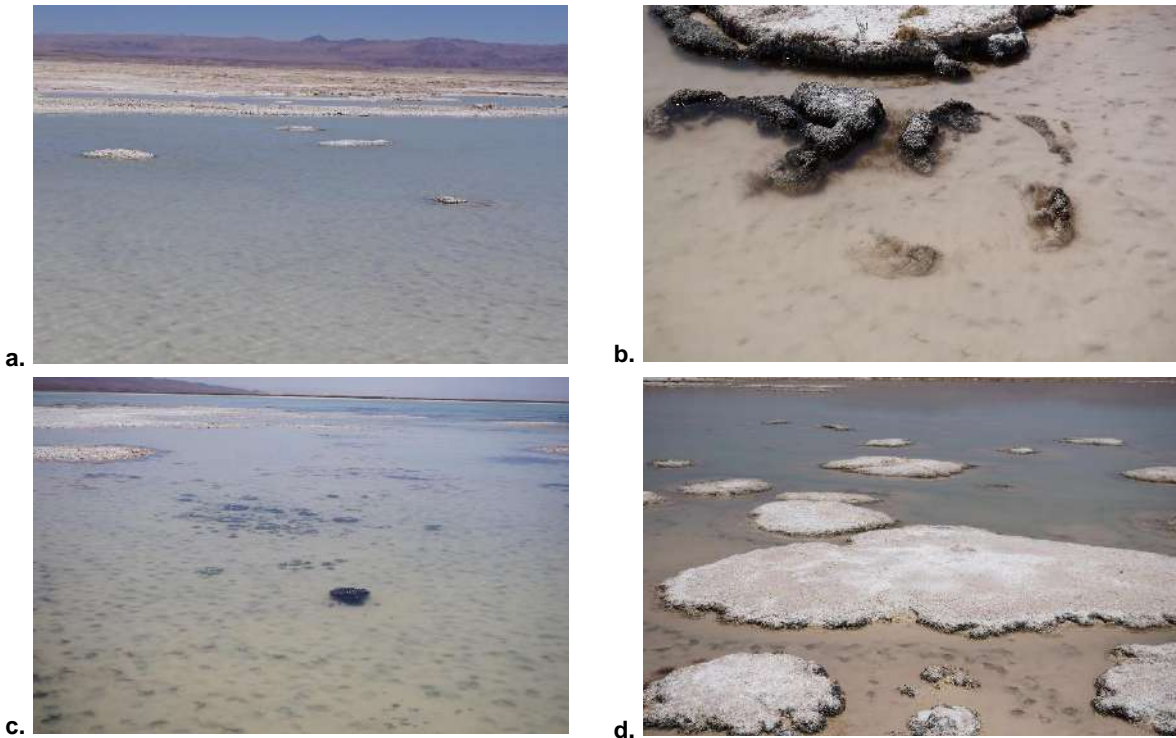
Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-5	-	-
S-6A	-	-
S-9	-	-
SA-25	-	-

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	-	-

+: Presencia; -: Ausencia

Fuente: Elaboración propia

Fotografía N° 8-18. Microbialitos (a. I-11, b. LP-23 y c. LB-1) y Evaporitas (d. LP-24). Invierno 2021.



Fuente: Elaboración propia

8.2.1.4 *Parámetros físicos y químicos*

En relación con 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 2021, 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, altas 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 54700 y 67460 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguido de Laguna Saladita, con valores que oscilaron entre 50460 y 54040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de Salada la que osciló entre 26260 y 41190 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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 31660 y 106700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Brava y entre 44660 y 47070 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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-10, 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-2 y LB-3) (**Figura N° 8-8 a**).

Por otra parte, las concentraciones de oxígeno disuelto detectado en las lagunas fueron mayores en Salada respecto de lo observado en Saladita e Interna. En tanto, entre La Punta y la Brava se observaron concentraciones diferentes, siendo mayores en La Brava. 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 (I-17) y en La Brava (LB-2), variable que disminuye la solubilidad del oxígeno en estas lagunas (**Figura N° 8-8 b**).

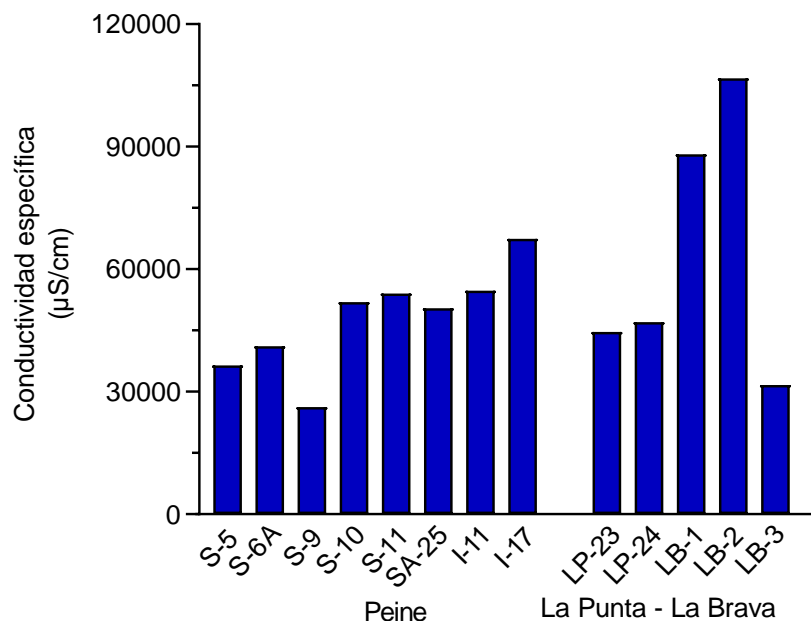
La turbiedad por su parte presenta valores en magnitud diferentes entre lagunas y estaciones de monitoreo en el sector Peine, presentando valores mayores en Saladita. En tanto, en el sector La Punta-La Brava se registraron valores menores respecto de Peine y entre lagunas en el sector, se observaron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

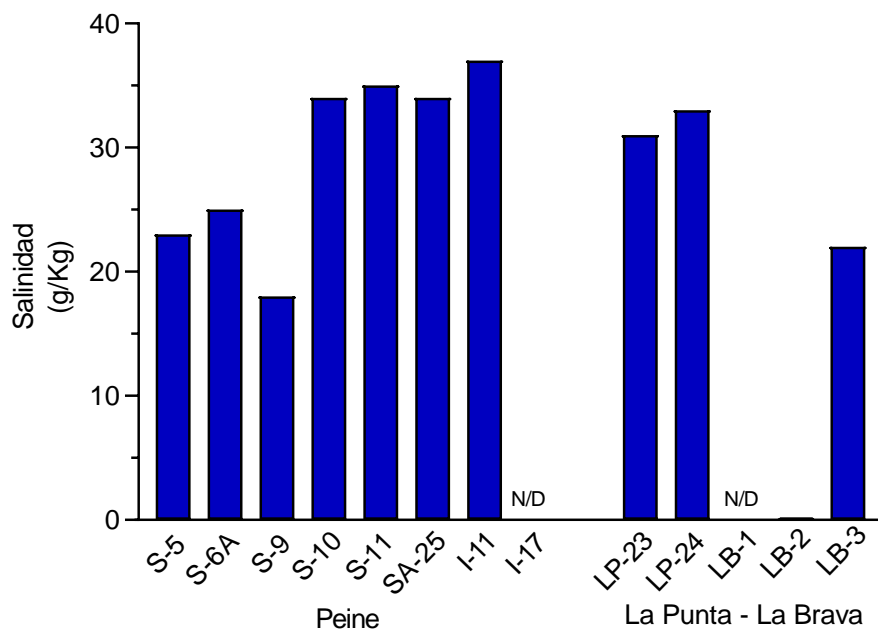
En relación con el pH, se observaron valores moderadamente alcalinos a muy alcalinos con pH que fluctuaron entre 8,01 y 8,45 en Peine, y entre 8,08 y 8,41 unidades en La Punta-La Brava, valores que se condicen con lo registrado para la alcalinidad (**Tabla N° 8-28**).

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 debido a la hora en que fueron obtenidos los datos, observándose en Peine, valores más altos en la laguna Saladita y menores en la laguna Interna. En tanto, en La Punta-La Brava se registraron mayores valores en la laguna La Brava, respecto de La Punta (**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 2021.



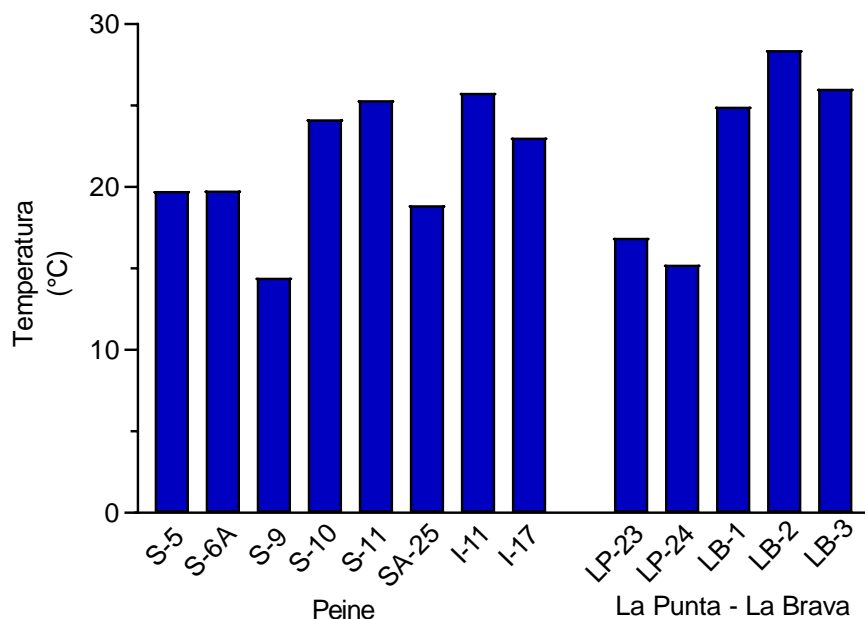
a.



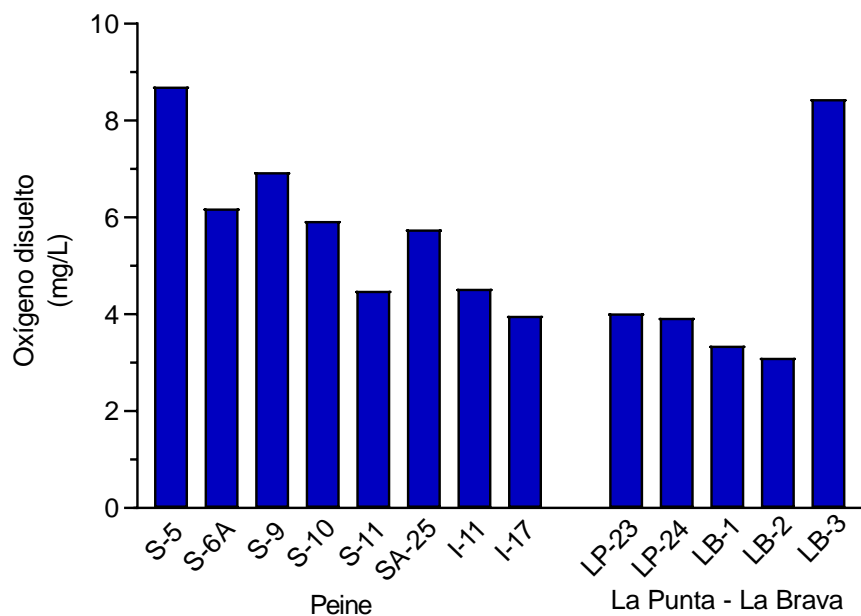
b.

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 2021.



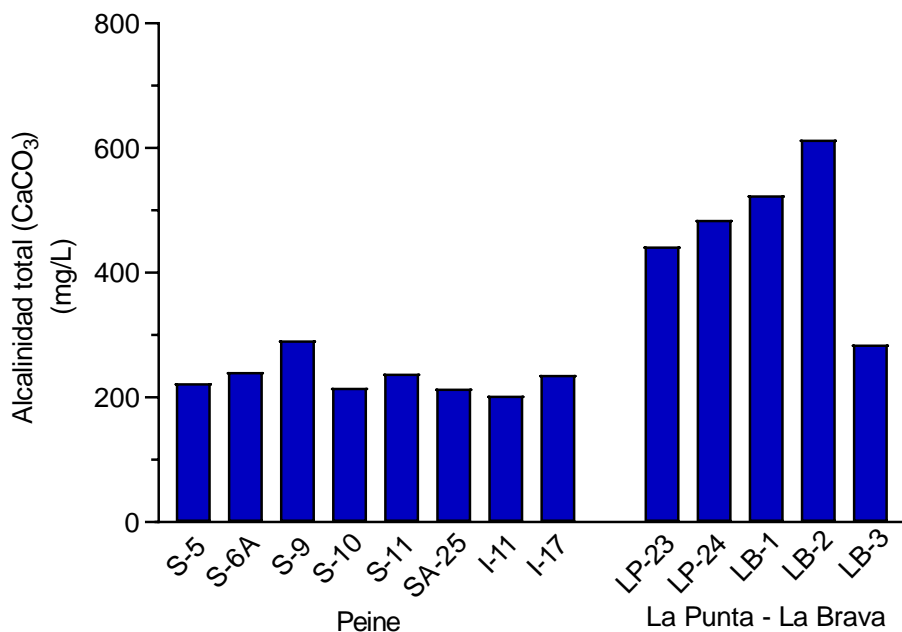
a.



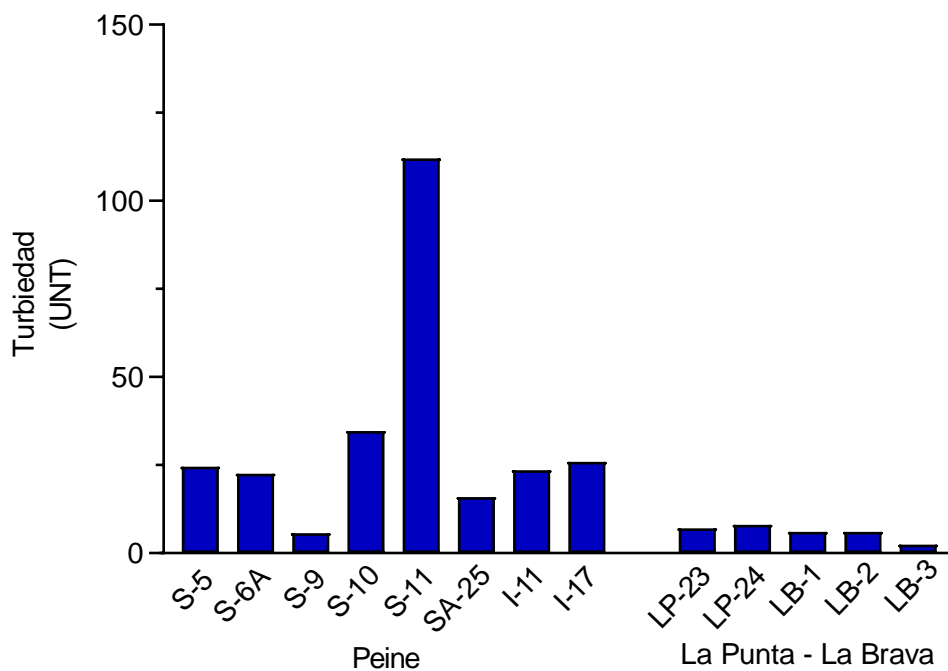
b.

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 2021.



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 2021, 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 ligeramente mayores, respecto de Peine. En tanto, La Punta presentó los mayores registros de COT.

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó en Peine, rangos de variación entre 3,2 y 13,8 g/Kg en las estaciones I-17 y S-6A respectivamente. Cabe destacar que, la laguna Interna presentó valores bajos para esta variable (7,6 y 3,2 g/Kg en I-11 e I-17 respectivamente).

En las lagunas La Punta y La Brava, se registraron valores entre 4,9 y 12,3 g/Kg en las estaciones LP-23 y LB-3 respectivamente. La laguna La Punta presentó valores bajos de nitrógeno total Kjeldahl respecto de la laguna La Brava.

Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector (<1000 mg/Kg)³⁴. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores bajo el límite de detección (<0,1).

³⁴ El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/Kg, es decir 1000 mg/Kg, siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/Kg. Se solicitó al laboratorio ANAM rectificación del límite de detección para este analito mencionando que “De acuerdo a 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 2021.

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	-	14,45	19,75	19,78	18,88	24,17	25,33	25,78	23,03	16,89	15,23	24,94	28,42	26,03
pH	U	-	8,01	8,45	8,36	8,29	8,27	8,19	8,11	8,13	8,28	8,41	8,12	8,08	8,37
Conductividad específica	µS/cm	-	26260	36400	41190	50460	51990	54040	54700	67460	44660	47070	88150	106700	31660
Salinidad	g/kg	-	18	23	25	34	34	35	37	N.D.	31	33	N.D.	<1	22
Oxígeno disuelto	mg/L	-	6,94	8,7	6,19	5,75	5,93	4,49	4,53	3,97	4,02	3,93	3,35	3,1	8,45
Turbiedad	UNT	0,07	5,7	24,5	22,5	15,9	34,7	112	23,6	25,9	7,1	8	6,1	6	2,4
Radiación solar**	MJ/m2	-	2,559	2,824	2,559	3,108	3,264	3,190	2,753	2,202	2,521	2,926	3,148	2,892	2,431
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	291,7	222,7	241,3	214,1	215,9	238,4	203,1	236,6	442,1	485	524,6	613,4	284,7

*LD: Límite de Detección; **Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Minera Albemarle; N.D.: No determinado (se solicitó al laboratorio ANAM corrección, pero no hubo respuesta a la fecha de entrega del presente informe).

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8-29. Calidad de sedimentos para tapetes microbianos, sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2021.

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	130	60	130	120	70	130	90	10	120	120	90	120	130
Fósforo Total (P)*	mg/Kg	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	9,3	14	13,8	8,3	7,8	9,5	7,6	3,2	4,9	6,5	9,5	8,8	12,3
Potencial Redox	mV	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

*El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/Kg, es decir 1000 mg/Kg, siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/Kg. Se solicitó al laboratorio ANAM rectificación del límite de detección para este analito mencionando que "De acuerdo a las nuevas indicaciones de SMA se ingresan los análisis con sus respectivos LD". Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Resultados Campaña Verano 2022

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

8.2.2.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña verano 2022, solo se analizaron *in situ* muestras de 13 de las 16 estaciones de monitoreo, originalmente distribuidas en el sector Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, debido a que no fue posible acceder a algunas estaciones de Laguna Salada (S-6A y S-9) y a una estación (SA-25) de la Laguna Saladita del sector Peine, por presentar restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine, para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua (**ver Anexo ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**).

De este modo, se detectó la presencia de tapetes microbianos en 8 de las 13 estaciones evaluadas (61,5%), no detectándose la presencia de tapetes en dos estaciones del 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 8 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, 3 de ellas (37,5%), presentaron tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, las que correspondieron a las estaciones I-17, LP-23 y LP-24. Una estación exhibió sólo tapetes en condiciones sumergidas, correspondiente a la estación S-11, y las 4 estaciones restantes (50%), presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (0 – 7 cm), las que correspondieron a las estaciones I-11, LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 8-30**).

**Tabla N° 8-30. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos.
Campaña verano 2022.**

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	3	37,5
Estaciones con Tapetes sumergidos	1	12,5
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	4	50,0
Total Estaciones*	8	100

(*) De un total de 16 estaciones, se monitorearon solo 13 (S-6A, S-9 y S-25, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine.)

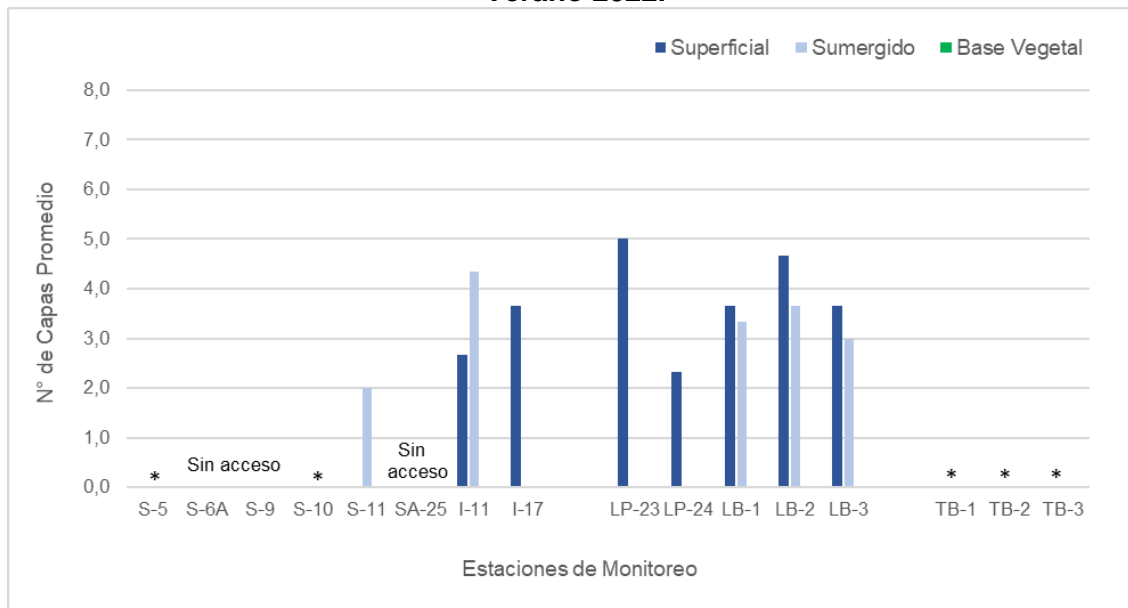
Fuente: Elaboración propia

A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en 4 estaciones de monitoreo (I-11, LP-23, LB-1, LB-3) y de evaporitas en una estación de monitoreo (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 5,0 capas, mientras que, los menores valores registrados fueron en la estación S-11 (Laguna Saladita) y en LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 2,3 capas. Cabe destacar, que en verano 2022, en la estación LP-24, no se registraron tapetes sumergidos, 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.

Respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en LP-23 (Laguna La Punta) con 5,0 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) con 2,3 en promedio (**Figura N° 8-10**). Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en I-11 (Laguna Saladita) con 4,3 en promedio y el menor fue registrado en S-11 (Laguna Saladita) con 2,0 en promedio (**Figura N° 8-10**).

Figura N° 8-10. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos. Verano 2022.



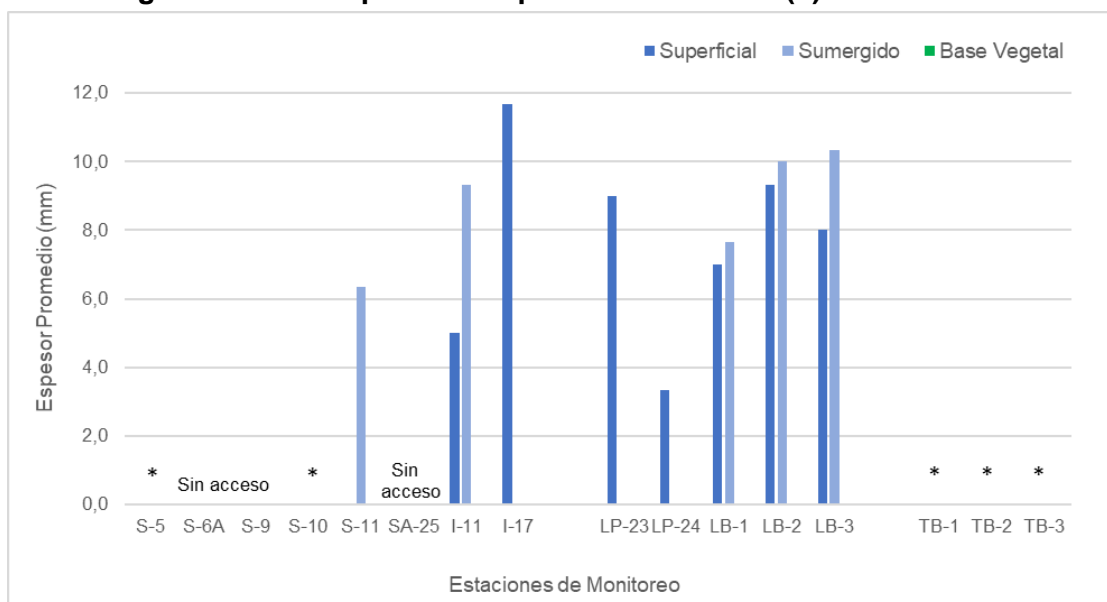
(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de monitoreo.

De un total de 16 estaciones, se monitorearon solo 13 (S-6A, S-9 y S-25, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine.)

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en I-17 (Laguna Interna), con 11,7 mm, mientras el menor valor, fue registrado en LP-24 (Laguna La Punta), con un promedio de 3,3 mm (**Figura N° 8-11**). Cabe destacar, que en verano 2022, en la estación LP-24, no se registraron tapetes sumergidos, a diferencia de todas las anteriores campañas de verano, por lo que sólo se determinó el espesor promedio en relación con los tapetes superficiales planos que sí fueron detectados. Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en I-17 (Laguna Interna) con 11,7 mm, mientras que fue menor en LP-24 (Laguna La Punta) con 3,3 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LB-3 (Laguna La Brava) con 10,3 mm y el menor fue en S-11 (Laguna Saladita) con 6,3 mm (**Figura N° 8-11**).

Figura N° 8-11. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}). Verano 2022.



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

De un total de 16 estaciones, se monitorearon solo 13 (S-6A, S-9 y S-25, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del 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 Peine y 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 el Sector Peine, como en el Sector La Punta y La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color púrpura y/o rosado, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 8-31** y **Tabla N° 8-36**).
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y fue detectado en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, siendo la segunda tipología más frecuente entre los sectores. Estos tapetes presentaron principalmente macro-zonas

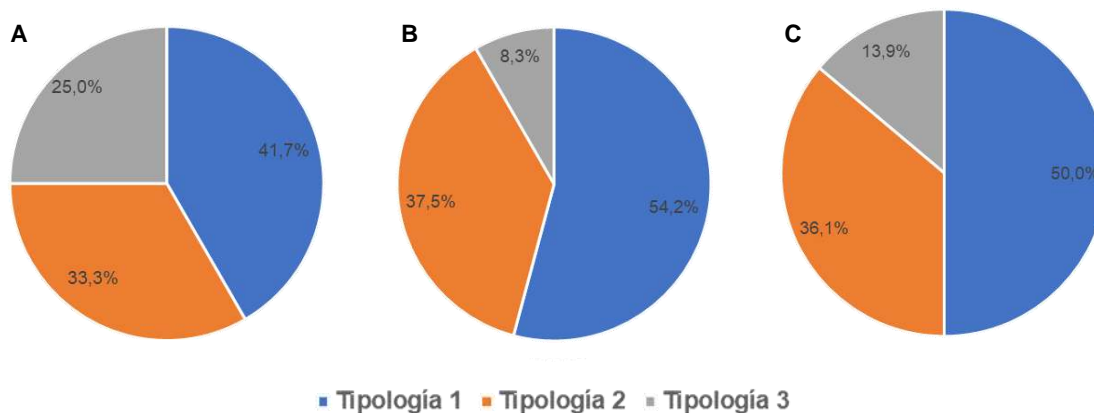
Subsuperficiales color verde y/o naranja, seguidas de capas color rosado y/o púrpura. A su vez, particularmente se observaron tapetes con esta tipología, que exhibieron capas color púrpura, seguida de la macro-zona Profunda de color marrón (**Tabla N° 8-31 y Tabla N° 8-37**).

- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranja, amarillo y rosado, en el Sector Peine y La Punta-La Brava (**Tabla N° 8-31 y Tabla N° 8-38**).

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 41,7 y 54,2%, respectivamente (**Figura N° 8-12 A y B**). Seguido de la Tipología 2 con 33,3% y Tipología 3 con 25,0% en el Sector Peine, mientras que, se detectó Tipología 2 con 37,5% y Tipología 3 con 8,3% en el Sector La Punta-La Brava. Cabe señalar que, para el Sector Peine, no se consideraron las estaciones de monitoreos que no pudieron ser muestreadas debido a restricciones de la comunidad de Peine.

En el mismo contexto, al considerar el área total de estudio, se observó que la Tipología 1 fue predominante entre los tapetes con un 50,0%, seguido de Tipología 2 con 36,1% y Tipología 3 con 13,9% (**Figura N° 8-12 C**).

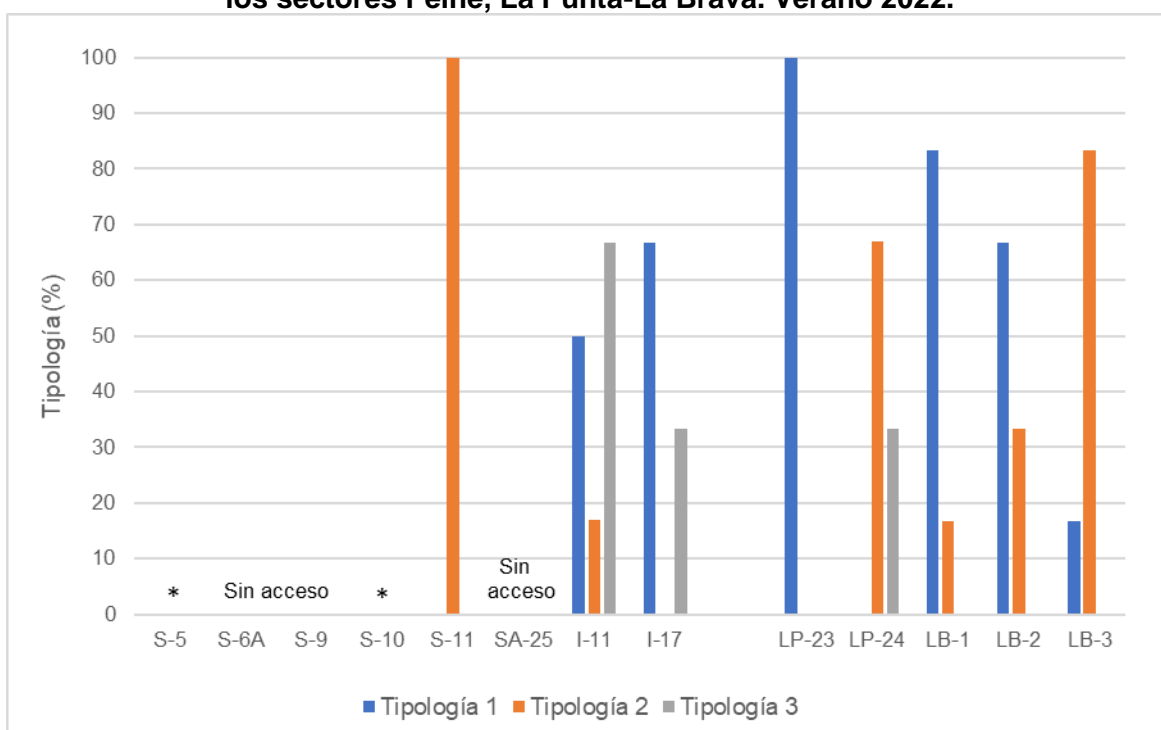
Figura N° 8-12. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Verano 2022.



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° 8-13**). Se destaca la presencia de tapetes de Tipología 1 en el Sector Peine, en las estaciones S-11 e I-11, Tipología 2 en I-11 e I-17 e inclusive en estas últimas estaciones, también se registraron tapetes de Tipología 3. Lo mismo fue observado en el Sector La Punta-La Brava, en el cual se distingue la presencia de tapetes de Tipología 1, principalmente en las estaciones LP-23, LB-1, LB-2 y en menor porcentaje en LB-3. Cabe destacar que, en la actual campaña se observó una mayor representatividad porcentual de la Tipología 2, en varias estaciones de muestreo (*i.e.* S-11 y LB-3).

Figura N° 8-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2022.



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

De un total de 16 estaciones, se monitorearon solo 13 (S-6A, S-9 y S-25, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine.)

Fuente: Elaboración propia

En relación a 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).

- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginoso, 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 2022, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 1. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginoso. El espesor varió entre 1 y 13 mm, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 2 y 6 (**Tabla N° 8-31**).

**Tabla N° 8-31. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.
 Campaña Verano 2022.**

Sector	Estación Monitoreo	Tipología (%)			Morfología principal	Espesor (mm)		Número de capas	
		1	2	3		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Peine	S-5	Sin tapetes							
	S-6A	Sin acceso							
	S-9								
	SA-25								
	S-10	Sin tapetes							
	S-11	0	100	0	Sumergida	8	5	2	2
	I-11	50	17	33	Plana y coriácea	11	4	5	2
I-17	67	0	33	Plana	13	10	6	2	
La Punta-La Brava	LP-23	100	0	0	Plana	13	6	6	4
	LP-24	0	67	33	Plana	5	1	3	2
	LB-1	83	17	0	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginoso.	8	6	4	2
	LB-2	67	33	0	Plana y coriácea, Consistencia blanda	12	7	5	3
	LB-3	17	83	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	13	5	4	3
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes							
	TB-2								
	TB-3								

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3 Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo

A continuación, se presentan los resultados de las estructuras pigmentarias de los tapetes microbianos y la detección de microbialitos y/o evaporitas para los tres sectores evaluados (Peine, La Punta - La Brava y vegas de Tilopozo).

8.2.2.3.1 Sector Peine

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en las estaciones de monitoreo la laguna Saladita en las estaciones S-11 y en la laguna Interna en I-11 e I-17. En tanto, en la estación I-11 se detectó la presencia microbialitos. Cabe destacar que las estaciones S-6A y S-10 (Laguna Salada) y S-25 (Laguna Saladita), no fueron muestreadas debido a restricciones de la comunidad de Peine.

En relación con el número de capas por estación de monitoreo, la Laguna Interna (I-17 e I-11) presentó tapetes con mayor estratificación en promedio (3,7 y 3,5 capas, respectivamente). Por el contrario, la Laguna Saladita (S-11) presentó tapetes con el menor número en promedio (2,0 capas) (**Figura N° 8-10**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que la Laguna Interna (I-17) presentó los valores máximos (11,7 mm). Se destaca que, en Laguna Saladita, hubo un promedio de 6,3 mm en S-11 (única estación de monitoreo de la laguna que fue muestreada). Finalmente, en la Laguna Interna variaron entre un máximo de 11,7 mm en la estación I-17 y un mínimo promedio de 7,2 mm en la estación I-11 (**Figura N° 8-11**).

En general, en el Sector Peine, se observó entre las estaciones y lagunas, continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. Excepto por la estación 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 (41,7%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad verde (~45,5%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (~66,7%) en la macro-zona intermedia y marrón (~83,3%) en la macro-zona profunda, las que más predominaron en sus respectivas macro-zonas (**Tabla N° 8-36**). Los tapetes mejor estructurados en cuanto a las capas macroscópicas definidas visualmente se detectaron principalmente en la Laguna Saladita, 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.

- *Laguna Salada: Estación de monitoreo S-5*

La estación de monitoreo se encuentra ubicada a una altura geográfica de 2305 msnm, se caracterizó por presentar un borde lagunar quebradizo, irregular, con presencia de vegetación acuática y una profundidad promedio de 10,3 cm (**Fotografía N° 8-19 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° 8-19 b**). Además, no se registraron ni microbialitos ni evaporitas.

Fotografía N° 8-19. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

- *Laguna Salada: Estación de monitoreo S-6A*

En actual campaña, no fue posible realizar el monitoreo en esta estación, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

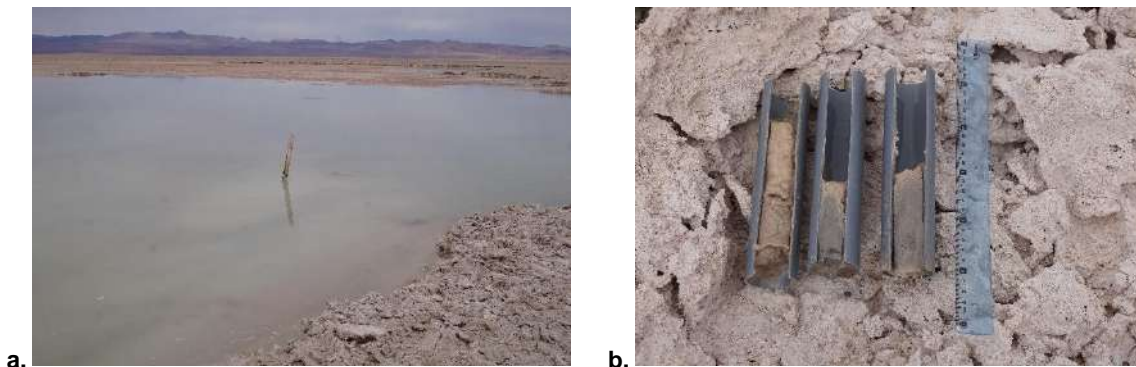
- *Laguna Salada: Estación de monitoreo S-9*

En actual campaña, no fue posible realizar el monitoreo en esta estación, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

- *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 2306 msnm, la estación de monitoreo presenta una costra salina que bordea la laguna, se observa además vegetación acuática en el centro de la laguna sin vegetación ribereña, presencia de aves, y con un flujo nulo y de aguas muy turbias (**Fotografía N° 8-20 a**). Luego de inspeccionar el área, se tomaron muestras de sedimento (8 cm promedio de profundidad), en las cuales no se observó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-20 b**). En la presente campaña, no se registraron tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

Fotografía N° 8-20. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

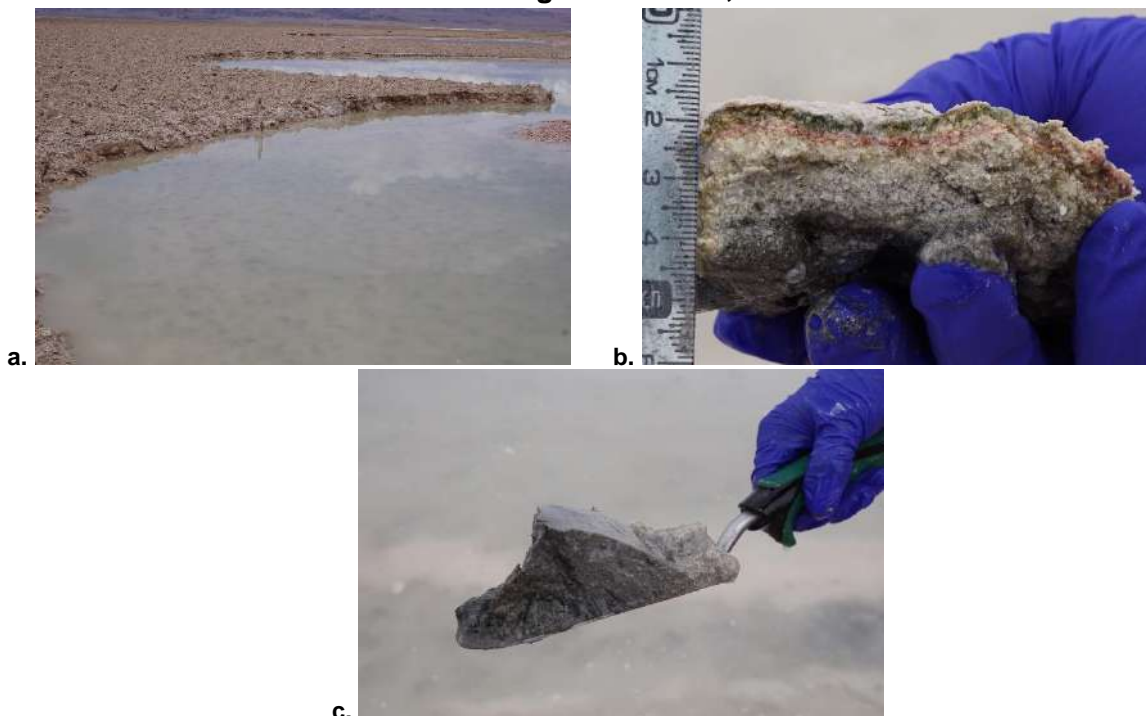
- *Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-11*

La estación S-11 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2308 msnm, la estación de monitoreo presenta una costra salina que bordea la laguna, se observa además vegetación acuática en el centro de la laguna sin vegetación ribereña, presencia de aves, y con un flujo nulo y de aguas muy turbias (**Fotografía N° 8-21 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 anaranjado-rosado, con presencia de costra salina (~1 mm). Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo (**Fotografía N° 8-21 b**). Luego de inspeccionar el área, se

tomaron muestras de sedimento (9 cm promedio de profundidad), en las cuales no se observó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-21 c**). 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° 8-21. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano y c. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes observados presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial e Intermedia), correspondiente a Tipología 2. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo. Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue únicamente verde, mientras que, en la zona Intermedia, también se observó solo una tonalidad, rosado (**Tabla N° 8-32**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 8 mm, con un número de capas de 2.

Tabla N° 8-32. 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 rosada	Costra naranja	Costra naranja
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		2	2	2
Espesor (mm)		5	6	8
Profundidad (cm)		1	2	6

Fuente: Elaboración propia

- *Laguna Saladita: Estación de monitoreo SA-25*

En actual campaña, no fue posible realizar el monitoreo en esta estación, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

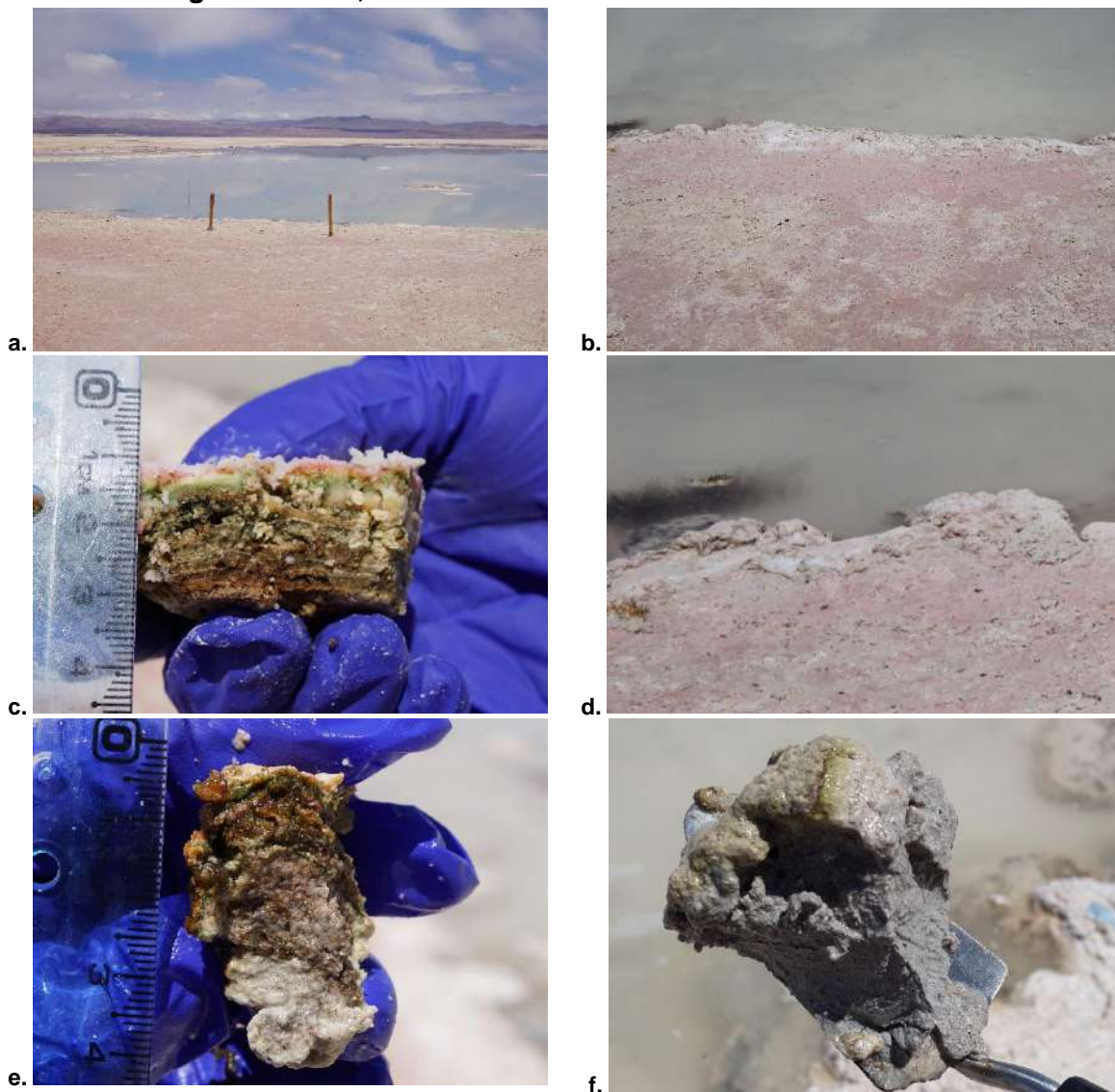
- *Laguna Interna: Estación de monitoreo I-11*

La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2315 msnm, no presenta flujo y de aguas ligeramente turbias. 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 (~1 mm) y coloración rosácea (**Fotografía N° 8-22 a, b y c; Tabla N° 8-33**), y (ii) una superficie coriácea sin costra salina, ligeramente humedecida, ubicada en el borde de la laguna y con formaciones levemente esféricas, con tonalidades verdosas (**Fotografía N° 8-22 d y e; Tabla N° 8-34**).

Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esférica, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (14,5 cm de profundidad), se detectó la presencia de un biofilm púrpura y verde, sin embargo, no se detectó la presencia de tapetes

microbianos, (**Fotografía N° 8-22 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Tabla N° 8-50**).

Fotografía N° 8-22. a. Estación de monitoreo I-11; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna Interna, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, en dos de las muestras, sólo la macro-zona Subsuperficial (Tipología 3), mientras que una muestra exhibió las macro-zonas Subsuperficial y Profunda (Tipología 2). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y en menor medida amarillo, por otro lado, en la zona Profunda, predominó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 7 mm, con un número entre 2 y 4 capas (**Tabla N° 8-33**).

Tabla N° 8-33. 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 rosada	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Amarillo	Amarillo	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedia	Blanco	S/C	S/C
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
Total de laminaciones		4	2	2
Espesor (mm)		7	4	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales coriáceos presentaron, en dos de las muestras, las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiendo a Tipología 1; mientras que una muestra presentó la Tipología 2 al exhibir dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja. En la zona Intermedia predominó únicamente la tonalidad rosado. En tanto, en la zona Profunda se observaron las tonalidades marrón y en menor medida negro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 11 mm, con un número de capas entre 4 y 5 (**Tabla N° 8-34**).

Tabla N° 8-34. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).

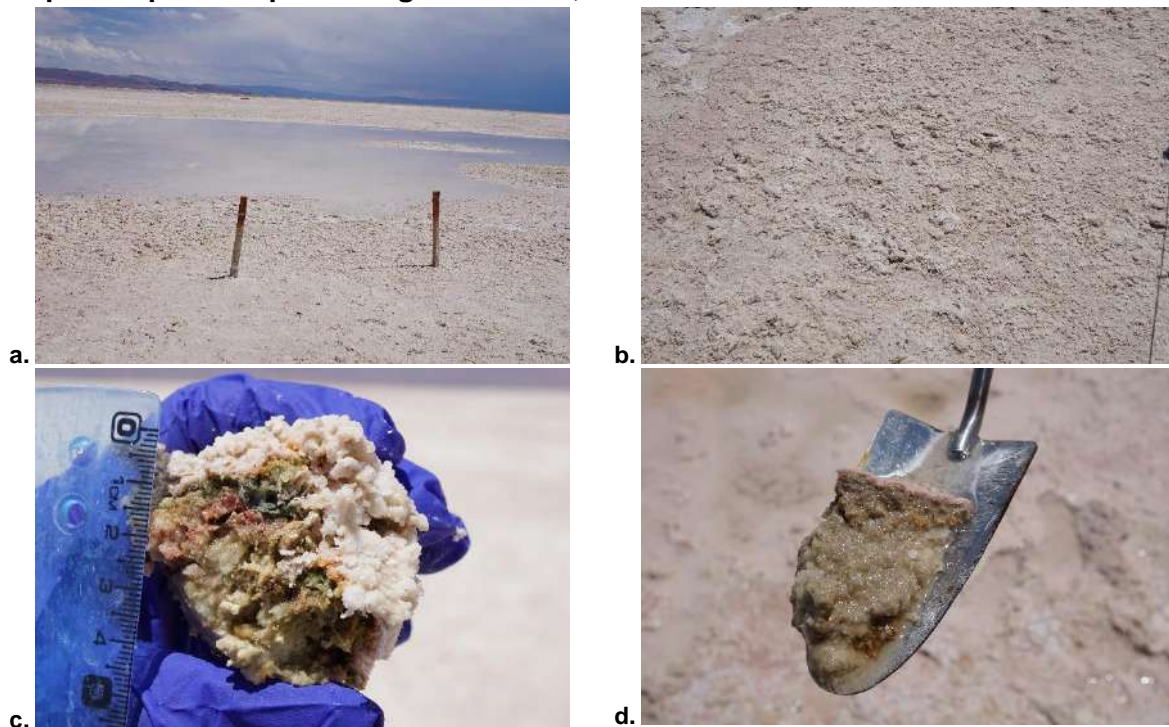
Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde	Verde	Naranja
	Intermedia	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	S/C
Negro				
Total de laminaciones		5	4	4
Espesor (mm)		10	11	7
Profundidad (cm)		7	5	6,5

Fuente: Elaboración propia

- *Laguna Interna: Estación de monitoreo I-17*

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2312 msnm, sin flujo y con aguas transparentes, no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña. Esta se caracterizó por presentar una superficie rugosa e irregular, con áreas de coloración predominantemente blanco y rosado, con costra salina, y sin huellas humanas (**Fotografía N° 8-23 a, b y c**). Además, se tomaron muestras de sedimento (5 cm promedio de profundidad), en las cuales no se observó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-23 d**). Por último, mencionar, que la superficie de la estación de monitoreo en campañas anteriores se ha encontrado sumergida.

Fotografía N° 8-23. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana inundada; c. Tapete superficial plano. Laguna Interna, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

De los tapetes observados, dos de ellos presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), de Tipología 1; la otra muestra, presentó sólo la macro-zona Subsuperficial (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 las tonalidades naranja y verde, mientras que, en la zona Intermedia y Profunda, predominaron las tonalidades rosado y marrón, respectivamente. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 13 mm, con un número entre 2 y 6 capas (**Tabla N° 8-35**).

Tabla N° 8-35. 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
		Verde	Verde	Amarillo Verde
	Intermedia	S/C	Rosado	Blanco Rosado
		Profunda	S/C	Marrón
Total de laminaciones		2	3	6
Espesor (mm)		10	12	13
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

• *Comparación de la estructura y tipología de tapetes (Sector Peine)*

En el Sector Peine, en verano 2022, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna Interna (I-11 e I-17). Presentando, de manera frecuente, en la macro-zona subsuperficial una capa verde y/o naranja, que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que podrían corresponder a cianobacterias filamentosas y microalgas (*i.e.* clorofíceas). En tanto en la macro-zona intermedia las tonalidades fueron rosado y en menor medida blanco, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos los cuales podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitotrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominaron las capas de coloración marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos (**Tabla N° 8-36**).

Tabla N° 8-36. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Verano 2022.

Estación/Muestra			I-11 P	I-11 C	I-17 P		
			1	1	2	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde					
		Naranja					
		Amarillo					
	Intermedia	Rosado					
		Blanco					
	Profunda	Marrón					
		Negro					

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se observaron tapetes con Tipología 2 en las dos lagunas (Saladita e Interna) muestreadas del Sector Peine (**Tabla N° 8-37**; **Tabla N° 8-13**).

En Laguna Saladita (S-11), los tapetes presentaron frecuentemente la macro-zona subsuperficial de capas verde y en la macro-zona intermedia, capas de pigmentación rosada. Cabe destacar que no fue detectada la macro-zona profunda en la estación S-11.

Respecto a Laguna Interna, la estación I-11, se caracterizó por exhibir una macro-zona subsuperficial con capas de tonalidad verde y naranja, y en la macro-zona intermedia presentó capas de tonalidad rosado. Por otro lado, la estación I-17 no presentó la Tipología 2.

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, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que podrían corresponder bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos.

Tabla N° 8-37. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Verano 2022.

Estación/Muestra			S-11 C			I-11 C
			1	2	3	3
Macrozo na	Subsuperficial	Verde				
		Naranja				
	Intermedia	Rosado				

C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

Además, se observó la presencia de tapetes de Tipología 3, en ambas estaciones de la Laguna Interna (I-11 e I-17). Al respecto, solo se observó macro-zona Subsuperficial con tonalidades mayoritariamente verde, seguido de naranja y en menor medida, amarillo (Tabla N° 8-38).

Cabe mencionar, que estas capas verdes podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas, entre otras) y microorganismos fotosintéticos autótrofos anoxigénicos (capas de tonalidad amarilla).

Tabla N° 8-38. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Verano 2022.

Estación/Muestra			I-11 P		I-17 P
			2	3	1
Macrozo na	Subsuperficial	Verde			
		Naranja			
		Amarillo			

P: Tapete plano
 Fuente: Elaboración propia

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, LB-1 y LB-3 se detectó la presencia microbialitos, mientras que en LP-24 se detectó la presencia de evaporitas.

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 5,0 capas para LP-23, por otro lado, la menor estratificación se observó en LP-24 (Laguna La Punta), con 2,3 capas, sólo considerando los tapetes superficiales planos, dado que no se hallaron tapetes sumergidos, a diferencia de todas las anteriores campañas de verano. La mayor cantidad de estratificaciones en la Laguna La Brava, se observó en LB-2, con 4,2 capas promedio y la menos cantidad promedio fue de 3,3 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 Brava (LB-2), presentó el valor máximo de espesor, con 9,7 mm, seguido de 9,2 mm (LB-3). Por otro lado, el menor espesor observado se registró en la Laguna La Punta (LP-24) con 3,3 mm, sólo considerando los tapetes superficiales planos, dado que no se hallaron tapetes sumergidos, a diferencia de todas las anteriores campañas de verano (**Figura N° 8-11; 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 (54,2 %) en el sector, siendo el verde la tonalidad predominante (~56,6%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (~58,8%) en la macro-zona intermedia y marrón (~66,7%) en la macro-zona profunda, las tonalidades predominantes en sus respectivas macro-zonas. 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).

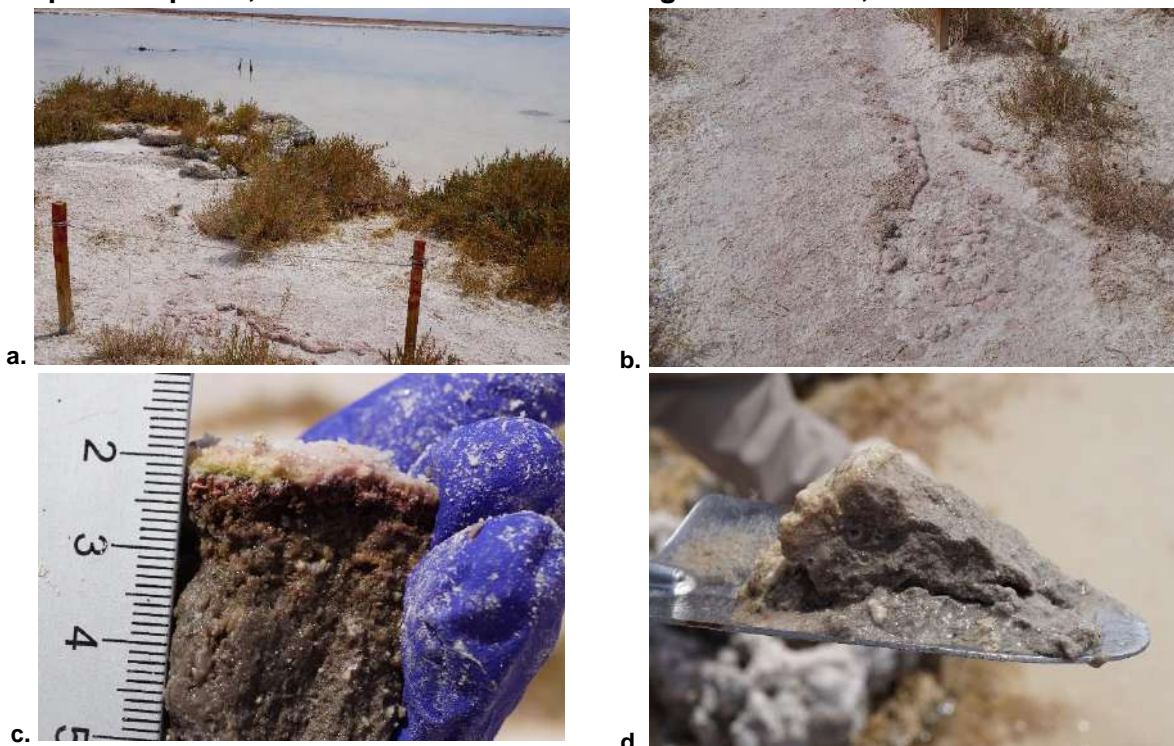
A continuación, se presentan las características de la estructura de pigmentación de los tapetes microbianos presentes en cada estación de monitoreo del Sector La Punta-La Brava.

- *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° 8-24 a**).

Además, presenta flujos de agua superficiales y subsuperficiales. Las áreas de coloración fueron predominantemente rosadas, con presencia de costra salina (~2 mm). Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo (**Fotografía N° 8-24 b y c**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-24 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos.

Fotografía N° 8-24. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes muestreados presentaron macro-zonas de pigmentación Subsuperficial, Intermedia y Profunda, correspondiendo a Tipología 1. Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad predominantemente de coloración verde seguido de amarillo. Por otro lado, la zona Intermedia presentó una coloración predominantemente amarilla, seguido de púrpura. En tanto, en la zona Profunda predominó la capa marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 6 y 13 mm, con un número de capas entre 4 y 6 (**Tabla N° 8-39**).

Tabla N° 8-39. 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	Amarillo	Amarillo	Verde
		Verde	Verde	
	Intermedio	Blanco	Blanco	Blanco
			Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
		Negro		
Marrón				
Total de laminaciones		6	5	4
Espesor (mm)		13	8	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

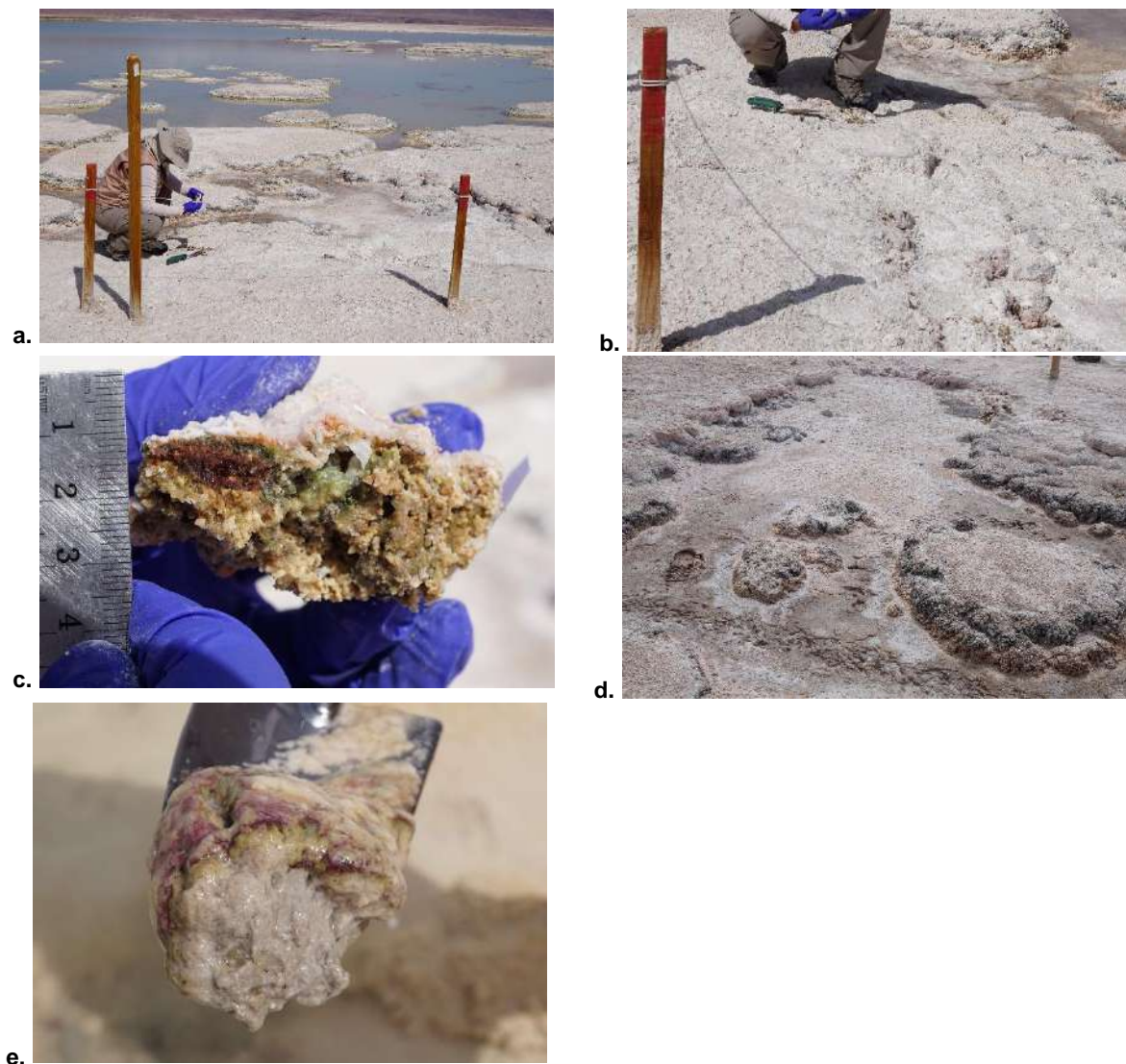
- *Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-24.*

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° 8-25 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 variando a rosado claro (**Fotografía N° 8-25 b y c; Tabla N° 8-40**), 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° 8-25 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 (8,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, aunque sí la presencia de biofilms de coloración púrpura rosado (**Fotografía N° 8-25 e**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de evaporitas.

Fotografía N° 8-25. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2022.



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, mientras que en la zona Profunda (detectada en una muestra) predominó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 1 y 5 mm, con un número entre 2 y 3 capas (**Tabla N° 8-40**).

Cabe señalar que, en la estación LP-24 y a diferencia de campañas anteriores, no se detectaron tapetes sumergidos ni coriáceos.

Tabla N° 8-40. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	S/C	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	Marrón
Total de laminaciones		2	2	3
Espesor (mm)		5	4	1
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

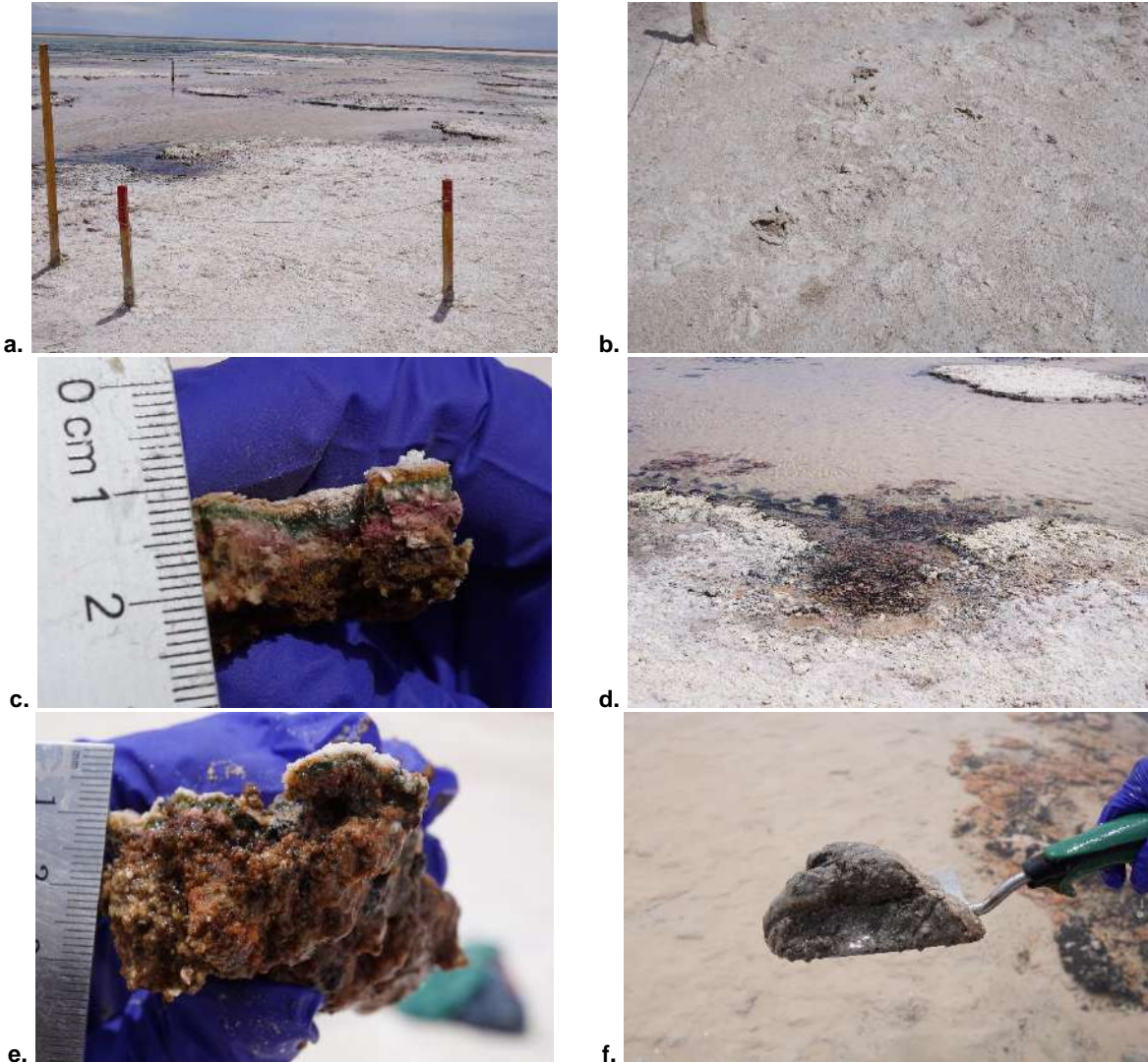
- *Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1*

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° 8-26 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 blanquecino, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-26 b y c; Tabla N° 8-41**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosas (~6 mm) de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-26 d y e; Tabla N° 8-42**).

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 (14 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-26 f**). Por otro lado, el examen visual del área indicó presencia de microbialitos.

Fotografía N° 8-26. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna La Brava, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, todas las muestras presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y en menor medida 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, negro. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 6 y 8 mm, con un número de entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 8-41**).

Tabla N° 8-41. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranja Verde	Naranja Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Negro
Total de laminaciones		3	4	4
Espesor (mm)		6	8	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginososa, dos presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), correspondientes a Subsuperficial, Intermedia y Profunda y una con dos macro-zonas (Tipología 2), Subsuperficial y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja, seguido de verde, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón y en menor medida, negro. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 7 y 8 mm, con un número de entre 2 y 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 (tapete embebido en agua) y 1 cm (**Tabla N° 8-42**).

Tabla N° 8-42. 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	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Naranja
	Intermedio	Rosado	Rosado	S/C
	Profunda	Marrón	Negro	Negro
Total de laminaciones		4	4	2
Espesor (mm)		7	8	8
Profundidad (cm)		1	0	0

Fuente: Elaboración propia

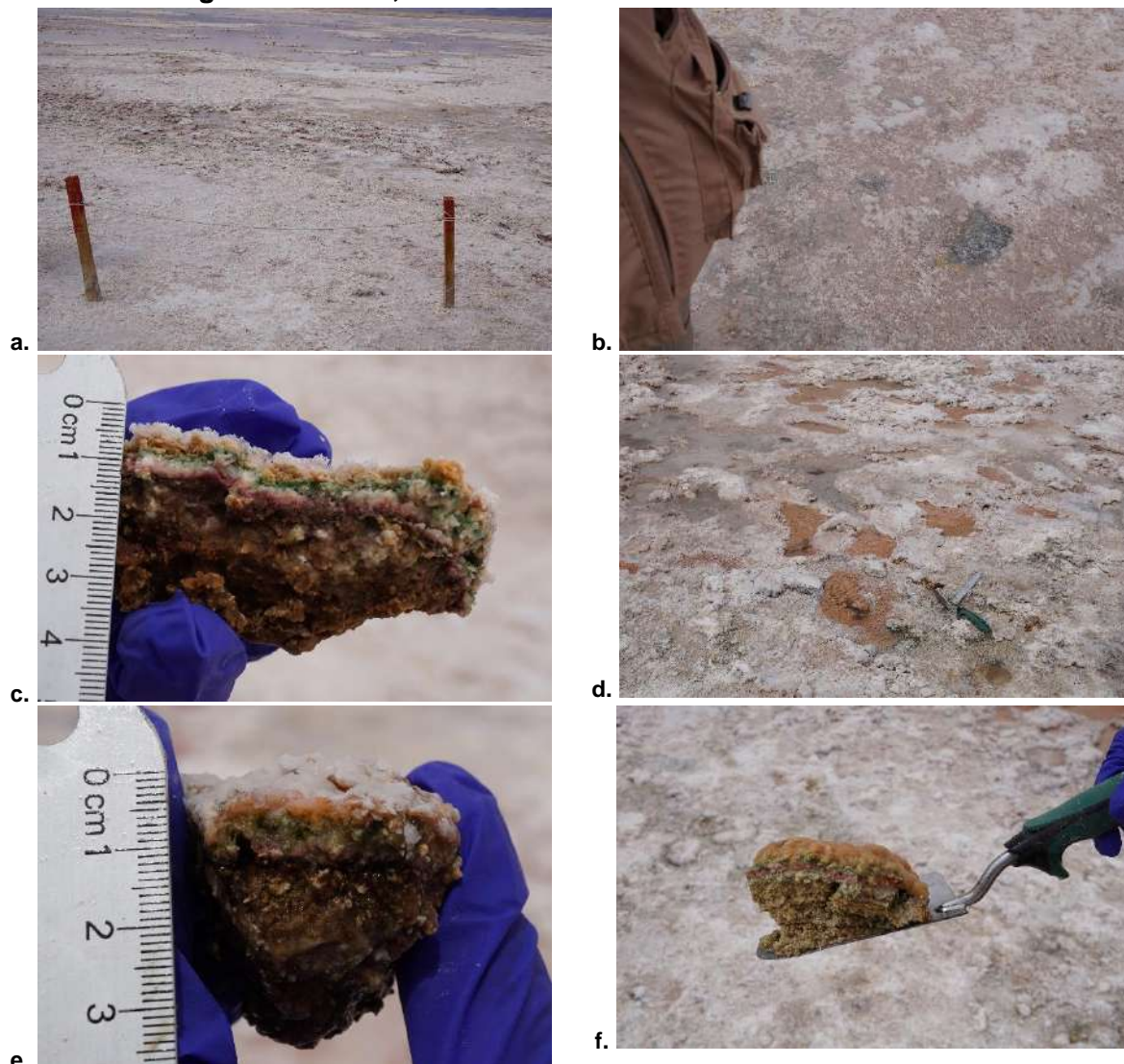
- *Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2*

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° 8-27 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° 8-27 b y c; Tabla N° 8-43**), 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° 8-27 d y e; Tabla N° 8-44**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

Respecto del sedimento bajo la columna de agua (4 cm de profundidad), se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-26 f**). Por otro lado, el examen visual del área no indicó presencia de microbialitos.

Fotografía N° 8-27. 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 2022.



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, por igual, naranja y verde. La zona Intermedia mostró igualmente la tonalidad rosada y blanco, mientras que, en la zona Profunda, la única tonalidad observada fue marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 7 y 11 mm, con un número de entre 4 y 5 capas (**Tabla N° 8-43**).

Tabla N° 8-43. 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	Verde	Verde
	Intermedio	Blanco	Blanco	Blanco
		Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Total de laminaciones		5	4	5
Espesor (mm)		11	10	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda) y Tipología 2 (macro-zonas Subsuperficial e Intermedia). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosado y en menor medida, púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón y negra. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 8 y 12 mm, con entre 3 y 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 (tapete embebido en agua) y 2 cm. (Tabla N° 8-44).

Tabla N° 8-44. 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	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Púrpura	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	Negro	Marrón
Total de laminaciones		3	4	4
Espesor (mm)		8	10	12
Profundidad (cm)		2	0	0

Fuente: Elaboración propia

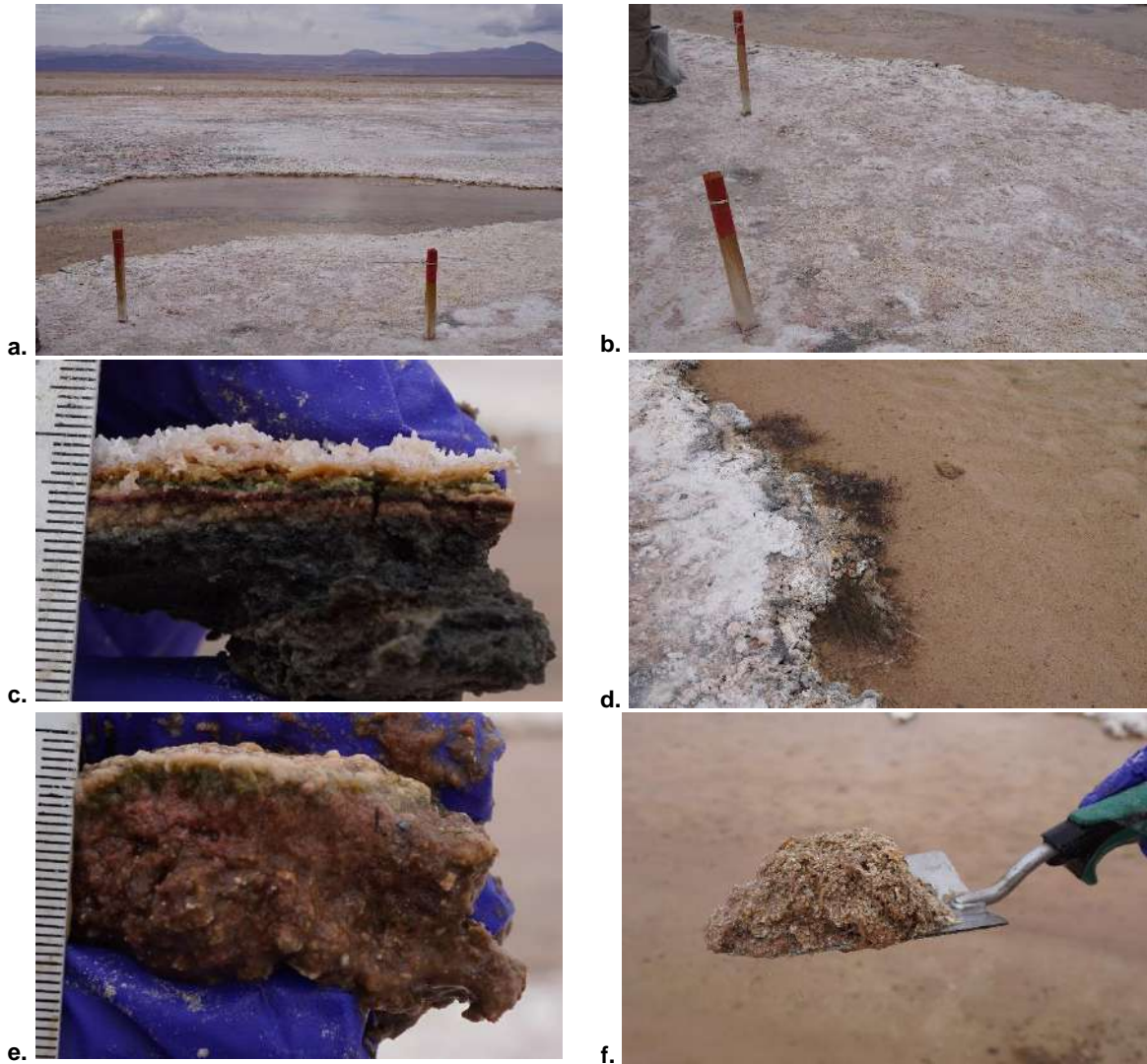
- *Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3*

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° 8-28 a**).

La estación, se localiza aledaña a un afluente de la laguna, exhibiendo 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 blanco y áreas rosadas, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-28 b y c; Tabla N° 8-45**), 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° 8-28 d y e; Tabla N° 8-46**).

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 (6,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-26 f**). Por otro lado, el examen visual del área indicó presencia de microbialitos (**Tabla N° 8-50**).

Fotografía N° 8-28. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, Tipología 1 con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), y Tipología 2 con macro-zonas Subsuperficial e Intermedia. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde seguido de naranja, mientras que, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades púrpura y blanco, y en menor medida rosado. En la zona Profunda predominó únicamente la tonalidad negra. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 13 mm, con un número entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 8-45**).

Tabla N° 8-45. 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 naranja	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranja Verde	Naranja Verde
	Intermedio	Rosado	Blanco Púrpura	Blanco Púrpura
	Profunda	Negro	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	4	4
Espesor (mm)		6	13	5
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, las tres muestras presentaron Tipología 2, observándose dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció sólo tonalidad rosada. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 9 y 12 mm, todas con un número de 3 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue entre 1 y 2 cm (**Tabla N° 8-46**).

Tabla N° 8-46. 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		Costra rosada	Coriáceo	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	3	3
Espesor (mm)		10	12	9
Profundidad (cm)		2	1	1

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector La Punta-La Brava, en verano 2022, 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 y en algunos casos, púrpuras, 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 negro, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 8-47**).

Tabla N° 8-47. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2022.

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

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En laguna La Punta (LP-24), se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial y profunda. En la macro-zona subsuperficial, predominaron capas verde y naranja mientras que, en la macro-zona profunda, predominó fuertemente el marrón. 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-1). En la macro-zona subsuperficial, predominaron las capas naranja y verde, mientras que en la macro-zona intermedia las capas más frecuentes fueron rosado, púrpura y blanco. En la macro-zona profunda, predominaron capas negras (**Tabla N° 8-48**).

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 macro-zona intermedia las tonalidades fueron rosado y púrpura, 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 o negro, las cuales representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos.

Tabla N° 8-48. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2022.

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

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

La Tipología 3 fue detectada en Laguna La Punta (LP-24), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde y naranja. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (Tabla N° 8-49).

Tabla N° 8-49. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2022.

Estación/Muestra		LP-24 P	
		1	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde	
		Naranja	

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

8.2.2.3.3 Sector vegas de Tilopozo

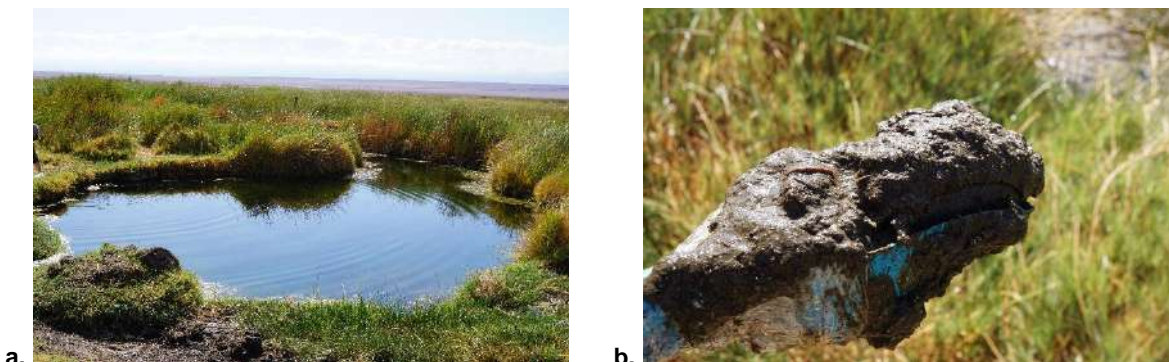
En la actual campaña verano 2022, así como en ninguna de las campañas de monitoreo anteriores, en el sector vegas de Tilopozo, no se detectó la presencia de tapetes microbianos en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3.

- *Vegas de Tilopozo: Estación de monitoreo TB-1*

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2278 msnm, con un ancho de sección aproximado de 7,5 m en promedio, de profundidad de 233 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre

y sedimento grava y arena sin flujo, y con aguas transparentes, rodeada de vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-29 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídos desde la poza (**Fotografía N° 8-29 b**).

Fotografía N° 8-29. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

- *Vegas de Tilopozo: Estación de monitoreo TB-2*

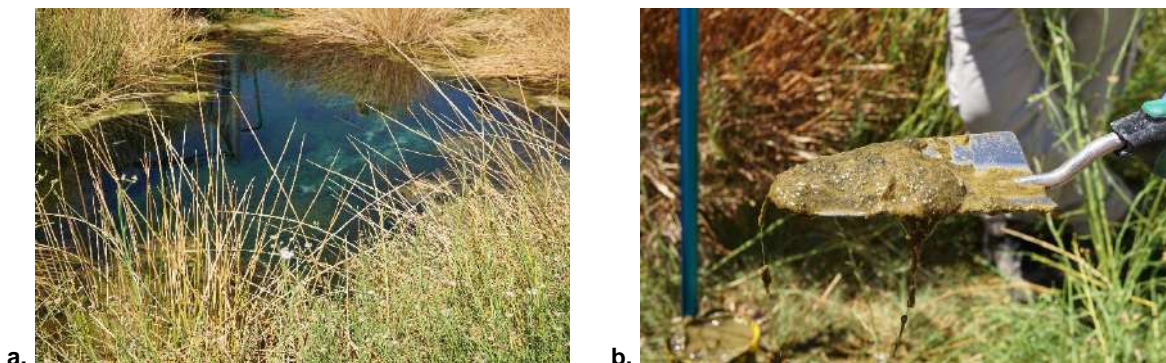
La estación TB-2 corresponde pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2307 msnm, con un ancho de sección aproximado de 16,3 x 22,0 m. En tanto, en verano 2022, hacia un costado de la estación fluye un pequeño brazo emergente de 1 m de ancho y de 9,8 cm de profundidad. Respecto del sustrato la estación de monitoreo estaba completamente cubierta por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus* y *Schoenoplectus* Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídos desde la poza (**Fotografía N° 8-30**).

Fotografía N° 8-30. a Estación de monitoreo TB-2; b. Muestra de Sedimentos. verano 2022.

Fuente: Elaboración propia

- *Vegas de Tilopozo: Estación de monitoreo TB-3*

La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2316 msnm, con un ancho de sección aproximado de 8,8 m, de una profundidad de 180 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas transparentes (**Fotografía N° 8-31 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídos desde la poza (**Fotografía N° 8-31 b**).

Fotografía N° 8-31. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2021.

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.4 Registro de microbialitos y evaporitas

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos en 4 estaciones de monitoreo (I-11, LP-23, LB-1 y LB-3) y la presencia de evaporitas en una estación de monitoreo (LP-24) (**Tabla N° 8-50; Fotografía N° 8-32**).

Tabla N° 8-50. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2022.

Estación de Monitoreo	Registro visual	
	Microbialito	Evaporita
S-5	-	-
S-6A	Sin acceso	
S-9		
SA-25		
S-10	-	-
S-11	-	-
I-11	+	-
I-17	-	-
LP-23	+	-
LP-24	-	+
LB-1	+	-
LB-2	-	-
LB-3	+	-
TB-1	-	-
TB-2	-	-
TB-3	-	-

+: Presencia; -: Ausencia

Fotografía N° 8-32. Microbialitos (a. I-11, b. LP-23, c. LB-1 y d. LB-3) y Evaporitas (d. LP-24). Verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

8.2.2.4 *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 los sectores Peine y La Punta-La Brava. En el 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. Por otra parte, la comunidad de tapetes microbianos en el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-6A) y laguna Saladita (SA-25), en la presente campaña no fue monitoreada, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

En relación con las variables de calidad de agua registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2022, destacan la Conductividad eléctrica y la Salinidad presentando en general mayores registros en las lagunas La Punta y La Brava respecto de las lagunas de Peine. Destacándose los mayores registros de conductividad obtenidos en las estaciones de la laguna La Brava (LB-1 y LB-2) y en la estación I-17, laguna Interna del sector Peine.

En el sector Peine las conductividades oscilaron entre 43.570 y 91.480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en S-5 (laguna Salada) y en I-17 (laguna Interna) respectivamente. En tanto, en el sector La Punta-La Brava, se registraron en promedio mayores registros de conductividad en la laguna La Brava, con valores que oscilaron entre 30.770 y 111.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LB-3 (afluente de la laguna) y en LB-2 respectivamente. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 71.640 en LP-23 y 74.370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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.

Por otra parte, se observaron mayores temperaturas en la columna de agua en las lagunas La Brava y en la laguna Interna. En el sector Peine, la temperatura en la columna de agua osciló entre 14,3 °C en S-10 (Saladita) y 26,7 °C en I-17 (Interna). En el sector La Punta-La Brava se observaron las mayores temperaturas en promedio en la laguna La Brava, con altos registros en LB-1 y LB-2 con valores de 25,53 y 24,67 °C respectivamente, aunque en la estación LB-3 y en la estación LP-23 de la laguna La Punta, también se observó una alta temperatura del agua con 23,39 y 21,93 °C respectivamente (**Figura N° 8-15 a**).

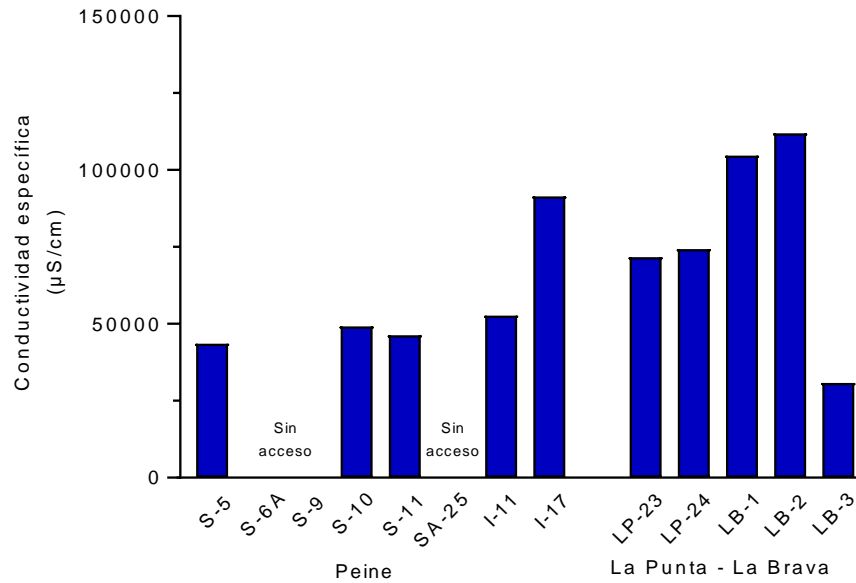
El Oxígeno disuelto fue similar para ambos sectores Peine y La Punta-La Brava, excepto por el registro observado en la estación de la laguna La Brava (LB-3) con un valor de 5,82 mg/L. Cabe destacar que, en relación con las concentraciones de oxígeno, la diferencia observada en La Punta-La Brava, se relaciona con la mayor salinidad en La Brava (LB-1 y LB-2), en La Punta (LP-23 y LP-24) y en Interna (I-17), 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 Peine y La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron distintas, encontrándose menores registros en Peine. 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, LB-2 y LB-3) (**Figura N° 8-16 a**).

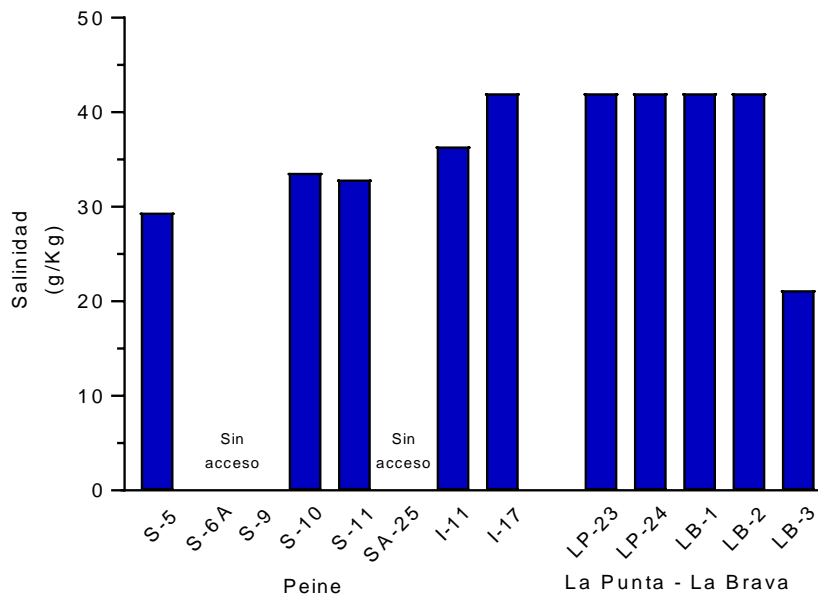
La turbiedad por su parte presentó mayores registros en el sector Peine respecto de La Punta-La Brava. En Peine los valores oscilaron entre 5,8 UNT en la estación I-17 (Interna) y 43,5 en S-10 (Saladita). En tanto, en La Punta-La Brava los valores oscilaron entre 1,7 UNT en las estaciones de La Punta (LP-23 y LP-24) y 3,2 UNT en las estaciones de La Brava (LB-1 y LB-2) (**Figura N° 8-16 b**).

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 0,833 MJ/m² en la estación S-5 (Salada) y 3,206 MJ/m² en las estaciones LB-1 y LB-2 (La Brava), observándose valores diferentes entre estaciones de monitoreo y entre lagunas (**Tabla N° 8-51**).

Figura N° 8-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2022.



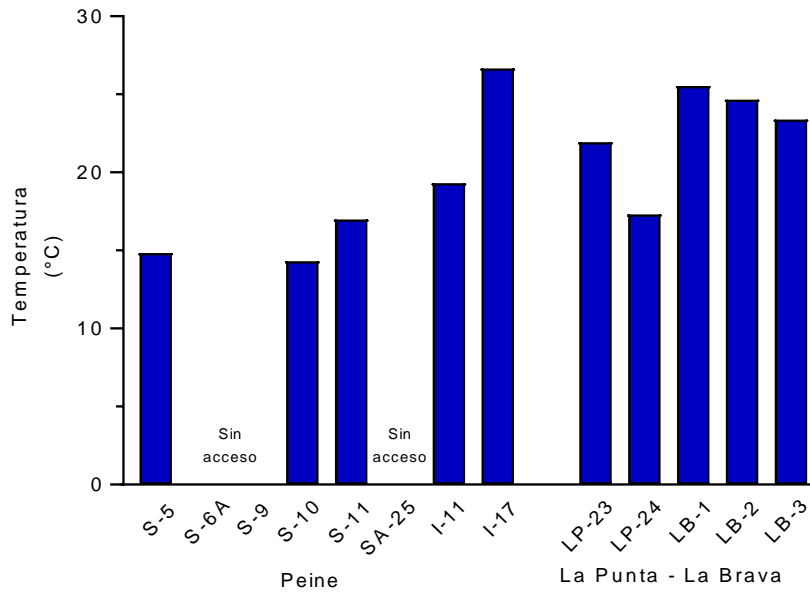
a.



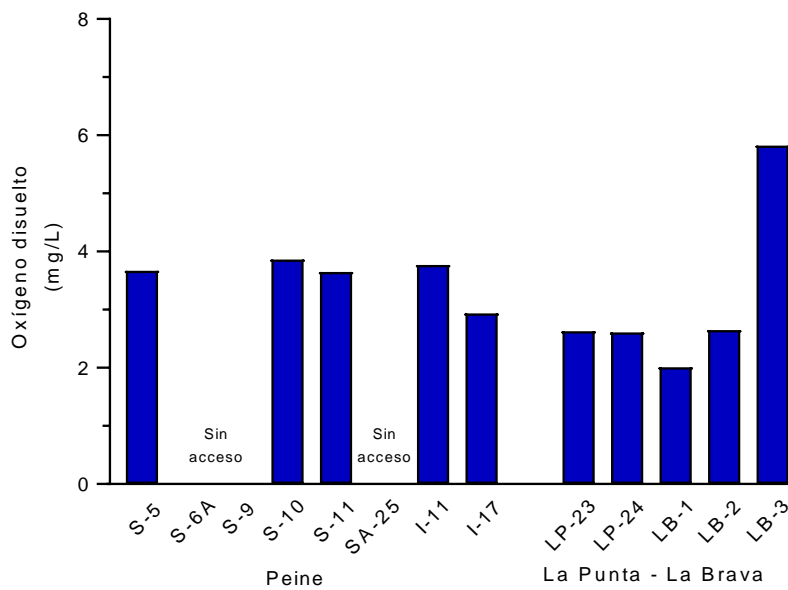
b.

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 2022.



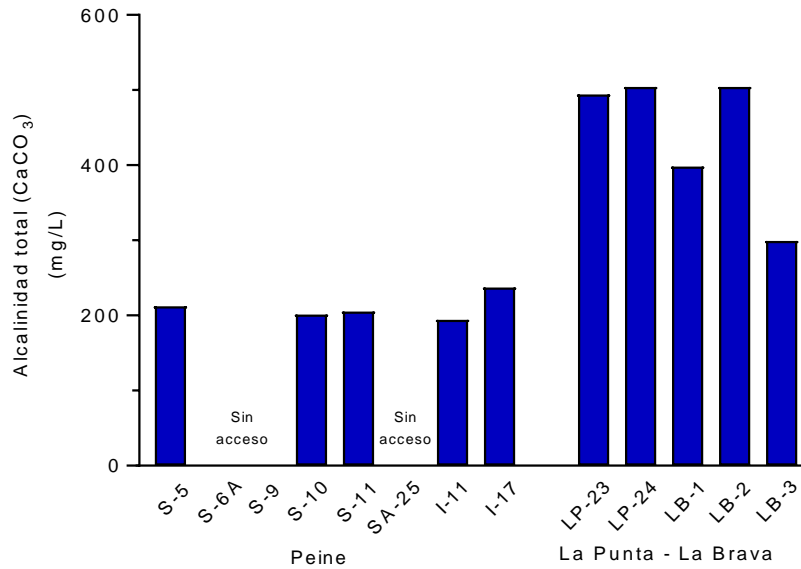
a.



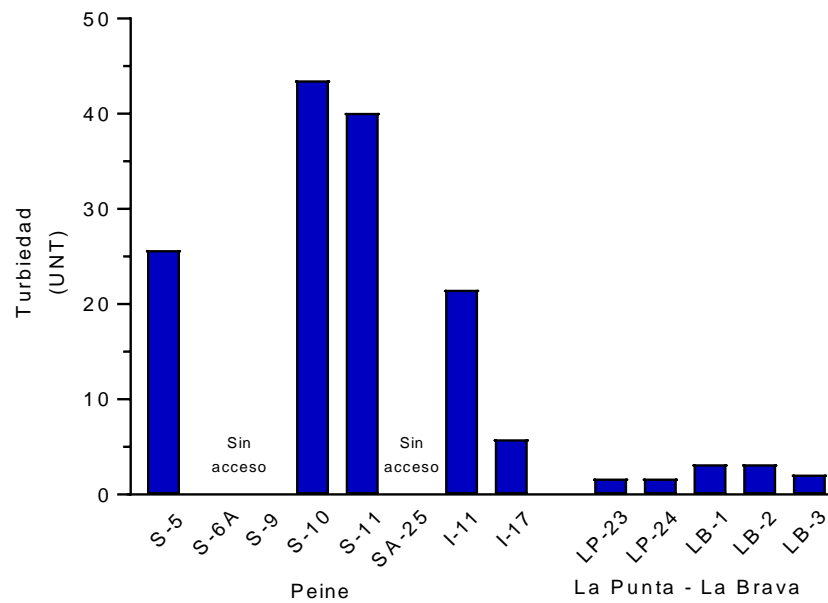
b.

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 2022.



c.



d.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en el sector Peine y La Punta-La Brava para la campaña de verano 2022, se destaca que para carbono orgánico total los registros fueron diferentes entre sectores y lagunas. En Peine, la laguna Interna presentó registros más bajos respecto de la laguna Salada y Saladita, excepto para la estación S-10 de la laguna Saladita que presentó un registro similar a los de la laguna Interna. 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 (<500 mg/Kg) (**Tabla N° 8-52**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó diferencias entre las lagunas de Peine y La Punta-La Brava, observándose mayores registros en Peine respecto de La Punta-La Brava, destacándose en Peine, las estaciones S-5 (Salada) con 14,1 g/Kg, S-11 (Saladita) con 7,3 g/Kg e I-11 (Interna) con 8,2 g/Kg. En tanto, en La Punta-La Brava, sólo LB-3 presentó un alto registro con 6,9 g/Kg.

Por último, los registros de potencial Redox presentaron valores negativos en todas las estaciones monitoreadas, lo que significa que estamos en ambientes altamente reductores, alcalinos y anaerobios.

Tabla N° 8-51. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 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	-	Sin acceso	14,8	Sin acceso	14,3	17,0	19,3	26,7	21,9	17,3	25,5	24,7	23,4	
pH	U	-		8,52		8,34	8,30	8,24	8,03	8,26	8,30	7,90	8,09	8,39	
Conductividad específica	µS/cm	-		43.570		49.200	46.290	52.730	91.480	71.640	74.370	104.700	111.900	30.770	
Salinidad	g/Kg	-		29,4		33,6	32,9	36,4	>42,0	>42,0	>42,0	>42,0	>42,0	>42,0	21,2
Oxígeno disuelto	mg/L	-		3,67		3,86	3,65	3,77	2,94	2,63	2,61	2,01	2,65	5,82	
Turbiedad	UNT	-		25,7		43,5	40,1	21,5	5,8	1,7	1,7	3,2	3,2	2,1	
Radiación solar**	MJ/m ²	-		0,833		2,081	2,081	2,905	3,095	2,377	1,583	3,206	3,206	1,816	
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	<1,2		212		201	205	194	237	494	504	398	504	299	

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

Tabla N° 8-52. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 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
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	<1	Sin acceso	1106,7	Sin acceso	787,7	1014,5	907,8	827,1	498,8	820,2	690,8	667,6	1012,2	
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500		<500		<500	500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	<0,0125		14,1		3,3	7,3	8,2	1,7	3,6	3,4	3,6	3,9	6,9	
Potencial Redox	mV	-		-305		-295	-296	-293	-278	-301	-316	-288	-302	-332	

Fuente: Elaboración propia

8.2.3 Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos

La RCA 21/2016 no establece límites comprometidos para la componente de tapetes microbianos, indicando en forma explícita en página 60 de 72 de la RCA: “No aplica”.

9 SUELO O SUSTRATO

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de verano 2022, para el subcomponente ambiental suelo – sustrato. Respecto a la evaluación correspondiente al invierno 2021 (M11) y debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar en agosto del mismo año, no se pudo efectuar la campaña del monitoreo del componente por razones de seguridad.

Se analiza la evolución de los parámetros estudiados para las campañas invernales y estivales de monitoreo entre 2016 y 2022 (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12). Cabe señalar, que la campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para este componente debido a las restricciones por efecto de la situación sanitaria Covid-19 a nivel nacional, al igual que la campaña invernal 2021 (M11) por las razones de seguridad ya señaladas.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a características físicas y químicas del suelo, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto.

El periodo reportado en el presente informe anual corresponde al monitoreo semestral de verano realizado entre los días 10 al 16 de abril de 2022 llamado en adelante Monitoreo 12 (M12).

Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada**, por encargo del Titular del Proyecto. Apoyado para análisis fisicoquímico de las muestras de suelo, por dos laboratorios que cuentan con acreditación ETFA; un tercero acreditado ante la Comisión Nacional de Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y del Servicio agrícola y Ganaderos; y el último (y cuarto) que corresponde al laboratorio de física de suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile. El detalle de cada una de estas entidades se indica en la **Tabla N° 9-3** de este Informe Anual.

El objetivo del seguimiento es observar y analizar la variación de los parámetros edafológicos monitoreados siendo estos: conductividad eléctrica, salinidad, pH, macroelementos (NPK), humedad, conductividad hidráulica (permeabilidad), materia orgánica y textura, en el marco de la etapa de operación del proyecto.

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 redepósito 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 muestreo

Para el seguimiento se consideraron los 14 puntos de muestreo de suelo - sustrato, definidos en el proyecto (EIA-Adenda 5) de los cuales seis (6) se localizan según definición en el sector de Tilopozo, cuatro (4) en el sector La Punta – La Brava, (de éstos tres (3) 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 los puntos y las coordenadas UTM. Tanto en la Tabla de coordenadas como en la Figura de ubicación, se observa una homologación de la codificación de los puntos, 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, pero 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 los puntos de muestreo, el cual ya fuera informado a través del Informe PMB N°1 (junio 2017) no cambia el objetivo del PMB ni los puntos. 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, el punto de 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 los 14 puntos 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, 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 lo que, estos puntos, 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. Aun cuando, las coordenadas determinadas mediante navegador GPS son mayores, esto es debido al margen de error normal propio del instrumento utilizado.

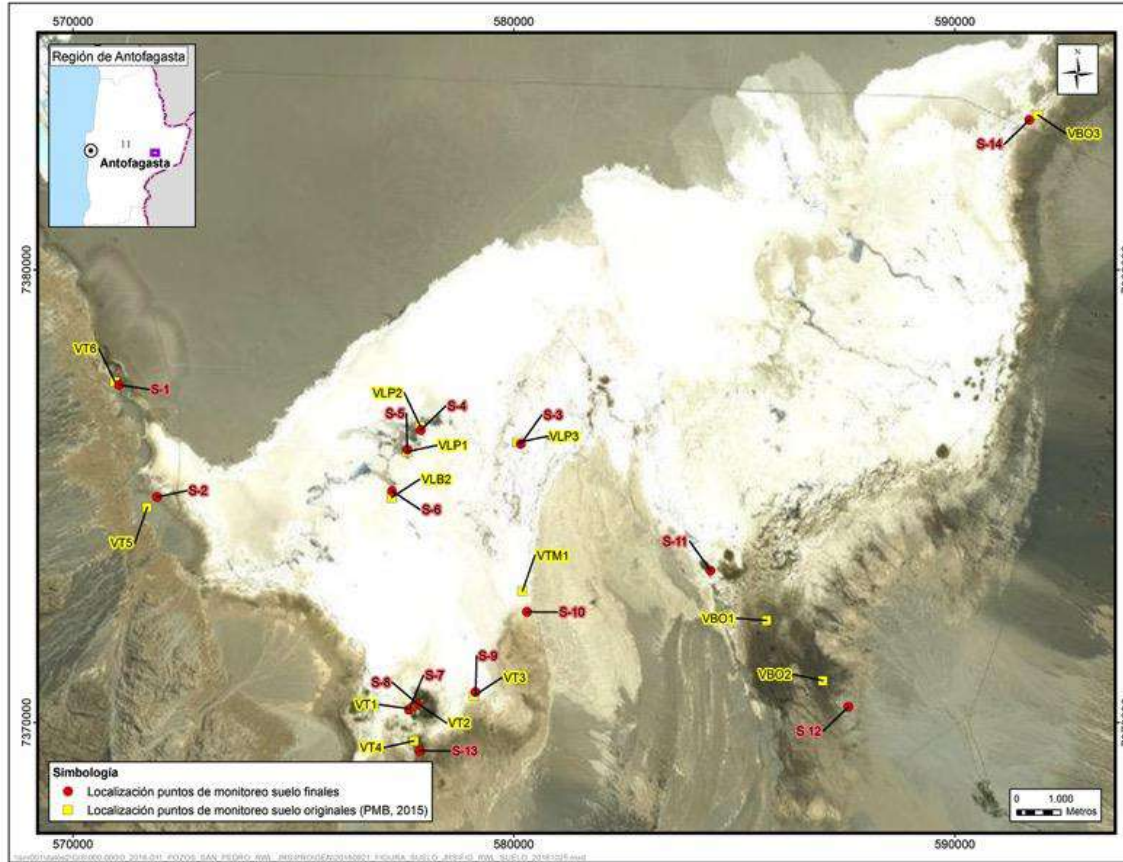
Tabla N° 9-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M12, puntos de muestreo suelo.

Sector	Código Original Punto Muestreo suelos (PMB, 2015)	ID punto de muestreo final suelos PMB ³⁵	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

³⁵ En cada punto de muestreo 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 final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración Propia

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

En la **Tabla N° 9-2**, se presentan los parámetros a caracterizar para evaluar el estado y evolución del componente suelo, de acuerdo con los compromisos adquiridos.

Tabla N° 9-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo

Parámetro	Unidad medida
pH	Unidades de pH
Conductividad eléctrica	µS/cm
Materia orgánica	%
Nitrógeno (N)	mg/kg
Fósforo (P)	mg/kg

Parámetro	Unidad medida
Potasio (K)	mg/kg
Humedad	%
Conductividad hidráulica (permeabilidad) ³⁶ k"	cm/h
Textura	---
Salinidad ³⁶	mg/kg

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 puntos de muestreo, se realizan calicatas de una profundidad máxima de 74 cm (M12), 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 punto.

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, muestras que fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas. Para el análisis de conductividad hidráulica - permeabilidad (metodología de permeámetro de carga constante) se toman 10 muestras por punto de muestreo, correspondiendo a cinco (5) muestras en cada profundidad (una con cuatro repeticiones), mediante un tubo de PVC de un diámetro y longitud de 5 cm

³⁶ Corresponde a las sales solubles (cationes y aniones).

(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 macroelementos de materia orgánica (MO) y humedad 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 (ANAM).

En el caso de macroelementos (NPK), textura y salinidad, como también conductividad eléctrica y pH, las muestras son almacenadas en bolsas plásticas (polietileno, polipropileno o polímero de plástico) y enviadas a AGROLAB las primeras y a ALS Life Sciences las segundas.

Considerando que el procedimiento de toma de muestras de los parámetros evaluados en este estudio, no se encuentra acreditada aún como ETFA, lo que implica que no se requiere de inspector ambiental en terreno, el muestreo fue realizado por los profesionales encargados de este estudio.

9.1.4.2 Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de suelo para ambos monitoreos, se realizó con 4 laboratorios, dos de los cuáles se encuentran acreditados como ETFA: ALS Life Sciences Chile y ANAM. 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 (para macroelementos, salinidad y textura). Este último 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° 9-3**, se indican las metodologías utilizadas por los diferentes laboratorios para determinar los distintos parámetros evaluados en este subcomponente.

Tabla N° 9-3: Parámetros evaluados y método de análisis. Componente Suelo.

Parámetro	Laboratorio	Método de análisis
Conductividad eléctrica (μS/cm)	ALS (ETFA)	Soil and Land Survey Handbook, Method 4A 1: Electrical Conductivity, 1992.
pH	ALS (ETFA)	Soil and Land Survey Handbook, Method 3A 1: Soil pH, 1992.
Materia orgánica (%)	ANAM (ETFA)	MQC000059 rev. 4 Basado en TMEC
Humedad (%)	ANAM(ETFA)	SM 2540 G (2012)
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)
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)
Nitrógeno *(mg/kg)	AGROLAB	Digestión Kjeldahl modificada. Procedimiento de CNA - Método 14.1-N(1)
Conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h)	Fac. Agronomía - U. de Chile	Permeámetro de carga constante
Salinidad (mg/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
Textura	AGROLAB	Método físico (SAG, 2007)

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

Fuente: Elaboración Propia

En las siguientes Tablas, se indica la denominación o categoría, de acuerdo con los valores de los parámetros definidos para el monitoreo edáfico. Estos rangos se presentan como referencia.

Tabla N° 9-4: Valores de Materia orgánica (%)

Categoría	Rango
Muy bajo	≤ 0,9
Bajo	1,0 - 1,9
Normal	2 - 2,5

Categoría	Rango
Alto	2,6 - 3,5
Muy alto	> 3,6

Fuente: Sierra y Rojas 1985

Tabla N° 9-5: 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° 9-6: 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° 9-7: Niveles de Fosforo (mg/kg)

Categoría	Rango
Muy bajo	$\leq 5,0$
Bajo	5,1 a 10
Medio	10 ,1 a 20
Alto	20,1 -a 30
Muy alto	$\geq 30,1$

Fuente Bernier, R. 2000.

Tabla N° 9-8: 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° 9-9. 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° 9-10. 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

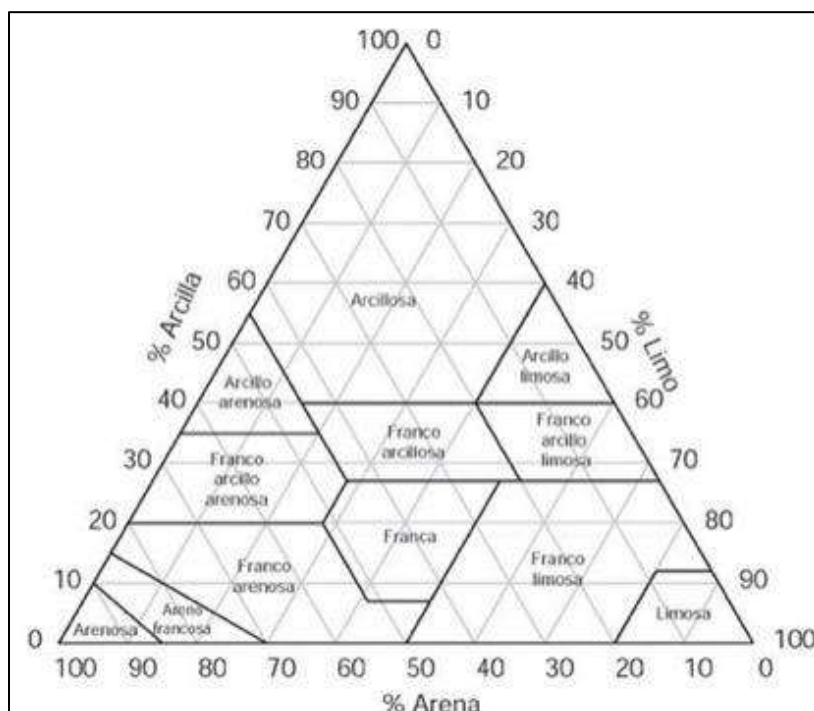
Tabla N° 9-11. Tamaño de partículas que determina la textura del suelo

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

Clasificación	Rango del diámetro de partículas	
	mm	µm
Limo grueso	0,05 - 0,02	50-20
Limo fino	0,02 – 0,002	20-2
Arcilla	<0,002	<2

Fuente: USDA 2012.

Tabla N° 9-12. 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 enviadas vía terrestre.

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

La campaña de invierno de suelos (Monitoreo 11), no se realizó, debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar en agosto 2021 por razones de seguridad. (ver **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones, Carta de Albemarle a SMA donde informa suspensión de actividad de monitoreo**).

La campaña de verano de suelos (Monitoreo 12), se realizó entre los días **10 al 16 de abril de 2022**. Las muestras para análisis de humedad y materia orgánica (ANAM), conductividad eléctrica y pH (ALS), NPK, salinidad y textura (AGROLAB) y conductividad

hidráulica (Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile) fueron entregadas el 3 de mayo de 2022.

9.2 RESULTADOS

9.2.1 Resultados campaña de verano 2022

9.2.1.1 Caracterización suelos

a) Sector de Tilopozo

a-1) Punto de Muestreo 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° 9-2**).

Fotografía N° 9-2. Vista general punto de muestreo S 1. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Este suelo presenta en superficie un horizonte (S 1-0) salino arenoso, duro y de una potencia de 10 cm.

Bajo el anterior se presenta un segundo (S 1-1) cuya potencia es de 20 cm (10 - 30) de textura franca arenosa (**Fotografía N° 9-3**) con una humedad que asciende a 9,16%, donde los valores de NPK son 35, 4 y 1.900 mg/kg, es decir, categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-13**). La materia orgánica es alta (2,33%), con una conductividad eléctrica de 11.560 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo a un suelo muy salino, donde la concentración de sales solubles es de 77.271 mg/kg, el pH es ligeramente alcalino (8,8),

con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 27,8 cm/h., lo que determina que la velocidad de infiltración del agua sea alta (**Tabla N° 9-13**).

En profundidad (32 a 56 cm) se observa un tercer horizonte (S 1-2) de textura franca arenosa, en el cual la humedad asciende a 14,73%, y los macronutrientes (NPK) se encuentran en valores de 51, 5 y 2.095 mg/kg, es decir, categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. Horizonte que presenta un 2,46% de materia orgánica (normal), con un pH ligeramente alcalino (8,6), siendo éste un suelo salino (C.E. 5.081 $\mu\text{S/cm.}$), y con una concentración de 31.072 mg/kg. de sales solubles (**Tabla N° 9-13**).

La conductividad hidráulica (permeabilidad) de este horizonte es de 61,1 cm/h, lo que determina una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-13**).

Tabla N° 9-13. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Verano 2022.

Punto muestreo	S 1-0	S 1-1	S 1-2
Profundidad (cm)	0 - 10	10 - 30	32 - 56+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	11.560	5.081
MO (%)	---	2,33	2,46
pH	---	8,8	8,6
Salinidad (mg/kg)	---	77.271	31.072
N (mg/kg)	---	35	51
P (mg/kg)	---	4	5
K (mg/kg)	---	1.900	2.095
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	27,8	61,1
Humedad (%)	---	9,16	14,73
Textura	Sal	Franco Arenosa	Franco Arenosa

Fotografía N° 9-3. Vista general perfil punto de muestreo S 1. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

a-2) Punto de Muestreo 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° 9-4**).

Fotografía N° 9-4. Vista general punto de muestreo S 2. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta un horizonte (S 2-0) conformado por sal mezclado con arena y duro, bajo éste se desarrolla un segundo (5 a 23 cm, S 2-1) de textura franca, (**Fotografía N° 9-5**), con un contenido de humedad que asciende 1,18%, y las concentraciones de NPK alcanzan los 49, 16 y 10.873 mg/kg, es decir, categorías alta, media y alta, respectivamente. La materia orgánica es alta (2,45%), suelo extremadamente salino (C.E. 22.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y con una concentración de sales solubles de 115.609 mg/kg, el pH es ligeramente alcalino (8,6) y la conductividad hidráulica (permeabilidad) es alta (16,1 cm/h), ver **Tabla N° 9-14**.

Entre los 23 a 59 cm se presenta un tercer horizonte (S 2-2), cuya humedad asciende a 171,31%, en el cual el NPK se encuentra en valores de 77, 5 y 2.567 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Horizonte que presenta un contenido de materia orgánica de 2,56% (alto), el pH es moderadamente básico (8,3), suelo salino (C.E. 4.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 17.361 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 17,31 cm/h, equivalente a un suelo que presenta una velocidad de infiltración del agua alta (**Tabla N° 9-14**).

Tabla N° 9-14. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Verano 2022.

Punto muestreo	S 2-0	S 2-1	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 23	23 - 59+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	22.760	4.200
MO (%)	---	2,45	2,56
pH	---	8,6	8,3
Salinidad (mg/kg)	---	115.609	17.361
N (mg/kg)	---	49	77
P (mg/kg)	---	16	5
K (mg/kg)	---	10.873	2.567
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	16,1	23,6
Humedad (%)	---	1,18	17,31
Textura	Sal	Franca	Franca

Fotografía N° 9-5. Vista general perfil punto de muestreo S 2. Verano 2022.

Fuente: Elaboración Propia

a-3) Punto de Muestreo S-7 (VT1)

Suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, la cobertura de la vegetación fluctúa entre 25 a 50% (poco densa), la cual está dominada por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-6**).

Fotografía N° 9-6. Vista general punto de muestreo S 7. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 5 cm, el perfil de este suelo está conformado por un horizonte salino y duro (S 7-0), bajo el cual se presenta otro estrato (S 7-1), entre los 5 y 24 cm (**Fotografía N° 9-7**), de textura franca, con una humedad de 52,76%, en el éste los macronutrientes (NPK) se presentan en valores que ascienden a 59, 9 y 3.299 mg/kg, es decir, categorías alta, baja y alta. La materia orgánica es muy alta (15.03%), el pH es ligeramente alcalino (8,5), suelo no salino (C.E. 1.026 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la concentración de sales solubles asciende a 21.190 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 57,8 cm/h, lo que determina una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-15**).

Entre los 24 y 55 cm, que corresponde al horizonte S 7-2, el cual presenta una textura franca limosa (**Fotografía N° 9-7**), aquí la humedad alcanza a 50,24% y los nutrientes (NPK) presentan valores que ascienden a 67, 5, 915 mg/kg, equivalente a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (5,26%), el pH es ligeramente alcalino (8,7), suelo ligeramente salino (C.E. 2.457 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y una concentración de sales solubles que alcanza los 9.107 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 10,0cm/h., es decir, una velocidad de infiltración alta (**Tabla N° 9-15**).

Tabla N° 9-15. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Verano 2022.

Punto muestreo	S 7-0	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 24	24 - 55+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	1.026	2.457
MO (%)	---	15,03	5,26
pH	---	8,5	8,7

Punto muestreo	S 7-0	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 24	24 - 55+
Salinidad (mg/kg)	---	21.190	9.107
N (mg/kg)	---	59	67
P (mg/kg)	---	9	5
K (mg/kg)	---	3.299	915
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	57,8	10,0
Humedad (%)	---	52,76	50,24
Textura	Sal	Franca	Franco limosa

Fotografía N° 9-7. Vista general perfil punto de muestreo S 7. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

a-4) Punto de Muestreo 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° 9-8).

Fotografía N° 9-8. Vista general punto de muestreo S 8. Verano 2022.

Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 10 cm., se observa un horizonte (S 8-0) constituidos exclusivamente por tallos, raíces y raicillas estas últimas activas, bajo éste y hasta los 20 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° 9-9**) en matriz franca, con una humedad de 68,51%, y el NPK se encuentran en valores de 43, 79 y 1.781 mg/kg, es decir, categorías alta, muy alta y alta, respectivamente.

La materia orgánica es muy alta (28,84%), la cual está determinada por una abundante presencia de restos vegetales. El pH es moderadamente básico (8,1), suelo salino (5.115 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), las sales solubles se presentan en una concentración de 14.654 mg/kg, suelo que presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 361,4 cm/h, equivalente a una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-16**).

En profundidad se presenta un tercer horizonte (23 a 39 cm, S 8-2), de textura franca, con abundante presencia de restos vegetales descompuestos, y humedad de 49,12%, los nutrientes (NPK) presentan valores de 38, 22 y 1.024 mg/kg, es decir, categorías media, alta y alta, respectivamente. Punto de muestreo donde la materia orgánica es muy alta (10,5%), el pH es moderadamente básico (8,3), ligeramente salino (2.791 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 12.791 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 0,2 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración moderadamente alta (**Tabla N° 9-16**). A partir de los 52 cm, se presenta un sustrato aluvial.

Tabla N° 9-16. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Verano 2022.

Punto muestreo	S 8-0	S 8-1	S 8-2	S 8-3
Profundidad (cm)	0 - 10	10 - 20	23 – 39+	52+
C. E. (μS/cm)	---	5.115	2.791	---
MO (%)	---	28,84	10,5	---
pH	---	8,1	8,3	---
Salinidad (mg/kg)	---	14.654	12.791	---
N (mg/kg)	---	43	38	---
P (mg/kg)	---	79	22	---
K (mg/kg)	---	1.781	1.024	---
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	361,4	0,2	---
Humedad (%)	---	68,51	49,12	---
Textura	Raíces- Tallos	Franca	Franca	Sustrato aluvial

Fotografía N° 9-9. Vista general perfil punto de muestreo S 8. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

a-5) Punto de Muestreo S 9 (VT3)

Suelo de topografía plana, sin rocosidad y/o pedregosidad superficial, en términos vegetacionales corresponde formación herbácea muy escasa (1 a 5% de cobertura) donde como especie dominante se presenta *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 9-10**).

Fotografía N° 9-10. Vista general punto de muestreo S 9. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 14 cm, se observan dos horizontes (S 9-0 y 9-0a) conformado por sales, compactado en superficie y suelta en profundidad. Entre los 14 a 34 cm se presenta otro horizonte (S 9-1) franco limoso (**Fotografía N° 9-11**), cuya humedad es de un 63,11%, y los macronutrientes, específicamente NPK se presentan en valores de 39, 12 y 1.821 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, media y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (8,18%), el pH es moderadamente básico (8,4), suelo salino (4.208 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que alcanza a 16.776 mg/kg. (**Tabla N° 9-17**). La permeabilidad es alta, considerando que la velocidad de infiltración del agua es de 35,1 cm/h.

En profundidad y entre los 34 y 54 cm, se presenta un cuarto horizonte (S 9-2), de textura franca (**Fotografía N° 9-11**), con una humedad de 37,15%, los nutrientes (NPK) presentan valores de 42, 3 y 1.245 mg/kg, considerados alto, muy bajo y alto, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (5,84%), el pH es ligeramente alcalino (8,7), suelo ligeramente salino (2.195 $\mu\text{S}/\text{cm}$), las sales solubles se encuentran en una concentración de 10.175 mg/kg, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 79,9 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-17**).

Tabla N° 9-17. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Verano 2022.

Punto muestreo	S 9-0	S 9-0a	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 14	14 - 34	34 – 54+
C. E. (µS/cm)	---	---	4.208	2.195
MO (%)	---	---	8,18	5,84
pH	---	---	8,4	8,7
Salinidad (mg/kg)	---	---	16.776	10.175
N (mg/kg)	---	---	39	42
P (mg/kg)	---	---	12	3
K (mg/kg)	---	---	1.821	1.245
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	35,1	79,9
Humedad (%)	---	---	63,11	37,15
Textura	Sal Lig dura	Sal suelta	Franco limoso	Franca

Fotografía N° 9-11. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

a-6) Punto de Muestreo 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° 9-12**).

Fotografía N° 9-12. Vista general punto de muestreo S 13. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que entre los 0 y 1 cm., presenta un horizonte (S 13-0) arenoso con abundantes sales y duro. Entre 1 y 8 cm, existe un segundo (S 13-1) de clase textural franco limosa (**Fotografía N° 9-13**), con una humedad de 28,16%, y los macronutrientes (NPK), se presentan en valores de 80, 27 y 1.162 mg/kg, correspondiendo a la categoría muy alta, alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (6,22%), el pH del suelo es moderadamente básico (8,4), suelo ligeramente salino (C.E. 2.909 $\mu\text{S}/\text{cm}.$), la concentración de sales solubles asciende a 5.067 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (29,2 cm/h), ver **Tabla N° 9-18**.

Entre los 25 y 60 cm existe otro horizonte (S 13-2) de textura franca limosa (**Fotografía N° 9-13**), en el cual la humedad es de 29,33%, y los valores de los macronutrientes, específicamente NPK ascienden a 32, 5 y 1.610 mg/kg, siendo las categorías media, muy baja y alta, respectivamente. Suelo en el cual, la materia orgánica es alta (3,3%), el pH es moderadamente básico (8,2), no salino (C.E. 1.993 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) y con una concentración de sales solubles que alcanza a 4.904 mg/kg.

Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta, dado que la velocidad de infiltración del agua es de 17,1 cm/h (**Tabla N° 9-18**).

Tabla N° 9-18. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Verano 2022.

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 25	25 - 60+
C. E. (μS/cm)	---	2.909	1.993
MO (%)	---	6,22	3,3
pH	---	8,4	8,2
Salinidad (mg/kg)	---	5.067	4.904
N (mg/kg)	---	80	32
P (mg/kg)	---	27	5
K (mg/kg)	---	1.162	1.610
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	29,2	17,1
Humedad (%)	---	28,16	29,33
Textura	Sal	Franco limosa	Franco limosa

Fotografía N° 9-13. Vista general perfil punto de muestreo S 13. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

b) Sector La Punta-La Brava

b-1) Punto de Muestreo 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° 9-14**). El nivel freático se encuentra a los 57 cm (**Fotografía N° 9-15**).

Fotografía N° 9-14. Vista general punto de muestreo 3 (S 3). Verano 2022.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que entre los 0 a 17 cm., presenta dos horizontes (S 3-0 y 3-0a) constituido exclusivamente por sales extremadamente dura en superficie y sin cohesión en profundidad.

Entre los 17 a 37 cm, existe un tercer horizonte (S 3-1), de textura franca con abundante presencia de sales (**Fotografía N° 9-15**), suelos con una humedad que alcanza a 63,75%, en el cual el NPK es de 38, 3 y 1.848 mg/kg, equivalente a las categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-19**). La materia orgánica es alta (7,17%), suelo salino (C.E. 5.034 μ S/cm), donde la concentración de sales solubles es de 16.967 mg/kg, con un pH moderadamente básico (8,2) y presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (6,9 cm/h), ver **Tabla N° 9-19**.

Bajo el horizonte anterior se presenta otro (S 3-2) y situado entre los 37 a 61 cm (**Fotografía N° 9-15**), de textura franca arenosa, cuya humedad asciende a 56,55%; en este horizonte el NPK se encuentra en valores de 40, 2 y 1.171 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-19**).

Este horizonte presenta un 4,3% de materia orgánica (muy alta), el pH es moderadamente básico (8,2), siendo un suelo ligeramente salino (C.E. 3.585 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 14.436mg/kg, y presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) moderadamente alta (1,9 cm/h), ver **Tabla N° 9-19**.

Tabla N° 9-19. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Verano 2022.

Punto muestreo	S 3-0	S-3a	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 7	7 - 17	17 - 37	37 - 61+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	---	5.034	3.585
MO (%)	---	---	7,17	4,3
pH	---	---	8,2	8,2
Salinidad (mg/kg)	---	---	16.967	14.436
N (mg/kg)	---	---	38	40
P (mg/kg)	---	---	3	2
K (mg/kg)	---	---	1.848	1.171
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	6,9	1,9
Humedad (%)	---	---	63,75	56,55
Textura	Sal ext. duro	Sal suelta	Franca	Franco arenosa

Fotografía N° 9-15. Vista general perfil punto de muestreo S 3. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

b-2) Punto de Muestreo 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, 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 33 cm (**Fotografía N° 9-16**).

Fotografía N° 9-16. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2022.

Fuente: Elaboración Propia

Perfil conformado en superficie por un horizonte entre los 0 a 1 cm (S 4-0), constituido exclusivamente por sales, las cuales se presentan compactadas (**Fotografía N° 9-17**).

Entre los 1 a 15 cm se presenta otro (S 4-1), franco arenoso, con una humedad de 28,33%, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 110,5 cm/h, es decir, que la velocidad de infiltración del agua es muy alta. El NPK se presenta en valores de 46, 5 y 3.606 mg/kg, es decir, categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. En éste, la materia orgánica es muy alta (10,54 %), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,8), salino (C.E. 6.165 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y con una concentración de sales solubles de 46.143 mg/kg (**Tabla N° 9-20**).

Entre los 15 a 30 cm (**Fotografía N° 9-17**), se observa un tercer horizonte (S 4-2) de clase textural franco arenosa, la humedad asciende a 46,66% y el NPK presenta valores de 42, 3 y 1.505 mg/kg, es decir, categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. Mientras que, la materia orgánica es muy alta (10,19%), con un pH ligeramente alcalino (8,6), suelo ligeramente salino (C.E. 3.244 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la concentración de sales solubles es de 10.248 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 1,3 cm/h., es decir, que la velocidad de infiltración del agua es moderadamente alta (**Tabla N° 9-20**).

Tabla N° 9-20. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Verano 2022.

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 15	15 – 30+
C. E. (µS/cm)	---	6.165	3.244
MO (%)	---	10,54	10,13
pH	---	8,8	8,6
Salinidad (mg/kg)	---	46.143	10.248
N (mg/kg)	---	46	42
P (mg/kg)	---	5	3
K (mg/kg)	---	3.606	1.505
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	110,5	1,3
Humedad (%)	---	28,33	46,66
Textura	Sal	Franco arenosa	Franco arenosa

Fotografía N° 9-17. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

b-3) Punto de Muestreo 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° 9-18**) y el nivel freático se presenta a 9 cm de profundidad.

Fotografía N° 9-18. Vista general punto de muestreo S 5. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por un horizonte superficial salino (S 5-0) entre los 0 a 3 cm (**Fotografía N° 9-19**), bajo este se presenta un segundo (3 a 29 cm, S 5-1) de textura areno francosa y con una humedad que alcanza al 38,78%. Los nutrientes (NPK) se presentan en valores de 44, 3 y 3.374 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (9,95%), con un pH ligeramente alcalino (8,8), correspondiendo a un suelo salino (C.E. 5.464 μ S/cm), con una concentración de sales solubles que asciende a 23.037 mg/kg. y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 260,9cm/h, es decir, muy alta (**Tabla N° 9-21**).

A partir de los 29 cm (S 5-2), se presentan una sucesión de estratos areno francosa, duro, intercalados con arena gruesa cuya potencia varía entre 1 a 2 cm., donde la humedad es de 32,53%. Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 224,6 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración muy alta. El NPK se presenta valores de 41, 1 y 2.580 mg/kg, es decir, categorías alta, muy baja y alta. El porcentaje de materia orgánica es de 8,18, es decir, categoría muy alta, el pH es ligeramente alcalino (8,9), suelo salino (C.E. 4.174 μ S/cm), y con una concentración de sales solubles que asciende a 21.042 mg/kg. (**Tabla N° 9-21**).

Tabla N° 9-21. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Verano 2022.

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 29	29+
C. E. (µS/cm)	---	5.464	4.174
MO (%)	---	9,95	8,18
pH	---	8,8	8,9
Salinidad (mg/kg)	---	23.037	21.042
N (mg/kg)	---	44	41
P (mg/kg)	---	3	1
K (mg/kg)	---	3.374	2.580
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	260,9	224,6
Humedad (%)	---	38,78	32,53
Textura	Sal	Areno francosa	Areno Francosa

Fotografía N° 9-19. Vista general perfil punto de muestreo S 5. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

b-4) Punto de Muestreo S 6 (VLB2)

Suelo de topografía plana, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, se caracteriza por no presentar vegetación (zona denudada) y con nivel freático a los 59 cm (**Fotografía N° 9-20**).

Fotografía N° 9-20. Vista general punto de muestreo S 6. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta una costra salina entre los 0 a 33 cm, dura en superficie y suelta en profundidad (**Fotografía N° 9-21**). A partir de los 33? y hasta los 42 cm se presenta un tercer horizonte (S 6-1), de textura franca, extremadamente dura y laminar, en el cual la humedad es de 49,81%, y los valores de NPK, son 72, 51 y 5.340 mg/kg, es decir, correspondiendo a las categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (8,37%), el pH es moderadamente básico (8,3), suelo muy salino (C.E. 14.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles es de 63.664 mg/kg y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 78,3 cm/h, es decir, la velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-22**).

Bajo los 42 y hasta los 74 cm (**Fotografía N° 9-21**) se presenta un cuarto horizonte (S 6-2), de textura franca arenosa, en el cual la humedad es de 65,02%, y los valores de los macronutrientes, específicamente, NPK son 68, 4 y 3.435 mg/kg, es decir corresponde a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Suelo en el cual la materia orgánica es muy alta (9,11%), el pH es moderadamente básico (8,0), salino (C.E. 7.441 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 31.720 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 4,8 cm/h, lo que determina que la velocidad de infiltración del agua sea alta (**Tabla N° 9-22**).

Tabla N° 9-22. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Verano 2022.

Punto muestreo	S 6-0	S 6-0a	S 6-1	S 6-2
Profundidad (cm)	0 - 22	22 - 33	33 - 42	42 – 74+
C. E. (μS/cm)	---	---	14.800	7.441
MO (%)	---	---	8,37	9,11
pH	---	---	8,3	8,0
Salinidad (mg/kg)	---	---	63.664	31.720
N (mg/kg)	---	---	72	68
P (mg/kg)	---	---	51	4
K (mg/kg)	---	---	5.340	3.435
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	78,3	4,8
Humedad (%)	---	---	49,81	65,02
Textura	Sal dura	Sal	Franca	Franco arenosa

Fotografía N° 9-21. Vista general perfil punto de muestreo S 6. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

c) Sector Peine

c-1) Punto de Muestreo 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° 9-22**).

Fotografía N° 9-22. Vista general punto de muestreo S 10. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que presenta como primer horizonte (S 10-0) una costra salina entre los 0 a 9 cm (**Fotografía N° 9-23**), extremadamente dura.

A partir de los 9 y hasta los 25 cm, se presenta otro horizonte (S 10-1) de textura franco arenosa y con presencia de abundantes sales con distintos grados de compactación, éste presenta una humedad de 13,29%, y los valores de NPK son 67, 35 y 3.383 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (6,35%), el pH es ligeramente alcalino (9,0), suelo muy salino (C.E. 17.110 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que alcanza a 93.012 mg/kg. Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 113,9 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-23**).

Bajo los 25 y hasta los 45 cm (**Fotografía N° 9-23**), se observa un tercer horizonte (S 10-2) de textura arcillosa, en el cual la humedad es de 32,92%, y los valores de los nutrientes, específicamente, NPK son 55, 9 y 4.375 mg/kg, es decir, categoría alta, baja y alta, respectivamente. Suelo con materia orgánica muy alta (4,68%), pH ligeramente alcalino

(8,5) y muy salino (C.E. 9.686 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dado la concentración de sales solubles que asciende a 35.674 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (159,0 cm/h), ver **Tabla N° 9-23**.

Tabla N° 9-23. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Verano 2022.

Punto muestreo	S 10-0	S 10-1	S 10-2
Profundidad (cm)	0 - 9	9 - 25	25 - 45+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	17.110	9.686
MO (%)	---	6,35	4,68
pH	---	9,0	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	93.012	35.674
N (mg/kg)	---	67	55
P (mg/kg)	---	35	9
K (mg/kg)	---	3.383	4.375
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	113,9	159,0
Humedad (%)	---	13,29	32,92
Textura	Sal	Franco arenosa	Arcillosa

Fotografía N° 9-23. Vista general perfil punto de muestreo S 10. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

c-2) Punto de Muestreo S 11 (VB01)

Terreno suavemente inclinado, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, con nivel freático a los 37 cm, 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° 9-24**).

Fotografía N° 9-24. Vista general punto de muestreo S 11. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Perfil en el cual el primer horizonte (S 11-1) es de textura franca limosa con abundantes raíces, con una humedad de 57,32%, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 122,5 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-24**).

Los macronutrientes (NPK) se presentan en valores de 42, 7 y 697 mg/kg, equivalente a las categorías alta, baja y adecuada, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (17,37%), el pH es medianamente básico (7,8), suelo salino (C.E. 4.773 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y la concentración de sales solubles asciende a 11.957 mg/kg (**Tabla N° 9-24**).

Entre los 22 y 31 cm (**Fotografía N° 9-25**) se presenta un segundo horizonte (S 11-2) de textura franca limosa, en el cual la humedad es de 49,56%, con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 4,7 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua alta. Los macronutrientes, principalmente, el NPK se presenta en valores de 38, 3 y 239 mg/kg, equivalente a las categorías media, muy baja y adecuada, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (5,41%), el pH es moderadamente básico (8,1), no salino (C.E. 1.531 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), dado la concentración de sales solubles que alcanza a los 5.287 mg/kg (**Tabla N° 9-24**).

Tabla N° 9-24. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Verano 2022.

Punto muestreo	S 11-1	S 11-2
Profundidad (cm)	0 - 22	22 - 31+
C. E. (μS/cm)	4.773	1.531
MO (%)	17,37	5,41
pH	7,8	8,1
Salinidad (mg/kg)	11.957	5.287
N (mg/kg)	42	38
P (mg/kg)	7	3
K (mg/kg)	697	239
Conductividad hidráulica (cm/h)	122,5	4,7
Humedad (%)	57,32	49,56
Textura	Franco limosa	Franco limosa

Fotografía N° 9-25. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

c-3) *Punto de Muestreo 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° 9-26**).

Fotografía N° 9-26. Vista general punto de muestreo S 12. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por una sucesión de horizontes de texturas dominantes gruesas (arenas) tanto en superficie como en profundidad con abundantes gravas y gravillas redondeadas en todo el perfil (**Fotografía N° 9-27**).

Entre los 0 y 30 cm se observa un primer horizonte (S 12-1) conformado por sucesivas depositaciones de materiales con dominancia de textura gruesas (franca arenosa), con una humedad de 11,52%, el NPK disponible son 37, 7 y 1.286 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-25**). Suelos con materia orgánica muy alta (4,35%), pH alcalino (9,1), muy salino (9.807 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dado por una concentración de 94.848 mg/kg de sales solubles, y la conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 8,1 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración alta.

Entre los 30 - 60 cm, se observa un segundo horizonte (S 12-2) de textura franco arenosa, en el cual la humedad es de 2,82%, aquí los macronutrientes, específicamente NPK disponible se presentan en valores de 36, 7 y 667 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, baja y adecuada, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es baja (1,59%), el pH es ligeramente alcalino (8,5) y salino (C.E. 7.670 $\mu\text{S}/\text{cm}$) determinado por una concentración de sales solubles de 78.977 mg/kg, y la conductividad hidráulica

(permeabilidad) es de 100 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (Tabla N° 9-25).

Tabla N° 9-25. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Verano 2022.

Punto muestreo	S 12-1	S 12-2
Profundidad (cm)	0 - 30	30 - 60+
C. E. (μ S/cm)	9.807	7.670
MO (%)	4,35	1,59
pH	9,1	8,5
Salinidad (mg/kg)	94.848	78.977
N (mg/kg)	37	36
P (mg/kg)	7	7
K (mg/kg)	1.286	667
Conductividad hidráulica (cm/h)	8,1	100,0
Humedad (%)	11,52	2,82
Textura	Franco Arenosa	Franco Arenosa

Fotografía N° 9-27. Vista general perfil punto de muestreo S 12. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

c-4) Punto de Muestreo 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° 9-28**).

Fotografía N° 9-28. Vista general punto de muestreo S 14. Verano 2022.



Fuente: Elaboración Propia

En superficie se presenta un horizonte (S 14-0) entre los 0 a 4 constituido exclusivamente por sales y extremadamente duro.

Bajo el horizonte anterior y entre 4 y 24 cm, se presenta otro (S 14-1) de textura areno francosa con presencia de abundantes sales y sin cohesión (**Fotografía N° 9-29**), en el cual la humedad es de 24,13%, el NPK se presenta en valores de 25, 1 y 280 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y adecuada, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (13,04%), el pH es alcalino (9,2), corresponde a un suelo ligeramente salino (3.060 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto dado la concentración de sales solubles que asciende a 9.458 mg/kg, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 511,3 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 9-26**).

Entre los 24 y 44 cm, se puede definir un tercer horizonte (S 14-2) de textura franca (**Fotografía N° 9-29**), donde la humedad es de 62,67% y los macronutrientes nutrientes (NPK) presentan valores de 36, 1 y 3.481 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 9-26**).

Suelo donde la materia orgánica es muy alta (7,68%), pH moderadamente básico (8,2), salino (4.934 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual está determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 12.780 mg/k y, la conductividad hidráulica (permeabilidad) de 31,7 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua alta (**Tabla N° 9-26**).

Tabla N° 9-26. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Verano 2022.

Punto muestreo	S 14-0	S 14-1	S 14-2
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 24	24 - 44+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	3.060	4.934
MO (%)	---	13,04	7,68
pH	---	9,2	8,2
Salinidad (mg/kg)	---	9.458	12.780
N (mg/kg)	---	25	36
P (mg/kg)	---	1	1
K (mg/kg)	---	280	3.481
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	511,3	31,7
Humedad (%)	---	24,13	62,67
Textura	Sal dura	Areno francosa	Franca

Fotografía N° 9-29. Vista general perfil punto de muestreo S 14. Verano, 2022.



Fuente: Elaboración Propia

9.2.2 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 que “Mantención 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, esto es 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 referencia de datos bibliográficos los cuales están referidos a los niveles de tolerancia de especies.

10 LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos de invierno 2021 y verano de 2022, 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 2021, el que se desarrolló en terreno entre los días 30 de septiembre y 2 de octubre de 2021, como a los resultados del monitoreo semestral de verano, realizado entre el 15 y 17 de marzo de 2022. 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 y N°5 del PMB.

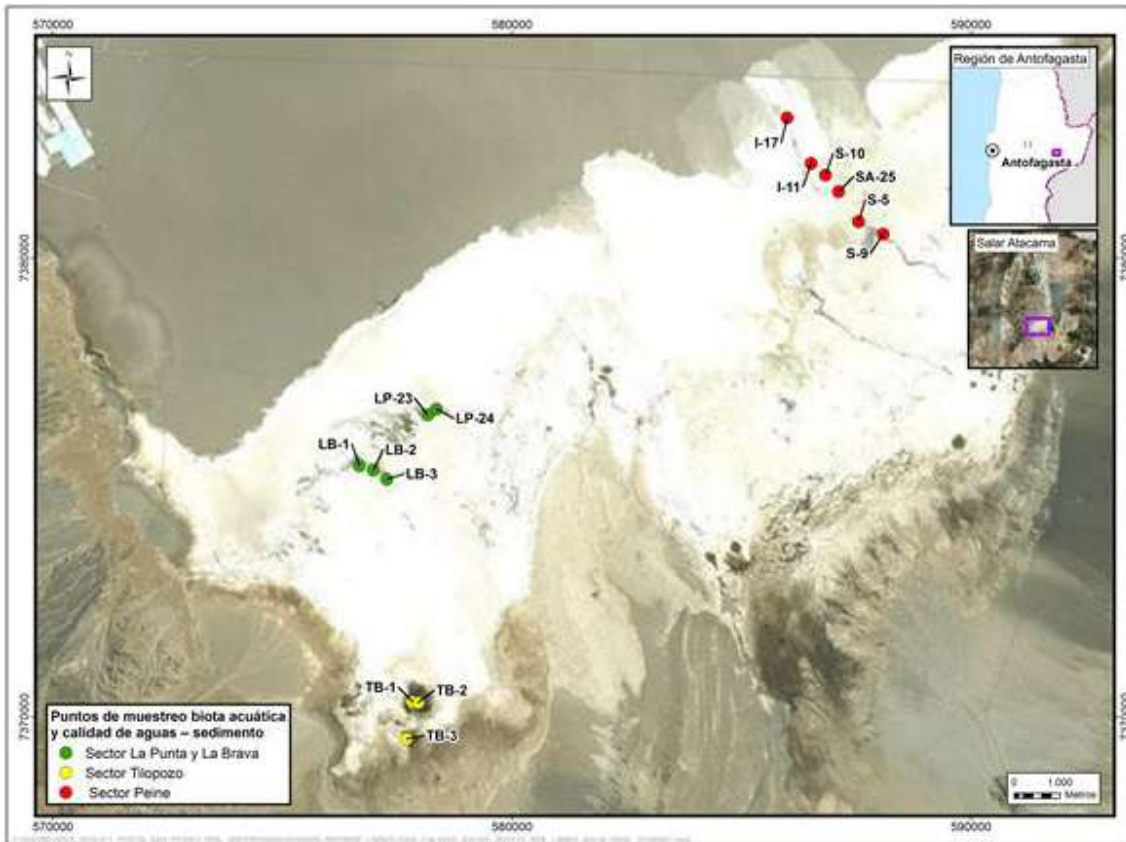
Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2021 y verano 2022.

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 2022, 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. Anexo Cartas Prohibición (**ver Anexo Cartas, Programaciones 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 2021 y verano 2022, 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 del mismo. 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. Lo anterior, considerando que en Chile aún no se cuenta con metodologías estandarizadas dictadas por la autoridad. 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

Componente	Metodología	
	APHA ¹	DMA ²
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 presenta en Anexo “**Permiso de Pesca de Investigación en Anexo Limnología y Tapetes Microbianos_Calidad de Agua**” de este Informe Anual N°6.

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).
- **Zooplancton:** La estimación de la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica se realizó obteniendo muestras representativas del plancton, utilizando una red o tamiz dotado con una malla N°10 (110 µm). Las muestras se tomaron en duplicado y se realizó extrayendo un volumen conocido de agua superficial con un contenedor graduado, para posteriormente ser filtrado en el tamiz o red. Cada muestra fue preservada en alcohol al 70% de concentración final. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa en una cámara BOGOROW, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos zooplanctónicos se realizó en base a los trabajos de Araya & Zuñiga (1985) y Pennak (1989).

Para cada componente o ensamble biológico de la biota acuática (fitobentos, fitoplancton fauna bentónica y zooplancton) se realizó un análisis comunitario, estimándose la abundancia, riqueza de *taxa*, diversidad de *taxa* y equidad para cada punto de muestreo: La diversidad biológica de Shannon-Wiener (H') y su cálculo se realizó en base a todos los organismos presentes en las muestras según la expresión:

$$H'(nits) = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$

Donde, S = número de especies y pi = proporción de la especie i en la muestra

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y el logaritmo natural (S), tendiendo a cero en comunidades poco diversas.

También se determinó la homogeneidad de las abundancias de especies en la muestra a través del índice de equidad (J'), de acuerdo a la expresión:

$$J' = \frac{H'}{H \max} = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde, H' = índice de Shannon-Wiener, H'max = valor máximo teórico de H' y S = número de especies.

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y 1, tendiendo a uno en comunidades donde los taxa están representados de forma equitativa.

10.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales, equipos e instrumentos utilizados se indican en la **Tabla N° 10-6** y **Tabla N° 10-7**.

Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición *in situ* de parámetros del agua

Análisis	Referencias del Método
Temperatura (°C)	Medidor Multiparamétrico HANNA HI 98194
pH	
Oxígeno disuelto (mg/L)	
Conductividad (µS/cm)*	

Fuente: Elaboración propia. * La medición de Conductividad en terreno es solo referencial, los valores presentados en los informes de ensayo corresponden a los medidos en laboratorio.

Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.

Componente	Instrumento/fijador
Fitobentos	Cepillo para superficies duras (25 cm ²) y Jeringa-core de 5 mL para superficies blandas. Fijador Lugol
Fitoplancton	Fascos 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 2021 se realizó entre las fechas 30 de septiembre y 2 de octubre de 2021, 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 15 y 17 de marzo de 2022. En la **Tabla N° 10-8** se presenta el detalle de las fechas de visita por sector y obtención de muestras para cada variable evaluada en los monitoreos respectivos.

Tabla N° 10-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables.

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector Peine		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Agua	Temperatura	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	pH	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Conductividad	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Salinidad	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Turbiedad	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Oxígeno disuelto	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Clorofila "a" en Fitoplancton	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Clorofila en Perifiton	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Alcalinidad Total (CaCO ₃)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Bicarbonato (CaCO ₃)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Carbonatos (CaCO ₃)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Cloruro (Cl)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Nitrato (N-NO ₃ -)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Nitrito (N-NO ₂ -)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Fosforo Total	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Ortofosfato	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Sulfato (SO ₄ -2)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
Aceites y Grasas (A y G)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22	
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Fosforo Total (P) M.S.	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Materia Orgánica	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Nitrógeno Total Kjeldahl	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Potencial Redox	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
Biota	Fitobentos	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Fitoplancton	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Zoobentos	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Zooplancton	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22
	Macrófitas	01-10-2021	16-03-22	30-09-2021	15-03-22	02-10-2021	17-03-22

Fuente: Elaboración propia.

10.2 RESULTADOS

10.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2021 y verano 2022

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 2021 y verano 2022.

10.2.1.1 Sector Peine

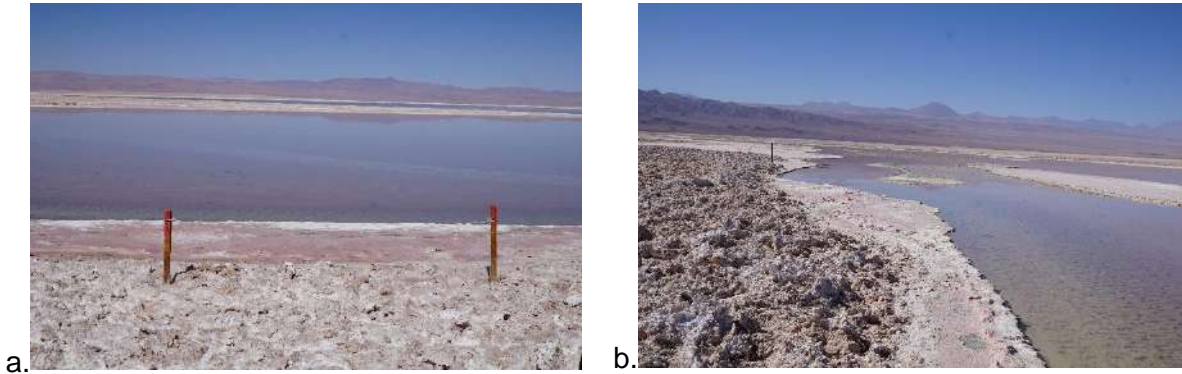
El Sector Peine fue monitoreado en seis estaciones de muestreo, de las cuales dos se encuentran en la laguna Salada (S-9 y S-5), dos en la laguna Saladita (S-10 y SA-25) y dos estaciones ubicadas en laguna Interna (I-11 e I-17) (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**). Cabe señalar que en la campaña de verano 2022, no fue posible acceder a algunas estaciones del Sector Peine, específicamente, S-9 (Laguna Salada) y SA-25 (Laguna Saladita), debido a las restricciones impuestas por la comunidad de Peine, por lo cual solo se incorpora en el presente informe la caracterización del hábitat de la campaña invierno 2021 y verano 2022, esta última solo para las estaciones monitoreadas.

- Estación S-9

La estación S-9, campaña de invierno 2021, se ubica en un afluente dentro de la laguna Salada, a una altura geográfica de 2308 msnm, con un ancho de sección estimado de 60 m y una profundidad baja observada de 8,0 cm en promedio.

El sustrato de la estación corresponde a sedimentos constituidos por limo, arcilla y arena, con un flujo moderado y de aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas sumergidas, sin helófitas y vegetación ribereña y con presencia de flamencos (ver **Fotografía N° 10-2**). Cabe señalar que, la estación S-9, no fue monitoreada en la campaña verano 2022.

Fotografía N° 10-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2021 a. Panorámica de la estación y b. Sustrato fino, flujo moderado y baja profundidad.

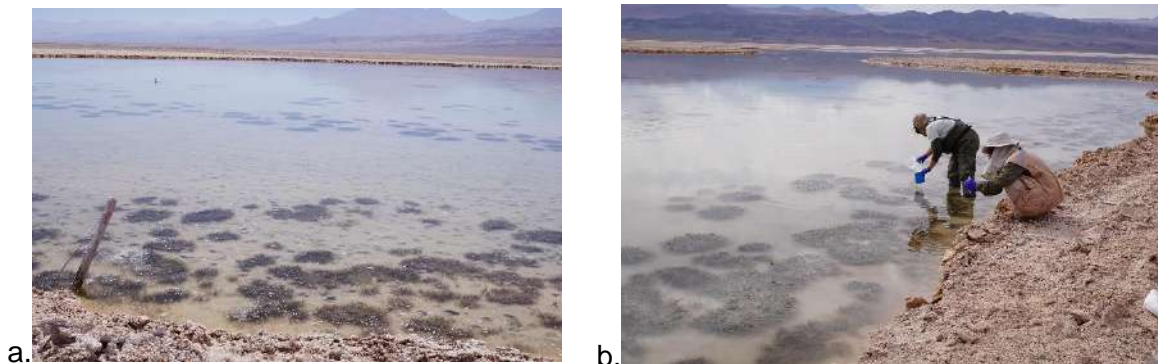


Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-5

La estación S-5, corresponde a un sector somero de laguna Salada, ubicada a una altura geográfica de 2317 msnm, con un ancho de sección estimado de 101 m y una profundidad baja de 8,5 cm en promedio en invierno y de 10,33 cm en verano. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con flujo bajo en invierno y sin flujo en verano y con aguas transparentes en invierno y ligeramente turbias en verano. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin presencia de vegetación ribereña en ambas campañas de monitoreo (**Fotografía N° 10-3**).

Fotografía N° 10-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2021 y verano 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Panorámica de la estación verano.

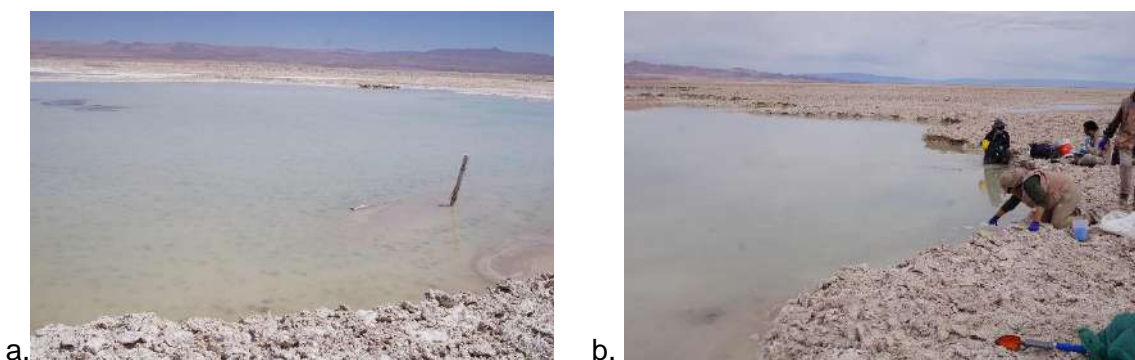


Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-10

La estación S-10 corresponde a un sector somero de la laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2306 msnm, con un ancho de sección estimado de 54 m y con una profundidad baja de 12,5 cm en promedio en invierno y de 8 cm en verano. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo en invierno y bajo flujo en verano y de aguas transparentes en invierno y muy turbias en verano. 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 2021 y verano 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Panorámica de la estación verano.

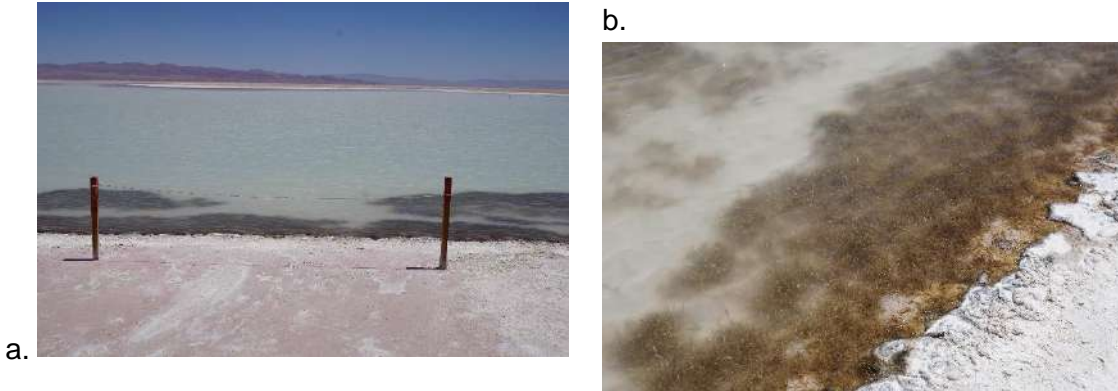


Fuente: Elaboración propia.

- Estación SA-25

La estación SA-25, campaña de invierno 2021, corresponde a un sector somero de la laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2310 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 315 m, de profundidad baja con 12,8 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 y con presencia de flamencos (**Fotografía N° 10-5**). Cabe señalar que, la estación SA-25, no fue monitoreada en la campaña verano 2022.

Fotografía N° 10-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación en invierno. b. Parche de la hidrófita *Ruppia* en línea de costa y sustrato fino.

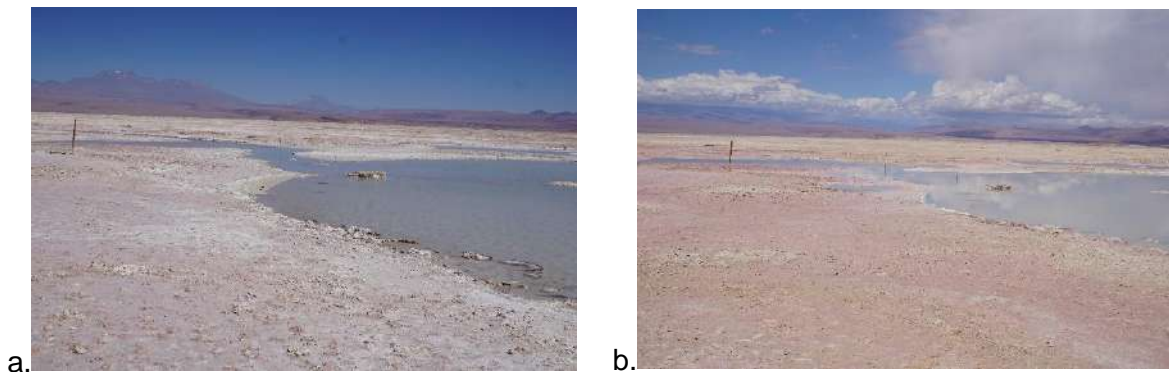


Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-11

La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2308 msnm, presentó un ancho de sección estimado de 14 m en verano, con una profundidad baja de 4,7 cm en promedio para ambas campañas. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, de bajo flujo y con aguas transparentes en invierno y ligeramente turbias en verano. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas, sin vegetación ribereña. Cabe señalar que la estación presentó una alta desecación en ambas campañas de monitoreo y un espejo de agua de menor tamaño respecto de las campañas anteriores. (Fotografía N° 10-6).

Fotografía N° 10-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2021 y verano 2022. a. Panorámica de la estación invierno. b. Panorámica de la estación verano.

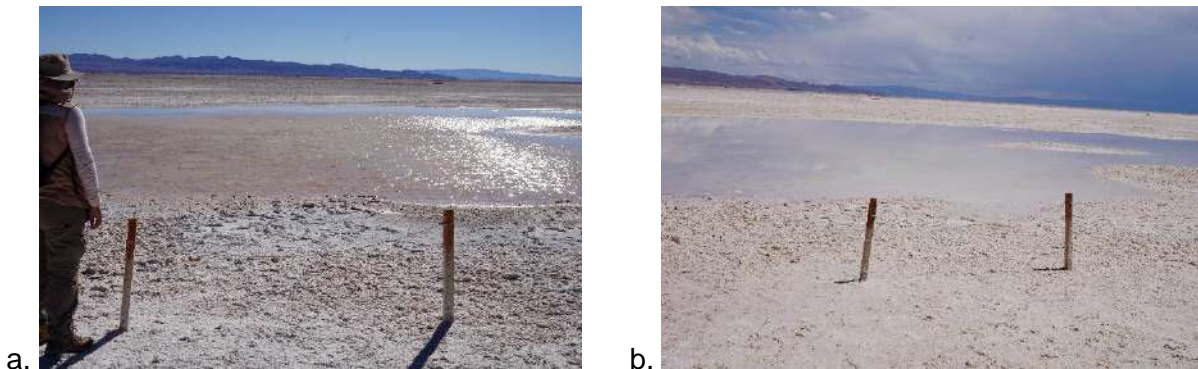


Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-17

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2306 msnm, con un ancho de sección estimado de 24 m en verano, con una profundidad baja de 5,0 cm en promedio en invierno y de 3,7 cm en verano. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña. La estación presentó una alta desecación y 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 2021. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino.



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 de 2309 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 245 m, con una profundidad de 15,0 y 12,8 cm en promedio entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, bajo flujo y con aguas transparentes. La estación de monitoreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña ni en

invierno ni en verano (**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 2021 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas y Campaña Verano 2022 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.

a.



b.



c.



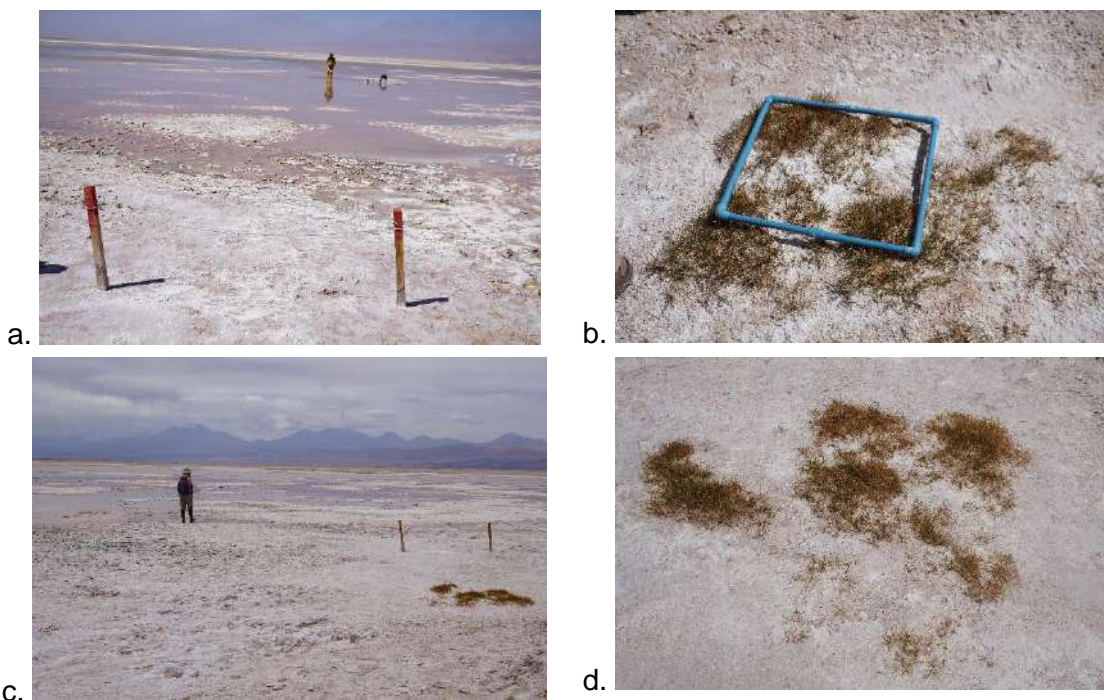
d.

Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2303 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 252 m en invierno y de 247 m en verano, y de profundidad 8,3 y 4,0 cm en promedio entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes a ligeramente turbias. 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 en ambas campañas de monitoreo respecto de campañas anteriores (**Fotografía N° 10-9**).

Fotografía N° 10-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2021 y Verano 2022. a y c. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófitas: *Triglochin concinna*).

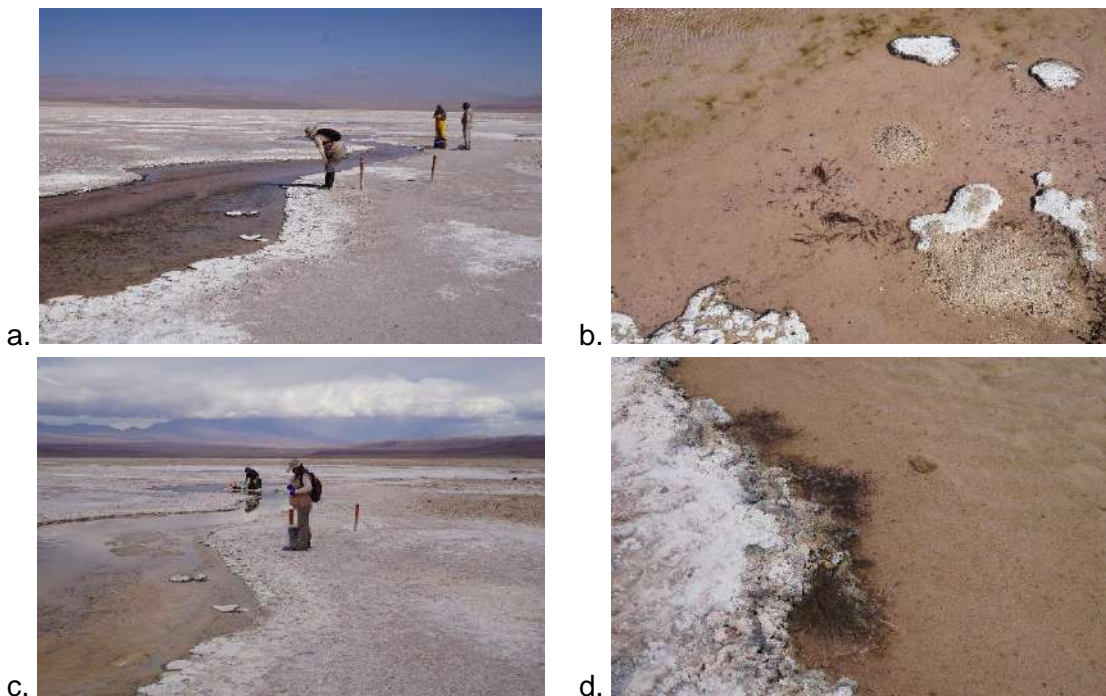


Fuente: Elaboración propia.

- 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 de 2305 msnm, con un ancho de sección estimado de 16 m y 9,5 m entre periodos de monitoreos, de profundidad baja con 4,7 y 3,7 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 (**Fotografía N° 10-10**).

Fotografía N° 10-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2022. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita.

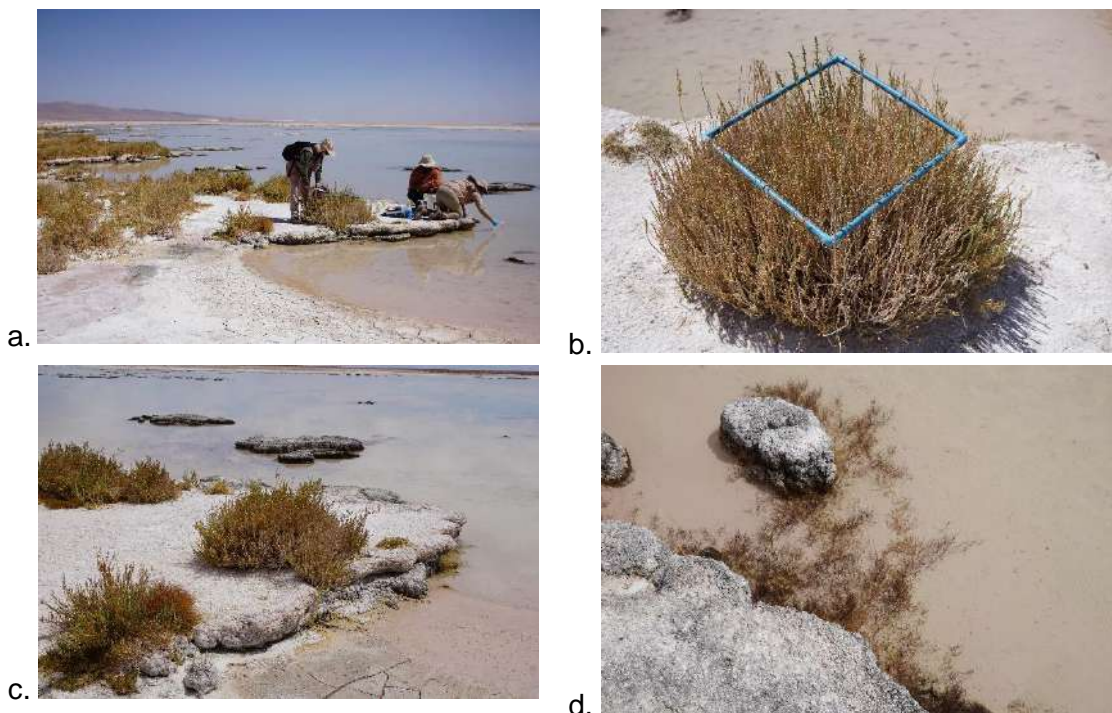


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2305 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 140 m en invierno y verano, y de profundidad baja la que osciló entre 10,0 y 6,0 cm entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, 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 bajo flujo, y con aguas ligeramente turbias a 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 2021. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* (helófito). Campaña Verano 2022. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófita (*Ruppia*).

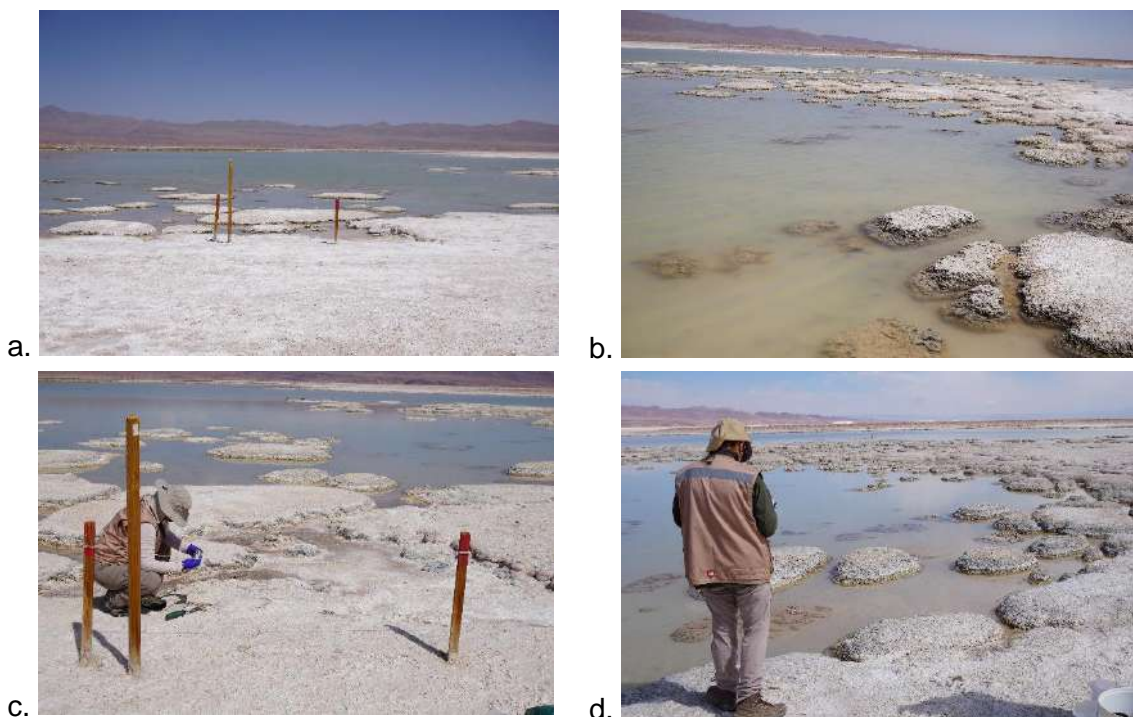


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-24

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2309 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 473 m en invierno y verano, y de profundidad baja la que osciló entre 11,7 y 9,7 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo en invierno y con bajo flujo en verano y con aguas de muy 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 2021 y Verano 2022. 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

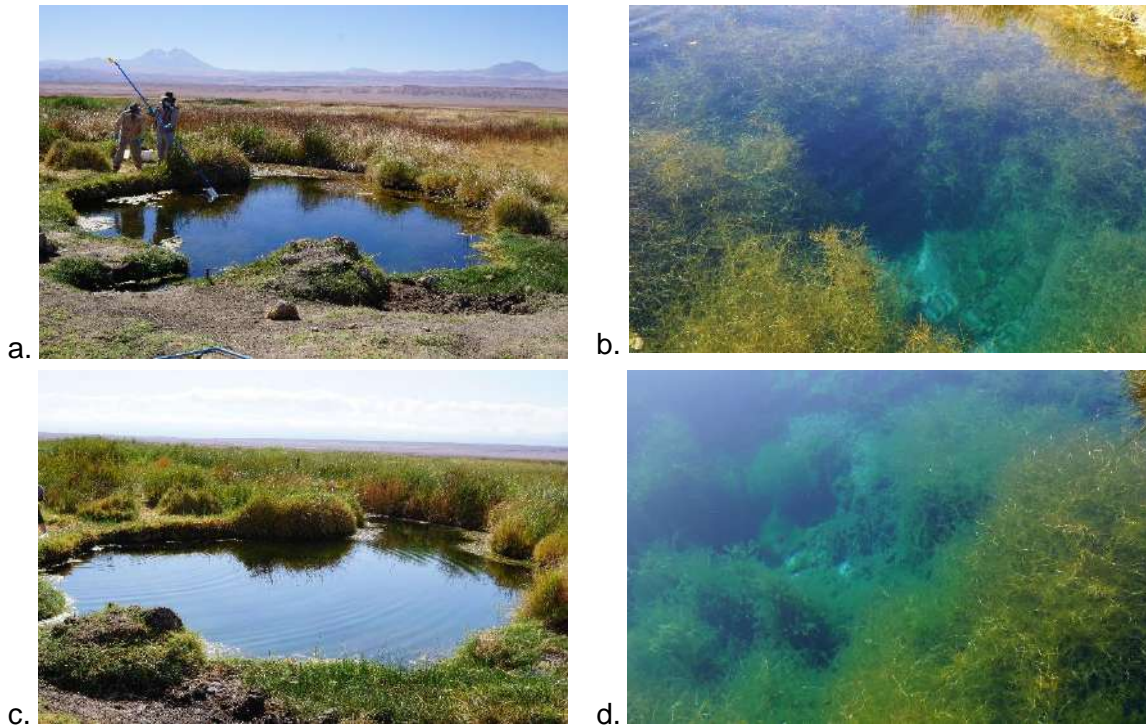
La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2278 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 7,5 m en invierno y verano, y de profundidad de 290 y 233 cm en ambos periodos de

monitoreo respectivamente. 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 2021 y Verano 2022 a y c.
Vista panorámica de la estación b y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua.**



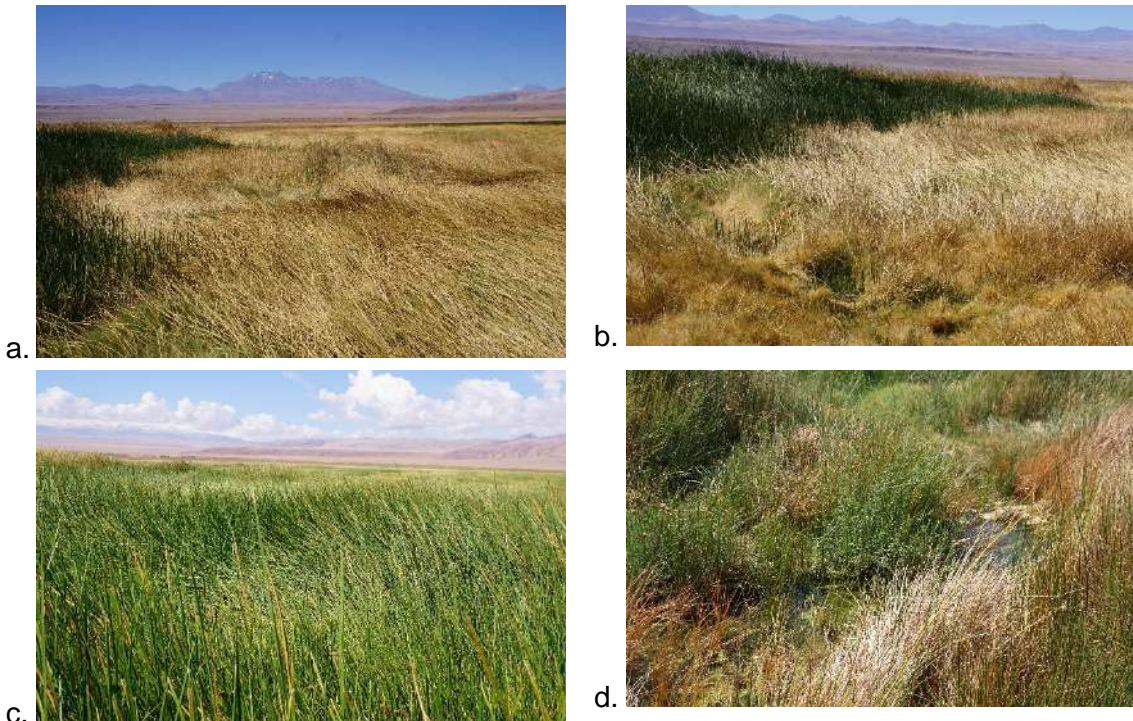
Fuente: Elaboración propia.

- Estación TB-2

La estación TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2307 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 16,3 x 22,0 m en invierno y en verano. En la campaña de invierno 2021 y, no fue posible monitorearla en columna de agua, dado que la estación de monitoreo estaba sin agua superficial y cubierta en un 100% por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Schoenoplectus* (**Fotografía N° 10-14 a y b**).

En tanto, en verano 2022, hacia un costado de la estación fluye un pequeño brazo emergente de 1 m de ancho y de 9,8 cm de profundidad. Respecto del sustrato la estación de monitoreo estaba completamente cubierta por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus* y *Schoenoplectus* (**Fotografía N° 10-14 c y d**).

Fotografía N° 10-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2021. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófitas *Schoenoplectus californicus*. Campaña Verano 2022. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y d. Escurrimiento al costado de la estación de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia.

- Estación TB-3

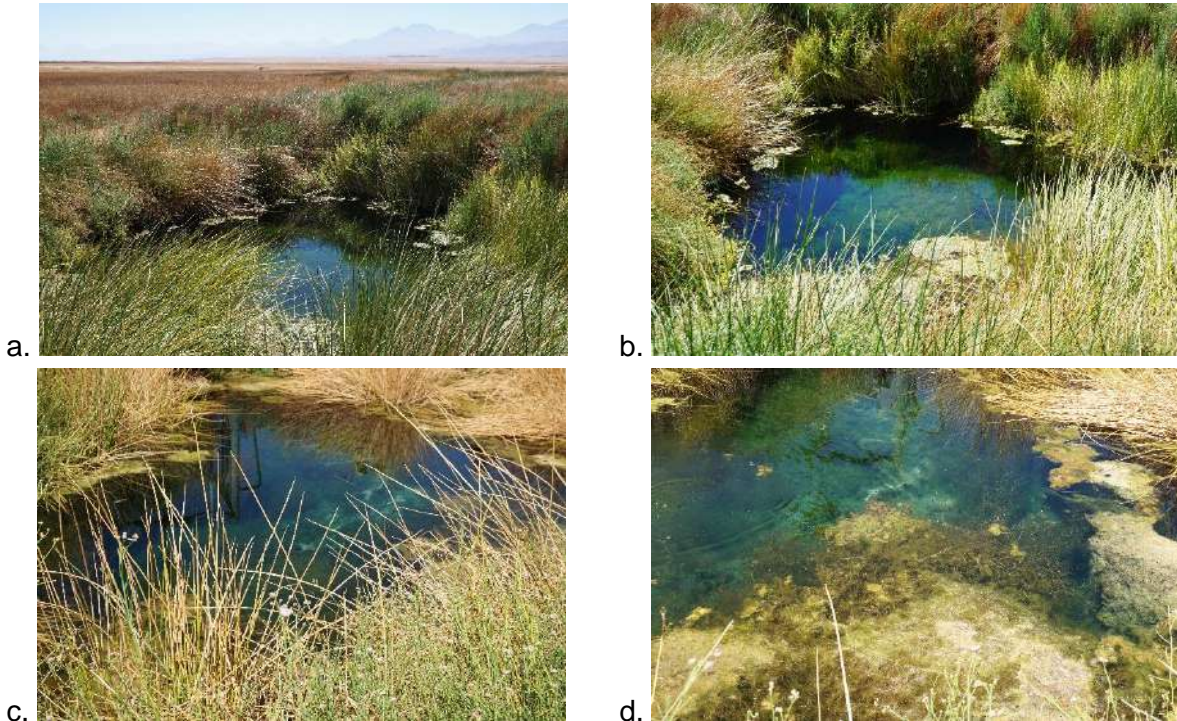
La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2314 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado entre 9,2 y 8,8 m en invierno y verano, y de una profundidad de 271 y 180 cm en ambos periodos de monitoreo respectivamente. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas ligeramente turbias a transparentes según el periodo 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 2021 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 2022 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 2021 (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 2021 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

Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2021).

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	14,45	19,75	18,88	24,17	25,78	23,03
pH (**)	U pH	-	6,13	8,6	8,01	8,45	8,29	8,27	8,11	8,13
Conductividad (**)	µS/cm	-	25350	235000	26260	36400	50460	51990	54700	67460
Salinidad	g/kg	-	8,7	66,5	18	23	34	34	37	N.D.
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,34	11,2	6,94	8,7	5,75	5,93	4,53	3,97
Turbiedad (**)	UNT	-	3	152	5,7	24,5	15,9	34,7	23,6	25,9
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	18,2	1,25	4,19	1,19	1,41	0,28	2,42
Clorofila "a" en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-	82,39	44,19	28,19	33,48	6,64	19,53
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	1,2	-	-	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1,2	51	1564,7	291,7	222,7	214,1	215,9	203,1	236,6
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1,2	91,26	1908,07	291,7	222,7	214,1	215,9	203,1	236,6
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	1,2	<5	139,54	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	8494	194099	14180	17937,7	31408,7	24389,6	20844,6	35024,6
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	0,023	<0,15	21,2	<0,023	5,18	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
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	0,02	0,015	<0,01	0,041	0,266	0,113
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	<0,1	8,66	1,4	1,9	1,4	1,6	1,5	2
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	1235	1405	2125	1708	1983	2703
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	619	<4	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) 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. (**) Parámetros registrados *in situ*. N.D.: No determinado (se solicitó al laboratorio ANAM corrección, pero no hubo respuesta a la fecha de entrega del presente informe. Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**). 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.

Los resultados para el Sector de Peine (**Tabla N° 10-9**) en general se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad (entre 26260 $\mu\text{S/cm}$ y 67460 $\mu\text{S/cm}$) y salinidad elevada (entre 18 y 37 g/Kg) incrementándose los valores de estos parámetros desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual está asociado principalmente al contenido de sales como cloruros (entre 14180 mg/L y 35024,6 mg/L) y sulfatos (entre 1235 mg/L y 2703 mg/L) que presentaron la misma tendencia. Las temperaturas estuvieron acordes con la baja profundidad de estos cuerpos de agua, oscilando entre 14,45 y 25,78°C (máximo en estación I-11 de laguna Interna). El pH fue alcalino con valores entre 8,01 y 8,45, los cuales se corresponden con los obtenidos para los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato.

El oxígeno disuelto registrado, estuvo en un rango de 8,7 a 3,97 mg/L, disminuyendo desde laguna Salada a laguna Interna. La turbiedad tuvo valores entre 5,7 y 34,7 UNT, alcanzando el mayor registro en laguna Saladita (S-10). La clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 0,28 y 4,19 $\mu\text{g/L}$, con su valor máximo registrado en laguna Salada (S-5). Los compuestos nitrogenados en general mostraron valores bajos (la gran mayoría bajo el límite de detección), donde el Nitrógeno Total Kjeldhal arrojó valores entre 1,4 y 2 mg/L. A su vez, el fósforo total y el ortofosfato también mostraron valores bajo el límite de detección (<0,127 mg/L y <0,5 mg/L, respectivamente).

10.2.2.1.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

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	16,89	15,23	24,94	28,42	26,03
pH (**)	Unidad de pH	-	7,77	8,38	8,28	8,41	8,12	8,08	8,37
Conductividad (**)	$\mu\text{S/cm}$	-	22300	149500	44660	47070	88150	106700	31660
Salinidad	g/kg	-	22,7	36,3	31	33	N.D.	<1	22
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,69	9,72	4,02	3,93	3,35	3,1	8,45
Turbiedad (**)	UNT	-	1,3	31,4	7,1	8	6,1	6	2,4
Clorofila “a” Fitoplancton	$\mu\text{g/L}$	0,02	0	31,9	0,27	0,57	<0,02	1,08	1,88
Clorofila “a” en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-	3,56	13,52	<0,02	4,45	124,07
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	1,2	-	-	9,5	9,8	<1,2	<1,2	8,6
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1,2	268	806	442,1	485	524,6	613,4	284,7
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1,2	240	311,1	423,1	465,4	524,6	613,4	267,5
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	1,2	53,86	307,5	19	20	<1,2	<1,2	17

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	12071	58199	16023,4	17654,1	38427,8	52749,6	11627,6
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	<0,046	0,245	<0,023	<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
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	<0,01	0,268	0,031	0,039	0,105	0,053	<0,01
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	<0,1	3,19	1,2	1,5	1,7	1,8	1
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,05	3,77	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,255	3,29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ -2)	mg/L	10	1385	7261	1396	1538	3754	5600	2684
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) 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. (**) Parámetros registrados *in situ*. N.D.: No determinado (se solicitó al laboratorio ANAM corrección, pero no hubo respuesta a la fecha de entrega del presente informe, Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**). 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.

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-10**) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 31660 y 106700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y elevadas salinidades (entre 22 y 33 g/Kg)³⁷. La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruros (entre 11627,6 y 52749,6 mg/L) y sulfatos (entre 1396 y 5600 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 44660 y 47070 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y de 31 y 33 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (16023,4 y 17654,1 mg/L) y sulfato (1396 y 1538 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 (15,23 a 28,42 °C), junto con un pH alcalino entre 8,08 y 8,41, cuyos valores se corresponden con los parámetros de alcalinidad total (284,7 a 613,4 mg/L) y bicarbonato (267,5 a 613,4 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 3,1 y 8,45 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 1,88

³⁷ El valor de <1 reportado para la salinidad en la estación LB-2 no se incluyó en el análisis, ya que no se condicen con los altos valores de conductividad (106.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$), cloruros (52.749,6 mg/L) y sulfatos (5.600 mg/L) registrados en esa estación. Se solicitó al laboratorio de referencia la revisión de ese dato sin resolución al momento de la entrega del presente informe.

µg/L. La turbiedad tuvo un rango de valores entre 2,4 y 8 UNT y los compuestos nitrogenados (nitrito, nitrito y amonio), tuvieron valores bajos o por debajo el límite de detección, a diferencia del Nitrógeno Total Kjeldhal que presentó valores entre 1 mg/L y 1,8 mg/L. Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector.

10.2.2.1.3 Resultados Sector Tilopozo

En esta campaña de invierno 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial. En general los valores obtenidos en el sector de Tilopozo (**Tabla N° 10-11**), muestran un sistema mucho menos salino que los otros sectores, con valores más bajos respectivamente en conductividad (entre 4259 y 4271 µS/cm), salinidad (2 g/Kg), cloruros (1276,2 y 2339,7 mg/L) y sulfatos (459 y 510 mg/L). El pH fue neutro (entre 6,89 y 6,9), con valores correspondientes con los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato. Las temperaturas registradas en general fueron altas en estos cuerpos de agua que oscilaron entre 25,19 y 25,5 °C. El oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3,27 y 3,68 mg/L. Por otro lado, la turbiedad mostró un rango de valores bajos entre 0,6 y 0,9 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 0,47 y 0,92 µg/L. Por su parte el nitrito fluctuó entre 4,076 y 4,266 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldhal presentó valores de 2,7 a 5 mg/L. Los otros compuestos nitrogenados (nitrito y amonio) tuvieron valores bajo el límite de detección en las dos estaciones muestreadas en el sector, al igual que los parámetros de fósforo total y ortofosfato.

Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2021).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Temperatura (**)	°C	-	25,5		25,19
pH (**)	Unidad de pH	-	6,9		6,89
Conductividad (**)	µS/cm	-	4259		4271
Salinidad	g/kg	-	2		2
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	3,68		3,27
Turbiedad (**)	UNT	-	0,9		0,6
Clorofila "a" Fitoplancton	µg/L	0,02	0,47		0,92
Clorofila "a" en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	31,3	Sin Agua Superficial	60,41
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	1,2	<1,2		<1,2
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1,2	339,6		354,8
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1,2	339,6		354,8
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	1,2	<1,2		<1,2
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	1276,2		2339,7
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	0,023	4,076		4,266
Nitrito (N-NO ₂ -)	mg/L	0,023	<0,023		<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	<0,01		<0,01

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	2,7		5
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,127		<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	<0,5		<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	10	510		459
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4		<4

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo. (**) 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 2021.

10.2.2.2.1 Resultados Sector Peine

En la **Tabla N° 10-12**, se presentan los resultados de calidad en sedimentos para campaña invierno 2021 del Sector de Peine.

Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2021).

Parámetro	Unidad	LD	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	10	3	43	130	60	120	70	90	10
Fósforo Total (P) ³⁸	mg/Kg	1000	34	78	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	0,14	5,3	9,311	14,024	8,283	7,809	7,602	3,228
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4	10,96	18,65	12,85	10,84	12,27	7,52
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

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° 10-12**) la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 10 a 130 g/Kg y de 7,52% a 18,65%, respectivamente, registrándose los valores más altos en laguna Salada. El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió de 3,228 a 14,024 g/Kg, con su máximo registro en la estación S-5. Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector (<1000 mg/Kg). Referente al potencial óxido-reducción, en

³⁸ El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/Kg, es decir 1000 mg/Kg, siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/Kg. Se solicitó al laboratorio ANAM rectificación del límite de detección para este análisis mencionando que "De acuerdo a las nuevas indicaciones de SMA se ingresan los análisis con sus respectivos LD". Ver **Anexo Limnología – Sedimentos**.

todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores bajo el límite de detección (<0,1).

Respecto a la granulometría, en laguna Salada el diámetro medio de grano obtenido en S-9, correspondió a *Arena Gruesa* (0,918 mm) con un grado de selección de *Pobrementemente seleccionado*. En laguna Saladita, en las estaciones SA-25 y S-10 el diámetro medio de grano estuvo entre *Arena Media* (0,449 mm) y *Arena Fina* (0,157 mm), con un grado de selección obtenido de *Muy pobrementemente seleccionado*. En laguna Interna, en la estación I-17, el diámetro medio de grano obtenido correspondió a *Arena Fina* (0,202 mm), con un grado de selección de *Pobrementemente seleccionado* (**Tabla N° 10-13**).

Cabe mencionar que el ensayo de granulometría para las estaciones S-5 e I-11 de este sector no se pudieron ejecutar. La ETFA ANAM informó que las muestras de sedimentos obtenidas durante la campaña de invierno 2021 en esa estación, presentó dificultades para realizar el análisis granulométrico, ya que se aglomeró luego de la preparación y no fue posible tamizarla, imposibilitando la determinación del ensayo de granulometría para estas estaciones (**Ver carta en Anexo Limnología – Sedimentos**).

Tabla N° 10-13: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Peine (invierno 2021).

Laguna	Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
		(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
Salada	S-9	0,918	Arena Gruesa	0,004	Pobrementemente seleccionado
Saladita	SA-25	0,449	Arena Media	0,009	Muy pobrementemente seleccionado
	S-10	0,157	Arena Fina	0,009	Muy pobrementemente seleccionado
Interna	I-17	0,202	Arena Fina	0,004	Pobrementemente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. Estadísticas de tamaños de grano obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

10.2.2.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-14** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2021 del Sector de La Punta –La Brava.

Tabla N° 10-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

Parámetro	Unidad	LD	Min LB	Max LB	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	10	22	48	120	120	90	120	130
Fósforo Total (P) ³⁹	mg/Kg	1000	8	55	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	1,596	6,351	4,863	6,479	9,493	8,846	12,254
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	8,25	8,56	11,84	12,86	15,87
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

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° 10-14**) la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 90 a 130 g/Kg y de 8,25% a 15,87%, respectivamente, registrándose los mayores valores para estos parámetros en la estación LB-3 (laguna La Brava). El Nitrógeno Total Kjeldahl, varió entre 4,863 y 12,254 g/Kg, con el mayor valor registrado en LB-3 (La Brava) y el mínimo en LP-23 (laguna La Punta). Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron bajo el límite de detección en todas las estaciones del sector (<1000 mg/Kg)⁴⁰. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores bajo el límite de detección (<0,1).

Respecto a la granulometría, en laguna La Punta el diámetro medio de grano obtenido en LP-24, correspondió a *Arena Media* (0,276 mm) con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *Grava Muy Fina* (2,341 mm) en LB-2 y *Arena gruesa* (0,546 mm) en LB-3, con un grado de selección de *Muy bien seleccionado* en LB-2 y *Muy pobremente seleccionado* en LB-3 (**Tabla N° 10-15**).

³⁹ El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/Kg, es decir 1000 mg/Kg, siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/Kg. Se solicitó al laboratorio ANAM rectificación del límite de detección para este analito mencionando que "De acuerdo a las nuevas indicaciones de SMA se ingresan los análisis con sus respectivos LD". Ver **Anexo Limnología – Sedimentos**.

⁴⁰ El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/Kg, es decir 1000 mg/Kg, siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/Kg. Se solicitó al laboratorio ANAM rectificación del límite de detección para este analito mencionando que "De acuerdo a las nuevas indicaciones de SMA se ingresan los análisis con sus respectivos LD". Ver **Anexo Limnología – Sedimentos**.

Cabe mencionar que el ensayo de granulometría para las estaciones LP-23 y LB-1 de este sector no se pudieron ejecutar. La ETFA ANAM informó que las muestras de sedimentos obtenidas durante la campaña de invierno 2021 en esa estación, presentó dificultades para realizar el análisis granulométrico, ya que se aglomeró luego de la preparación y no fue posible tamizarla, imposibilitando la determinación del ensayo de granulometría para estas estaciones (Ver Carta R145/2021 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**).

Tabla N° 10-15: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

Laguna	Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
		(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
La Punta	LP-24	0,276	Arena Media	0,007	Muy pobremente seleccionado
La Brava	LB-2	2,341	Grava Muy Fina	0,001	Muy bien seleccionado
	LB-3	0,546	Arena Gruesa	0,004	Muy pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. Estadísticas de tamaños de grano obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

10.2.2.2.3 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-16** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2021 del Sector de Tilopozo.

Tabla N° 10-16. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2021).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	10	130	Sin agua superficial	130
Fósforo Total (P) ⁴¹	mg/Kg	1000	1100		<1000
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	10,204		11,328
Materia Orgánica	%	0,28	13,56		14,9
Potencial Redox	mV	-	96,4		56,2

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

La estación TB-2 en la campaña de verano 2021 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de 2 a 3 m de profundidad de afloramiento subsuperficial. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) de 130 g/Kg en ambas estaciones y de materia orgánica entre 13,56% (TB-1) y

⁴¹ El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1 g/Kg, es decir 1000 mg/Kg, siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/Kg. Se solicitó al laboratorio ANAM rectificación del límite de detección para este analito, mencionando que "De acuerdo a las nuevas indicaciones de SMA se ingresan los análisis con sus respectivos LD". Ver **Anexo Limnología – Sedimentos**.

14,9% (TB-3). El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 10,204 g/Kg (TB-1) y 11,328 g/Kg (TB-3). El fósforo total, por su parte, presentó valores de 1100 mg/Kg (TB-1) y <1000 mg/Kg (TB-3). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentaron características de favorecer reacciones oxidativas, con valores de 96,4 mV en TB-1 y de 56,2 mV en TB-3.

Los resultados granulométricos para el sector de **Tilopozo**, muestran que el diámetro medio de grano obtenido correspondió a *Arena Fina* en TB-1 (0,244 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*, mientras que en TB-3 correspondió a *Grava Muy Fina* (2,319 mm), con un grado de selección de *Bien seleccionado* (**Tabla N° 10-17**).

Tabla N° 10-17: Resultados granulométricos de los Sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2021).

Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
TB-1	0,244	Arena Fina	0,006	Muy pobremente seleccionado
TB-3	2,319	Grava Muy Fina	0,001	Bien seleccionado

Fuente: Elaboración propia. Estadísticas de tamaños de grano obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

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 2021 estuvo compuesta por 21 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 4 géneros en la estación SA-25 y 12 géneros en la estación S-9 e I-11. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 4832 cel/cm² en S-10 (laguna Saladita) y 28950 cel/cm² en SA-25 (laguna Saladita) (**Tabla N° 10-18**).

La comunidad que presentó la mayor diversidad correspondió a la estación I-17 con 1,75 nits/ind, ubicada en la laguna Interna, mientras que, en la estación de Saladita (SA-25), se registró el menor valor de diversidad con 0,80 nits/ind (**Tabla N° 10-18**). Respecto de la

equidad, se observó que el mayor valor lo presentó la estación I-17 ubicada en la laguna Interna con 0,76 y el menor en la estación S-10.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en la campaña de invierno 2021, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Halamphora* y *Navicula* (**Figura N° 10-2**).

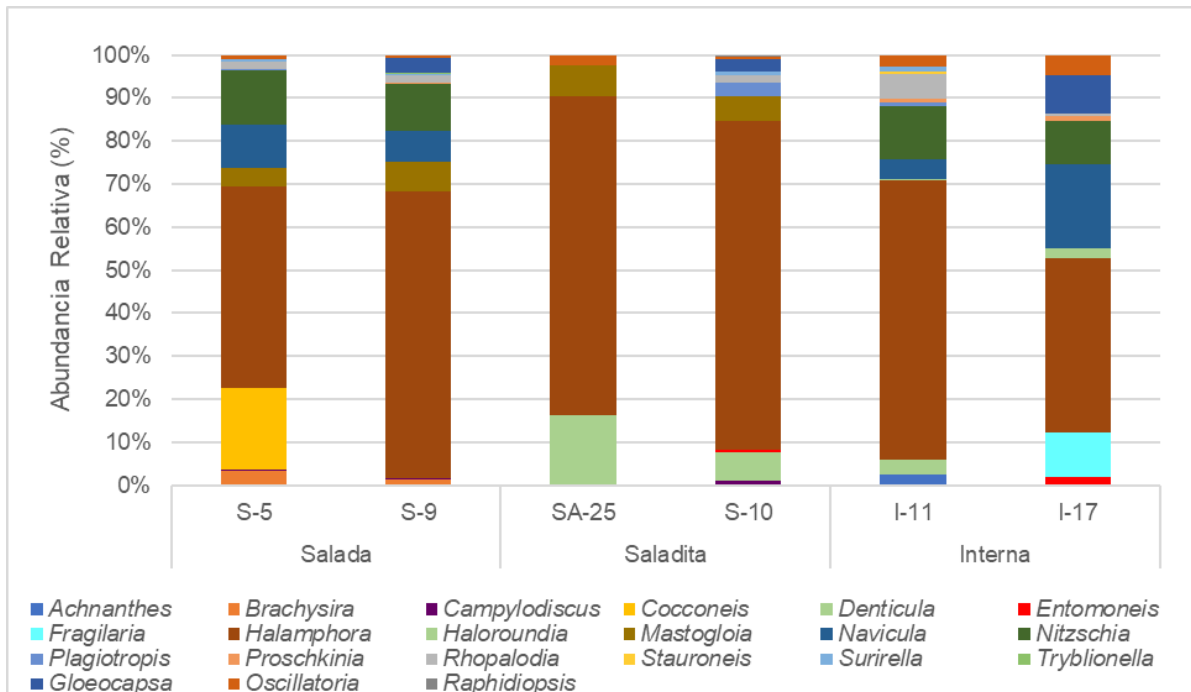
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2021.

Tabla N° 10-18. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>					147	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	238	98				
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	31	38		57		
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1350					
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>			4725	316	220	
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>				21		500
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>						2800
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	3331	5408	21450	3700	3974	10925
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>					24	600
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	306	555	2100	277		
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	731	578			283	5250
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	894	893			757	2725
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>	25			150	61	
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>		15			37	300
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	119	135		78	366	150
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>					24	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	44	30		47	73	
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Tryblionella</i>		30					
Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>		285		135		2375
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	63	45	675	31	169	1275
	Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Raphidiopsis</i>				21		
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2021					
Abundancia total (cell/cm²)		46,8	61190,4	7131	8108	28950	4832	6133	26900
Riqueza de géneros (S)		2	14	11	12	4	11	12	10
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,60	1,23	0,80	1,00	1,33	1,75
Equidad (J')		-	-	0,67	0,50	0,57	0,42	0,53	0,76

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 cell/cm² considerando campañas de invierno y verano LB, y no al presentado en el Informe Anual 2, con un valor de 13 cell/cm². Respecto del valor máximo corresponde a 61190,4 cell/cm² y no a 6787 cell/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 2021).



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 2021 estuvo compuesta por 25 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 5 y 13 géneros en las estaciones LP-24 (La Punta) y en LB-3 (La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 159 cel/cm² en LP-24 (La Punta) y 8506 cel/cm² en LB-1 (La Brava) (Tabla N° 10-19).

La comunidad presentó una mayor diversidad en la estación LB-3 (La Brava) con 1,78 nits/ind, mientras que, en la estación de La Punta (LP-24), se registró la menor diversidad con 0,98 nits/ind. Respecto de la equidad, se observó un mayor valor en LP-23 y LB-3 con 0,70 y el menor en la estación 0,60 en LB-1 (Tabla N° 10-19).

En relación con los taxa dominantes durante la campaña de invierno 2021, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Brachysira* (Figura N° 10-3).

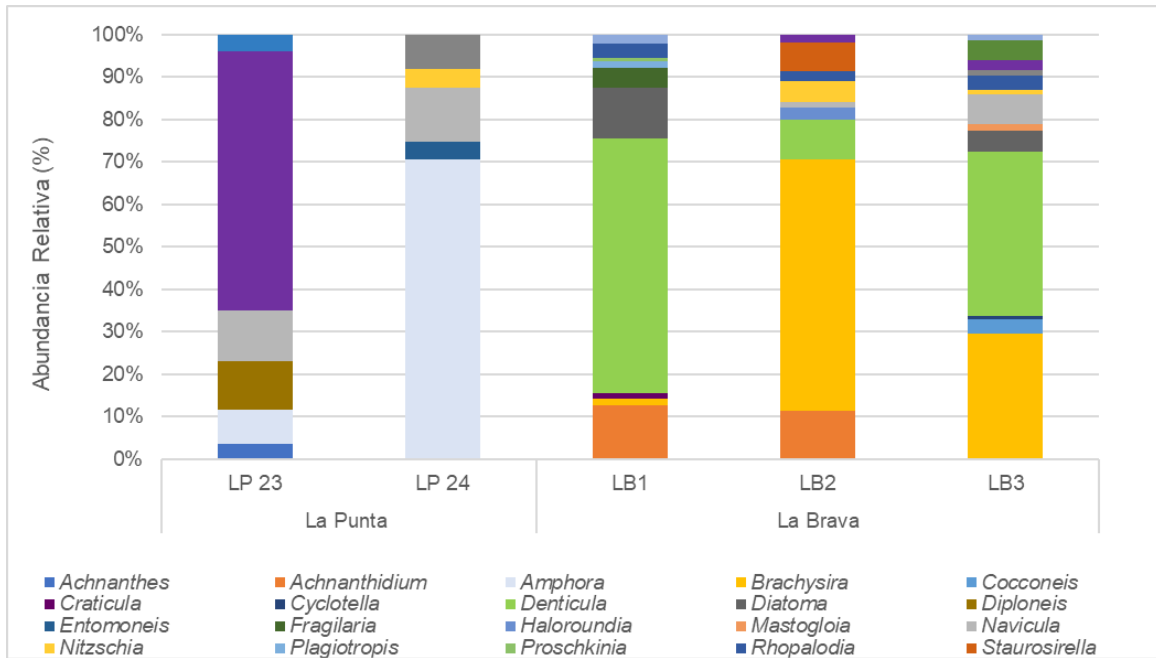
Al observar la abundancia por clase, se observa que la clase ampliamente dominante en el fitobentos en la campaña de invierno 2021 corresponde a Bacillariophyceae.

Tabla N° 10-19. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>	6				
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnantheidium</i>			1075	675	
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	13	112			
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			124	3510	1848
	Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>					209
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Craticula</i>			121		
	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>					57
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>			5094	570	2420
	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i>			1016		318
	Diploneidineaes	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	19				
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>		6,5			
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			413		
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Haloroundia</i>				168,75	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>					86
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	19,5	20		67,5	455
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>		7		303,75	54
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>			137		
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			56		
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			286	135	220
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>				405	
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>		13			70	
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>	101			105	148
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	6,5				
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>					305
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>			183		79
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2021				
Abundancia total (cel/cm²)		15,8	88.792,8	165	159	8506	5940	6268
Riqueza de géneros (S)		5	17	6	5	10	9	13
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,25	0,98	1,39	1,43	1,78
Equidad (J')		-	-	0,70	0,61	0,60	0,65	0,70

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 2673 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 2021).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 21 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre 20 géneros en TB-1, y 6 géneros en TB-3. Respecto a las abundancias registradas las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron abundancias diferentes, las que oscilaron entre los 3221 y 31650 cel/cm², respectivamente (**Tabla N° 10-20**).

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 2,00 nit/ind y un valor 0,71 de equidad y una diversidad de 1,23 nit/ind y un valor 0,69 de equidad, respectivamente (**Tabla N° 10-20**). Cabe destacar que, la estación TB-2 en la actual campaña se encontró sin agua superficial.

En la **Figura N° 10-4**, se puede observar que los *taxa* dominantes, correspondieron a las diatomeas *Pseudostaurosira* y *Nitzschia* las que presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas.

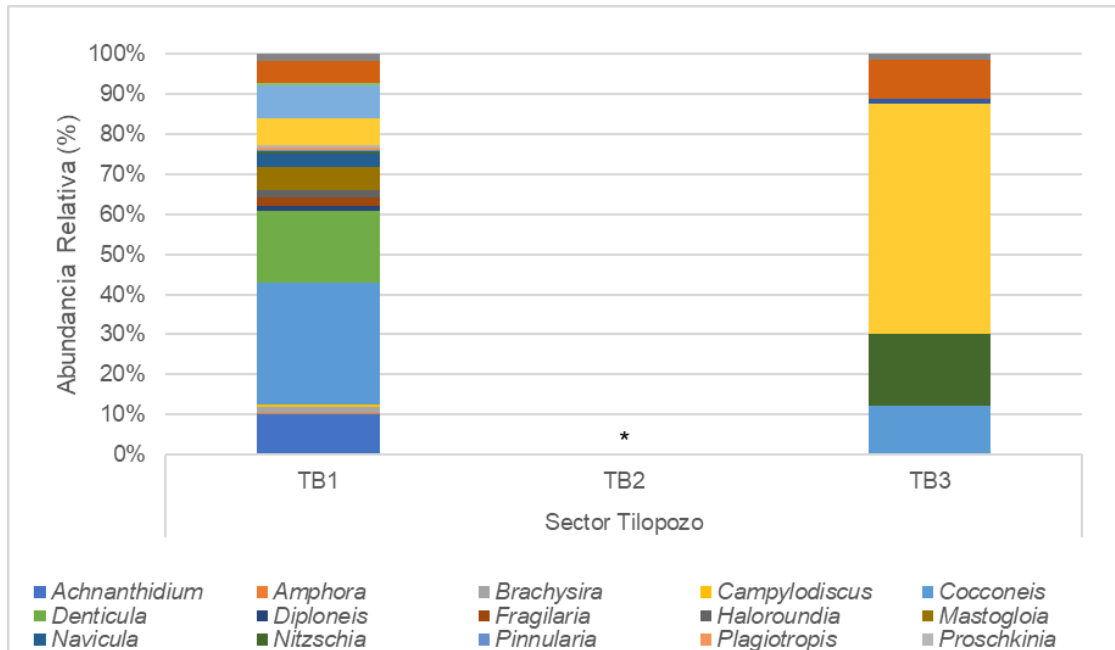
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las vegas de Tilopozo.

Tabla N° 10-20. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthesidium</i>	324	Sin agua superficial	
	Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	15		
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	44		
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	18		
	Achnanthesales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	980		3900
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	584		
	Diploneidinae	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	35		
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	75		
	Mastogloiales	Achnanthesaceae	<i>Haloroundia</i>	53		
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	193		
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	105		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	15		5650
	Sellaphorineae	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	15		
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>	18		
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>	18		
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Pseudostaurosira</i>	219		18150
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>	263		
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	15		
Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>		375		
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	184	3100	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	53	475	
Abundancia total (cel/cm²)				3221	31650	
Riqueza de géneros (S)				20	6	
Diversidad Shannon (nits/ind)				2,00	1,23	
Equidad (J')				0,71	0,69	

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2021).



(*) La estación TB-2 en invierno 2021 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.
 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 2021 estuvo compuesta por 11 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 2 y 7 géneros en las estaciones I-11 (laguna Interna) y SA-25 (laguna Saladita) e I-17 (laguna Interna) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 2 cel/mL en S-9 (laguna Salada) y 82 cel/mL en S-5 (laguna Salada) (Tabla N° 10-21).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación SA-25, ubicada en la laguna Salada con 1,68 nits/ind. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación I-11

con 0,41 nits/ind. Para la equidad se observó el mayor registro en la estación S-9 con 0,95, en cambio, el menor valor fue observado en la estación I-11 con 0,59 (**Tabla N° 10-21**).

Respecto de la abundancia relativa (**Figura N° 10-5**), se observó que los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de invierno 2021, correspondieron a las diatomeas *Navicula* y *Amphora*.

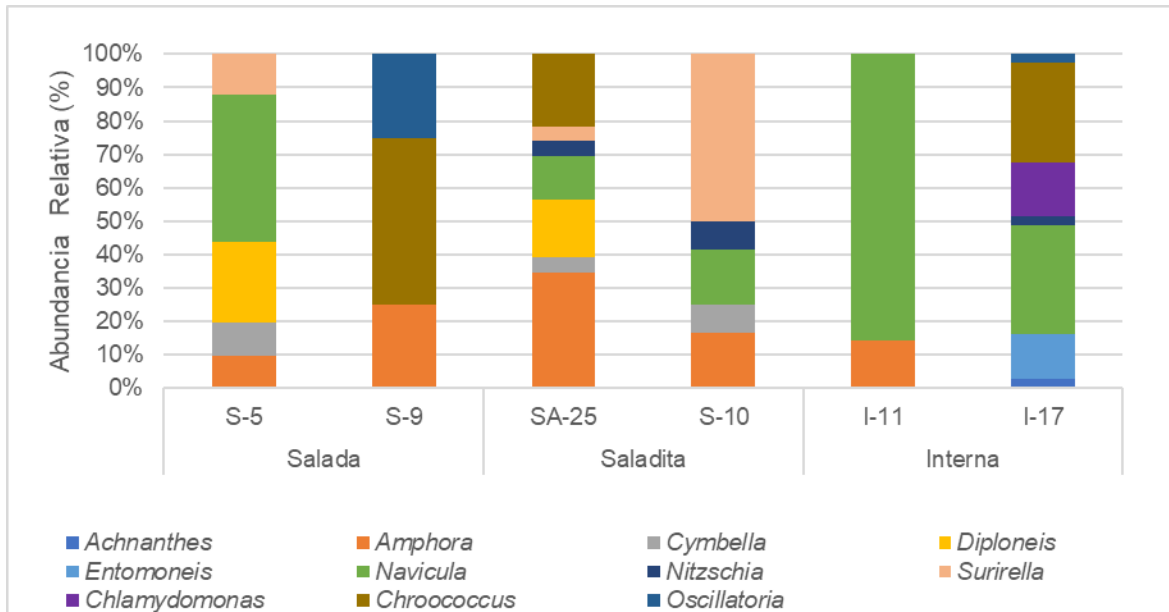
En este sector la clase Bacillariophyceae es ampliamente dominante, respecto de la clase Cyanophyceae y Chlorophyceae en la campaña de invierno 2021 para el fitoplancton.

Tabla N° 10-21. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>						2
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	8	0,5	16	4	2	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	8		2	2		
	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	20		8			
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>						10
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	36		6	4	12	24
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>			2	2		2
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	10		2	12		
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>						12
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		1	10			22
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>		0,5				2
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2021					
Abundancia total (cel/mL)		29	8121	82	2	46	24	14	74
Riqueza de géneros (S)		4	14	5	3	7	5	2	7
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,42	1,04	1,68	1,36	0,41	1,58
Equidad (J')		-	-	0,88	0,95	0,86	0,84	0,59	0,81

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/m, 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 2021).



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 2021 presentó 13 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 12 géneros, observado en las estaciones LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 3 cel/mL en LP-23 (La Punta) y 93 cel/mL en LB-3 (La Brava) (Tabla N° 10-22).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-3 con 1,85 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LB-1 con 0,98 nits/ind (Tabla N° 10-22). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,61 en la estación LB-1 y 0,95 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 2021, correspondieron fueron observadas para la clorofícea *Chlamydomonas* y la cianófita *Chroococcus*.

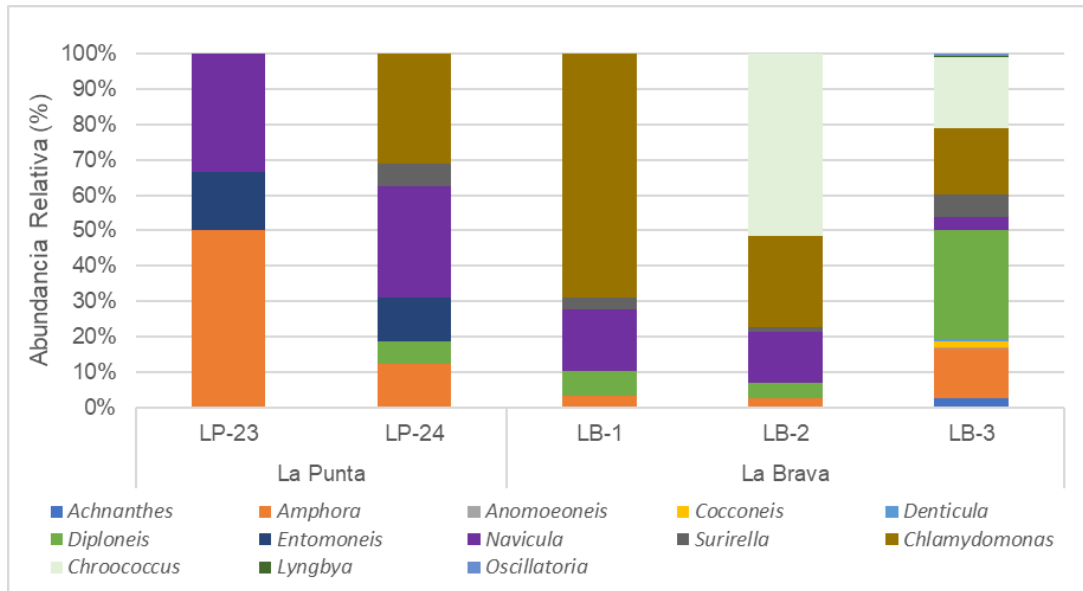
En este sector la clase Bacillariophyceae fue ampliamente dominante, respecto de la clase Cyanophyceae y Chlorophyceae en la campaña de invierno 2021 para el fitoplancton.

Tabla N° 10-22. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>					2,5
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	1,5	1	2	2	13
	Cymbellales	Anomoeoneidaceae	<i>Anomoeoneis</i>					0,5
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>					1,5
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>					0,5
	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>		0,5	4	3	28,5
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	0,5	1			
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	1	2,5	10	10,5	3,5
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>		0,5	2	1	6
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>		2,5	40	19	17,5
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>				37,5	18,5
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>					0,5
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>					0,5
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2021				
Abundancia total (cel/mL)		24	10110	3	8	58	73	93
Riqueza de géneros (S)		6	14	3	6	5	6	12
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,32	1,59	0,98	1,26	1,85
Equidad (J')		-	-	0,95	0,89	0,61	0,70	0,74

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 2021).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 4 géneros. Cabe destacar que, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial en esta campaña. La riqueza por estación presentó solo 2 y 3 géneros para TB-1 y TB-3 respectivamente. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron valores de 26 y 16 cel/mL (**Tabla N° 10-23**). Los valores de diversidad en la comunidad oscilaron entre 0,69 nits/ind en TB-1 y 0,74 nits/ind en TB-3. En tanto, para la equidad se observaron valores de 0,63 y 0,67 en TB-1 y TB-3 respectivamente.

Respecto de los *taxa* dominantes, correspondieron a la diatomea *Ulnaria* y a la zygmatoficea filamentosa *Mougeotia* las mayores representatividades en vegas de Tilopozo (**Figura N° 10-7**).

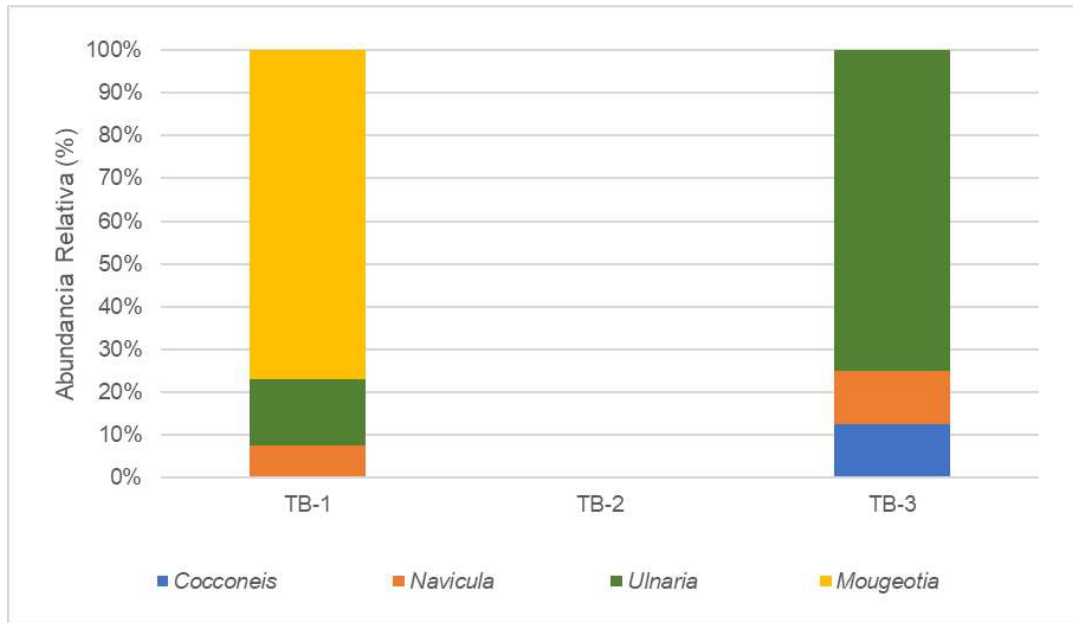
En relación con la representatividad por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, se detectó que la Clase Bacillariophyceae fue la dominante seguida de Zygnematophyceae.

Tabla N° 10-23. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			2
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	2		2
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>	4		12
Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>	20	Sin agua superficial	
Abundancia total (cel/mL)				26		16
Riqueza de géneros (S)				2		3
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,69		0,74
Equidad (J')				0,63		0,67

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

Figura N° 10-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2021).



(*) 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 2021.

10.2.2.3.3.1 Sector Peine

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en invierno 2021, se observaron riquezas entre 1 y 4 *taxa* en las estaciones de muestreo. Se registraron entre 1 y 2 *taxa* en las estaciones de laguna Salada y de 3 a 4 *taxa* en las estaciones de las lagunas Saladita e Interna (máximo en S-10). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta principalmente por copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp., por el branquiópodo *Artemia franciscana* (en estado larvario y adultos), crustáceos Ostrácodos Cyprididae, por larvas de insectos dípteros (Chironomidae y Ephydriidae) y el rotífero *Brachionus* sp. (**Tabla N° 10-24**).

Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton variaron entre 0,15 ind/L en S-5 (laguna Salada) y 24,55 ind/L en I-17 (laguna Interna). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en las tres lagunas de Peine fueron los copépodos *Tigriopus* sp., obteniendo su máximo registro en I-17 (24 ind/L). Por su parte *A. franciscana* mayoritariamente se encontró en S-10 (1,94 ind/L), registrándose también en laguna Interna (I-11). En aquella estación se registraron también dípteros Chironomidae en una abundancia de 0,4 ind/L. El resto de los *taxa* encontrados mostraron muy bajas abundancias (entre 0,03 y 0,15 ind/L) (**Tabla N° 10-24** y **Figura N° 10-8**).

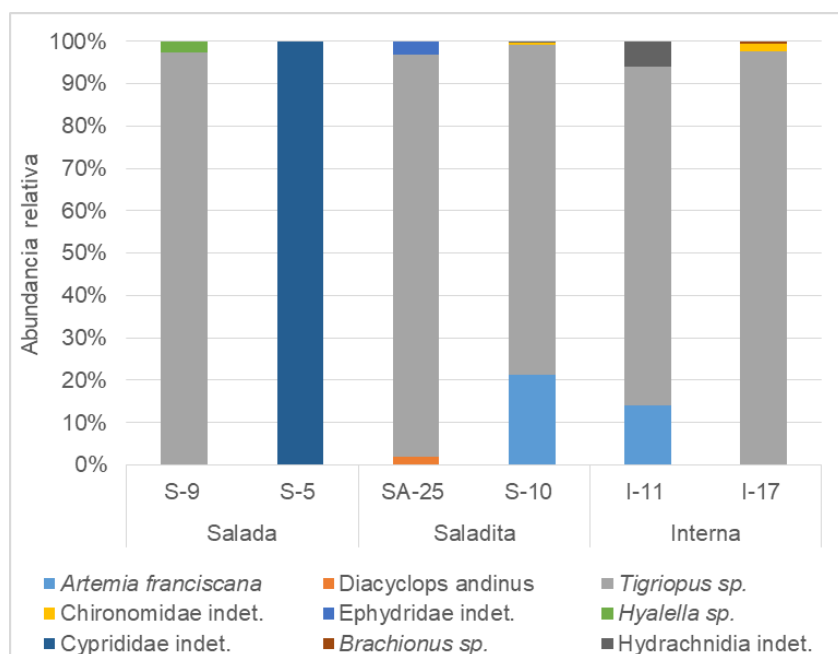
Respecto a los índices comunitarios, la diversidad (H) en todas las estaciones fue baja (entre 0,11 y 0,63 nits/ind) al igual que la equidad (J') (entre 0,11 y 0,57), dado por las bajas riquezas y a que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-24**).

Tabla N° 10-24. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branquiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>				1,94	0,07	
Hexanauplia	Cyclopoida	Cyclopoidae	<i>Diacyclops andinus</i>			0,03			
	Harpacticoidea	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	1,09		1,48	7,07	0,40	24,00
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.				0,05		0,40
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.			0,05			
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.</i>	0,03					
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.		0,15				
Rotifera	Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus sp.</i>						0,15
Arachnida	Acari (Subclase)	indet.	Hydrachnidia indet.				0,03	0,03	
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2021					
Abundancia total (Ind/L)		0,0	137,3	1,11	0,15	1,55	9,09	0,50	24,55
Riqueza de taxa (S)		0	5	2	1	3	4	3	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,11	-	0,22	0,57	0,63	0,12
Equidad (J')		-	-	0,16	-	0,20	0,41	0,57	0,11

Fuente: Elaboración propia. Las muestras incluyen larvas Nauplius de Copepoda y Nauplius de *Artemia franciscana*. 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 2021).



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 2021, se registraron riquezas entre 1 y 5 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, siendo la mínima la obtenida en la estación LB-2 (La Brava) y la máxima en LP-23 (La Punta). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por los copépodos *Boeckella poopuensis*, *Tigriopus* sp., larvas de copépodos indeterminadas, por el branquiópodo *Artemia franciscana* (en estado larvario Nauplius y adultos), también por larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae y Ephydriidae, por gasterópodos *Heleobia* sp. y por ácaros del grupo Hydrachnidia. El taxón con mayor frecuencia fue el copépodo *Tigriopus* sp. que se encontró en todas las estaciones de este sector (**Tabla N° 10-25**).

Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,68 a 140,79 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-3 y un máximo en LP-23. El organismo más abundante por estación fueron *Boeckella poopuensis* y larvas de copépodos indeterminadas, alcanzando respectivamente 62,58 y 66,98 ind/L en LP-23, seguidos por *Tigriopus* sp. con 21,95 ind/L en LB-1 y luego por *A. franciscana* que obtuvo un máximo de 0,34 ind/L en la misma estación. (**Tabla N° 10-25**).

La estructura comunitaria del zooplancton en este sector muestra que el grupo dominante en La Punta fue *Boeckella poopuensis* (junto con larvas de copépodos indeterminadas) y en La Brava fue *Tigriopus* sp., mientras que las otros *taxa* fueron pobremente representados (**Figura N° 10-9**).

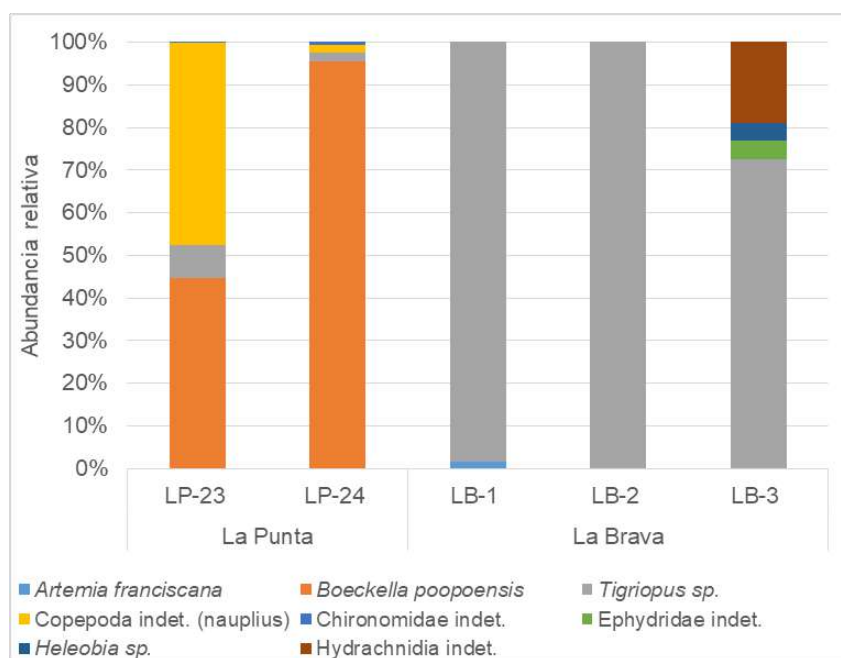
Respecto a las diversidades estimadas, estas oscilaron entre 0,08 y 0,92 nits/ind, con la más baja obtenida en LB-1 y las más altas en LB-3 y LP-23 (>0,8 nits/ind). La equidad fue baja en las estaciones del sector (valores entre 0,11 y 0,58), debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-25**).

Tabla N° 10-25. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branquiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>	0,13		0,34		
Hexanauplia	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopoenis</i>	62,58	17,15			
	Harpacticoidea	Harpacticidae	<i>Tigriopus sp.</i>	11,04	0,34	21,95	1,28	0,50
	Copepoda (Subclase)	-	Copepoda (nauplius) indet.	66,98	0,35			
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.	0,06	0,10			
		Ephyridae	Ephyridae indet.					0,03
Mollusca	Gastropoda	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>					0,03
Arachnida	Acari (Subclase)	Hydrachnidia (Suborden)	Hydrachnidia indet.					0,13
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2021				
Abundancia total (Ind/L)		0,0	239,1	140,79	17,94	22,29	1,28	0,68
Riqueza de taxa (S)		0	4	5	4	2	1	4
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,92	0,22	0,08	-	0,80
Equidad (J')		-	-	0,57	0,16	0,11	-	0,58

Fuente: Elaboración propia. . Las muestras incluyen larvas Nauplius de Copepoda y Nauplius de *Artemia franciscana*. 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° 10-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.3.3 Sector Tilopozo

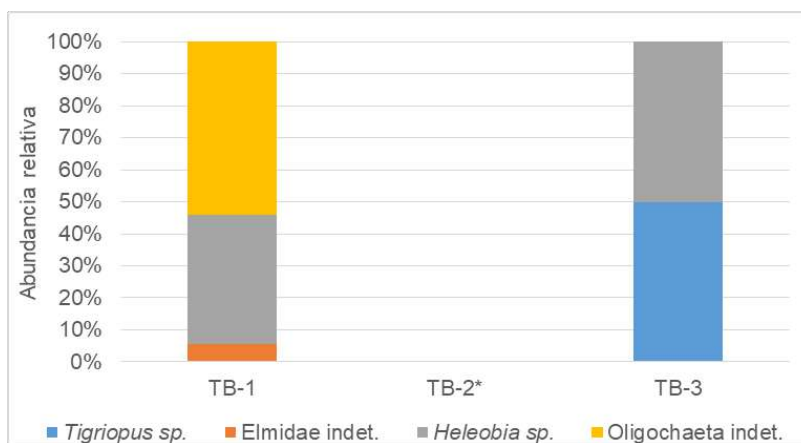
En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2021, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zooplanctónicos. Por su parte la estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo. En TB-1 la riqueza total fue de 3 taxa, donde se encontró insectos Elmidae, gasterópodos *Heleobia* sp. y gusanos Oligoquetos en bajas abundancias, alcanzando una abundancia total de 0,37 ind/L. En la estación TB-3, ocurrieron 2 taxa, copépodos *Tigriopus* sp. y *Heleobia* sp., con abundancias de 0,5 ind/L respectivamente. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad fue baja en ambas estaciones, TB-1 con 0,84 nits/ind y TB-3 con 0,69 nits/ind. Mientras que la equidad tendió a ser alta (0,76 en TB-1 y 1 en TB-3), debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus taxa fueron similares (Tabla N° 10-26 y Figura N° 10-10).

Tabla N° 10-26. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo			
				TB-1	TB-2	TB-3	
Hexanauplia	Harpacticoidea	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.		Sin agua superficial	0,50	
Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmidae indet.	0,02			
Mollusca	Gastropoda	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	0,15			0,50
Oligochaeta	-	-	Oligochaeta indet.	0,20			
Abundancia total (Ind/L)				0,37			1,00
Riqueza de taxa (S)				3			2
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,84			0,69
Equidad (J')				0,76		1,00	

Fuente: Elaboración propia. La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

Figura N° 10-10. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2021).



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

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 2021.

10.2.2.3.4.1 Sector Peine

En el sector Peine el zoobentos registró una riqueza entre 1 y 5 *taxa*, encontrándose el máximo en la estación S-9 (laguna Salada), 3 *taxa* en la estación S-5 y un taxón en las demás estaciones de las lagunas Saladita e Interna. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por ostrácodos Cyprididae, gasterópodos *Heleobia* sp., junto con larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae, Empididae y Ephydriidae, además de anfípodos *Hyalella* sp. (**Tabla N° 10-27**).

Las abundancias totales por estación tuvieron valores entre 125 ind/m² en SA-25 y S-10 a 6500 ind/m² en S-5. Los organismos más abundantes fueron los ostrácodos Cyprididae, alcanzando los 4250 ind/m² en S-5, siendo también importante de mencionar *Heleobia* sp. que alcanzó los 2000 ind/m² en la misma estación. Respecto a los índices comunitarios, las estimaciones de diversidad fueron de 1,33 nits/ind en S-9 y de 0,77 nits/ind en S-5, no pudiéndose estimar en las demás estaciones del sector por registrarse solo un taxón. La equidad fue de 0,83 en S-9 y de 0,7 en S-5, dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser similares en S-9 y disímiles en S-5 (**Tabla N° 10-27**).

Tabla N° 10-27. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (invierno 2021).

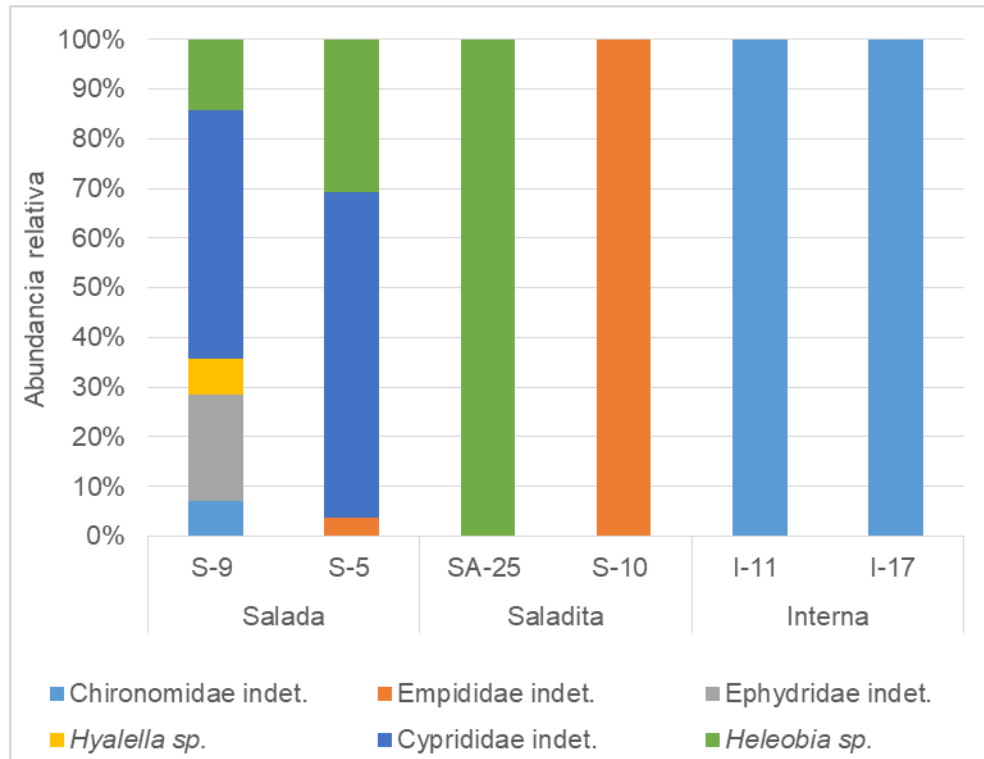
Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.	125				250	875
		Empididae	Empididae indet.		250		125		
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.	375					
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.	125					
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.	875	4250				
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	250	2000	125			
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2021					

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Abundancia total (Ind/m ²)		-	-	1750	6500	125	125	250	875
Riqueza de taxa (S)		0	5	5	3	1	1	1	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,33	0,77	-	-	-	-
Equidad (J')		-	-	0,83	0,70	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familia 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 riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La **Figura N° 10-11**, muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar los *taxa* dominante en cada estación, con dominancia de ostrácodos Cyprididae y gasterópodos *Heleobia* sp. en las estaciones S-9, S-5 y SA-24 e insectos dípteros en las estaciones S-10 (Empididae), I-11 e I-17 (Chironomidae).

Figura N° 10-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2021).



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 0 y 3, ocurriendo el máximo en la estación LB-2 y dos *taxa* en la estación LP-23, un taxón en LB-3 y en las demás estaciones del sector no se encontraron organismos en las muestras zoobentónicas. La fauna estuvo compuesta por ostrácodos Cyprididae, copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp., gasterópodos *Heleobia* sp., junto con larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae y Ephydriidae. (Tabla N° 10-28).

Los valores de abundancia total en las estaciones donde hubo registros estuvieron en el rango de 375 ind/m² (LP-23) a 2000 ind/m² (LB-3). Los organismos más abundantes fueron los ostrácodos Cyprididae encontrados solo en LB-3, seguidos por copépodos *Tigriopus* sp. (LB-2), larvas de insectos y luego por los gasterópodos *Heleobia* sp. encontrados en LP-23 (La Punta). Las estimaciones de diversidad donde se pudieron obtener fueron de 0,64 nits/ind (LP-23 y LB-2). En el caso de la equidad las estimaciones fueron de 0,92 (LP-23) y 0,58 (LB-2), dadas por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser similares en LP-23 y disímiles en LB-2 (Tabla N° 10-28).

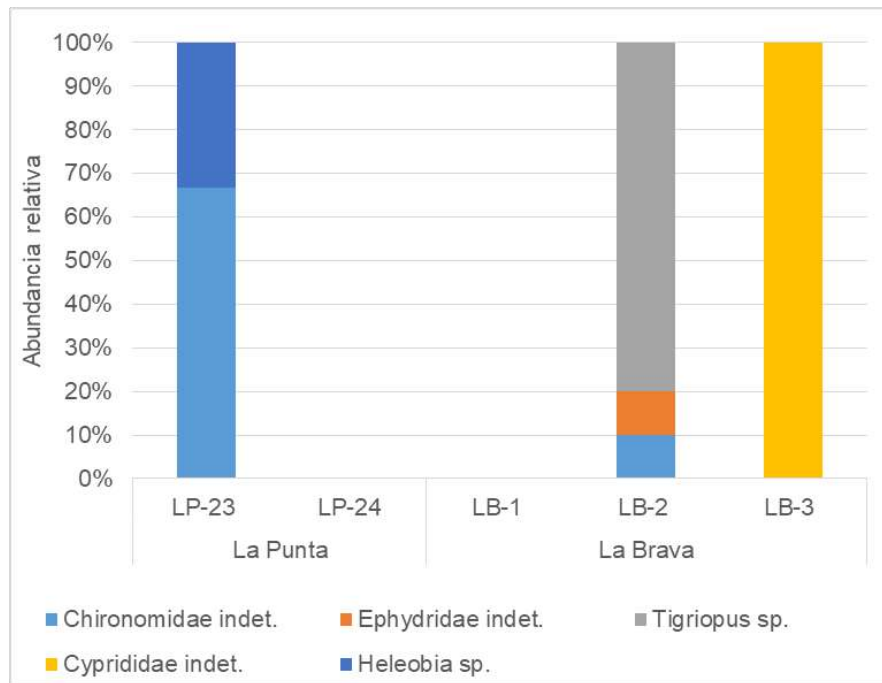
Tabla N° 10-28. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.	250			125	
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.				125	
Hexanauplia	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.				1000	
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.					2000
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	125				
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2021				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	375	0	0	1250	2000
Riqueza de taxa (S)		0	6	2	0	0	3	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,64	-	-	0,64	-
Equidad (J')		-	-	0,92	-	-	0,58	-

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 díptero Ceratopogonidae y el gasterópodo *Heleobia* sp. en LP-23, los copépodos *Tigriopus* sp. como dominantes en LB-2 y los ostrácodos Cyprididae en la estación LB-3 (Figura N° 10-12).

Figura N° 10-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2021).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2021, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zoobentónicos. Por su parte la estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo. En TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde se encontraron los gasterópodos *Heleobia sp.* y *Heleobia atacamensis*, este último en alta abundancia (27375 ind/m²). En la estación TB-3, ocurrió el taxón *Heleobia atacamensis* con una abundancia de 1250 ind/m² (Tabla N° 10-29).

Respecto a los índices comunitarios, solo se pudieron estimar en TB-1, correspondiendo a una escasa diversidad de 0,003 nits/ind y una bajísima equidad de 0,004, esto debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron disímiles. En el caso de TB-3, no se pudieron estimar estos índices debido a que solo se registró un taxón (Tabla N° 10-29).

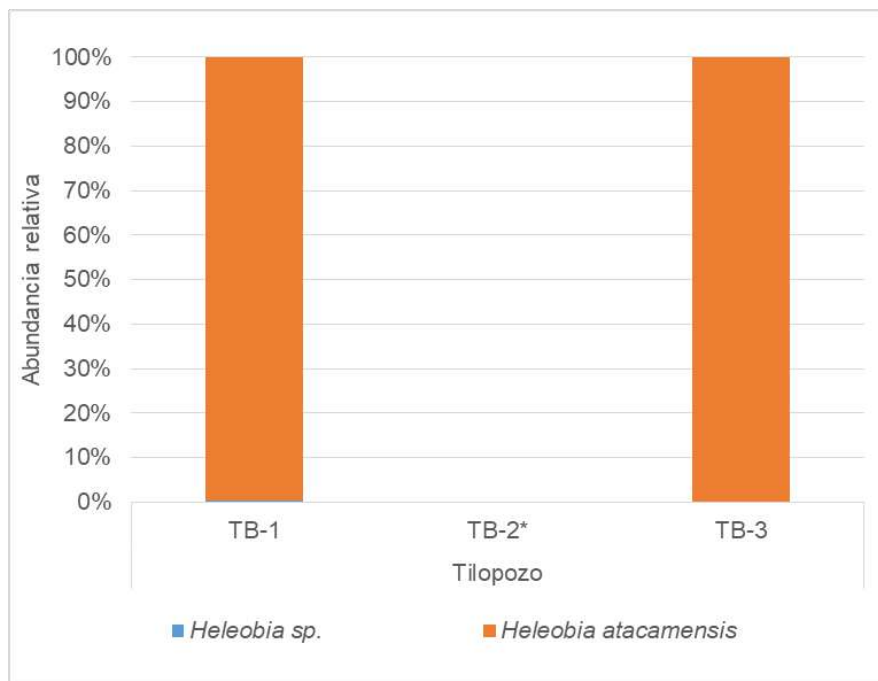
Tabla N° 10-29. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	125	Sin Agua superficial	
			<i>Heleobia atacamensis</i>	27375		1250
Abundancia total (Ind/m²)				27500	-	1250
Riqueza de taxa (S)				2	-	1
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,03	-	-
Equidad (J')				0,04	-	-

Fuente: Elaboración propia. La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

La estructura comunitaria del zoobentos en el sector muestra una dominancia absoluta de *Heleobia atacamensis* tanto en la estación TB-1 como en la estación TB-3 (Figura N° 10-13).

Figura N° 10-13. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2021).



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

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 2021, fueron detectadas 8 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* 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° 10-31**).

Tabla N° 10-30. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2021).

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 (Scirpus) 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
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° 10-31**), presentando una especie en el sector Peine, 4 especies en el sector La Punta – La Brava y de 4 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 del sector vegas de Tilopozo, TB-1 y TB-3, con 3 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 13 y 55% en el sector Peine y entre 3 y 7% de cobertura en La Punta, mientras que, en La Brava

fue detectada solo en la estación LB-3 con 7%. Cabe destacar que, esta especie se encontró sumergida y en varios casos distribuida en el centro de la laguna registrándose solo la presencia de esta (*i.e.* estación S-10) y en las orillas de las lagunas donde pudo ser cuantificable la cobertura.

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* (solo presencia), *Triglochin concinna* (13%) y *Sarcocornia fruticosa* (48%). 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 17% 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-1, TB-2 y TB-3, *Distichlis spicata* en TB-1 y *Baccharis sp.* en TB-3. Como ya ha sido mencionado, la estación TB-2 no presentó agua superficial, pero como se indicó se detectó la presencia de *S. californicus* (Tabla N° 10-31).

Tabla N° 10-31. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2021).

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 (13%)	X (23%)	X (55%)	X			X (3%)	X (7%)			X (7%)			
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>												X (8%)	X (100%)	X (17%)
<i>Triglochin concinna</i>							X (13%)			X (17%)				
<i>Puccinellia frigida</i>							X							
<i>Distichlis spicata</i>												X (32%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X (48%)	X						
<i>Baccharis sp.</i>														X (50%)
Riqueza Total	1	1	1	1	0	0	4	1	0	1	1	3	1	3

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

10.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2022 (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 2022 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

Tabla N° 10-32. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (verano 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	Sin acceso	14,83	Sin acceso	14,3	19,3	26,66
pH (*)	U pH	-	6,13	8,6		8,52		8,34	8,24	8,03
Conductividad (*)	µS/cm	-	25350	235000		43570		49200	52730	91480
Salinidad	g/kg	-	8,7	66,5		29,4		33,6	36,4	>42,00
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,34	11,2		3,67		3,86	3,77	2,94
Turbiedad (*)	UNT	-	3	152		25,7		43,5	21,5	5,8
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	18,2		4,02		5	0,11	2,54
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-		95		118	2,53	167,69
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-		24		14	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	51	1564,7		212		201	194	237
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	91,26	1908,07		164		173	188	231
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	<5	139,54		48		28	6	6
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	8494	194099		25949,4		28785,4	28927,2	55018,4
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	<0,15	21,2		<0,023		<0,023	<0,023	<0,023
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,023	0,00036	<0,5		<0,023		<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	0,044	1,31		0,015		0,053	0,181	0,088
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	<0,1	8,66		1,7		2	0,7	3,4
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,05	7,125		<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
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	10	845	14970	1422	1634	1687	3078		
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	619	<4	<4	<4	<4		

Fuente: Elaboración propia. (*) 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. (**) Parámetros registrados *in situ*. En la campaña estival de 2022, no se realizó el muestreo en las estaciones S-9 y SA-25, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas por la comunidad de Peine.

Los resultados para el Sector de Peine (**Tabla N° 10-32**) en general se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad (entre 43570 $\mu\text{S/cm}$ y 91480 $\mu\text{S/cm}$) y salinidades elevadas (entre 29,4 y >42 g/Kg) incrementándose desde laguna Salada a laguna Interna, asociadas principalmente al contenido de sales como cloruros (entre 25949,4 mg/L y 55018,4 mg/L) y sulfatos (entre 1422 mg/L y 3078 mg/L) que presentaron la misma tendencia. Las temperaturas se presentan acorde con la profundidad de estos cuerpos de agua, oscilando entre 14,3 y 26,66 °C. El pH se presenta principalmente alcalino con valores entre 8,03 y 8,52, valores que se corresponden con los obtenidos para los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato.

El oxígeno disuelto mostró un rango de 2,94 a 3,86 mg/L entre las estaciones del Sector Peine, siendo el menor valor registrado en laguna Interna (I-17). La turbiedad tuvo valores entre 5,8 y 43,5 UNT y la clorofila "a" en fitoplancton presentó valores entre 0,11 y 5 $\mu\text{g/L}$, siendo los valores máximos de estos parámetros registrados en S-10. Los compuestos nitrogenados en general mostraron valores bajos (la mayoría bajo el límite de detección), exceptuando por el Nitrógeno Total Kjeldhal con valores entre 0,7 y 3,4 mg/L. Por su parte, el fósforo total y el ortofosfato mostraron valores bajo el límite de detección, al igual que el parámetro de aceites y grasas.

10.2.3.1.2 Resultados Sector La Punta y la Brava

Tabla N° 10-33. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (verano 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	-	6,8	26,3	21,93	17,3	25,53	24,67	23,39
pH (*)	U pH	-	7,77	8,38	8,26	8,3	7,9	8,09	8,39
Conductividad (*)	$\mu\text{S/cm}$	-	22300	149500	71640	74370	104700	111900	30770
Salinidad	g/kg	-	22,7	36,3	>42,00	>42,00	>42,00	>42,00	21,2
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,69	9,72	2,63	2,61	2,01	2,65	5,82
Turbiedad (*)	UNT	-	1,3	31,4	1,7	1,7	3,2	3,2	2,1
Clorofila "a"	$\mu\text{g/L}$	0,02	0	31,9	0,06	0,45	3,09	0,05	0,11
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	0,02	-	-	1,06	10,65	203	1,28	2,53
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	47	43	<3	<3	28
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	268	806	494	504	398	504	299
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	240	311,1	400	418	392	498	243
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	53,86	307,5	94	86	6	6	56
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	12071	58199	38569,6	42256,4	45801,4	70616,4	13754,6
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	<0,046	0,245	<0,023	<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
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	<0,01	0,268	<0,01	<0,01	0,467	<0,01	<0,01

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (**)	Max LB (**)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	<0,1	3,19	2	2	1,7	2,4	0,6
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,05	3,77	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,255	3,29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	10	1385	7261	2444	3033	8500	4442	2250
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) 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. (**) Parámetros registrados *in situ*. **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.

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-33**) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 30770 y 111900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y elevadas salinidades (entre 21,2 y >42 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 13754,6 y 70616,4 mg/L) y sulfato (entre 2250 y 8500 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 71640 y 74370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y >42 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (38569,6 y 42256,4 mg/L) y sulfato (2444 y 3033 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 (17,3 a 25,53°C), junto con un pH alcalino de 7,9 a 8,39, cuyos valores se corresponden con los parámetros de alcalinidad total (299 a 504 mg/L) y bicarbonato (243 a 498 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 2,01 y 5,82 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). Por su parte la clorofila "a" presentó una variación entre 0,05 y 3,09 $\mu\text{g}/\text{L}$ y la clorofila en Perifiton mostró un rango entre 1,06 y 203 mg cl-a/m², con su máximo registro en LB-1 (La Brava). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 1,7 y 3,2 UNT y los compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito y amonio), tuvieron en general valores bajos o por debajo el límite de detección. El Nitrógeno Total Kjeldhal, presentó valores entre 0,6 y 2,4 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° 10-33**).

10.2.3.1.3 Resultados Sector Tilopozo

Tabla N° 10-34. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (verano 2022).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	25,39	24,72	25,15
pH (*)	Unidad de pH	-	7,22	7,07	7,08
Conductividad (*)	µS/cm	-	4551	4140	3929
Salinidad	g/kg	-	2,3	2,3	2,3
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	3,84	3,78	3,81
Turbiedad (*)	UNT	-	0,4	0,9	0,9
Clorofila "a"	µg/L	0,02	1,61	0,39	0,4
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	106,26	25,57	25,58
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	3	5	3	4
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	2	329	345	333
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	3	319	339	325
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	3	10	6	8
Cloruro (Cl-)	mg/L	8	950,1	1028,1	872,1
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,023	<0,023	4,6	4,3
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,5	0,5	0,1
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 (SO4-2)	mg/L	10	454	560	525
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

 Fuente: Elaboración propia. (*) Parámetros registrados *in situ*.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema de vegas mucho menos salino que los otros sectores de estudio (**Tabla N° 10-34**), con valores más bajos en conductividad (entre 3929 y 4551 µS/cm), salinidad (2,3 g/Kg) y cloruro (872,1 a 1028,1 mg/L). Se registró un pH neutro entre 7,07 y 7,22, cuyos valores fueron correspondientes con los valores de alcalinidad total y de bicarbonato (319 a 345 mg/L). Las temperaturas registradas en general fueron altas en estos cuerpos de agua que oscilaron entre 24,72 y 25,39°C, mientras que el oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3,78 y 3,84 mg/L. Cabe mencionar que la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad y las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial.

Por otro lado, la turbiedad mostró valores entre 0,4 y 0,9 UNT, la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 0,39 y 1,61 µg/L y la clorofila en Perifiton entre 25,57 y 106,26 mg cl-a/m², observándose los máximos de clorofila en TB-1. En relación con los compuestos nitrogenados, el nitrato fluctuó entre <0,023 y 4, 6 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldhal presentó valores entre 0,1 y 0,5 mg/L. Los otros compuestos nitrogenados (nitrito y amonio) tuvieron 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 en Tilopozo, mientras que el sulfato varió entre 454 y 560 mg/L. Por su parte el parámetro de aceites y grasas tuvo valores bajo el límite de detección. (**Tabla N° 10-34**)

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 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 R100 / 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 R100 / 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”*.

10.2.3.2.1 Resultados Sector Peine

En la **Tabla N° 10-35** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2022 del Sector de La Punta –La Brava.

Tabla N° 10-35. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (verano 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	Sin acceso	110,67	Sin acceso	78,77	90,78	82,71	
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	34	78		<500		<500	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	0,14	5,3		14,094		3,272	8,154	1,665	1,665
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4		19,08		13,58	15,65	14,26	14,26
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4		-305,0		-295,0	-293,0	-278,0	-278,0

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector en verano 2015, que fue la única campaña de la Línea Base donde se analizaron sedimentos. LD: Límite de detección.

En el sector Peine (**Tabla N° 10-35**) la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 78,77 a 110,67 g/Kg y de 13,58% a 19,08%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación S-5 (laguna Salada). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió de 1,665 a 14,094 g/Kg, con su máximo registro también en S-5. Respecto al fósforo total, este mostró un valor de <500 mg/Kg (bajo el límite de detección) en todas las estaciones del sector. Referente al potencial óxido-reducción, los registros muestran que en todas las estaciones los sedimentos presentaron características reductoras con valores entre -305 y -278 mV, siendo el menor valor encontrado en S-5 (laguna Salada).

10.2.3.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-36** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2022 del Sector de La Punta –La Brava.

Tabla N° 10-36. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (verano 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	49,88	82,02	69,08	66,76	101,22
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	8	55	<500	<500	<500	<500	500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	1,596	6,351	3,625	3,360	3,625	3,913	6,915
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	8,6	14,14	11,91	11,51	17,45
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-301,0	-316,0	-288,0	-302,0	-332,0

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector en verano 2015, que fue la única campaña de la Línea Base donde se analizaron sedimentos. LD: Límite de detección.

En el sector La Punta y La Brava en verano de 2022, concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 49,88 a 101,22 g/Kg y de 8,6% a 17,45 %, respectivamente, registrándose los valores más altos para estos parámetros en laguna La Brava (LB-3). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, varió entre 3,360 y 6,915 g/Kg, con el mayor valor registrado también en LB-3 (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 en los sedimentos valores que indican sedimentos de ambiente reductor con valores entre -332 y -288 mV, con su mínimo valor en LB-3 (**Tabla N° 10-36**).

10.2.3.2.3 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-37** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2022 del Sector de Tilopozo.

Tabla N° 10-37. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2022.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	84,45	Sin muestreo	99,13
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	600		1100
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	9,592		16,377
Materia Orgánica	%	0,28	14,56		17,09
Potencial Redox	mV	-	-275		-281

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 verano 2022, 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 84,45 y 99,13 g/Kg y de materia orgánica de 14,56% y 17,09 %, siendo más altos los registros encontrados en TB-3. El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 9,592 g/Kg (TB-1) y 16,377 g/Kg (TB-3). El fósforo total, por su parte, presentó registros con valores entre 600 mg/Kg (TB-1) y 1100 mg/Kg (TB-3). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores de -281,0 y -275,0 mV respectivamente, con su mínimo registrado en TB-3 (**Tabla N° 10-37**).

10.2.3.3 Resultados Biota acuática

10.2.3.3.1 Fitobentos

10.2.3.3.1.1 Sector Peine

La comunidad de fitobentos en el Sector Peine, en la campaña de verano 2022 estuvo compuesta por 16 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 7 géneros en la estación S-10 y 10 géneros en la estación I-11. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 16.530 cel/cm² en I-11 (laguna Interna) y 180.313 cel/cm² en SA-5 (laguna Salada) (**Tabla N° 10-38**).

La comunidad que presentó una diversidad mayor se observó en las estaciones S-5 e I-17 (laguna Salada e Interna) con 1,56 nits/ind, mientras que, en la estación de Salada (S-10), se registró el menor valor de diversidad con 1,11 nits/ind (**Tabla N° 10-38**). Respecto de la equidad, se observó que el mayor valor lo presentó la estación S-5 (Salada) con 0,75 unidades y el menor en la estación S-10 (Saladita) con 0,57 unidades.

En relación con los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de verano 2022, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Halamphora*, *Nitzschia* y *Cocconeis*.

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 2021 (**Figura N° 10-14**).

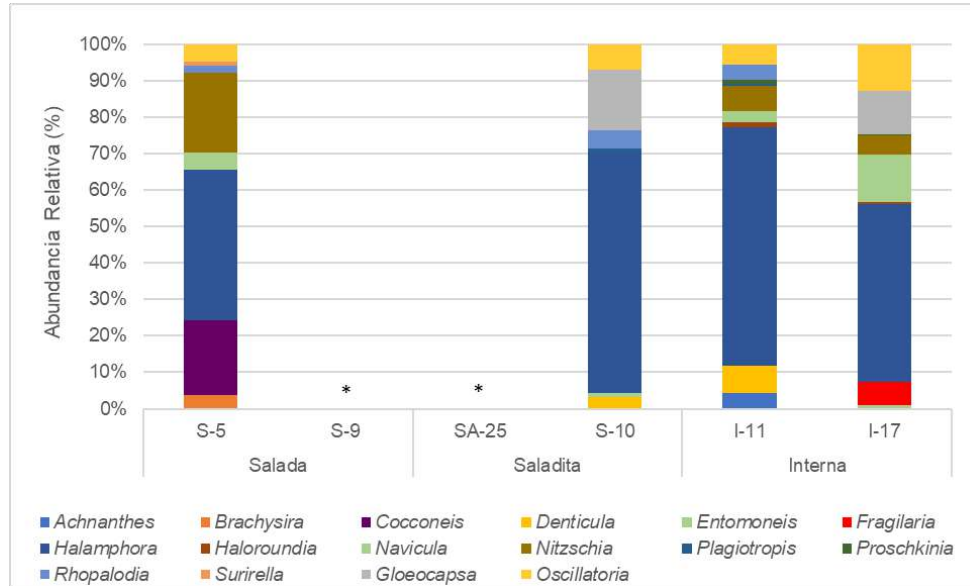
Tabla N° 10-38. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 2022).

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>					689	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	6.700					
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	37.202					
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>				1.910	1.260	
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>				690		750
	Fragiliales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>						5.810
	Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Halamphora</i>	74.325			40.619	10.815	43.163
	Achnanthes	Achnanthidiaceae	<i>Haloroundia</i>					258	700

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	8.521				506	11.571
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	39.762				1.143	4.620
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>				530	75	
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>					183	270
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	3.201			3.030	689	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	2.080					
Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>				10.193		10.460
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	8.521			4.331	914	11.351
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Ver-2022					
Abundancia total (cel/cm²)		123	61.190	180.313	Sin acceso		61.303	16.530	88.696
Riqueza de géneros (S)		6	14	8			7	10	9
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,56			1,11	1,33	1,56
Equidad (J')		-	-	0,75			0,57	0,58	0,71

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 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 61190,4 cel/cm² y no a 6787 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 Peine (verano 2022).



(*) 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.

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 2022 estuvo compuesta por 28 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 7 y 16 géneros en las estaciones LB-2 (La Brava) y en LP-24 (La Punta) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 143.782 cel/cm² en LB-2 (La Brava) y 707.683 cel/cm² en LB-1 (La Brava) (Tabla N° 10-39). Cabe señalar que, las estaciones de la laguna La Punta presentaron valores intermedios de abundancia.

La comunidad presentó una diversidad y equidad mayor en la estación LP-24, ubicada en la laguna La Punta con valores de 2,16 nits/ind y 0,78 unidades, mientras que, en la estación de La Brava (LB-2), se registró la menor diversidad y equidad con valores de 1,00 nits/ind y 0,52 unidades (Tabla N° 10-39).

En relación con los taxa dominantes durante la campaña de verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula*, *Brachysira* y *Nitzschia* (Figura N° 10-15).

Respecto de las dominancias por clase, se observó que la clase ampliamente dominante correspondió a Bacillariophyceae.

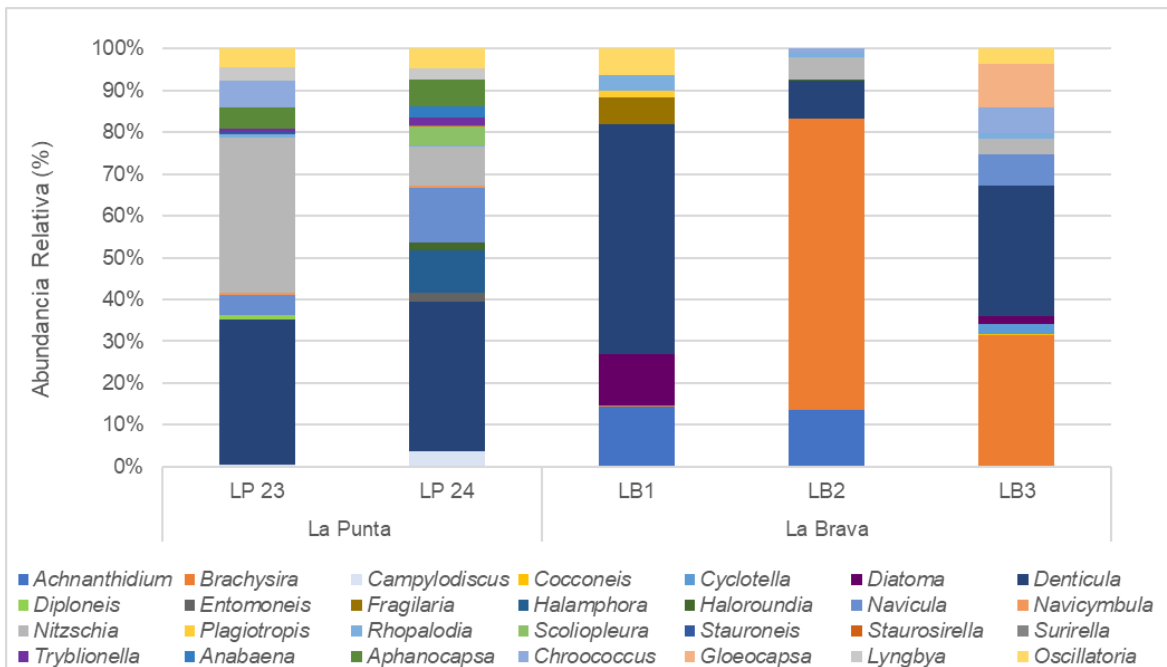
Tabla N° 10-39. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).

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>Achnanthes</i>			102.641	19.683	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			1.801	100.216	128.400
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	1.900	16.202			
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>					600
	Stefanodisciales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>					10.200
	Rhabdonematales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i>			86.435		7.800
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	145.432	154.277	388.956	12.962	127.200
	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	3.600				
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>		9.681			
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			45.018		
	Talasiofisales	Catenulaceae	<i>Halamphora</i>		43.168			
	Achnanthes	Achnanthesaceae	<i>Haloroundia</i>		8.681		360	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	20.405	55.866			30.600
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>	2.001	2.261			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	155.534	40.244		7.801	15.600
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>			12.605		
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	3.201	1.261	25.210	1.320	4.800
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scolioleura</i>		20.042			
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	2.500				
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>		840			
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					600	
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Tryblionella</i>	2.500	8.261				
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>		11.941			
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	21.605	27.664			
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	26.505			1.441	24.600
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>					42.600
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>	14.203	10.941			
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	18.003	20.303	45.018		15.000
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Ver-2022				
Abundancia total (cel/cm²)		16	88793	417.390	431.630	707.683	143.782	408.000
Riqueza de géneros (S)		5	17	13	16	8	7	12
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,65	2,16	1,42	1,00	1,81

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Equidad (J')		-	-	0,64	0,78	0,68	0,52	0,73

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° 10-15. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 11 géneros. La riqueza por estación de monitoreo presentó el mayor registro en la TB-2 con 8 géneros y el menor en TB-3 con 5 géneros. Respecto a las abundancias registradas la estación TB-3 presentó el mayor registro de abundancia con 111.750 cel/cm² y el menor en TB-1 con 63.861 cel/cm² (**Tabla N° 10-40**).

La diversidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fue mayor para la estación TB-1 con 1,45 nits/ind y menor en la estación TB-3 con 1,25 nits/ind. Respecto a la equidad se observó que el mayor registro lo presentó la estación TB-3 con 0,77 unidades y el menor TB-2 con 0,64 unidades (**Tabla N° 10-40**).

Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia* y la cianófita *Aphanocapsa* presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas (**Figura N° 10-16**).

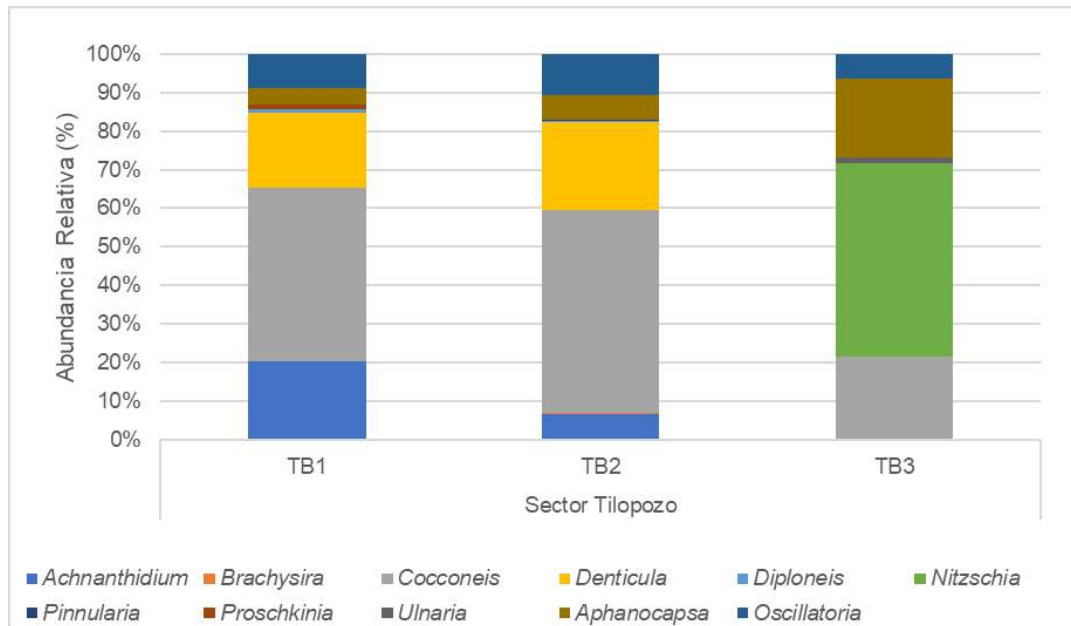
Respecto de las dominancias por clase, se puede ver la amplia dominancia del grupo Bacillariophyceae seguido de Cyanophyceae.

Tabla N° 10-40. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthes</i>	13.096	6.333	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>		300	
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	28.623	49.633	24.250
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	12.421	21.367	
	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	540	333	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>			55.750
	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>		500	
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>	810		
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>			1.750
Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	2.700	6.000	22.750
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	5.671	10.033	7.250
Abundancia total (cel/cm²)				63.861	94.500	111.750
Riqueza de géneros (S)				7	8	5
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,45	1,33	1,25
Equidad (J')				0,74	0,64	0,77

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-16. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.2 Fitoplancton

10.2.3.3.2.1 Sector Peine

La comunidad de fitoplancton en el Sector Peine, en la campaña de verano 2022 estuvo compuesta por 13 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 5 géneros en las estaciones I-11 y I-17 y 11 géneros en la estación S-5. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 24 cel/mL en I-11 (laguna Interna) y 243 cel/mL en S-5 (laguna Salada) (**Tabla N° 10-41**).

La comunidad que presentó una diversidad mayor correspondió a la estación S-5 (laguna Salada) con 1,89 nits/ind, mientras que, en la estación de Interna (I-11), se registró el menor valor de diversidad con 0,95 nits/ind. Respecto de la equidad, se observó que el mayor valor lo presentó la estación I-17 (Interna) con 0,94 unidades y el menor en la estación I-11 (Saladita) con 0,59 unidades (**Tabla N° 10-41**).

En relación con los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de verano 2022, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Navicula*, *Nitzschia* y *Cymbellonitzschia* (**Figura N° 10-17**).

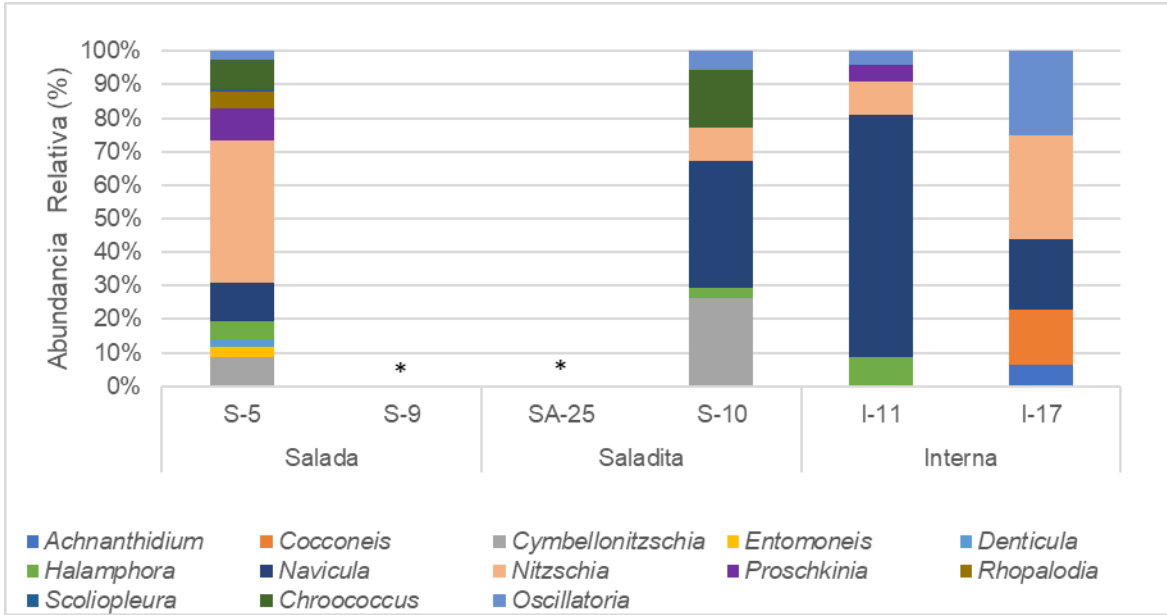
Respecto de la abundancia relativa en este sector, la clase Bacillariophyceae es ampliamente dominante seguida de Cyanophyceae (**Figura N° 10-17**).

Tabla N° 10-41. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthes</i>						1,5
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>						4,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	21,5			11,5		
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	7,5					
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	5,5					
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Halamphora</i>	13,0			1,5	11,0	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	27,5		Sin acceso	16,5	93,0	5,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	103,0			4,5	13,0	7,5
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>	23,0				6,0	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	12,5					
Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	1,5						
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	21,5			7,5		
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	6,5			2,5	5,5	6,0
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Ver-2022					
Abundancia total (cel/mL)		29	5.280	243,0			44,0	128,5	24,0
Riqueza de géneros (S)		4	12	11		Sin acceso	6	5	5
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,89			1,53	0,95	1,51
Equidad (J')		-	-	0,79			0,85	0,59	0,94

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 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. **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° 10-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (verano 2022).



(*) 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.

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 2022 presentó 17 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 5 y 14 géneros, observado en las estaciones LP-24 (La Punta) y LB-3 (La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 26,0 cel/mL en LP-24 (La Punta) y 302,2 cel/mL en LB-3 (La Brava) (**Tabla N° 10-42**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-3 (La Brava) con 1,96 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LP-24 (La Punta) con 1,28 nits/ind. En tanto, la equidad fluctuó entre 0,74 en la estación LB-3 y 0,90 en la estación LB-1 (**Tabla N° 10-42**).

Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron observadas para las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula* y la cianófita *Oscillatoria* (**Figura N° 10-18**).

El análisis de la abundancia relativa por clase muestra que el sector estuvo dominado ampliamente por la clase Bacillariophyceae, seguida de Cyanophyceae.

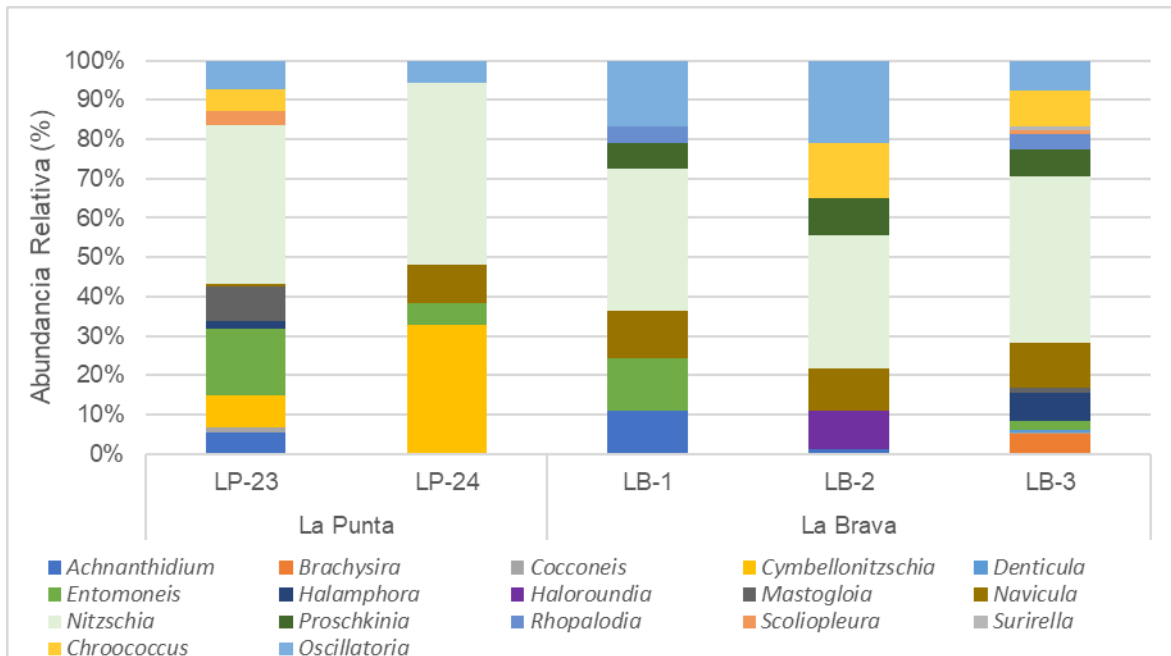
Tabla N° 10-42. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta - La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthesidium</i>	6,5		12,5	1,5	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>					16,0
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1,5				0,6
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	9,5	8,5			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>					1,7
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	19,5	1,5	15,0		7,4
	Talasiofisales	Catenulaceae	<i>Halamphora</i>	2,5				21,1
	Achnanthes	Achnanthesaceae	<i>Haloroundia</i>				11,0	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	10,0				4,1
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	1,0	2,5	13,5	12,5	34,9
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	47,0	12,0	40,5	38,5	127,2
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			7,5	11,0	21,1
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			4,5		11,4
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Scoliopleura</i>	4,0				3,4
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					2,9
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	6,5			16,0	27,3

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta - La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	8,5	1,5	19,0	24,0	23,3
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Ver-2022				
Abundancia total (cel/mL)		24	10110	116,5	26,0	112,5	114,5	302,2
Riqueza de géneros (S)		6	14	11	5	7	7	14
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,89	1,28	1,74	1,72	1,96
Equidad (J')		-	-	0,79	0,79	0,90	0,88	0,74

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° 10-18. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 7 géneros. La riqueza osciló entre 6 géneros en TB-1 y 4 géneros en TB-2 respectivamente. Respecto de las abundancias registradas oscilaron entre 333,8 cel/mL en TB-1 y 76,5 cel/mL en TB-3 (**Tabla N° 10-43**).

En relación con los valores de diversidad se observó una mayor diversidad de 1,26 nits/ind en la estación TB-3 y menor de 0,91 nits/ind en TB-1. En tanto, la equidad presentó valores diferentes entre las estaciones de muestreo con valores que oscilaron entre 0,78 unidades en TB-3 y 0,51 en la estación TB-1 (**Tabla N° 10-43**).

Respecto de los *taxa* dominantes, *Halumphora* y *Nitzschia*, ambas de la clase Bacillariophyceae, presentaron las mayores representatividades entre las estaciones de vegas de Tilopozo (**Figura N° 10-19**).

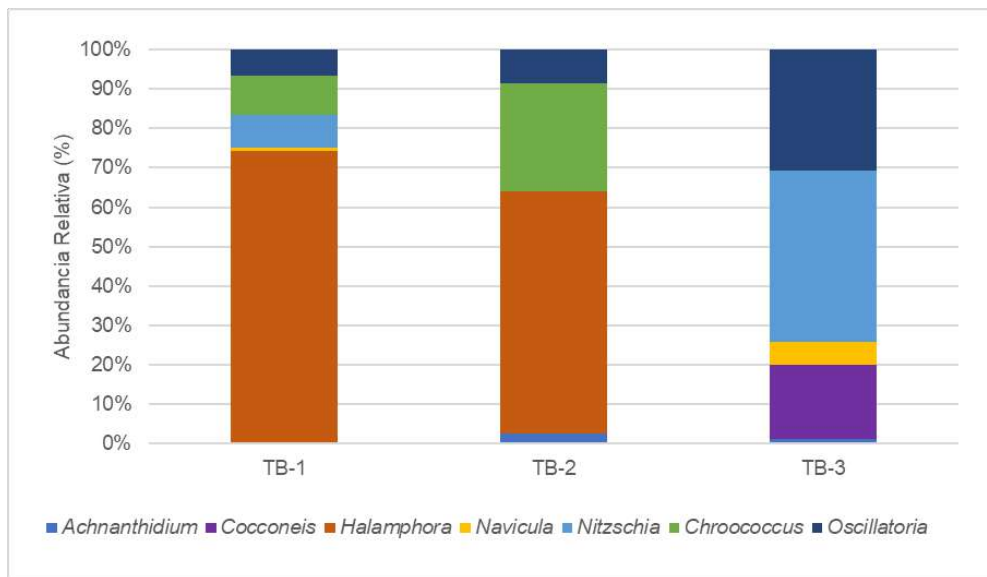
Respecto a la dominancia por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, se observó que la clase con mayor representatividad correspondió a Bacillariophyceae por sobre Chlorophyceae.

Tabla N° 10-43. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthes</i>	1,4	2,0	1,0
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			16,0
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Halumphora</i>	246,4	47,0	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	3,2		5,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	27,2		37,0
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	33,1	21,0	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	22,5	6,5	26,0
Abundancia total (cel/mL)				333,8	76,5	85,0
Riqueza de géneros (S)				6	4	5
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,91	0,96	1,26
Equidad (J')				0,51	0,69	0,78

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-19. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3 Zooplancton

10.2.3.3.3.1 Sector Peine

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en verano 2022, se observaron riquezas entre 1 taxón y 2 taxa en las estaciones de muestreo. Se registró un taxón, solo en la estación I-17, mientras que 2 taxa se registraron en las estaciones S-5 (laguna Salada), S-10 (laguna Saladita) e I-11 (laguna Interna). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana* y por copépodos *Tigriopus* sp. (Tabla N° 10-44).

Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton fueron bajos y variaron entre 1,36 ind/L en I-17 (laguna Interna) y 22,03 ind/L en S-10 (laguna Saladita). El organismo con mayor abundancia y frecuencia en Peine fue *A. franciscana*, obteniendo su máximo registro en S-10 (21,98 ind/L), además de ser el más abundante en todas las estaciones del sector, incluso en I-17 fue el único taxón encontrado en esa estación (1,36 ind/L). Por su parte los copépodos *Tigriopus* sp., mostraron muy bajas abundancias (entre 0,05 y 0,53 ind/L) (Tabla N° 10-44 y Figura N° 10-21).

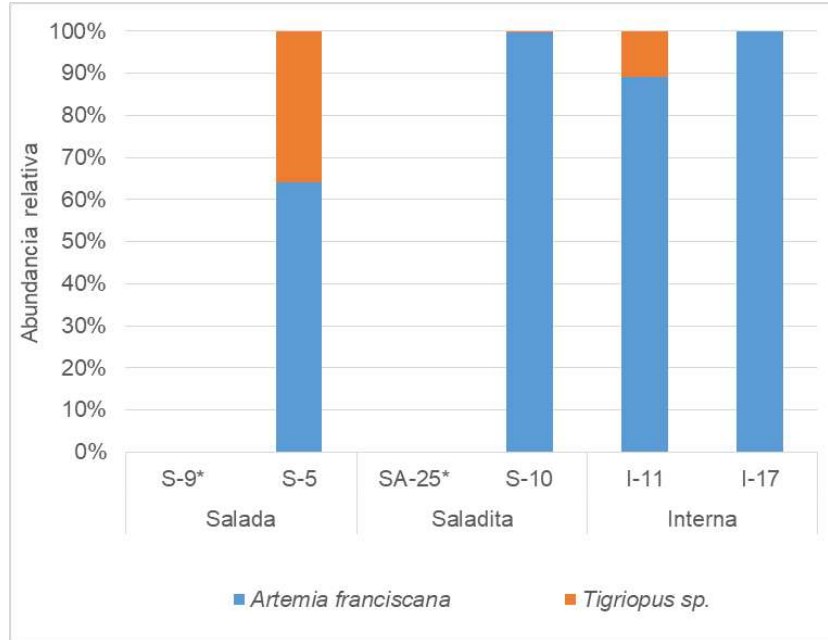
Respecto a la diversidad (H) y equidad (J'), no se pudo estimar en la estación I-17 de laguna Interna, debido a que solo se registró un taxón. En todas las demás estaciones, las diversidades fueron bajas (entre 0,02 y 0,65 nits/ind) y las equidades entre 0,02 y 0,94, debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus taxa tendieron a ser disímiles (Tabla N° 10-44).

Tabla N° 10-44. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branquiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>	Sin	0,95	Sin	21,98	1,88	1,36
Hexanauplia	Harpacticoidea	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.	Acceso	0,53	Acceso	0,05	0,23	
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2022					
Abundancia total (Ind/L)		0,0	137,3	-	1,48	-	22,03	2,10	1,36
Riqueza de taxa (S)		0	5	-	2	-	2	2	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	-	0,65	-	0,02	0,34	-
Equidad (J')		-	-	-	0,94	-	0,02	0,49	-

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° 10-20. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Peine (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia. (*) En la campaña estival de 2022, no se realizó el muestreo en las estaciones S-9 y SA-25, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas 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 (LP) y La Brava (LB), se registraron riquezas entre 1 y 3 taxa por estación de organismos zooplanctónicos en verano de 2022, siendo el mínimo de 1 taxón el obtenido en la estación LB-3 (La Brava), el máximo de 3 taxa en la estación LP-23 (La Punta) y riquezas de 2 taxa en el resto de las estaciones del sector. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana*, por copépodos Harpacticoida del género *Tigriopus* y por copépodos Centropagidae de la especie *Boeckella popoensis*. El taxón con mayor frecuencia fue *Tigriopus* sp., que se encontró en todas las estaciones de este sector. (Tabla N° 10-45).

Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron en un rango de 2,9 a 57,75 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-2 y un máximo en LB-1. Los organismos más abundantes por estación fueron los copépodos *Tigriopus* sp., alcanzando 31,6 ind/L en LB-1, seguidos por *A. franciscana* con 26,15 ind/L también en LB-1. La estructura comunitaria del zooplancton en el sector La Punta y La Brava, muestra que los taxa dominantes fueron *A. franciscana* junto con *Tigriopus* sp., siendo mayor la abundancia de *A. franciscana* en las

estaciones LP-23, LP-24 y LB-2, mientras que en LB-1 y LB-3 dominó *Tigriopus* sp. (Tabla N° 10-45 y Figura N° 10-21).

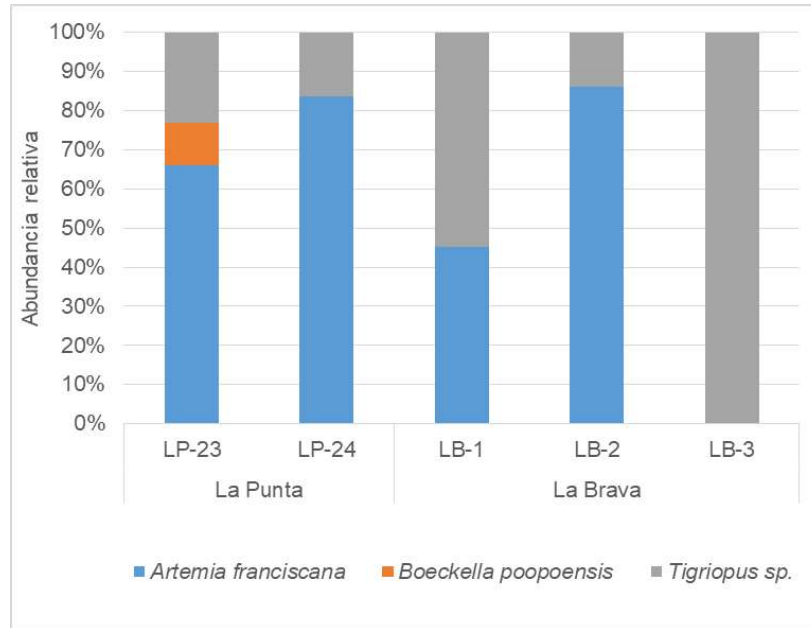
Respecto a las diversidades estimadas, estas fueron en general bajas y oscilaron entre 0,4 y 0,85 nits/ind. La equidad en la mayoría de las estaciones del sector tuvo valores menores a 0,8 exceptuado por la estación LB-1, que se estimó un valor de 0,99, siendo la única con una equidad alta, debido a que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser similares (Tabla N° 10-45).

Tabla N° 10-45. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branquiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>	14,13	7,58	26,15	2,50	
Hexanauplia	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopoensis</i>	2,29				
	Harpacticoidea	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.	4,96	1,48	31,60	0,40	12,35
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2022				
Abundancia total (Ind/L)		0,0	239,1	21,38	9,05	57,75	2,90	12,35
Riqueza de taxa (S)		0	4	3	2	2	2	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,85	0,44	0,69	0,40	-
Equidad (J')		-	-	0,78	0,64	0,99	0,58	-

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° 10-21. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2022 (TB-1, TB-2 y TB-3), no se encontraron organismos zooplanctónicos.

10.2.3.3.4 Zoobentos

10.2.3.3.4.1 Sector Peine

En el sector Peine, el zoobentos en verano 2022 presentó una riqueza de *taxa* entre 0 y 3, ocurriendo el máximo en la estación S-5, dos *taxa* en S-10 e I-17 (respectivamente) y ningún organismo en la estación I-11. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por crustáceos ostrácodos de la familia Cyprididae, larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae (Subfamilia Chironominae) y Muscidae, junto con moluscos gasterópodos *Heleobia* sp. Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 0 ind/m² en I-11 (laguna Interna) a 1375 ind/m² en S-5 (laguna Salada). Los organismos más abundantes fueron los ostrácodos Cyprididae, seguidos por larvas de insectos Ceratopogonidae y luego por los gasterópodos *Heleobia* sp. (Tabla N° 10-46 y Figura N° 10-22).

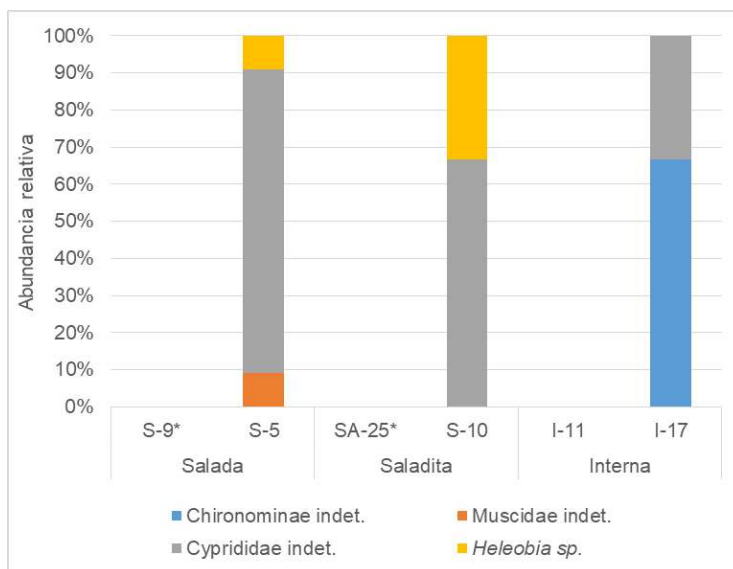
Las estimaciones de diversidad y equidad solo se pudieron calcular matemáticamente en las estaciones que tuvieron 2 o más *taxa* registradas, en este caso solo para las estaciones S-5, S-10 e I-17. Las diversidades para todas las estaciones fueron bajas, entre 0,6 y 0,64 nits/ind y la equidad estimada fue baja en S-5 (0,55) y alta en S-10 (0,92) y en I-17 (0,92). En el caso de estas últimas, estuvo dado por las abundancias similares de los *taxa* obtenidas en esas estaciones (Tabla N° 10-46).

Tabla N° 10-46. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae indet.	Sin Acceso	125	Sin Acceso			500
		Muscidae	Muscidae indet.						
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.		1125		250		250
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>		125		125		
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2022					
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	-	1375	-	375	0	750
Riqueza de taxa (S)		0	5	-	3	-	2	0	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	-	0,60	-	0,64	-	0,64
Equidad (J')		-	-	-	0,55	-	0,92	-	0,92

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familia 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 riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

Figura N° 10-22. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia. (*) En la campaña estival de 2022, no se realizó el muestreo en las estaciones S-9 y SA-25, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas 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 en verano 2022, el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 1 y 3, ocurriendo el máximo en las estaciones LP-24, LB-1 y LB-3, dos *taxa* en LP-23 y solo un taxón en LB-2. La fauna zoobentónica estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida del género *Tigriopus*, por moluscos gasterópodos del género *Heleobia*, por larvas de insectos dípteros de las familias Ephydriidae, Ptycopteridae y Chironomidae (Subfamilia Chironominae) y por ostrácodos Cyprididae (**Tabla N° 10-47**).

Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 500 ind/m² (LP-23 y LB-2) a 17125 ind/m² en LP-24. Los organismos más abundantes fueron de los copépodos *Tigriopus* sp., que se encontraron en gran abundancia en las estaciones LP-24 y LB-1 (16750 y 11125 ind/m², respectivamente), seguidos por los gasterópodos *Heleobia* sp., que se encontraron en la mayoría de las estaciones con abundancias entre 250 y 625 ind/m² y el resto de los *taxa* (insectos dípteros y ostrácodos Cyprididae, se encontraron con abundancias entre 125 y 500 ind/m² (**Tabla N° 10-47**).

Las estimaciones de diversidad variaron entre 0,12 nits/ind (LP-24) y 1,08 nits/ind (LB-3). En el caso de la equidad las estimaciones estuvieron en el rango de 0,11 (LP-24) y 0,98 (LB-3), donde los valores altos (>0,8), están dados por las abundancias similares de los *taxa* obtenidas por estación (**Tabla N° 10-47**).

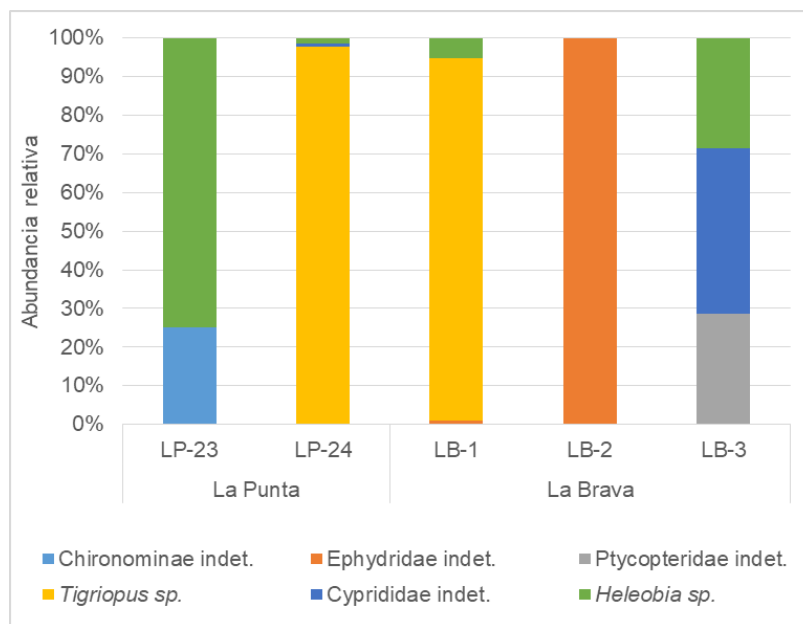
Tabla N° 10-47. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae indet.	125				
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.			125	500	
		Ptycopteridae	Ptycopteridae indet.					250
Hexanauplia	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.		16750	11125		
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.		125			375
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	375	250	625		250
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2022				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	500	17125	11875	500	875
Riqueza de taxa (S)		1	3	2	3	3	1	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,56	0,12	0,26	-	1,08
Equidad (J')		-	-	0,81	0,11	0,24	-	0,98

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° 10-23** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar la dominancia de *Heleobia* sp. en LP-23, *Tigriopus* sp. en LP-24 y LB-1, Ephyridae en LB-2 y Cyprididae, Ptycopteridae y *Heleobia* sp. en LB-3.

Figura N° 10-23. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2022).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.4.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2022, el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 1 y 3, ocurriendo el máximo en la estación TB-2, dos *taxa* en TB-3 y un *taxón* en la estación TB-1. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por los moluscos gasterópodos *Heleobia atacamensis*, por anfípodos *Hyalella* sp., coleópteros de la familia Elmidae y ostrácodos de la familia Cyprididae. Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 1125 y 116875 ind/m² donde se encontró en gran abundancia el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, registrándose un máximo de 116750 ind/m² en TB-3 (**Tabla N° 10-48**).

Respecto a los índices comunitarios, las estimaciones de diversidad y equidad solo se pudieron calcular matemáticamente en las estaciones TB-2 y TB-3 (con más de 2 *taxa* registradas). Las diversidades fueron bajas, entre 0,01 y 0,89 nits/ind y la equidad estimada fue alta en TB-2 (0,81) y baja en TB-3 (0,01). En el caso de esta última, estuvo dado por la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron extremadamente disímiles (**Tabla N° 10-48**).

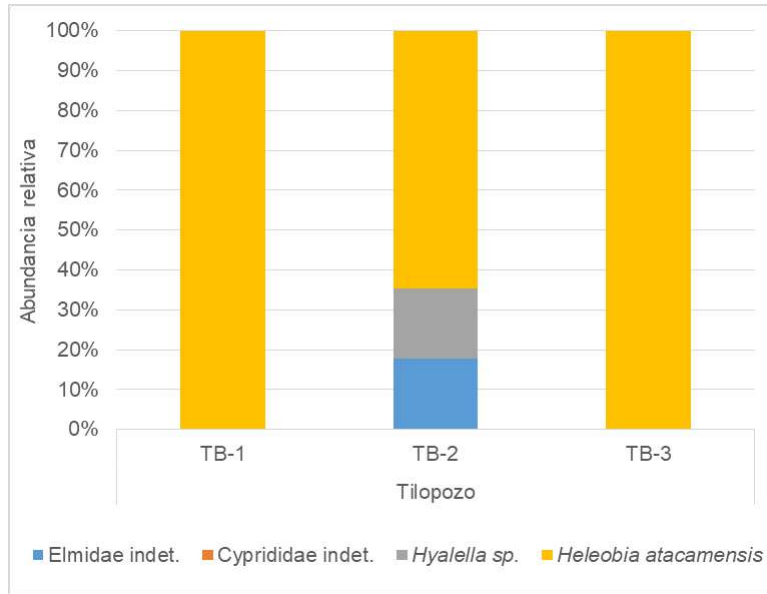
La estructura comunitaria del zoobentos en el sector, muestra una dominancia casi absoluta de *Heleobia atacamensis* en la estación TB-2 y absoluta en TB-2 y TB-3 (**Tabla N° 10-24**).

Tabla N° 10-48. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (verano 2022).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Insecta	Coleoptera	Elmidae	Elmidae indet.		375	
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.			125
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.</i>		375	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	1125	1375	116750
Abundancia total (Ind/m²)				1125	2125	116875
Riqueza de taxa (S)				1	3	2
Diversidad Shannon (nits/ind)				-	0,89	0,01
Equidad (J')				-	0,81	0,01

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-24. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2022).



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 2022, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, fueron detectadas 9 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *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° 10-49**).

Tabla N° 10-49. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 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>	Totorá	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramá salada	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	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 Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 10-50**), con 1 especie 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 (4 especies) y a TB-1 (5 especies) del sector vegas de Tilopozo.

Respecto a la cobertura (%), se observó en el sector Peine y en La Punta - La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en algunas estaciones de monitoreo. En Peine se detectaron coberturas en las lagunas Salada específicamente en la estación S-5 con 80%, la presencia en S-10 y en la laguna Interna en la estación I-11 con 12%. Mientras que, en el sector La Punta – La Brava se observaron coberturas de 2% en las estaciones LP-23, LP-24 y 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* (7%), *Triglochin concinna* (12%) y *Sarcocornia fruticosa* (58%). En la laguna La Brava se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna* con 33% 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 un 33% en las estaciones TB-1 y TB-3. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas de 33% en TB-1 y TB-2, *Distichlis spicata* con 18% en TB-1 y 17% en TB-2 y *Baccharis* sp. con 8% en TB-1, 33% en TB-2 y 67% en TB-3 (**Tabla N° 10-50**).

Cabe destacar que, la comunidad de plantas acuáticas en el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9) y laguna Saladita (SA-25), en la presente campaña no fue posible monitorearla, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

La **Tabla N° 10-50** presenta los registros de macrófitas para los tres sectores de estudio en sus distintas estaciones y su porcentaje de cobertura total.

Tabla N° 10-50. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 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 (80%)	Sin acceso		X (12%)			X (2%)	X (2%)			X (2%)			
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus californicus</i>												X (33%)	X (33%)	
<i>Juncus balticus</i>												X		
<i>Triglochin concinna</i>							X (12%)			X (33%)				
<i>Puccinellia frigida</i>							X (7%)							
<i>Distichlis spicata</i>												X (18%)	X (17%)	
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X (58%)							
<i>Baccharis sp.</i>												X (8%)	X (33%)	X (67%)
Riqueza Total	1				1	1	0	4	1	0	1	1	5	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 y 2021) y veranos (2017, 2018, 2019, 2021 y 2022).

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. Así, un resultado fuera del rango Mínimo-Máximo establecido podría deberse a una variación natural y no necesariamente a un efecto del proyecto.

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 periodos de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como períodos de verano. Estos datos fueron comparados con lo detectado en las respectivas campañas de invierno 2021 y verano 2022.

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 2021 y verano 2022, 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 periodos de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como periodos 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).

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 y 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 2021**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “superficies cubiertas por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2021, 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)⁴²”, especificado en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*; RWL, 2015 (en adelante, Adenda 5 RWL, 2015). En la Tabla N°11-1 se presenta un resumen del

⁴² 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.

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 mismas⁴³ y vegetación azonal, y en suma componen las 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 de muestreo y medición en terreno, así como los análisis en gabinete se identifican en **Tabla N°11-2**).

⁴³ Capítulo 11 “Niveles Freáticos de Lagunas” del consolidado de informes anuales; de acuerdo con el EIA se comprometen niveles para los sistemas (1) La Punta – La Brava; y (2) Peine.

Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
Cedrem Consultores	<u>Medición:</u> Revalidación estacional de puntos en terreno y levantamiento de puntos de posicionamiento en tiempo real de alta precisión; Revalidación estacional de puntos en terreno por fotointerpretación.	<u>Especialista:</u> Jessica Labarca (Fotointerpretación) Tomás Lizama (Terreno - GNSS) David Avaca (Terreno – dron) Gustavo Fica (Terreno – apoyo)
	<u>Trabajo en gabinete:</u> Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.	<u>Jefe de Proyecto:</u> Jorge Ramos <u>Especialistas en gabinete:</u> Jessica Labarca Tomás Lizama
Apogeos	<u>Trabajo en gabinete:</u> Correcciones y adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.	Lorena Bustamante (Especialista)

Fuente: Elaboración Propia

El presente informe describe los alcances metodológicos, 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 2021. 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 línea de base y con la superficie determinada a partir de Landsat 8, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los monitoreos de invierno 2021 y verano 2021, con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016) y con los históricos de línea de base.

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar trabajos de terreno y por ende no se pudo realizar la validación de puntos de muestreo y vuelo dron - UVA en ninguno de los dos sectores de estudio, debido a suspensión de actividades en la Planta Salar (ver detalles en **Anexo Áreas Lagunas 1.17 ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**)

En la campaña verano 2021 fue posible realizar validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en un sector Laguna Interna. Se presentaron medidas

de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso al sector Peine, en particular sector de 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 no obstante como ya se mencionó realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA sólo en un sector Laguna Interna, dado que no presentaba restricciones de acceso (por fuera del área delimitada). Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (ver detalles en **Anexo Áreas Lagunas 1.18. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021**)

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 línea de base, 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 2021 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 fotointerpretativas⁴⁴) 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 y La Brava y Peine.
- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares calculadas desde imágenes de alta resolución con los registros históricos determinados en la línea de base del componente y establecidos 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 en cada sistema lagunar.

⁴⁴ 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 y 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, multiespectrales, 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 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 2021 es validar el recubrimiento de suelo, mediante réplicas de los puntos levantados desde el primer año de monitoreo, en agosto y diciembre de 2016 hasta agosto y diciembre de 2020, 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.

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA, dada la suspensión de actividades en la Planta Salar debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle, donde se han producido hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando consiguientemente dificultades de traslado, accesos y movimientos (Ver **Anexo Áreas Lagunas 1.17 ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**). Los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación) tomada durante el monitoreo.

En la campaña verano 2021 fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava. Por su lado, se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso 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 no obstante realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA en el sector Laguna Interna, 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 detalles en **Anexo Áreas Lagunas 1.18. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021**).

La captura de las imágenes satelitales de alta resolución (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 en los sectores donde no se presentaron restricciones de movilidad, tanto en invierno como en verano 2021.

El diseño de muestreo implementado para el trabajo en terreno – *in situ*, corresponde al tipo *aleatorio –estratificado* y *estratificado- dirigido* mediante transectos, en los cuatro sistemas lagunares, 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 la muestra se calculó a partir de la superficie mínima de cuerpos de agua registrada en la línea de base 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* – y aquellos provenientes de la fotointerpretación de la imagen satelital. 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 2021, 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 - <i>in situ</i>	Fotointerpretación	Terreno - <i>in situ</i>	Fotointerpretación		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	-	218	-	73	239	72
	Cuerpos de agua	-	87	-	24	66	25
	Total sistema lagunar	-	305	-	97	305	97
Peine	Otros recubrimientos	-	70	-	91	77	95
	Cuerpos de agua	-	121	-	91	114	87
	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 2021, 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 - <i>in situ</i>	Fotointerpretación	Terreno - <i>in situ</i>	Fotointerpretación		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	220	-	77	-	261	83
	Cuerpos de agua	85	-	20	-	44	14
	Total sistema lagunar	305		97		305	97
Peine	Otros recubrimientos	6	67	6	74	94	86
	Cuerpos de agua	-	118	-	102	97	96
	Total sistema lagunar	6	185	6	176	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

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en ninguno de los dos sectores de estudio, por lo que los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación); las imágenes **Pleiades 1A se obtuvieron el 16 de agosto de 2021**, y las imágenes **Landsat 8 fueron capturadas el 24 de agosto de 2021**.

El equipo utilizado en la campaña de verano 2021 para el levantamiento de puntos de información de 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 el sistema lagunar de La Punta - La Brava y Laguna Interna en el sector Peine. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1A, el **12 de diciembre de 2021** y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el **14 de diciembre de 2021**.

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 DJI modelo Mavic Pro con cámara de 12 mega pixeles los sectores que no presentaban restricciones de movilidad.

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 método fotointerpretativo 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 **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 2021, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, 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**).

11.1.5.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A

Las imágenes multiespectrales 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 2021 (Figura N°11-2)** y de verano es **12 de diciembre de 2021 (Figura N°11-3)**. 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.

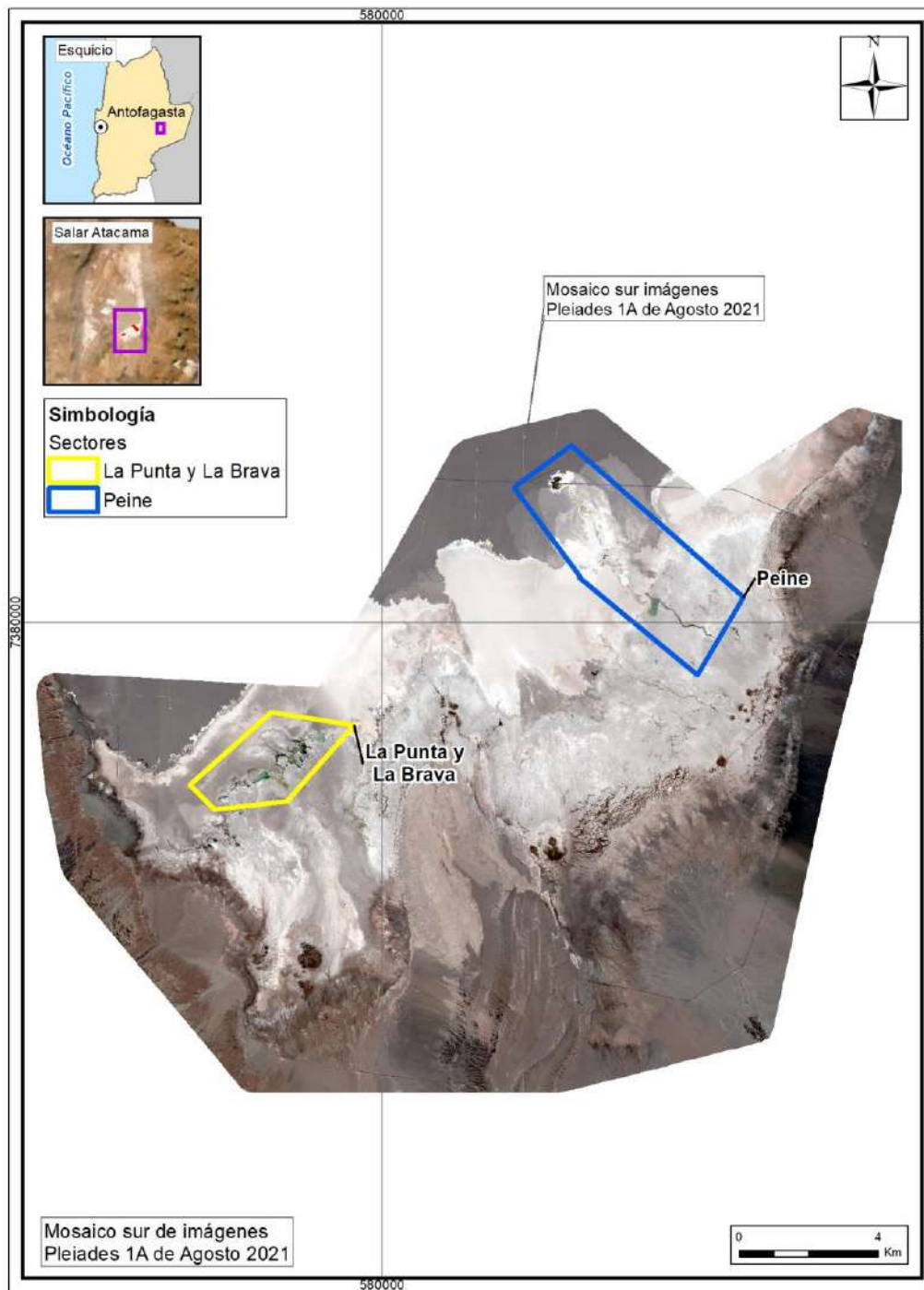
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. 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	

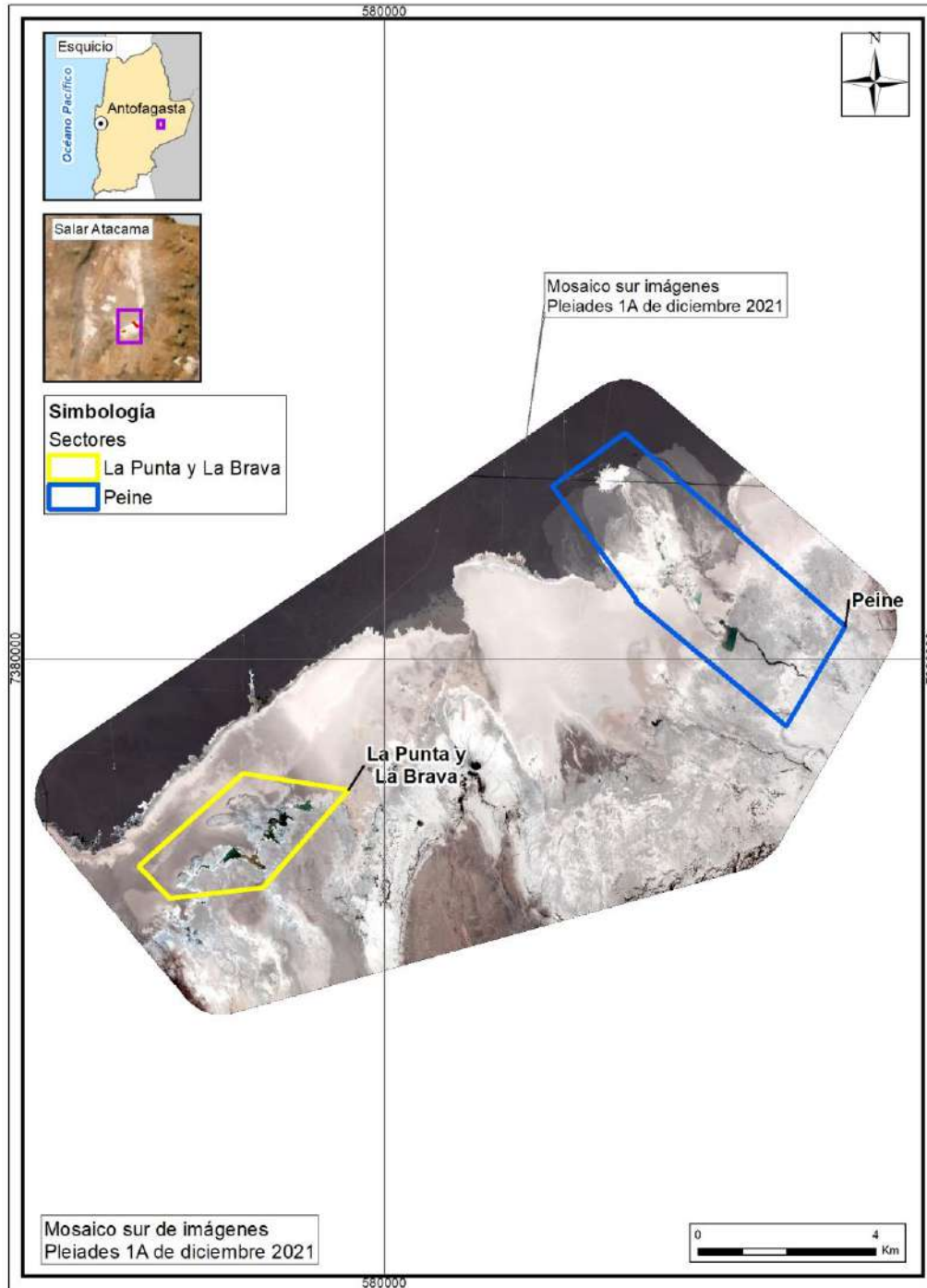
Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>.
 Visitada en agosto y diciembre 2021.

Figura N°11-2. 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 2021.



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (invierno 2021).

Figura N°11-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2021.



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (verano 2021).

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 **24 de agosto y 14 de diciembre de 2021**. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio web de *United States Geological Survey* (USGS; **Figura N°11-4**). 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 **Tabla N°11-6** y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

Figura N°11-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2021 (izquierda – RGB) y verano 2021 (derecha - RGB).



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre de 2021.

Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Costera	0,43 – 0,45	30
Band 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 Rojo	0,64 – 0,67	30
Band 5 Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
Band 6 Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Band 7 Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Band 8 Pancromática (Pan)	0,50 – 0,68	15
Band 9 Cirros (Cirrus)	1,36 – 1,38	30
Band 10 Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10,6 – 11,19	100
Band 11 Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre 2021.

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 ($W / (m^2 *sr * \mu m)$)⁴⁵. 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.

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 línea de base), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvienco, 2006). 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 (el **Anexo Área de Lagunas**

⁴⁵ Dónde: W: Watts; m²: metro cuadrado; sr: estereorradián; μm : micrómetro.

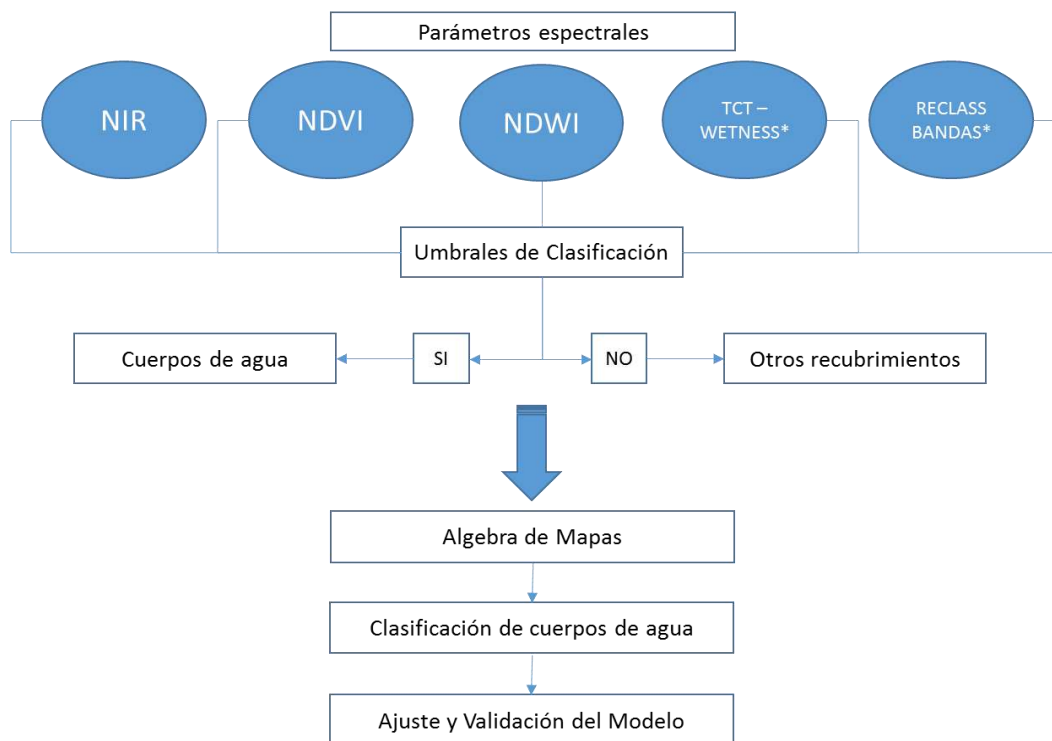
detalla los ajustes metodológicos aplicados y sus implicancias en la estimación de los cuerpos de agua).

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°11-2 y Figura N°11-3**).

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 línea de base para este componente.

Figura N°11-5. 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: Elaboración Propia en base a metodología “Modificada del Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (MNDWI) en Adenda 5 RWL (2015).

La clasificación supervisada de imágenes satelitales se empleó para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua. El método se inicia con el establecimiento, mediante criterio de experto, de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales de evaluación que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno/fotointerpretación (**Figura N°11-5**).

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.

Comparativamente entre la metodología de línea de base y la actual, cabe destacar que en esta última se incorporan dos parámetros espectrales adicionales, correspondientes a NDVI y a la transformación "*Tasseled Cap*" (*Wetness*). Esta modificación, se realizó con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado, considerando que los suelos salinos usualmente presentan distintos tipos y concentraciones de sales, afectando la reflectancia del suelo en distintos grados y puede conducir a errores significativos durante interpretaciones espectrales (Wang *et al.*, 2012). El **Anexo Área de Lagunas** detalla los ajustes metodológicos aplicados en relación a la línea de base y las posibles implicancias en 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 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, controlada por el conocimiento de las características de los objetos a catalogar, su respuesta espectral y los umbrales determinados en campañas anteriores. Complementariamente, el proceso estuvo guiado por los datos de validación *in situ* o fotointerpretados obtenidos en las campañas de agosto y diciembre de 2021. Los umbrales obtenidos se presentan en la **Tabla N°11-7**. Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a la línea de base 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 los ajustes metodológicos detallados 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 2021.

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA - LA BRAVA	PEINE
Agosto 2021			
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P85 >= -0,127195	NB 7/20 >= -0,004244
	NDVI	P5 <= -0,055289	NB 13/20 <= -0,093219
	NIR - B5	R 7/15 <= 0,27441	P10 <= 0,33292
	WETNESS	NO	R 15/32 >= 0,17772
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	P80 >= -0,102997	NB 9/20 >= -0,055116
	NDVI	NB 10/15 <= 0,021313	NB 11/20 <= 0,022765
	NIR - B4	P10 <= 0,258085	NB 11/25 <= 0,304606
	(B1<B2) y (B3> B4)	SI	SI
Diciembre 2021			
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P80 >= -0,148903	R 4/20 >= -0,0902645
	NDVI	P5 <= 0,029532	P5 <= 0,0553688
	NIR - B5	R 9/15 <= 0,41498	P15 <= 0,40934
	WETNESS	NO	R 9/20 >= 0,16853
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	NB 12/32 >= -0,016615	P85 >= -0,082909
	NDVI	NB 22/32 <= 0,018027	P5 <= 0,027515
	NIR - B4	P5 <= 0,43538	NB 4/9 <= 0,419913
	(B1<B2) y (B3> B4)	SI	SI

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 a las variaciones temporales del sensor y la naturaleza de los sustratos. Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la complejidad de las áreas de estudio, fue preciso considerar diferentes intervalos en las distribuciones de las variables. Para ello, se utilizaron los métodos de clasificación

de datos por percentiles, intervalos equivalentes y quiebres naturales, esto con el objeto de encontrar el mejor ajuste en el modelo de clasificación. Este proceso se realizó en el software ArcGIS 10.6. 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 extrajo el conjunto de pixeles 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 realizó mediante la unión de los parámetros reclasificados según el umbral definido y se determinó la cobertura de agua cuando al menos tres 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 realizó 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 del 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 solo 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*⁴⁶, el cual es una medida ajuste en términos de la exactitud del modelo de clasificación. Este mide la diferencia entre los datos de validación del 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:

⁴⁶ 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).

$$\kappa = \frac{[(\Sigma \text{ concordancias observadas}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{total de observaciones}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}$$

El índice *Kappa* tiene un rango entre 0 y 1 el cual representa proporcionalmente la exactitud en el ajuste del modelo. Valores de *K* cercanos a 1 revelan una muy buena concordancia entre la realidad observada y la cobertura obtenida. Contrariamente, valores próximos a 0 sugieren que la concordancia observada es sólo debido al azar. Según Landis y Koch (1977), valores $K > 0,4$ indican un modelo de clasificación *aceptable* en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo *considerable* y $K > 0,8$ *casi perfecto* en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

Con los datos tomados y la clasificación realizada por sistema lagunar, se procedió 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, 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°11-6**).

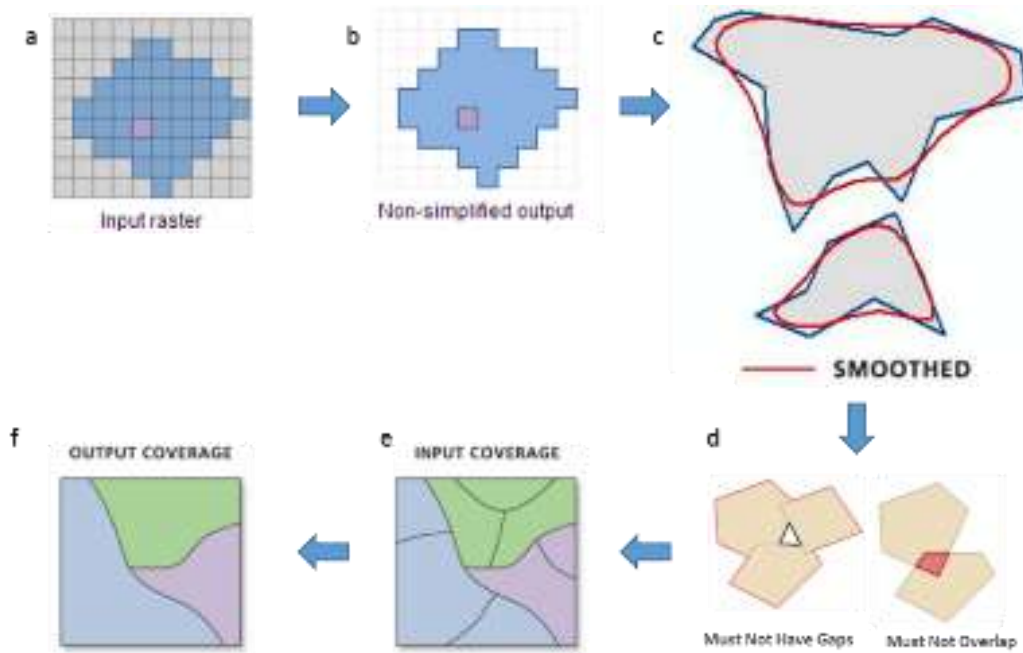
Adicionalmente, se realizó una depuración final en los *shapes*, la cual buscó reducir errores de clasificación aleatorios siguiendo dos criterios:

- 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 de mayor tamaño dentro del sector de estudio y,

- ii) Revisión y ajuste de las coberturas mediante fotointerpretación en cuerpos de agua permanentes, siguiendo el patrón espacial de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015) y de los monitoreos de invierno y verano de 2021, sobre las imágenes de alta resolución y Landsat 8.

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 y La Brava y Peine).

Figura N°11-6. 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 línea de base:* se realizó entre el resultado de las superficies de lagunas registradas en los monitoreos de agosto y diciembre 2021, y las variaciones en relación al mínimo histórico de la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).
- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2021 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 2021, con respecto a los resultados de los monitoreos entre 2016 y 2020.

Cabe destacar que el actual monitoreo, describe los cuerpos de agua en condiciones de operación del proyecto.

11.1.7 Fechas de medición

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los cuatro sectores de estudio, dada la suspensión de actividades en la Planta Salar debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle (Ver **Anexo Áreas Lagunas 1.17 ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**); en tanto las imágenes Pleiades 1A se obtuvieron el 16 de agosto de 2021, y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el 24 de agosto de 2021. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis de invierno 2021 se presentan en el **Anexo Área de Lagunas.**

En la campaña verano 2021 fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en una sector de Peine (Laguna Interna). Por su lado, se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso 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 no obstante realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA en el sector Laguna Interna, 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).

La campaña de terreno de verano 2021 para los sitios sin restricción de movilidad se llevó a cabo los días **14 al 17 de diciembre de 2021**. Las imágenes Pleiades 1A de esta campaña se obtuvieron el 12 de diciembre de 2021, y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el 14 de diciembre de 2021. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis se presentan en el **Anexo Área de Lagunas**.

11.2 RESULTADOS

11.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

Para el periodo de agosto de 2021, la clasificación supervisada de cuerpos de agua, basada en datos de terreno, no se llevó a cabo en los sectores en seguimiento dadas las restricciones de movilidad dada la solicitud de suspensión de actividades en la Planta Salar debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle (Ver **Anexo Áreas Lagunas 1.17 ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21**); en tanto para el periodo de diciembre de 2021, la validación en terreno se pudo realizar en el sistema lagunar de La Punta y La Brava y el subsector Laguna Interna del sector Peine, debido a la restricción 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). En todos los casos en que se presentaron restricciones de movilidad y control de acceso se completa la validación principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución.

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, en relación a los datos de terreno y fotointerpretados, se realizó mediante el índice *Kappa*. Este índice tuvo valores de 0,80 (La Punta y La Brava) y 0,92 (Peine) para imágenes de alta resolución y de 0,92 (LPLB) y 0,93 (PE) para imágenes de resolución media en agosto de 2021. Respecto de diciembre de 2021, este índice tuvo una variación entre 0,61 (La Punta y La Brava) y 0,78 (Peine) para imágenes de alta resolución y desde 0,50 a 0,87 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*⁴⁷. (**Tabla N°11-8**,

⁴⁷ 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).

Tabla N°11-9, Tabla N°11-10, Tabla N°11-11).

El mejor ajuste de los *kappa* históricos se presentan, desde imágenes de alta resolución, en el mes de agosto 2020 con 0,96 en el sector Peine y el menor ajuste en agosto de 2016 con 0,45 en el sector La Punta y La Brava; para las imágenes de resolución media el mejor ajuste fue en agosto de 2021 con 0,93 para el sector Peine y el mejor ajuste en diciembre de 2020 con 0,44 en el sector La Punta y la Brava (ver **Tabla N° 13-50**).

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, 2021.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	65	22	87	74,7	25,3	
	Otros Recubrimientos	1	217	218	99,5	0,5	
	Total	66	239	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	98,5	90,8	-	-	-	
	***Error omisión (%)	1,5	9,2	-	-	Índice Kappa:	0,80
						Precisión global (OA):	92%
Peine	Cuerpos de agua	114	7	121	94,2	5,8	
	Otros Recubrimientos	0	70	70	100,0	0,0	
	Total	114	77	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	90,9	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,0	9,1	-	-	Índice Kappa:	0,92
						Precisión global (OA):	96%

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: 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, 2021.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	23	1	24	95,8	4,2	
	Otros Recubrimientos	2	71	73	97,3	2,7	
	Total	25	72	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	92,0	98,6	-	-	-	
	***Error omisión (%)	8,0	1,4	-	-	Índice Kappa:	0,92
						Precisión global (OA):	97%
Peine	Cuerpos de agua	86	5	91	94,5	5,5	
	Otros Recubrimientos	1	90	91	98,9	1,1	
	Total	87	95	182	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	98,9	94,7	-	-	-	
	***Error omisión (%)	1,1	5,3	-	-	Índice Kappa:	0,93
						Precisión global (OA):	97%

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: 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, 2021.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	44	41	85	51,8	48,2	
	Otros Recubrimientos	0	220	220	100,0	0,0	
	Total	44	261	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	84,3	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	15,7	-	-	Índice Kappa:	0,61
						Precisión global (OA):	87%
Peine	Cuerpos de agua	97	21	118	82,2	17,8	
	Otros Recubrimientos	0	73	73	100,0	0,0	
	Total	97	94	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	77,7	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	22,3	-	-	Índice Kappa:	0,78
						Precisión global (OA):	89%

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: 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, 2021.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	10	10	20	50,0	50,0	
	Otros Recubrimientos	4	73	77	94,8	5,2	
	Total	14	83	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	71,4	88,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	28,6	12,0	-	-	Índice Kappa:	0,50
						Precisión global (OA):	86%
Peine	Cuerpos de agua	93	9	102	91,2	8,8	
	Otros Recubrimientos	3	77	80	96,3	3,8	
	Total	96	86	182	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	96,9	89,5	-	-	-	
	**Error omisión (%)	3,1	10,5	-	-	Índice Kappa:	0,87
						Precisión global (OA):	93%

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: 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

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 ante la diferencia de recubrimientos (caso sector Peine). Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran más de un recubrimiento en los bordes lagunares, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de los cuerpos de agua (caso sector La Punta y La Brava).

Para el índice de *precisión global*, los valores tuvieron una variación entre 92% y 96% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y de 97% para imágenes de resolución media en agosto de 2021, para la Punta – La Brava y Peine, respectivamente. Respecto de diciembre de 2021, la precisión global del modelo obtuvo valores entre 87% y 89% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y desde 86% a 93% para imágenes de resolución media Landsat 8 en La Punta - La Brava y Peine, respectivamente. Valores promedio sobre el 90% muestran una alta concordancia de lo observado con el resultado del método de clasificación supervisada, en todos los sectores y para ambas temporadas (agosto 2021 y diciembre 2021).

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 Landsat 8.

Complementariamente, la **Figura N° 11-8** y **Figura N° 11-9** 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 2021 (invierno y verano).

Sistema Lagunar	Superficies desde alta resolución (Pleiades 1A)					
	Invierno 2021		Verano 2021		Promedio anual (2021)	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	45,8	458.260,4	24,1	240.841,4	35,0	349.550,9
Peine	45,7	457.119,2	26,4	263.543,4	36,0	360.331,3

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 2021 (invierno y verano).

Sistema Lagunar	Superficies desde alta resolución (Landsat 8)					
	Invierno 2021		Verano 2021		Promedio anual (2021)	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	40,0	399.631,7	35,5	355.025,8	37,7	377.328,7
Peine	36,0	359.676,6	33,4	333.609,9	34,7	346.643,2

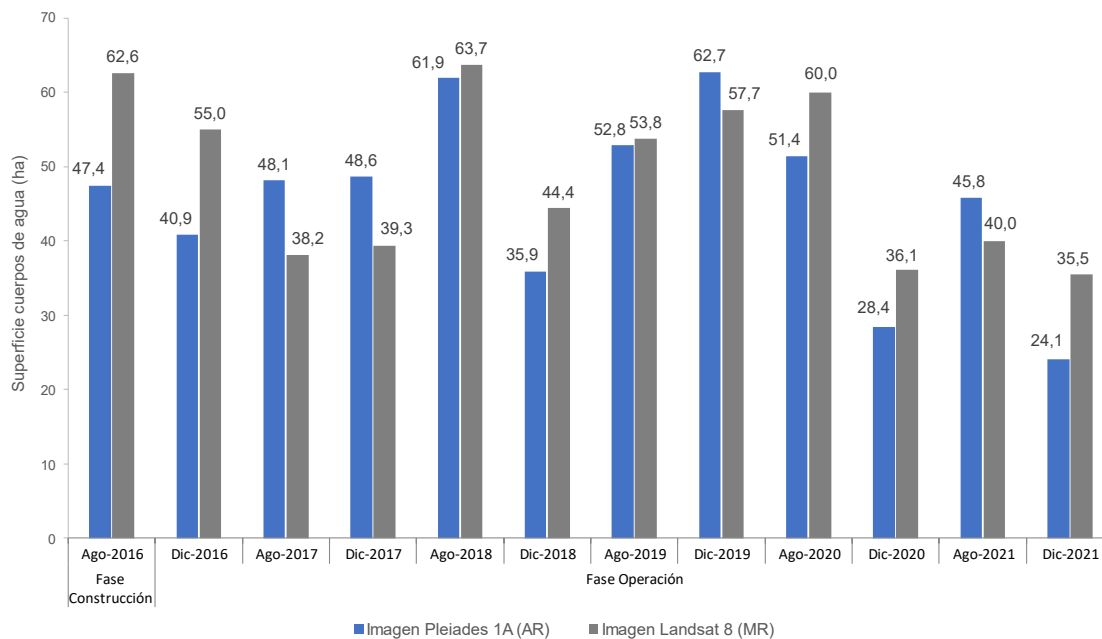
Fuente: Elaboración Propia

En el **sistema lagunar La Punta y La Brava**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 45,8 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 24,1 ha (**Tabla N° 11-12** y **Figura N° 11-7**). Desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 40,0 ha en agosto de 2021 y en diciembre 2021 se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 35,5 ha (**Tabla N° 11-13** y **Figura N° 11-7**). Estos valores (agosto 2021) en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Pleiades 1A sobre Landsat 8 de un +12,8% (+5,9 ha) para este periodo. Desde imágenes

Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 35,5 ha en diciembre de 2021, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +32,2% (+11,4 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).

La correlación entre las superficies desde 2016 a 2021 en el sector La Punta y 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 0,690⁴⁸ lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor *p* es de 0,013. Puesto que el valor *p* es menor que el nivel de significancia de 0,05, la correlación es estadísticamente significativa.

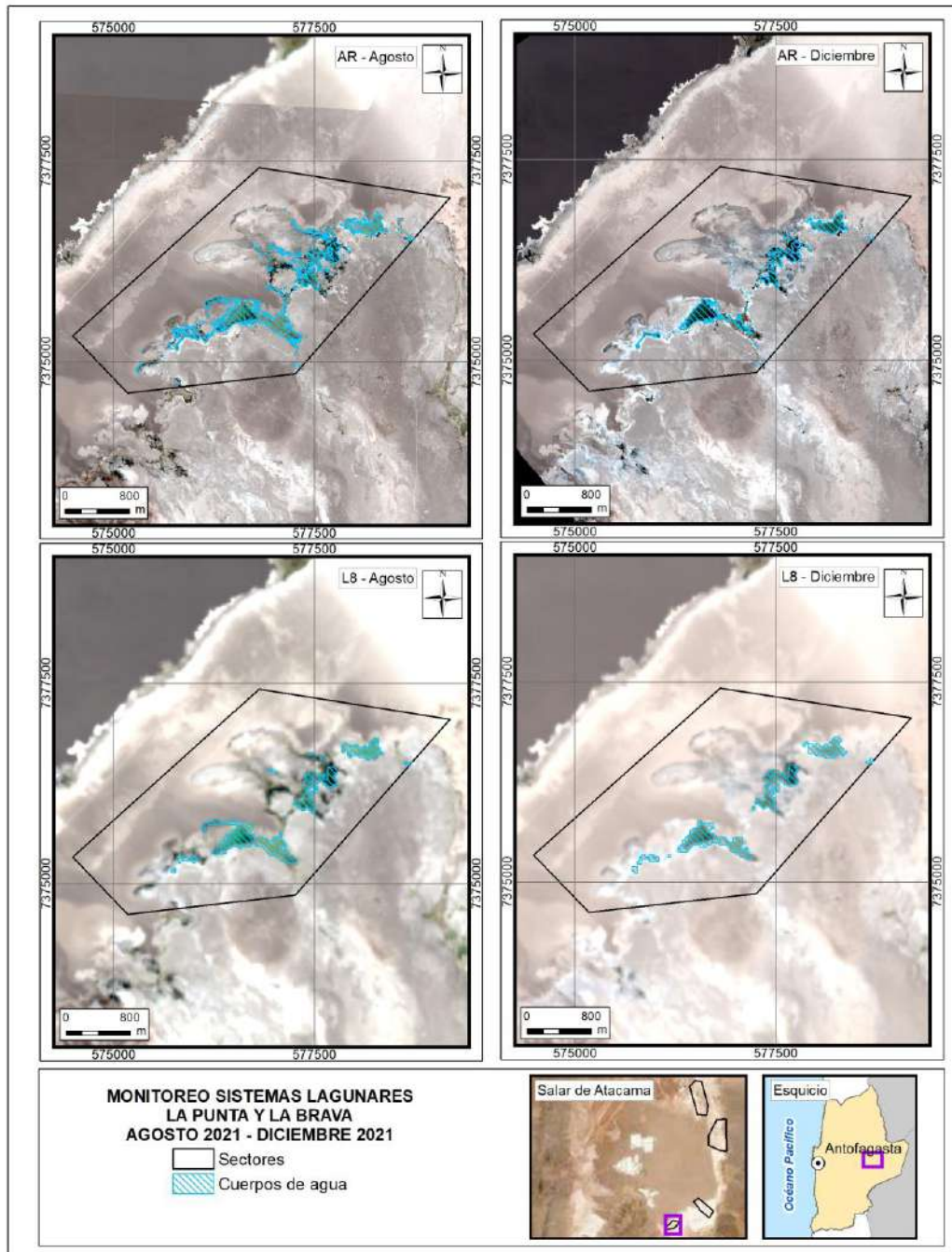
Figura N° 11-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

⁴⁸ 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° 11-8. 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 2021 – diciembre 2021.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre de 2021.

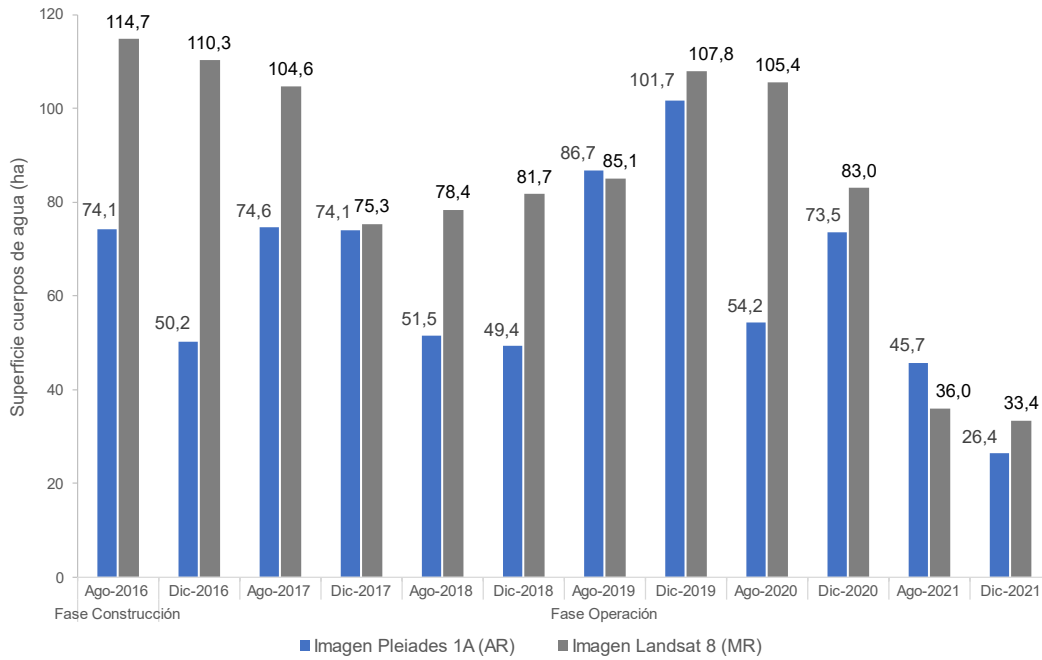
En el **sistema lagunar Peine**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 45,7 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 26,4 ha (**Figura N° 11-9**).

En el sistema lagunar Peine, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 36,0 ha en agosto de 2021; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Pleiades 1A sobre Landsat 8 de un +21,3% (+9,7 ha) para este periodo. Para las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 33,4 ha en diciembre de 2021, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +21,0% (+7,0 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 2021, 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 0,594⁴⁹ lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor p es de 0,042 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables AR y Landsat.

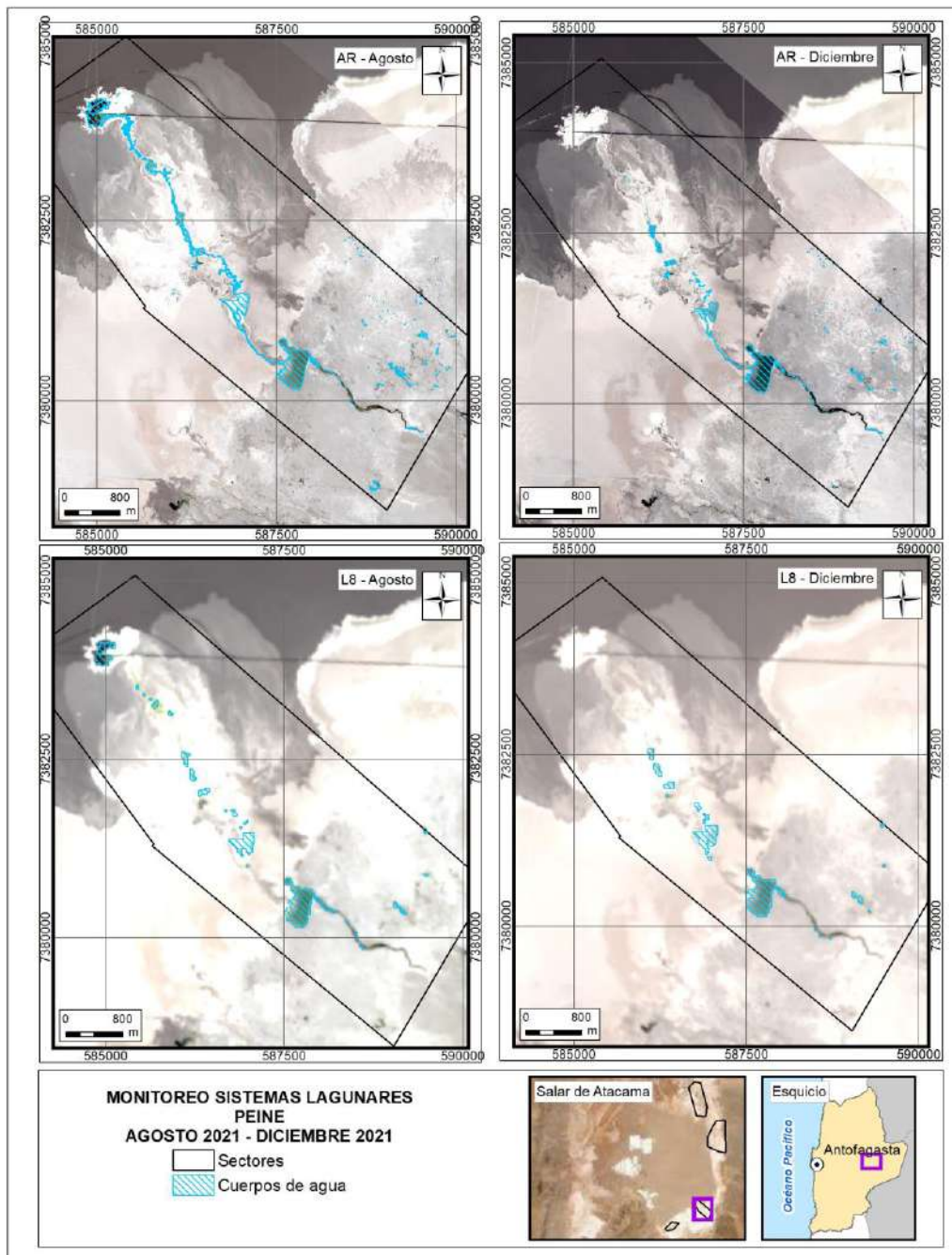
⁴⁹ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N° 11-9. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
 Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

Figura N° 11-10. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2021.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2021.

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), la variable área de superficies lagunares se enmarca dentro del estado ecológico del sistema. Si bien no quedaron establecidos límites a considerar, esta variable 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 el criterio para el PSA Hídrico de acuerdo en la RCA N°21/2016, donde 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”*, lo que se puede observar en los registros históricos presentados y en los resultados del monitoreo de periodo 2016 - 2021.

12 NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS

Este capítulo tiene como objetivo presentar el reporte de los monitoreos comprometidos en el Plan de Manejo Biótico (PMB), correspondientes a 5 puntos de medición de niveles freáticos distribuidos en los Sistemas Lagunares: 3 en el Sistema La Punta - La Brava; y 2 en el Sistema Peine, con una frecuencia mensual de medición, durante el **período de abril 2021 a marzo de 2022**.

Esta medición de niveles 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, y que permitirá ir observando en el tiempo el estado ecológico de los sistemas hídricos.

El objetivo de este capítulo, es presentar el monitoreo comprometido para la medición de niveles piezométricos se realizan en 5 puntos de niveles freáticos de Lagunas: 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. No corresponde a la altura limnimétrica de aguas, sino que al nivel freático de las aguas subterráneas en donde se ubican las lagunas.

Durante el periodo abril 2021 a marzo 2022, para los pozos del sector La Punta - La Brava y Peine, se presentan registros de mayor frecuencia de medición (de mensual a quincenal) en abril 2021; entre julio y septiembre 2021; y entre febrero y marzo 2022. En **abril 2021**, se estaba midiendo con frecuencia quincenal en forma precautoria por las medidas bajo el umbral ocurridas en el sector de Alerta Acuífero. En el caso del sector de Peine, no fue posible medir abril ya que la Comunidad de Peine cerró el ingreso⁵⁰ a las Lagunas, dada la época de reproducción de flamencos.

En los meses de julio, agosto y septiembre 2021, el aumento de frecuencia del PSAH tuvo su origen en la activación⁵¹ del PATH Sector Alerta Norte en Fase II, informado a través de carta **ALB-GMA-2021-SMA-038** y por ende la aplicación de la medida del aumento de frecuencia de las mediciones. En agosto y septiembre 2021, no se pudieron realizar todas las medidas contempladas en los puntos, debido a la toma y corte de caminos asociado a un huelga de trabajadores de Albemarle (**ALB-GMA-2021-SMA-047**) (**Ver Anexo Niveles Freáticos**).

⁵⁰ Verificadores no autorización de ingreso a lagunas de Peine.

⁵¹ Activación PAT Sector Alerta Norte de ALB se gatilla por la activación del Plan de Contingencias de SQM, excedencia de punto L1-5 ubicado en sistema Soncor.

Entre los meses de noviembre 2021 a febrero 2022, para los pozos del Sector Peine, pozos BA-21 y BA-22, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar, lo cual se encuentra en **Carta Comunidad de Peine Doc. N°YYY/2021**⁵² en **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones** de este Informe Anual.

Por último, para los meses de febrero y marzo 2022, se tiene nuevamente aumento de frecuencia de monitoreo quincenal, debido a la activación del PAT Sector Alerta Acuífero que tuvo lugar el 31 de enero del 2022, lo que fue informado a la autoridad mediante **carta ALB-GMA-2022-SMA-010 (Ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones)**. Lo anterior, implicó aplicar las medidas preventivas de aumentar la frecuencia de medición desde el mes de febrero (por 3 meses) para todos los puntos del PSAH.

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 de los niveles en los Sistemas Lagunares. Son los que destacan en los polígonos del Sistema Lagunar La Punta - La Brava y Sistema Lagunar Peine, sistemas en los cuales se compromete la medición de los niveles en pozos someros para el PMB.

⁵² La carta de la comunidad Peine está numerada literalmente de esta forma: "N°YYY"

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 entregan profundidades, cota collar y niveles correspondientes a las mediciones tanto del periodo abril 2021 - marzo 2022 como históricas para estos piezómetros.

Tabla N° 12-1: Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas

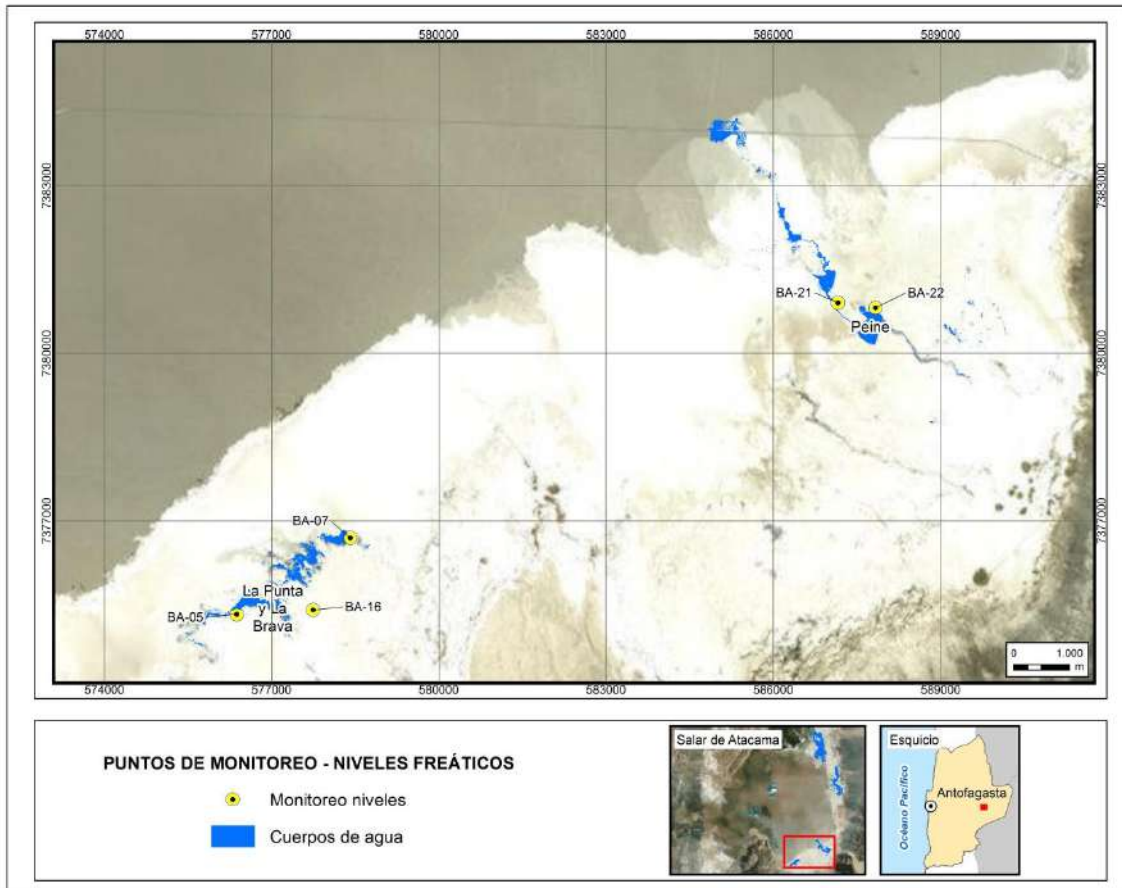
Punto	Coordenadas WGS 84 (HUSO 19S)		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta - La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta - La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta - La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine	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 en 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 metros, 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 se indica en la **Tabla N° 12-3** y corresponde al de los registros medidos en las campañas de monitoreo de los pozos de medición de Albemarle, las cuales se realizan con una frecuencia mensual. Cabe señalar que si bien el compromiso ambiental es de mediciones a nivel mensual, hubo meses que los pozos fueron monitoreados con una frecuencia quincenal dada la activación del PAT Sector Alerta Norte y PAT Sector Acuífero, y por lo tanto, hay meses con 2 mediciones de nivel para ambos sectores. Cabe señalar que en agosto y septiembre de 2021, no fue posible realizar la totalidad de las mediciones quincenales, debido a tomas de caminos producto de huelgas de uno de los sindicatos de Albemarle, pero si se pudo obtener la mensual. Lo anterior, se encuentra respaldado en **Carta ALB-GMA-2021-SMA-047** en **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones** de este Informe Anual.

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, sin perjuicio que se cumple con las medidas quincenales de niveles en los meses que corresponde, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones entre noviembre 2021 y febrero 2022. La no autorización del ingreso antes referida es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar, lo cual se encuentra en **Carta Comunidad de Peine Doc. N°YYY/2021**⁵³ en **Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones** de este Informe Anual.

⁵³ La carta de la comunidad Peine está numerada literalmente de esta forma: "N°XXX"

Tabla N° 12-3: Fechas de Medición del Año

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2021 Mayo 2021 Junio 2021 Julio 2021 Agosto 2021 Septiembre 2021 Octubre 2021 Noviembre 2021 Diciembre 2021 Enero 2022 Febrero 2022 Marzo 2022

Fuente: Elaboración propia

12.2 RESULTADOS

12.2.1 Resultados de los registros abril 2021 a marzo 2022

A continuación se presentan los resultados de medición de los niveles en los puntos señalados, para el período informado abril 2021 – marzo 2022 (**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 medidas y de la cota de niveles para estos piezómetros.

Como ya fue mencionado, en las tablas siguientes se incorporan mediciones de mayor frecuencia para los niveles de los pozos correspondientes al sector La Punta - La Brava y Peine, producto de activación del Plan de Alerta Temprana del Plan de Seguimiento Hídrico (PATH). El PATH tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudiesen 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 PAT hídrico: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PAT del sector Alerta Norte, Albemarle se activa automáticamente al estar bajo el umbral en el o los puntos del Plan de Contingencia de SQM.

Los valores de niveles que a continuación se reportan, corresponden a los mismos registrados e informados en el Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH Informe Anual N°6), 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	03-04-2021	0,931	2.300,154
BA-05	17-04-2021	0,922	2.300,163
BA-05	03-05-2021	0,911	2.300,174
BA-05	06-06-2021	0,882	2.300,203
BA-05	05-07-2021	0,885	2.300,200
BA-05	17-07-2021	0,891	2.300,194
BA-05	03-08-2021	0,891	2.300,194
BA-05	17-08-2021	No se mide por toma de caminos, asociado a huelga de unos de los sindicatos de Albemarle ¹	
BA-05	03-09-2021		
BA-05	20-09-2021	0,916	2.300,169
BA-05	02-10-2021	0,928	2.300,157
BA-05	02-11-2021	0,946	2.300,139
BA-05	27-12-2021	0,972	2.300,113
BA-05	31-01-2022	0,985	2.300,100
BA-05	15-02-2022	0,985	2.300,100
BA-05	28-02-2022	0,984	2.300,101
BA-05	14-03-2022	0,966	2.300,119
BA-05	29-03-2022	0,946	2.300,139
BA-07	03-04-2021	0,893	2.299,988
BA-07	17-04-2021	0,885	2.299,996
BA-07	03-05-2021	0,870	2.300,011
BA-07	06-06-2021	0,834	2.300,047
BA-07	05-07-2021	0,844	2.300,037
BA-07	17-07-2021	0,849	2.300,032
BA-07	03-08-2021	0,849	2.300,032
BA-07	17-08-2021	No se mide por toma de caminos, asociado a huelga de unos de los sindicatos de Albemarle ¹	
BA-07	03-09-2021		
BA-07	20-09-2021	0,877	2.300,004
BA-07	02-10-2021	0,889	2.299,992
BA-07	02-11-2021	0,918	2.299,963
BA-07	27-12-2021	0,942	2.299,939
BA-07	31-01-2022	0,966	2.299,915
BA-07	15-02-2022	0,964	2.299,917
BA-07	28-02-2022	0,956	2.299,925

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-07	14-03-2022	0,946	2.299,935
BA-07	29-03-2022	0,930	2.299,951
BA-16	03-04-2021	0,934	2.300,843
BA-16	17-04-2021	0,927	2.300,850
BA-16	03-05-2021	0,914	2.300,863
BA-16	06-06-2021	0,880	2.300,897
BA-16	05-07-2021	0,902	2.300,875
BA-16	17-07-2021	0,904	2.300,873
BA-16	03-08-2021	0,902	2.300,875
BA-16	17-08-2021	No se mide por toma de caminos, asociado a huelga de unos de los sindicatos de Albemarle ¹	
BA-16	03-09-2021		
BA-16	20-09-2021	0,923	2.300,854
BA-16	02-10-2021	0,934	2.300,843
BA-16	02-11-2021	0,945	2.300,832
BA-16	27-12-2021	0,952	2.300,825
BA-16	31-01-2022	0,960	2.300,817
BA-16	15-02-2022	0,956	2.300,821
BA-16	28-02-2022	0,954	2.300,823
BA-16	14-03-2022	0,946	2.300,831
BA-16	29-03-2022	0,936	2.300,841

1: Carta Albemarle (ALB-GMA-2021-SMA-047)

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	01-04-2021	Comunidad de Peine cierra ingreso Lagunas Salada, Saladita e Interna. ¹	
BA-21	02-05-2021	1,314	2.300,079
BA-21	02-06-2021	1,302	2.300,091
BA-21	02-07-2021	1,311	2.300,082
BA-21	16-07-2021	1,315	2.300,078
BA-21	02-08-2021	1,313	2.300,080
BA-21	16-08-2021	No se mide por toma de caminos, asociado a huelga de unos de los sindicatos de Albemarle ²	
BA-21	02-09-2021		
BA-21	17-09-2021		
BA-21	01-10-2021	1,321	2.300,072
BA-21	01-11-2021		

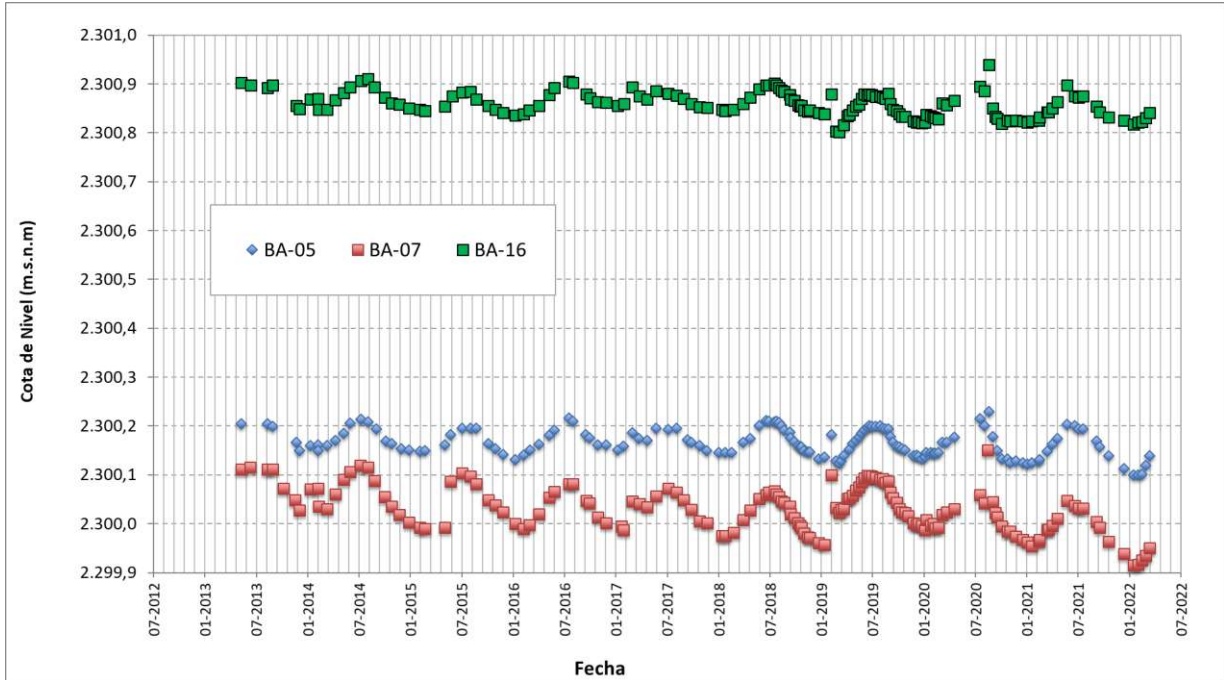
Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-21	01-12-2021	Sin autorización de ingreso por Comunidad de Peine a zona de Lagunas de Peine ³	
BA-21	02-01-2022		
BA-21	02-02-2022		
BA-21	16-02-2022		
BA-21	02-03-2022	1,339	2.300,054
BA-21	29-03-2022	1,327	2.300,066
BA-22	01-04-2021	Comunidad de Peine cierra ingreso Lagunas Salada, Saladita e Interna. ¹	
BA-22	02-05-2021	0,846	2.300,278
BA-22	02-06-2021	0,825	2.300,299
BA-22	02-07-2021	0,839	2.300,285
BA-22	16-07-2021	0,838	2.300,286
BA-22	02-08-2021	0,835	2.300,289
BA-22	16-08-2021	No se mide por toma de caminos, asociado a huelga de unos de los sindicatos de Albemarle ²	
BA-22	02-09-2021		
BA-22	17-09-2021		
BA-22	01-10-2021	0,842	2.300,282
BA-22	01-11-2021	Sin autorización de ingreso por Comunidad de Peine a zona de Lagunas de Peine ³	
BA-22	01-12-2021		
BA-22	02-01-2022		
BA-22	02-02-2022		
BA-22	16-02-2022		
BA-22	09-03-2022	0,854	2.300,270
BA-22	29-03-2022	0,847	2.300,277

1: Carta Comunidad de Peine Doc 78/2020; 2: Carta Albemarle (ALB-GMA-2021-SMA-047) 3. Carta Comunidad de Peine Doc. N°YYY/2021

Fuente: Elaboración propia.

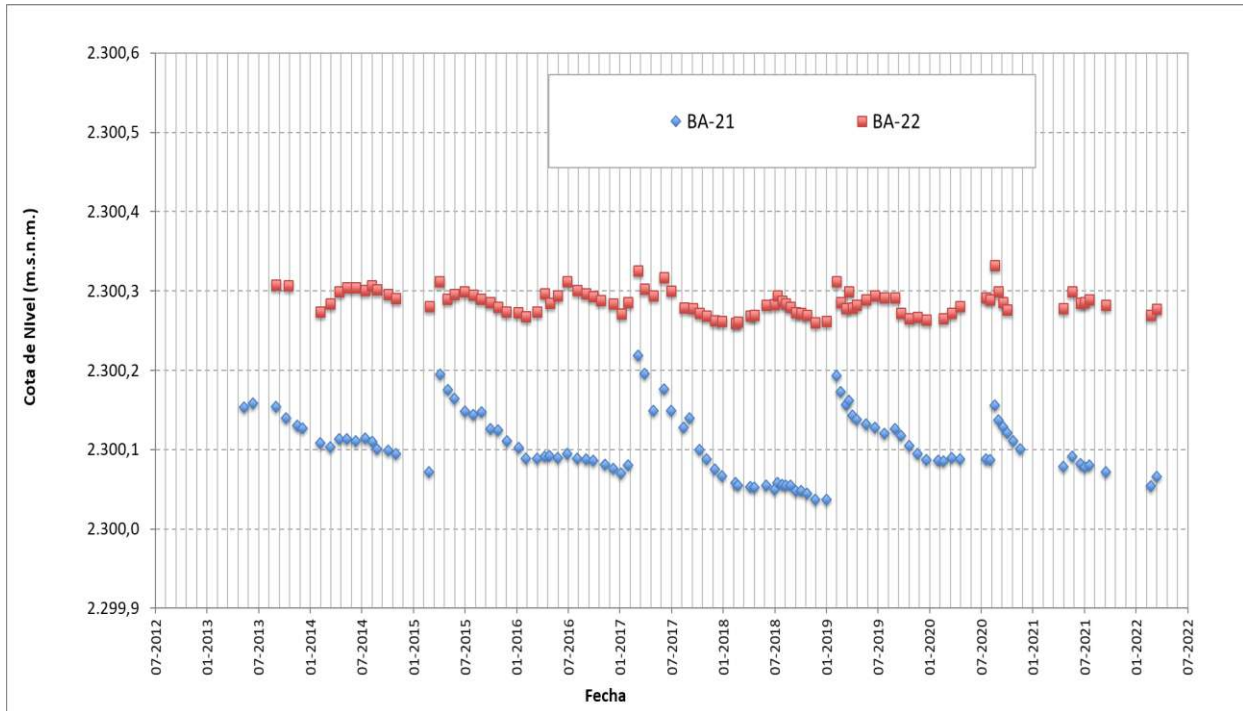
En las Figuras que se muestran a continuación se presenta gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha, incluido el último año de monitoreo 2021-2022, para los pozos de cada Sector. El análisis de la evolución temporal de cada uno de ellos se realiza en el siguiente capítulo de Discusión.

Figura N° 12-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-4. Variación de niveles 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 el Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del proyecto (en numeral 4.2.7), los límites considerados para los niveles freáticos, se enmarcan dentro de los “criterios para el análisis de estado ecológico”, el cual establece que las **variables de estado “se mantengan dentro del registro de línea base**, esto es que “*los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector*” (los Sectores corresponden a: Sector La Punta - La Brava y Sector Peine).

13 DISCUSIÓN

13.1 En relación con Flora y Vegetación

13.1.1 Análisis Vegetación (COT)

13.1.1.1 Comparación monitoreo invierno 2021 y verano 2022

Este acápite comparativo anual no pudo desarrollarse debido a que no fue posible realizar la campaña de monitoreo invierno 2021 (M11), por restricciones de acceso y razones de seguridad expuestas al inicio del presente informe.

13.1.1.2 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 (M12), 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 describe 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 evolución en la **Tabla N° 13-1**.

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%, 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° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por campaña.

TIPO DE FORMACIÓN	LINEA DE BASE	MONITOREO ANUAL I		MONITOREO ANUAL II		MONITOREO ANUAL III		MONITOREO ANUAL IV*	MONITOREO ANUAL V		MONITOREO ANUAL VI*
		Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Invierno 2020	Verano 2021	Verano 2022
Matorral zonal	14	3	8	9	8	8	8	8	8	8	8
Humedal	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Herbazal / Vega	18	6	10	10	10	10	10	10	10	10	14
Matorral mixtos azonales	-	2	13	14	15	16	16	16	15	14	15
TOTAL	33	11	31	33	33	34	34	34	33	32	37

*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.

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 2022.

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT		SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)		
		Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal
Línea de Base (2015)		78,3%	17,8%	3,9%
Monitoreo	Invierno 2016 (M1)	78,0%	14,9%	7,1%
	Verano 2017 (M2)	78,0%	10,0%	12,0%
	Invierno 2017 (M3)	78,0%	9,5%	12,5%
	Verano 2018 (M4)	78,1%	8,7%	13,2%
	Invierno 2018 (M5)	78,1%	8,7%	13,2%
	Verano 2019 (M6)	78,1%	8,7%	13,2%
	Invierno 2019 (M7)	78,1%	8,7%	13,2%
	Verano 2020 (M8)	-	-	-
	Invierno 2020 (M9)	78,1%	8,7%	13,2%
	Verano 2021 (M10)	78,1%	8,4%	13,4%
	Invierno 2020 (M11)	-	-	-
	Verano 2022 (M12)	78,1%	8,7%	13,2%
Rango variación		0,2%	9,1%	9,3%

***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 2022 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.

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.

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 verano (M12) realizado en abril 2022, 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 y M10. Las gráficas comparativas 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) y M12 (verano 2022), incluyendo el MB0 (monitoreo inicial) en (**Anexo Vegetación y Flora; 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 2021 y verano 2022

Este acápite comparativo anual no pudo desarrollarse debido a que no fue posible realizar la campaña de monitoreo invierno 2021 (M11), por restricciones de acceso y razones de seguridad expuestas al inicio del presente informe.

13.1.2.2 Evolución respecto de valores históricos

De acuerdo a la **línea de base levantada en los meses de abril y julio del año 2014** para el proyecto (en su proceso de evaluación EIA), se analiza esta información asociando los resultados de las transectas del plan de seguimiento en las formaciones azonales que sean más comparables en el área de estudio, según localización y formación vegetal. Igualmente, se comparan las coberturas de los monitoreos semestrales (M1 a M12) en referencia al **Monitoreo “0” realizado en julio de 2016 (MB0)**, monitoreo realizado en la estación de invierno y considerado como condición inicial en la etapa preoperacional del proyecto para el PMB. Esta comparación trata de relacionar el estado actual con la condición inicial (MB0) y la relación con la información de la línea de base (2014).

Para mayor detalle, en la **sección 1.4 del Anexo I Vegetación y Flora** se presentan tablas por formación, con la información comparativa de los resultados de abril y julio de 2014

(línea de base), junto a los puntos que pudieran ser comparados en relación a la ubicación de éstos con las transectas del monitoreo del plan de seguimiento, M1 y M2 correspondientes a invierno y verano del primer año de seguimiento (2016-2017), monitoreos M3 y M4 correspondientes a invierno y verano del segundo año de seguimiento (2017-2018), monitoreos M5 y M6 correspondientes a invierno y verano del tercer año de seguimiento (2018-2019), monitoreo M7 correspondiente a invierno del cuarto año de seguimiento (2019), monitoreos M9 y M10 correspondientes a invierno y verano del quinto año de seguimiento (2020-2021) y monitoreo M12 correspondiente a verano del sexto año de seguimiento (2022).

De esta forma, se relacionaron los siguientes puntos de línea base (2014) con las transectas de monitoreo, ordenados por sector (**sección 1.4 del Anexo I Vegetación y Flora**):

- Peine: en herbazal de *Distichlis spicata* el punto de línea base PM49 con la transecta T08 y en matorral de *Tessaria absinthioides* el punto PM5 con las transectas T05, T06 y T07.
- Tilopozo: en herbazal de *Distichlis spicata* el punto PM25 con la transecta T26, en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* se asoció el punto PM38 con las transectas T19 y T29 que se localizan en una misma unidad cartográfica cercana entre ellas, y en matorral de *Tessaria absinthioides* se asociaron los puntos PM37 y PM32 asociados a las transectas T23, T24 y T25, ya que están en una misma unidad cartográfica.
- La Punta: en matorral de *Sarcocornia fruticosa* el punto PM54 con la transecta T12.
- Aguas de Quelana: en matorral de *Sarcocornia fruticosa* el punto FVQ2 con la transecta T15 y el punto FVQ4 con la transecta T17.
- Para el subsector La Brava o bien para el herbazal de *Triglochin concinna* no se encontraron puntos de línea base o puntos con muestreos sobre esta formación vegetal.

No obstante, al observar las coberturas señaladas en los puntos de línea base de 2014, solo para tres formaciones vegetales se puede analizar directamente la relación con respecto a la cobertura registrada en los monitoreos del plan de seguimiento (M1 a M12), de este análisis se observa lo siguiente:

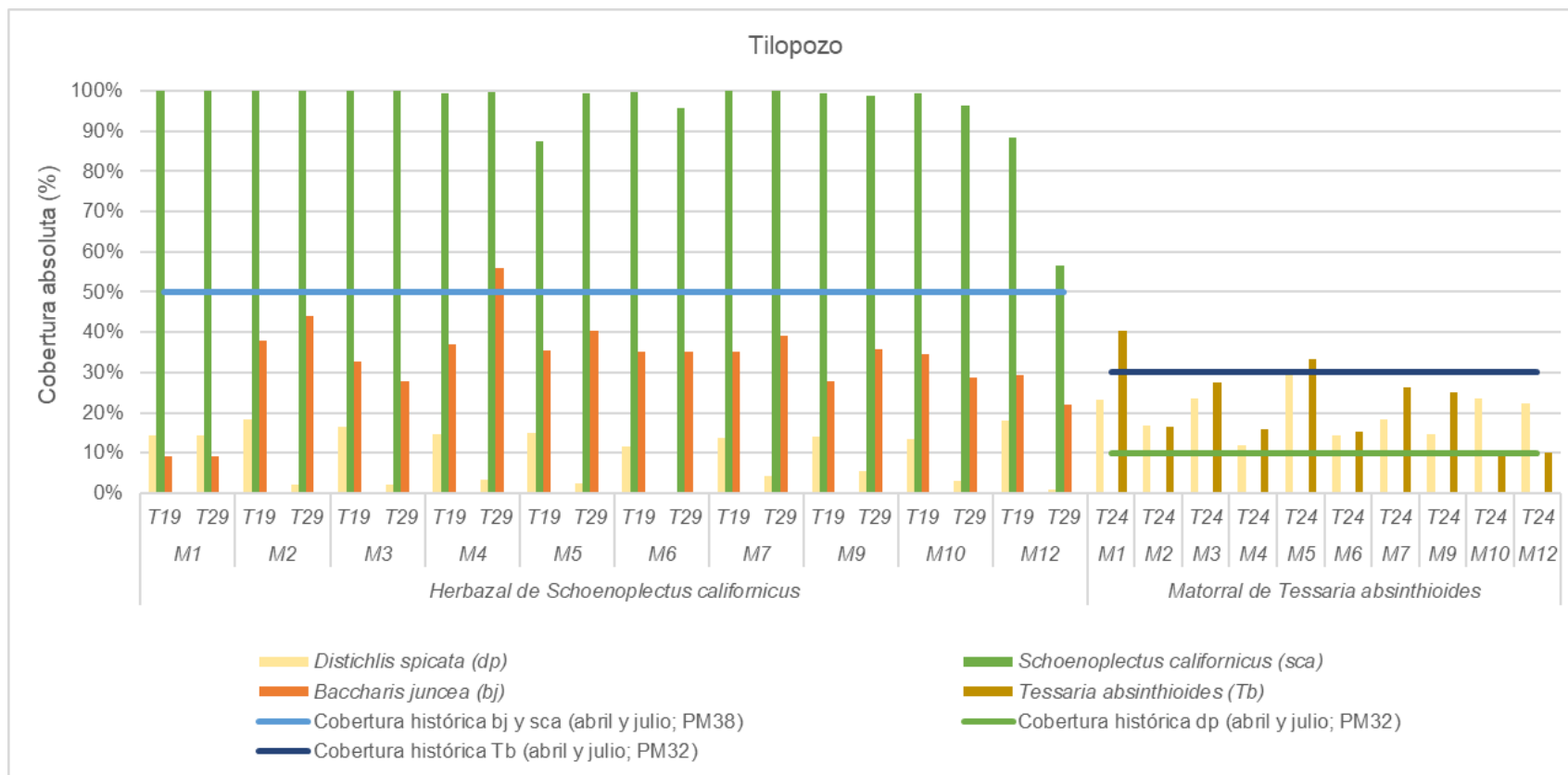
- (1) En el sector Tilopozo (**Figura N° 13-1**),
 - en el herbazal de *S. californicus* el punto de referencia de LB (PM38) indica un 50% de cobertura absoluta para las especies *B. juncea* y *S. californicus*, registradas igualmente en abril y julio de 2014. Si bien estas coberturas se registran algo distintas en relación a los monitoreos (M1-M12), demuestran igualmente una alta cobertura siendo importante mantener el seguimiento.
 - En el caso de *B. juncea* registra, igualmente, una cobertura importante en las dos transectas (T19 y T29), registrando un máximo de 56,0% en T29, en M4 (verano

post-lluvia 2018), aunque en M12 se registra una de las coberturas más bajas en T29 desde M2 (22,0%).

- La especie *S. californicus* presenta una mayor cobertura que la registrada en el histórico, alcanzando un 100% de cobertura absoluta entre M1-M3 y en M7 para ambas transectas, destacando la menor cobertura en M12 para ambas transectas, sobre todo en T29 con una cobertura de 56,4%.
- En relación a la formación de matorral, el PM32 de LB se relaciona con las coberturas registradas en la transecta T24 del monitoreo. Las coberturas para *D. spicata* se observan sobre el nivel histórico de LB (5-10%) y para la especie *T. absinthioides*, se observa la variación de la cobertura en los seis años de seguimiento, donde se refleja que en los monitoreos de invierno (M1, M3, M5, M7 y M9) es cuando se acerca más al rango histórico de LB (PM32; 30,0%), a pesar de que en la línea de base se indica igualdad de coberturas entre ambos periodos de abril y julio de 2014. En esta formación de matorral, destaca igualmente que para los últimos monitoreos de verano (M10-M12) la cobertura de *T. absinthioides* es menor a los otros monitoreos (10% aproximadamente en ambos) y a la vez una mayor cobertura de la especie herbácea *D. spicata* con un 23,6% y 22,2%, respectivamente.

En general, en el sistema Tilopozo se observa variabilidad y no hay una tendencia determinada para el sector. En particular, se puede señalar que los herbazales de *S. californicus* siguen presentando las mayores coberturas vegetales, no obstante, en M12 se registra el menor valor histórico del monitoreo para la cobertura de la especie *S. californicus* (T29), mientras que en los matorrales de *T. absinthioides*, no se observa una tendencia clara, la fluctuación de cobertura para la especie arbustiva tiene alzas y disminuciones durante todo el seguimiento y solo destaca que para la especie herbácea *D. spicata*, ésta supera la cobertura descrita en la línea de base, manteniéndose durante el seguimiento y superando los valores de cobertura de *T. absinthioides* en los últimos monitoreos (M10 y M12).

Figura N° 13-1. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M12) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en sector Tilopozo.

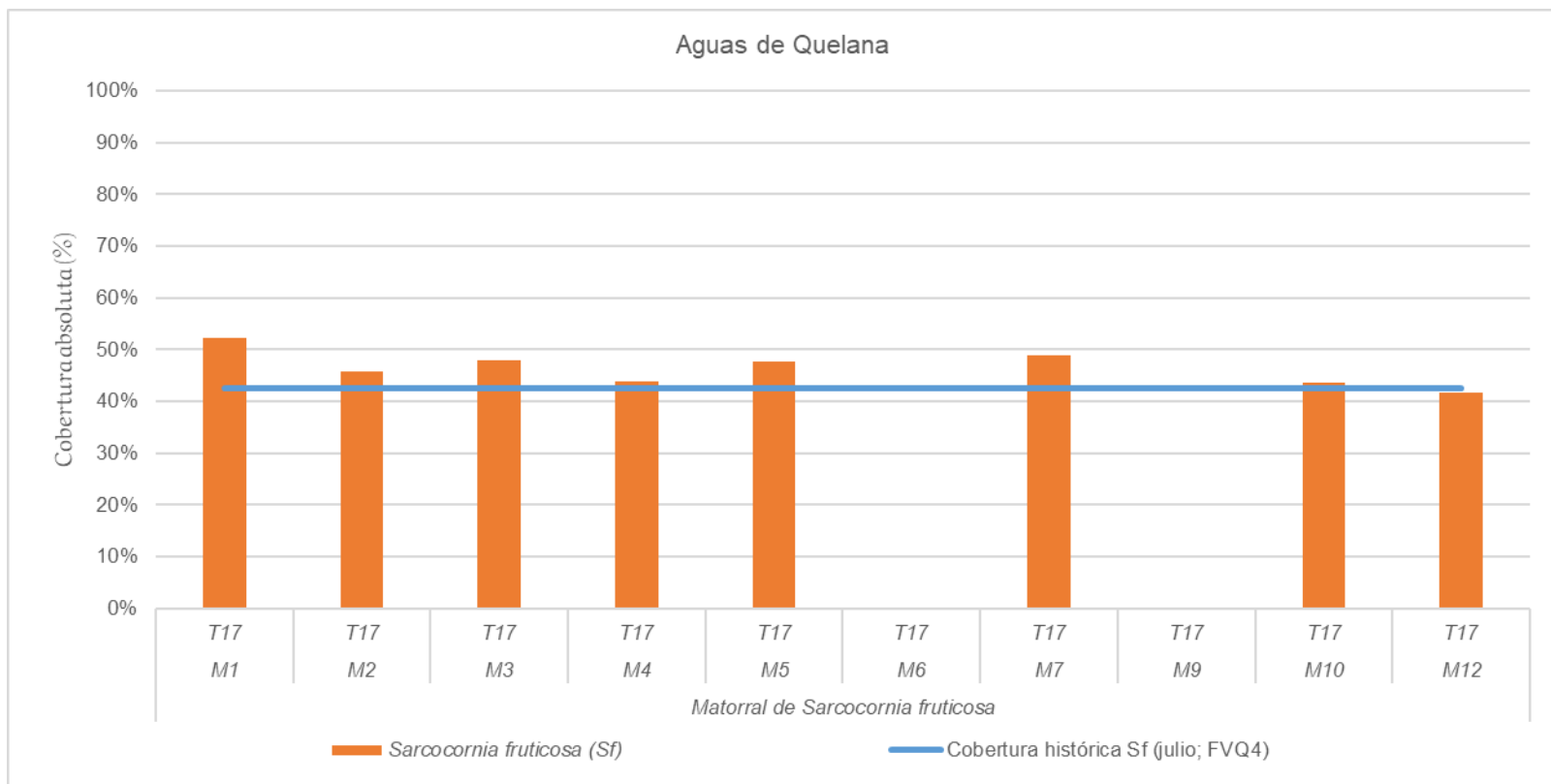


Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2019; Monitoreo verano 2020 (M8) no se realizó por restricciones 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; Coberturas históricas corresponden a muestreos de línea de base en abril y julio de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

-
- En el sector Aguas de Quelana se relaciona un punto de LB FVQ4, con la transecta T17 en un matorral de *S. fruticosa* (**Figura N° 13-2**). La cobertura histórica registrada en línea base (42,5%; FVQ4) se ajusta a las coberturas absolutas en los monitoreos, entre un mínimo de 41,8% registrado en M12 a un máximo de 52,2% registrado en M1, estando cercano o sobre el rango del valor histórico para la especie *S. fruticosa*, en todos los monitoreos evaluados.
 - Por otra parte, también es importante considerar que en los registros de línea base no se considera la cobertura muerta, lo que también podría estar influenciando en la cobertura total considerada para la formación según los registros en los monitoreos M1 a M12, donde sí se diferencia este tipo de cobertura, además de los otros recubrimientos relacionados a coberturas del sustrato sin vegetación.

Figura N° 13-2. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M12) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en matorral de *Sarcocornia fruticosa* en sector Aguas de Quelana.



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2019; En M6 y M9 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; Coberturas históricas corresponden a muestreos de línea de base en julio de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

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) producto de que M8 no se realizó por restricciones sanitarias en el marco de la pandemia, el quinto año de seguimiento (M9 y M10) y el sexto año que presenta solo el monitoreo de verano (M12) 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) e invierno (M1-M3-M5-M7-M9), además de ver la variación o evolución histórica de estos monitoreos con la condición inicial (MB0, de invierno).

Un primer análisis en términos generales, por sector, se puede observar a través de la evolución de las coberturas por sector. En la **Figura N° 13-3** se observa la **cobertura vegetal promedio** entre sectores, señalando lo siguiente:

- En el sector **Peine**, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio, se observan variaciones entre campañas, con 91,8% en MB0, la cual baja a 62,5% en M1, subiendo en M2 a 77,9% de cobertura vegetal, volviendo a disminuir a 62,5% en M4, y luego se observa una recuperación en M5 (65,4%) y M6 (72,5%), esta última variación relacionada a la quema registrada principalmente en herbazales de *S. californicus*. En M7 se estabiliza la cobertura a lo recuperado en M6 con un 69,5%, similar a lo registrado en M9 (68,5%), M10 (71,9%) y M12 (70,1%), ver detalle en **Tabla N°1-5 en Anexo I Flora y Vegetación**. En general para el sector, la cobertura vegetal promedio se observa estable en su evolución.
- El sector de **Tilopozo**, presenta una variación entre monitoreos, presentando desde MB0 a M5 un rango promedio con menor variación, entre 33,8% (M2) y 39,9% (MB0). Luego, en M6 presenta una baja moderada a 30,6%, recuperándose en M7 con una cobertura de 35,7% y en M9 y M10 se observan valores similares de 31% aproximadamente, destacando una mayor disminución en M12 con una cobertura vegetal promedio de 26,1%. Si bien se observa un descenso general de la cobertura desde MB0 a M12, no se puede establecer una tendencia, ya que se han observado fluctuaciones de la cobertura vegetal entre monitoreos y diferencias entre las formaciones o áreas de monitoreo dentro del sector. Por ejemplo, uno de los mayores descensos en las formaciones ocurre en el matorral de *T. absinthioides* (T24) y herbazal de *J. balticus* (T18 y T30) y en herbazal de *S. californicus* (T29), aunque en esta última también se han registrado variaciones durante el periodo de seguimiento mostrando las mayores coberturas en el verano de 2018 (M4), mayores a las registradas en MB0.

- En **La Punta y La Brava**, se observan variaciones leves de cobertura en los primeros monitoreos, y con tendencia a la baja desde M2 hasta M12, en un rango desde 39,1% en MB0 a 24,5% en M6, seguido de un aumento leve en M7 (26,4%) y con valores estables entre M9 y M10 de 24% aproximadamente, pero destaca un mayor descenso en M12 con una cobertura vegetal promedio de 17,9%. Por lo tanto, para LP y LB representado por solo 4 transectas, la cobertura vegetal promedio indicaría una tendencia a la baja desde 39% al 17,9% en 2022.
- Para **Aguas de Quelana**, se observa una leve variación en la cobertura de la vegetación en los primeros monitoreos, con 40,5% en MB0, bajando hasta 30,6% en M4, aunque con un aumento leve a 33,5% en M5, y en M7 y M10 con registros similares de 35,0% y 32,3%, respectivamente. En M12, se registra igualmente una menor cobertura con respecto a monitoreos anteriores, registrando una cobertura vegetal promedio de 29,9%, similar al descenso registrado en el verano de 2018 (M4). No se presenta M6, M8, M9 y M11 ya que no se realizó el monitoreo correspondiente por restricciones de acceso, y por motivos de la pandemia en el caso de M8. Por lo tanto, de los datos observados, se observa una tendencia a la baja en la cobertura vegetal promedio desde 40,5% llegando a 29,9% en 2022.
- El sector **Soncor** no tiene registros, además que este sector no 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 M10, que vuelve a aumentar en M12 en todos los sectores (**Figura N° 13-3**).

En el caso de Peine, de un 3,1% en MB0, alcanza en M7 el mayor valor con un 22,6%, bajando a 12,5% en M10 y un leve aumento en M12 con un 13,9%, recordando que parte de los aumentos fue por la presencia más persistente de rastrojos por quema registrados en los herbazales de *S. californicus*, a pesar de la recuperación de la cobertura vegetal.

Por su parte, Tilopozo alcanza un máximo de cobertura muerta en M9 (20,3%) de un 6,2% registrado en MB0 aunque también con una disminución en M10 (10,7%), asociado principalmente a la variación de cobertura muerta en el herbazal de *S. californicus* con máximos registrados en M9 (95% de cobertura absoluta en T19) que pasaron a un mínimo de rastrojo en M10 (0,2%), aumentando nuevamente en M12 (16,6%), recordando que las fluctuaciones de cobertura muerta en las formaciones de *S. californicus* han sido las más fluctuantes, pero sin perder una alta cobertura vegetal en todos los monitoreos y esto refleja una mayor variación de cobertura muerta entre monitoreos en el sector.

La cobertura de rastrojo en La Punta y La Brava y Aguas de Quelana presentan variaciones menores, aunque en ambos sectores el mayor registro ocurre en M12 (11,9% y 9,3%, respectivamente). Para el caso de La Punta y La Brava, en invierno de 2020 (M9) también se registraba un aumento (9,9%), mientras que en Aguas de Quelana el otro aumento se reflejó en el verano de 2018 (M4; 7,6%), disminuyendo entre M5 y M10, lo que podría estar asociado a la variación estacional de algunas especies más efímeras que tienden a desaparecer y/o regenerarse según los ciclos interanuales, como *T. concinna* y *N. atacamensis* principalmente (ver detalle en **Tabla N°1-5 de Anexo I Vegetación y Flora**). El sector Soncor no cuenta con registros de monitoreo.

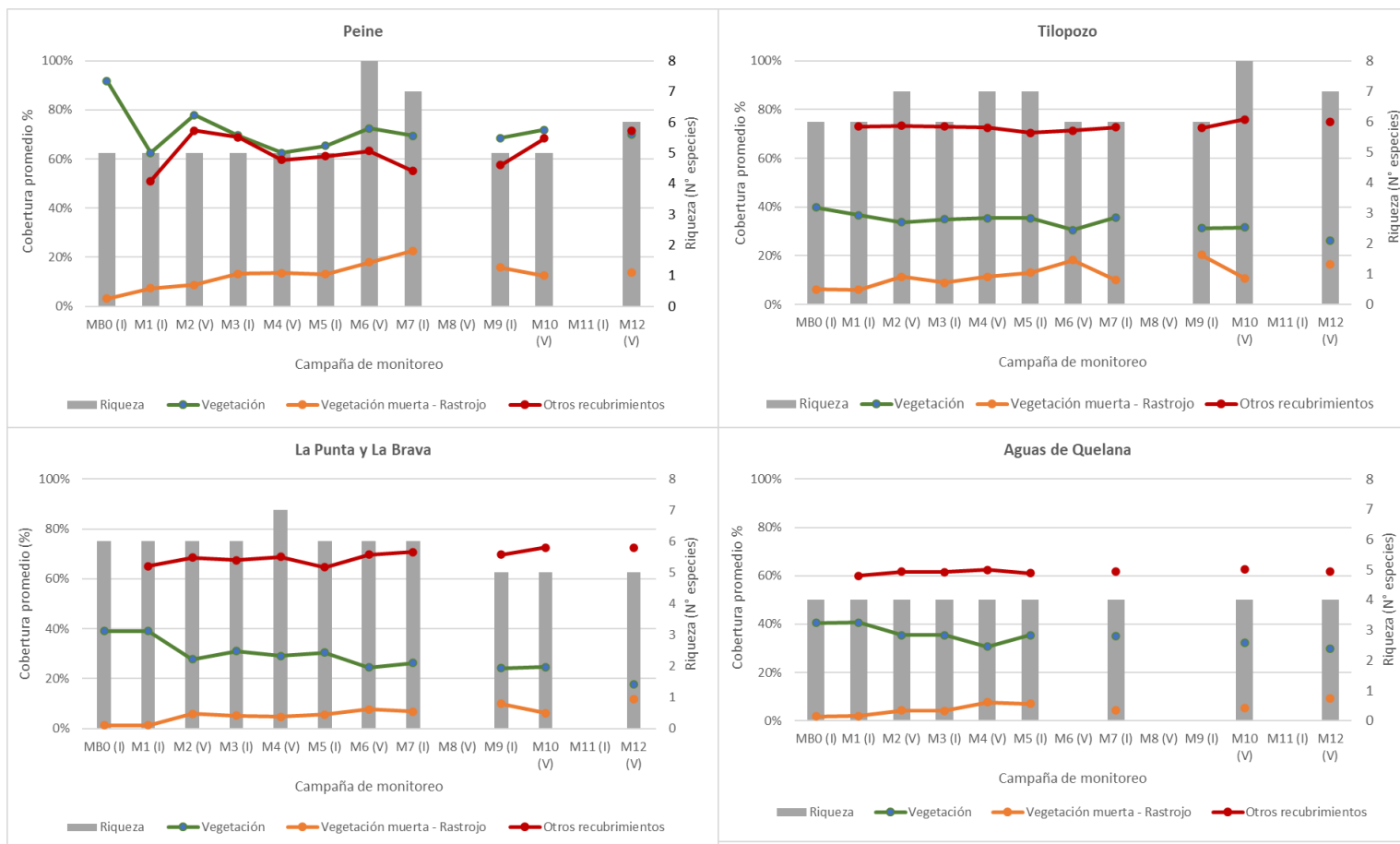
Respecto a la **riqueza registrada por sector**, indica algunas diferencias leves entre monitoreos (**Figura N° 13-3**), destacando que para M6 aumentó en **Peine**, el cual se debe al registro de tres especies adicionales en un matorral de *T. absinthioides*, las cuales no habían sido registradas en los monitoreos anteriores, posteriormente disminuye la riqueza (M9 y M10; cinco especies) aumentando levemente en M12 con una riqueza de seis especies. En el caso de **Tilopozo** se observa menor variación en la riqueza, con un alza de una especie en M2, M4 y M5 (siete especies) y de dos especies en M10 (ocho). Bajando a siete especies en M12. Por otro lado, la riqueza en **La Punta y La Brava y Aguas de Quelana** presenta 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), 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 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 (**Figura N°1-6 de Anexo I Vegetación y Flora**). 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, de 71,4% en M12. 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° 13-3**).

Figura N° 13-3. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza por sector.



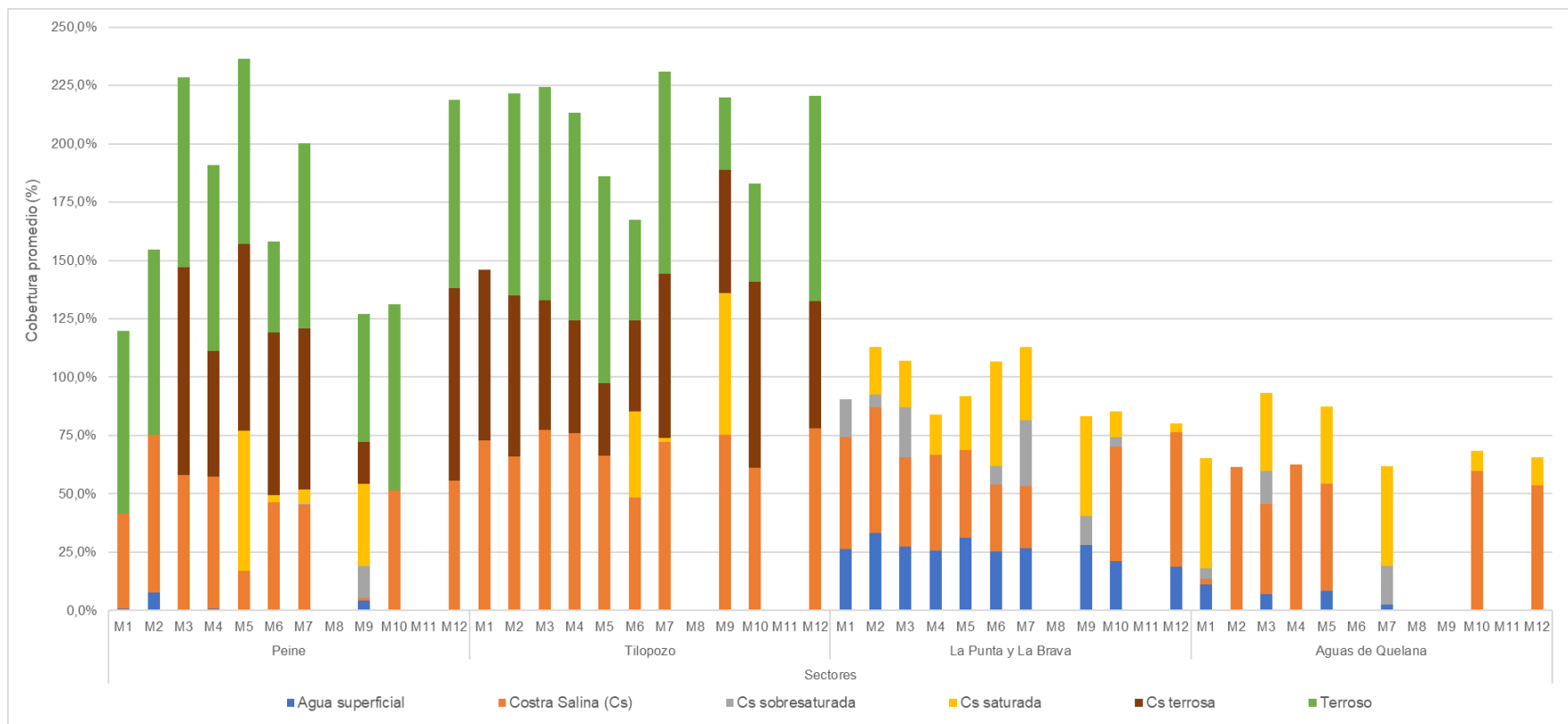
Donde: MBO monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2019; En M6 y M9 no hay registros 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.

Al comparar los resultados de los tipos considerados en otros recubrimientos entre los sectores para cada monitoreo (no se cuenta con datos para el monitoreo MBO), se puede indicar que, en general, todos los sectores presentan una alta cobertura, siendo Peine y Tilopozo los más heterogéneos con mayor variedad de tipos de recubrimientos, destacando la superficie terrosa no registrada en los otros dos sectores, aunque la costra salina es la mayor para todos los sectores. En la **Figura N° 13-4** se pueden observar los promedios de la cobertura de estos recubrimientos por sector, y, en mayor detalle, en el **Anexo I de Vegetación y Flora**, se observan las coberturas absolutas de estos recubrimientos por transecta y una figura con los promedios por formación vegetal para herbazales y matorrales (**Tabla N°1-4 y Figura N°1-7 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Como se muestra en la **Figura N° 13-4**, los sectores de Aguas de Quelana y La Punta y La Brava no presentan un recubrimiento terroso o de costra salina terrosa, ya que estos sectores están localizados más al interior del salar, por lo tanto el recubrimiento de costra salina es mayoritario destacando una costra salina saturada o sobresaturada principalmente en las estaciones de invierno (M1, M3, M7 y M9), aunque en M6, aumenta la costra salina saturada en La Punta y La Brava y en Aguas de Quelana. Además, en estos sectores destaca la cobertura de agua superficial, que se observa relativamente constante en La Punta y La Brava para todos los monitoreos, mientras que en Aguas de Quelana solo se registra este recubrimiento en los monitoreos de invierno y en descenso desde M1.

Figura N° 13-4. Cobertura promedio de otros recubrimientos por sector en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10 y M12.



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2019; En M6 y M9 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.

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 7.238,1 hectáreas en el último monitoreo de verano de 2022, y en base al método NDVI el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 22,2% (1.604,2 hectáreas), ver **Tabla N° 13-3**.

De esta superficie, en relación con las formaciones vegetales consideradas para el seguimiento del Plan de Manejo Biótico (**Tabla N° 13-4**), la superficie total para el área de estudio es de 5.944 hectáreas, de las cuales 1.453 hectáreas (24,4%) representan una cobertura activa según análisis NDVI-2022.

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 seis años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido (**Tabla N° 13-3**). **En relación a las superficies activas registradas en el monitoreo verano 2022 y los resultados del monitoreo verano 2021, se observa un aumento de la vegetación activa en todos los sectores, principalmente en el sector Tilopozo – La Punta y La Brava.**

Las formaciones de seguimiento del PMB para el sector Peine alcanzan una superficie total de 2.228,2 hectáreas de las cuales el 22,7% (505,1 ha) 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 94,0% de actividad (16,6 hectáreas), seguida por la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* que presenta 68,2% de actividad (6,0 hectáreas)(**Tabla N° 13-4**).

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 18,3% de vegetación activa en 41,1 hectáreas totales. Por otra parte, la formación de vega con dominancia de *Nitrophila atacamensis* presenta una relación cobertura total/actividad del 23,4% pero en una menor superficie (2,4 hectáreas). Finalmente, el sector Tilopozo presenta 2.112,5 hectáreas de formaciones sujetas a seguimiento de las cuales 672,0 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 76,5% de actividad en 62,6 hectáreas totales.

En el sector de Soncor, el resultado de superficie de vegetación activa (para las formaciones particulares de seguimiento), es menor en los cuatro 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. Este sector posee un porcentaje de vegetación activa de 31,2%, 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 31,2% (7,7 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 3,6 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 seis períodos (2017-2022). 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, **Tabla N° 13-4**, se reportan 1.518,8 hectáreas de formaciones zonales y azonales, de las cuales 258,6 hectáreas (17,0%) corresponden a vegetación activa. Las formaciones de matorral con dominancia de *Tessaria absinthioides* y vega con dominancia de *Distichlis spicata* son las que presentan mayor actividad con 32,6% (37,4 hectáreas) y 30,5% (62,2,0 hectáreas) respectivamente.

Tabla N° 13-3. 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		VALORES HISTÓRICOS DESDE LANDSAT		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN	
	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
Tilopozo - La Punta y La Brava	2.727,9	613,2	2.706,4	422,8	2.706,4	603,5	2.727,9	533,4	2.706,4	453,7	2.705,5	736,8	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	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	-	-	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	-	-	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				

* 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 (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015); Datos en base a COT verano 2022 y en parámetro NDVI de imagen satelitales Pleiades 1A/1B verano 2022.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) 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>	159,8	687,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	1,1	3,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	6,0	8,9
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	31,9	90,6
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	16,6	17,7
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	289,6	1420,2
<i>Peine</i>			505,1	2.228,2
La Punta y La Brava	Azonal	Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	7,5	41,1
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	1,2	13,6
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	0,3	2,3
		Vega con dominancia de <i>Nitrophila atacamensis</i>	0,6	2,4
<i>La Punta y La Brava</i>			9,6	59,3
Aguas de Quelana	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	96,3	637,3
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	2,5	21,6
		Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,8	18,6
		Matorral hídrico con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	56,4	522,7
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	62,2	203,9
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	37,4	114,8
<i>Aguas de Quelana</i>			258,6	1.518,8
Soncor	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,6	7,8
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	4,2	16,9
<i>Soncor</i>			7,7	24,8
Tilopozo	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	409,6	806,8
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	3,1	45,5
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Juncus balticus</i>	12,6	97,5

SECTOR	TIPO VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL (DOMINANCIA)	SUPERFICIE VEGETACIÓN ACTIVA (ha)	SUPERFICIE TOTAL FORMACIÓN VEGETAL (ha)
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	35,8	164,6
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	3,1	18,2
		Matorral hídrico con dominancia de <i>Lycium humile</i>	4,1	49,6
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	118,1	600,6
		Vega con dominancia de <i>Juncus balticus</i>	23,8	124,7
		Vega con dominancia de <i>Nitrophila atacamensis</i>	0,3	27,0
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	47,9	62,6
		Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	0,5	23,5
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	13,1	91,8
<i>Tilopozo</i>			672,0	2.112,5
			1.453	5.944

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° 13-5 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 esta formación vegetal, 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 2022 se supera la superficie mínima en los seis años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos y presentando a su vez, una superficie mayor respecto a los períodos anteriormente monitoreados (2017-2021). En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico, en el rango de lo observado en 2021 y sobre los registros de 2018 a 2020 (**Tabla N° 13-5**). Cabe destacar que las superficies de vegetación activa observadas en los sucesivos seguimientos pueden estar determinadas, en parte, por los ajustes en la superficie de vegetación en la COT, como también ser consecuencia de variaciones interanuales.

Tabla N° 13-5. 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		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima (ha)
Peine	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	20,3	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	7,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,2	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,1	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		
Total Peine		20,3		11,9		6,6		7,9		16,9		16,6		
Tilopozo - La Punta y La Brava	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	28	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	9,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	5,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8,8	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> , <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						
Total Tilopozo - La Punta y La Brava		33,1		38,1		27,2		31,0		46,3		46,8		

*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 2022.

Fuente: Elaboración propia.

13.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

13.2.1 Representatividad del muestreo

Los muestreos correspondientes a las 12 campañas semestrales (invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y verano 2022) 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 considerar que en verano 2020 no se realizó el muestreo por la pandemia, en verano 2021 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 (**ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**).

En total, la riqueza acumulada de 58 especies en las 12 campañas realizadas representa un 93,5% de la fauna acumulada del área de estudio, cuyo registro de línea de base es de 62 especies (un anfibio, dos reptiles, 49 aves y 10 mamíferos; PMB 2015). El porcentaje mencionado se considera muy aceptable, ya que es esperable que la fauna registrada sea un subconjunto del valor acumulado de varios años de estudio. 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 12 campañas semestrales de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, la riqueza acumulada asciende a un total de 58 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 44 especies de aves y 11 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-6**). En esta décimo segunda campaña de verano 2022 se incorpora una especie nueva para el monitoreo de verano (vicuña), no registrada tampoco en invierno, aunque si observada en la Línea de Base del PMB (2015).

De las 58 especies de fauna detectadas, 24 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 21 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 nueve especies de mamíferos (**Tabla N° 13-6**).

Del total de 24 especies en categoría de conservación, nueve se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro (una especie, un reptil), Vulnerable (cinco especies; tres aves y dos mamíferos) y Casi amenazada (tres especies, dos aves y un mamífero). Por su parte, 15 especies se catalogan sin amenaza (precautorias; detalle en **Tabla N° 13-6**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 53 de las 58 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° 13-6**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 13-6**).

De acuerdo con su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles), en tanto que otras 55 especies son nativas (una especie de anfibio, 44 especies de aves y 10 especies de mamíferos), y finalmente, una especie es introducida (un mamífero, *Equus asinus*; **Tabla N° 13-6**).

En relación con las especies especialistas de hábitat, 21 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) y 19 aves (asociadas a ambientes de humedal; **Tabla N° 13-6**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: cuatro especies son de baja movilidad, otras cuatro especies se clasifican con movilidad media, y por último 50 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 13-6**).

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 cuatro se encuentran clasificadas con un riesgo alto, nueve se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 44 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A la única especie introducida (el burro), no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 13-6**).

Del análisis por sector, la mayor riqueza se presenta en el sector de Tilopozo, con 40 especies registradas (el único anfibio detectado, un reptil, 30 aves y ocho 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 23 especies (un reptil, 19 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-6**).

Por otro lado, considerando las especies y su presencia en cada sector, las únicas especies que se encuentran en los tres sectores son: 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*) y el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el lauchón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*); en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (como el sapo espinoso, la lagartija de Fabián y la mayoría de las aves), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 13-6**).

Tabla N° 13-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las 12 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2022). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	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
<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
<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											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
CHARADRIIDAE											
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE											
<i>Chroicocephallus 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
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											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<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
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
<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
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											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
PHOENICOPTERIDAE											
<i>Phoenicopterus 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									19	23	30
MAMMALIA											
ARTIODACTYLA											
CAMELIDAE											
<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		
CARNIVORA											
CANIDAE											
<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	
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											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
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	8
TOTAL RIQUEZA SECTOR									23	32	40

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 58 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante el total de campañas, sólo una de ellas corresponde a un anfibio (1,7%), 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° 13-6**). Este registro se tuvo en el sector de Tilopozo.

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° 13-6**).

13.2.3.2 Reptiles

Del total de 58 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, dos de ellas corresponden a reptiles (3,4%), ambas pertenecientes al Orden Squamata y a la familia Tropiduridae (**Tabla N° 13-6**).

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° 13-6**).

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° 13-6**). 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° 13-6**).

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 58 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las 12 campañas, 44 de ellas corresponden a aves (75,9%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 13-6**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 12 especies (27,3%) 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° 13-6**).

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 44 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 36 especies restantes presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 13-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Tilopozo presenta la mayor riqueza de aves, con 30 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 19 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 13-7**).

13.2.3.4 Mamíferos

Del total de 58 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 11 de ellas corresponden a mamíferos (19%), las que se distribuyen en cinco órdenes y siete familias (**Tabla N° 13-6**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, nueve (81,8%) se encuentran en categoría de conservación. Las tres especies consideradas “*bajo amenaza*” corresponden al guanaco (*Lama guanicoe*) y a la vicuña (*Vicugna vicugna*), clasificadas en categoría Vulnerable, y al puma (*Puma concolor*), clasificado 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° 13-6**).

En cuanto a su origen, 10 especies son nativas, y la especie restante es introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie se considera especialista de hábitat. De las 11 especies de mamíferos registradas, seis especies se consideran de alta movilidad, otras cuatro 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, tres

especies presentan un riesgo medio (el guanaco, la vicuña y el tuco-tuco de Atacama), otras siete especies un riesgo bajo, y para el burro, en tanto, no es aplicable el índice de riesgo, por ser especie introducida (**Tabla N° 13-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, Tilopozo presenta la mayor riqueza, con ocho 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 cinco campañas de monitoreo estivales (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° 13-7**).

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° 13-7**).

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 23 especies detectadas (con siete especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por los registros de 19 especies en humedal salar de La Punta y La Brava (con 15 especies asociadas a ambientes acuáticos), 15 especies en el humedal salar de Peine (con 13 especies asociadas a ambientes acuáticos) y 14 especies 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 una en área desprovista de vegetación costra salar (**Tabla N° 13-7**).

Para los mamíferos, y a diferencia de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes terrestres, ya que se registran ocho especies en el matorral de Tilopozo y siete especies en el matorral de Peine, seis especies en humedal pajonal de Tilopozo, cinco especies en el herbazal de Tilopozo, y tres especies en la quebrada de Tilopozo y 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° 13-7**).

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 31 especies registradas en total (un anfibio, un reptil, 23 aves y seis mamíferos), lo que representa un

53,4% de toda la fauna registrada en las campañas de monitoreo, seguido por el matorral de Tilopozo, con 23 especies (un reptil, 14 aves y ocho mamíferos), el humedal salar de La Punta y La Brava, también con 23 especies (un reptil, 19 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 (12 especies), el herbazal (ocho 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° 13-7).

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° 13-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022.

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						
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	1	0	1	1	1	1
AVES								
Águila			X					
Aguilucho común			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	

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
Tórtola					X	X	X	
Halcón perdiguero						X	X	
Halcón peregrino						X		
Cernícalo						X		
Tagua cornuda	X							
Tagua andina		X						
Tagua gigante	X							
Churrete acanelado						X		
Minero común							X	
Minero grande								X
Minero chico			X			X	X	X
Minero de la Puna						X	X	X
Minero cordillerano			X				X	
Tijeral común								X
Golondrina de dorso negro	X	X	X			X	X	
Golondrina bermeja	X					X		
Mero de Tarapacá			X			X		
Mero gaucho						X	X	X
Colegial del norte	X	X				X		
Dormilona cenicienta			X			X		X
Dormilona chica						X	X	X
Dormilona de nuca rojiza								X
Chirihue verdoso					X		X	
Bailarín chico común	X					X	X	
Garza grande	X							
Garza azul		X				X		
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco chileno	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Blanquillo	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	19	15	10	1	2	23	14	8
MAMMALIA								
Guanaco						X	X	
Vicuña	X							
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	X
Zorro chilla							X	
Puma			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
Yaca del norte			X					
Burro			X		X	X	X	
Ratón andino			X		X	X	X	X
Lauchita de pie sedoso							X	
Ratón orejado amarillo	X		X	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	3	1	7	1	5	6	8	3
TOTAL RIQUEZA AMBIENTE	23	17	18	2	8	31	23	12

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 13-6.

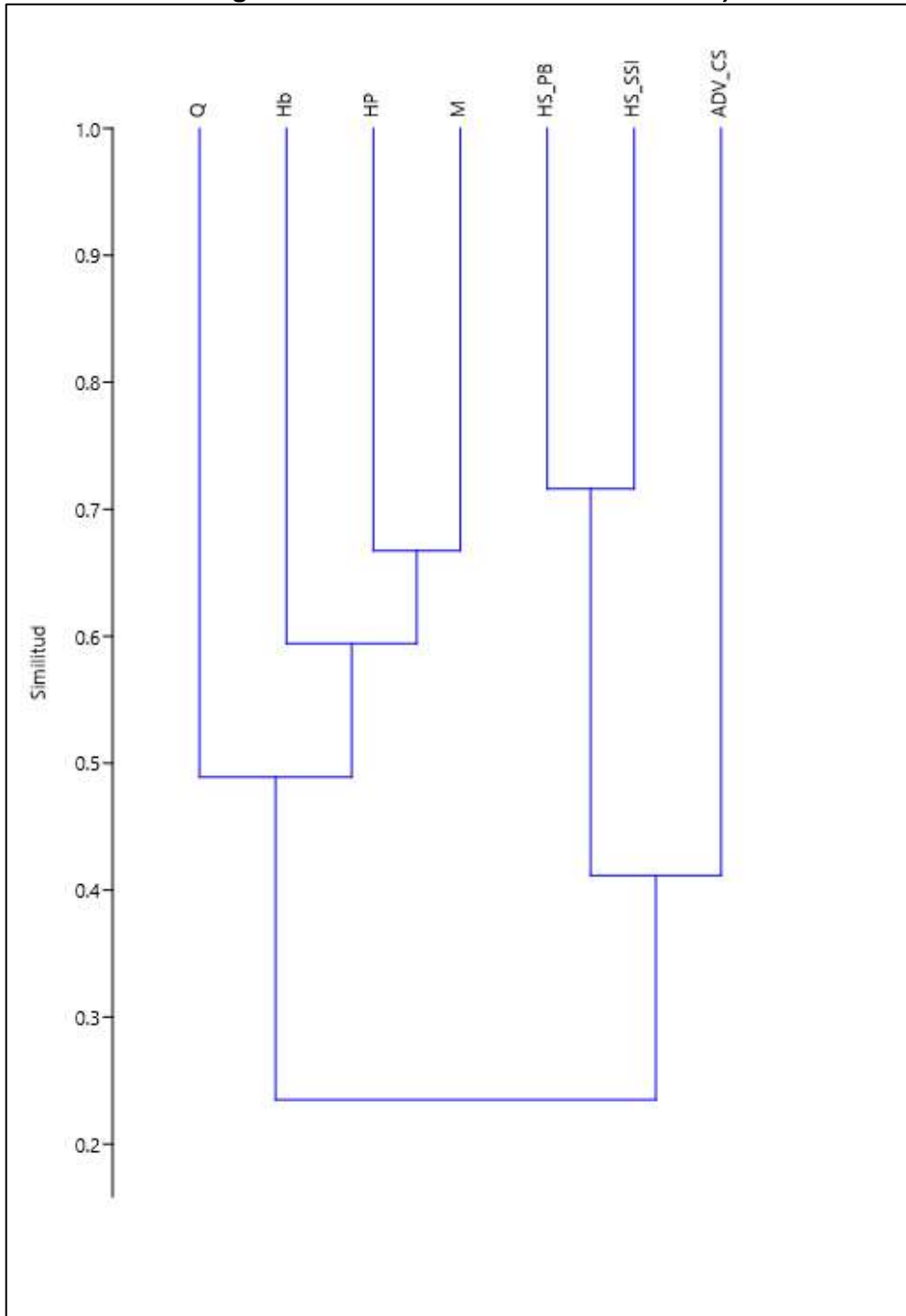
Fuente: Elaboración Propia.

13.2.5 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 13-7** (el que agrupa las diez campañas de monitoreo), se obtiene el fenograma de similitud de fauna (**Figura N° 13-5**).

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 salar, con una similitud cercana al 40%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada se asocia al resto de los ambientes con una similitud cercana al 49%. Finalmente, ambos grupos entre sí con una similitud menor al 35% (**Figura N° 13-5**).

Figura N° 13-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 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.

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.

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.

La estructura de similitud de la composición de ambientes presentada por este fonograma es similar con el obtenido durante la campaña de invierno 2021, manteniendo la misma agrupación de ambiente con diferencias en los porcentajes de similitud (**Figura N° 7-4**); pero difiere respecto de este verano 2022, en que los ambientes herbazal y quebrada se encuentran agrupados y área desprovista de vegetación costra salar se encuentra descolgada del resto de los ambientes (**Figura N° 7-5**).

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° 13-8** y **Tabla N° 13-9**). Lo anterior se podría explicar por la baja frecuencia de la especie (en un solo punto de muestreo), y que en general, es más probable registrarla en verano, estando menos activa en invierno.

En el caso de las dos especies de reptiles, la abundancia absoluta total fue mayor en invierno 2020 (con 41 ejemplares) y menor en invierno 2016 (con 16 individuos; **Tabla N° 13-8**). En todas las campañas (excepto verano 2022), la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre nueve 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 cuatro a 20 individuos (**Tabla N° 13-8**). En el caso de la frecuencia, el patrón se mantiene, ya que la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada entre cuatro a

10 de los 25 puntos de muestreo (lo que representa entre un 16% a un 30% 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° 13-9**). Cabe destacar que en verano 2021 no se muestreo las lagunas de Peine, donde es frecuente la lagartija de Fabián, lo cual explicaría la mayor abundancia en invierno 2020 con respecto a verano 2021. 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 2022 (con 120 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, que generalmente muestra los mayores valores de abundancia). De las especies más abundantes (y excluyendo del análisis los valores incompletos de verano 2021 y verano 2022), destaca la parina grande, con la mayor abundancia absoluta (356 ejemplares en invierno 2021, **Tabla N° 13-9**) y mayor abundancia relativa (59,8% en invierno 2016, **Tabla N° 13-9**) 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° 13-9**).

Otras especies abundantes en el total de campañas son: el chorlo de la Puna (nueve a 50 individuos), el playero de Baird (cinco a 71 ejemplares), el caití (dos a 40 individuos) y la parina chica (seis a 51 ejemplares); en cambio otras son abundantes sólo en una a dos campañas, como el chirihue verdoso (con 126 ejemplares en invierno 2018 y 209 individuos en invierno 2021), el minero chico (29 individuos en verano 2018) y el bailarín chico (20 ejemplares, verano 2018), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja en las campañas, variando entre uno a 44 ejemplares (**Tabla N° 13-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la Puna (entre cinco a 10 puntos, variando entre un 20% a un 40% de frecuencia), el flamenco chileno (12% a 36%), la parina grande (12% 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° 13-9**). En general, las abundancias totales de las aves en este último año (en particular, invierno 2021) es la mayor abundancia absoluta hasta ahora. Por otra parte, para verano 2021 y 2022, 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° 13-8** y **Tabla N° 13-9**). 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° 13-8. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022.

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 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 21	V 22***
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	43,8	47,6	21,1	17,6	29,4	25,7	34,3	-	48,8	35,0	30,0	51,6
Lagartija de Fabián	9	11	15	28	12	26	23	-	21	26	14	15	56,3	52,4	78,9	82,4	70,6	74,3	65,7	-	51,2	65,0	70,0	48,4
TOTAL REPTILIA	16	21	19	34	17	35	35	Ne	41	40	20	31	100	100	100	100	100	100	100	Ne	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	-	-	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3	-	0,3	0,5	0,1	1,7
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	-	1,6	1,4	1,6	2,1	1,2	0,9	1,0	-	1,3	5,0	0,6	-
Piuquén	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Chorlo de la puna	20	26	15	50	28	31	45	-	19	37	9	16	4,6	8,9	4,0	9,6	5,4	6,7	7,8	-	4,8	18,5	1,1	13,3
Gaviota Andina	6	3	11	1	12	5	32	-	16	1	15	-	1,4	1,0	2,9	0,2	2,3	1,1	5,5	-	4,1	0,5	1,9	-
Caití	15	14	19	33	14	40	14	-	9	2	14	-	3,4	4,8	5,1	6,3	2,7	8,6	2,4	-	2,3	1,0	1,7	-
Playero de Baird	5	23	18	19	13	28	42	-	71	38	50	29	1,1	7,9	4,8	3,7	2,5	6,0	7,3	-	18,1	19,0	6,2	24,2
Pollito de mar tricolor	4	44	2	42	-	-	11	-	21	10	12	-	0,9	15,1	0,5	8,1	-	-	1,9	-	5,4	5,0	1,2	-
Pitotoy chico	-	-	-	6	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	0,3	-	-	-

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 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 21	V 22***
Tortolita de la puna	-	-	-	1	-	-	33	-	8	6	4	-	-	-	-	0,2	-	-	5,7	-	2,0	3,0	0,5	-
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	-	-	-	-	-	1,0	-	-
Halcón peregrino	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cernícalo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Tagua andina	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tagua cornuda	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Tagua gigante	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Churrete acanelado	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Minero común	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minero grande	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Minero chico	-	12	-	29	5	2	-	-	-	-	7	-	-	4,1	-	5,6	1,0	0,4	-	-	-	-	0,9	-
Minero de la Puna	-	-	2	21	11	5	2	-	-	6	-	2	-	-	0,5	4,0	2,1	1,1	0,3	-	-	3,0	-	1,7
Minero cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-
Tijeral común	1	2	-	2	-	-	-	-	-	3	3	-	0,2	0,7	-	0,4	-	-	-	-	-	1,5	0,4	-
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-
Golondrina de dorso negro	3	-	4	-	3	-	8	-	6	1	4	13	0,7	-	1,1	-	0,6	-	1,4	-	1,5	0,5	0,5	10,8
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	2,0	-	-
Chirihue verdoso	-	-	-	68	126	-	28	-	-	38	209	-	-	-	-	13,1	24,5	-	4,9	-	-	19,0	25,9	-
Mero de Tarapacá	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,5	-	-
Mero gaucho	-	2	-	-	2	5	-	-	2	2	-	3	-	0,7	-	-	0,4	1,1	-	-	0,5	1,0	-	2,5
Colegial del norte	-	2	2	2	1	5	-	-	2	-	3	2	-	0,7	0,5	0,4	0,2	1,1	-	-	0,5	-	0,4	1,7

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 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 21	V 22***
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	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	0,4	-	0,4	-	-	-	-	-	-
Garza grande	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Garza azul	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-
Flamenco andino o Parina grande	262	92	156	113	172	202	212	-	119	10	356	12	59,8	31,5	41,5	21,7	33,5	43,5	36,7	-	30,4	5,0	44,2	10,0
Flamenco de James o Parina chica	39	11	6	17	51	50	50	-	31	-	40	19	8,9	3,8	1,6	3,3	9,9	10,8	8,7	-	7,9	-	5,0	15,8
Flamenco chileno	63	46	125	67	53	69	67	-	67	22	67	20	14,4	15,8	33,2	12,9	10,3	14,9	11,6	-	17,1	11,0	8,3	16,7
Blanquillo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL AVES	438	292	376	520	514	464	577	Ne	392	200	806	120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MAMMALIA																								
Guanaco	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vicuña	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro culpeo	6+3x	3	3+4x	11+1x	6+7x	5+6x	2+6x	-	7+4x	6+x	6+4x	2+3x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro chilla	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puma	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Burro	8+5x	8+5x	4x	8+5x	5+5x	5+7x	5+4x	-	5X	5+x	4+3x	4+x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7x	4+6x	6+6x	8+4x	7+4x	2+4x	5+7x	-	7x	2+6x	6x	1+5x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en la campaña de Verano 2021 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (***) en la campaña de Verano 2022 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo. Ne = No evaluado.

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° 13-6.

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. La X indica presencia indirecta. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 13-9. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022.

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 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 21	V 22***
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	20	12	4	20	8	20	20	-	32	30	24	22,7
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	16	28	20	40	16	24	28	-	24	30	28	22,7
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	-	-	4	12	4	4	4	-	4	5	4	9,1
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	-	12	12	12	16	12	8	12	-	12	20	12	-
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	32	40	28	36	32	40	32	-	32	30	20	22,7
Gaviota Andina	3/25	2/25	6/25	1/25	2/25	3/25	6/25	-	7/25	1/20	3/25	-	12	8	24	4	8	12	24	-	28	5	12	-
Caití	6/25	4/25	6/25	3/25	5/25	2/25	7/25	-	4/25	1/20	6/25	-	24	16	24	12	20	8	28	-	16	5	24	-
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	8	36	12	20	24	32	36	-	40	25	36	27,3
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	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	4	-	-	-
Tortolita de la puna	-	-	-	1/25	-	-	5/25	-	2/25	4/20	2/25	-	-	-	-	4	-	-	20	-	8	20	8	-
Tórtola	2/25	1/25	-	-	1/25	1/25	3/25	-	1/25	-	-	-	8	4	-	-	4	4	12	-	4	-	-	-

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 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 21	V 22***
Halcón perdiguero	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	-
Halcón peregrino	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cernícalo	-	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-
Golondrina de dorso negro	2/25	-	4/25	-	1/25	-	3/25	-	5/25	1/20	4/25	5/22	8	-	16	-	4	-	12	-	20	5	16	22,7
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	-	-	-	-	8	8	-	8	-	-	15	12	-
Mero de Tarapacá	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	5	-	-
Mero gaucho	-	2/25	-	-	2/25	4/25	-	-	1/25	2/20	-	2/22	-	8	-	-	8	16	-	-	4	10	-	9,1
Colegal del norte	-	2/25	1/25	1/25	1/25	4/25	-	-	1/25	-	3/25	2/22	-	8	4	4	4	16	-	-	4	-	12	9,1
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

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 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 21	V 22***
Dormilona de nuca rojiza	1/25	-	-	1/25	-	1/25	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4	-	4	-	-	-	-	-	-
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	20	24	24	12	12	12	28	-	24	15	36	13,6
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	12	8	4	4	12	12	16	-	16	-	16	13,6
Flamenco chileno	7/25	8/25	8/25	5/25	5/25	3/25	7/25	-	6/25	4/20	9/25	5/22	28	32	32	20	20	12	28	-	24	20	36	22,7
Blanquillo	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAMMALIA																								
Guanaco	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vicuña	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5
Zorro culpeo	9/25	3/25	7/25	9/25	11/25	10/25	8/25	-	10/25	7/20	10/25	5/22	36	12	28	36	44	40	32	-	40	35	40	22,7
Zorro chilla	-	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
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	24	24	16	24	24	32	20	-	20	10	16	9,1
Chululo, Tucutuco de Atacama	7/25	7/25	7/25	7/25	6/25	6/25	8/25	-	7/25	7/20	6/25	6/22	28	28	28	28	24	24	32	-	28	35	24	27,3

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en la campaña de Verano 2021 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° 13-6.

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 120:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022.

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

13.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)

En un análisis global, comparando las 12 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), 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° 13-10**).

En el caso de las aves, y para todas las campañas, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, variando entre 13,3 individuos/transecto en verano 2022 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) a 18,0 ind/transecto (invierno 2019), la quebrada (máximo de 15,0 ind/transecto, en verano 2017), Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal (máximo de 1,5 ind/transecto, en invierno 2016) y el área desprovista de vegetación costra salar, con sólo 1,0 ind/transecto en invierno 2020 e invierno 2021 (**Tabla N° 13-10**).

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° 13-10. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 12 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2022).

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																																			
	Humedal salar (11)											ADV costra salar (1)										Herbazal (2)														
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I 20	V21**	I 21	V22***	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I 20	V21	I 21	V 22	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I 20	V21	I 21	V 22
REPTILIA	0,8	1,0	1,4	2,5	1,1	2,4	2,1	-	1,9	4,2	1,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-	1,0	2,5	0,5	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	1,0	0,0	1,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-	0,5	0,0	0,0	0,0

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																																			
	Humedal pajonal (2)											Matorral (8)										Quebrada (1)														
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I 20	V21	I 21	V 22	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I 20	V21	I 21	V 22	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I 20	V21	I 21	V 22
REPTILIA	2,0	4,0	2,0	1,0	2,5	2,5	4,5	-	3,5	2,5	0	2,5	0,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,5	0,4	-	0,8	0,3	0,6	1,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	3,0	1,0	0,0	0,0
AVES	3,0	3,0	3,0	13,0	3,5	6,0	18,0	-	8,5	5,0	4,0	4,5	0,1	0,1	0,0	13,5	18,0	1,4	6,5	-	0,6	6,5	27,4	0,3	1,0	15,0	0,0	7,0	1,0	6,0	0,0	-	3,0	3,0	5,0	3,0

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en la campaña de Verano 2021 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.

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 el ambiente herbazal y humedal pajonal, en verano 2018, y en matorral, en invierno 2018) 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° 13-11**). 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° 13-11**).

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 amarillento, 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° 13-11**).

Tabla N° 13-11. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2022

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 orejado amarillo	3,3	2/60	0	0/60	0	0/120	1,7	2/120	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 orejado 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 orejado 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 orejado 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 orejado 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 orejado 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 orejado 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	13,3	8/60	0	0/60	3,3	1/30
Ratón orejudo amarillo	0	0/30	0	0/30	1,7	1/60	0	0/60	5	3/60	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

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Donde: **IDR** = (Nº Individuos / trampa-noche) *100; **N / TR** = Nº Individuos totales trapeados / Nº 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 invierno realizada (julio 2014, en PMB, 2015), antes del primer monitoreo PMB de invierno 2016; y para comparar con las campañas de verano, se consideró la última campaña histórica de verano realizada (febrero 2015, en PMB, 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 (y 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 58 especies registradas en estas 12 campañas de monitoreo son, en general, un subconjunto de la riqueza acumulada de 62 especies observadas en varias campañas estacionales y de varios años (línea base del proyecto desde 2006 a verano 2015), detalladas en el PMB, 2015 (**Tabla N° 13-12**). En dicho informe, se registra un total acumulado de un anfibio, dos reptiles, 49 aves y 10 mamíferos, y, como era de esperar, casi todas las especies registradas en las campañas de invierno 2016 a verano 2022 se incluyen dentro de las 62 especies del total acumulado. Del total de 58 especies observadas en el periodo de monitoreo de estos últimos seis años, 17 especies no se habían registrado en el PMB (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*).
- un mamífero: el puma (*Puma concolor*).

Todos estos casos corresponden al primer registro de estas especies para la zona, ya que no aparecen en ninguna de las campañas anteriores reportadas en el PMB (2015).

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° 13-12**), la composición de especies de estas 12 campañas de agosto 2016 a marzo 2022 es mayor (45 a 58, respectivamente), variando la proporción básicamente para la clase aves (32 versus 44, 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 (PMB 2015), sino que obedece a estudios más generales citados en el PMB (SQM 2006-2012 y MEL 2009), y su inclusión tuvo por objetivo complementar la riqueza y composición conocida de especies en el área de estudio, llegando con esta información a

una riqueza total de 62 especies, pero que no se utilizan directamente para efectos comparativos de abundancia.

Tabla N° 13-12. 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 y verano 2022.

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 2016-Mar 2022
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	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
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	19	17	27	21	21	18	22	21	19	11	44
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	6	4	6	5	8	6	5	5	5	6	11
TOTAL	18	12	26	21	17	17	45	62	22	27	23	36	28	31	26	29	28	26	19	58

*Incluye además dos estudios adicionales (i.e. SQM 2006-2012 y MEL 2009), cuya información está contenida en PMB (2015). Nota: en verano 2020, no se pudo realizar el monitoreo, por la pandemia de COVID 19.

Fuente: Elaboración Propia en base a PMB (2015).

A una escala menor, 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 del PMB (2015) presentado en Adenda 5, Anexo 2 del EIA, para el sistema La Punta y La Brava, en el total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones, y anterior a estos monitoreos), se han registrado 14 especies de aves, un mamífero y un reptil, mientras que en las 12 campañas de invierno 2016 a verano 2022 se han observado 23 especies (un reptil, 19 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-7**).

Igualmente, a partir de la revisión en PMB (2015) presentado en 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 las 12 campañas de invierno 2016 a verano 2022 se registraron 17 especies (un reptil, 15 aves y un mamífero; **Tabla N° 13-7**), pese a que en los dos último veranos, Peine fue monitoreado parcialmente. 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 del PMB (2015), por lo que no se puede comparar. Como es esperable, la riqueza de ambos sistemas de las campañas de invierno 2016 hasta el verano

2022 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 en el PMB (2015), 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 2021, con la última campaña de invierno de líneas de base anterior (julio 2014, PMB 2015), 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, los datos son: invierno de 2016 (22 especies, de las cuales dos son reptiles, 15 son aves y cinco son mamíferos), invierno 2017 (23 especies, de las cuales dos son reptiles, 17 son aves y cuatro son mamíferos), invierno 2018 (28 especies: dos reptiles, 21 aves y cinco mamíferos), invierno 2019 (26 especies: dos reptiles, 18 aves y seis mamíferos), invierno 2020 (29 especies: dos reptiles, 22 aves y cinco mamíferos) e invierno 2021 (26 especies: dos reptiles, 19 aves y cinco mamíferos). Considerando la identidad de las especies, es básicamente 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° 13-12**).

En la otra estación, comparando el registro de las campañas de verano 2017 a verano 2022, con la última campaña de verano de líneas de base anterior (verano 2015, PMB 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). Los valores son: verano de 2017 (con 27 especies, de las cuales dos son reptiles, 19 son aves y seis son mamíferos), verano 2018 (con 36 especies: un anfibio, dos reptiles, 27 aves y seis mamíferos), verano 2019 (con 31 especies: dos reptiles, 21 aves y ocho mamíferos), verano 2021 (28 especies: dos reptiles, 21 aves y cinco mamíferos), y en verano 2022 (19 especies: dos reptiles, 11 aves y seis mamíferos) (**Tabla N° 13-12**). Cabe señalar que el valor de riqueza para verano 2022, no abarca todo lo que pudiera estarse presentando en la realidad, 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. La identidad de las especies es básicamente 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 son: invierno 2016 (nueve

especies), invierno 2017 (13 especies), invierno 2018 (12 especies), invierno 2019 (11 especies), invierno 2020 (12 especies) e invierno 2021 (10 especies; **Tabla N° 13-13**). Idéntico resultado se observa en el Sistema Peine (sólo las lagunas Salada, Saladita e Interna), con seis aves en invierno 2014 y nueve a 10 especies en los seis inviernos de monitoreo (**Tabla N° 13-13**). 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 tal vez el caso más interesante se da 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° 13-13**).

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 (PMB, con siete especies), y los valores son: verano de 2017 (12 especies), verano 2018 (14 especies), verano 2019 (con 11 especies), verano 2021 (10 especies) y verano 2022 (7 especies; **Tabla N° 13-13**). Cabe recordar que en verano 2020 no se efectuó muestreo, debido a la pandemia por COVID-19 y que las campañas de verano 2021 y verano 2022 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° 13-13**).

Tabla N° 13-13. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas del PMB (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2022).

Nombre común	Humedal Salar																				
	La Punta-La Brava						Peine (Salada, Saladita e Interna)					La Punta-La Brava y Peine									
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**	Verano 2022***
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	
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
Gaviota andina		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	
Playero de Baird	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				
Tagua andina										X											
Tagua cornuda				X																	
Tagua gigante			X																		
Golondrina bermeja																		X			

Nombre común	Humedal Salar																				
	La Punta-La Brava						Peine (Salada, Saladita e Interna)						La Punta-La Brava y Peine								
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**	Verano 2022***
Golondrina de dorso negro			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
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
Flamenco de James o Parina chica	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
Blanquillo				X																	
TOTAL POR AMBIENTE	6	9	13	12	11	12	10	6	9	9	9	9	10	7	7	12	14	11	Ne	10	7

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en la campaña de 2021 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 y 2022): 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 2021 (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° 13-14**).

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 seis especies) es similar 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 (**Tabla N° 13-14**).

Tabla N° 13-14. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas del PMB (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2022).

CLASE Común	Nombre	CAMPAÑA												
		2014 (PMB)*	Verano 2015 (PMB)	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020**	Invierno 2020	Verano 2021	Invierno 2021
ANFIBIOS														
	Sapo espinoso						X							
	Subtotales anfibios						1							
REPTILES														
	Lagartija de Constanza	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
	Subtotales reptiles	2	1	2	2	2	2	2	2	Ne	2	2	2	2
MAMÍFEROS														
	Guanaco				X									
	Vicuña													X
	Zorro chilla								X					
	Zorro culpeo	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
	Puma					X								
	Yaca del norte	X							X	X				
	Burro		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
	Lauchita de pie sedoso								X					
	Ratón andino	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
	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	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
	RIQUEZA TOTAL	7	6	7	8	6	8	7	10	8	Ne	7	7	7

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 12 campañas de monitoreo como las dos campañas de Línea de Base, se han registrado 23 especies en total (**Tabla N° 13-15**). 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° 13-15**). Por el contrario, 14 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 dos a 44 ejemplares), la gaviota andina (uno a 32 individuos) y el bailarín chico (uno a 14 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (uno a cuatro individuos; **Tabla N° 13-15**). 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° 13-15**).

Tabla N° 13-15. 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***
Pato colorado	0	2	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
Pato juarjual	8	0	0	4	0	11	6	4	4		5	10	5	0
Piuquén	0	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0
Chorlo de la puna	5	9	20	26	15	50	28	31	45		19	37	9	16
Gaviota andina	0	0	6	3	11	1	12	5	32		14	1	14	0
Caití	16	2	15	14	19	33	14	40	14		9	2	14	0
Playero de Baird	1	22	5	23	18	19	13	28	42		71	38	50	29
Pollito de mar tricolor	0	0	4	44	2	42	0	0	11		21	10	12	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0		1	0	0	0
Tagua andina	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0
Tagua gigante	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	3	0	3	0	3	0	5		5	1	2	8
Bailarín chico común	0	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3	0	0
Colegial del norte	0	2	0	2	2	2	1	4	0		2	0	3	2
Garza azul	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0
Garza grande	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0
Parina grande	135	32	262	92	156	113	172	202	212		119	10	356	12
Parina chica	79	0	39	11	6	17	51	50	50		31	0	40	19
Flamenco chileno	32	15	63	46	125	67	53	69	67		67	22	67	20
Blanquillo	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0
TOTAL	276	84	419	270	363	376	362	435	486	Ne	365	134	572	106

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en la campaña de 2021 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.

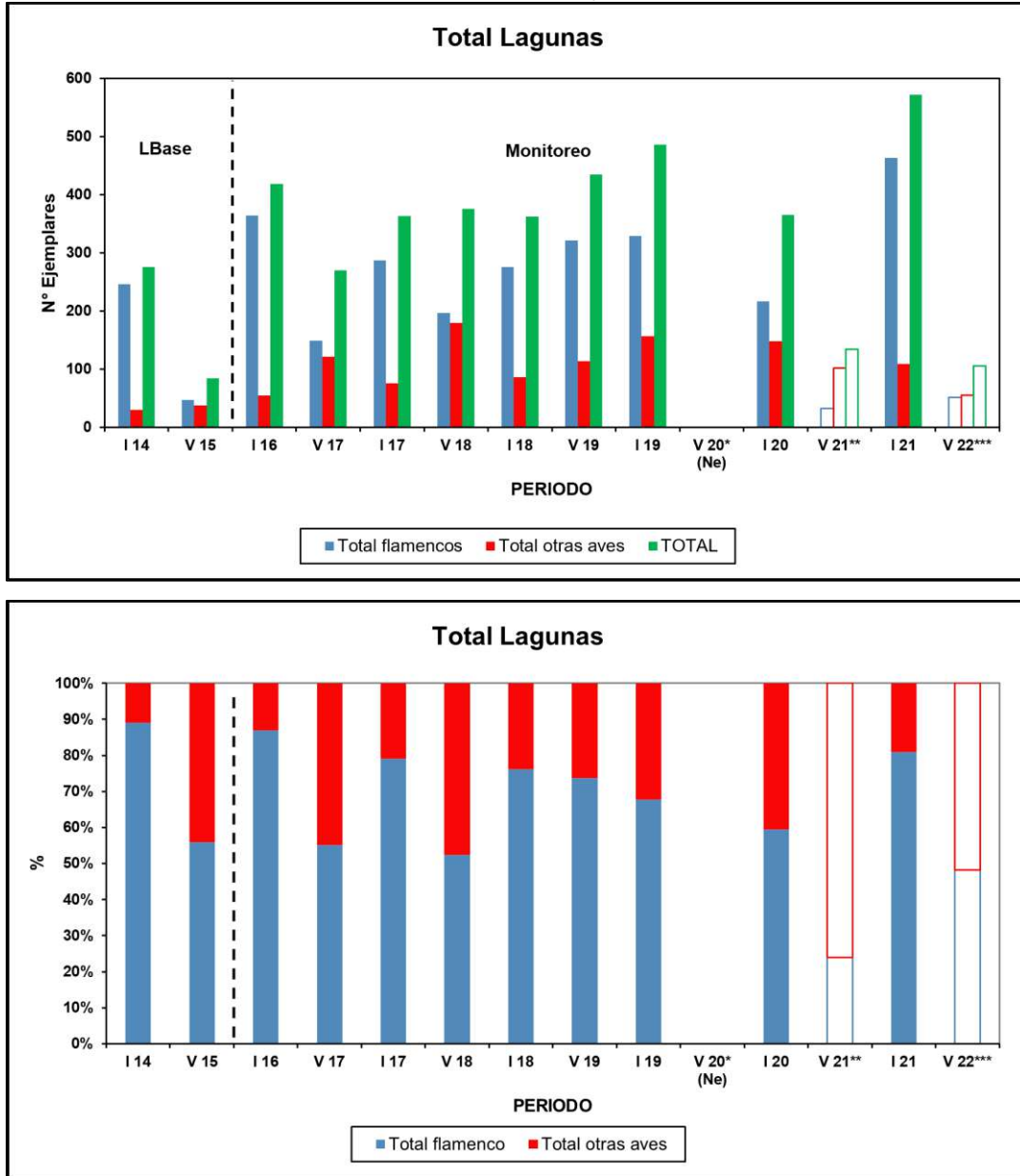
A continuación, se agrupan las abundancias de los flamencos en relación al resto de las aves. Esto se analiza pues estas tres especies acuáticas son, por una parte, las más importantes numéricamente, y por otra, todas se consideran “*bajo amenaza*”, (dos como vulnerables y una casi amenazada).

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 es mayor en invierno que en verano, destacando que no hubo muestreo de las lagunas de Peine en verano 2021; y en el sexto año (invierno 2021 y verano 2022), nuevamente la abundancia es mayor en invierno que en verano, destacando que hubo un muestreo incompleto de Peine durante este último verano; **Figura N° 13-6**).

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° 13-6**). 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 y 2022, 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° 13-6**).

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° 13-6. 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 la campaña de 2021 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° 13-16**). 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 tres individuos; **Tabla N° 13-16**). 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° 13-16**). En general, en las lagunas de Peine, la abundancia de aves es mayor en el monitoreo (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 verano 2021 (por permiso de acceso), además de no poder completar los monitoreos para el verano 2022, por el mismo motivo.

Tabla N° 13-16. 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***
Pato jergón chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0		0	0
Pato juarjual	4	1	2	3	4	2	4	2		0		2	0
Chorlo de la puna	3	6	14	7	14	5	7	27		4		0	9
Gaviota andina	0	2	0	3	0	1	2	5		4		1	0
Caití	14	6	12	6	33	7	38	9		1		8	0
Playero de Baird	0	0	12	17	9	3	12	29		24		19	4
Pollito de mar tricolor	0	4	24	0	42	0	0	0		15		0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	0	0	0		1		0	0
Tagua andina	0	0	0	1	0	0	0	0		0		0	0
Golondrina de dorso negro	0	3	0	3	0	3	0	3		1		0	0
Colegial del norte	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0
Garza azul	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0
Parina grande	135	219	85	145	112	160	200	163		105		265	9
Parina chica	40	11	11	0	17	35	49	48		29		40	8

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***
Flamenco chileno	14	47	34	104	58	39	66	38		41		52	1
TOTAL	210	299	194	289	292	255	380	324	Ne	225	Ne	387	31

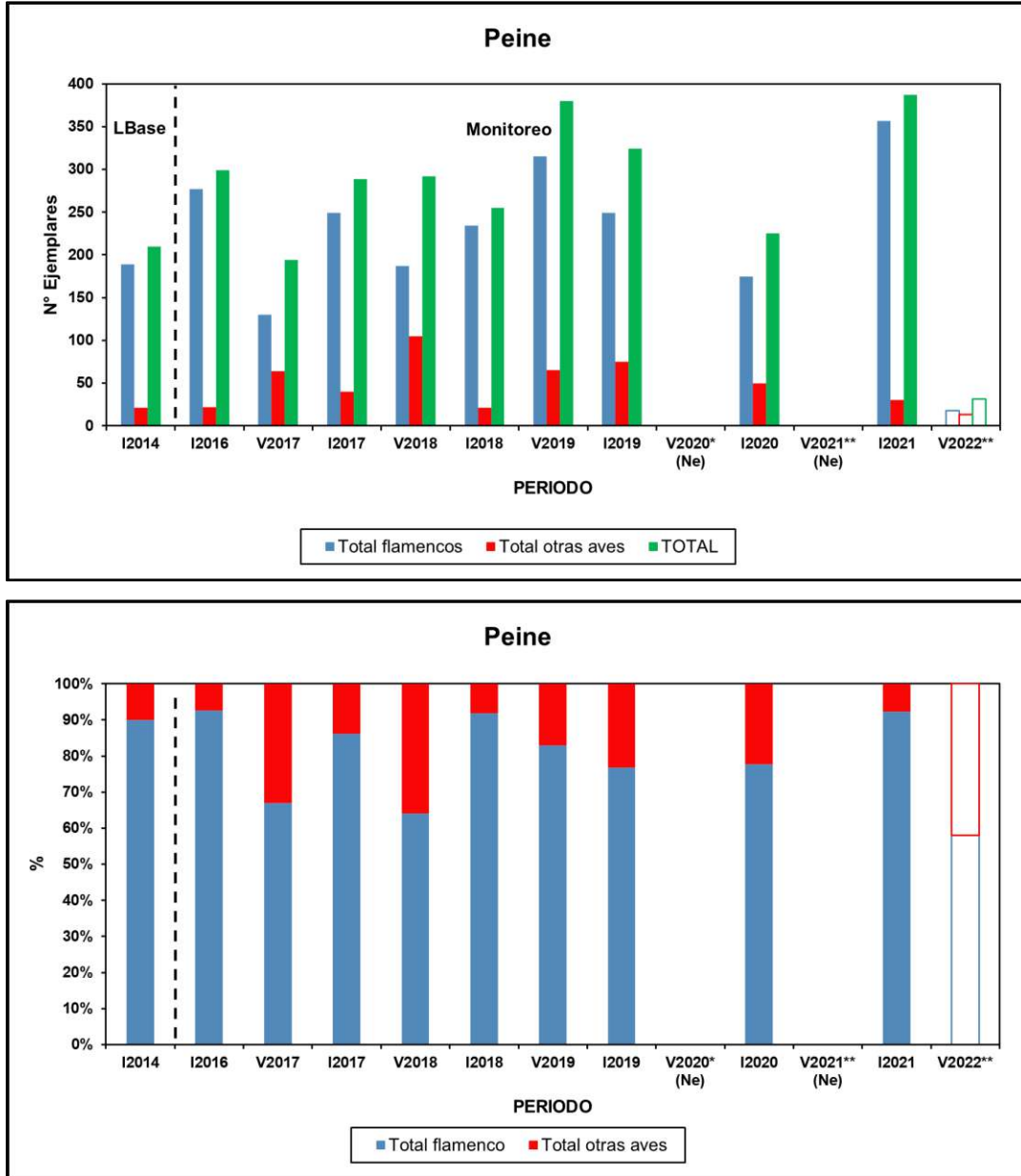
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en la campaña de 2021 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

Fuente: Elaboración Propia.

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 ligeramente 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° 13-7**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo (salvo verano 2017) que la campaña de Línea de Base, descontando la campaña de verano 2022 que solo se pudieron realizar dos de los cinco puntos de monitoreo. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 194 a 387 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 210 ejemplares. Para los flamencos, también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (130 a 357) que en la Línea de Base (189), excluyendo verano 2022 al no contar con la totalidad de puntos de monitoreo. En abundancia relativa, los flamencos varían entre un rango de cerca de 58% (en verano 2022), a un máximo de más de un 92% (en invierno 2016).

Por lo tanto, analizando al sistema lagunar de Peine (lagunas de Peine), la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo en relación con la Línea de Base.

Figura N° 13-7. 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. Ne = No evaluado. (**) en la campaña de 2021 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 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 19 especies en total (**Tabla N° 13-17**). De ellas, 13 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 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 las otras dos especies de flamencos, la parina chica y el flamenco chileno (**Tabla N° 13-17**). En general, en las lagunas de La Punta y La Brava, la abundancia de aves es mayor en el monitoreo (55 a 185 individuos) que en la Línea Base (66 individuos; **Tabla N° 13-17**).

Tabla N° 13-17. 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
Pato juarjual	4	6	2	3	7	4	0	2		5	10	3	0
Piuquén	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0
Chorlo de la puna	2	14	13	8	36	23	24	18		15	37	9	7
Gaviota andina	0	4	3	8	1	11	3	27		10	1	13	0
Caití	2	9	2	13	0	7	2	5		8	2	6	0
Playero de Baird	1	5	11	1	10	10	16	13		47	38	31	25
Pollito de mar tricolor	0	0	20	2	0	0	0	11		6	10	12	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0	0	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0
Tagua gigante	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	0	1	0	0	0	2		4	1	2	8
Bailarín chico común	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3	0	0
Colegial del norte	0	0	2	2	2	1	3	0		2	0	3	2
Garza grande	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0
Parina grande	0	43	7	11	1	12	2	49		14	10	91	3

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
Parina chica	39	28	0	6	0	16	1	2		2	0	0	11
Flamenco chileno	18	16	12	21	9	14	3	29		26	22	15	19
Blanquillo	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0
TOTAL	66	127	77	81	84	107	55	162	Ne	140	134	185	75

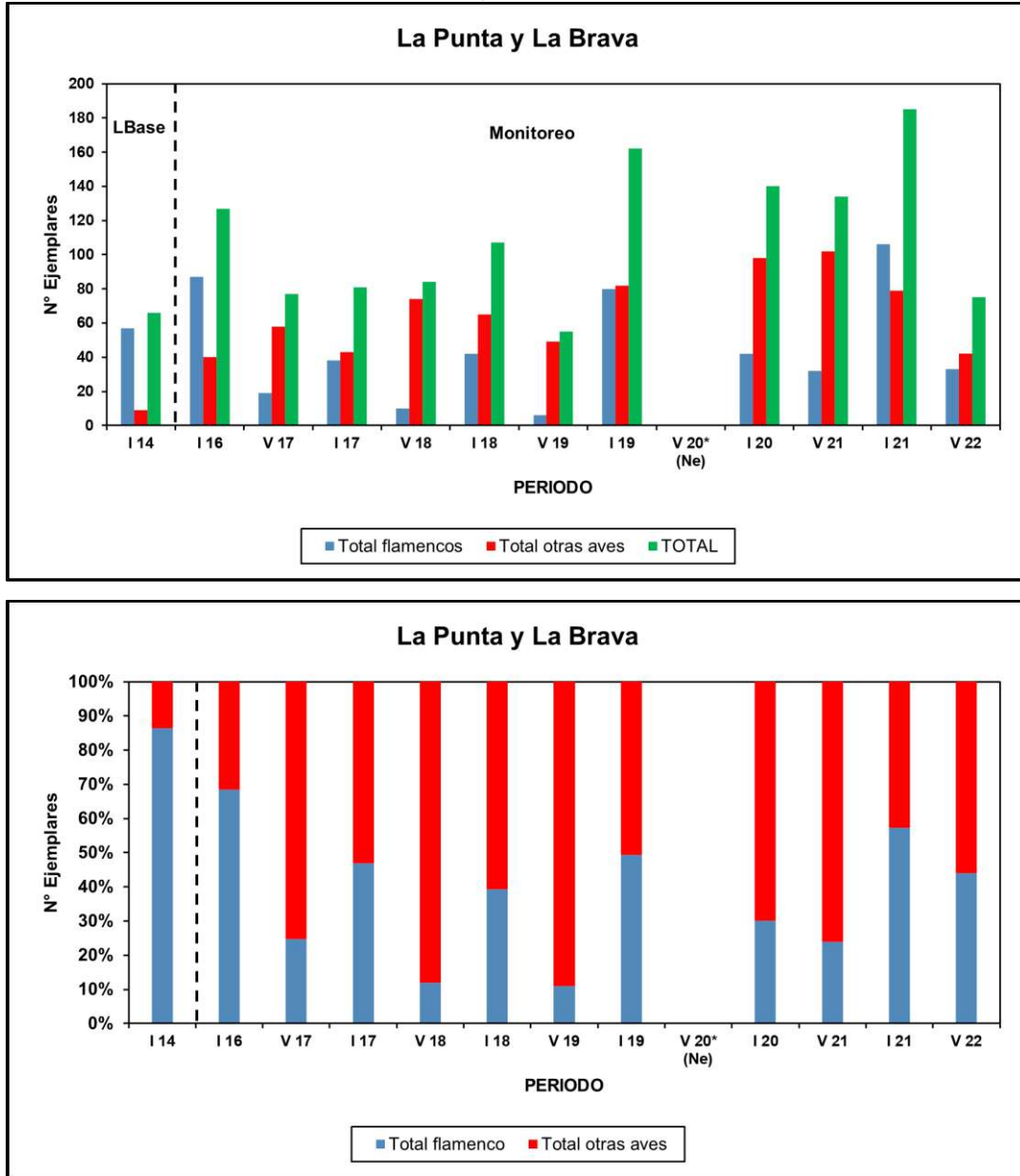
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado.

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° 13-8**). Por otra parte, los flamencos son dominantes sólo en la Línea de Base y en dos campañas de monitoreo (invierno 2016 e invierno 2021), lo que es contrario en las otras 10 campañas de monitoreo (**Figura N° 13-8**). 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) y en invierno 2021 (106 ejemplares) que en la Línea de Base (57 ejemplares), mientras que en las otras ocho campañas de monitoreo los valores son menores a la Línea de Base (seis a 42 ejemplares; **Figura N° 13-8**). Cabe destacar que los valores absolutos de flamencos son bastante menores en La Punta y La Brava (decenas de ejemplares como máximo) que en 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° 13-8**).

Por lo tanto, analizando al sistema lagunar de La Punta y La Brava, 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, 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 invierno 2016, 2019 y 2021).

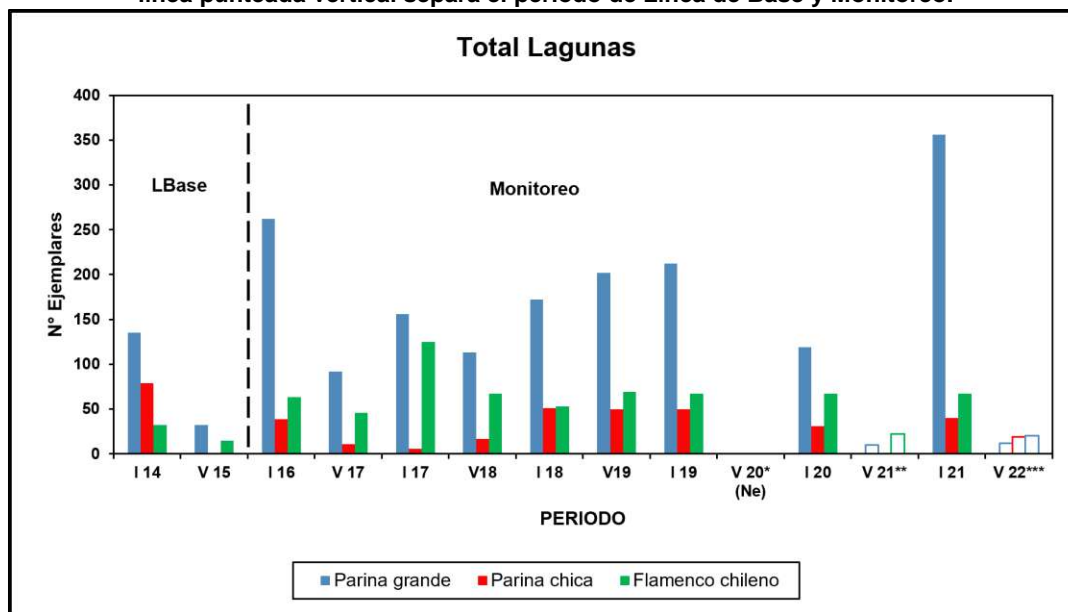
Figura N° 13-8. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



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 verano 2021 y verano 2022, que no cuentan con muestreo completos) que en la Línea de base (32 a 135 ejemplares; **Figura N° 13-9**). 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° 13-9**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (seis a 51, excluyendo verano 2021) son menores al valor máximo de la Línea de Base (con rango entre cero a 79 ejemplares; **Figura N° 13-9**).

Figura N° 13-9. 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.



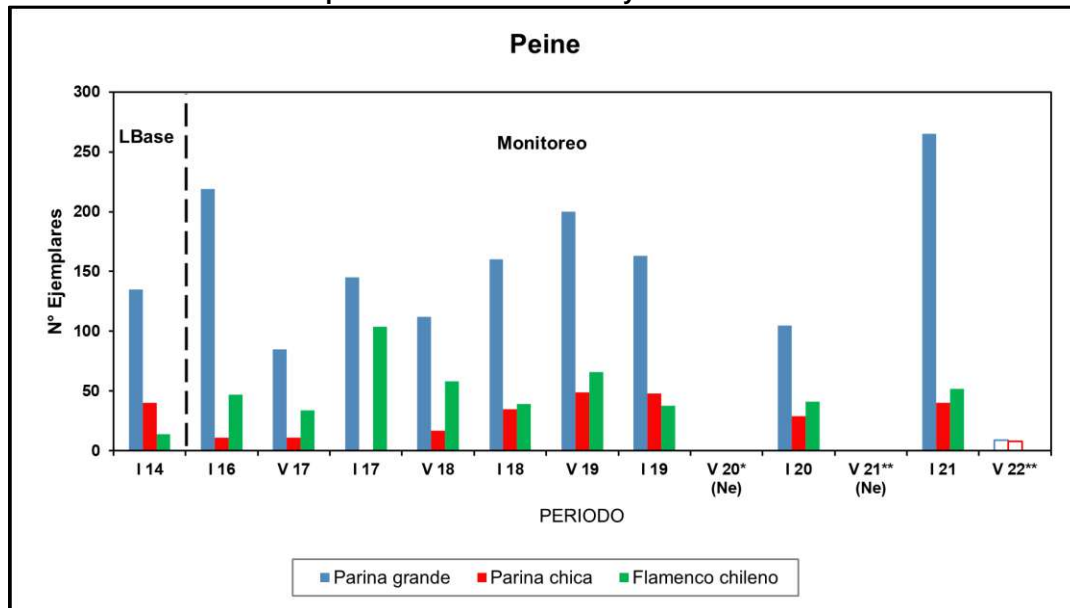
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en la campaña de 2021 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

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 y 2022) que en la Línea de base (135 individuos; **Figura N° 13-10**), 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° 13-10**). 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° 13-10**).

Figura N° 13-10. 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.

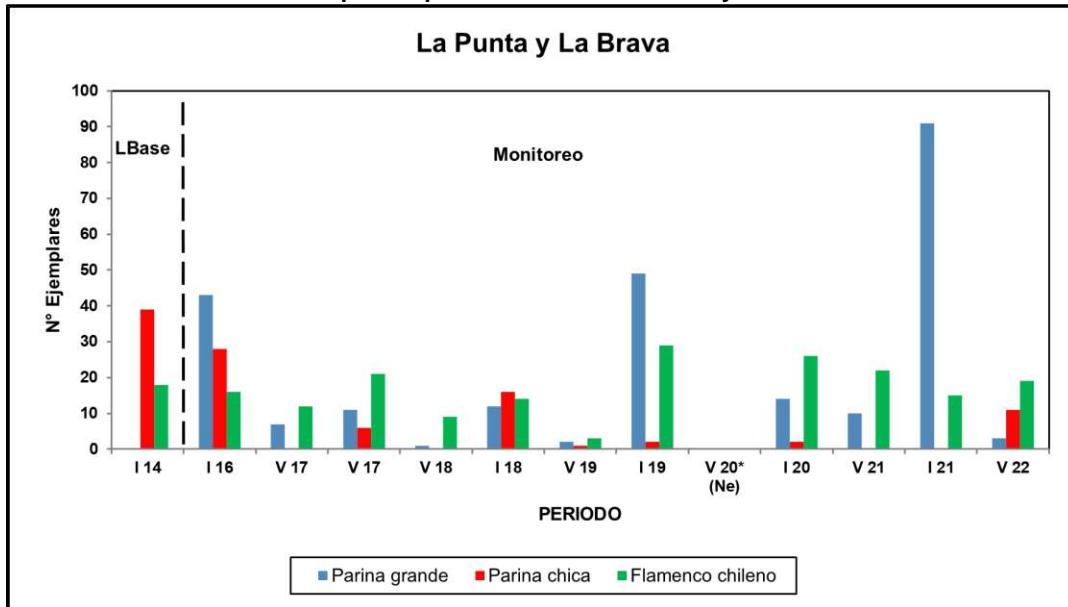


(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en la campaña de 2021 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

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 (uno a 91 ejemplares) que en la Línea de base (sin registro; **Figura N° 13-11**). El flamenco chileno muestra valores disímiles en la mayor parte de los monitoreos (tres a 29 ejemplares), siendo mayor en cinco campañas respecto a la Línea de base (18 individuos; **Figura N° 13-11**). Por último, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (cero a 28) son menores a la Línea de Base (39 ejemplares; **Figura N° 13-11**).

Figura N° 13-11. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



Ne = No evaluado.
Fuente: Elaboración propia.

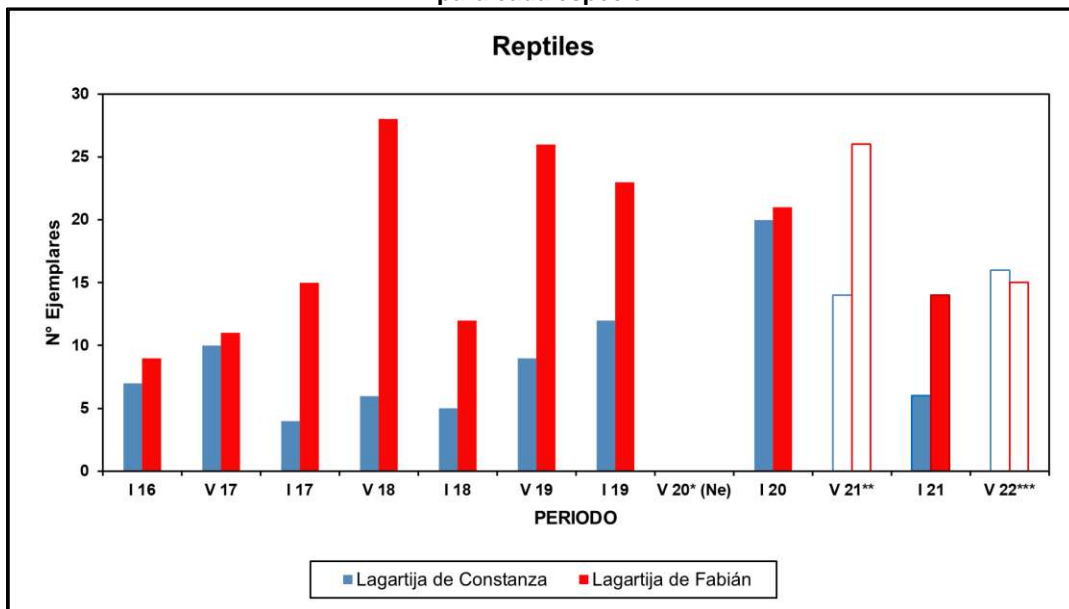
Por lo tanto, las variaciones de abundancia de las tres especies de flamencos muestran que la parina chica es la especie que podría estar disminuyendo sus abundancias, pese a observar un alza en su abundancia en esta última campaña verano 2022, pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con valores 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), 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 12 campañas, hay que considerar que las comparaciones estacionales no son rigurosamente equivalentes, ya que hay tres veranos irregulares (2020 por pandemia, además 2021 y 2022 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 cuatro 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 nueve a 28 ejemplares, con el máximo en verano de 2018 (**Figura N° 13-12**). Cabe destacar que en verano 2021 y verano 2022 no se muestrearon cinco y tres puntos, respectivamente 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° 13-12. 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.



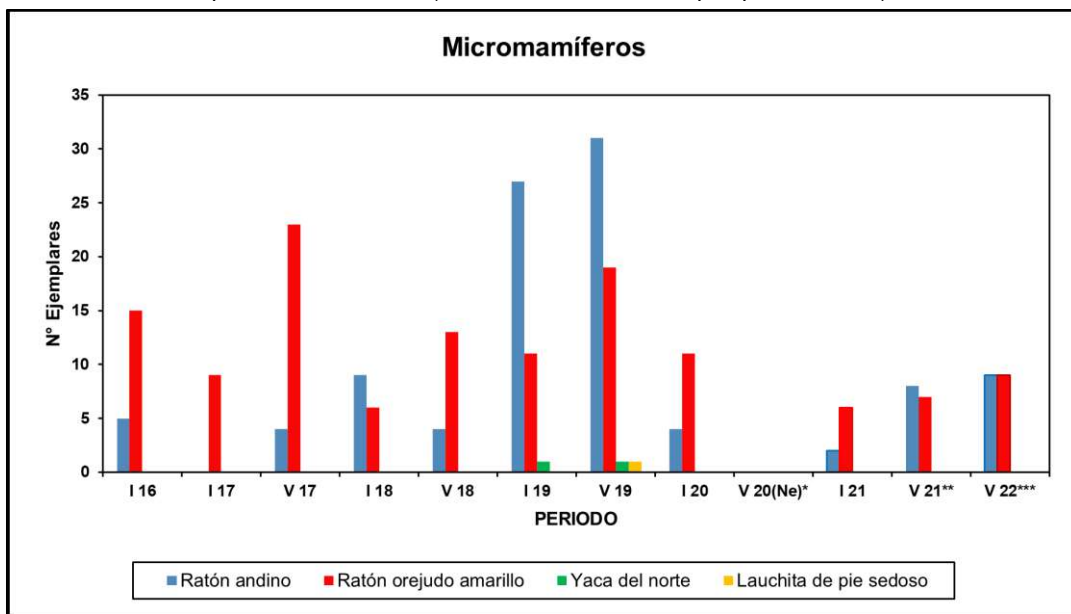
(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en la campaña de 2021 no se muestrearon 5 puntos en laguna Peine. (***) en la campaña de 2022 no se muestrearon 3 puntos en laguna Peine.

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 (PMB, 2015). 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), mientras que el ratón orejudo amarillo ha variado entre seis 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° 13-13**).

Figura N° 13-13. 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 Análisis Año 6: Monitoreo invierno 2021 y verano 2022

Los resultados del monitoreo de invierno 2021, 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 2020. Por otro lado, el monitoreo de verano 2022, campaña en la cual sólo se pudo ingresar parcialmente al sector Peine y se muestrearon completamente los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, se observó que el 66,7% de las estaciones presentaron tapetes microbianos, lo cual es similar a lo detectado entre las campañas de verano 2017 a 2019. Cabe destacar que en verano 2021 no se pudo ingresar al sector Peine y sólo se muestreó el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, en donde se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno 2021 y verano 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

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 2021 y verano 2022.

13.3.1.1 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), se realizó la campaña de monitoreo de invierno 2021 y parcialmente en verano 2022, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine (**Ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**). En ese contexto, en esta última, sólo se muestrearon las estaciones S-5 (laguna Salada), S-10 y S-11 (laguna Saladita) e I-11 e I-17 (laguna Interna). Cabe destacar que, la campaña verano 2021, tampoco fue posible de realizar, por las mismas razones expuestas anteriormente.

En relación con la comparación de los periodos de invierno 2021 y verano 2022, en el sector Peine, se observó que durante la campaña de invierno 2021, la estructura más prevalente fue de Tipología 1 (50%), siendo también la más prevalente en verano 2022 (41,7%), aunque con una caída de 8,3%. Esta disminución, se ve reflejada en el aumento de la prevalencia de la Tipología 2 (también en 8,3%), mientras que la Tipología 3 no varió, respecto de invierno 2021.

En cuanto a la tonalidad de las capas, tanto invierno 2021 como verano 2022, los tapetes de Tipología 1 en la macrozona Subsuperficial exhibieron verde y en menor medida, amarillo, no obstante, en verano 2022 también se observó predominancia de la tonalidad naranja mostrando posibles reconfiguraciones del tapete microbiano. En la macrozona Intermedia se exhibieron tonalidades predominantemente rosadas, no obstante en invierno 2021 se observó también la presencia de la tonalidad púrpura, mientras que en verano 2022 hubo algunos tapetes que evidenciaron la tonalidad blanca. En la macrozona Profunda, predominó la tonalidad marrón, aunque en invierno 2021 se observó mayor presencia de la tonalidad negra.

No obstante, la presencia de más o menos tonalidades, está ligada además, a la reducida capacidad de muestreo que hubo en verano 2022, debido a las restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine, y en las cuales no se pudieron evaluar las estaciones S-6A, S-9 y SA-25, las que, históricamente, han exhibido tapetes microbianos. La variación de tonalidades que son frecuentes (i.e. naranja, púrpura) 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 2021, se presentaron en dos configuraciones según la macrozona que contenían: Subsuperficial e Intermedia y

Subsuperficial y Profunda, mientras que en verano 2022, sólo se observaron tapetes que contenían las macrozonas Subsuperficial e Intermedia. Sin embargo, al igual que en Tipología 1, en ambas campañas, predominaron la tonalidad verde en la macrozona Subsuperficial y rosado en la macrozona Intermedia. No obstante, en invierno 2021 también se observó mayor presencia de las tonalidades naranja y en menor medida, amarillo en la macrozona Subsuperficial, púrpura en la macrozona Intermedia y negra y rosada en la macrozona Profunda.

Finalmente, los tapetes de Tipología 3 exhibieron sólo la macrozona Subsuperficial, tanto en invierno 2021 como en verano 2022, en la cual predominaron las tonalidades verdes, naranja y amarillo, esta última, menos predominante en verano 2022. Sin embargo, en invierno 2021, también se observó la presencia de la tonalidad rosada. Cabe destacar, que en verano 2022, la Tipología 3 fue hallada exclusivamente en la estación I-11, mientras que en invierno 2021, también fueron hallados en SA-25. En ese contexto, debido a que SA-25 no pudo ser muestreada en verano 2022, es de importancia evaluar en futuras campañas, la composición tipológica de estos tapetes en dicha estación.

En la **Tabla N° 13-18** se muestran las principales capas pigmentadas en tapetes respecto del total de muestras según tipo de tapetes.

Tabla N° 13-18. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector Peine, invierno 2021 y verano 2022.

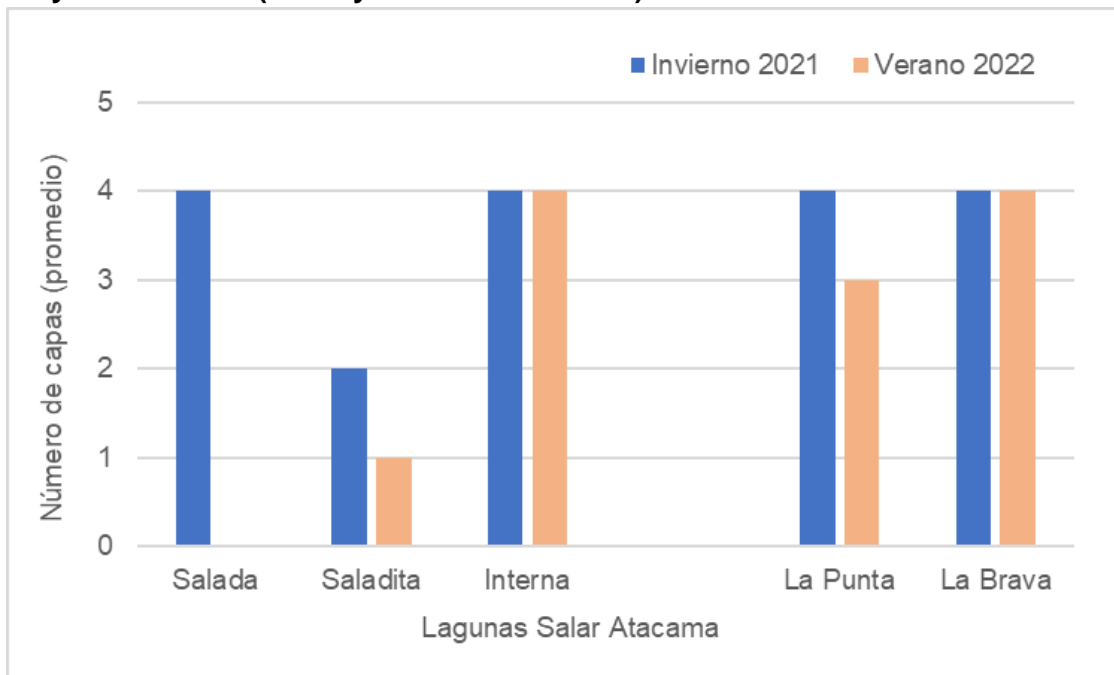
Macrozona	Sector Peine	
	Invierno 2021	Verano 2022
Tipología 1		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja, amarillo
Intermedia	Rosado, púrpura	Rosado, blanco
Profunda	Marrón, negro, gris, verde	Marrón, negro
Tipología 2		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja
Intermedia	Rosado, púrpura, blanco	Rosado
Profunda	Negro, rosado	-
Tipología 3		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo, rosado	Verde, naranja, amarillo

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al número de capas promedio, en el Sector Peine, se pudo observar variaciones en Laguna Saladita, donde el número de capas promedio disminuyó (1 capa promedio) en verano 2022, mientras que en Laguna Interna no hubo cambios. La variación en Laguna Saladita podría deberse a la falta de información en la estación SA-25, la cual no pudo ser muestreada. Cabe destacar que las estaciones S-6A y S-9 de Laguna Salada, las cuales en campañas anteriores han mostrado la presencia de tapetes microbianos, tampoco pudieron ser muestreadas (**Figura N° 13-14**).

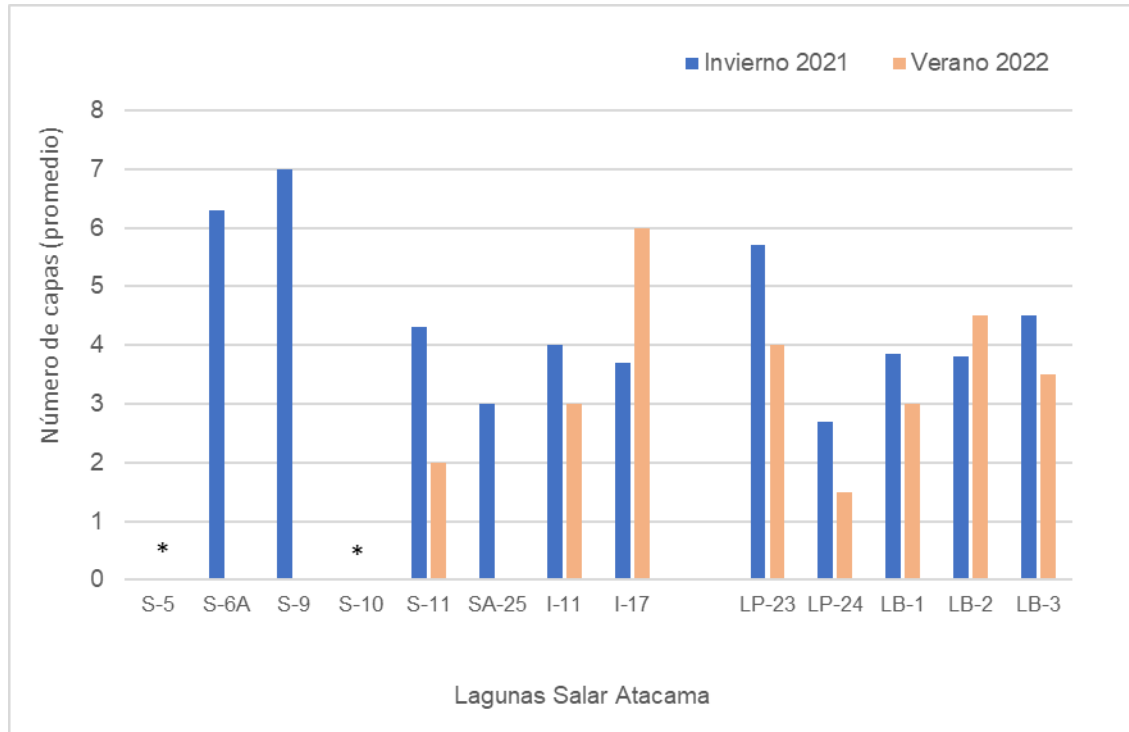
Al observar este parámetro por estación de monitoreo, se pudo observar que en la estación S-11 hubo una disminución de casi un ~53% en verano 2022, respecto a invierno 2021; similar comportamiento se observó en la estación I-11, dada por una leve disminución de las capas promedio en tapetes superficiales planos, y en los tapetes sumergidos hubo una disminución de ~30% en las capas promedio, por otro lado, en la estación I-17, hubo un aumento de ~38% de las capas promedio, respecto a invierno 2021 (**Figura N° 13-15**).

Figura N° 13-14. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2021 y Verano 2022 (Peine y La Punta-La Brava).



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13-15. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2021 y Verano 2022 (Peine y La Punta-La Brava).



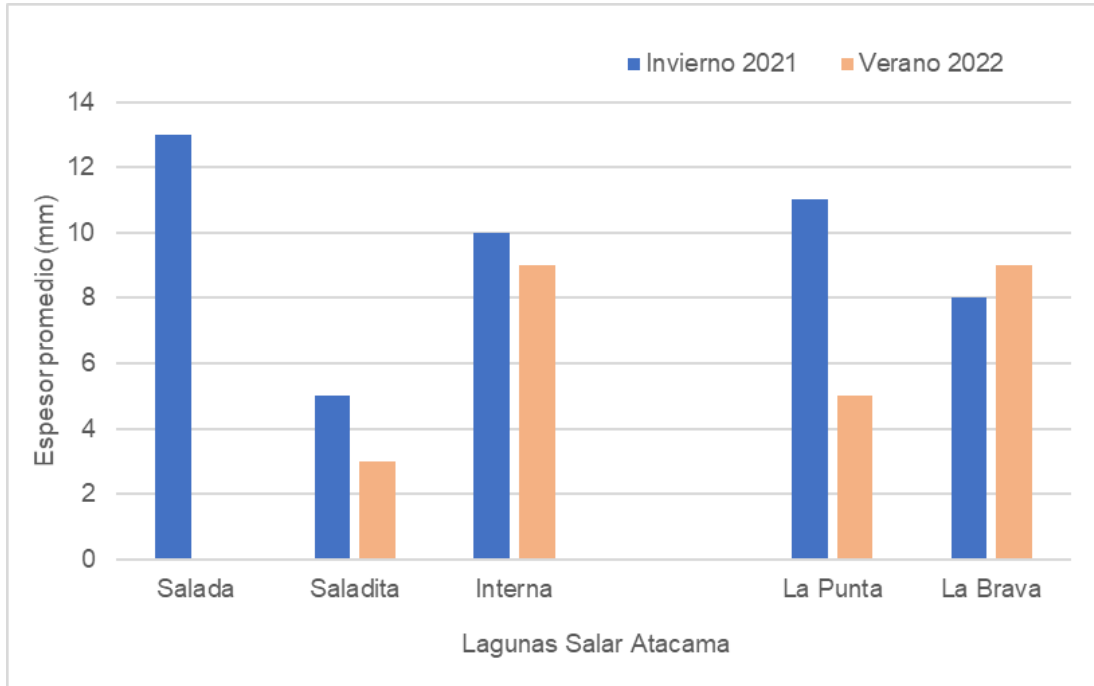
Donde: (*) = sin presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al espesor de los tapetes, se observó que en el Sector Peine hubo una disminución de casi un 40% en Laguna Saladita, mientras que en Laguna Interna hubo una disminución de un 10% en este parámetro. La disminución en Laguna Saladita podría corresponder a la falta de información en la estación SA-25, la cual no pudo ser muestreada. Cabe destacar que las estaciones S-6A y S-9 de Laguna Salada, las cuales en campañas anteriores han mostrado la presencia de tapetes microbianos, tampoco pudieron ser muestreadas (**Figura N° 13-16**).

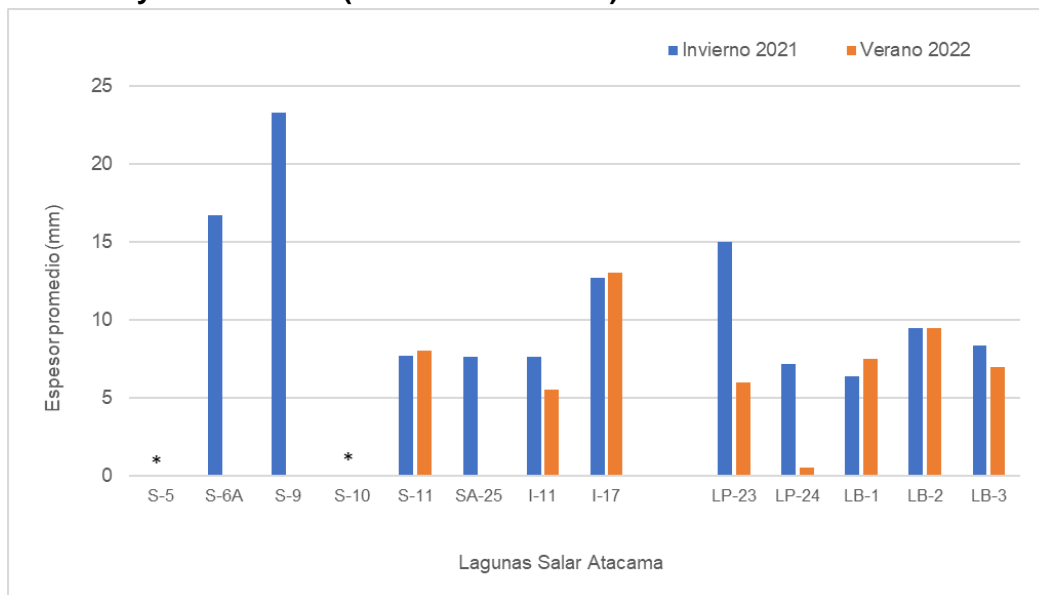
Específicamente por estación de muestreo, se puede observar que los valores de espesor se mantienen similares, variando entre un ~2,0 y ~7,0%) tanto en Laguna Saladita como Interna, excepto en la estación I-11, donde la disminución es de 36,4% en verano 2022, respecto de invierno 2021, dado por los tapetes sumergidos (**Figura N° 13-17**).

Figura N° 13-16. Espesor (\bar{x}) de tapetes microbianos. Invierno 2021 y Verano 2022 (Peine y La Punta-La Brava).



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13-17. Espesor (\bar{x}) de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2021 y Verano 2022 (La Punta-La Brava).



Donde: (*) = sin presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración propia

13.3.1.2 Sector La Punta – La Brava

En relación con la comparación de los periodos de invierno 2021 y verano 2022, en el sector La Punta-La Brava, se observó que durante la campaña de invierno 2021, la estructura más prevalente fue de Tipología 2 (48,1%), mientras que en verano 2022 la más prevalente fue la Tipología 1 (54,2%), la cual tuvo un aumento neto, respecto a invierno 2021, de 17,1%. Este aumento, se ve reflejado en la disminución de la prevalencia de las otras dos Tipologías, tanto la 2 (en un 10,6%) como la 3 (en un 6,5%), respecto de invierno 2021.

En cuanto a la tonalidad de las capas, tanto invierno 2021 como verano 2022, 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, como se sugirió anteriormente.

Respecto a Tipología 2, los tapetes muestreados en invierno 2021 y verano 2022, se presentaron en dos configuraciones según la macrozona que contenían: Subsuperficial e Intermedia y Subsuperficial y Profunda. Sin embargo, al igual que en Tipología 1, en ambas campañas, predominaron la tonalidad verde, naranja, aunque en invierno 2021 también se observó la tonalidad amarilla, a diferencia de verano 2022. Por otro lado, en ambas campañas, también predominaron las tonalidades rosada y púrpura (Intermedia) y marrón (Profunda).

Finalmente, los tapetes de Tipología 3 exhibieron sólo la macrozona Subsuperficial, tanto en invierno 2021 como en verano 2022, en la cual predominaron las tonalidades verdes, naranja, sin embargo, en invierno 2021, también se observó la presencia de la tonalidad amarilla y rosada. Cabe destacar, que en invierno 2021, la Tipología 3 fue hallada exclusivamente en la estación LP-24, mientras que en verano 2022, también se halló una muestra en LB-1.

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 La Punta-La Brava, invierno 2021 y verano 2022.

Macrozona	Sector La Punta-La Brava	
	Invierno 2021	Verano 2022
Tipología 1		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja, amarillo
Intermedia	Rosado, púrpura, blanco	
Profunda	Marrón, negro	
Tipología 2		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja
Intermedia	Rosado, púrpura, blanco	
Profunda	Marrón	
Tipología 3		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo, rosado	Verde, naranja

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las capas promedio en el Sector La Punta-La Brava, se observó que en laguna La Punta, hubo una disminución (1 capa promedio) en verano 2022, respecto a invierno 2021; 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. Por otro lado, en Laguna La Brava no hubo variaciones entre las campañas (**Figura N° 13-14**).

Cuando se observó el número de capas promedio por estación de monitoreo, en la estación LP-23 hubo una disminución de un ~30% en este parámetro, de manera similar, en la estación LP-24, hubo una disminución de ~44%, no obstante los tapetes superficiales planos de esta estación, exhibieron un leve aumento (~10%) 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, así, en las estaciones LB-1 y LB-3 hubo una disminución de 22%, mientras que en LB-2 hubo un aumento de 18% en este parámetro (**Figura N° 13-15**). Sin embargo, al considerar por tapetes sumergidos o superficiales planos, se observó una disminución de capas promedio entre ~7,0 - ~50%, en casi todas las estaciones, excepto en los tapetes superficiales planos de LB-1 y LB-2, los cuales mostraron un aumento en el número de capas de 7,5 y 34%, respectivamente. Esto muestra que entre ambos períodos hubo modificaciones moderadas a nivel de estratificación en los tapetes, con cambios de hasta un 50%, no obstante, esto no implica que no puedan cambiar su Tipología.

En relación con el espesor promedio, se puede observar que en verano 2022, en Laguna La Punta, hubo una disminución de ~6 mm, respecto a invierno 2021, esto ya que no se hallaron tapetes sumergidos en LP-24, a diferencia de campañas anteriores. Por el contrario, en Laguna La Brava, hubo un leve aumento (~1 mm) en este parámetro, en verano 2022, respecto a invierno 2021 (**Figura N° 13-16**).

Cuando se observó por estación de muestreo, la estación LP-23 mostró una disminución de 60% en el valor de espesor promedio en verano 2022 comparado a invierno 2021, mientras que los tapetes superficiales planos de la estación LP-24 anotaron una disminución de un ~82%, al comparar los mismos periodos mencionados. Cabe resaltar que en verano 2022, no se hallaron tapetes sumergidos en esta estación de monitoreo. Por otro lado, en LB-1 se puede observar un leve aumento (entre ~11 y ~18%) en el espesor promedio en tapetes superficiales planos como sumergidos.

Por otro lado, en LB-2 se puede observar que hubo similar variación, donde los tapetes superficiales planos disminuyeron su espesor un ~28%, mientras que los tapetes sumergidos aumentaron dicho parámetro un ~22%. Por otro lado, en LB-3, tanto tapetes superficiales planos como sumergidos, mostraron una disminución (~16%), en el espesor promedio, en verano 2022, comparado a invierno 2021 (**Figura N° 13-17**).

13.3.1.3 Sector vegas de Tilopozo

No se detectó la presencia de tapetes microbianos en invierno 2021 y verano 2022, 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.

13.3.2 Análisis evolución inviernos 2016 a 2021

13.3.2.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector

Los resultados de los diferentes monitoreos de invierno mostraron que en la primera campaña invierno 2016, el 75% de las estaciones de muestreo presentó tapetes microbianos, sin embargo, en las campañas siguientes (invierno 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021) el registro llegó al 68,8% de las estaciones con presencia de estas comunidades microbianas. Dicha disminución, correspondiente a una estación de muestreo, se relaciona con el Sector vegas de Tilopozo, en particular con la estación TB-2, la cual presentó tapetes microbianos en invierno 2016, no obstante, no se han vuelto a detectar en las campañas de monitoreo posteriores.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno 2021, 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

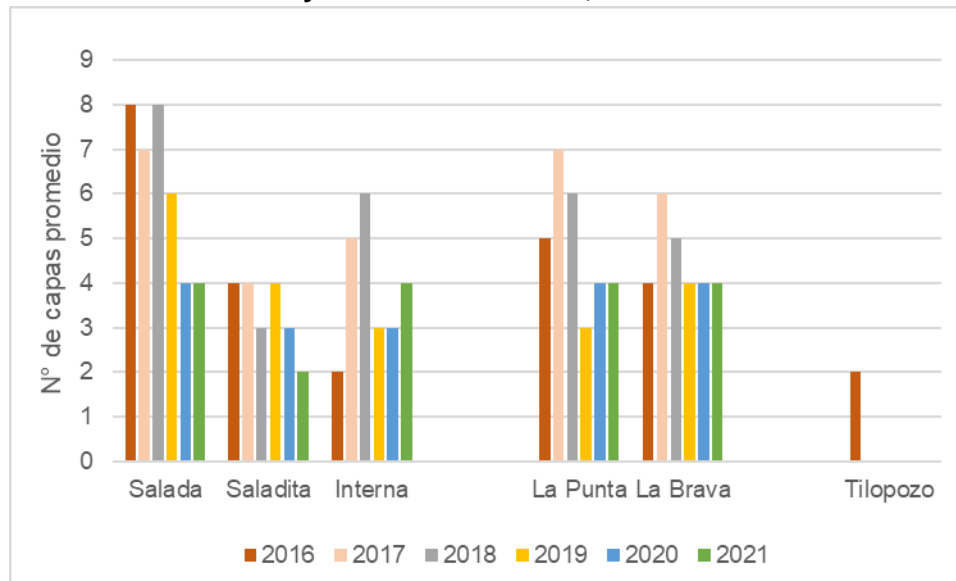
En relación con la estructura de pigmentación en las 6 campañas de monitoreo de invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021), en tapetes microbianos se observó la presencia de las tres tipologías. En la campaña invierno 2021, se registró un aumento en la proporción general de tapetes de Tipología 1, respecto a las anteriores campañas de invierno (2016, 2017, 2018, 2019 y 2020). Esto debido a la recuperación de capas en distintos tapetes evaluados, principalmente, en el sector Peine y en menor medida en el sector La Punta-La Brava. Dentro de las estaciones de monitoreo que evidenciaron dicho aumento, respecto de la última campaña invierno 2020, destacan S-6A y S-9 (Laguna Salada), S-11 (Laguna Saladita), I-11 e I-17 (Laguna Interna), LB-3 (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**), a diferencia de campañas anteriores (invierno 2016 a 2020) (**Tabla N° 13-20** y **Tabla N° 13-21**, respectivamente).

El número de capas promedio de los tapetes observados por sistema lagunar, se mantuvo constante en Laguna Salada, Laguna La Punta, Laguna La Brava, disminuyó en invierno 2021 en Laguna Saladita, mientras que aumentó en Laguna Interna, respecto de la campaña de invierno 2020 (**Figura N° 13-18**). En específico, en el sector Peine, Laguna Salada se mantuvo constante en el número de capas promedio (4) en invierno de 2021, respecto a invierno 2020, por otro lado, Laguna Saladita, disminuyó 1 capa en promedio, pasando de 3 capas (invierno 2020) a 2 capas (invierno 2021). En Laguna Interna, el número promedio de capas aumentó 1 capa en invierno de 2021, respecto de invierno de 2020, pasando de 3 a 4 capas. Así, Laguna Salada y Laguna Saladita no han mostrado aumento en el número de capas promedio, al menos, desde 2019. Por otro lado, la Laguna Saladita se había mantenido en el rango de las 3 a 4 capas promedio durante todos los inviernos (2016 a 2020), sin embargo, esta campaña bajó a 2 capas. En el Sector La Punta-La Brava, se observa que las capas promedio, a lo menos, se mantuvieron en valores constantes (4 capas promedio) respecto de invierno de 2020 y luego de haber registrado una disminución desde invierno de 2017 (**Figura N° 13-18**).

Respecto del Sector Vegas de Tilopozo, no reportó tapetes microbianos en la actual campaña y sólo se evidenció la presencia de tapetes en la campaña de invierno 2016 (**Figura N° 13-18**).

Figura N° 13-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2021.



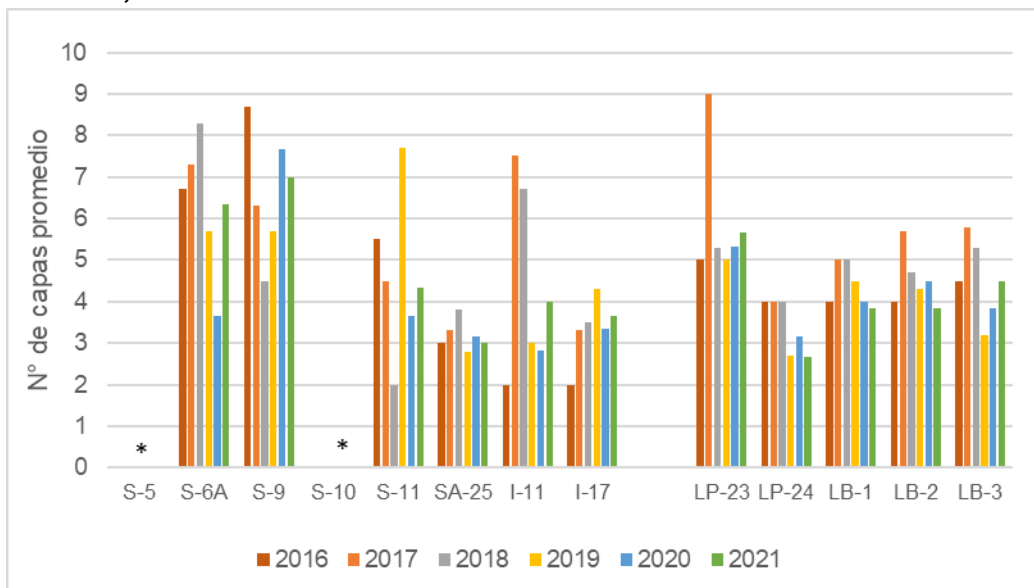
Fuente: Elaboración propia

Al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno 2021), se observa que, en Laguna Salada, la estación S-6A, después de una sostenida caída desde invierno 2018, mostró un aumento respecto de invierno 2020, pasando de 3,7 capas a 6,3, lo cual representa un valor superior a lo registrado en invierno 2019 (5,7 capas). Por el contrario, la estación S-9, mostró una leve disminución en este parámetro, luego de un sostenido aumento desde invierno 2018, pasando de 7,7 (invierno 2020) a 7,0 capas (invierno 2021). Por otro lado, en Laguna Saladita, se pudo apreciar, después de haber registrado una disminución en invierno 2018 y 2020, especialmente la estación S-11, un leve aumento en el promedio de capas, pasando de 3,7 a 4,3.

No obstante, en la estación SA-25 se registró una leve disminución del número de capas promedio, cuyo valor fue de 3,0 capas en invierno de 2021 respecto de las 3,2 capas observadas en invierno de 2020, no obstante, 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 2021). Finalmente, en Laguna Interna, se pudo observar que en la estación I-11, el número de capas promedio aumentó levemente, pasando de 2,8 capas en invierno 2020 a 4,0 capas en invierno 2021, rompiendo una tendencia a la baja que se observaba desde invierno de 2017; por otro lado, en la estación I-17, también se registró una aumento en el número de capas, la cual fue de 3,3 capas en invierno 2020 a 3,7 capas en invierno 2021, 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° 13-19).

En los tapetes microbianos de la Laguna La Punta se observaron variaciones en el número de capas, mientras que en Laguna La Brava, hubo aumento y disminución de las capas promedio, según la estación de monitoreo. Así, en la estación LP-23, se observó un leve aumento en el número de capas, la cual pasó de 5,3 (invierno 2020) a 5,7 capas (invierno 2021), lo que representaría una tendencia al alza. Respecto a la estación LP-24, se observó una leve disminución, después de que en invierno 2020 había recuperado algunas capas promedio (respecto a invierno 2019), pasando de 3,2 a 2,7 capas. En LB-1 y LB-2 se registró una disminución en el número de capas promedio, que varió de 4,0 y 4.5, respectivamente (invierno 2020) a 3,8 capas cada una (invierno 2021), lo cual denota una tendencia a la disminución, desde invierno 2018. Por el contrario, las estaciones LB-3 evidenció un aumento en el número de capas, así LB-3 pasó de 3,8 (invierno 2020) 4,5 capas (invierno 2021) (**Figura N° 13-19**). De este modo, las mayores variaciones en el número de capas, respecto de invierno 2019, se observaron en S-6A e I-11, aumentando 2,7 y 1,2 capas en promedio, respectivamente y en S-9 y LB-2, que disminuyeron 0,7 capas en promedio.

Figura N° 13-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2021.



(*) 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 seis 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 y 2021.

13.3.3 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 y 2021.

13.3.3.1 Sector Peine

La Laguna Salada, presentó durante tres campañas de invierno (2016, 2017 y 2018) tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 13-20**), sin embargo, la detección de este tipo de tapetes iba en disminución y sólo se observaban Tipología 2. No obstante, en invierno 2021, se volvió a evidenciar la recuperación de la Tipología 1 tanto en S-6A como en S-9, comparado a las anteriores campañas de invierno (invierno 2019 e invierno 2020). Por otro lado, los tapetes de Tipología 2, que habían aumentado sucesivamente entre 2017 y 2019, y mostraron una leve disminución (~14%), respecto de invierno 2019, esta vez anotaron una mayor disminución, pasando de 60,9% en invierno 2020 a 25,0% en invierno 2021. Por otro lado, los tapetes de Tipología 3, se mostraron una sutil caída (~1,1%) respecto al invierno 2020. Lo anterior, se explicaría dado lo observado en las estación de monitoreo S-6A y S-9 donde todos los tapetes de Tipología 2 (**Tabla N° 13-22**) pasaron a Tipología 1 (**Tabla N° 8-12; Tabla N° 8-13**) y en I-11 donde una gran parte de los tapetes también mostraron Tipología 1, curiosamente, después de haber mostrado Tipología 3 en invierno 2020 (**Tabla N° 8-13; Tabla N° 8-14**).

Así, el sector Peine, que registró una estabilidad en la presencia de tapetes de Tipología 1 entre los inviernos 2016 y 2018, y posteriormente una disminución con un ~70% de variación en invierno de 2019, respecto al total de tapetes de Tipología 1 observadas en invierno de 2016, y que disminuyó incluso un ~2% más en invierno 2020 (comparado a 2016), muestra una fuerte recuperación en la estructura tipológica, alcanzando valores observados en invierno 2016 (50% de prevalencia).

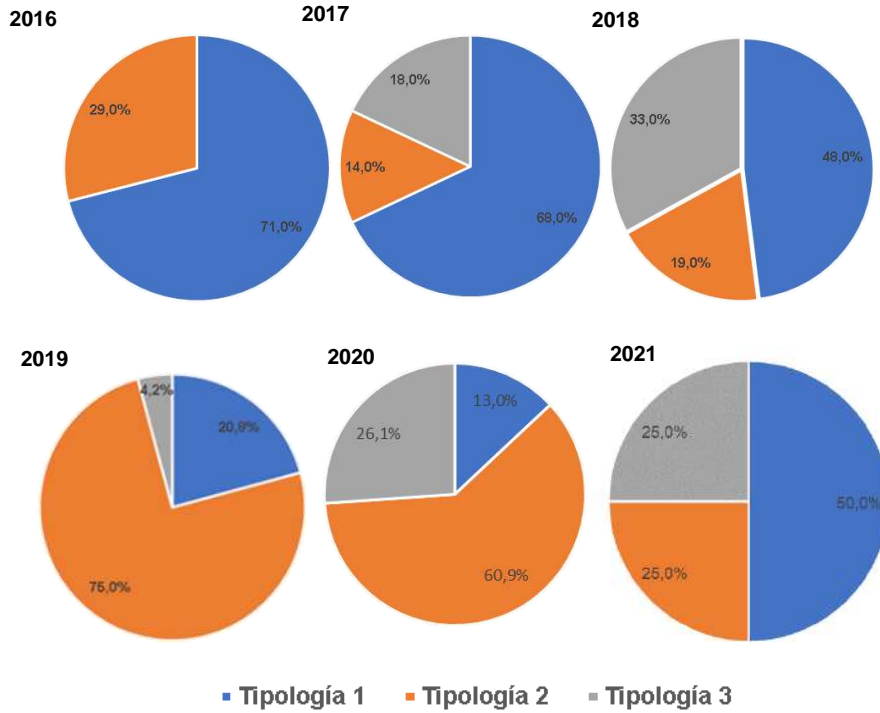
En cuanto a Tipología 2, invierno 2021 mostró una disminución respecto a invierno 2020, cayendo ~36%, sumado a la caída de ~14% que ya se había reportado en la campaña invierno 2020. Si bien, su prevalencia sigue siendo elevada, respecto a invierno 2016, se observa una disminución en el aumento progresivo que iba teniendo esta tipología desde invierno de 2017. La Tipología 3 había presentado un aumento paulatino entre invierno

2016 y 2018, lo cual cayó en invierno 2019 (4,2%), sin embargo, en invierno 2020, esta Tipología había vuelto a mostrar un aumento en su prevalencia, representando un 26,1% de los tapetes evaluados, sin embargo, en invierno 2021, se ve una detención en dicho aumento, reflejándose en un 25% de prevalencia (**Figura N° 13-20**).

En Laguna Salada, los registros históricos de tapetes microbianos (invierno 2016 a 2018) mostraron la Tipología 1 en las estaciones S-6A y S-9 (**Tabla N° 13-20**), sin embargo, en invierno de 2020, al igual que en invierno 2019, no se había evidenció esta conformación, predominando la Tipología 2, y por consiguiente mostrando 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 esta campaña, se pudo apreciar, la recuperación de la macro-zona perdida, con predominancia de las tonalidades verde y en menor medida naranja y amarillo. 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).

Figura N° 13-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra		Laguna Salada																								
		2016						2017						2018						2021						
		S-6A			S-9			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	
Subsuperficial	Rosado																									
	Blanco																									
	Gris																									
	Verde opaco																									
	Naranja																									
	Amarillo																									
	Verde																									
	Verde claro																									
	Verde oscuro																									
	Verde opaco claro																									
	Naranja claro																									
	Amarillo claro																									
	Intermedia	Blanco																								
		Rosado																								
Rosado claro																										
Purpura																										
Naranja																										
Profunda	Naranja claro																									
	Naranja																									
	Verde opaco																									
	Verde opaco claro																									
	Verde oscuro																									
	Verde opaco oscuro																									
	Verde																									
	Blanco																									
	Marrón																									
	Marrón claro																									
	Marrón oscuro																									
Marrón opaco																										

Año/Muestra	Laguna Salada																										
	2016						2017						2018						2021								
	S-6A			S-9			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			
Marrón morado																											
Marrón oscuro																											
Púrpura																											
Rosado gris																											
Gris																											
Gris claro																											
Verde amarillo																											
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 presente 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 (**Tabla N° 13-21**).

Este cambio en la proporción de tipologías en la Laguna Saladita, particularmente en la estación S-11/SA-25, podría sugerir algún cambio ambiental en la laguna, posiblemente de antes o durante la campaña invierno 2018, dado que en aquella ocasión sólo se registró una muestra de tapetes (SA-25) con Tipología 1, ocurriendo casi (S-11) o completa (SA-25) pérdida de esta tipología (**Tabla N° 13-23 (Cont.)**). Por otro lado, si bien hubo una restitución de los tapetes en invierno 2019, se observa entre invierno 2020 e invierno 2021, que hay un efecto de intermitencia en la aparición/desaparición de la Tipología 1 en S-11 y al parecer, podría estar ocurriendo igualmente en SA-25, pues no se observó dicha tipología en esta estación. El que nuevamente, y al igual que en invierno 2020, 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 la Tipología 1 desde que su restitución en invierno 2019.

Respecto a Laguna Interna, se observó un aumento en Tipología 1 (I-11), la cual no se observaba desde invierno 2018. Cabe destacar que en campañas anteriores (invierno 2017 y 2018), esta tipología se había presentado en tapetes planos superficiales 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 restituidos son tapetes coriáceos, se podría pensar que podría existir en futuras campañas, reaparición de los tapetes planos con esta tipología. Por otro lado, I-17, evidenció sólo 1 muestra de tapetes con Tipología 1, lo que no se registraba desde invierno 2018, y en cuya estación, han predominado las Tipologías 2 y 3 (**Tabla N° 13-21**). Cabe destacar que, en invierno de 2016 no se detectó la Tipología 1 en estas estaciones de monitoreo.

Tabla N° 13-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra	Laguna Saladita															Laguna Interna														
	2016			2017				2018	2019				2020			2021			2017		2018			2019	2020		2021			
	S-11			SA-25		S-11		SA-25	SA-25 C		S-11		SA-25 C		S-11 P			I-11	I-17	I-11		I-17	I-11 P	I-11 C		I-11 C		I-17 P		
	1	2	3	4	5	1	3	4	3	2	3	2	3	1	3	2	3	1	2	2	1	2	3	3	2	3	1	2	3	2
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																														

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes de Tipología 2, presentaron una disminución en invierno 2021, respecto a invierno 2020. En Laguna Salada, la presencia de esta tipología no fue registrada en la presente campaña, ya que migró completamente a Tipología 1 (S-6A y S-9), restableciéndose a valores observados en campañas anteriores (inviernos 2016, 2017 y 2018) en donde predominaba la Tipología 1, y las cuales habían perdido, principalmente, las capas de tonalidad verde y naranja de la macro-zona subsuperficial, y apareciendo tonalidades verde y/o naranja, en la macro-zona intermedia, y púrpura, en la macro-zona profunda, que no había sido registradas en 2019, lo cual podría mostrar indicios de cambio en la conformación microbiológica de estos tapetes (**Tabla N° 13-22**).

Sobre Laguna Saladita, se pudo observar poca variabilidad respecto a la presencia/ausencia de la Tipología 2 en las estaciones. Por un lado, se aprecia una disminución de esta tipología en la estación S-11, la cual migró parcialmente (66%) a Tipología 1, similar a lo que se había registrado en inviernos anteriores (2017, 2019). Este cambio en la tipología se representa en la recuperación de las tonalidades marrón en la macro-zona profunda de los tapetes. Por otro lado, en la estación SA-25, se hallaron dos representantes de tapetes coriáceos, lo cual se representa en un 33% de aumento de Tipología 2 en dichas estructuras, con respecto al monitoreo de invierno 2020. Por otro lado, se pudo apreciar que tapetes de Tipología 2, observados en invierno 2019 y que habían migrado a Tipología 1, esta vez migraron a Tipología 3, perdiendo tanto las macro-zonas Intermedia (tonalidad rosada) como Profunda (tonalidad marrón). Este fenómeno, podría sugerir la presencia de condiciones ambientales que podrían estar alterando la formación y estructura de estos tapetes microbianos, provocando que pierdan sus capas, migrando de Tipología 1 a 2, y luego a 3, e incluso, llegando a no estructurarse como tapetes microbianos (**Tabla N° 13-23 (Cont.)**).

En Laguna Interna, se observó una disminución de la prevalencia de Tipología 2 en los tapetes coriáceos de la estación de monitoreo I-11, respecto a invierno 2020, los cuales migraron a Tipología 1, sin embargo, la presencia de esta tipología en los tapetes superficiales planos (registrada en la campaña de invierno 2019) y que no se observaban ya desde invierno 2020, muestra que estos cambiaron a Tipología 3 en un 100% (las tres muestras observadas), perdiendo su macro-zona intermedia y sumando a la macro-zona subsuperficial una tonalidad rosada. Por otra parte, se observa un aumento de 33% de esta Tipología en la estación I-17, los cuales cambiaron de Tipología 3 a Tipología 1, recuperando la macro-zona Subsuperficial, particularmente, la tonalidad verde y naranja e incluso, con una muestra recuperó también la macro-zona Profunda. Cabe mencionar, que la estación I-17, clásicamente ha reportado la Tipología 2 en las anteriores campañas de invierno, en al menos, un 66% (100% en invierno 2019) (**Tabla N° 13-23 (Cont.)**).

Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		Salada*														
		2018		2019						2020						
		S-9		S-6A			S-9			S-6A			S-9			
		2	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■													
		Verde	■													
		Verde claro														
		Verde amarillo														
		Verde oscuro														
		Naranja claro														
		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° 13-23 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2021

Año/Muestra		Saladita												Interna															
		2016	2017	2018	2019			2020			2021			2017	2018	2019			2020			2021							
		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	I-17	I-17	I-11 C	I-11 P	I-17	I-11 C	I-17	I-17 P								
		3	2	3	3	1	1 2 3	1 2 3	2	1	1	2	3	1	3	2	1 3	1 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 3							
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																											
		Verde																											
		Verde claro																											
		Verde amarillo																											
		Verde oscuro																											
		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																													

Año/Muestra	Saladita															Interna																
	2016	2017	2018	2019						2020					2021				2017	2018	2019						2020			2021		
	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	I-17	I-17	I-11 C	I-11 P			I-17	I-11 C	I-17	I-17 P								
	3	2	3	3	1	1	2	3	1	2	3	2	1	1	2	3	1	1	3	1	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	
Verde																																
Rosado																																
Negro																																

*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 3, se observó una disminución en la prevalencia de esta, principalmente, debido a la migración de los tapetes de I-17 a Tipología 2 y 1, quedando sin cambios, los tapetes de la estación I-11 (100%), respecto a invierno 2020, donde los tapetes superficiales planos, manifestaron en un 100% esta tipología. (**Tabla N° 13-24**).

Tabla N° 13-24. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra		Saladita											Interna																						
		2016		2017				2018			2020		2021			2016				2018		2019		2020			2021								
		SA-25		SA-25				SA-25			S-11		SA-25 P	SA-25 C		SA-25 P			I-11		I-17		I-17		I-11 C		I-11 P			I-17		I-11 P			
		1	2	1	2	3	6	1	2	4	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3			
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																																	
		Blanco																																	
		Rosado claro																																	
		Naranja	1	2																															
		Amarillo																																	
		Verde	1	2	3	6																													
		Verde claro																																	
		Naranja claro		1																															
		Marrón claro																																	
		Amarillo claro																																	
		Intermedia	Blanco																																
	Amarillo																																		
	Naranja																																		
	Verde																																		
	Verde claro																																		
	Púrpura																																		

*Tipología 3 no fue reportada en invierno 2017 en Laguna Interna

Fuente: Elaboración propia

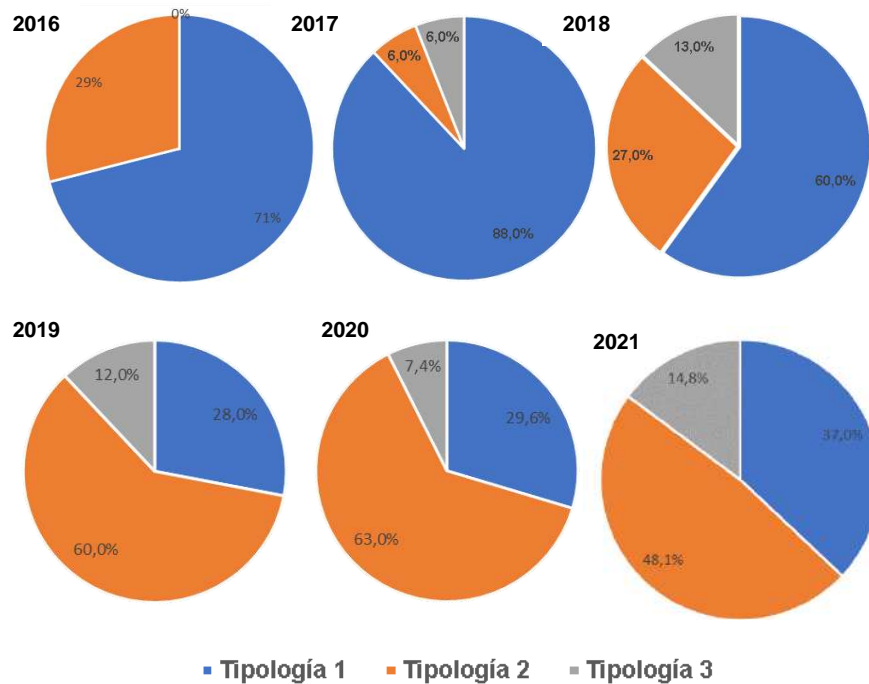
13.3.3.2 Sector La Punta-La Brava

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 2020, se puede observar que en invierno 2021 hubo un aumento de 7,4% en la prevalencia de tapetes de Tipología 1, un aumento que no se reportaba desde invierno 2017. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron (~14%) en comparación a invierno 2020. Sin embargo, se observó un aumento (~7,4%) en la prevalencia de Tipología 3, viéndose un efecto contrario a lo que se observaba desde invierno 2018, cuando se notaba una disminución en la prevalencia de esta tipología.

El Sector (La Punta-La Brava) no presentó diferencias sustantivas en la prevalencia de Tipología 1, si hubo diferencias a nivel específico entre las lagunas. En el caso de la Laguna La Punta, hubo un aumento del 33% de las muestras de tapetes, respecto a invierno 2020, tendiendo a una restitución similar a los niveles observados en invierno 2019. También se observa una disminución en los tapetes de Tipología 2 de esta laguna, los cuales migraron a Tipología 3 (LP-24) en invierno 2021, comparado a invierno 2020 (**Tabla N° 13-25**). Por otro lado, en los tapetes de la Laguna La Brava que presentaron Tipología 1, se mantuvieron relativamente estables en LB-1 y LB-2, sin embargo, tendieron a aumentar en LB-3, especialmente los tapetes coriáceos, llegando al 100% de las muestras. Similar situación, ocurre con la Tipología 2, donde los tapetes que presentaron esta conformación en la Laguna La Brava se mantienen relativamente constante. Respecto a la Tipología 3, Laguna La Brava disminuyó los tapetes de esta tipología, registrándose sólo 1 muestra, lo que representa una disminución de un 33% (para esta laguna) de la prevalencia de estas tipologías las cuales pasaron a poseer Tipología 2 (**Tabla N° 8-25; Tabla N° 13-26**).

De este modo, en el Sector La Punta-La Brava, se observa un leve aumento de la Tipología 1 en invierno 2021, en comparación a los valores obtenidos en los anteriores inviernos, 2019 y 2020, con un 9 y 7,6%, respectivamente. Esto, representa una recuperación, en variación porcentual, de un 10,4% de la prevalencia de Tipología 1 en invierno 2021 respecto a invierno 2016, comparado a lo observado en invierno 2020 en relación a 2016. De manera contraria, la Tipología 2, disminuyó en invierno de 2021, de este modo, se puede observar que la prevalencia de esta tipología ha disminuido 15%, respecto de invierno 2020. Finalmente, hay que destacar que la Tipología 3, si bien, mostraba un aumento sostenido en su prevalencia entre invierno 2016 y 2019, y con una fuerte disminución (4,6%) en invierno 2020, se puede apreciar un aumento (de 7,4%) en esta tipología, en la campaña de invierno 2021 (**Figura N° 13-21**).

Figura N° 13-21. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 aumentaron levemente, siendo detectados sólo en la estación de monitoreo LP-23 (66%) lo cual concuerda con lo observado en campañas de invierno anteriores (2016 a 2019). Se registró, además, la ausencia de esta tipología en la estación LP-24, la cual, en todas las campañas anteriores (invierno 2016 a 2019), había exhibido esta conformación tipológica. Los tapetes de esta estación perdieron la macro-zona intermedia (tonalidad rosado y púrpura) y cambiaron en un 100% (los tres tapetes muestreados, correspondientes a LP-24) a Tipología 2 y 3 (**Tabla N° 13-25**).

Tabla N° 13-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra		La Punta																		
		2016			2017				2018				2019		2020	2021				
		LP-23		LP-24	LP-23		LP-24		LP-23		LP-24	LP-23		LP-24 P	LP-24 P	LP-23				
		2	3	1	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	1	2	2	3		
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																		
		Verde																		
		Verde claro																		
		Verde oscuro																		
		Verde opaco claro																		
		Amarillo																		
		Amarillo claro																		
		Amarillo oscuro																		
	Intermedia	Blanco																		
		Rosado																		
		Rosado claro																		
		Verde opaco claro																		
		Naranja																		
		Café claro																		
		Purpura																		
	Profunda	Verde opaco																		
		Verde oscuro																		
		Verde opaco oscuro																		
		Verde																		
		Gris																		
		Blanco																		
		Marrón																		
		Marrón claro																		
		Marrón verde																		
		Marrón morado																		
		Marrón oscuro																		
		Marrón púrpura																		
		Rosado																		
Verde claro																				
Amarillo claro																				

Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Brava, se observa una estabilización en la prevalencia de tapetes de Tipología 1 en LB-1 y LB-2, donde casi no hubo cambios. No obstante, se registró un aumento en la prevalencia de Tipología 1 en LB-3, aumentando en casi 3 veces la presencia de tapetes con esta conformación tipológica. De esta manera, se puede observar una restitución o al menos un estancamiento en la pérdida de capas que llevasen a la configuración de 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 caracteriza por exhibir tapetes con Tipología 1, siendo hallados en todas las campañas de invierno anteriores (2016 a 2020) (**Tabla N° 13-26**). Este fenómeno, visto desde invierno 2020, podría estar indicando un evento de recuperación y/o estabilización de la Tipología 1 y por consiguiente, de las capas de microorganismos perdidas en 2019, por lo que es de relevancia, mantener este sitio bajo seguimiento. lo cual reflejaría estabilidad en los tapetes de esta estación (**Tabla N° 13-27 (Cont.)**).

Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra		La Brava																						
		2016			2017			2018			2019			2020			2021							
		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	
		2	3	1	2	3	1	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	2	2	3	1	2	1	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° 13-27 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra		La Brava																									
		2016					2017					2018		2019		2020		2021									
		LB-3					LB-3					LB-3		LB-3		LB-3 P		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				
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																									
		Verde opaco																									
		Naranja																									
		Verde																									
		Verde claro																									
		Verde oscuro																									
		Marrón claro																									
		Amarillo																									
		Amarillo claro																									
	Intermedia	Blanco																									
		Rosado																									
		Purpura																									
		Blanco																									
	Profunda	Verde opaco claro																									
		Verde opaco oscuro																									
		Marrón																									
		Marrón claro																									
		Marrón morado																									
		Marrón oscuro																									
		Púrpura																									
		Rosado gris																									
		Verde																									
		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 (100%). 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 2020, para los tapetes coriáceos, pero los tapetes superficiales planos, migraron en un 100% a Tipología 3. 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° 13-28**).

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 2020, con aumento y disminución en la conformación de algunos tapetes. No obstante, y al igual que en invierno 2020, se ha observado cierta dinámica en esta Laguna, dado que en LB-1, se apreciaba un aumento de tapetes superficiales planos con Tipología 2 (33%), 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). Igualmente, ocurrió este efecto con LB-3, donde los tapetes coriáceos disminuyeron un 33%, mientras que los tapetes planos superficiales se mantuvieron constante (33%) respecto a invierno 2020. 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° 13-29 (Cont.)**).

Tabla N° 13-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra			La Punta																			
			2016	2018	2019					2020					2021							
			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		
			1	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	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° 13-29 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2021.

Año/Muestra		La Brava																														
		2016		2017	2018		2019						2020						2021													
		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								
		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	3	2
Subsuperficial	Blanco																															
	Naranja																															
	Amarillo																															
	Verde																															
	Verde claro																															
	Verde oscuro																															
	Rosado																															
	Púrpura																															
	Intermedia	Blanco																														
		Rosado																														
Rosado claro																																
Purpura																																
Blanco																																
Rojo																																
Profunda	Verde																															
	Verde claro																															
	Amarillo claro																															
	Rosado																															
	Púrpura																															
	Marrón																															
	Marrón claro																															
	Gris																															
	Negro																															

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, Laguna La Punta exhibió en un 100% los tapetes superficiales planos de la estación LP-24 que fueron muestreados. No obstante, LP-24 se caracteriza por presentar esta tipología.

Por otra parte, en Laguna La Brava, una muestra de tapetes coriáceos de la estación LB-3 exhibió la Tipología 3, disminuyendo en una muestra la prevalencia de esta estructura en esta estación, respecto a invierno 2020. Otra muestra de tapetes, de la estación LB-1 había exhibido en invierno 2018 y 2019 esta tipología, sin embargo, no se observó su presencia ni en esta ni en la anterior campaña (**Tabla N° 13-30**). En ese sentido, se podrá atención en los próximos monitoreos en la posible recuperación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1.

Tabla N° 13-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		La Punta					La Brava						
		2017	2018	2019	2021		2018	2019		2020		2021	
		LP-24	LP-24	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	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 y 2017 en Laguna La Brava.

Fuente: Elaboración propia

13.3.3.3 Sector Tilopozo

Este sector solo presentó tapetes microbianos en la campaña de invierno 2016 (Tabla N° 13-31). Se ha observado, que el sector presenta cambios temporales respecto a la disponibilidad de agua. Entre la campaña invierno 2019 e invierno 2021, la estación TB-2, presentó ausencia de agua superficial respecto a campañas de monitoreo anteriores.

Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2021. (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	S/C					
		Amarillo claro						
Marrón								

Fuente: Elaboración propia
 (s/c: sin capas)

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 2020), 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 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 2, se puede indicar que las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad, junto al oxígeno disuelto y la turbiedad en estos sistemas, producto de una mayor intensidad en las precipitaciones en el Salar de Atacama (BOLETIN CIIFEN 2019) y que son función de la época del año y del sector (Demergasso *et al.* 2008), ha provocado el anegamiento de las lagunas provocando variación en las salinidades. Las fluctuaciones derivadas de las variaciones precipitación- evaporación naturales del Salar de Atacama (Risacher *et al.*, 1999), en el salar (2018, 2019 y 2020), y el anegamiento de sectores con altas salinidades en algunas estaciones (ej. Laguna Interna, estación I-17), podrían estar afectando en su conjunto la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

13.3.4 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 (**Tabla N° 13-32**) en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector Peine, en la estación I-11 (2016) y en el Sector La Punta - La Brava, en las estaciones LB-1, LP-23 y LP-24 (sólo 2016). Respecto a las evaporitas, en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar, se sugiere presencia de evaporitas en el Sector Peine en Laguna Interna (I-11) y Laguna La Punta (LP-

24) desde la campaña invierno 2017. Para la campaña invierno 2020, solo se sugiere la presencia de evaporitas en Laguna La Punta (LP-24), ya que producto del aumento de la columna de agua en Laguna Interna no se pudo observar presencia de evaporitas en la 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° 13-32. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.

Estación de Monitoreo	Registro visual											
	Microbialito						Evaporita					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(+) Presencia, (-) No detección

13.3.5 Análisis evolución veranos 2017 a 2022

13.3.5.1 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 actual 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 relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña verano 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 5 campañas de monitoreo de verano (2017, 2018, 2019, 2021 y 2022), 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.

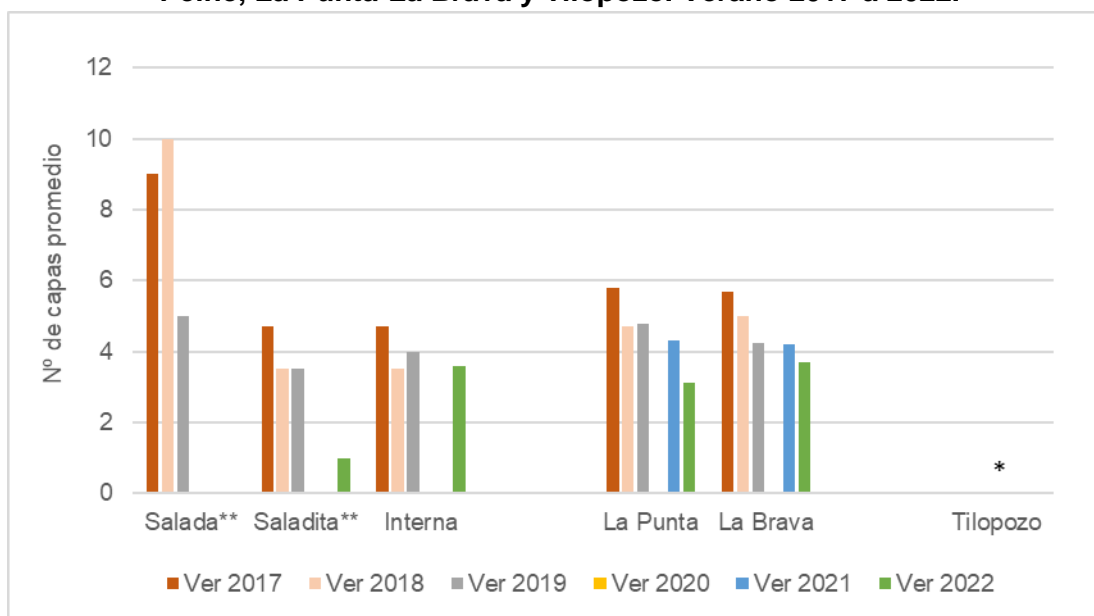
En la campaña verano 2022, a pesar de mostrar un aumento en cuanto a tapetes de Tipología 1, respecto a verano 2019 (sector Peine) y verano 2021 (sector La Punta-La Brava), estos valores siguen estando por debajo de lo visto en campañas anteriores (2017, 2018 y/o 2019). Esto debido a la pérdida de capas en distintos tapetes evaluados en el sector La Punta-La Brava.

Dentro de las estaciones de monitoreo que más cambiaron, respecto de la última campaña verano 2019 para el Sector Peine, destacan I-11 e I-17 (Laguna Interna), en los cuales se detectaron principalmente tapetes de Tipología 2 y en algunos casos, tapetes de Tipología 3; respecto a verano 2021 para el sector La Punta-La Brava, fueron LP-23 (Laguna La Punta) y LB-1 y LB-3 (Laguna La Brava), donde se detectaron una mayor prevalencia de tapetes de Tipología 1. 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).

En el sector Peine, se observa que las capas promedio, calculado como la media de capas que presentaron las muestras en cada laguna, disminuyeron (en algunos casos leve y en otros, más acentuada) respecto a las campañas de verano anteriores, así en la laguna Saladita, se observa una disminución, pasando de 4,7 capas (verano 2017) y 3,6 capas (verano 2018 y 2019) a 1,0 capa promedio en verano 2022, no obstante, cabe resaltar que en la actual campaña para esta laguna no se considera los datos de la estación SA-25 la cual no pudo ser muestreada por restricciones de la comunidad de Peine. Por otro lado, en laguna Interna se observó una menor variación, dado que registró un valor promedio de 3,6 capas similar a rangos vistos en campañas de verano anteriores (3,6 - 4,7 capas) con la totalidad de las estaciones muestreadas (**Figura N° 13-22**).

Respecto al sector La Punta-La Brava, entre la campaña verano 2017 y verano 2022 se observa que las capas promedio, registraron una leve disminución, que varió desde 5,8 a 3,1 capas en laguna La Punta y de 5,7 a 3,7 capas en laguna La Brava, manteniendo la tendencia a la disminución en esta laguna (**Figura N° 13-22**). Específicamente, en laguna La Punta, entre verano 2017 y verano 2018, se observaron 5,8 y 4,7 capas promedio, respectivamente, anotando una diferencia de 1,1 capas, posteriormente, las capas se mantuvieron similares, mientras que en verano 2019, se observaron 4,8 capas promedio, lo que significó una variación total de 0,1 capas. Por otro lado, en 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. 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° 13-22**).

Figura N° 13-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2022.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en el sector.

Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19

(**) En la campaña verano 2022, las estaciones S-6A, S-9 y S-25, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine.

Fuente: Elaboración propia

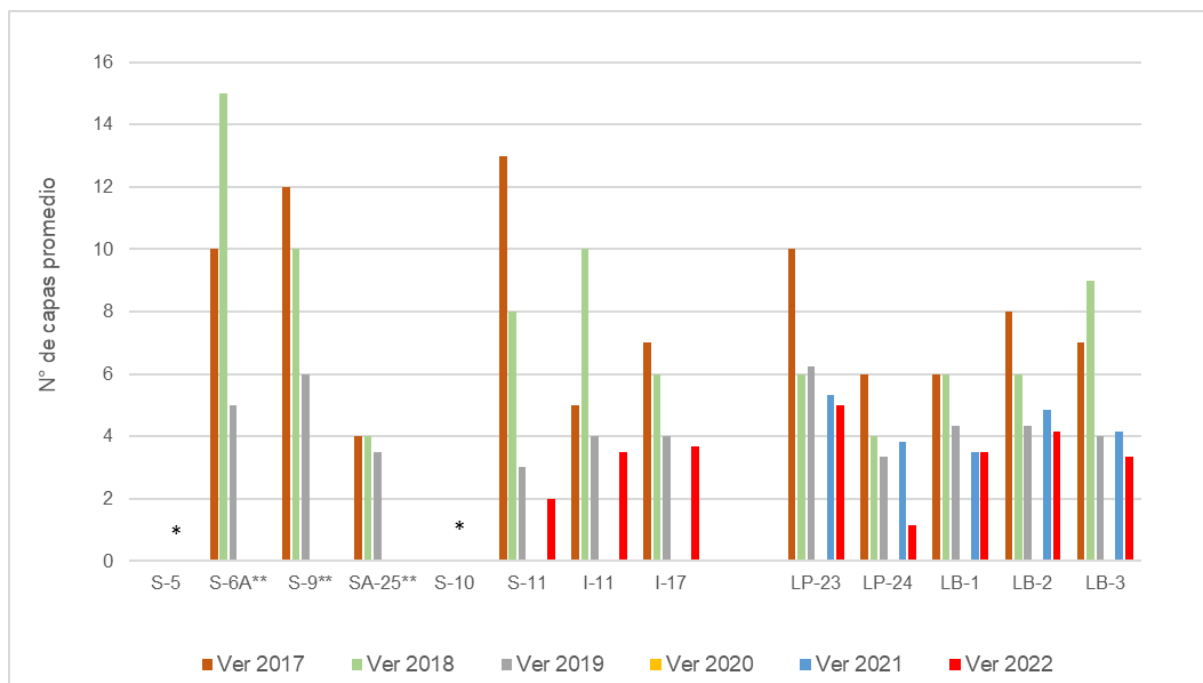
Al analizar el número de capas por estación de monitoreo, **Figura N° 13-23**, se observa en laguna Saladita, considerando solo S-11, una disminución pasando de 3 capas en 2019 a 2 capas 2022. Por otro lado, en laguna Interna, tanto I-11 como I-17, mantuvieron un número de capas constante, respecto a verano 2019. En ambas estaciones de muestreo se ven disminuidas las capas respecto a los veranos anteriores (2017 y 2018).

En laguna La Punta, la estación LP-23 se mantuvo estable respecto a verano 2021, entre 5 y 6 capas promedio, sin embargo, en la estación LP-24 se observa una caída en el número de capas promedio desde 4,0 capas en verano 2021 a 1,0 capa en verano 2022, es decir, cerca de un 75% de reducción. Si bien en verano 2017 se anotaron el mayor número de capas promedios de esta laguna, 10 y 6 capas para LP-23 y LP-24, respectivamente, la disminución se 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 interés en la evolución de los tapetes de esta laguna.

En laguna La Brava, el número de capas se mantuvo 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 una leve disminución de este parámetro, el cual varió en

1,0 capa promedio (**Figura N° 13-23**). De este modo, las mayores variaciones en el número de capas, entre periodos de verano, fue observado en LP-24.

Figura N° 13-23. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2022.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en el sector.

Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19 y Campaña 2021 (Sector Peine) debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

(**) En la campaña verano 2022, las estaciones S-6A, S-9 y S-25, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine.)

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las cinco campañas de verano 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 verano de 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022.

13.3.6 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 y 2022.

13.3.6.1 Sector Peine

Respecto al Sector Peine, cabe destacar que no se llevó a cabo la campaña de monitoreo verano 2020 debido a la Pandemia COVID-19, así como la de verano 2021 debido a la restricción de la comunidad de Peine para acceder al sector. En la campaña verano 2022, debido a las restricciones impuestas por la comunidad de Peine, se obtuvo acceso a la laguna Salada en una estación (S-5), a laguna Saladita (estaciones S-10 y S-11) e Interna (estaciones I-11 e I-17), por lo que los análisis que se presentan para las lagunas Salada (S-6A y S-9) y Saladita (estación SA-25), son los mismos que hasta los reportados en informe semestral de verano 2019.

En la actual campaña verano 2022, se observaron tapetes tanto en Laguna Saladita (estación S-11) como en laguna Interna (estaciones I-11 e I-17). Respecto a las estaciones que no fueron muestreadas (S-6A, S-9 y SA-25), es necesario resaltar que en los anteriores veranos (ver informes semestrales verano 2017 a 2019) se halló la presencia de tapetes microbianos en todas las lagunas del Sector Peine (Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna).

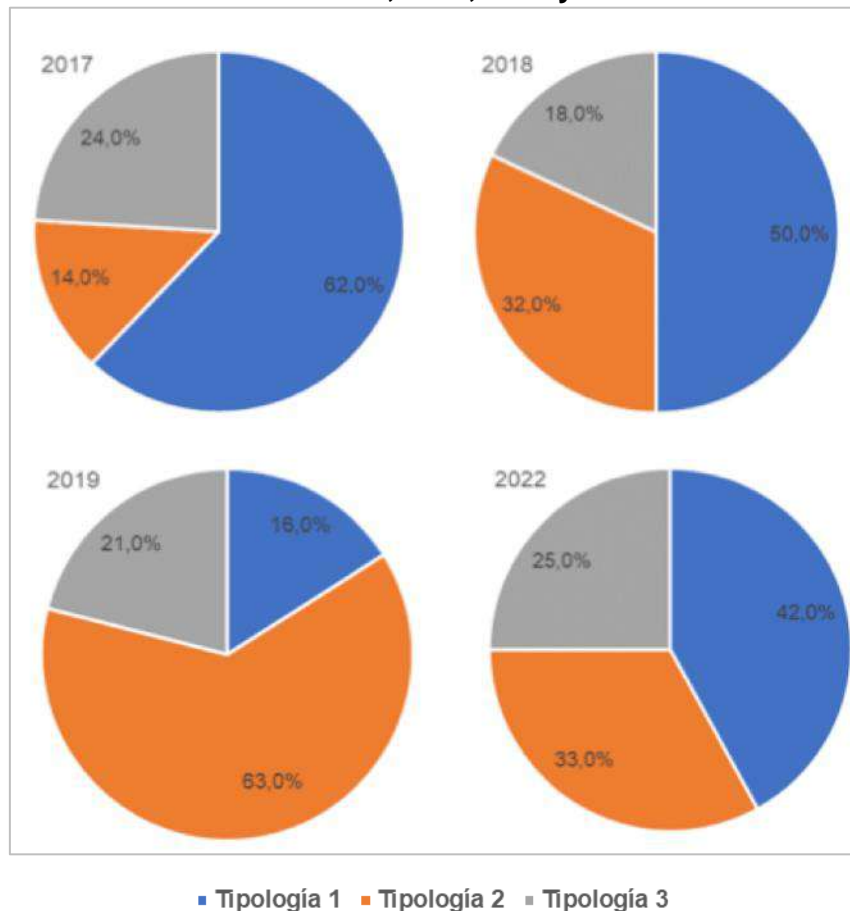
En este sector, se observó que los tapetes de Tipología 1, luego de haber ido disminuyendo de manera sucesiva (entre 2017 y 2019), en verano 2022 se observa un aumento (~26%) respecto a verano 2019 (último período muestreado), mientras que la Tipología 2, que iba en aumento hasta verano 2019, retrocedió a valores similares a los de verano 2018, con 33%. Cabe destacar que la Tipología 3 ha sufrido variaciones (aumento o disminución) a lo largo de los veranos muestreados, aunque en la presente campaña, registró valores similares a verano 2017, mostrando un 25% de prevalencia, lo que se traduce en un aumento de 3% respecto a la campaña verano 2019 (**Figura N° 13-24**).

Cabe señalar, que para esta campaña sólo se consideran la Laguna Saladita (estación S-11) y Laguna Interna (estaciones I-11 e I-17). En ese contexto, a nivel de lagunas, la Laguna Saladita (estación S-11) mostró un aumento de 100% en la Tipología 2, comparada a periodos anteriores, dicho aumento mostró tener una tendencia progresiva entre verano 2017 y verano 2019, variando desde 11 a 43% de prevalencia. Por el contrario, Laguna Interna exhibió un aumento de la Tipología 1 (56% de prevalencia) y de la Tipología 3 (33% de prevalencia),

mientras que la Tipología 2 se redujo a un 11% de prevalencia, comparado con veranos anteriores, donde la Tipología mostró un rango entre 20 y 57%, mientras que la Tipología 2 mantuvo rangos estrechos de variación, entre 43 y 60%, al igual que la Tipología 3 que variaba entre 0 y 20% de prevalencia.

De este modo, en el Sector Peine, la disminución de tapetes Tipología 1 observada en verano 2019, en comparación a los valores obtenidos en los anteriores veranos (2017 y 2018), se atenúa con un aumento, en la campaña verano 2022. Sin embargo, se mantiene una variación de un 20% en la prevalencia de Tipología 1 en verano 2022 respecto a verano 2017. Asimismo, en verano 2022, la Tipología 2, aumentó su prevalencia respecto a verano 2017, con una variación de 19% (Figura N° 13-24).

Figura N° 13-24. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine. Verano 2017, 2018, 2019 y 2022.



Fuente: Elaboración propia

En general, la laguna Salada, presentó durante las campañas de verano 2017 y 2018, tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 13-33**), en las cuales predominaron, las capas de tonalidad verde y naranja en la macro-zona subsuperficial, mientras que en la macro-zona intermedia predominaron las capas rosada y púrpura. Por otro lado, en la macro-zona profunda predominó la tonalidad marrón. Cabe destacar, que en verano de 2019 sólo una muestra presentó esta tipología (estación S-9). Para mayor detalle, ver informe semestral verano 2017 a 2019.

Tabla N° 13-33. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, estaciones S-6A y S-9. Campaña verano, 2017 a 2019.

Año/Muestra			Salada*												
			2017						2018					2019	
			S-6A			S-9			S-6A		S-9			S-9	
			1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	2	
Macrozona	Subsuperficial	Naranja													
		Verde													
	Intermedia	Rosado													
		Púrpura													
	Profunda	Marrón													
		Marrón oscuro													

*Para mayor detalle, ver Informe campaña verano 2019.

En cuanto a Laguna Saladita, en las campañas de verano 2017, 2018, 2019, los tapetes localizados en el borde lagunar, de Tipología 1, presentaron una macrozona subsuperficial predominantemente de tonalidad verde, mientras que la macro-zona intermedia fue de tonalidad rosado/púrpura, y de tonalidad marrón en la macro-zona profunda (**Tabla N° 13-34**). Se destaca, que en verano 2019, sólo se observó esta tipología en estación SA-25. Cabe señalar que, la Tipología 1 no fue reportada en verano 2022.

Tabla N° 13-34. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita, estaciones SA-25 y S-11. Campaña verano, 2017 a 2022.**

Año/Muestra			Saladita*						
			2017				2018		2019
			SA-25	S-11			SA-25		SA-25
			5	1	2	3	4	4	5
Macrozona	Subsuperficial	Verde							
	Intermedia	Rosado							
		Púrpura							
	Profunda	Marrón							
		Marrón oscuro							

*Para mayor detalle, ver Informe campaña verano 2019.

**** No se detectaron tapetes de Tipología 1 en Verano 2022.**

Similar efecto se observó en los Tapetes de Tipología 1 de Laguna Interna, donde predominaron las mismas tonalidades respecto a cada macro-zona (subsuperficial, intermedia, profunda) que en las Lagunas Salada y Saladita (en las, no obstante, también se observó una predominancia de la tonalidad naranja en la macro-zona subsuperficial (**Tabla N° 13-35**). Sumado a ello, en verano 2019, se observó una disminución de esta Tipología en la estación I-11, respecto a verano 2018.

Por otro lado, en verano 2022 se observó un aumento de esta Tipología, particularmente en I-17, la cual sólo se había reportado en verano 2018, por otro lado, la estación I-11 se caracteriza por exhibir las tres macro-zonas. Cabe destacar, que se observa un recambio en las tonalidades observadas en la macro-zona intermedia, ya que el púrpura deja de registrarse para dar lugar a tonalidades rosadas y en menor medida, blanca, no obstante, ambas tonalidades son características de dicha macro-zona.

Tabla N° 13-35. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Interna, estaciones I-11 e I-17. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra			Interna																		
			2017		2018			2019	2022												
			I-11		I-11		I-17	I-11	I-11 P	I-11 C		I-17 P									
			2	3	1	2	3	3	3	1	1	2	2	3							
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																			
		Verde																			
		Amarillo																			
	Intermedia	Rosado																			
		Púrpura																			
		Blanco																			
	Profunda	Marrón																			
		Marrón oscuro																			
		Negro																			

Fuente: Elaboración propia

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Respecto a Tipología 2, esta conformación fue observada en laguna Saladita y laguna Interna, observándose principalmente dos macro-zonas: Subsuperficial con tonalidades naranja y verde e Intermedia con tonalidades predominantemente rosadas. En verano 2019 se observó que S-11 presentó esta conformación al igual que en verano 2018, sin embargo se detectó también en una muestra de tapetes en la estación SA-25. En verano 2022, se observaron las tres muestras de la estación S-11 (única representante de Laguna Saladita en campaña verano 2022) con esta Tipología, si bien esta estación se caracteriza por presentar dicha conformación tipológica, se observa una pérdida de la tonalidad naranja en todas sus muestras, aunque manteniendo las tonalidades verdes (macro-zona subsuperficial) y rosada (macro-zona intermedia).

Por otro lado, en laguna Interna, si bien se observaba una tendencia en la estación I-17 a exhibir esta Tipología, la cual ha presentado en todos los veranos esta conformación en verano 2022 no fue registrada; también cabe destacar que en verano 2019, una muestra, correspondiente a la estación I-11 también presentó, por primera vez, esta tipología, lo cual se volvió a repetir en verano 2022, con una muestra, aunque no hubo variaciones en las tonalidades registradas (Tabla N° 13-36).

Tabla N° 13-36. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra			Saladita*									Interna*																	
			2018			2019			2022			2017			2018			2019			2022								
			S-11			SA-25			S-11			S-11 C			I-17			I-17			I-11			I-17			I-11 C		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3		
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■	■		■	■								■	■		■	■		■	■		■	■		■	■	
		Verde		■		■	■		■	■		■	■		■	■		■	■		■	■		■	■		■	■	
	Intermedia	Rosado	■	■					■	■		■	■		■	■		■	■		■	■		■	■		■	■	

Fuente: Elaboración propia
 -C: Tapete coriáceo

Respecto a Tipología 3, en Laguna Saladita (verano 2017 a verano 2019) se observó el mismo patrón de esta conformación, presente a lo largo de los veranos en SA-25. Por otro lado, en Laguna Interna, la estación I-11 se ha caracterizado por presentar esta estructura tipológica, la cual también fue detectada en la presente campaña verano 2022; por otro lado, por primera vez, también se registra en verano 2022, la presencia de una muestra de tapetes de la estación I-17. En esta tipología, se registró la macrozona subsuperficial con tonalidades predominantemente rosado, naranja y verde (Tabla N° 13-37).

Tabla N° 13-37. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra			Saladita*									Interna*								
			2017			2018			2019			2017		2019		2022				
			SA-25			SA-25			SA-25			I-11		I-11		I-11 P		I-17 P		
			1	2	3	4	1	2	3	6	1	2	3	1	2	2	3	1		
Macrozona	Subsuperficial	Rosado	■	■								■	■							
		Naranja	■			■	■								■	■		■	■	
		Verde	■			■	■		■	■		■	■		■	■		■	■	
		Amarillo																		■

Fuente: Elaboración propia
 -P: Tapete plano

Cabe destacar, que dado lo descrito en verano 2019, podría haber cambiado, ya que la evolución que pudieron haber presentado los tapetes microbianos en los veranos siguientes (2020 y 2021), no fue estudiado si no hasta verano 2022. Por ello, es recomendable, el seguimiento de estos sitios y poder evaluar su evolución en relación con la campaña de verano 2019. Como se discutió anteriormente, se ha observado que la Tipología 1 estaba disminuyendo hasta verano 2022, mientras aumentaban los tapetes de Tipología 2. Ante estas variaciones, podría ser necesario evaluar el estado de dichos tapetes microbianos.

13.3.6.2 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 y 2021. Por otro lado, la Tipología 3 fue observada en todas las campañas, excepto en verano 2017. Durante verano 2022, hubo un aumento de 17% en la Tipología 1, respecto de verano 2021. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron (~10%) en comparación a verano 2021. Sumado a lo anterior, se observó que la Tipología 3, también disminuyó (7%) respecto a verano 2021. Cabe destacar que en verano 2020 no hubo muestreo debido a la actual pandemia COVID-19.

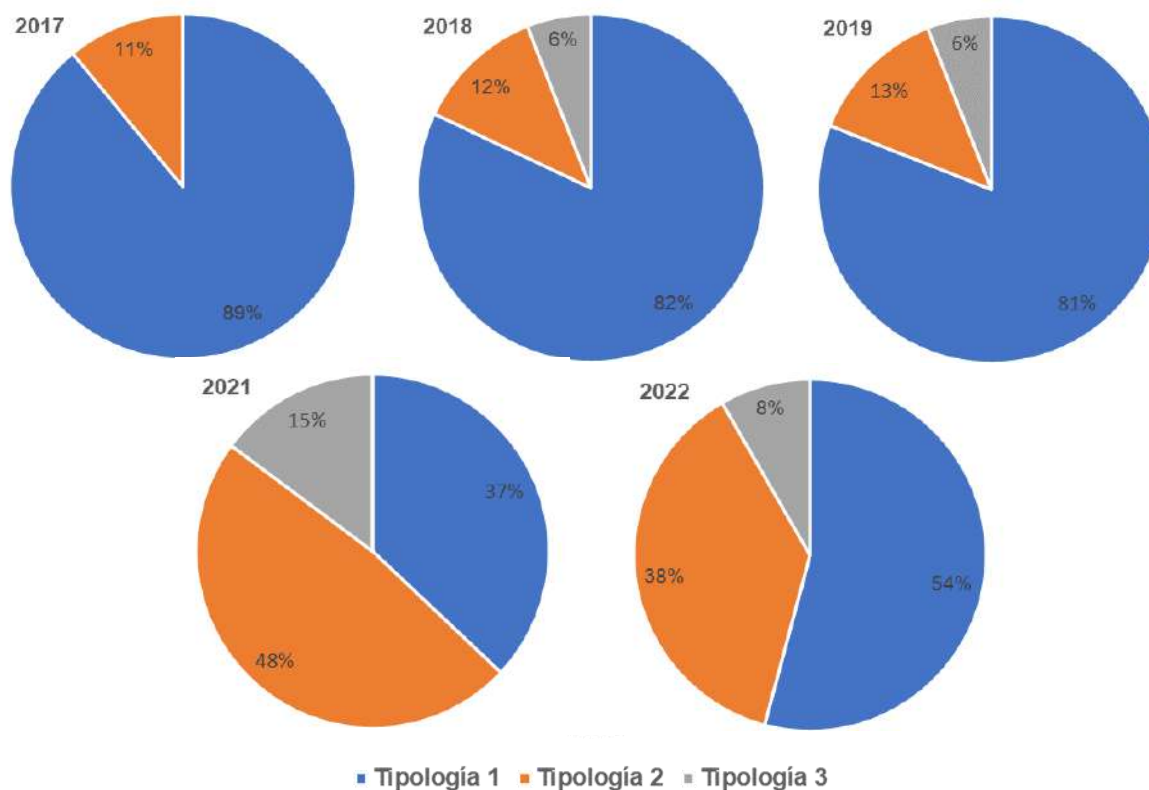
A nivel de lagunas, la Laguna La Punta, presentó un aumento de un 39% en los tapetes que exhibieron la Tipología 1, respecto a verano 2021, donde se había reportado la menor prevalencia (11%) de esta conformación tipológica en esta laguna; asimismo, la Tipología 2 disminuyó un 39% entre verano 2021 y verano 2022, mientras que la Tipología 3, que se reportó por primera vez en verano 2021, mantuvo su prevalencia en la presente campaña con un 33%.

Por otro lado, en la Laguna La Brava, tanto la Tipología 1 como la 2 se mantuvieron en valores similares a verano 2021 (56 y 44%, respectivamente). Si bien se ha observado o un mantenimiento o un aumento en la prevalencia de la Tipología 1, estos valores aún se mantienen por debajo de los valores registrados en veranos anteriores (2017 a 2019), donde dicha Tipología se mantenía en rangos entre 67 y 91%. Las variaciones en las Tipologías 1, 2 y 3, se deberían principalmente al aumento de Tipología 1 en la estación LB-1 (**Tabla N° 13-40**), las cuales eran de Tipología 2 (**Tabla N° 8-48**), 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° 13-40**).

De este modo, en el Sector La Punta-La Brava, la leve disminución de tapetes tipología 1 observada en verano 2019, en comparación a los valores obtenidos en los anteriores veranos (2017 y 2018) y que se vio fuertemente marcada en verano 2021, se atenúa con un leve aumento, en la campaña verano 2022. Esto, representa un aumento cercano a un 35% en la prevalencia de Tipología 1 en verano 2022 respecto a verano 2017 y un 17% respecto a verano 2021. La Tipología 2, disminuyó su prevalencia respecto a 2019, aunque se mantiene aumentada un 27% 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 cayó más de un 50% respecto a la última campaña (**Figura N° 13-25**).

Figura N° 13-25. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, Verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 aumentaron, registrándose la presencia de esta tipología en todas las muestras de la estación LP-23 en la actual campaña verano 2022, lo cual se condice con lo observado en todas las campañas anteriores (verano 2017 a 2019), en que se había exhibido esta conformación tipológica, excepto verano 2021. Los tapetes de esta estación recuperaron la macro-zona intermedia (tonalidad púrpura y blanco) o profunda (tonalidad marrón) (**Tabla N° 13-38**). La tipología 1 no fue detectada en la estación de monitoreo LP-24, si bien, en anteriores campañas, siempre había exhibido, al menos una muestra, con esta conformación de macro-zonas (**Tabla N° 13-39**).

Tabla N° 13-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra		LP-23														
		2017				2018			2019				2022			
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	
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° 13-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2022.

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						
		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							
	Amarillo							
Naranja								
Naranja claro								

Fuente: Elaboración propia

*Tipología 1 no fue reportada en verano 2022 en LP-24

En la laguna La Brava, hubo un incremento en la prevalencia de Tipología 1, debido a un aumento de esta tipología en las estaciones LB-1, aunque también hubo una leve disminución en la presencia de esta tipología en LB-2 y una caída más fuerte en LB-3, exhibiendo sólo una muestra dicha conformación en esta última estación. Cabe destacar, que LB-1 es una estación, que se caracteriza por exhibir tapetes con Tipología 1 (Tabla N° 13-40).

Por otro lado, la estación LB-2 perdió una muestra con esta tipología, respecto a verano 2021, aunque sigue manteniendo su dominio la Tipología 1. 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 2021) (Tabla N° 13-41). En el caso de LB-1, los tapetes recuperaron la macro-zona profunda (tonalidad marrón o verde claro). Este fenómeno, podría

estar indicando un evento de recuperación de la Tipología 1 y, por consiguiente, de las capas de microorganismos que pudieron haber disminuido en verano 2021, por lo que es de relevancia, mantener este sitio bajo seguimiento. Respecto a LB-3, se observó una caída de la Tipología 1, similar a la ocurrida en verano 2019 y que se había recuperado en verano 2021, representándose en la pérdida 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° 13-42).

Tabla N° 13-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra		LB-1																	
		2017			2018				2019			2021	2022						
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	2-C	1-P	2-P	3-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 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° 13-41. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra		LB-2																		
		2017			2018			2019			2021				2022					
		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	
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° 13-42. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra		LB-3											
		2017			2018			2019	2021			2022	
		1	2	3	1	2	3	1	3-P	1-C	3-C	1-P	
Macrozona	Subsuperficial	Naranja											
		Verde											
		Verde claro											
		Verde oscuro											
		Verde amarillo											
		Verde opaco claro											
		Amarillo											
		Amarillo claro											
		Rosado											
		Marrón claro											
	Intermedia	Blanco											
		Rosado											
		Rosado claro											
	Profunda	Púrpura											
		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

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, exhibió este tipo de tapetes sólo en LP-24 en una de las muestras de tapetes superficiales planos, lo cual se condice con lo observado en anteriores campañas de verano. A diferencia de verano 2021, en donde se habían hallado los tapetes de LP-23, esta vez, estos recuperaron su característica conformación tipológica (Tipología 1), recuperando la macro-zona profunda, principalmente de tonalidad marrón (**Tabla N° 13-43**). Así, esto representa una fuerte disminución en la prevalencia de Tipología 2 a nivel general, reduciéndose 5 veces esta conformación en Laguna La Punta. Esto indicaría una recuperación respecto a verano 2021, de las comunidades microbiológicas que podrían estar

habitando el tapete, especialmente, en la zona anoxigénica-anaerobia del tapete (macro-zona profunda). En ese sentido, se sugiere mantener la atención en los tapetes de estas estaciones para seguir su evolución (**Tabla N° 13-43**). No obstante, cabe destacar que en LP-24, donde, junto a los tapetes superficiales planos, también existe registro constante de tapetes sumergidos o humedecidos, esta vez 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. Es necesario, como se mencionó arriba, mantener atención en esta estación.

Respecto a Laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se observaron en las tres estaciones estudiadas, tanto para tapetes superficiales planos (LB-2y LB-3), como coriáceos (LB-1, LB-2 y LB-3), mostrando valores similares a los observados a verano 2021, aunque manteniendo notables variaciones, con respecto a los anteriores veranos, 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 2021, al considerar las anteriores campañas (verano 2017 a 2019), se mantiene el aumento de 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° 13-44**). Lo cual, al igual que en Laguna La Punta, existiría una variación en las comunidades microbiológicas que habitarían el tapete en la zona anoxigénica-anaerobia, correspondiente a la macro-zona profunda. De tal modo, se sugiere mantener atención y seguir la evolución en este sitio.

Tabla N° 13-43. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra		2017	2018		2019	2021			2022			
		LP-24	LP-23	LP-24	LP-24	LP-23			LP-24 P			
		3	3	2	3	1	2	3	2	3		
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												

Fuente: Elaboración propia

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Tabla N° 13-44. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra		2017	2019	2021						2022											
		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				
		2	3	1	3	1	3	3	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	3		
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																					

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 2021, donde la misma estación (LP-24) había exhibido una muestra de tapetes superficiales planos y dos muestras de tapetes coriáceos. 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 (207-2019) habían presentado Tipología 2 o incluso 1. Dado que este drástico cambio se conserva, aún, en LP-24, se sugiere mantener la atención en este sitio.

Por otra parte, en Laguna La Brava, la estación LB-1 que antes había exhibido una muestra con esta tipología, recuperó no sólo una, sino las dos macro-zonas, reportándose en Tipología 1 (Tabla N° 13-45). En ese sentido, se debe seguir poniendo atención en los próximos

monitoreos en la posible recuperación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1.

Tabla N° 13-45. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2022.

Año/Muestra			2021			2022		
			LP-24 P	LP-24 C		LB-1 P	LP-24 P	
			1	1	2	2	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde						
		Naranja						
		Amarillo						
		Rosado						
		Verde claro						

*Tipología 3 no fue reportada en verano 2017 a 2019 en Laguna La Punta y Laguna La Brava
 Fuente: Elaboración propia

13.3.6.3 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 2022, al igual que en reportes anteriores (verano 2017 a 2021).

13.3.6.3.1 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 2020), 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 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 atribuir a las fluctuaciones de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Estas fluctuaciones, derivadas de las variaciones precipitación- evaporación propias del Salar de Atacama, provocaría diferencias en las conductividades y salinidades y consecuentemente el oxígeno disuelto disponible y la turbiedad en la columna de agua, las que son función de la época del año y del sector, afectando en su conjunto la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

13.3.7 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para periodos de verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022 (**Tabla N° 13-46**) 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 LP-24 (sólo para 2017 en esta última) 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 aparición 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) (hasta verano 2022) y parcialmente en las estaciones I-11 (Sector Peine) y LB-1 (Sector La Punta – La Brava).

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° 13-46. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022.

Punto de Monitoreo	Registro visual															
	Microbialito						Evaporita									
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022				
S-5	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	-	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	-				
S-6A	-	-	-			-	-	-	-			-	-	-	-	
S-9	-	-	-			Sin acceso	-	-	-			-	-	-	-	Sin acceso
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

Fuente: Elaboración propia

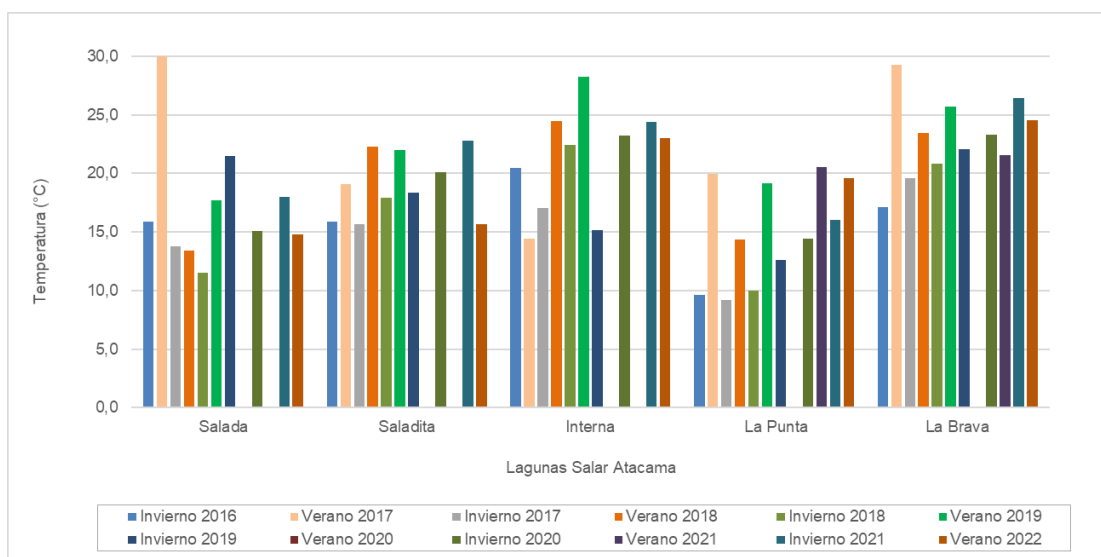
13.3.8 Evolución de Parámetros Físicos y Químicos

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). El sector vegas de Tilopozo no se considerará dado que solo se ha presentado un solo registro en el tiempo de tapetes microbianos, que como se indicó fue detectado en invierno 2016. 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 por restricciones impuestas por la comunidad de Peine y en verano 2022 no se accedió a las estaciones de Peine S-9 y SA-25, por la presencia de flamencos y la prohibición de acceder 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 2017 con 9,2 °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 los menores en la laguna La Punta (**Figura N° 13-26**). 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° 13-26. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2022.

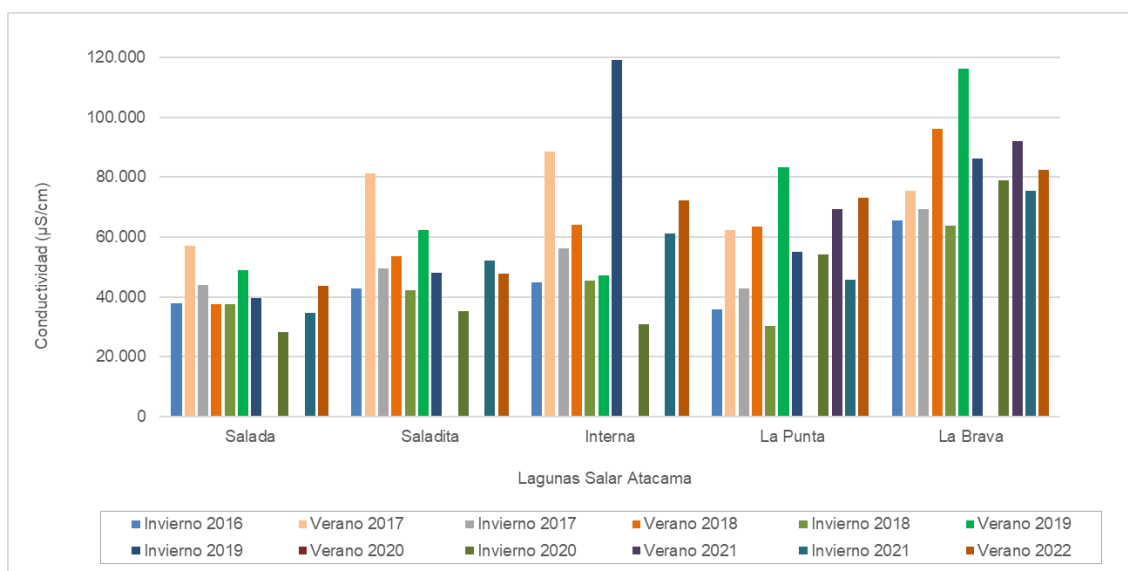


Fuente: Elaboración propia

- **Conductividad**

Para la conductividad registrada en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en invierno 2019, con un valor de 119.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la laguna Interna, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con 28.335 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la laguna Salada, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava y los menores en la laguna Salada (**Figura N° 13-27**).

Figura N° 13-27. Variación promedio de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.

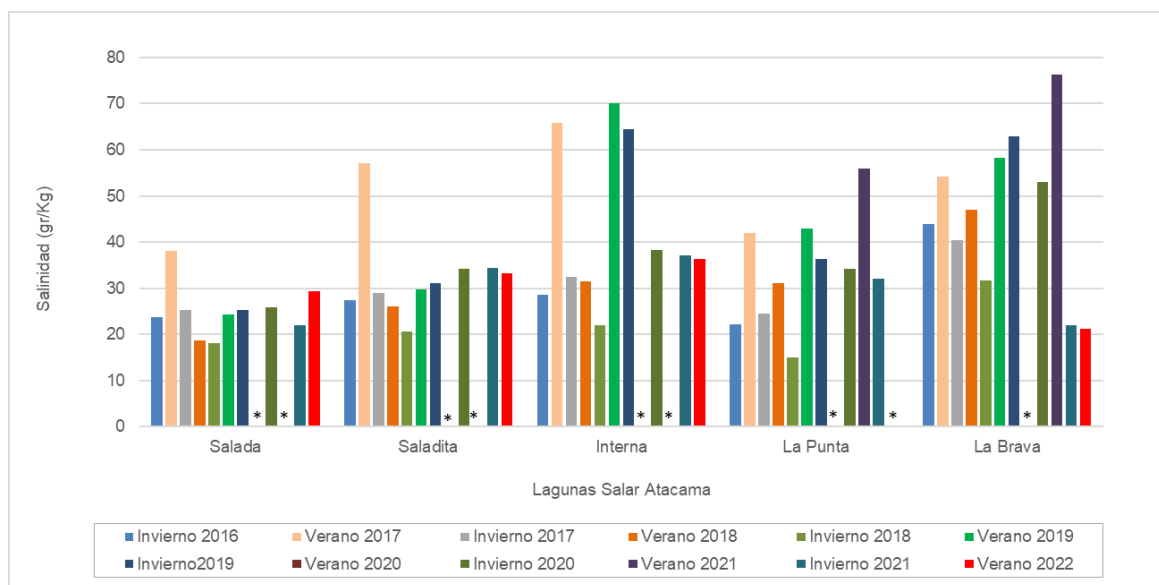


Fuente: Elaboración propia

- **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° 13-28**). 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° 13-28. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.

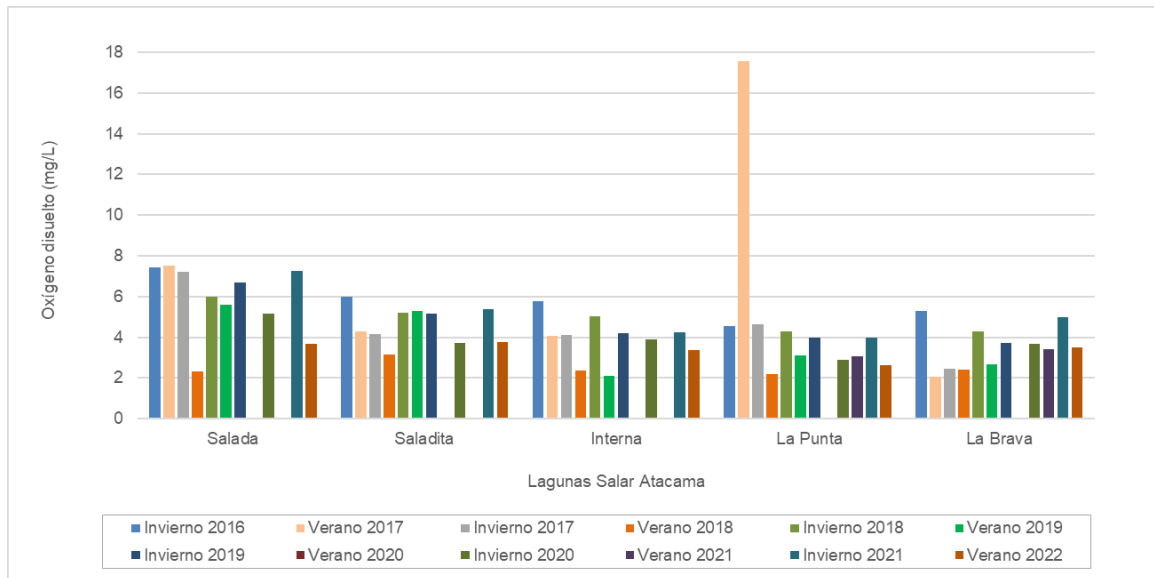


Fuente: Elaboración propia.

- *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° 13-29**). 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° 13-29. Variación promedio de oxígeno disuelto (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.

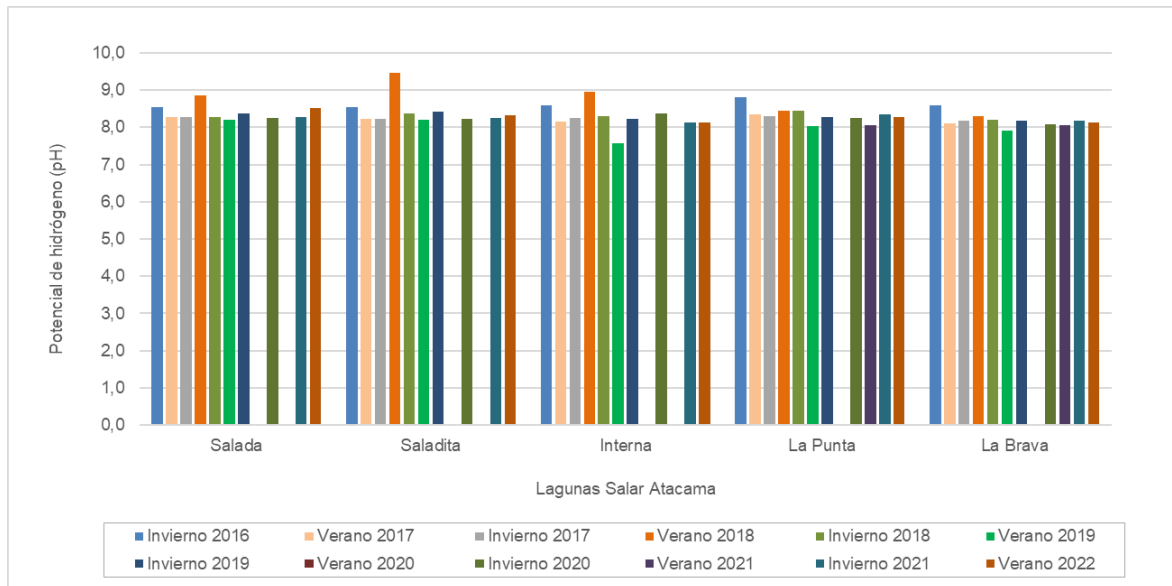


Fuente: Elaboración propia.

- *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 2019 con un valor de 7,6 unidades la laguna Interna, sector Peine. 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° 13-30**). 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).

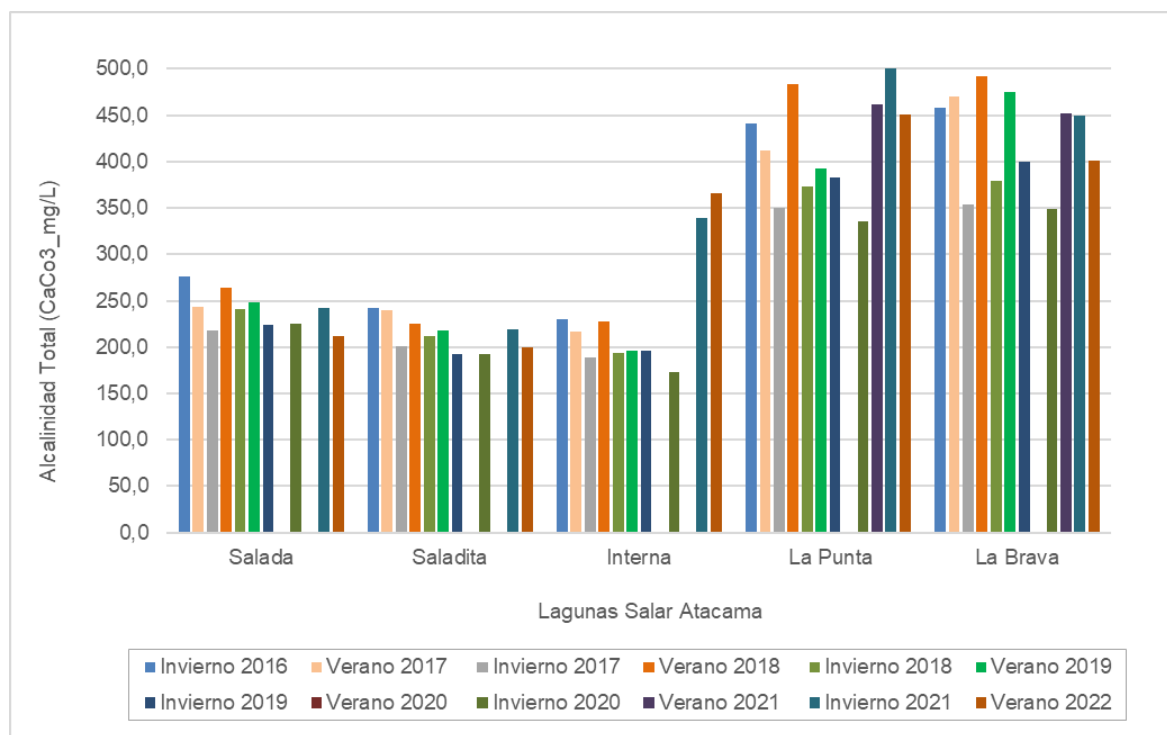
Figura N° 13-30. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.



Fuente: Elaboración propia.

- *Alcalinidad Total*

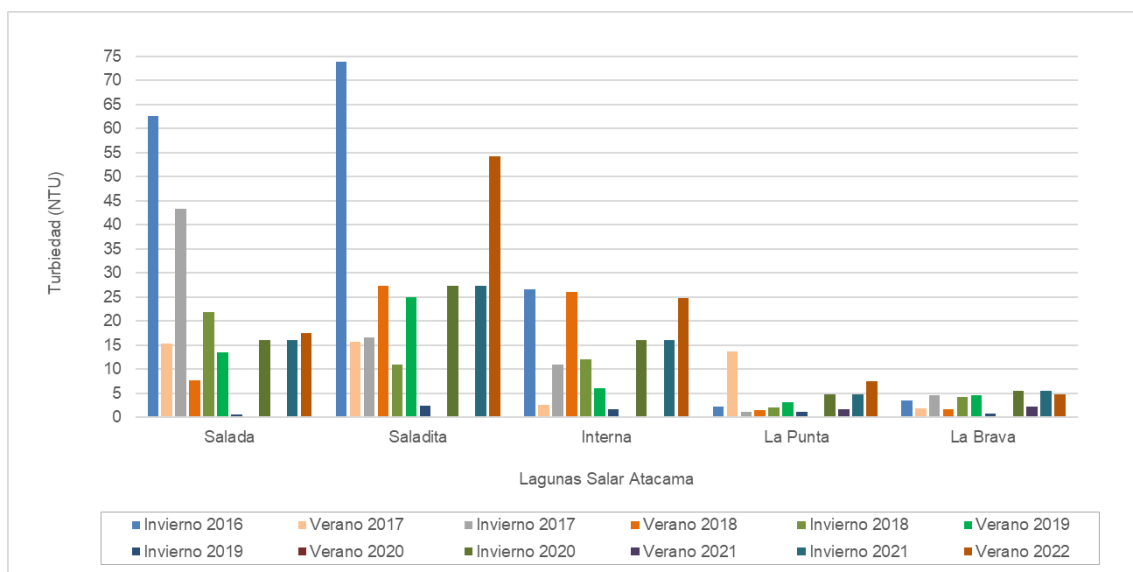
Para la alcalinidad registrada en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en invierno 2021, con un valor de 505 mg/L en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con un valor de 174 mg/L en la laguna Interna, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en las lagunas La Punta y La Brava y los menores en la laguna Interna (**Figura N° 13-31**). 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° 13-31. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO_3 _mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.

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° 13-32**). 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).

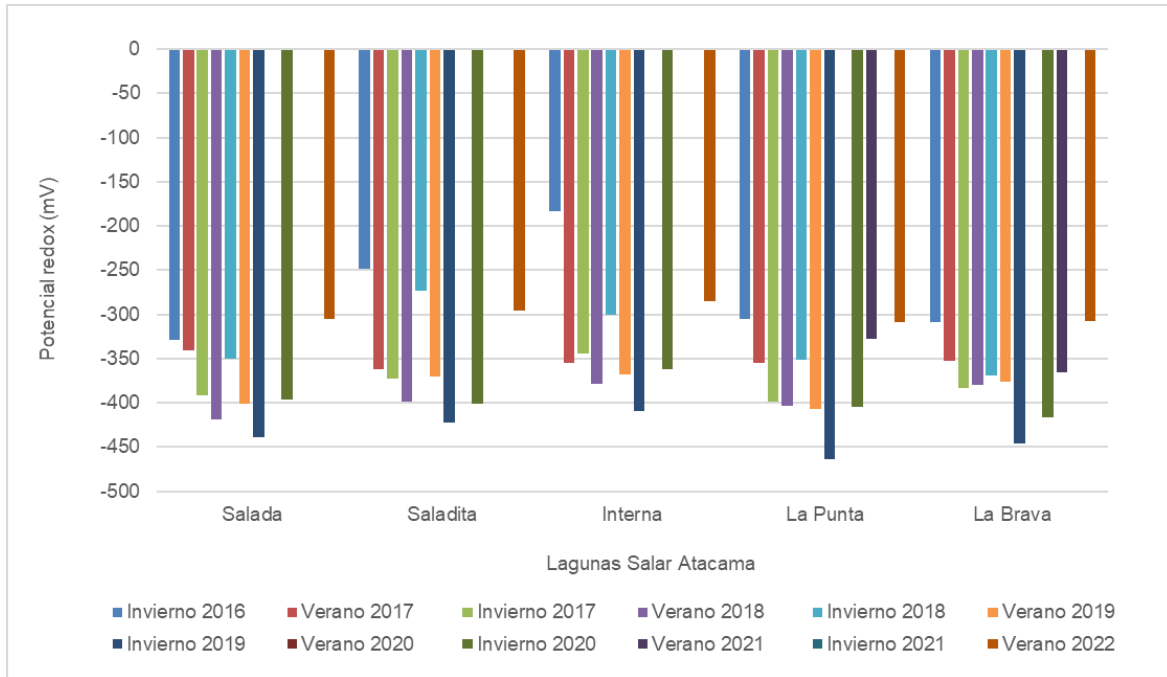
Figura N° 13-32. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.

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 invierno 2016, con un valor de -183 mV en la laguna Interna, sector Peine. 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 (**Figura N° 13-33**). 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° 13-33. Variación promedio de potencial redox (ORP) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.



Fuente: Elaboración propia.

13.4 En relación con Suelo o Sustrato

13.4.1 Comparación monitoreo invierno 2021 y verano 2022

Este acápite comparativo anual no pudo desarrollarse debido a que no fue posible realizar la campaña de monitoreo invierno 2021 (M11), por restricciones de acceso y razones de seguridad expuestas al inicio del presente informe.

13.4.2 Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 - 2018 – 2019 – 2020- 2021 y 2022

Los valores detallados de cada variable a lo largo de los monitoreos (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8⁵⁴, M9, M10, M11⁵⁵ y M12) 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.

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 regular el aumento o disminución de las sales en el suelo.

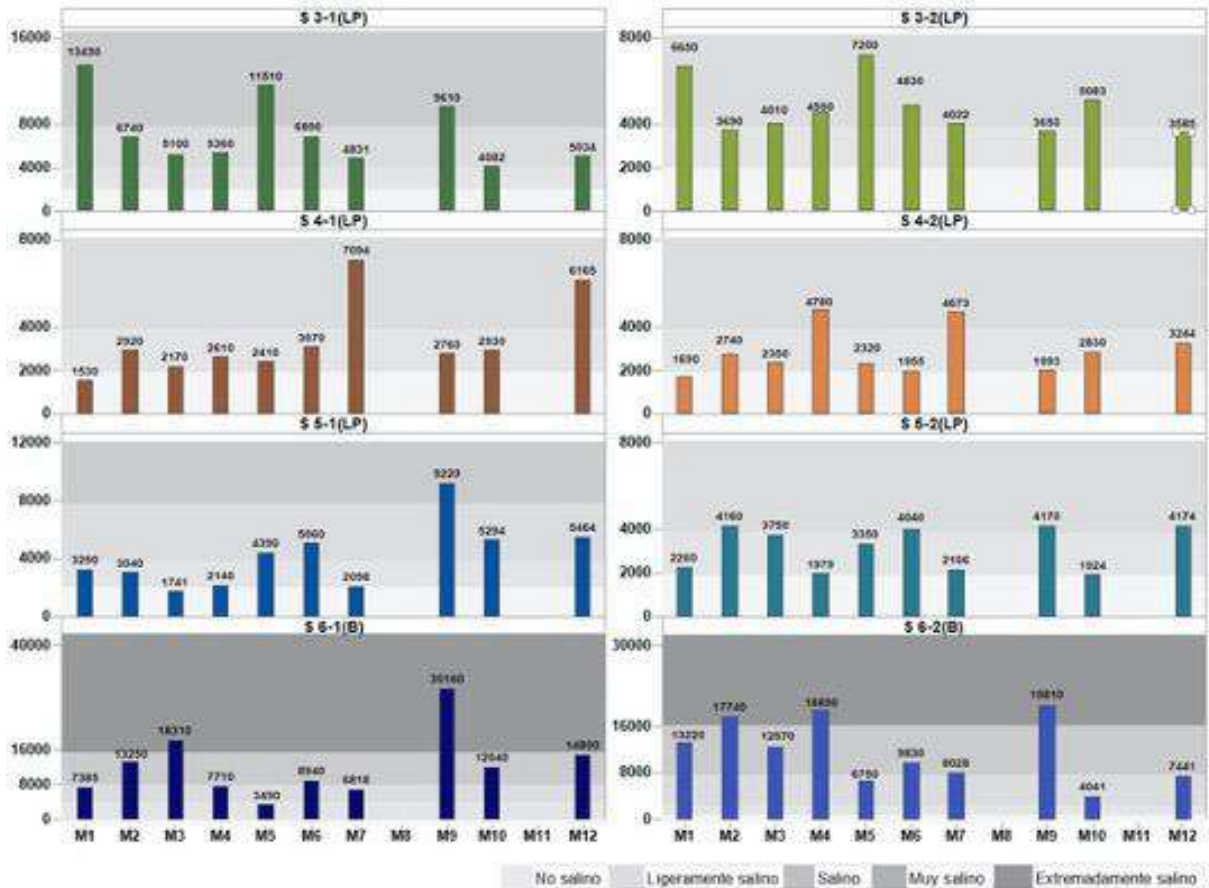
Sin embargo, en el área de estudio los suelos de mayor frecuencia corresponden a los **salinos** y **ligeramente salinos**, siendo los menos frecuentes los **no salino** y **extremadamente salinos**.

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 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**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 y M7, y S 6-2 en M5, M10 y M12), incluso alcanzando valores superiores a 30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 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° 13-34**.

⁵⁴ 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.

⁵⁵ El monitoreo de invierno 2021 no se realizó debido a restricciones de acceso y razones de seguridad.

Figura N° 13-34: Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



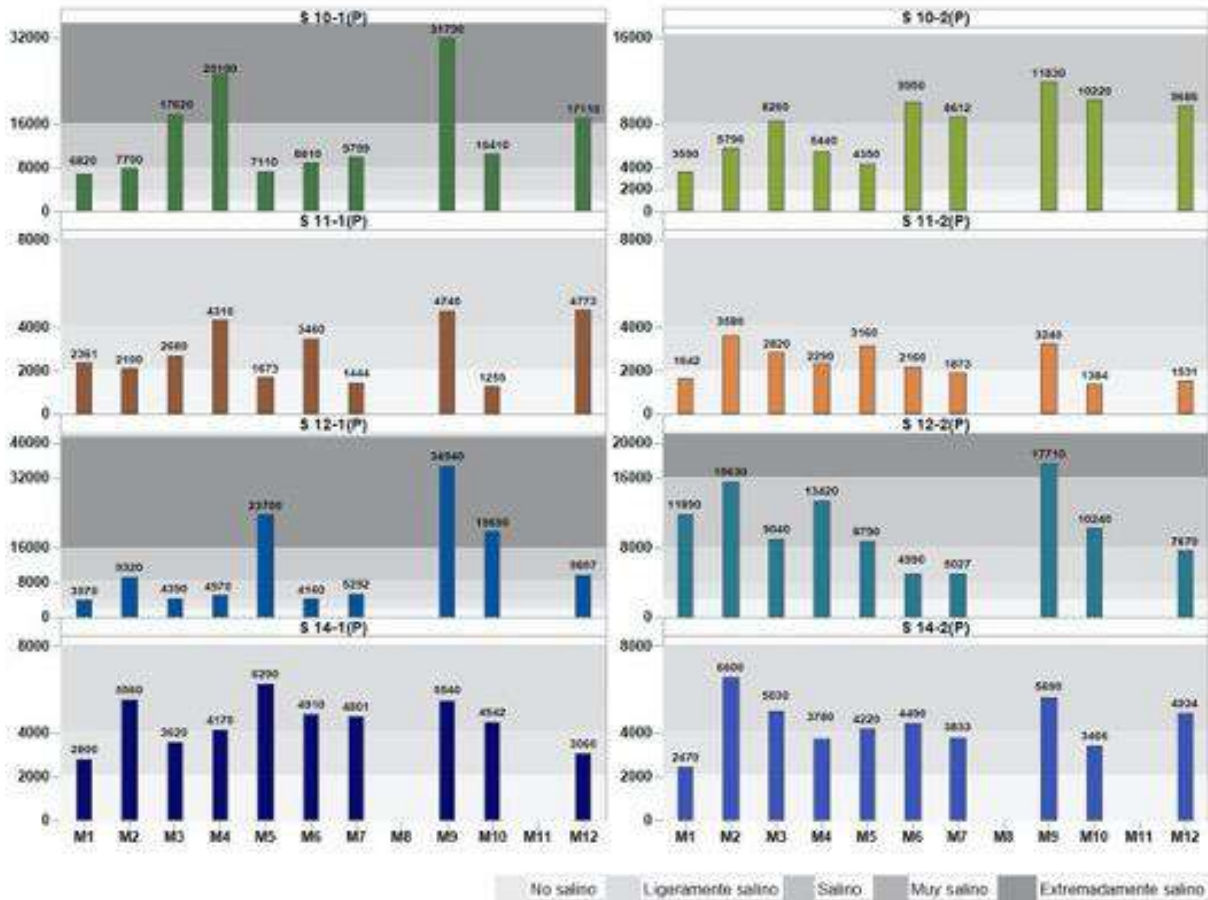
Fuente: elaboración propia

En el sector de **Peine**, en los puntos S 11 y S 14 la conductividad eléctrica es inferior a 6.600 µS /cm, es decir, suelos cuyas categorías varían de **no salino** a **salinos** y sólo en el primero de ellos se observan algunos puntos donde ésta es menor a 2.000 µS /cm (**no salinos**), correspondiendo a los puntos S 11-1 (M5, M7 y M10) y S 11-2 (M1, M7, M10 y M12) con una variación entre 1.255 y 6.600 µS/cm, y en los puntos restantes (S 10 y S 12) esta variación es más amplia la cual lo hace entre 3.590 y 34.940 µS/cm.

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 de los diferentes monitoreos, como también que no se observan diferencias estacionales marcadas

En M9 en la mayoría de los puntos (excepto 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 dos últimos (**Figura N° 13-35**).

Figura N° 13-35: Resultados C.E. (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.

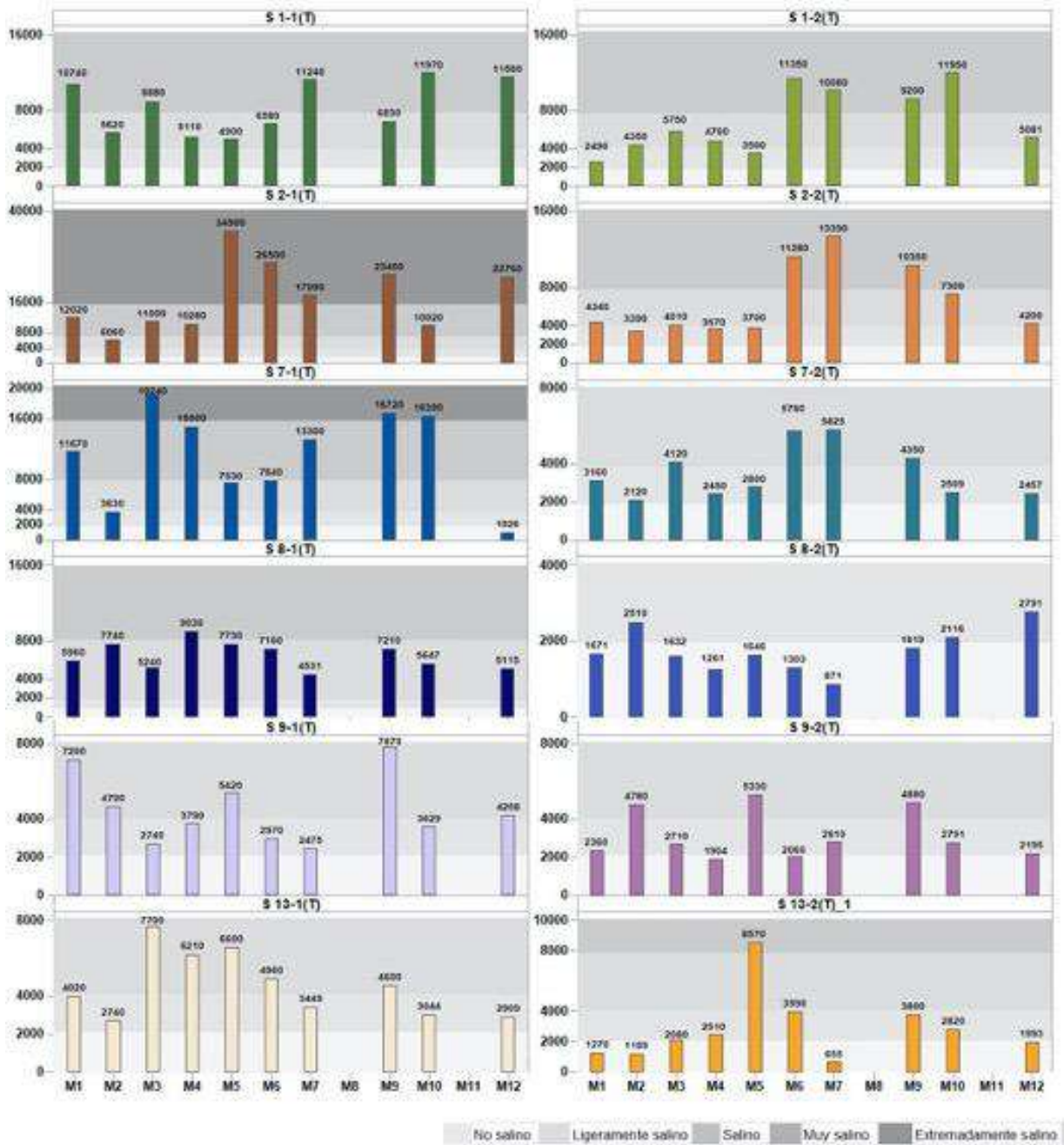


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Tilopozo**, y tal como se aprecia en la **Figura N° 13-36**, 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 µS/cm, excepto S 8-1 (M4) y S 13-2 (M5), observándose incluso valores menores a 2.000 µS/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 µS/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 puntos hasta M10, y con una disminución de los valores en M12.

El monitoreo M2, es el que presenta una menor variación numérica de la conductividad eléctrica para todos los puntos () y la mayoría de los suelos se encuentra en las categorías **ligeramente salino** y **salino** y muy escasos los **no salinos**. Mientras que, **en** las restantes evaluaciones la variación incluye a lo menos 4 categorías por monitoreos, lo que implica una alta variabilidad de la salinidad de los suelos de este sector.

Figura N° 13-36: Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6 M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

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. 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.

13.4.2.2 Materia Orgánica

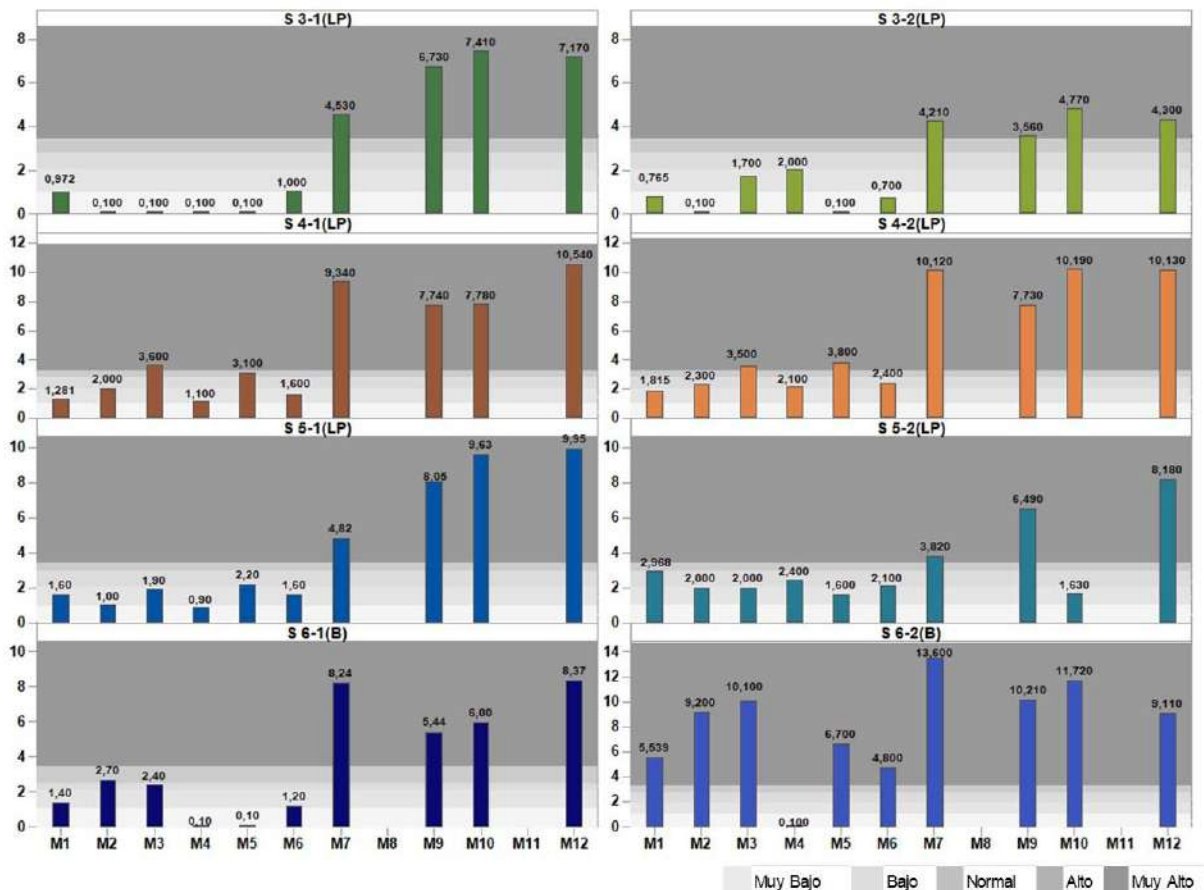
En general, para el área de estudio y como se observa en la **Tabla N° 1-3, Anexo 2**, la concentración de materia orgánica de M1 a M6 era mayoritariamente **baja y muy baja**, excepto para S 7 y S 8 donde la ésta es **muy alta**, y a partir de M7 a M12 se observó un fuerte incremento siendo en general **alta y muy alta**, esto coincide con un cambio de laboratorio encargado de los análisis de las muestras para este parámetro (SGS a ANAM), aun cuando se utilizó la misma metodología pero los resultados son diferentes, por lo que se estima que el aumento en el contenido de materia orgánica en los suelos del área de estudio no se puede atribuir solamente a cambios en la condiciones ambientales y/o antrópicas del área de estudio.

Tal como se observa en la **Figura N° 13-37**, 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, no se observa un comportamiento similar estacional, es así que existe similitud entre los resultados de M1 y M6 como también M7, M9, M10 y M12. Mientras que, en los monitoreos M2, M3, M4 y M5 se observan valores similares a M1 y M6, pero algunos de ellos son **muy bajos** y no siendo coincidentes entre sí, ver **Figura N° 13-37**.

Para este sector, aquellos puntos que presentan el mayor porcentaje de materia orgánica por monitoreo corresponden en general a los mismos.

La 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.

Figura N° 13-37: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



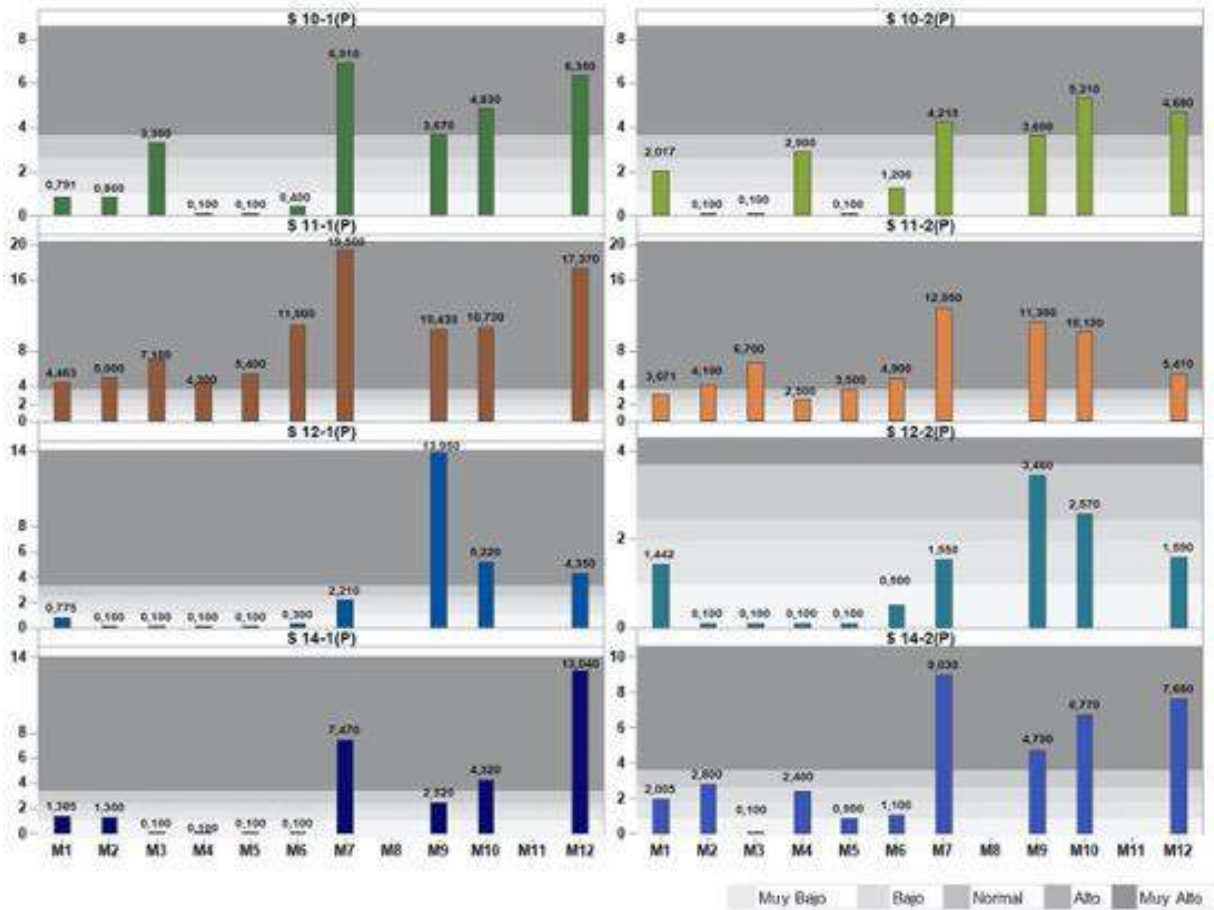
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se aprecia en la **Figura N° 13-38**, 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, y en general la materia orgánica en estos puntos es **muy baja**, excepto en algunos monitoreos de los puntos S 14-2 y S 10-2 donde se determinaron categorías **baja**, **normal** y **alta**.

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 para M1, M5 y M4 donde ésta es **alta** en los primeros 2 y normal en el tercero, este punto se asocia a un sector con vegetación azonal (humedal)

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° 13-38**).

Figura N° 13-38: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine

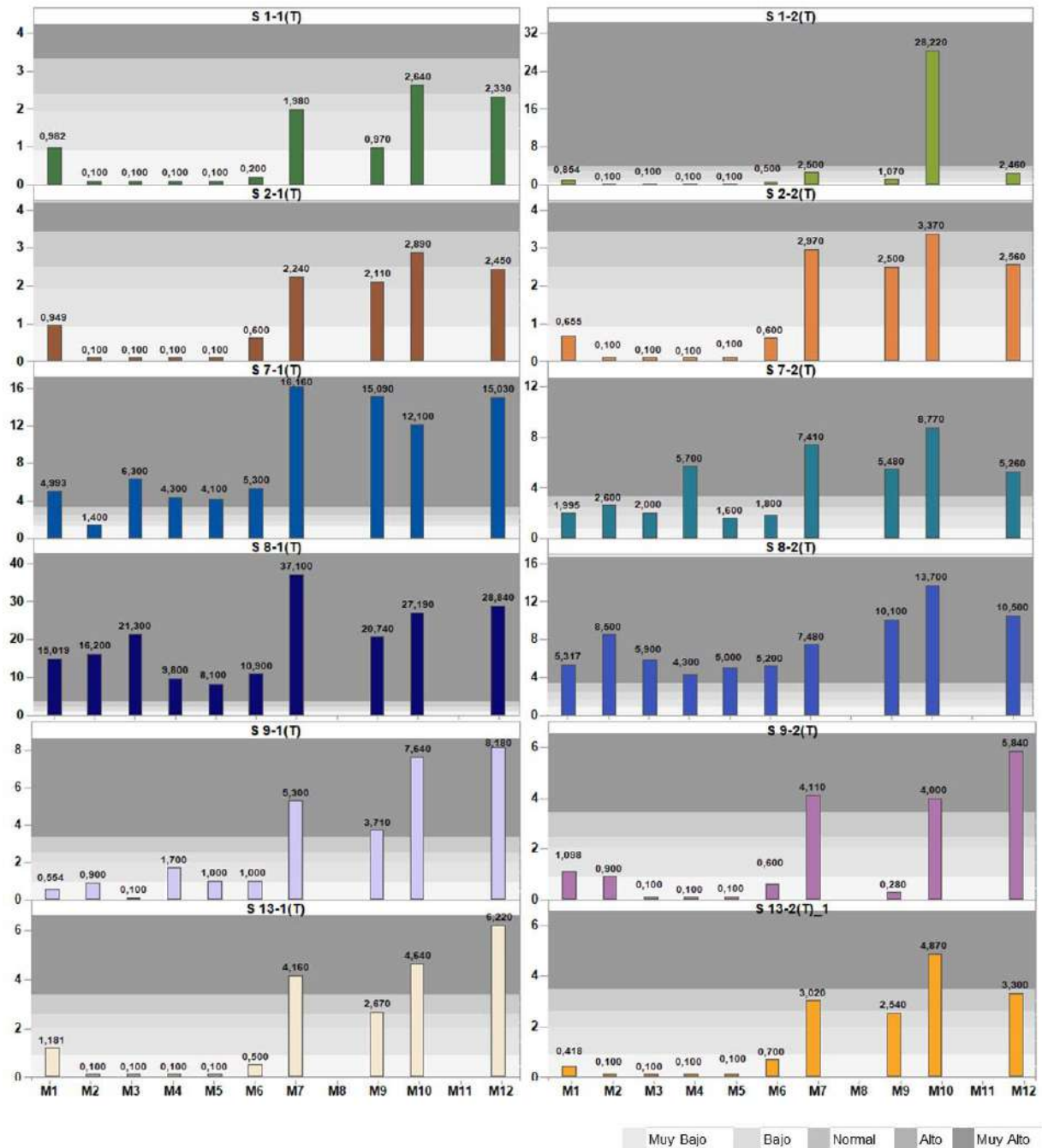


Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Tilopozo**, y tal como se observa en la **Figura N° 13-39**, en los monitoreos M1 a M6 los puntos S 1, S 2, S 9 y S 13, se presentan en la mayoría de ellos 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** y se observa un aumento en el contenido de materia orgánica en la mayoría puntos para los monitoreos M7 a M12 (**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** y en S 7-2 se observan varias categorías, pero siendo **muy alta** en M4, M7, M9, M10 y M12 (**Figura N° 13-39**), siendo estos los puntos más estables de los monitoreos para el sector, tanto en su estrato superficial como en profundidad.

Figura N° 13-39: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En general para el área de estudio los mayores valores 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

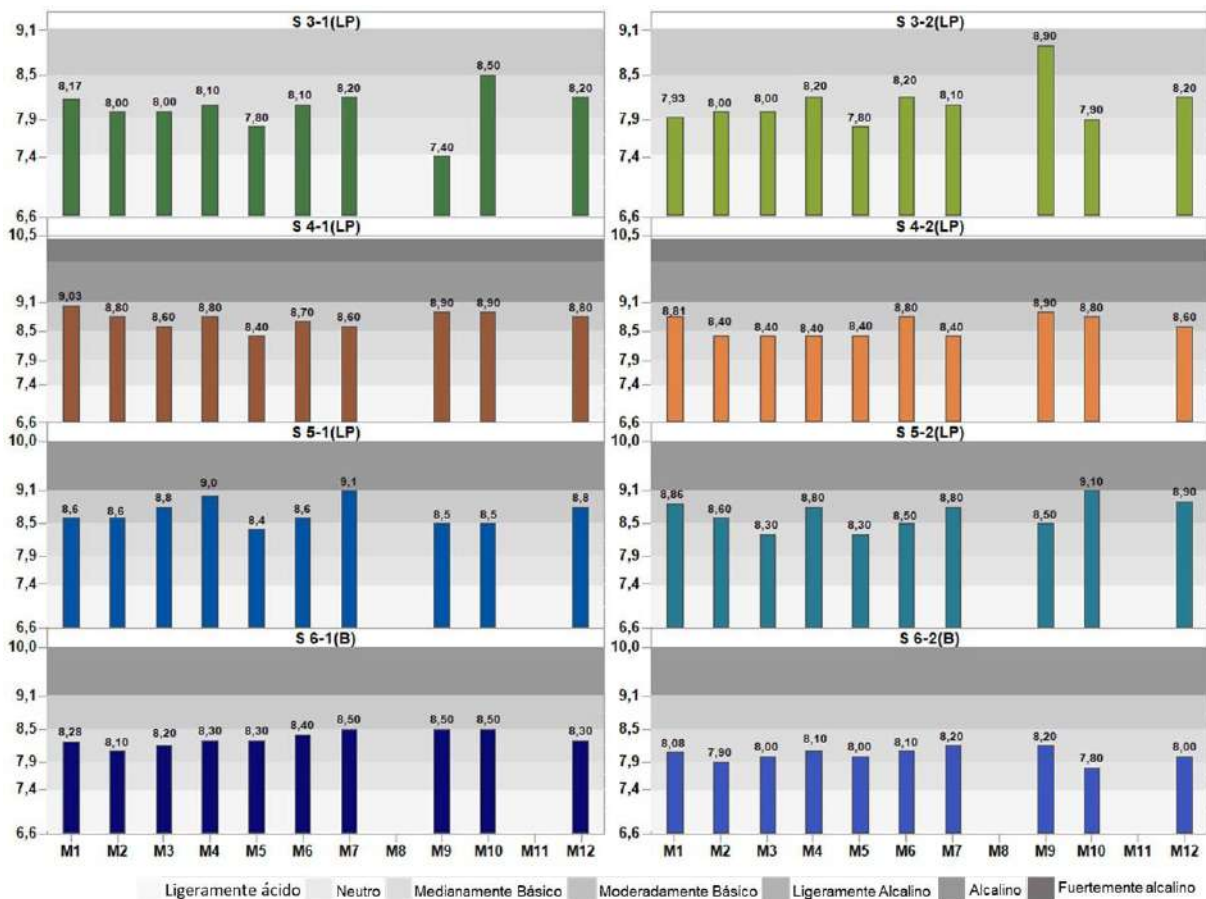
deber a la presencia de abundantes restos vegetales provenientes de antiguas vegas que fueron cubiertas por aluviones.

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 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, dado la heterogeneidad de los materiales parentales que los constituyen lo que determina cambios para un mismo punto a pesar de la escasa distancia entre ellos (menos de 50 cm), esto determina cambios en la categoría entre monitoreos y 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 todos los monitoreos (M1 a M4 y M6 a M12), aun cuando presentan una variación numérica en el pH mantienen las mismas categorías (**moderadamente básico** o **ligeramente alcalino**), excepto en un reducido número de puntos donde la categoría es inferior o superior. 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 (Figura N° 13-40)**.

Figura N° 13-40: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



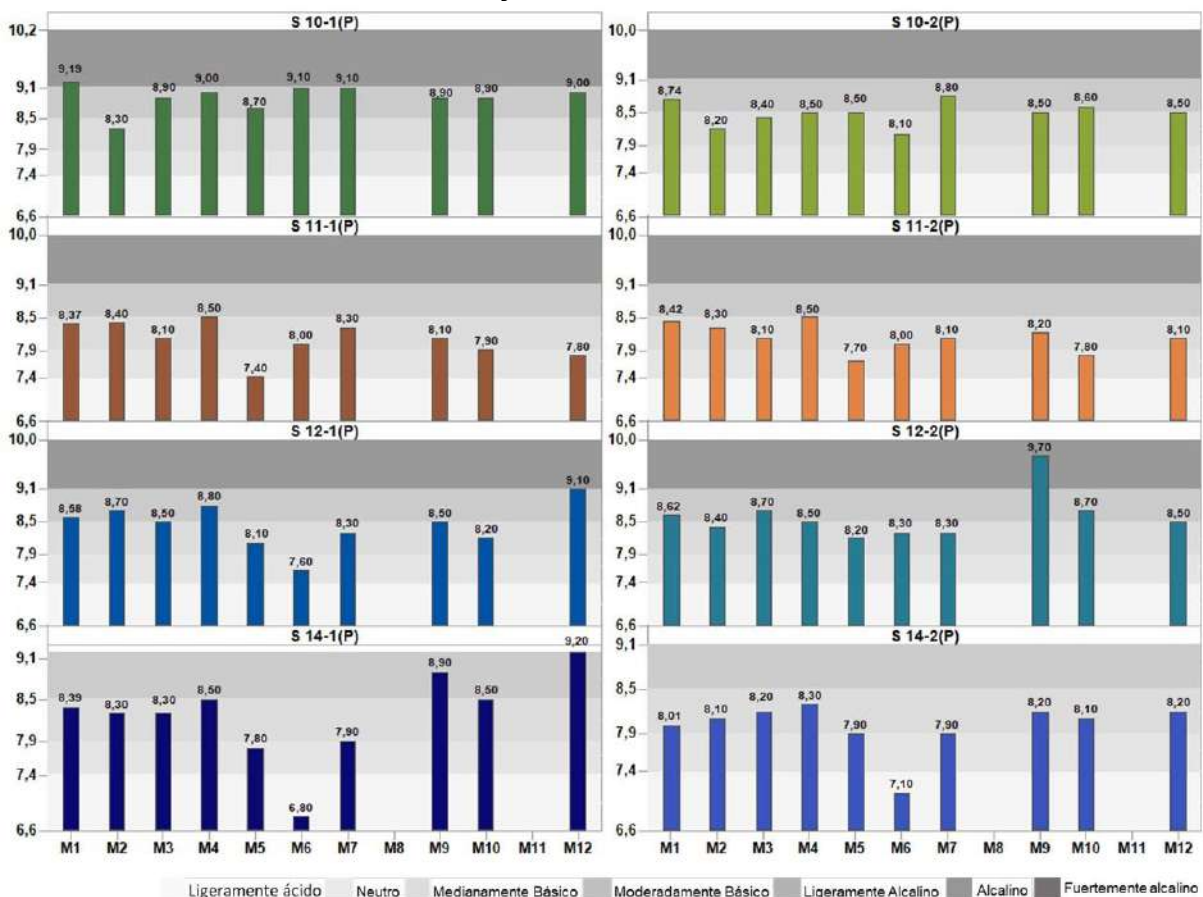
Fuente: Elaboración Propia

Para este sector se observa una estabilidad del pH de los suelos respecto a la categoría, 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 M12, 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.

Mientras que, en M5 y M6, se produce una acidificación en la mayoría de los suelos del sector (**Figura N° 13-41**), donde el pH dominante es **moderadamente básico** e incluso en algunos puntos éste es **neutro** y **medianamente básico** y muy poco frecuente los suelos **Ligeramente alcalinos** y **alcalinos**.

Figura N° 13-41: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.



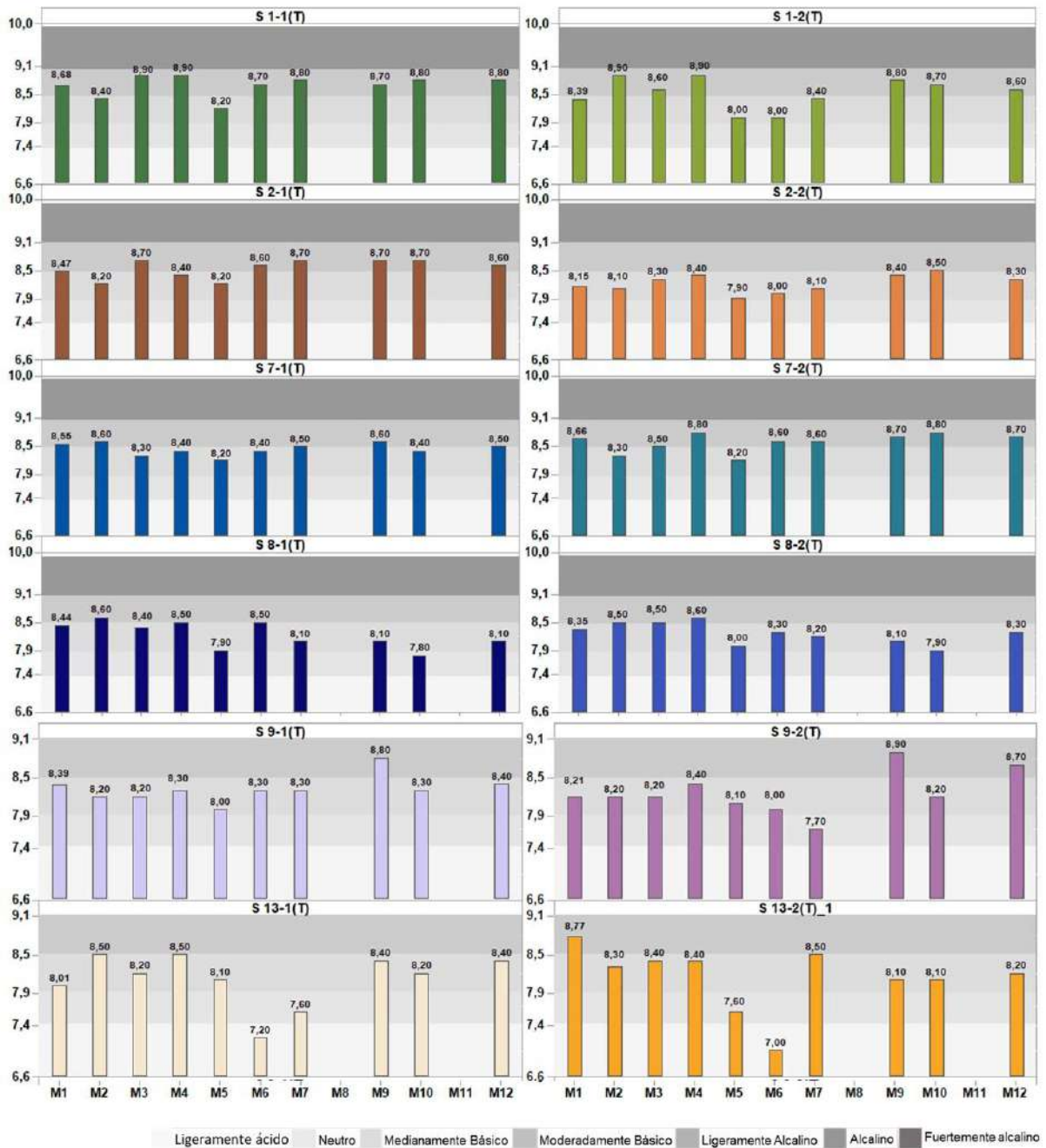
Fuente: Elaboración Propia

Para este sector y tal como se observa en la figura anterior, existe una variabilidad numérica y por ende en categorías para un mismo punto durante todas las evaluaciones, este es un comportamiento normal para este tipo de suelo considerando el origen de ellos. 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 M12 aun cuando se observa una variación numérica en la mayoría de los puntos el pH del suelo es mayoritariamente **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, mientras que, en el punto S 13 (M6) éste es **neutro**, y en S 9-2 y S 13-1 (M7) y S 8-1 (M10) es **medianamente básico**.

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° 13-42).

Figura N° 13-42: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 13-42**, 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 y muy escasos los puntos donde éste involucre tres categorías, por lo que, esto 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.

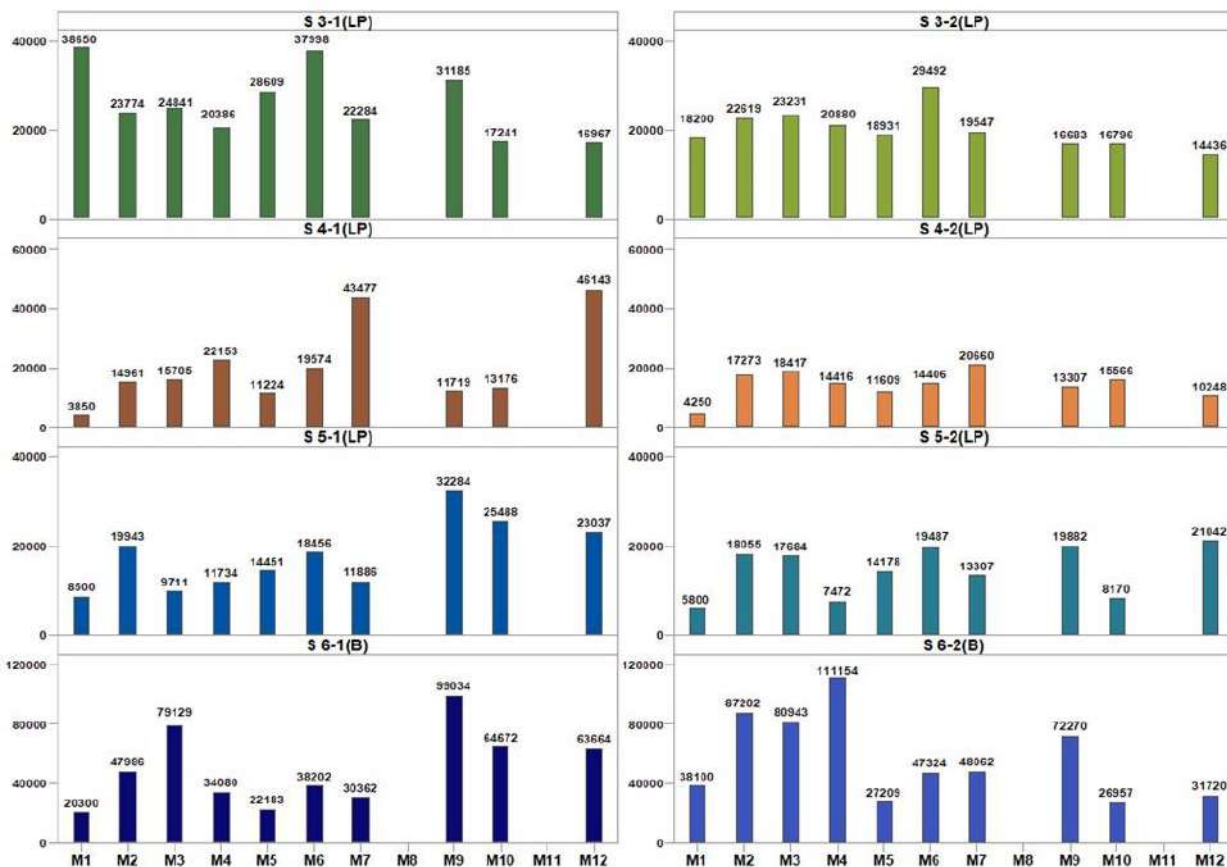
Para el área de estudio, se observa una disminución de los valores del pH en todos los puntos para M5, estimándose que existen algunos factores ambientales que podrían haber alterado este parámetro, ya que en los monitoreos posteriores se observa un aumento en el valor del pH, siendo este similar a los 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° 13-43**, 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 M12) y S 3-2 (M9 a M12) y en algunas evaluaciones de S 6-2 (M5, M10 y M12).

Este aumento en la concentración respecto a M1 y entre monitoreos es variables, es decir, que 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.

Figura N° 13-43: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



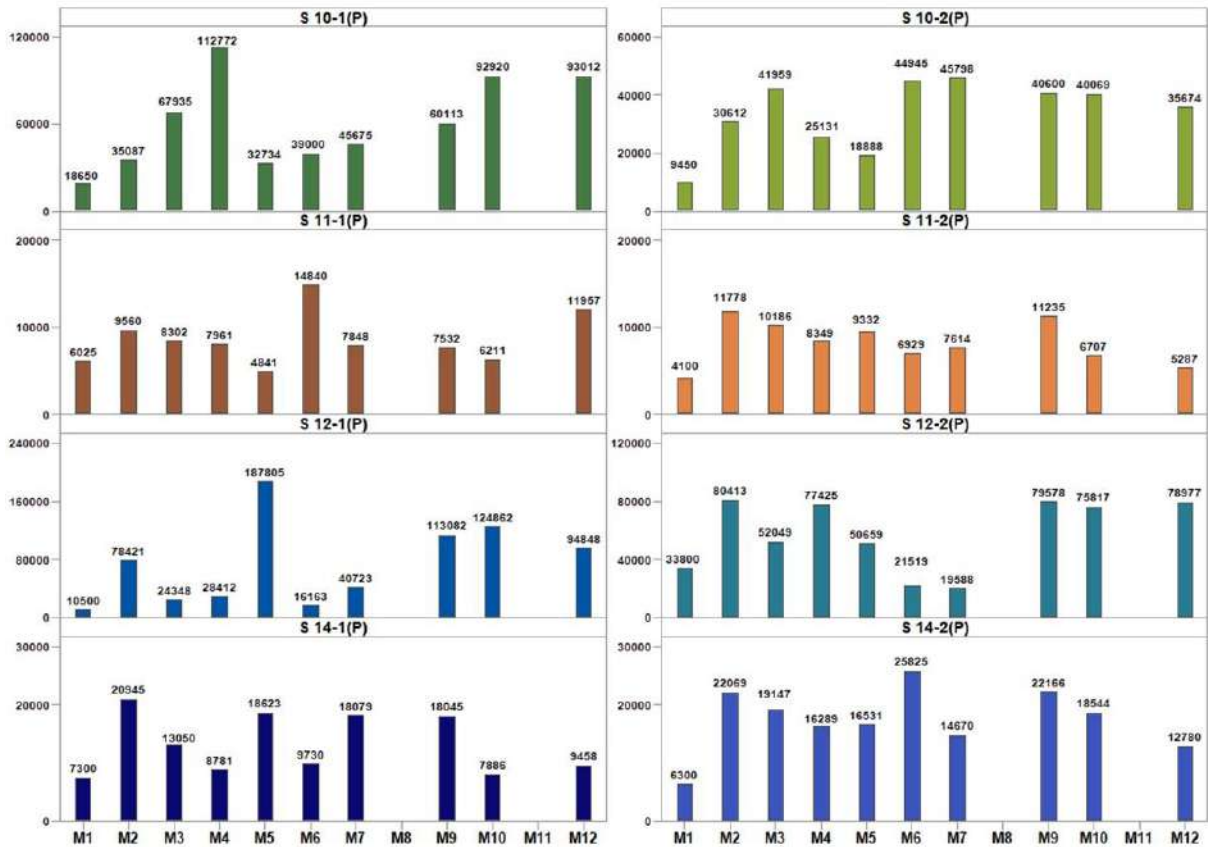
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 13-43**, 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 presenta 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 y M12, donde la concentración de sales es una de las mayores del sector.

En **Peine**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la concentración de sales en M2 a 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 y en general, los mayores valores corresponden a los puntos S 12-1, S 12-2, S 10-1 y S 10-2 en todos los monitoreos, y los menores se presentan en S 11-1 y S 11-2.

Para el sector y en general se observa una gran variabilidad y no se detectan diferencia o similitudes entre los monitoreos invernales y estivales (**Figura N° 13-44**).

Figura N° 13-44: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.

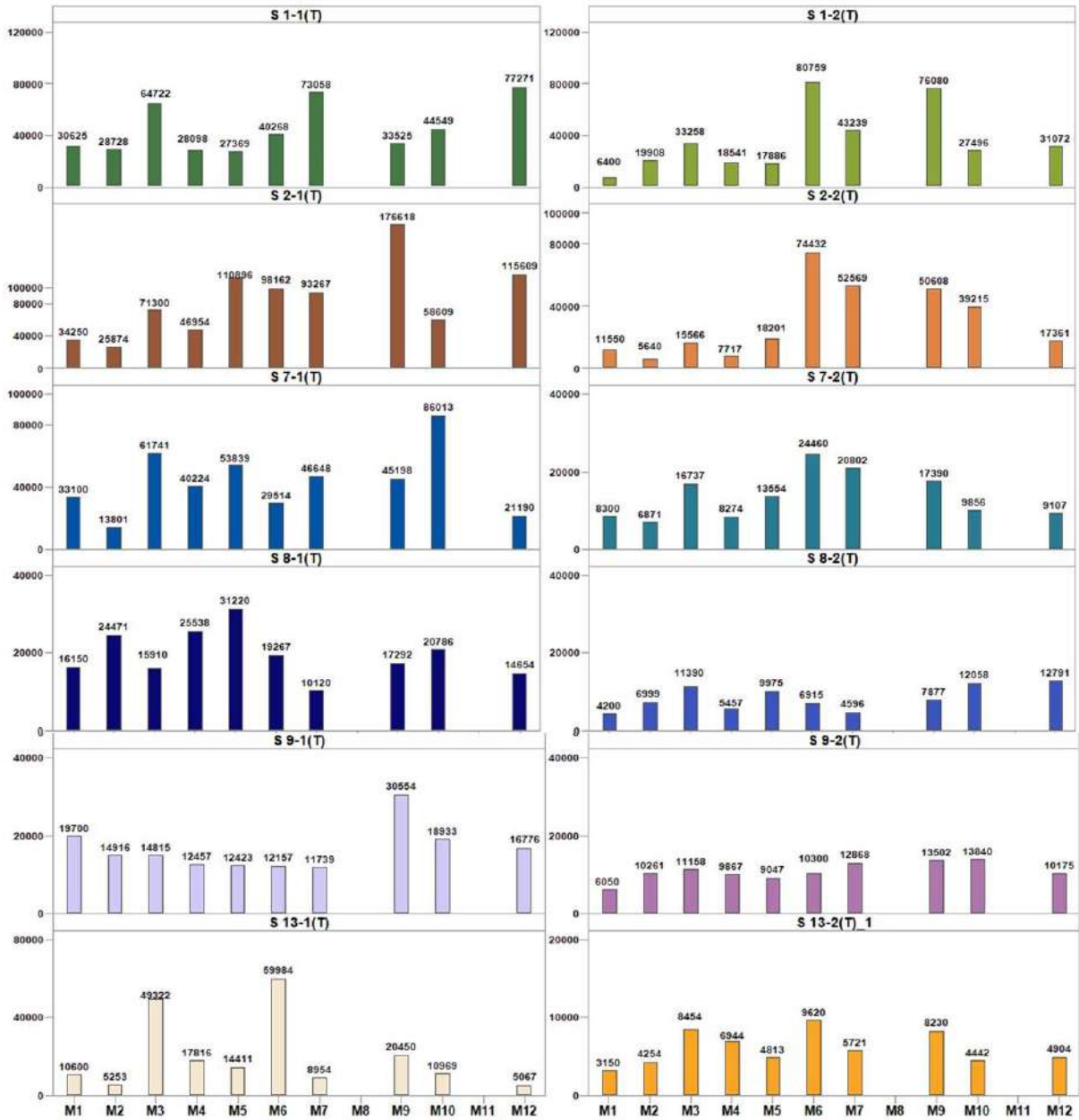


Fuente: Elaboración Propia

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, los cuales 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 puntos (**Figura N° 13-45**).

Para este sector, las concentraciones menores para todos los monitoreos se presentan en los puntos S 13-2 y S 8-2, y en los restantes (S 2-2, S 7-2, S 8-1, S 9-1, S 9-2 y S 13-1) la concentración es levemente superior a S 13-2 y S 8-2.

Figura N° 13-45: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En general para el área de estudio, la concentración de sales 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.

Considerando que la evapotranspiración, es la salida del agua del perfil a la atmósfera y que durante este proceso existe un ascenso por capilaridad de las sales hacia la superficie del perfil donde se depositan, y la lixiviación el arrastre de las sales en profundidad por efecto del movimiento del agua, cuando este último 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 velocidad de infiltración del agua en el perfil de suelo (permeabilidad) es **muy alta** y **alta**, siendo muy escaso los puntos donde esta es **moderadamente alta**, parámetro que se caracteriza por presentar una 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.

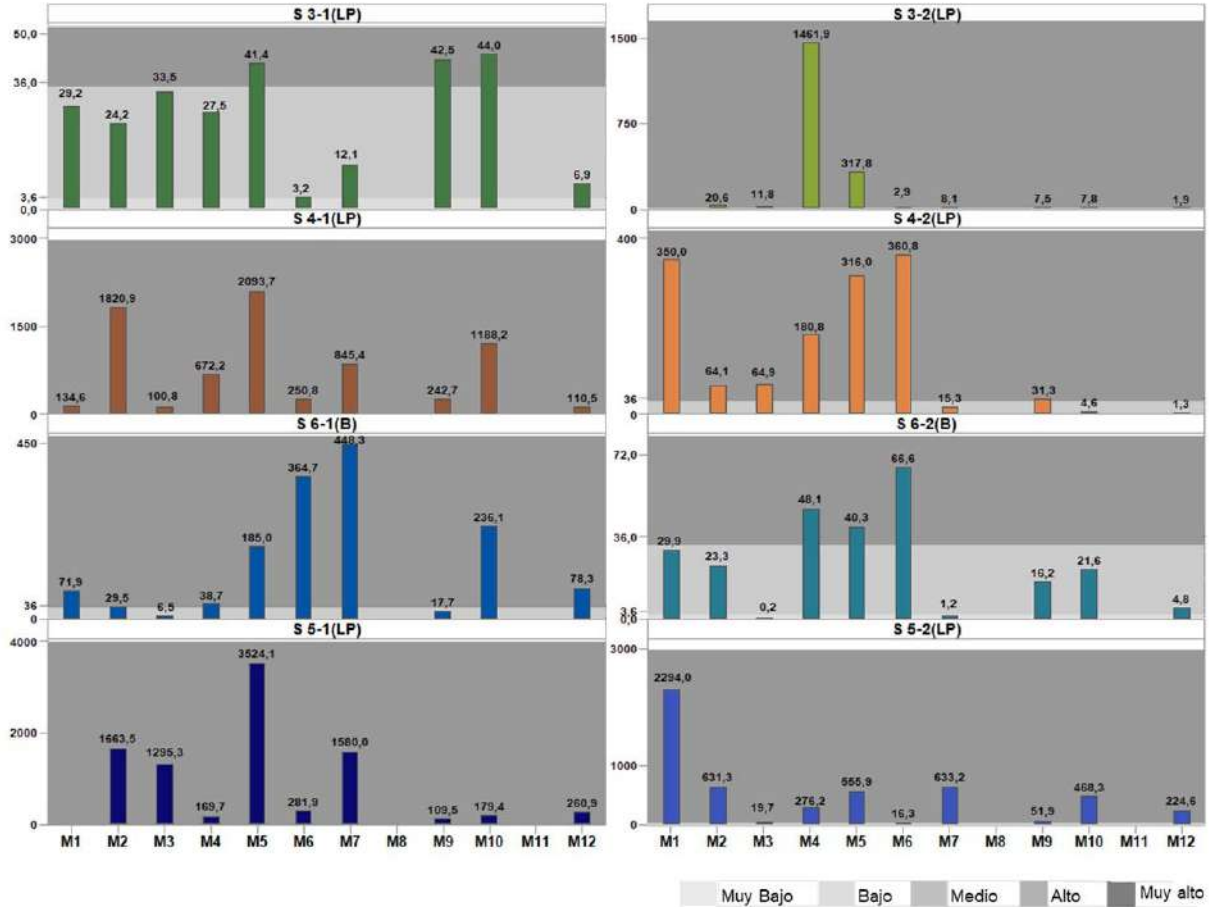
Este sector se caracteriza por presentar una gran variabilidad en la velocidad de infiltración del agua entre puntos para los diferentes monitoreos. En el 66,7% de los puntos de M1 y el 50% de los muestreos realizados para M2 y M9, la permeabilidad es **muy alta**, y en los restantes es **alta**. Mientras que, en M3 y M7, en la mitad de los puntos la velocidad de infiltración es **alta**, en otros (3) **muy alta** y en uno **moderadamente alta (Figura N° 13-46)**.

En la mayoría de los puntos de M4 y M10 y en la totalidad de M5 se observa un aumento de permeabilidad a categoría **muy alta**, y en la mayoría de los puntos de M6 la permeabilidad es **muy alta**, en los restantes ésta es **moderadamente alta** y **alta**, ver **Figura N° 13-46**. Mientras que en M12, la categoría dominante es **muy alta**, luego **alta** y **moderadamente alta** en igual proporción.

Para este sector sólo los puntos S 4-1 y S 5-1 en los muestreos realizados, siempre presentaron una velocidad **muy alta**, aun cuando la variación numérica es muy amplia entre puntos para diferentes evaluaciones. Los restantes puntos presentan tanto velocidad **alta** como **muy alta** e incluso en algunos ésta es **moderadamente alta (Figura N° 13-46)**.

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.

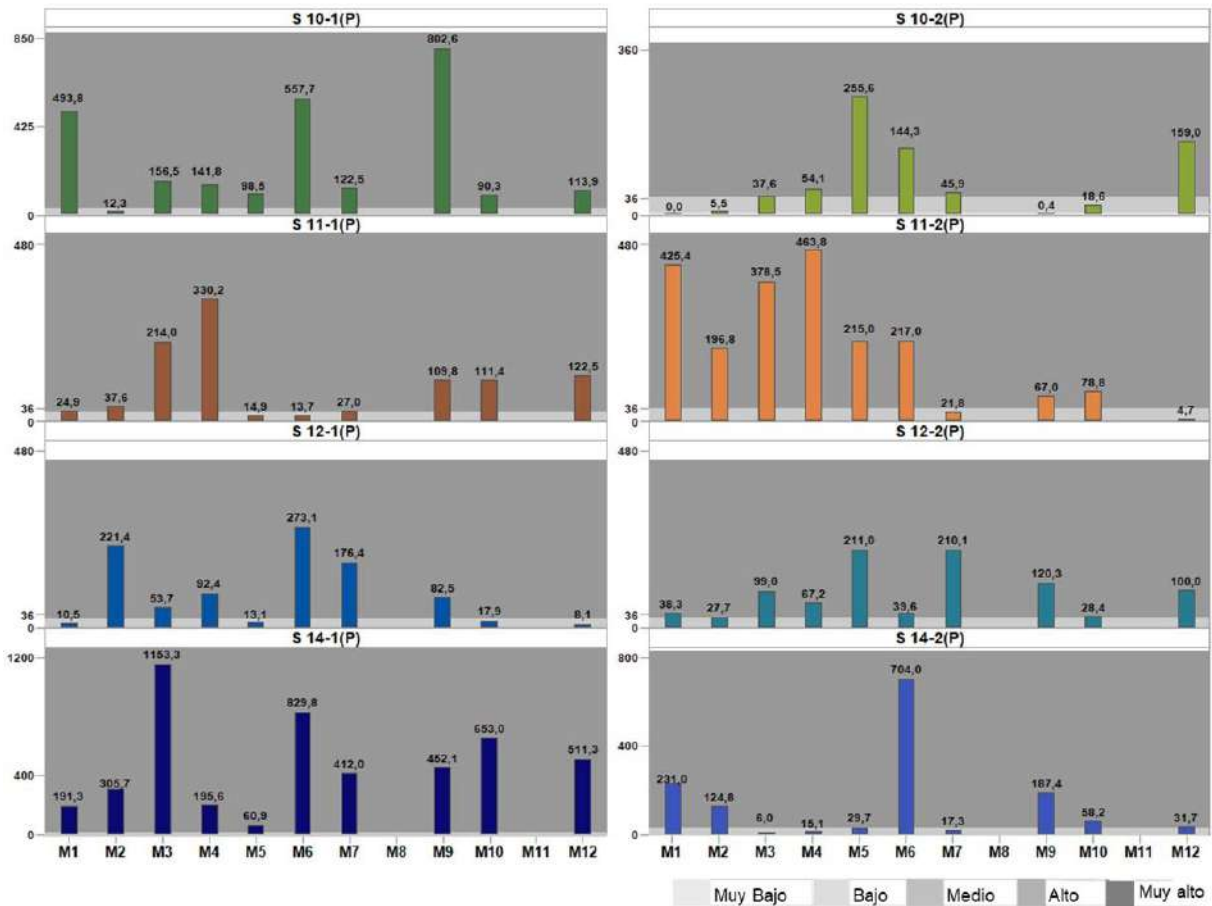
Figura N° 13-46: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Peine**, al igual que en **La Punta-La Brava**, la velocidad de infiltración del agua en el perfil de suelo es muy variable para el mismo punto entre monitoreos, es así como en los monitoreos M1 a M7, M10 y M12, la mayoría de los puntos presenta una permeabilidad **muy alta** y en los menos es **alta** (Figura N° 13-47). Mientras que, en M9 la permeabilidad de la mayoría de los puntos es **muy alta**, y solo en un es moderadamente **alta**.

Figura N° 13-47: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

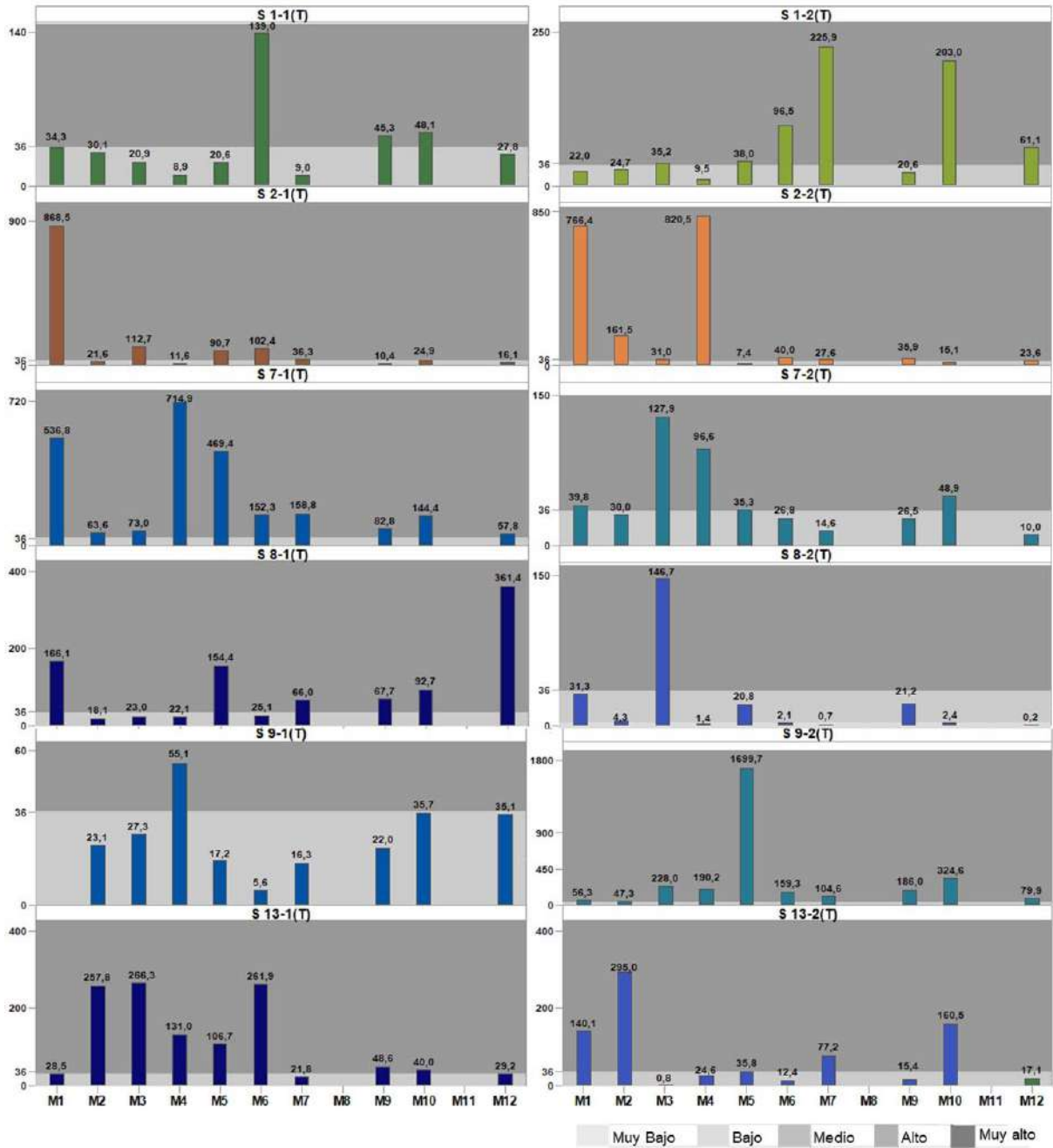
Aun cuando, se observa una gran variabilidad en los resultados de la velocidad de infiltración del agua en el sector de **Peine**, solo el punto S 14-1 mantiene la categoría (**muy alta**) para todos los monitoreos (**Figura N° 13-47**). Esta variabilidad en la velocidad es la condición esperable, la 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.

Para este sector, en los monitoreos M1, M6 y M10, la velocidad de infiltración más frecuente es **muy alta**, y en M3, M4, M5 y M7 en la mitad de los puntos ésta es **muy alta** y en los restantes **alta**, y en M2, M9 y M12 la velocidad que predomina en los suelos es **alta** (**Figura N° 13-48**).

Sector en el cual destacan también los puntos S 13-2 (M3) y S 8-2 (M4, M6, M7 y M12), cuya permeabilidad es **moderadamente alta** (Figura N° 13-48).

Figura N° 13-48: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Tal como ocurre, en **La Punta-La Brava** y **Peine**, en este último sector este parámetro presenta una gran variabilidad numérica en la velocidad de infiltración 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 la 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, comparar los resultados de los monitoreos M1 a M6 y M7 a M12. En relación al potasio no se observan cambios significativos en los valores 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° 13-49).

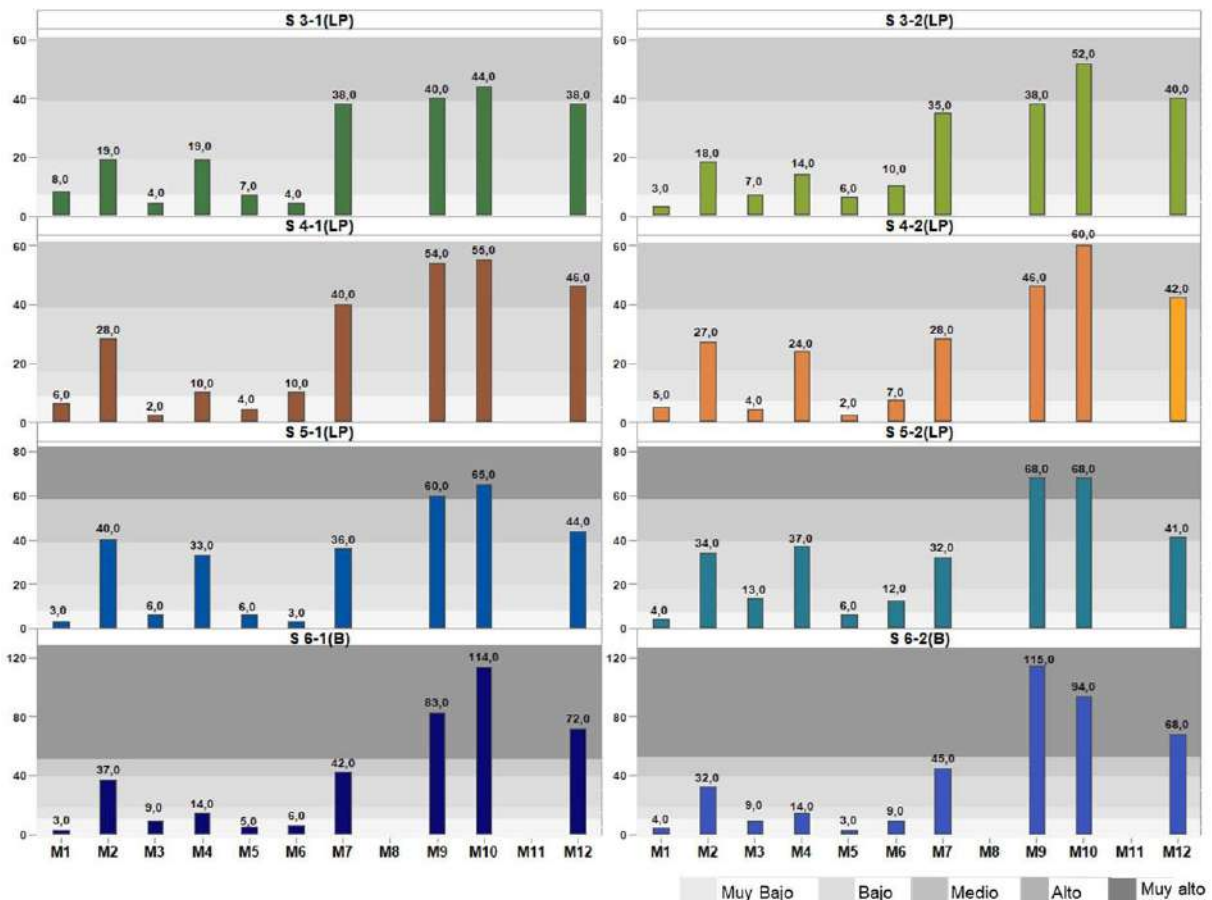
En cambio, a partir de M7 se observa un aumento en la disponibilidad de nitrógeno para todos los puntos, siendo **media** y **alta** en M7; **alta**, **muy alta** y **media** en M9, **muy alta** y **alta** en M10 y **alta**, **muy alta** y **media** en M12.

Tal como se observa en la **Figura N° 13-49**, no existe una relación clara entre la disponibilidad de este macronutriente y la estación de muestreo, ya que las menores disponibilidad se presenta tanto en algunos monitoreos invernales (M1, M3, M5) como estivales (M6) y alta en M2 y M4 (estivales).

En relación a los 4 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) presenta la totalidad de valores inferiores a las tres últimas evaluaciones.

Por lo tanto, la disponibilidad de nitrógeno estaría en función de otros factores, asociados a las características intrínsecas del suelo como también a factores ambientales, y no sólo a la estación de muestreo.

Figura N° 13-49: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, N11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, destaca el punto S 12, en el cual en la totalidad de los monitoreos la disponibilidad varía de **media** a **muy alta** y en los restantes puntos la variación tanto numérica como en categoría es amplia. Es así como en M5 la mayoría de los puntos (6) presenta una disponibilidad **muy baja** y los restantes **media**, mientras que en M3 la disponibilidad baja disminuye a 5 puntos y los restantes presentan disponibilidad **baja** y **media**.

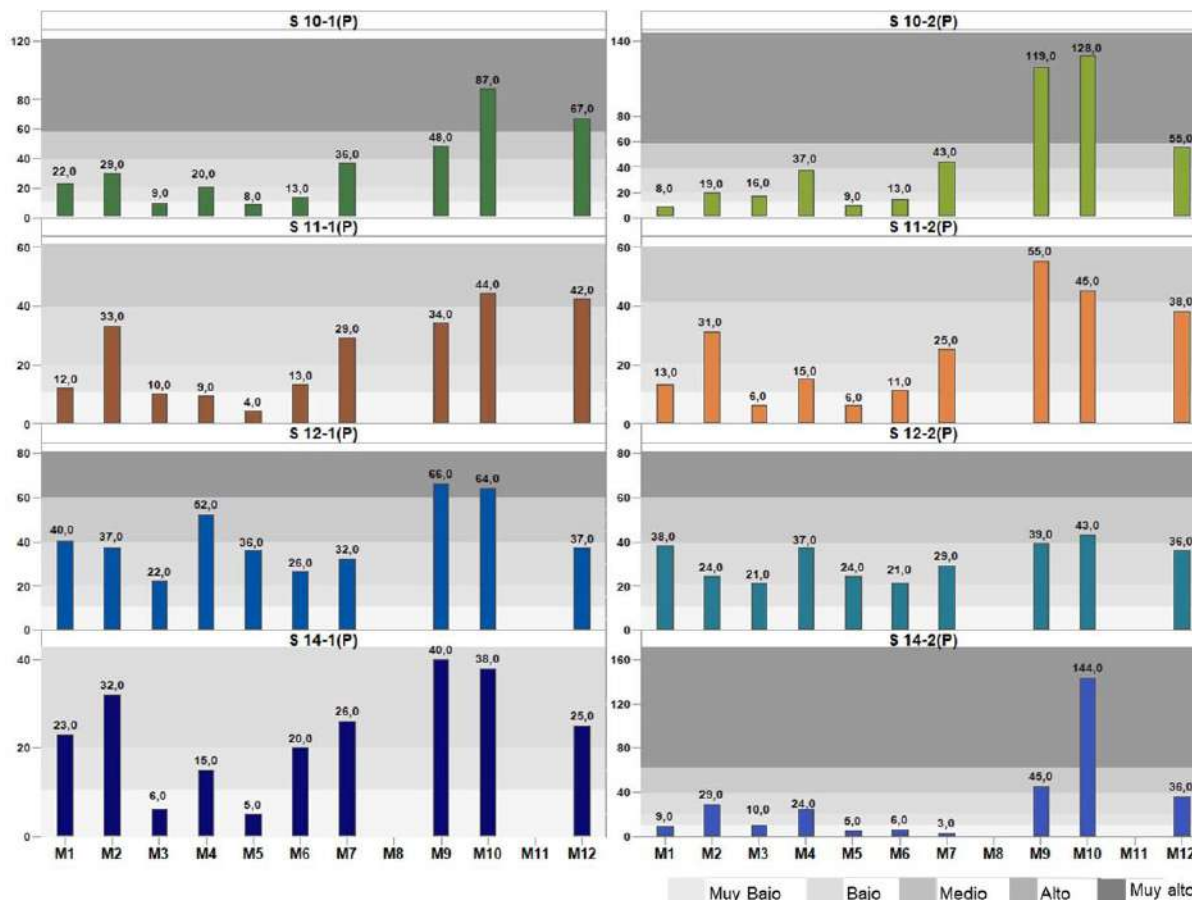
Mientras que, en los monitoreos M1, M4 y M6 se presentan las 3 categorías inferiores de disponibilidad (**muy baja**, **baja** y **media**) en un número variable de puntos, y en M2 la mayoría de los muestreos (7) presentan una disponibilidad **alta**.

Tal como ocurre en el sector de **La Punta-La Brava**, la disponibilidad determinada para M7, M9, M10 y M12 varía de **media** a **muy alta** (Figura N° 13-50), observándose una leve

disminución de la concentración en M12 respecto a las evaluaciones anteriores (M9 y M10), pero mayor a M7

Estos resultados son un indicador de que no existe una relación entre la estación del monitoreo y los valores de disponibilidad del nitrógeno en los puntos.

Figura N° 13-50: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, considerando 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 por efecto de actividades antrópicas.

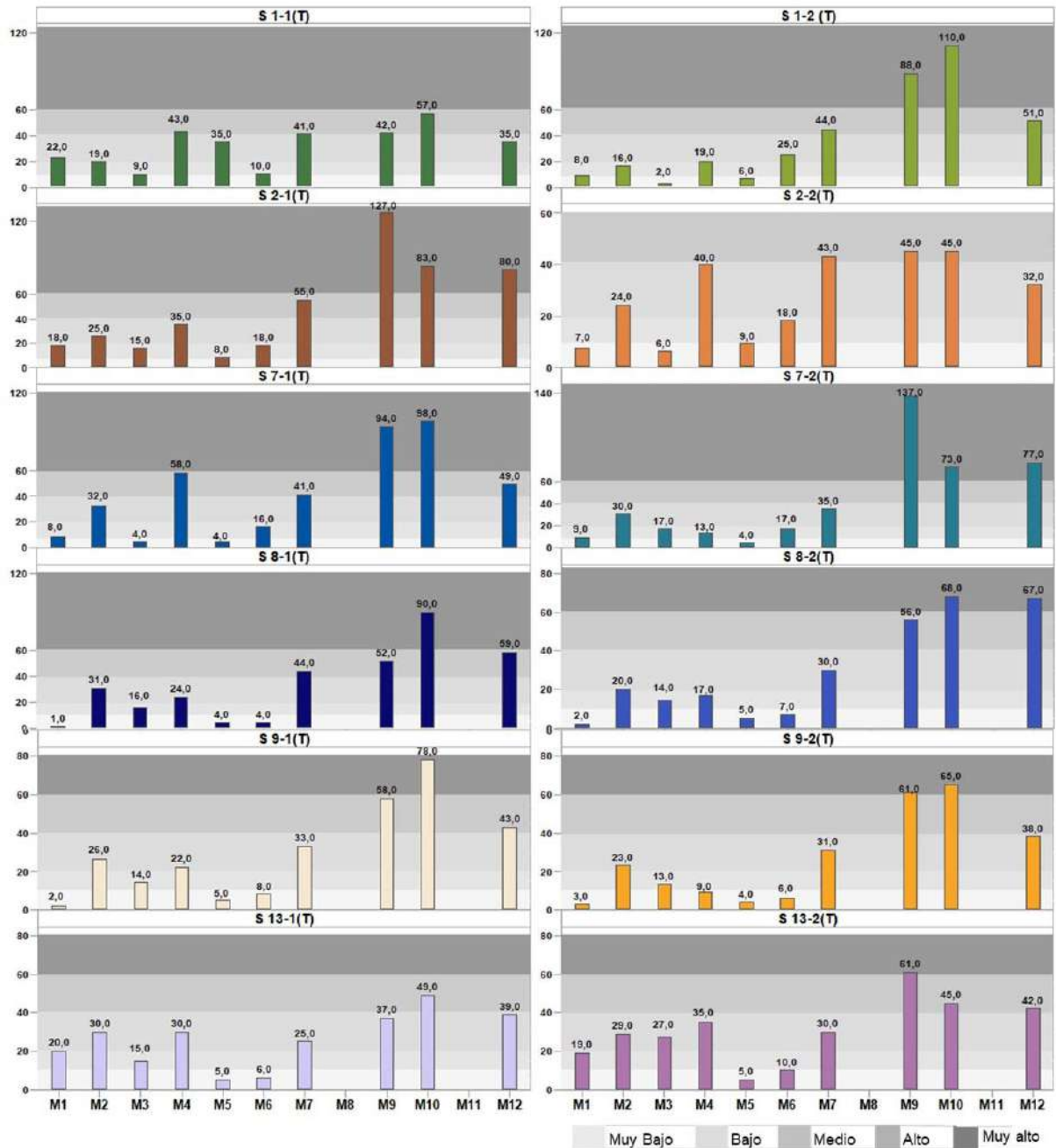
En el sector de **Tilopozo**, el nitrógeno disponible presenta una similitud en las categorías de los monitoreos M1, M3 y M6, en relación a su concentración la cual se presenta mayoritariamente en las categorías **muy baja** y **baja**, siendo muy escasa la disponibilidad **media**. En cambio, en M2 y M4 las categorías de mayor frecuencia corresponden a **media** y

baja, y sólo en M4 se presentan 2 puntos donde ésta es **alta** (**Figura N° 13-51**), y en M5 la mayoría de los puntos presenta disponibilidad **muy baja** y sólo en S 1-1 ésta es **media**.

Mientras que, en M7 la mitad de los puntos de muestreo presenta disponibilidad **alta** y los restantes **media**, monitoreo que no presenta similitud con los resultados de los otros.

En los monitoreos M9 y M10, el nitrógeno disponible se presenta en las categoría **muy alta** y **alta**, siendo muy escasos los suelos cuya disponibilidad es **media** (S 13-1, M9), ver **Figura N° 13-51**. En cambio, en M12 la variación tanto numérica como en categoría es más amplia determinándose las categorías **media** a **muy alta**, siendo completamente distinto a las restantes evaluaciones efectuadas a la fecha.

Figura N° 13-51: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. 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

en los monitoreos M7 a M12, pero aquí las categorías corresponden principalmente a **media**, **alta** y **muy alta**.

Al analizar la estacionalidad destacan los monitoreos M2 y M4 (estivales) con los mayores valores para el área de estudio y en el sector de **Peine** M6 presenta el mismo comportamiento, mientras que, en los otros sectores en este monitoreo (M6) los valores son similares a los presentados en los monitoreos estivales, y en **Peine** en M1 los resultados son similares a los presentados en los monitoreos estivales, exceptuando éste último los restantes monitoreos invernales para el área de estudio presentan principalmente las categorías muy **baja** y **baja**.

En los monitoreos M7 a M12, son similares los resultados determinados para M9 y M10 respecto a valores más altos y M7 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 misma se observa una disminución numérica respecto a M9 y M11 y levemente superior a M7.

Respecto a las variaciones entre los mismos puntos de los diferentes monitoreos, 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.

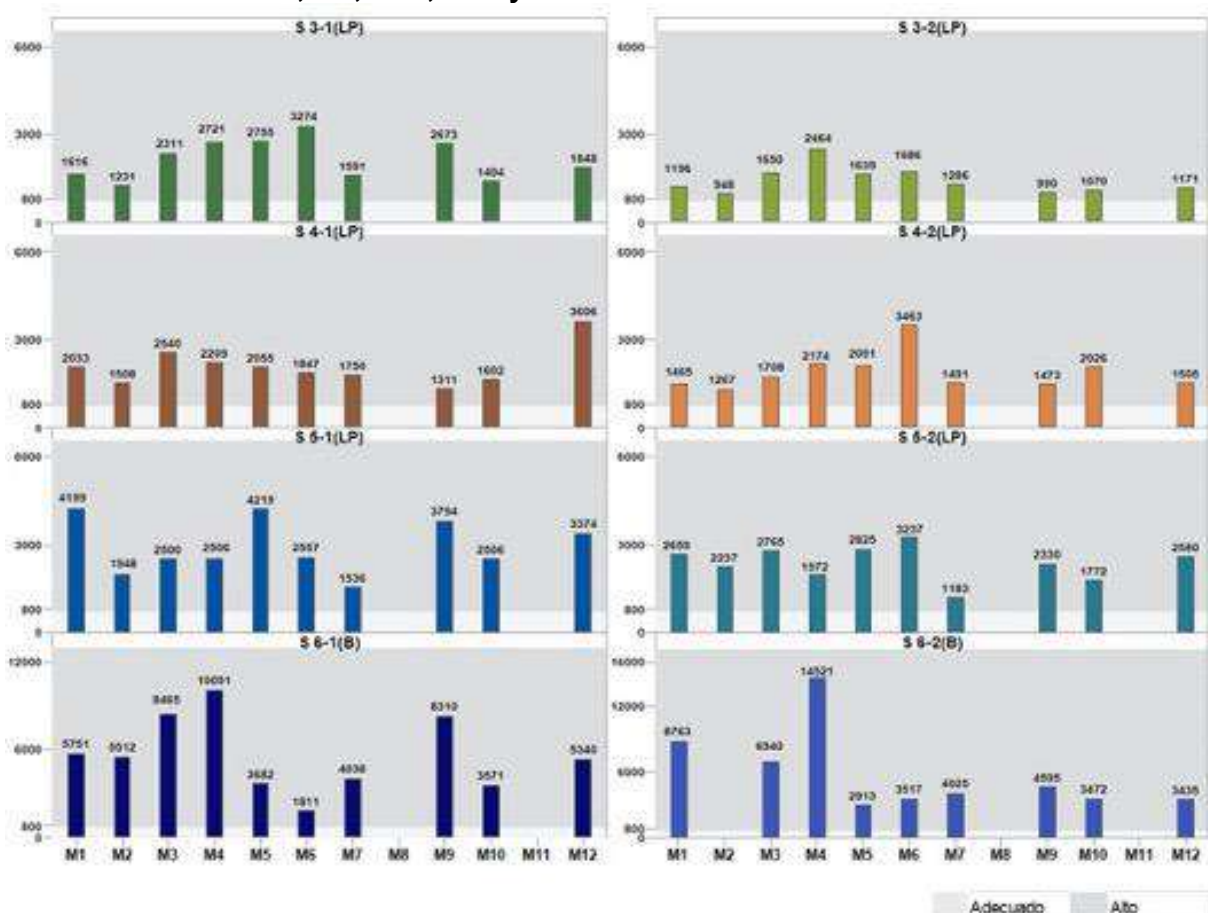
b) Potasio

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° 13-52**).

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 y M12, ver **Figura N° 13-52**. Valores que se encuentran mayoritariamente bajo los 4.000 mg/kg, siendo muy escasos los puntos donde éste es superior.

Figura N° 13-52. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2⁵⁶, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.



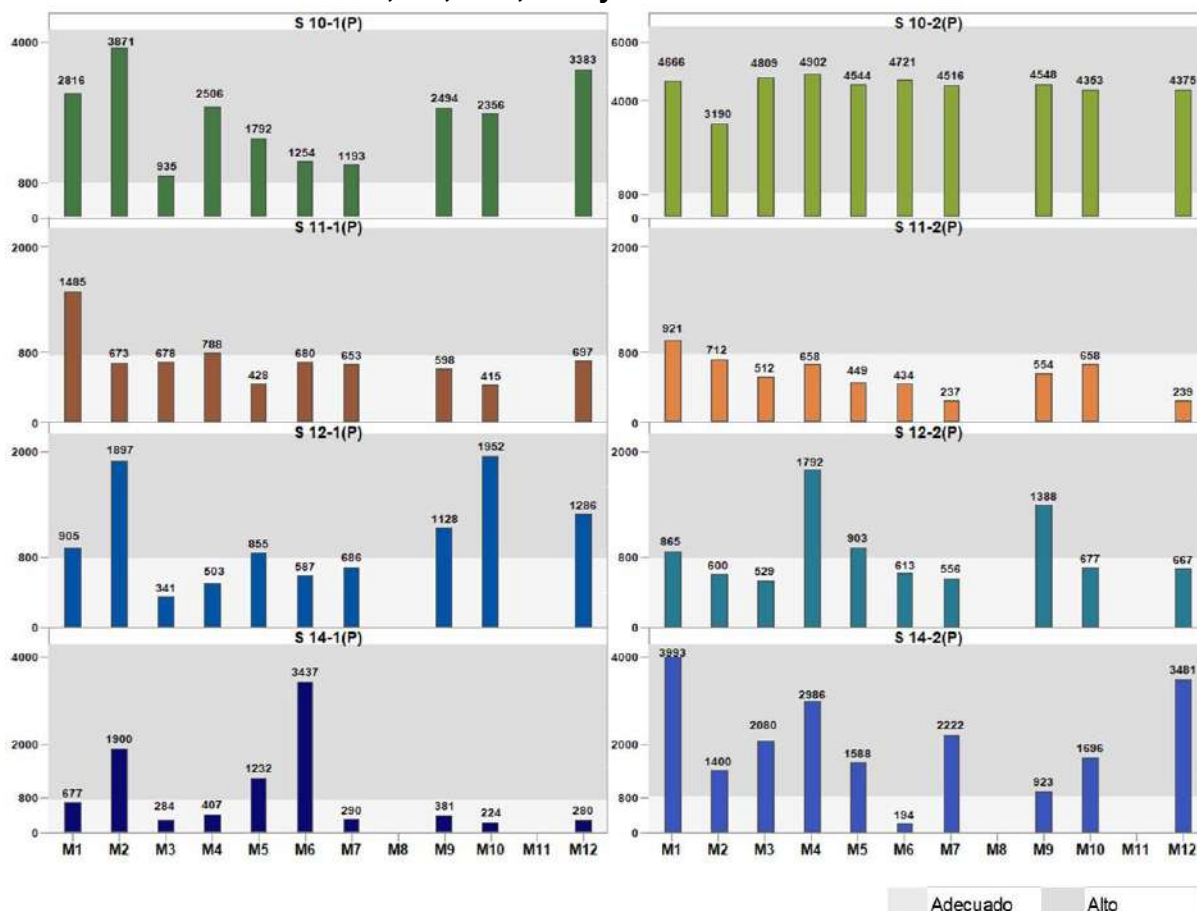
Fuente: Elaboración Propia

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 se determinó una disponibilidad **alta** y en los restantes monitoreos (M2 a M12) esta es **adecuada**.

En cambio, en S 10-1 y S 10-2 en la totalidad de los puntos, para todos los monitoreos el potasio es **alto**, igual situación se presenta en S 14-2, excepto para M6 donde este es **adecuado** (Figura N° 13-53).

⁵⁶ En el monitoreo M2, debido a problemas en el procesamiento de las muestras el material no fue lo suficiente para realizar este análisis.

Figura N° 13-53: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.

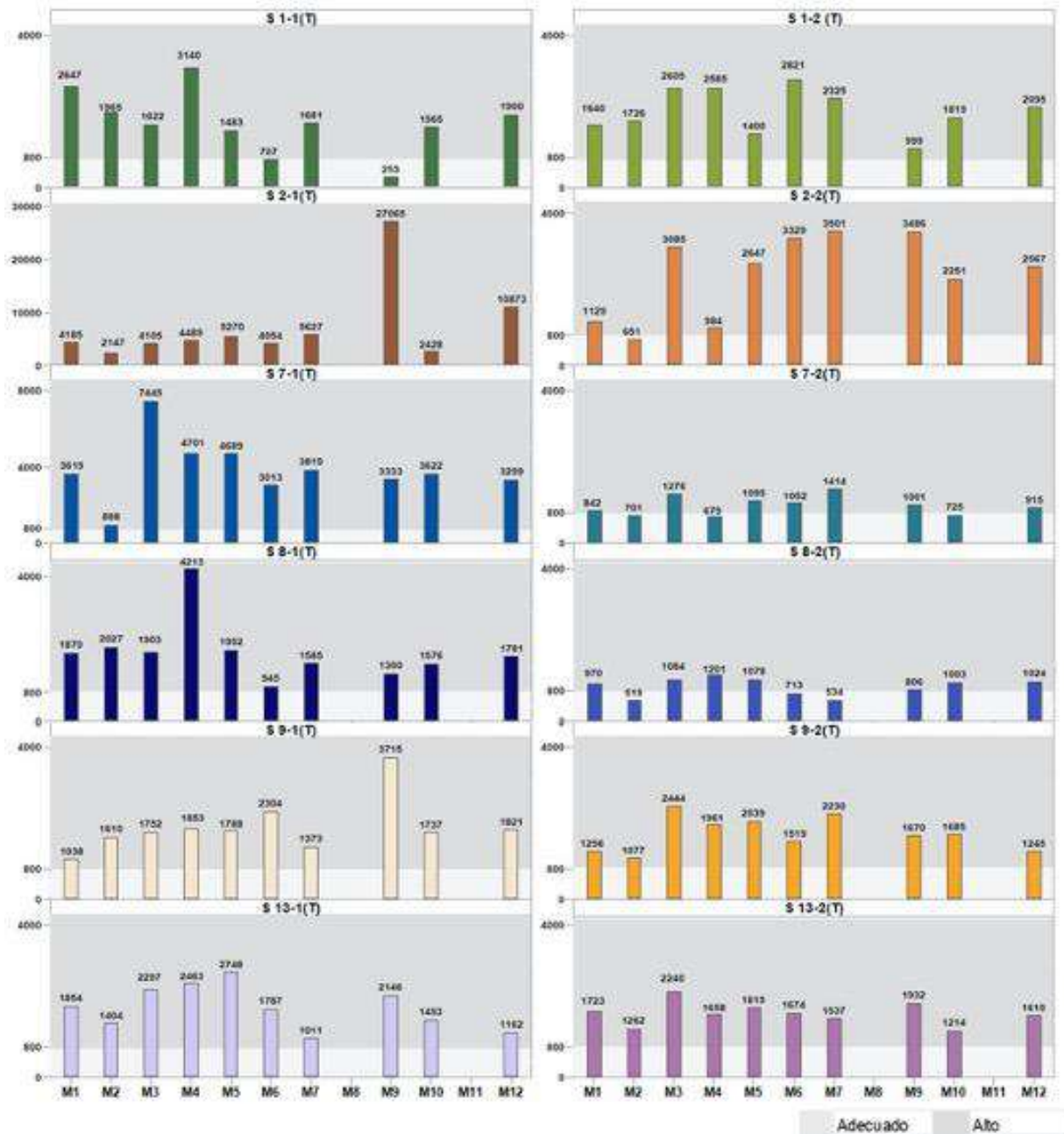


Fuente: Elaboración Propia

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° 13-54**), observándose fluctuaciones en la concentración de los mismos puntos, para las diferentes evaluaciones.

Figura N° 13-54: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Tilopozo**, los resultados para los diferentes monitoreos no presentan una relación directa entre ellos y los valores de los mismos puntos de muestreo para las distintas evaluaciones (**Figura N° 13-54**). Sin embargo, no se observa un cambio de categoría en la mayoría de los puntos, lo cual se produce sólo en un reducido número de puntos 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, 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 dado los diferentes tipos de materiales que los constituyen.

c) Fósforo

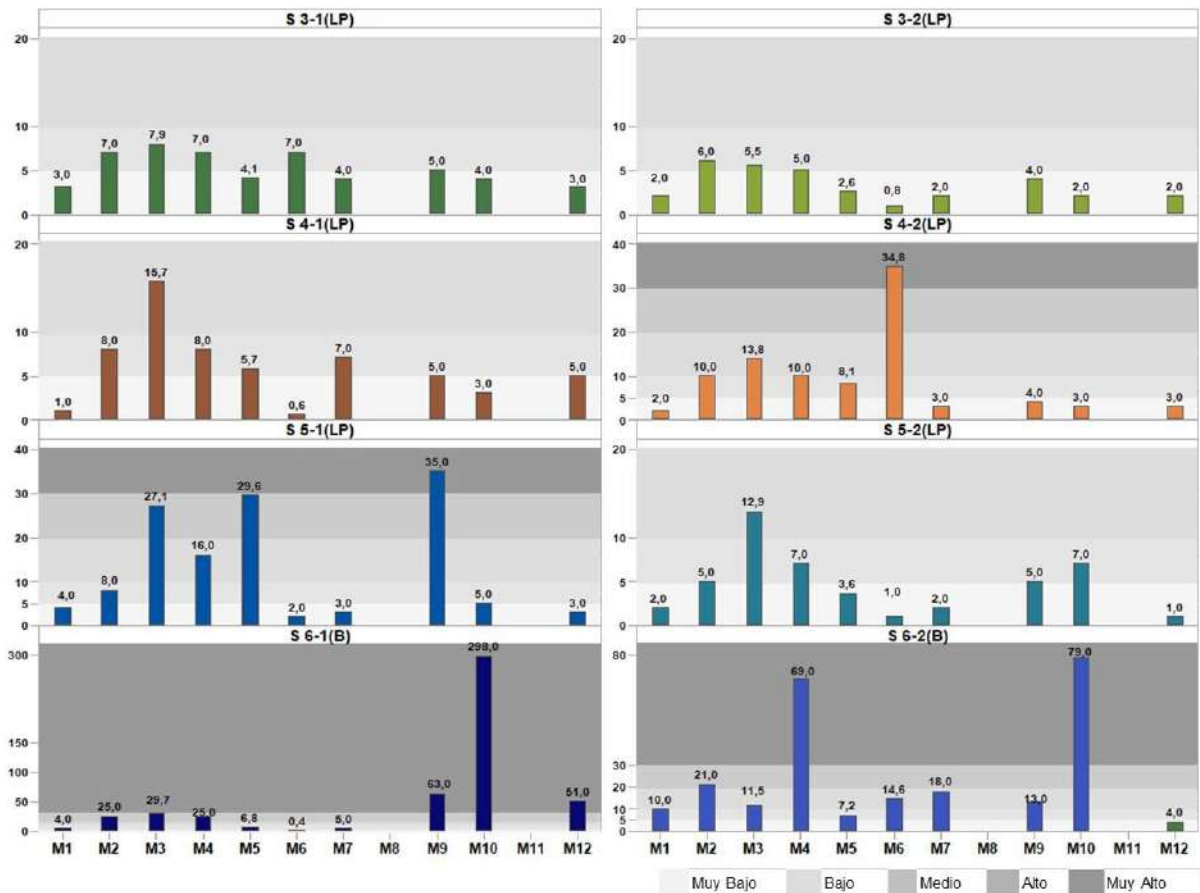
Para el área de estudio y considerando la totalidad de los monitoreos se observa que los suelos de disponibilidad **muy baja** son los de mayor frecuencia, posteriormente los **bajo** y **medio**, y los suelos de disponibilidad **alta** y **muy alta** son los menos frecuentes.

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 en 5 del total de puntos, donde la concentración de fósforo es similar e incluso inferior a M1 (**Figura N° 13-55**), luego iniciar nuevamente un aumento a partir de M7 y en esto 4 últimos monitoreos los valores son superiores o iguales a M1.

En términos de la categoría que presenta el fósforo disponible para los puntos en los diferentes monitoreos, tanto en M1 como M6, M7, M9, M10, M12 en la mayoría de los puntos, el fósforo disponible se encuentra en la categoría **muy baja**, en las restantes evaluaciones la disponibilidad de potasio varía de **muy baja** a **muy alta**, siendo mayoritariamente **baja** y **media** (**Figura N° 13-55**).

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° 13-55**). 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° 13-55: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.

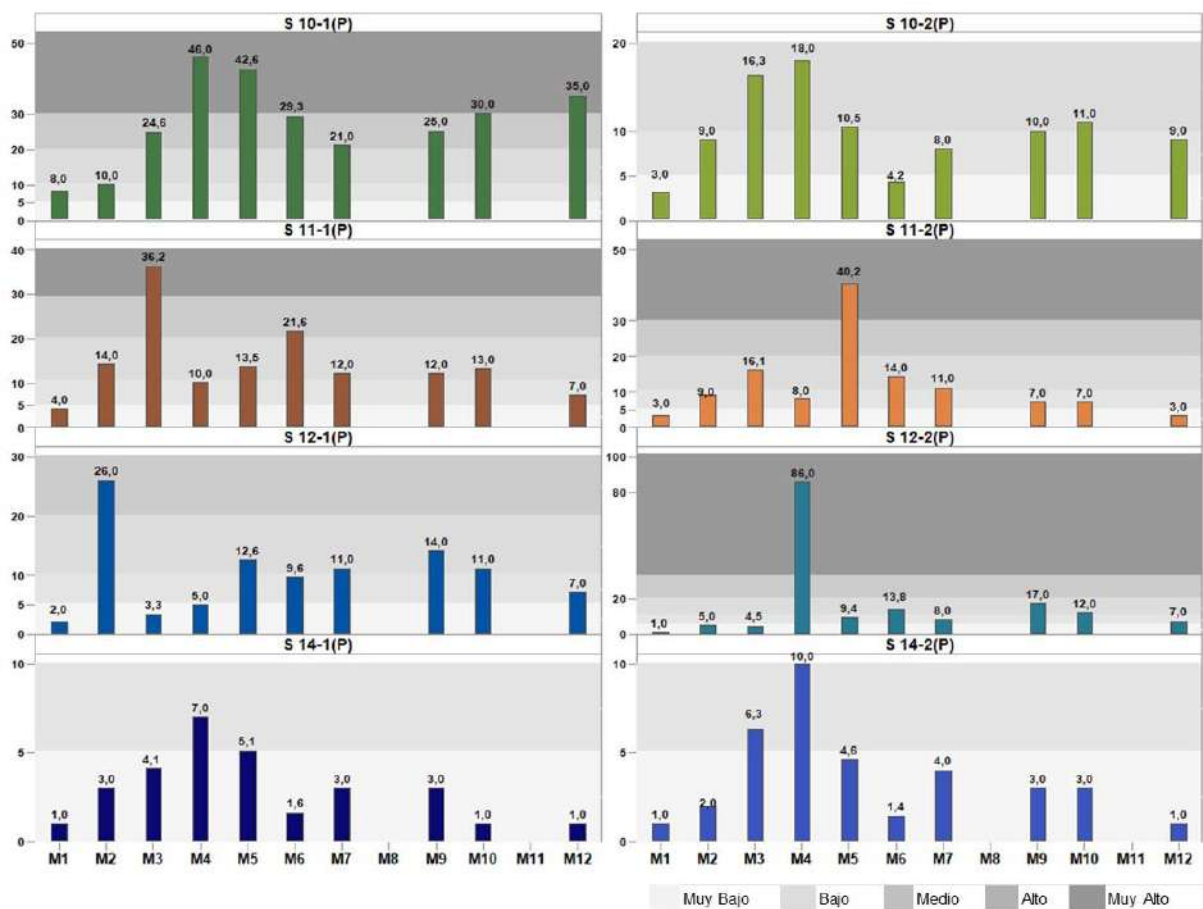


Fuente: Elaboración Propia

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° 13-56**). En todos ellos se observan variaciones numéricas en la concentración de este macronutriente, para los mismos puntos entre los diferentes monitoreos.

En este sector destaca el punto S 10-1, el cual en la mayoría de las evaluaciones (M1, M5 a M12) presentó la mayor disponibilidad de potasio y en los restantes monitoreos ocupa el segundo o tercer lugar. Otro punto a destacar es el S 14, el cual a partir de M6, presenta la menor disponibilidad del sector, siendo esta **muy baja**. En los restantes puntos las concentraciones son variables y sólo en algunos la categoría se mantiene por 2 o 3 monitoreos continuos.

Figura N° 13-56: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

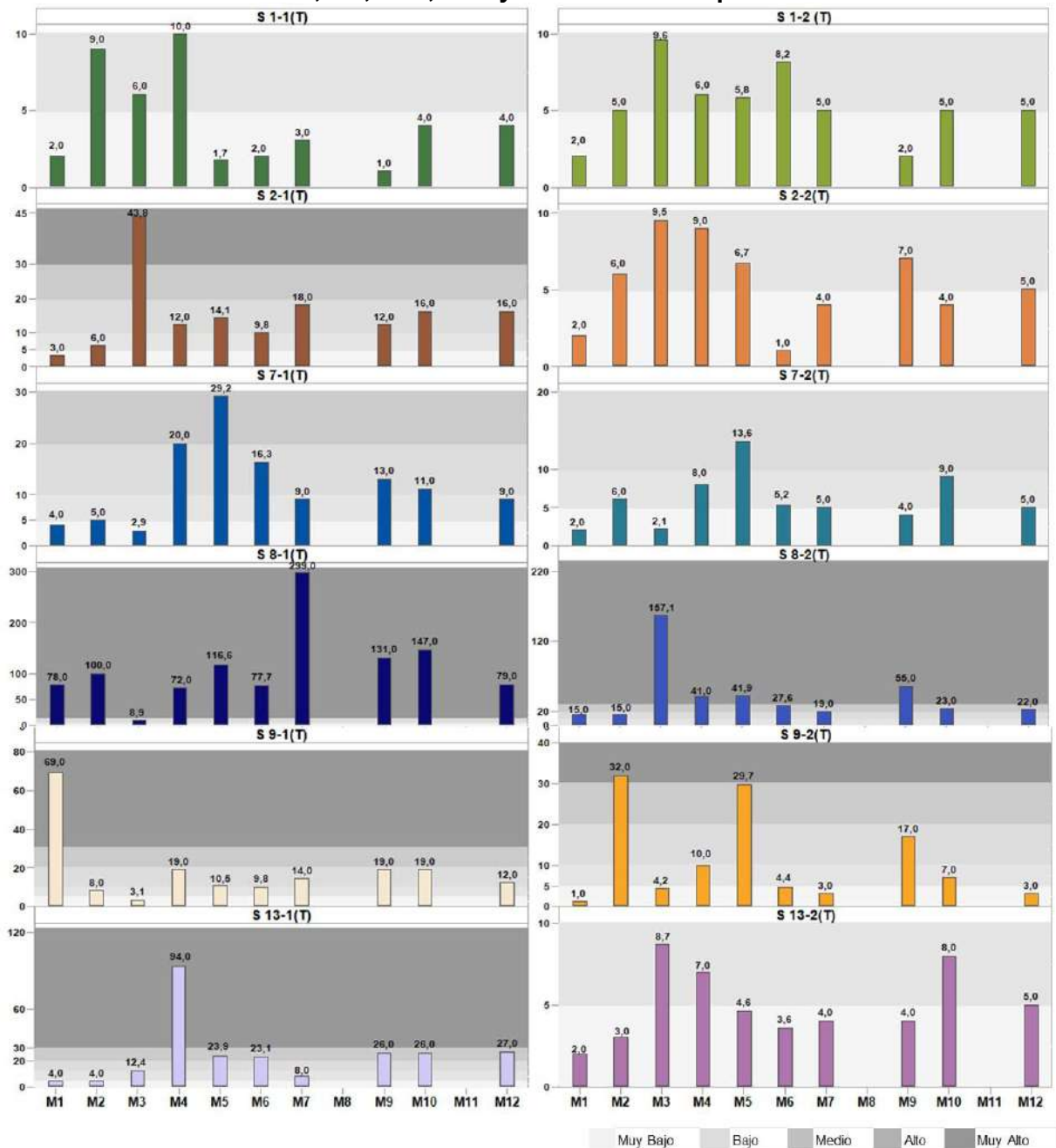
En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la concentración de fósforo a partir de M2 a M12, en estos las concentraciones son casi siempre mayores a los determinados para M1 (**Figura N° 13-57**) en los cuales las categorías dominantes son **muy baja**, **baja** y **media**, excepto para los puntos S 8-1 y S 8-2 donde la categoría más frecuente es **muy alta** y en general, las categorías de fósforo disponible son más similares para los monitoreos M4, M5, M9, M10 y M12, como también entre M2 y M7, misma condición se presenta para M3 y M6.

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 M12, y la **muy alta** está presente en todos los monitoreos, pero en un reducido número de puntos, ver **Figura N° 13-57**.

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 (Figura N° 13-57). 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° 13-57: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En el área de estudio, no existe una relación directa entre de los resultados para los mismos puntos entre monitoreos 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.

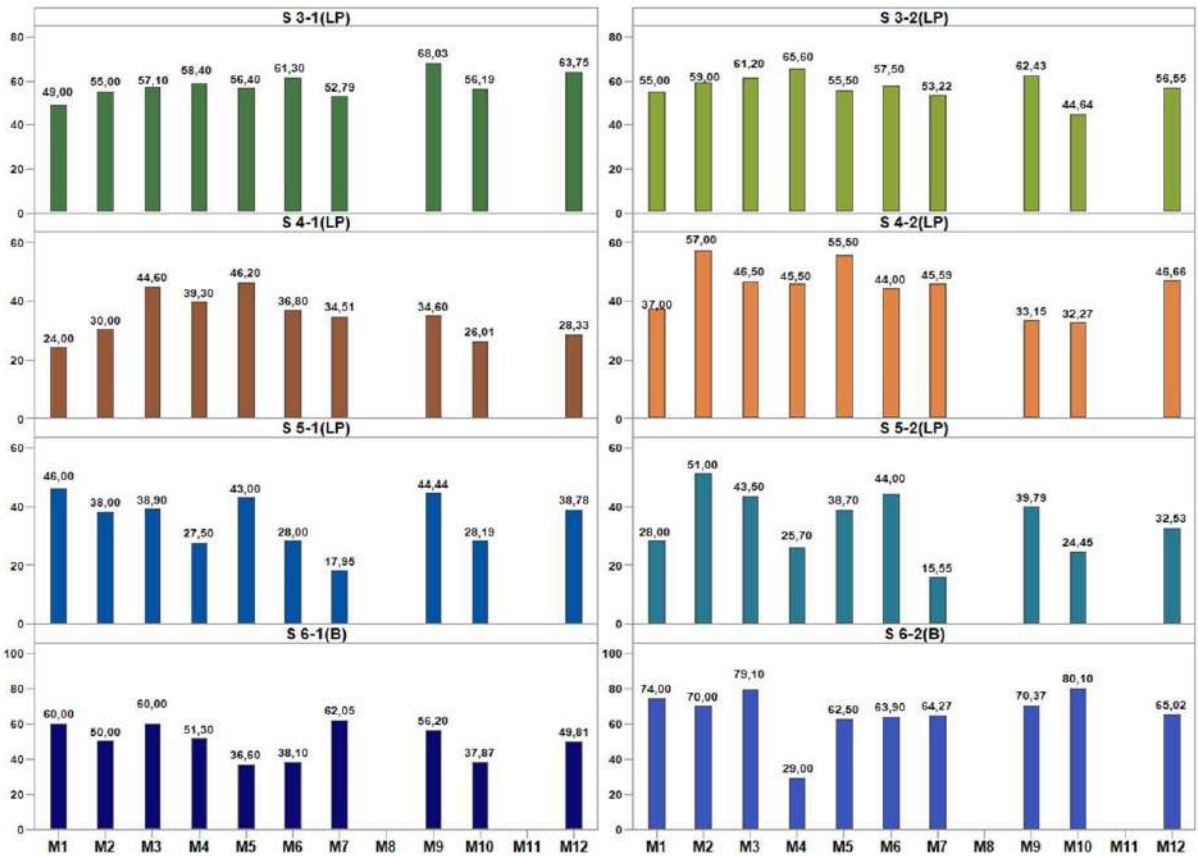
La condición heterogénea de los materiales que constituyen los suelos y su accionar sobre los otros factores, explicaría las variaciones en la concentración de los mismos puntos para los diferentes monitoreos, indicando además que no existen actividades antrópicas locales, que afecten la concentración del fósforo.

13.4.2.7 Humedad

En general y considerando todos los monitoreos (M1 a M12) 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, 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° 13-58**.

Figura N° 13-58: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector La Punta-La Brava.

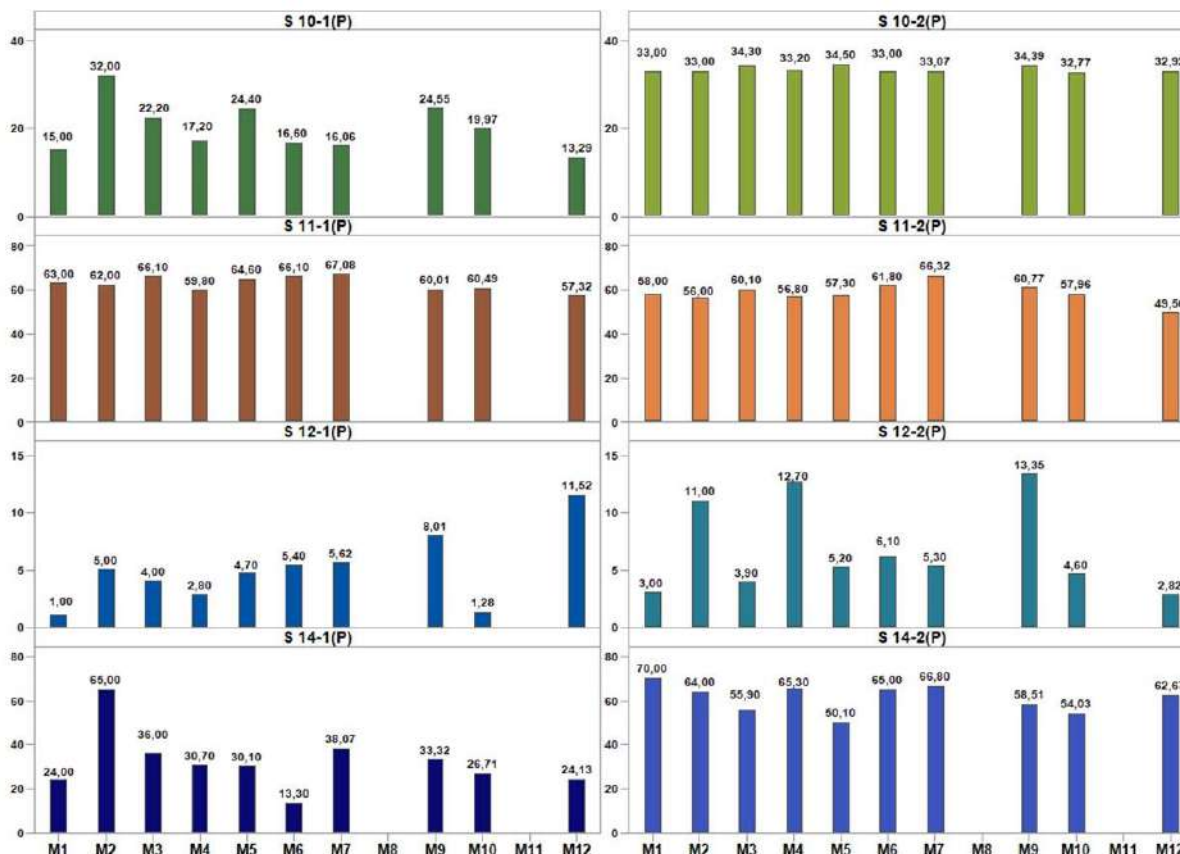


Fuente: Elaboración Propia

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 25%, excepto en el punto S 3-1 (18,1%), lo que determina una gran variabilidad.

Para el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos de todos los monitoreos (invernales y estivales), la humedad presenta un comportamiento similar en términos de porcentajes altos y bajos de humedad, los cuales corresponden en general a los mismos puntos (**Figura N° 13-59**), no existiendo una relación entre la estacionalidad y el contenido de humedad.

Figura N° 13-59: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

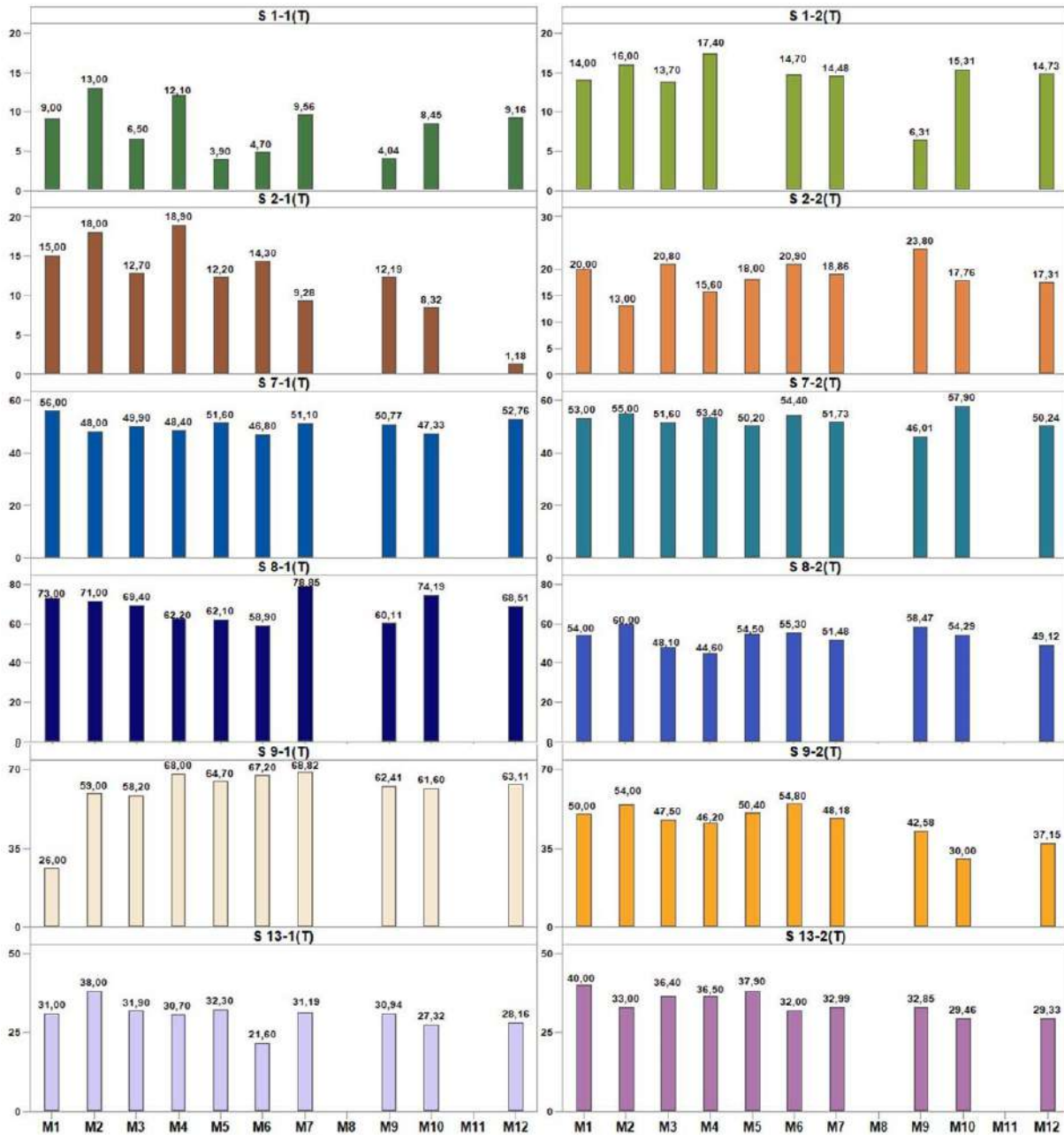
Para este sector se observa cambios en el contenido de humedad en la totalidad los puntos entre monitoreos, en 5 del total la diferencia del contenido de humedad entre el máximo y mínimo es superior a 25%, y en los tres restantes ésta es inferior a 10% (S 10-2, S 11-1 y S 11-2).

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° 13-60**), 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.

Otro punto con bajo contenido de humedad, respecto al resto es 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 y los restantes puntos de muestreo, en su mayoría presentan porcentaje altos de humedad.

Tal como se observa en la **Figura N° 13-60**, 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, son los mismos para todos los monitoreos, indicando estabilidad del sistema en este sector a lo largo de los monitoreos.

Figura N° 13-60: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la diferencia del contenido de humedad entre el valor máximo y mínimo para un mismo punto en todos los monitoreos, en 11 muestreos es superior a 15% y en uno (S 7-1) es inferior a 10%, lo que implica una gran variabilidad, pero es lo normal en el área.

En términos generales, para el área estudio 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.

13.4.2.8 Textura

En el sector de **La Punta-La Brava**, se definieron 4 textura con 5 clases texturales, correspondiendo a media (**franca** y **franco limosa**), moderadamente gruesa (**franco arenosa**), gruesa (**areno francosa**) 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 6 texturas con 10 clase texturales, correspondiendo a muy fina (**arcillosa**), moderadamente fina (**franco arcillosa**, **franco arcillo limosa** y **franco arcillo arenosa**), media (**franca**, **limosa** y **franco limosa**), moderadamente gruesa (**franco arenosa**), gruesa (**areno francosa**) y muy gruesa (**arenosa**), ver detalle en **Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

En **Tilopozo**, se definieron 5 texturas con 8 clase texturales, siendo estas: 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° 13-61**, se indica la profundidad medida del nivel freático desde la superficie del suelo a lo largo de los monitoreos realizados.

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° 13-47: Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12.

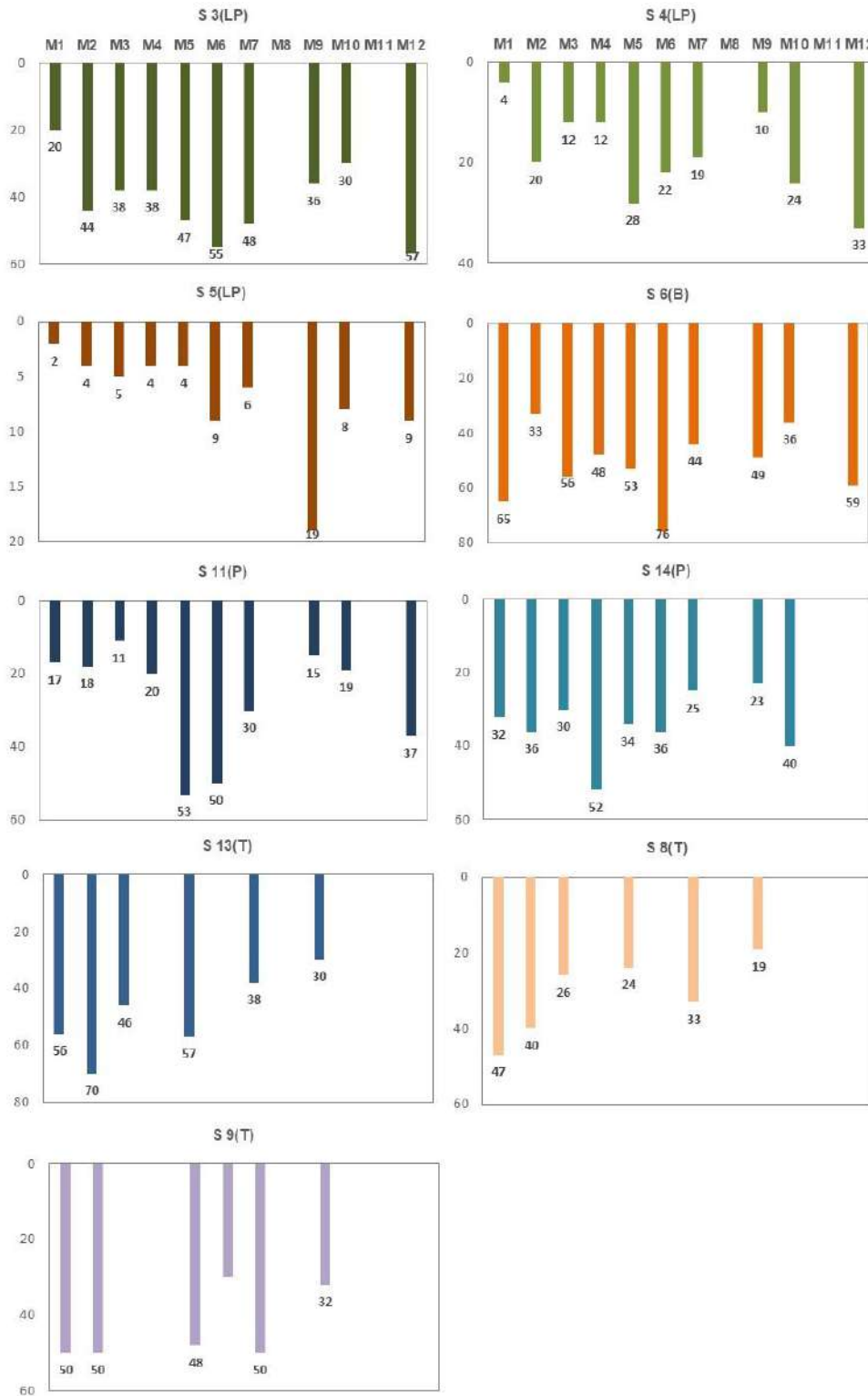
Sector	ID punto de muestreo final de suelo	Nivel freático (cm)											
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
La Punta	S 3	20	44	38	38	47	55	48	---	36	30	---	57
La Punta	S 4	4	20	12	12	28	22	19	---	10	24	---	33
La Punta	S 5	2	4	5	4	4	9	6	---	19	8	---	9
La Brava	S 6	65	33	56	48	53	76	44	---	49	36	---	59
Peine	S 10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Peine	S 11	17	18	11	20	53	50	30	---	15	19	---	37
Peine	S 12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Peine	S 14	32	36	30	52	34	36	25	---	23	40	---	---
Tilopozo	S 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 8	47	40	26	---	24	---	33	---	19	---	---	---
Tilopozo	S 9	50	50	---	---	48	30	50	---	32	---	---	---
Tilopozo	S 13	56	70	46	---	57	---	38	---	30	---	---	---

Fuente: Elaboración Propia

En lo referente a los niveles freáticos durante el M1, se detectó en 9 puntos de muestreo nivel freático a profundidad de trabajo, este número permanece constante en M2, M5, M7 y M9 siendo siempre los mismos puntos de muestreo, número que disminuye a 8 detecciones para M3, a 7 en M6, 6 para M4 y M10, y en M12 sólo en 5 siendo el menor número de todas la evaluaciones (10) (ver, **Figura N° 13-61** y **Tabla N° 13-47**).

Respecto a la profundidad del nivel freático en el área de estudio, y tal como se aprecia en la **Figura N° 13-61**, 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° 13-61: Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo.



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), esto se genera por la presencia de una estrata fuertemente compactada que impide que el agua infiltre en profundidad en el perfil.

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 y M12) 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.

13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2021 como para el monitoreo de verano 2022, 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 2022, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9) y laguna Saladita (SA-25), no fue posible monitorearlas, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

El sistema de lagunas del Sector Peine en invierno 2021 presentó aguas con alta salinidad y conductividad, con altas concentraciones de cloruros y sulfatos, además de elevadas temperaturas acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, a pesar de ser invierno (invierno tardío en este caso). La conductividad mostró un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna, alcanzando los 37430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-11. En el caso del oxígeno disuelto se registraron valores entre 2,82 y 6,14 mg/L, disminuyendo desde laguna Salada a laguna Interna (exceptuando en I-17), 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, lo cual se relaciona con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. El Nitrógeno Total Kjeldhal mostró valores bajos con su máximo en la estación I-11 y en los casos del fósforo y el ortofosfato mostraron valores en su mayoría 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 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, alcanzando los 111.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LB-2 en verano de 2022. 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 alcalinos de pH entre 7,9 y 8,41 (este último en invierno 2021 en LP-24), esto en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. En este sistema, el oxígeno disuelto presentó concentraciones bajas, principalmente en las estaciones de La Punta y LB-1 y LB-2 de La Brava en verano 2022, lo cual se relaciona con las mayores temperaturas y salinidades registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema con menor conductividad eléctrica (max 4551 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en TB-1 en verano de 2022), salinidad y cloruro que los otros sectores de estudio y un pH entre neutro y alcalino (6,89 a 7,22), 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. Esta última estación en invierno 2021 se encontró sin agua al momento del monitoreo.

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 del PMB de la Adenda 5, 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, 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 todas las estaciones presentó características reductoras.

Los análisis granulométricos de la línea base en verano 2015 (PMB), indican que los tipos de grano medio para este sector estuvieron entre limo y arena muy gruesa con grados de selección *Muy pobremente seleccionado*, el cual corresponde a un rango menor de tamaño de grano medio a lo encontrado en los sectores estudiados en invierno 2021, los que se encontraron entre *Arena Fina* y *Grava Muy Fina*.

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, en general, dentro 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 se observó un aumento en las abundancias.

Para los invertebrados, zoobentos y zooplancton, en invierno 2021 y verano 2022, 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.

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 2021 y Verano 2022

13.5.1.1 Calidad de agua

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2021 y verano 2022 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 2022, en el Sector Peine no fue posible monitorear las estaciones S-9 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), 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 2021 y verano 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 en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros (máximo de 55018,4 mg/L en I-17 en verano 2022). La conductividad mostró un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en ambos periodos, siendo mayores los valores en verano 2022, alcanzando los 91480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17 que corresponde a una salinidad >42 g/kg (**Tabla N° 10-9** y **Tabla N° 10-32**). 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 los periodos invierno 2021 y verano 2022, incrementándose desde laguna Salada hacia laguna Interna.

Respecto a las altas temperaturas fueron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, incrementándose también desde laguna Salada hacia laguna Interna en ambos periodos (de 14,45°C a 25,78°C en invierno 2021 y desde 14,83°C a un máximo registro de 26,66°C en I-17 en verano 2022) (**Tabla N° 10-9** y **Tabla N° 10-32**). Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentaron un carácter básico de manera conservativa entre invierno 2021 y verano 2022, con un pH en general por sobre un valor de 8 (en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados) alcanzando las 8,52 unidades de pH en laguna Salada (S-5) en verano 2022. Para el caso del carbonato y la alcalinidad parcial (con la mayoría de los valores bajo el límite de detección de análisis) solo fueron altos en S-5 en verano 2022, lo que explicaría el incremento de pH básico en esa estación y temporada (**Tabla N° 10-9** y **Tabla N° 10-32**).

Referente al oxígeno disuelto en Peine, las concentraciones fueron variables, con un registro mínimo de 2,94 mg/L en I-17 (laguna Interna) en verano 2022 y un máximo de 8,7 mg/L en S-5 (laguna Salada) en invierno 2021, lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en los distintos períodos, que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Otro parámetro a considerar fue el sulfato, que registró valores relativamente altos de concentración tanto en invierno como en verano (entre 1235 y 3078 mg/L), siendo similares entre las campañas, registrándose los valores máximos en laguna Interna (I-17). Los valores de los parámetros de nitrógeno amoniacal y nitrógeno total Kjeldhal, nitrito, nitrato, fósforo y ortofosfato, fueron bajos o estuvieron en general por debajo del límite de detección en ambas campañas. Las concentraciones Clorofila en Perifiton de fueron en general altas en todas las estaciones y en ambas campañas (máximo 167,69 mg cl-a/m² en I-17 verano 2022), dado por el incremento en la actividad fotosintética (**Tabla N° 10-9** y **Tabla N° 10-32**).

Los registros obtenidos durante ambos monitoreos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, mostraron un sistema de lagunas caracterizado por aguas de alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 70616,4 mg/L en La Brava (LB-2) en verano 2022. Se observó un incremento en conductividad desde la laguna La Punta hacia La Brava, alcanzando los máximos para estos parámetros en La Brava (LB-2) en verano 2022 con 111900 µS/cm. 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 (30770 µS/cm en verano 2022) (**Tabla N° 10-10** y **Tabla N° 10-33**). 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, clasifica 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.

Se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a laguna La Punta, principalmente en invierno 2021 los cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 28,42°C en LB-2 en invierno 2021 y mínimo de 15,23 °C en LP-24 en invierno 2021) (**Tabla N° 10-10** y **Tabla N° 10-33**).

Por otra parte, las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH cercanos a un valor de 8 en la mayoría de las estaciones en ambos períodos. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados (**Tabla N° 10-10** y **Tabla N° 10-33**).

En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más bajas en verano 2022 respecto de invierno 2021 (mínimo 2,01 mg/L en LB-1 en verano 2022 y máximo 8,45 mg/L en LB-3 ambos en invierno 2021), 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) (**Tabla N° 10-10** y **Tabla N° 10-33**).

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 (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 2021 y verano 2022, corresponden a las estaciones TB-1 y TB-3, las cuales son pozas de 2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial. La estación TB-2, que corresponde a una zona inundada de baja profundidad (pajonal hídrico) se encontró con agua superficial solo en la campaña de verano 2022. 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 de su lejanía del núcleo del

salar, donde se registraron valores menores de conductividad (entre 3929 y 4551 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (de 2 a 2,3 g/Kg), un pH neutro (6,89 a 7,22) y con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 319 y 354,8 mg/L (**Tabla N° 10-11** y **Tabla N° 10-34**).

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 24,72 y 25,5 °C) y un oxígeno disuelto que presentó concentraciones entre 3,27 y 3,84 mg/L. Cabe destacar los valores obtenidos de nitrato (máx. 4,3 mg/L en TB-3, verano 2022), Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT) (máx. 5 mg/L en TB-3, invierno 2021) y clorofila-a en Perifiton (máx. 106,26 mg/m² en TB-1, verano 2022).

Respecto de todas las estaciones de Tilopozo, según los valores registrados para Clorofila “a” 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

13.5.1.2 Calidad de sedimentos

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2021 y verano 2022 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 2022, en el Sector Peine no fue posible monitorear las estaciones S-9 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

Los resultados descritos para las estaciones del sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna), tanto para invierno 2021 como verano 2022, presentan porcentajes de materia orgánica en general sobre un 10%, con un máximo registrado de 19,08% en S-5 (laguna Salada) en verano 2022, de igual forma el contenido de carbono orgánico total (COT) tuvo un máximo de 130 g/Kg en la misma laguna y campaña. Comparativamente, la materia orgánica y COT tendieron a ser mayores en verano 2022 respecto a invierno 2021 en laguna Salada, en laguna Saladita y laguna Interna. Para el caso del nitrógeno total Kjeldahl, presentó mayores concentraciones principalmente en laguna Salada alcanzando un máximo de 14,0938 g/Kg en S-5 (verano 2022), sin embargo, los valores en las lagunas Saladita e Interna fueron mayores en invierno 2022 respecto al verano 2022. Estos 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). El contenido de fósforo en invierno 2021 correspondió a <1000 mg/Kg en todas las estaciones, mientras que en verano 2022 correspondió a <500 mg/Kg en todas las estaciones monitoreadas. Tales concentraciones corresponden a valores bajo el límite de detección (**Tabla N° 10-12 y Tabla N° 10-35**).

Cabe señalar que el potencial redox en las lagunas de Peine presentó características reductoras en todas las estaciones y en ambas campañas (invierno 2021 y verano 2022), con valores <1 mV en invierno 2021 (bajo el límite de detección) y entre -305 y -278 mV en verano 2022, 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° 10-12 y Tabla N° 10-35**).

Respecto de los análisis granulométricos del sector de Peine en invierno 2021 (**Tabla N° 10-13**), los resultados mostraron que el diámetro medio de grano obtenido, estuvo comprendido entre arena fina y arena gruesa (de 0,157 a 0,918 mm de diámetro), con un grado de selección de Pobremente seleccionado a Muy pobremente seleccionado. Tales grados de selección implican que la composición granulométrica de los sedimentos presentó varios tipos de tamaño de arena, pero principalmente arena fina a arena media en Laguna Interna y Laguna Saladita y arena gruesa de mayor diámetro en Laguna Salada. Cabe mencionar que en verano 2022 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 la Carta R145/2021 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

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 8,25% en LP-23 (invierno 2021) y 17,45% en LB-3 (verano 2022). Respecto al carbono orgánico total (COT) también se registraron valores mayores en invierno 2021 (90 a 130 g/Kg) respecto al verano 2022 (49,88 a 101,22 g/Kg), registrándose los mayores valores en LB-3 (La Brava). Por su parte, los valores de nitrógeno total Kjeldahl fueron más altos en invierno 2021 (4,86 a 12,25 g/Kg) respecto al verano 2022 (3,36 a 6,92 g/Kg), observándose una variabilidad mayor en La Brava. Respecto al fósforo total, en invierno 2021 correspondió a <1000 mg/Kg en todas las estaciones, mientras que en verano 2022 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 presentó características reductoras en todas las estaciones y en ambas campañas (invierno 2021 y verano 2022), con valores <1 mV en invierno 2021 (bajo el límite de detección) y entre -332 y -288 mV en verano 2022, conservando la condición de ambientes de características reductoras, lo cual se

relaciona con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos (**Tabla N° 10-14** y **Tabla N° 10-36**).

Respecto a la granulometría obtenida en invierno 2021 (**Tabla N° 10-15**), en laguna La Punta el diámetro medio de grano obtenido en LP-24, correspondió a *Arena Media* (0,276 mm) con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *Grava Muy Fina* (2,341 mm) en LB-2 y *Arena gruesa* (0,546 mm) en LB-3, con un grado de selección de *Muy bien seleccionado* en LB-2 y *Muy pobremente seleccionado* en LB-3. En verano 2022 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 la Carta R145/2021 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron en ambas campañas altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT) y materia orgánica, con máximos de 130 g/Kg de COT en invierno 2021 y de 17,09% de materia orgánica en verano 2022. El fósforo total por su parte alcanzó los 1100 mg/Kg en la estación TB-1 en invierno 2021 y en TB-3 en verano 2022, registrándose también concentraciones elevadas de nitrógeno total Kjeldahl en el sector, tanto en invierno 2021 como en verano 2022 (entre 9,59 y 16,37 g/Kg). Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en verano 2022 (-275 a -281 mV) y más oxidativas en verano 2022 (56,2 y 96,4 mV). Cabe mencionar que las estaciones TB-1 y TB-3 como corresponden a pozas de 2 m de profundidad, donde se favorece la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos (**Tabla N° 10-16** y **Tabla N° 10-37**).

Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo en invierno 2021 (**Tabla N° 10-17**), muestran que el diámetro medio de grano obtenido correspondió a *Arena Fina* en TB-1 (0,244 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*, mientras que en TB-3 correspondió a *Grava Muy Fina* (2,319 mm), con un grado de selección de *Bien seleccionado*. En verano 2022 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 la Carta R145/2021 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

13.5.1.3 Biota acuática

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2021 y verano 2022 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 2022, en el Sector Peine no fue posible monitorear las estaciones S-9 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

- Fitobentos

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el **Sector Peine**, presentó un mayor registro en el periodo de invierno con 21 géneros en total respecto del periodo de verano en el que se detectaron 16 géneros en total. Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna Salada e Interna en ambos periodos de monitoreo. En invierno las estaciones S-9 e I-11 presentaron la mayor riqueza con 12 géneros, mientras que, en verano la estación I-11 registró 10 géneros. Por otra parte, la menor riqueza fue observada en invierno 2021 en la laguna Saladita en la estación SA-25 con 4 géneros y en verano 2022 en la laguna Salada en S-10 con 7 géneros.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2021 y verano 2022 para el sector Peine son mostradas en la **Tabla N° 10-18** y **Tabla N° 10-38**.

La abundancia total detectada en Peine fue menor en invierno 2021 respecto de verano 2022, con 82054 cel/cm² y 346842 cel/cm² respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo estas fueron variables, en invierno 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación SA-25 ubicada en la laguna Saladita con 28950 cel/cm², mientras que, en verano 2022 se observó la mayor abundancia en la estación S-5 de la laguna Salada con 180313 cel/cm². Por el contrario, en invierno 2021 se detectó la menor abundancia en la estación S-10 de la laguna Saladita con 4832 cel/cm² y en verano 2022 en la estación I-11 de la laguna Interna con 16530 cel/cm².

Por otra parte, durante invierno 2021 el fitobentos presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en la estación I-17, ubicada en la laguna Interna. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación SA-25 y estación S-10, ambas ubicadas en la laguna Saladita. En verano 2022, en tanto, la diversidad fue mayor en las estaciones S-5 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna). Mientras que, en la estación S-5 (laguna Salada) presentó la mayor equidad y en SA-25 (laguna Saladita) se registraron los menores valores.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-2** y **Figura N° 10-14**). En invierno 2021, dominaron las diatomeas *Halamphora* y *Navicula*, en cambio, en verano 2022 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Halamphora*, *Nitzschia* y *Cocconeis*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas seguida por la clase Cyanophyceae, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2021 y verano 2022.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el sector **La Punta** y **La Brava**, presentó registros similares entre el periodo de invierno y verano con 25 y 28 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 **La Punta** y **La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 10-19** y **Tabla N° 10-39**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna La Brava en invierno 2021 y en La Punta en verano 2022. En invierno la estación LB-3 presentó la mayor riqueza con 13 géneros, mientras que, en verano la estación LP-24 registró 16 géneros. Por otra parte, en ambas lagunas específicamente en las estaciones LP-24 en invierno y en LB-2 en verano se observaron las menores riquezas, oscilando entre 5 y 7 géneros en invierno y verano respectivamente.

La abundancia total detectada en La Punta y La Brava, fue menor en el periodo de invierno 2021 respecto de verano 2022, con 21038 cel/cm² y 2108485 cel/cm² respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, se detectó la mayor abundancia en la estación LB-1 (laguna La Brava), para ambos periodos de monitoreo, con valores entre 8506 cel/cm² en invierno y de 707683 cel/cm² en verano. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-24 (laguna La Punta) en invierno con 159 cel/cm² y en la estación LB-2 (laguna La Brava) en verano con 143782 cel/cm².

Por otra parte, el fitobentos en este sector presentó, una diversidad mayor en la estación en LB-3 (laguna La Brava) en invierno y en LP-24 (laguna La Punta) en verano. En tanto, la equidad fue mayor en LP-23 (laguna La Punta) y LB-3 en invierno y en LP-24 en verano. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación LP-24 (laguna La Punta) en invierno y LB-2 (laguna La Brava) en verano. En tanto, la equidad fue menor en la estación LB-1 (laguna La Brava) en invierno y en LB-2 en verano.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron similares (**Figura N° 10-3** y **Figura N° 10-15**). En invierno 2021, dominaron las diatomeas *Denticula* y *Brachysira*, en cambio, en verano 2022 las mayores representatividades las presentaron las diatomeas *Denticula*, *Brachysira* y *Nitzschia*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, seguida de Cyanophyceae, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2021 y verano 2022.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro distinto entre el periodo de invierno y verano con 21 y 11 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° 10-20** y **Tabla N° 10-40**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo en invierno, lo presentó la estación TB-1 con 20 géneros, mientras que, en verano la estación TB-2 presentó 8 géneros. En tanto, los menores registros fueron observados en las estaciones TB-3 con 6 géneros en invierno y 5 géneros en verano.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue menor en el periodo de invierno 2021 respecto de verano 2022, con 34871 cel/cm² y 270111 cel/cm² respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2021 y verano 2022 se detectó la mayor abundancia en la estación TB-3 con valores entre 31650 cel/cm² y 111750 cel/cm² respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-1 en invierno con 3221 cel/cm² y en verano con 63861 cel/cm².

En la campaña de invierno 2021 y verano 2022, los valores de diversidad en la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-1 y para la equidad fueron mayores en TB-1 y TB-3.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-4** y **Figura N° 10-16**). En invierno, dominaron las diatomeas *Pseudostaurosira* y *Nitzschia*, en cambio, en verano las mayores representatividades las presentaron las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia* y la cianófito *Aphanocapsa*

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, seguida de Cyanophyceae presentaron la mayor representatividad en las estaciones que conforman el sector vegas de Tilopozo para la campaña invierno 2021 y verano 2022.

En general, para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) y para ambos periodos de monitoreo se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitobentos de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas). Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2021 y verano 2022, estos correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Cocconeis*, *Amphora*, *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) de estar 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 las riquezas presentaron registros más bien similares.

- Fitoplancton

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el **Sector Peine**, presentó un registro similar entre periodos de invierno y verano en el que se detectaron 11 y 13 géneros en total respectivamente. Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna Saladita e Interna en invierno y en Salada en verano. En invierno las estaciones SA-25 e I-17 presentaron la mayor riqueza con 7 géneros, mientras que, en verano la estación S-5 registró 11 géneros. Por otra parte, la menor riqueza fue observada en invierno 2021 en la laguna Interna en la estación I-11 con 2 géneros y en verano 2022 en la laguna Interna en I-11 e I-17 con 5 géneros.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2021 y verano 2022 para el sector Peine son mostradas en la **Tabla N° 10-21** y **Tabla N° 10-41**.

La abundancia total detectada en Peine fue levemente menor en el periodo de invierno 2021 respecto de verano 2022, con 242 cel/mL y 440 cel/mL respectivamente. En relación con las abundancias por estación de monitoreo fueron variables, en invierno 2021 así como en verano 2022 se detectó la mayor abundancia en la estación S-5 ubicada en la laguna Salada con 82 cel/mL y 243 cel/mL respectivamente. Por el contrario, en invierno 2021 se detectó la menor abundancia en la estación S-9 de la laguna Salada con 2 cel/mL y en verano 2022 en la estación I-17 de la laguna Interna con 24 cel/mL.

Por otra parte, durante invierno 2021 el fitoplancton presentó en este sector, una diversidad mayor en la estación I-17, de la laguna Interna, en cambio, en verano 2022 se observó en S-5 de la laguna Salada. Respecto de la equidad, los mayores registros fueron detectados en la estación S-9 (laguna Salada) en periodo de invierno y en la estación I-17 (laguna Interna) en periodo de verano. En tanto, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación I-11 ubicada en la laguna Interna para ambos periodos de monitoreo.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-5** y **Figura N° 10-17**). En invierno 2021, dominaron las diatomeas *Navicula* y *Amphora*, en cambio, en verano 2022 las mayores representatividades las presentaron las diatomeas *Navicula*, *Nitzschia* y *Cymbellonitzschia*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas seguida por la clase Cyanophyceae, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2021 y verano 2022.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el **Sector La Punta** y **La Brava**, presentó un registro diferente entre periodos siendo menor en invierno, el periodo de invierno y verano detectaron valores de 13 y 17 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 **La Punta** y **La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 10-22** y **Tabla N° 10-42**.

Los mayores valores de riqueza por estación de monitoreo fueron observados en la laguna La Brava en invierno y en verano. La estación LB-3 (laguna La Brava) presentó la mayor riqueza con 12 y 14 géneros en invierno y verano respectivamente. Por otra parte, en la laguna La Punta específicamente en la estación LP-23 se observaron las menores riquezas con 3 géneros en invierno y en verano en LP-24 de la laguna La Punta con 5 géneros.

En relación con la abundancia total detectada en La Punta y La Brava, se observaron mayores registros de abundancia en la laguna La Punta y en la laguna La Brava en periodo de verano 2022 con 143 cel/mL y 529 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 93 cel/mL en invierno 2021 y 302 cel/mL en verano 2022. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-23 (laguna La Punta) en invierno con 3 cel/mL y en verano en LP-24 (La Punta) con 26 cel/mL.

Por otra parte, durante invierno 2021 y verano 2022, el fitoplancton presentó en este sector, una diversidad mayor en invierno y verano en la estación LB-3 (La Brava). En tanto, la mayor equidad fue observada en LP-23 (La Punta) en invierno y en la estación LB-1 (La Brava) en verano. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación LB-1 (La Brava) en invierno y en las estaciones LP-24 (La Punta) para la diversidad y LB-3 (La Brava) para la equidad en periodo de verano.

En la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-6** y **Figura N° 10-18**). En invierno 2021, dominaron la clorofícea *Chlamydomonas* y la cianófito *Chroococcus*, en cambio, en verano 2022 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula* y la cianófito *Oscillatoria*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, seguida de la clase Cyanophyceae, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2021 y verano 2022.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2021 y verano 2022 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro diferente entre el periodo de invierno y verano con 4 y 7 géneros en total respectivamente. Cabe señalar que, la estación TB-2 se presentó sin agua superficial en invierno 2021.

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° 10-23** y **Tabla N° 10-43**.

En invierno se registraron riquezas similares con 2 y 3 géneros en TB-1 y TB-3, mientras que, en verano se observaron entre 4, 5 y 6 géneros en TB-2, TB-3 y TB-1 respectivamente.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue menor en el periodo de invierno 2021 respecto de verano 2022, con 42 cel/mL y 495 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 valores entre 26 cel/mL y 334 cel/mL respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-3 en invierno y en TB-2 en verano con 16 cel/mL y 77 cel/mL respectivamente.

En la campaña de invierno 2021 y verano 2022, los mayores valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitoplancton fueron observados en la estación TB-3.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 10-7** y **Figura N° 10-19**). En invierno 2021, dominaron la diatomea *Ulnaria* y la zygnematoficea filamentosa *Mougeotia*, en cambio, en verano 2022 las mayores representatividades la presentaron *Halamphora* y *Nitzschia*, ambas de la clase Bacillariophyceae.

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 2021 y verano 2022.

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 Cyanophyceae y Zygnematophyceae. Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2021 y verano 2022, estos correspondieron a las diatomeas *Halamphora*, *Nitzschia* y *Ulnaria* (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 *Mougeotia* el cual es una microalga filamentosa y cosmopolita, determinado para el Salar de Atacama, puede 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

Al comparar la comunidad de zooplancton en el Sector **Peine**, entre invierno 2021 y verano 2022, se pudo observar que presentó en general bajas riquezas de *taxa* (1 a 4 *taxa* por estación) con el mayor valor de riqueza registrado en el periodo de invierno 2021 en la estación S-10 (laguna Saladita) (**Tabla N° 10-24** y **Tabla N° 10-44**).

Las abundancias totales en Peine durante el invierno 2021 y verano 2022 en general fueron bajas, con un registro menor de 0,15 ind/L en S-5 y el mayor de 24,55 ind/L en I-17, ambos en invierno 2021. Al comparar por estación y período, en general las abundancias totales fueron mayores en verano 2022, exceptuando por I-17, donde las abundancias totales fueron mayores en invierno 2021. Las diversidades y equidades estimadas, en general fueron bajas debido a las bajas riquezas y disimiles abundancias (**Tabla N° 10-24** y **Tabla N° 10-44**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que en invierno 2021, dominaron los copépodos *Tigriopus* sp. sobre los otros *taxa* encontrados en las lagunas Salada, Saladita e Interna, mientras que en verano 2022 dominó el branquiópodo *Artemia franciscana* en todas las estaciones del sector. Cabe mencionar que esta última especie fue más abundante en laguna Saladita en ambos períodos, principalmente verano 2022, observándose un incremento en abundancia desde laguna Salada, llegar al máximo en S-10 y decrecer en abundancia en laguna interna (**Tabla N° 10-24** y **Tabla N° 10-44**).

La comparación entre invierno 2021 y verano 2022 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 5 *taxa* en LP-23 en invierno 2021 y un mínimo de 1 taxón en LB-2 (invierno 2021) y LB-3 (verano 2022) (**Tabla N° 10-25** y **Tabla N° 10-45**).

Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron en general más bajas verano 2022 (min 2,50 ind/L y max 26,15 ind/L) respecto a las de en invierno 2021 (min 0,69 ind/L y max 140,79 ind/L). La menor abundancia total se registró en LB-3 y la mayor en LP-23, ambas en verano 2022. Al comparar por estación y período, las abundancias totales fueron mayores en invierno 2021 en laguna La Punta y mayores en verano 2022 en laguna La Brava. Las diversidades y equidades estimadas tendieron a ser mayores en verano 2022 respecto a invierno 2021, estas últimas debido a que las abundancias de los *taxa* tendieron a ser similares (**Tabla N° 10-25** y **Tabla N° 10-45**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna. En invierno 2021, el grupo dominante en laguna La Punta fue el copépodo *Boeckella poopoensis*, en las estaciones de laguna La Brava fue dominada por el copépodo *Tigriopus* sp. y de manera secundaria se registró el branquiópodo *Artemia franciscana* en ambas lagunas. Para el verano 2022, la fauna zooplanctónica en este sector estuvo dominada principalmente por *A. franciscana* (La Punta) y por los copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp. (La Brava), observándose también copépodos *Boeckella poopoensis* en La Punta (**Tabla N° 10-25** y **Tabla N° 10-45**).

El zooplancton del **Sector de Tilopozo**, en invierno de 2021 solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zooplanctónicos. Por su parte la estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo en invierno 2021. En TB-1 la riqueza total fue de 3 *taxa*, donde se encontró insectos Elmidae, gasterópodos *Heleobia* sp. y gusanos Oligoquetos en bajas abundancias, alcanzando una abundancia total de 0,37 ind/L. En la estación TB-3, ocurrieron 2 *taxa*, copépodos *Tigriopus* sp. y *Heleobia* sp., con abundancias de 0,5 ind/L respectivamente. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad fue baja en ambas estaciones, entre 0,69 y 0,84 nits/ind, mientras que la equidad tendió a ser alta (0,76 en TB-1 y 1 en TB-3), debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron similares. (**Tabla N° 10-26**). En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2022 (TB-1, TB-2 y TB-3), no se encontraron organismos zooplanctónicos.

- Zoobentos

El zoobentos del Sector **Peine** tanto en invierno 2021 como en verano 2022, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 5 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada en invierno 2021 (**Tabla N° 10-27** y **Tabla N° 10-46**).

Las abundancias totales en Peine durante el invierno 2021 y verano 2022, fueron en general bajas en las estaciones de las lagunas Saladita e Interna, registrando mínimos de 125 ind/m² en Saladita (invierno 2021), mientras que en laguna Salada tendieron a ser mayores en ambos periodos (máximo de 6500 ind/m² en S-5 en invierno 2021. En I-17, no se encontraron organismos zoobentónicos en ninguna de las dos campañas. Las diversidades estimadas fueron bajas y las equidades altas, debido a las bajas riquezas y similares abundancias. Estas se pudieron calcular solo en laguna Salada en invierno 2021, mientras que en verano 2022 en todas las estaciones muestreadas (estimación posible con 2 o más *taxa*) (**Tabla N° 10-27** y **Tabla N° 10-46**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que en laguna Salada y parte de laguna Saladita dominaron los ostrácodos de la familia Cyprididae y gasterópodos del género *Heleobia* sp., mientras que los insectos dípteros principalmente de la familia Chironomidae dominaron en laguna Interna (**Tabla N° 10-27** y **Tabla N° 10-46**).

Las abundancias totales 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 LP-23 y LB-1 (invierno 2021) y las mayores de 17125 ind/m² en LP-24 y 11875 ind/m² en LB-1 (verano 2022), estas últimas dadas por la alta abundancia del copépodo *Tigriopus* sp. Las diversidades estimadas en general fueron bajas debido a las bajas riquezas. Las equidades más altas fueron estimadas en LP-23 (0,95) en invierno 2021 y en LB-3 (0,98) en verano 2022, lo cual está dado por la similitud de sus abundancias (**Tabla N° 10-28** y **Tabla N° 10-47**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2021 y verano 2022 en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la estación y campaña. En invierno 2021 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-23, *Tigriopus* sp. en LP-24 y LB-1, dípteros Ephydriidae en LB-2 y ostrácodos Cyprididae en LB-3. (**Tabla N° 10-28** y **Tabla N° 10-47**).

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, tanto en invierno 2021 como en verano 2022, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 1 y 3 *taxa* por estación). Durante invierno 2021, en TB-1 se encontró el gasterópodo Cochliopidae *Heleobia* sp. y *Heleobia atacamensis*, este último en alta abundancia (27375 ind/m²). En la estación TB-3, ocurrió el taxón *Heleobia atacamensis* con una abundancia de 1250 ind/m². Por su parte la estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo en invierno 2021. Durante verano 2022, la fauna zoobentónica estuvo compuesta por los moluscos gasterópodos *Heleobia atacamensis*, por anfípodos *Hyaella* sp., coleópteros de la familia Elmidae y ostrácodos de la familia Cyprididae. Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 1125 y 116875 ind/m² donde se encontró en gran abundancia el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, registrándose un máximo de 116750 ind/m² en TB-3. Respecto a los índices comunitarios, solo se pudieron estimar en las estaciones donde ocurrieron 2 o más *taxa*, correspondiendo a una escasa diversidad y una bajísima equidad en TB-1 (invierno 2021) y TB-3 (verano 2022) y estimaciones bajas en TB-2 (verano 2022), esto debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron disímiles (**Tabla N° 10-29** y **Tabla N° 10-48**).

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, mientras que el sector La Punta y La Brava es alimentada por la quebrada del Tucúcaro. Ambos sistemas no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que exista una pendiente de escorrentía desde el sector Tilopozo a La Punta y La Brava la cual permita el desplazamiento de *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 2021 y verano 2022, fue de 9 especies, las que 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. Como se mencionó, en el sector Peine en la campaña de verano 2022 no fueron evaluadas las estaciones S-9 de la laguna Salada y SA-25 de la laguna Saladita, debido a que no se pudo acceder al sector por las restricciones impuestas por la comunidad de Peine. 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 el sector **Peine**, la riqueza de especies en invierno 2021 y verano 2022 fue de una especie la que correspondió a *Ruppia filifolia*, determinadas en las estaciones S-5 (invierno y verano) y S-9 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), solo en invierno.

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 entre 4 y 5 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-1, TB-2 y TB-3, *Juncus balticus* en las vegas presentes en TB-1, *Distichlis spicata* en TB-1 y TB-2 y *Baccharis* sp. en TB-1 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 y TB-2, *Distichlis spicata* en TB-1 y TB-2 y *Baccharis* sp. en TB-1 y TB-3. En la estación TB-2 fue detectada *S. californicus* (Totora), *D. spicata* y *Baccharis* sp.

Respecto de las coberturas en el sector **Peine**, en invierno 2021 se detectaron parches de *R. filifolia* en porcentajes que oscilaron entre 13% en la estación S-5 (laguna Salada) y 55% en la estación SA-25 (laguna Saladita) y se detectó la presencia del taxon en la estación S-10 (laguna Saladita). En verano 2022, en tanto, *R. filifolia* fue detectada en S-5 con un 80% de cobertura, en S-10 (laguna Saladita) solo presencia y en la estación I-11 (laguna Interna) con un 11% de cobertura.

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 2021 esta especie fue detectada en las estaciones LP-23 con 3%, LP-24 y LB-3 con 7% y en verano 2022 con una cobertura de 2% en las estaciones de la laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y de la laguna La Brava (LB-3). Respecto de las helófitas en invierno *Triglochin concinna* presentó coberturas que oscilaron entre 13% en LP-23 y 17% en LB-2 y en verano entre 12% y 33% en LP-23 y LB-2 respectivamente. *Sarcocornia fruticosa* presentó coberturas entre 48% (invierno) y 58% (verano) en la estación de la laguna La Punta LP-23 y la presencia en LP-24, en tanto no fue detectada en la laguna La Brava. Por último *P. frigida* con la presencia en la estación LP-23 en invierno 2021 y 7% en verano 2022.

Finalmente, en el sector vegas de Tilopozo, *Z. palustris* presentó coberturas de un 33% en TB-1 y TB-3 en invierno y verano respectivamente. En invierno *S. californicus* osciló entre 8% y 100% en TB-1 y TB-2, mientras que, en verano osciló entre 33% en TB-1 y TB-2. La especie *J. balticus* fue detectada en verano solo presencia. Luego en invierno *D. spicata* presentó una cobertura del 32% en TB-1, mientras que, en verano fue detectada en TB-1 con 18% de cobertura y 17% en TB-2. Por último, *Baccharis* sp. presentó un 50% de cobertura en la estación TB-3 en invierno y en verano con 8% en TB-1, 33% en TB-2 y 67% en TB-3.

13.5.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)

13.5.2.1 Calidad de agua

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° 13-62** y **Figura N° 13-63**). En los registros de calidad de agua para los inviernos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, se observa que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro tuvieron mayores valores (incluso por sobre el máximo registrado durante la LB) durante los inviernos 2017, 2019 y 2021 en las estaciones S-5, SA-25, S-10 e I-11, mientras que en la estación I-17, los máximos ocurrieron en los inviernos 2016, 2017, 2019 y 2021. En la campaña de invierno 2020 se registró la menor Conductividad para los monitoreos de invierno en este sector, para luego incrementarse nuevamente en invierno 2021. Cabe mencionar que los valores de Salinidad y concentración de Cloruro fueron menores en invierno 2018. Respecto al sulfato, este se ha mantenido bajo el límite máximo de la LB, exceptuando en los inviernos 2019, 2020 y 2021 en la estación I-17, el cual lo sobrepasó. 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, las cuales, en los años 2018, 2019 y 2020 se han observado con mayor intensidad (Boletín CIIFEN). Cabe mencionar que los valores reportados son propios de lagunas salinas e hipersalinas (Alonso y Risacher 1996; Ribera, 2016) y la gran mayoría de estos valores son menores a los reportados durante las campañas de verano (**Figura N° 13-62 A**).

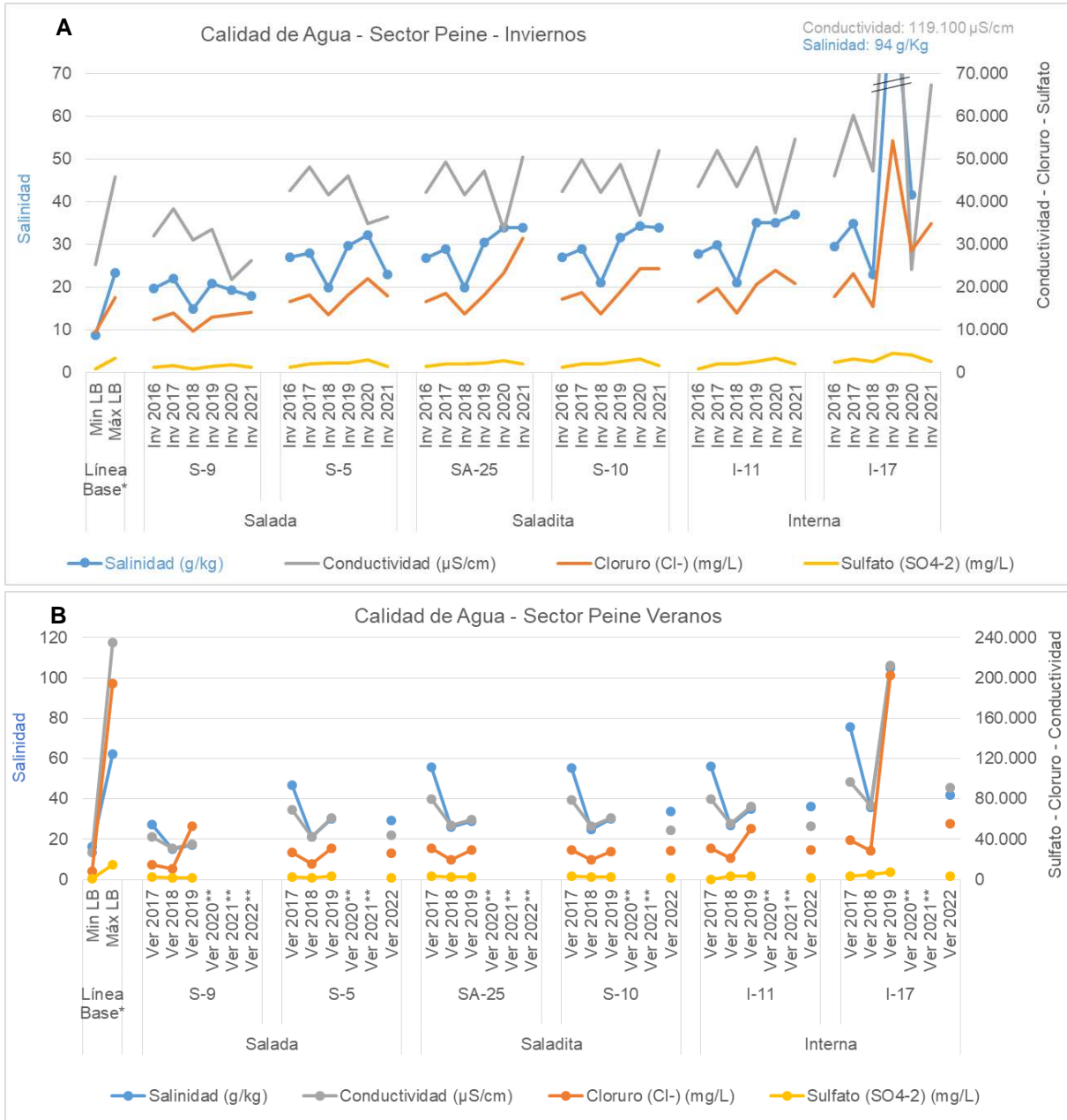
Para el análisis de la calidad de agua en las campañas de verano, se consideró la comparación de los parámetros más preponderantes para los sistemas acuáticos salinos con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la LB contemplados en el Plan de Manejo Biótico para las estaciones de verano. Para ello 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 2021, excepto en verano 2020, que no se realizó producto de la pandemia COVID-19, además de la campaña 2021 y parte de 2022 en Peine, debido a las restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine (**ver Anexo Cartas, Programaciones y Prohibiciones**).

Los registros de parámetros de calidad de agua en el **Sector de Peine** para los veranos de 2017, 2018, 2019 y 2022, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (Plan de Manejo Biótico). Sin embargo, en la estación I-17 (Laguna Interna), se registraron durante el verano 2017 y 2019 valores altos de salinidad (superiores a línea base). En esta misma estación, se observaron en verano 2019 los valores

más altos de conductividad y de cloruros en los monitoreos de verano realizados. Cabe mencionar que en verano 2022 los valores de estos parámetros volvieron a encontrarse dentro de los límites de la línea base. Los registros de sulfato se mantienen estables para todos los monitoreos y dentro de los rangos de línea base. Este sistema de lagunas se caracteriza por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad eléctrica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, que muestran la misma tendencia de incrementarse hacia laguna Interna, acordes con el tipo de sedimentos de esta zona, ricos en sulfatos y yeso, dado por la cercanía de las lagunas al núcleo del salar (**Figura N° 13-62 B**). Según el Sistema de Venecia de 1959 (*The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity*) (Ribera, 2016), el agua del sistema de Peine se encuentra entre aguas mesohalinas a hipersalinas para el periodo estudiado.

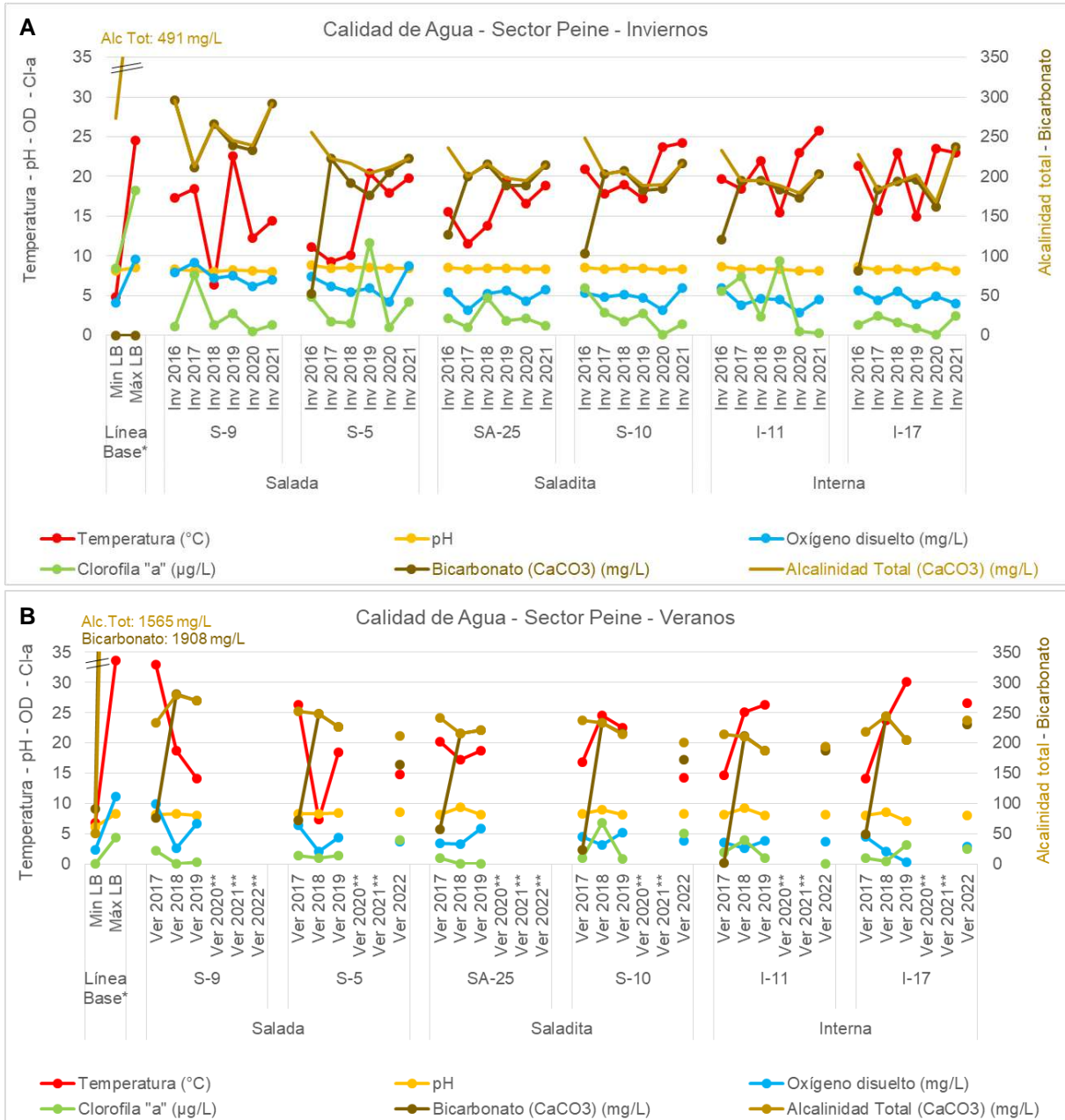
Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentan un marcado carácter básico en todas las campañas tanto de invierno como de verano, con un pH por sobre un valor de 8 en la gran mayoría de los registros, esto en concordancia con los altos valores alcalinidad total registrados (menores al límite inferior de la LB), observándose una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, con sus máximos registros para invierno en las campañas 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. Los valores más altos de alcalinidad total en verano se registraron en la campaña del 2017, dado 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. Respecto al oxígeno disuelto y la clorofila “a”, las concentraciones en general fueron bajas y en su mayoría dentro de los valores de LB para todos los veranos e inviernos. En el caso del oxígeno disuelto, se observa una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, lo cual está en coherencia con las altas salinidades y temperaturas registradas que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las variaciones en las concentraciones de clorofila “a” se relacionan con la variación en la actividad fotosintética particular de cada laguna, ya que es una medida indirecta de la productividad primaria (**Figura N° 13-63**).

Figura N° 13-62. 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 la campaña de verano 2021 y parte de la campaña de verano 2022, 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° 13-63. 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.



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 la campaña de verano 2021 y parte de la campaña de verano 2022, 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 en invierno 2021. En esta estación se han registrado valores entre 29.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (verano 2018) 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 y 2022, 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° 13-64**).

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 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 (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° 13-64**).

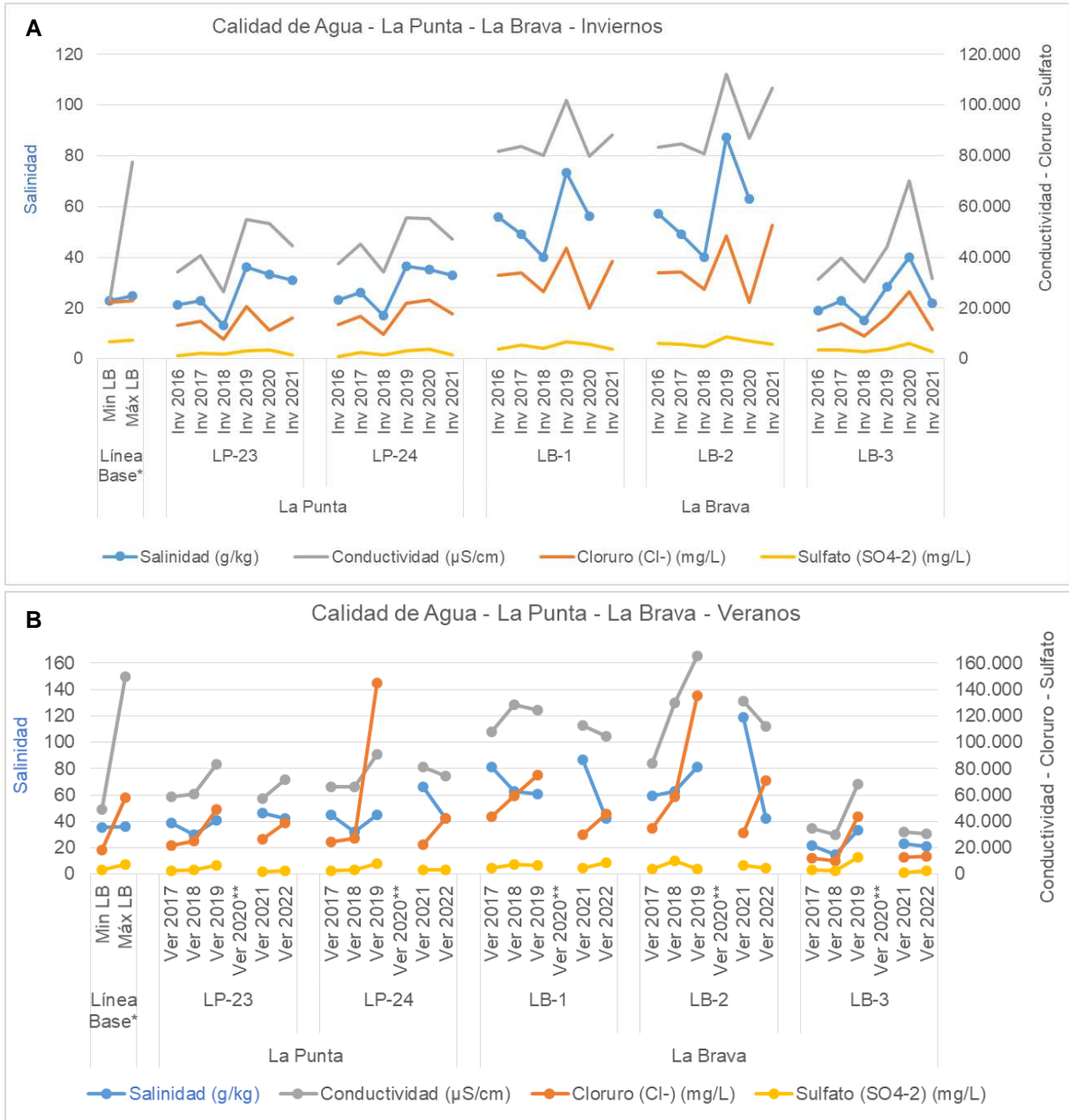
En un contexto geoquímico, cabe señalar que el Salar de Atacama comprende dos unidades principales en su territorio: un núcleo y una zona marginal. El núcleo (1.100 km² y 900 m de espesor) consiste en un haluro poroso (90%) impregnado con una salmuera de cloruro de sodio rica en litio, potasio, magnesio 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 (máximo de 31,3°C en LB-2 en verano 2017 y mínimo de 8,4°C en LP-24 en invierno 2017). 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 8,8 unidades (mayores valores en invierno 2016), esto en concordancia con los altos valores de alcalinidad total y bicarbonato, siendo los más altos registros de bicarbonato en los veranos de 2018 y 2021 en laguna La Punta y para la Brava en los veranos 2018 y 2019. 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° 13-65**).

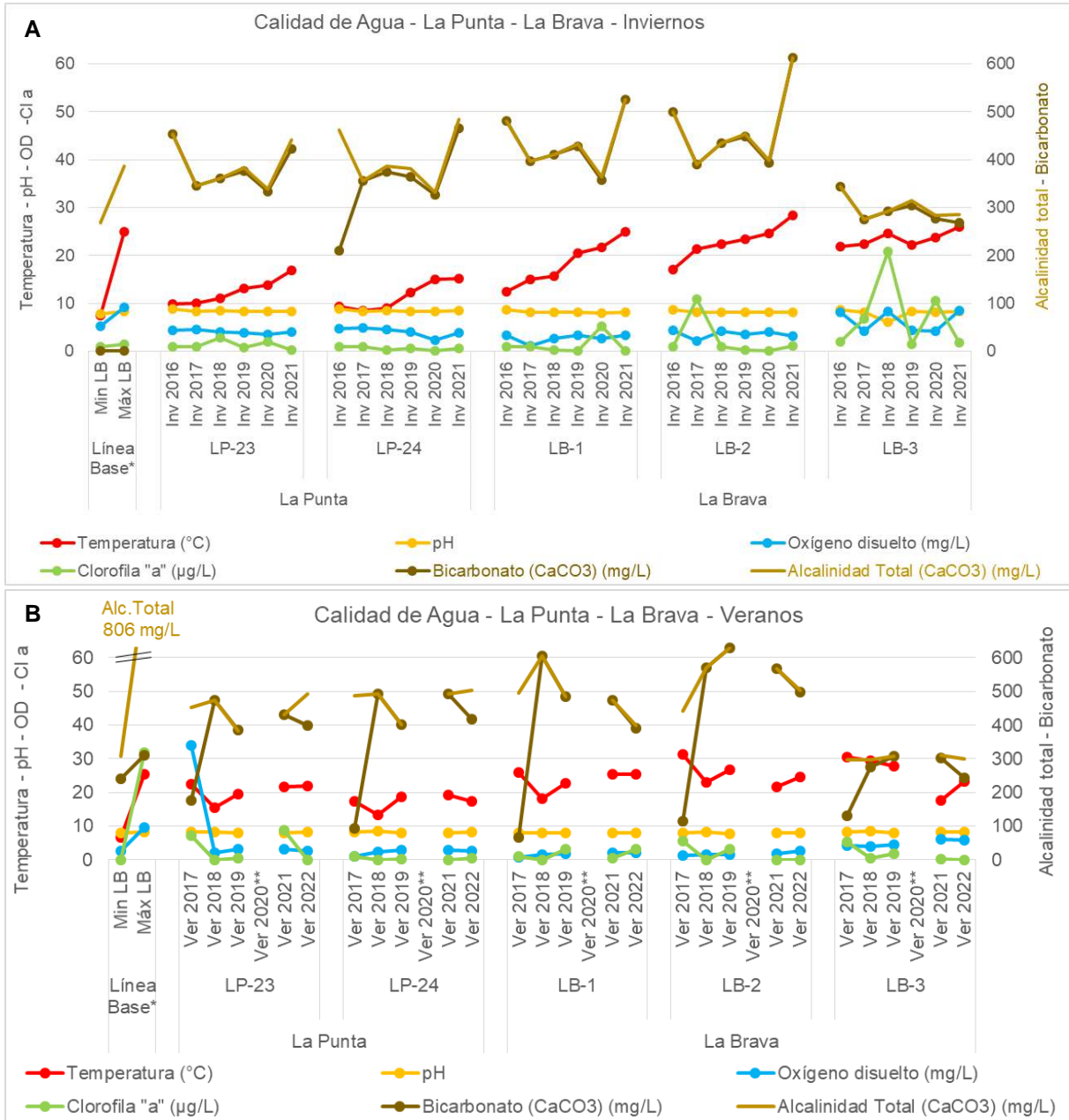
En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones comparativamente más bajas en los monitoreos de verano respecto de los de invierno, en la mayoría de las estaciones de este sistema lagunar (exceptuando por el máximo de 34 mg/L en LP-23 en verano 2017), lo cual se relaciona con las 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° 13-65**).

Figura N° 13-64. 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° 13-65. 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.



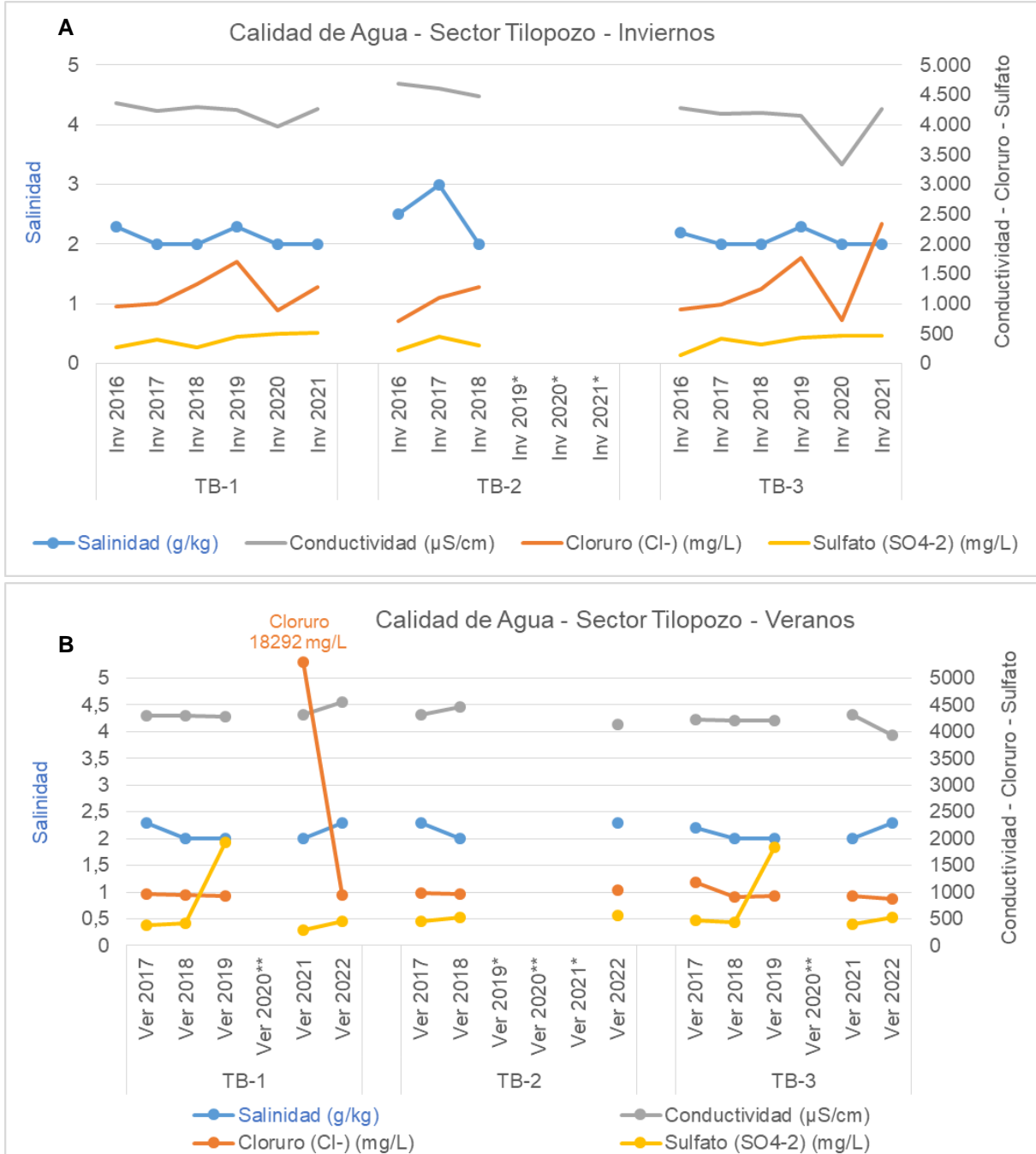
Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 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 $\mu\text{S/cm}$), 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. 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 (6,9 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° 13-66**).

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 de $6,7^{\circ}\text{C}$ en invierno 2018 y $25,7$ en invierno 2016, para estar cerca de los 25° en verano 2022. 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 aproximadamente de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad.

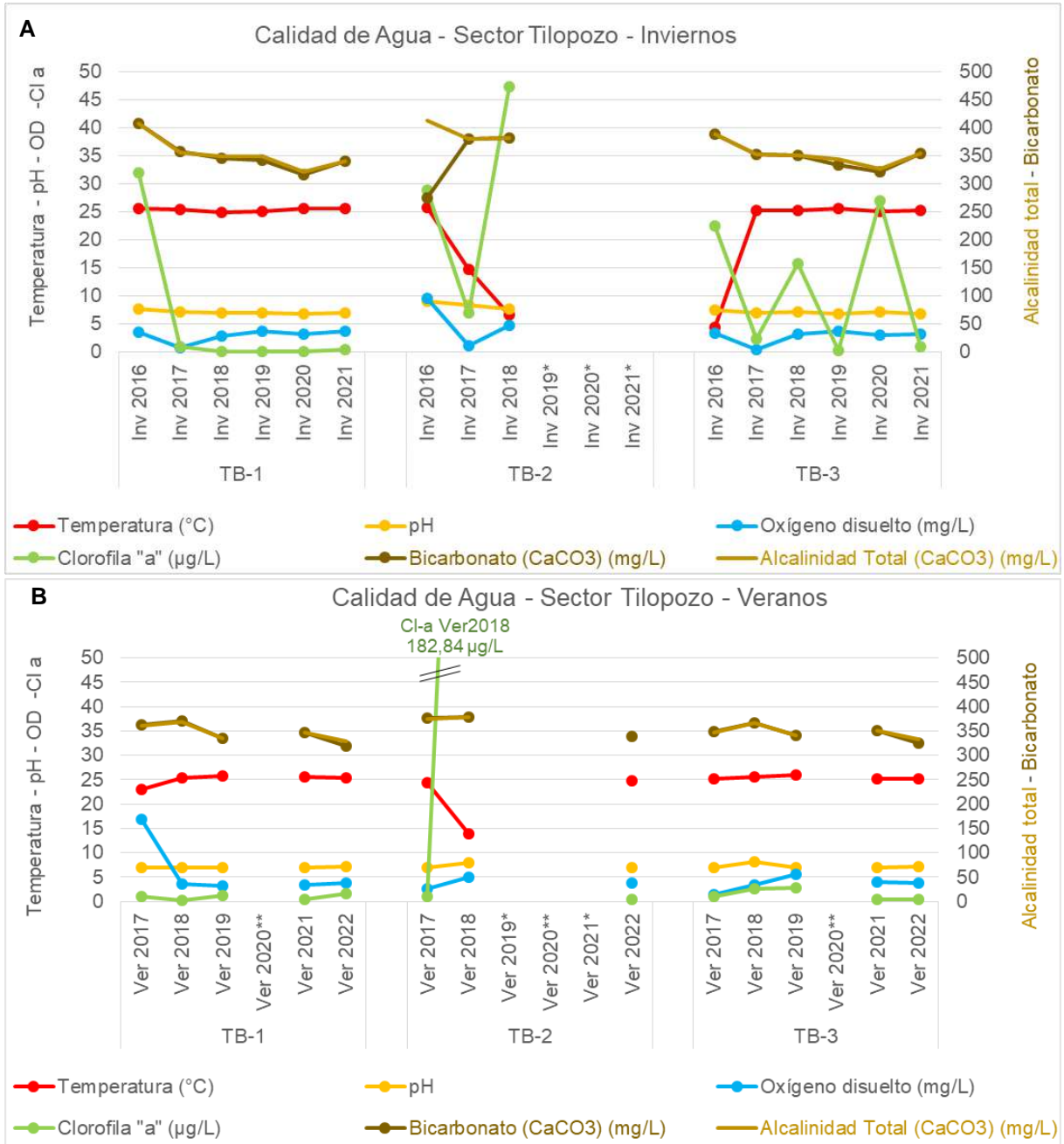
Ahora bien, en verano 2018 la clorofila “a” en fitoplancton alcanzó un valor de 182,84 $\mu\text{g/L}$, este último valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector, el cual correspondería a una condición de eutrofia (Smith et al. 1999 y Dods et al. 1998). Respecto de todas las estaciones de Tilopozo, según los valores registrados para Clorofila a 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° 13-67**).

Figura N° 13-66. 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° 13-67. 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.



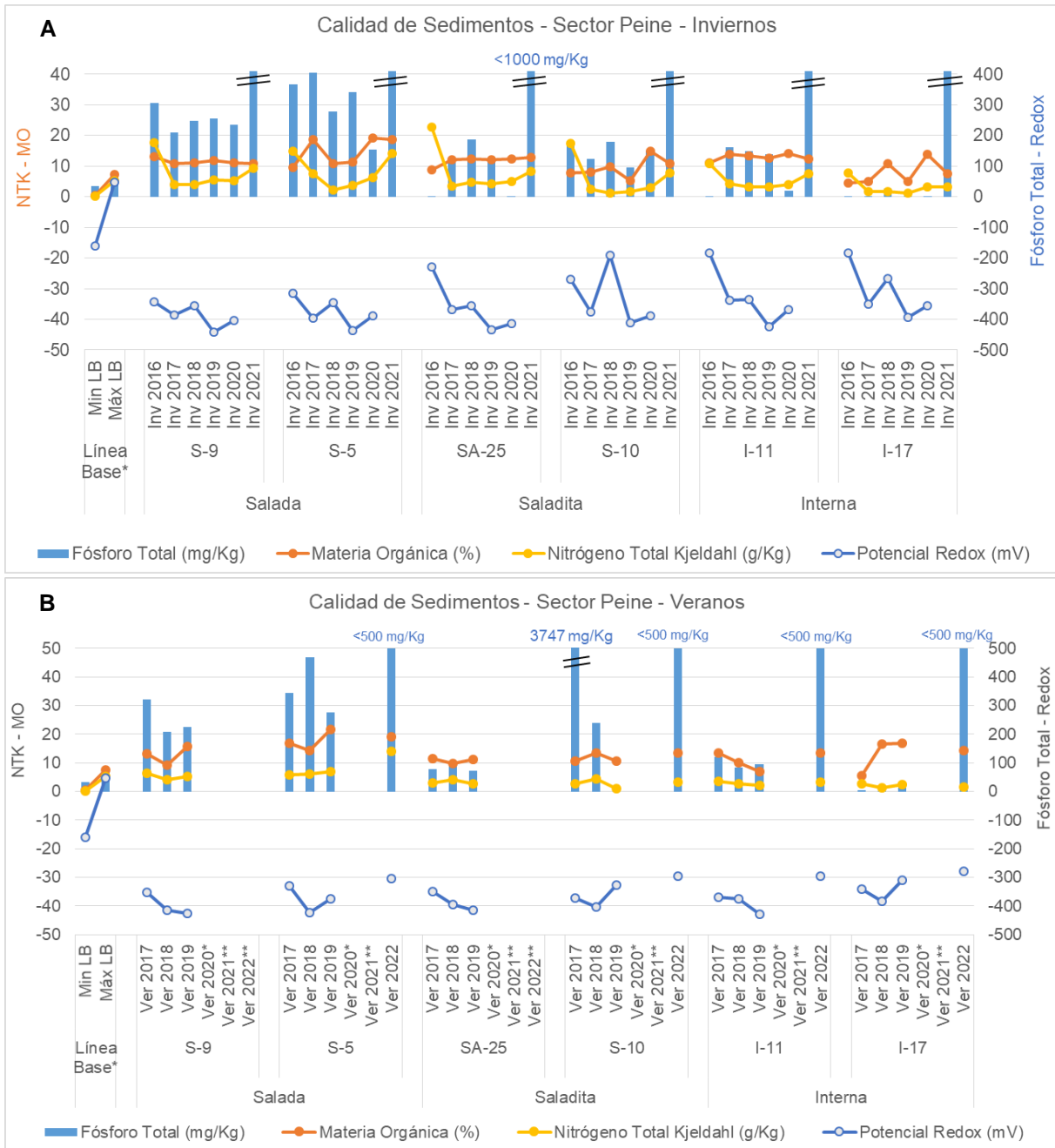
Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

13.5.2.2 Calidad de sedimentos

Es importante destacar, que en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en verano de 2015 para la elaboración de la LB, por lo que los desvíos con respecto a dichos datos, pueden deberse a la variación natural de los sistemas.

Los resultados 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 (**Figura N° 13-68**). 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 2022, todos corresponden a <500 mg/Kg (límite de detección actual), no observándose en las campañas anteriores una tendencia clara a aumentar o disminuir el contenido de fosforo, temporal y espacialmente. En el caso del nitrógeno total Kjeldahl, se observa que en todas las estaciones disminuye su concentración desde invierno 2017, manteniéndose en valores bajo los 7 g/Kg, para luego aumentar principalmente desde invierno 2020. Respecto al potencial redox, este indicó valores de ambientes con características reductoras en todas las estaciones y monitoreos de invierno y verano (entre -442,2 y -182,6 mV), registrándose valores más negativos principalmente durante el monitoreo de invierno 2019. Esto se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996).

Figura N° 13-68. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.

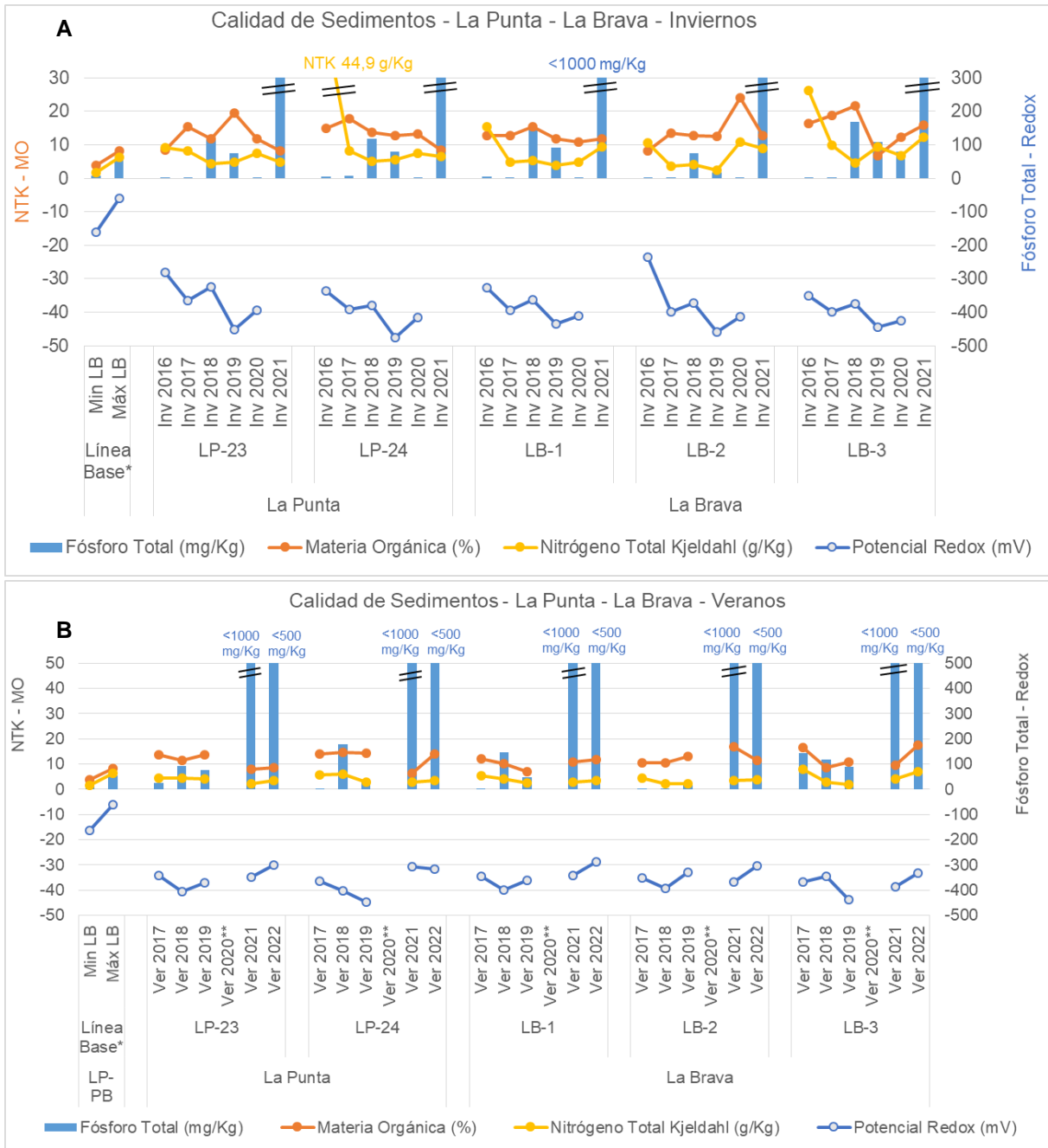


Fuente: Elaboración propia. (*) Registro de Línea Base solo en verano 2015. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En la campaña de verano 2021 y parte de la campaña de verano 2022, no se realizó el muestreo en las lagunas 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 >10%. Cabe mencionar que los registros de fósforo total de la campaña 2021 todos fueron <1000 mg/Kg (límite de detección) y en la campaña 2022 fueron todos <500 mg/Kg (límite de detección actual). En el caso del Nitrógeno Total Kjeldahl (g/Kg), este se encontró en las campañas de veranos dentro de los límites de la LB de referencia. 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 (mínimo de -445,4 mV en verano 2019 en la estación LP-24 y máximos durante la campaña 2022), 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 (**Figura N° 13-69**). Estos parámetros han mostrado mayoritariamente valores fuera del rango de la línea base desde la primera medición del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden con ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota, con altas concentraciones de sales y con materia orgánica en su sedimento recalcitrante a su degradación.

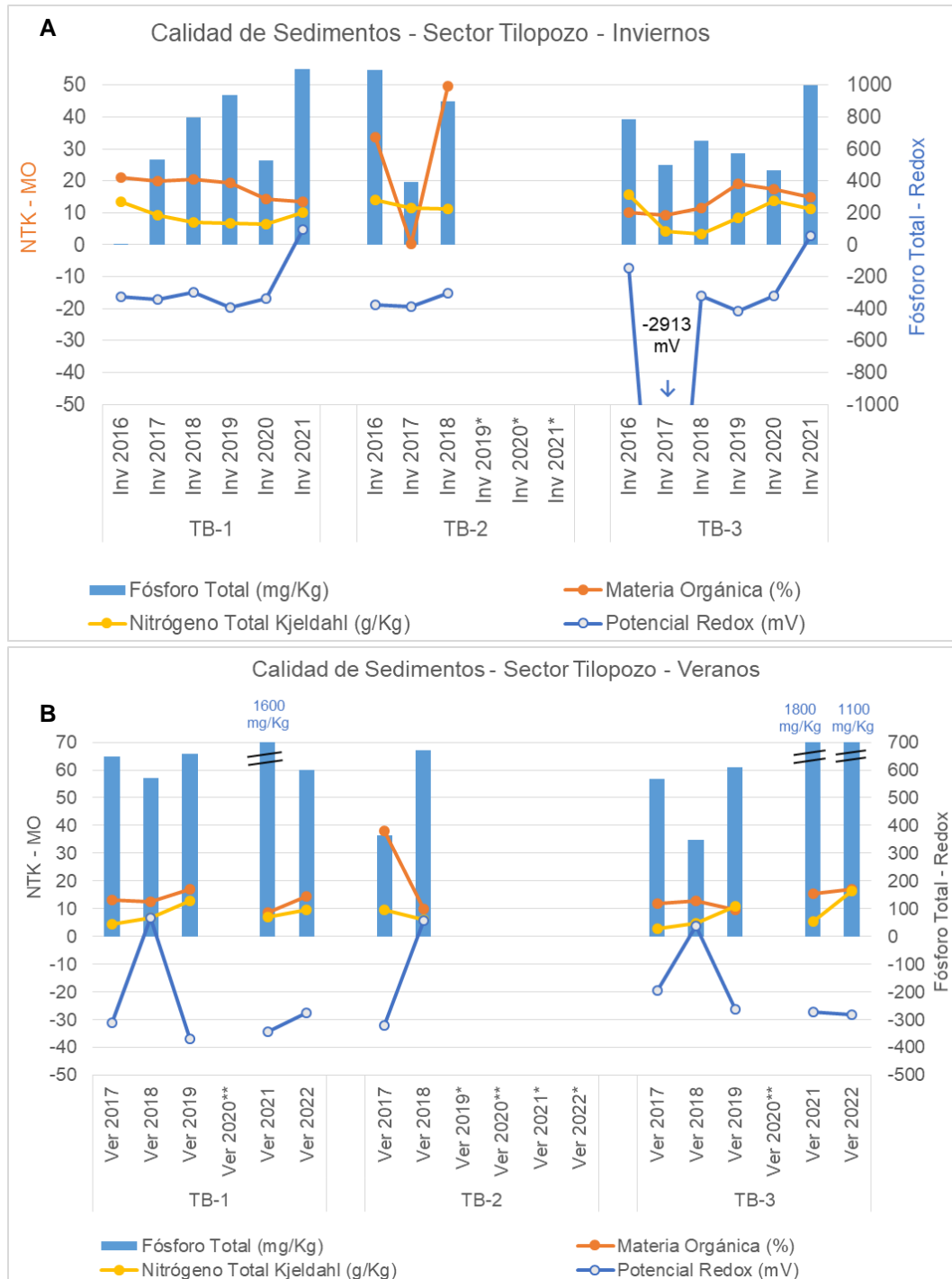
En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total en los sedimentos, este último alcanzando los 1800 mg/Kg en la estación TB-3 en verano 2021, además de importantes concentraciones de nitrógeno 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° 13-70**). 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° 13-69. 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° 13-70. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos 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.

13.5.2.3 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) y 2021 (M11). 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) y 2022 (M12).

Cabe señalar que, la campaña de verano 2020 (M8) no se pudo realizar producto de la pandemia COVID-19 y para la campaña verano 2021 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

Respecto del fitobentos y su evolución histórica en el **sector Peine**, se realiza un análisis para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2022 y línea de base (periodos de verano). Cabe señalar que, los monitoreos campaña verano 2020 no fueron posibles de realizar debido a la pandemia COVID-19 y el de verano 2021 por restricciones impuestas por la comunidad de Peine. En relación con la campaña verano 2022, no fue posible acceder a las estaciones de la laguna Salada (S-9) y laguna Saladita (SA-25) por presentar el acceso restringido de parte de la comunidad de Peine, por presencia de flamencos en el sector.

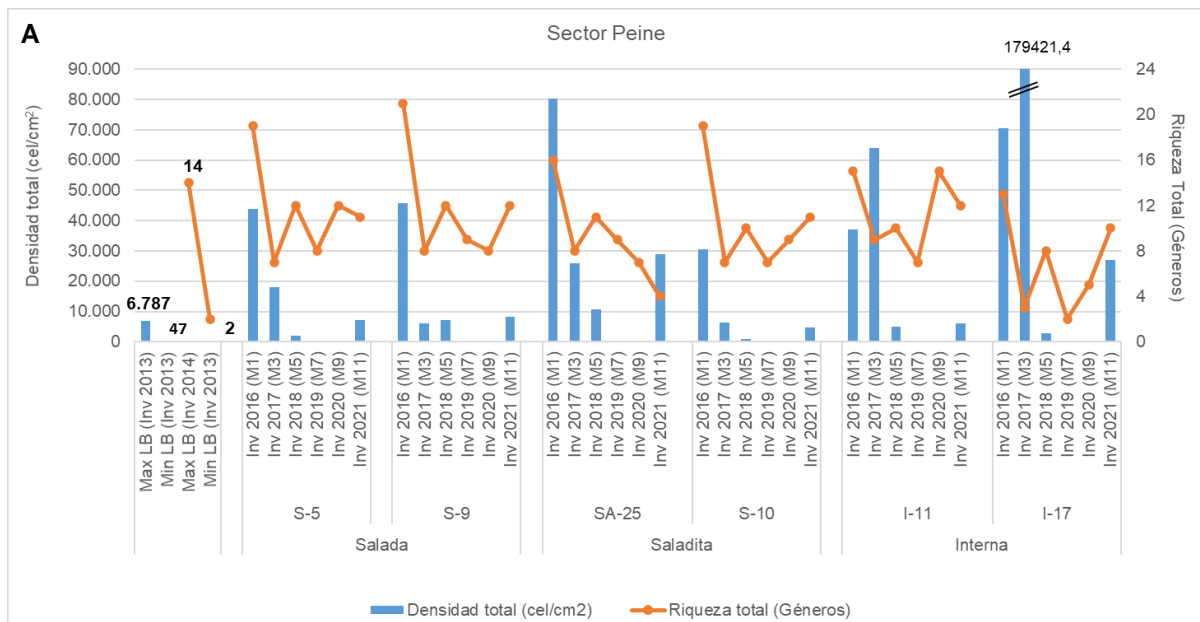
En relación con el fitobentos, en el **sector Peine** el rango de variación detectado en invierno 2021 presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 4; Max 12) en invierno 2021 versus (Min 2; Max 14) en periodos de invierno LB. En tanto el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2021, presentó altos registros en la mayoría de las estaciones de monitoreo respecto de lo observado en el tiempo considerando LB y monitoreo. Rango (Min 4832 cel/cm²; Max 26900 cel/cm²) en invierno 2021 versus (Min 47 cel/cm²; Max 6787 cel/cm²) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-71 A**). Cabe señalar que el rango de variación

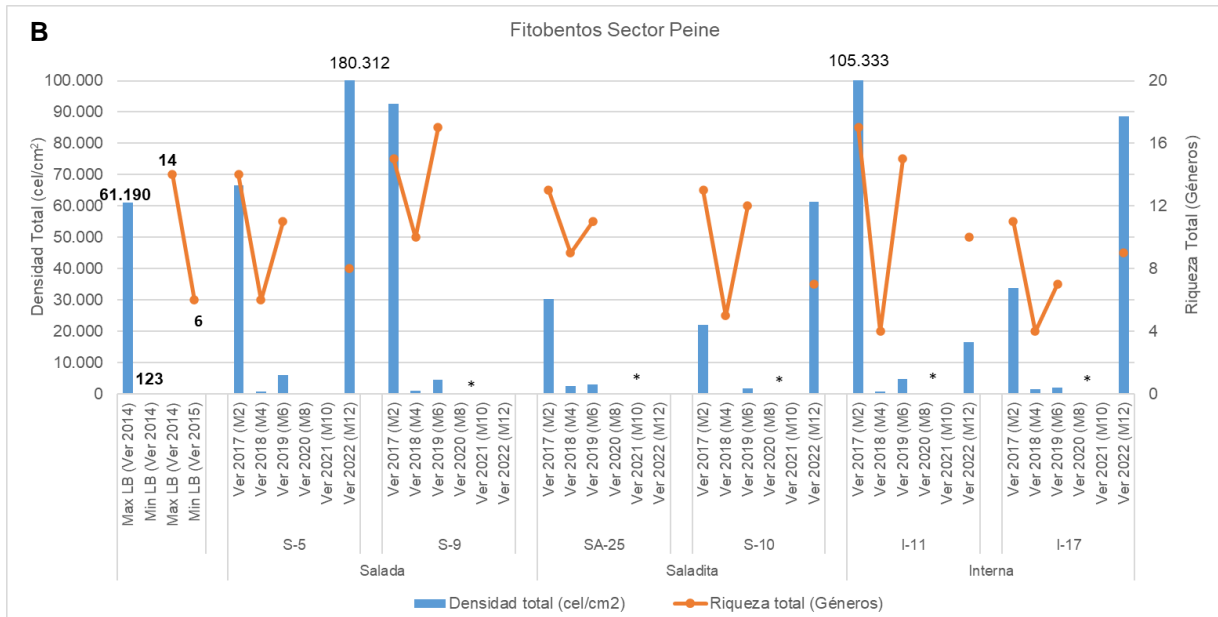
mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2021, presentó valores con un valor máximo (estación I-17), sobre lo observado en el tiempo considerando LB y monitoreo.

En la campaña verano 2022, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 7; Max 10) en verano 2022 versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB. Al respecto, hay que destacar, que en verano 2022, las estaciones S-10 y en I-11 las riquezas presentaron registros más bajos en relación al último registro, pero dentro del rango de monitoreo, y sobre el mínimo observado en periodos de línea de base. Cabe señalar que para las estaciones S-9 y SA-25 en verano 2020, 2021 y 2022 no se han obtenido registros debido a la imposibilidad de acceder a ellas (Figura N° 13-71 B).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2022, los valores registrados estuvieron por sobre lo observado en la LB. Rango (Min 16530 cel/cm²; Max 180313 cel/cm²) en verano 2022 versus (Min 123 cel/cm²; Max 61190 cel/cm²) en periodos de verano LB. Cabe destacar que, en Peine, la campaña de verano 2022, ha mostrado las abundancias más altas de todo el monitoreo (con máximos en las estaciones S-5, I-11 e I-17), seguida de verano 2017, alcanzando ambas campañas hasta dos órdenes de magnitud más que las restantes campañas (Figura N° 13-71 B).

Figura N° 13-71. 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 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 diferentes observándose representaciones indistintas de géneros fitobentónicos, ya sea entre periodos estacionales y entre la LB y las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional.

De este modo, los géneros que presentaron la mayor representatividad en la campaña de invierno 2021, se observó que *Halamphora* y *Navicula* (ambas 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* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En tanto, en la campaña verano 2022, los géneros que presentaron la mayor representatividad correspondieron a las diatomeas *Halamphora* y *Nitzschia*, mientras que, *Denticula*, *Amphora* (ambas diatomeas) y *Chroococcus* (cianofícea), presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

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 2021 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2022 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros

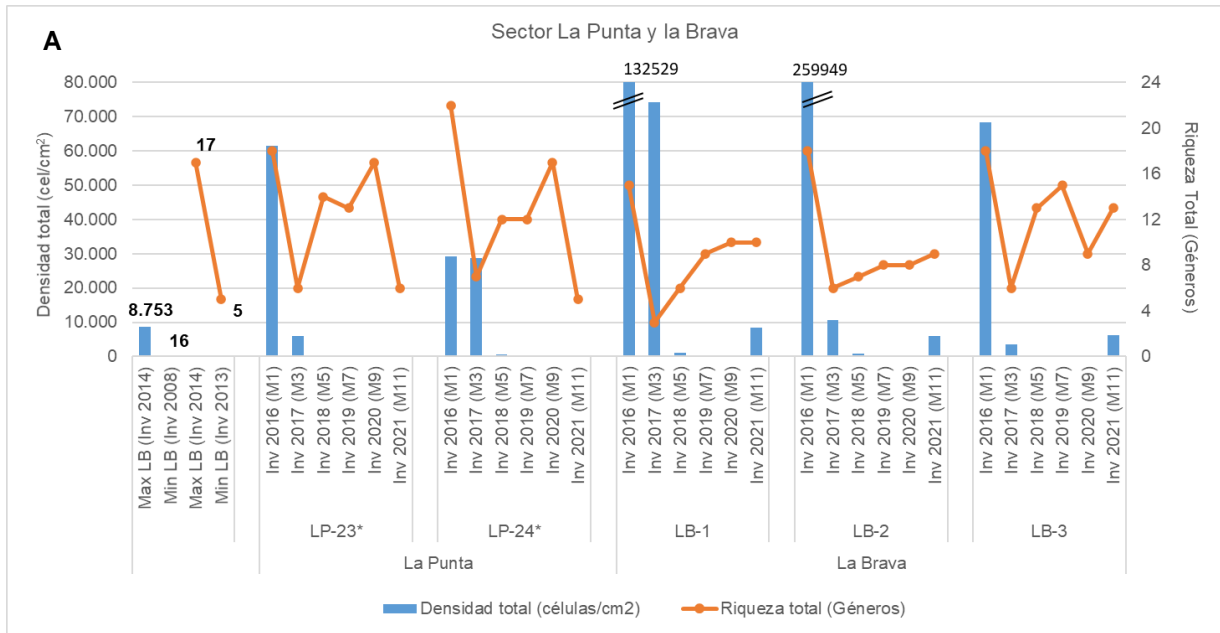
fueron similares solo para la riqueza para un mismo periodo estacional. Al comparar los registros de riqueza de géneros de invierno con los de verano se observó que estos también fueron similares. En cambio, los registros para la abundancia fueron variables, en invierno se mantuvo dentro del rango de variación de la LB, en tanto, en verano se observaron por sobre los registros respecto de la LB.

En invierno 2021, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 5; Max 13) en invierno 2021 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2021, se mantuvieron dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 165 cel/cm²; Max 8506 cel/cm²) en invierno 2021 versus (Min 16 cel/cm²; Max 8753 cel/cm²) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-72 A**). Algunos valores de abundancias del fitobentos no se observan en el gráfico debido a la gran oscilación en ordenes de magnitud en los registros entre estaciones de monitoreo y en el tiempo, por lo que no se evidencian en la escala de este.

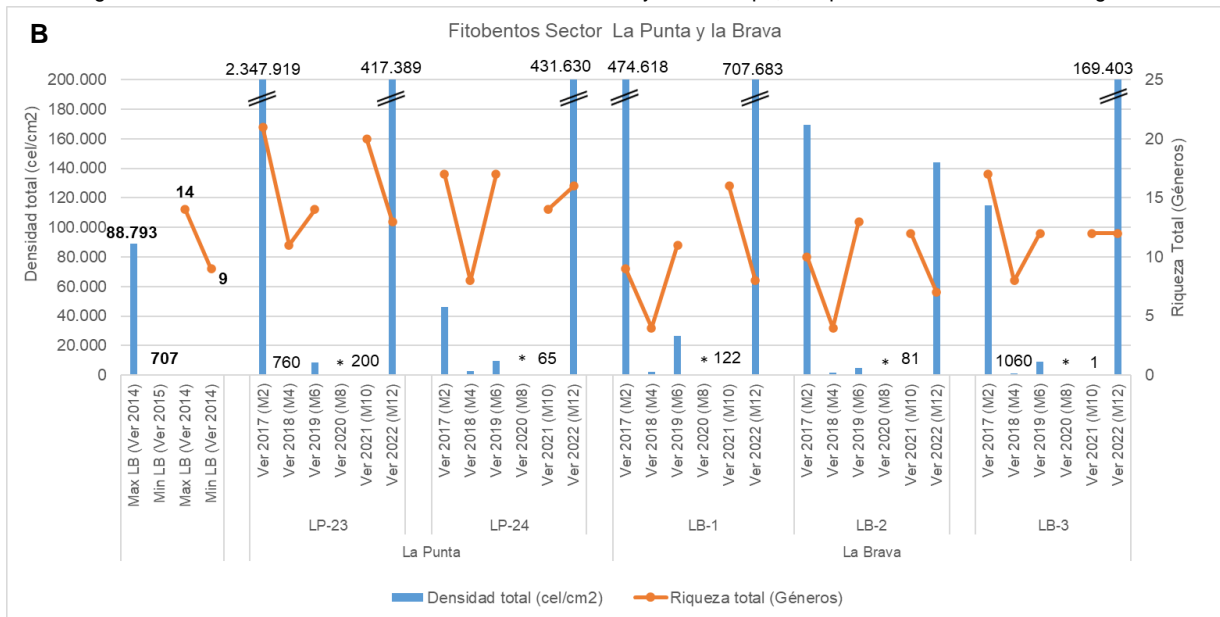
En verano 2022, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 7; Max 16) en verano 2022 versus (Min 9; Max 14) en periodos de verano LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2022, los valores registrados estuvieron por sobre lo observado en la LB. Rango (Min 143782 cel/cm²; Max 707683 cel/cm²) en verano 2022 versus (Min 707 cel/cm²; Max 88.793 cel/cm²) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-72 B**).

Cabe destacar que, para la abundancia, en la campaña verano 2022 se observó un aumento en la mayoría de las estaciones de monitoreo.

Figura N° 13-72. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



*Cabe señalar que, los registros en las estaciones LP-23 y LP-24 no se distinguen debido a la gran oscilación en los órdenes de magnitud en las abundancias de los fitobentos entre estaciones y en el tiempo, no apareciendo en la escala del gráfico.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con las mayores representatividades a nivel de géneros fitobentónicos, invierno y verano en el tiempo en el sector **La Punta-La Brava**, se detectó que los registros fueron similares, entre periodos de verano y la LB y entre las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional. En tanto, para los periodos de invierno se observó que las dominancias fueron más bien variables.

Respecto a los géneros, se observó que las diatomeas *Denticula* y *Brachysira* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2021, mientras que *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En tanto, al igual que en invierno 2021, *Denticula* y *Brachysira* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2022, mientras que, *Denticula*, *Amphora* (ambas diatomeas) y *Chroococcus* (cianofícea), presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitobentos, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación con las campañas de monitoreo anteriores considerando el mismo periodo estacional. Cabe señalar que, la estación TB-2 en verano 2019 y 2021 no fue detectada agua superficial por lo que no presenta registro.

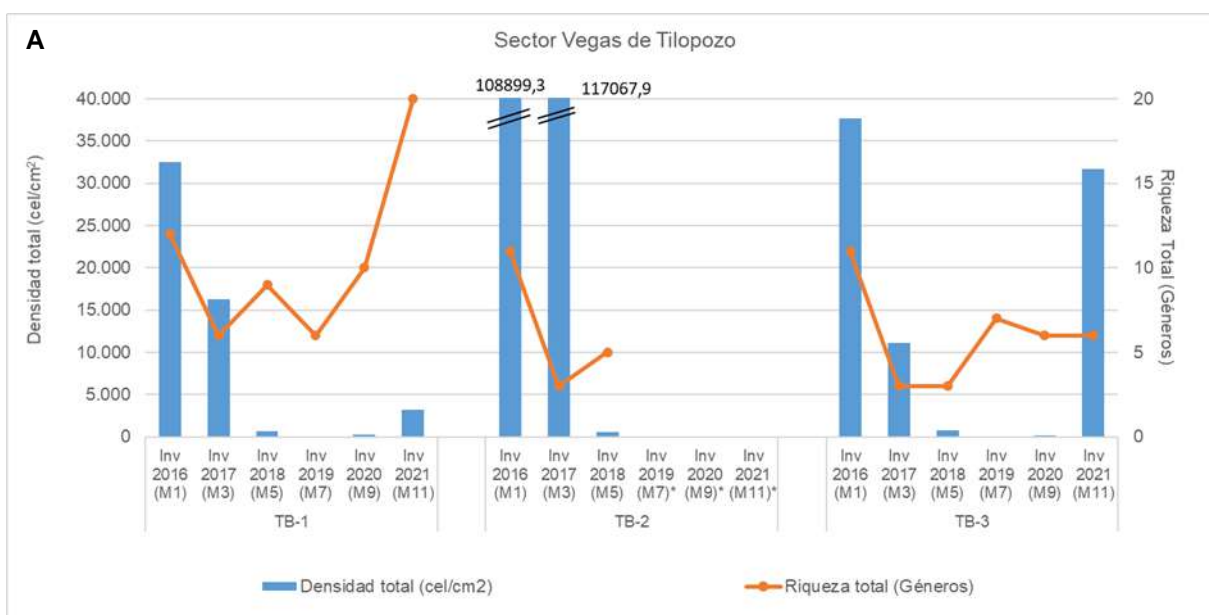
En periodos de invierno, los registros de riqueza de géneros entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016, 2020 y 2021 y los menores en invierno 2017 y 2019 salvo en TB-3. Específicamente en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 se observó un alto valor de riqueza en invierno 2021. Rango (Min 11; Max 12) en invierno 2016; (Min 3; Max 6) en invierno 2017; (Min 3; Max 9) en invierno 2018; (Min 0; Max 7) en invierno 2019, (Min 6; Max 10) en invierno 2020 y (Min 6; Max 20) en invierno 2021 (**Figura N° 13-73 A**).

Respecto de los periodos de verano, los registros de la riqueza de géneros observada entre verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022 fueron similares, observándose valores mayores 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 de 14 y 6 géneros en verano 2017 y 2018 respectivamente. Los veranos siguientes 2019 y 2021 la estación se encontró sin agua superficial. En la actual campaña verano 2022, la estación presentó agua superficial y se observó un registro máximo de 8 géneros, valor intermedio respecto de lo observado en campañas anteriores. Por último, TB-3 presentó valores que oscilaron entre 2 y 12 géneros registradas en verano 2018 y 2019 respectivamente. Rango (Min 9; Max 14) en verano 2017, (Min 2; Max 6) en verano 2018, (Min 10; Max 12) en verano 2019, (Min 8; Max 8) en verano 2021 y (Min 5; Max 8) en verano 2022 (**Figura N° 13-73 B**).

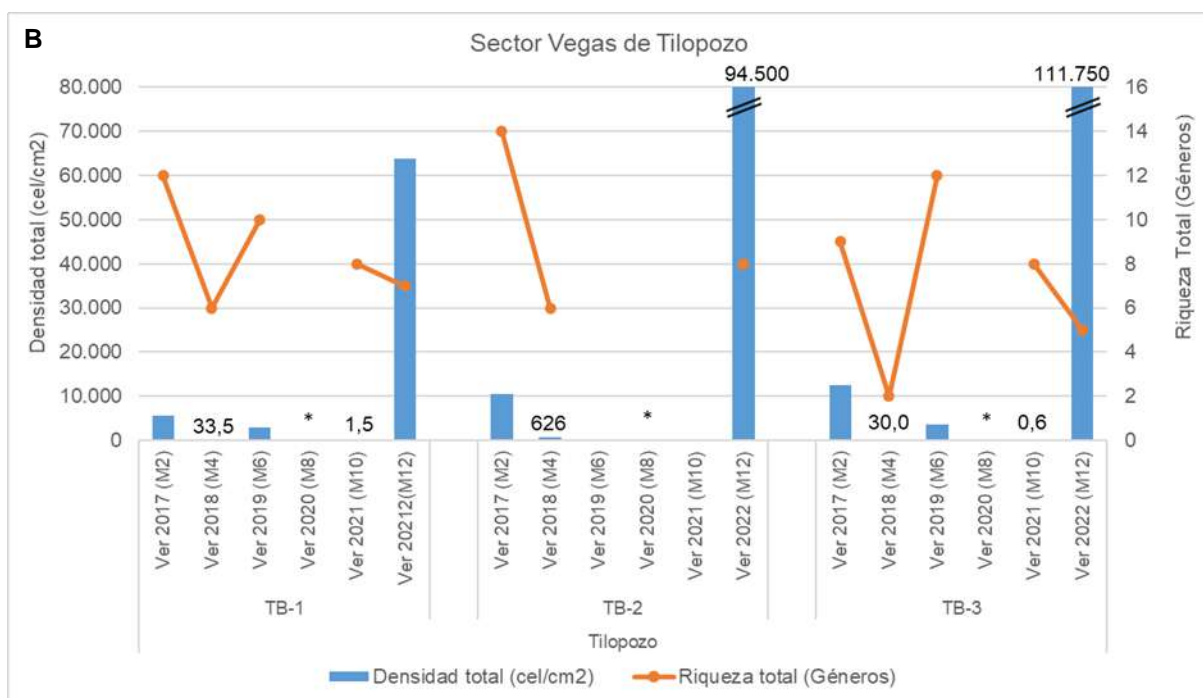
Así mismo, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, presentó diferencias, con valores mucho menores en invierno 2019. En general, la abundancia ha presentado una disminución en el tiempo. Rango (Min 32.466 cel/cm²; Max 108.899 cel/cm²) en invierno 2016; (Min 11.064 cel/cm²; Max 117.068 cel/cm²) en invierno 2017; (Min 543 cel/cm²; Max 753 cel/cm²) en invierno 2018; (Min 0 cel/cm²; Max 0,61 cel/cm²) en invierno 2019, (Min 0 cel/cm²; Max 273,8 cel/cm²) en invierno 2020 y (Min 3221 cel/cm²; Max 31650 cel/cm²) en invierno 2021 (**Figura N° 13-73 A**).

Por otro lado, en periodos de verano, la abundancia presentó diferencias entre campañas de monitoreo, presentando los menores registros en verano 2021 y los mayores en verano 2022, siendo los máximos registros del PMB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectada entre verano 2017, 2018, 2019 2021 y 2022, estos fueron distintos. Rango (Min 5709 cel/cm²; Max 12480 cel/cm²) en verano 2017, (Min 30 cel/cm²; Max 626 cel/cm²) en verano 2018, (Min 3008 cel/cm²; Max 3724 cel/cm²) en verano 2019, (Min 0,6 cel/cm²; Max 1,5 cel/cm²) en verano 2021 y (Min 63861 cel/cm²; Max 111750 cel/cm²) en verano 2022. Cabe destacar que la estación TB-2 en verano 2019 y 2021, no fue detectada agua superficial por lo que no presenta registro (**Figura N° 13-73 B**).

Figura N° 13-73. 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 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.

En el sector **vegas de Tilopozo**, las dominancias en el fitobentos fueron variables entre campañas de monitoreo y entre estaciones de muestreo presentando diferencias entre microalgas dominantes.

En invierno 2016 y 2017 se observó una alta predominancia de cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*) y zygmatoficea (*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*. Por último, en invierno 2021 dominaron las diatomeas *Pseudostaurosira* 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 cianófito *Oscillatoria* y la clorófito *Mougeotia*, en tanto en verano 2018 dominaron las diatomeas *Craticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. En tanto en verano 2019, las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia*, *Achnantheidium* y *Cocconeis* y en verano 2021 las mayores representatividades fueron para las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis*. En tanto, en verano 2022 las dominancias estuvieron dadas por las diatomeas *Denticula* y *Nitzschia* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

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).

- Fitoplancton

Respecto del fitoplancton y su evolución histórica en el **sector Peine**, en el contexto comparativo entre la campaña de monitoreo invierno 2021 y línea de base (periodos de invierno), se observó en su mayoría registros bajos y con algunos valores bajo el límite inferior de la LB para la riqueza y la abundancia en invierno 2021. En el contexto comparativo entre la campaña verano 2022 y LB (periodos de verano), se observó en su mayoría registros similares para la riqueza y valores bajos para la abundancia, con algunos valores bajo el límite inferior de la LB en verano 2022.

Cabe destacar que, en verano 2020 no se obtuvieron registros de fitoplancton en este sector debido a la pandemia y en verano 2021 por imposibilidad de ingresar al sector. Por otra parte, al comparar los registros de riqueza de géneros y abundancias de invierno con los de verano se observó que estos fueron ligeramente menores en invierno.

En el **Sector Peine** la riqueza de géneros de fitoplancton, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2021 y LB (periodos de invierno), el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2021 estuvo contenido dentro del observado en la LB, excepto para algunas estaciones de monitoreo (S-9 e I-11) en que la riqueza fue menor a 4 géneros reportados históricamente. Rango (Min 2; Max 7) en invierno 2021 versus (Min 4; Max 12) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-74 A**).

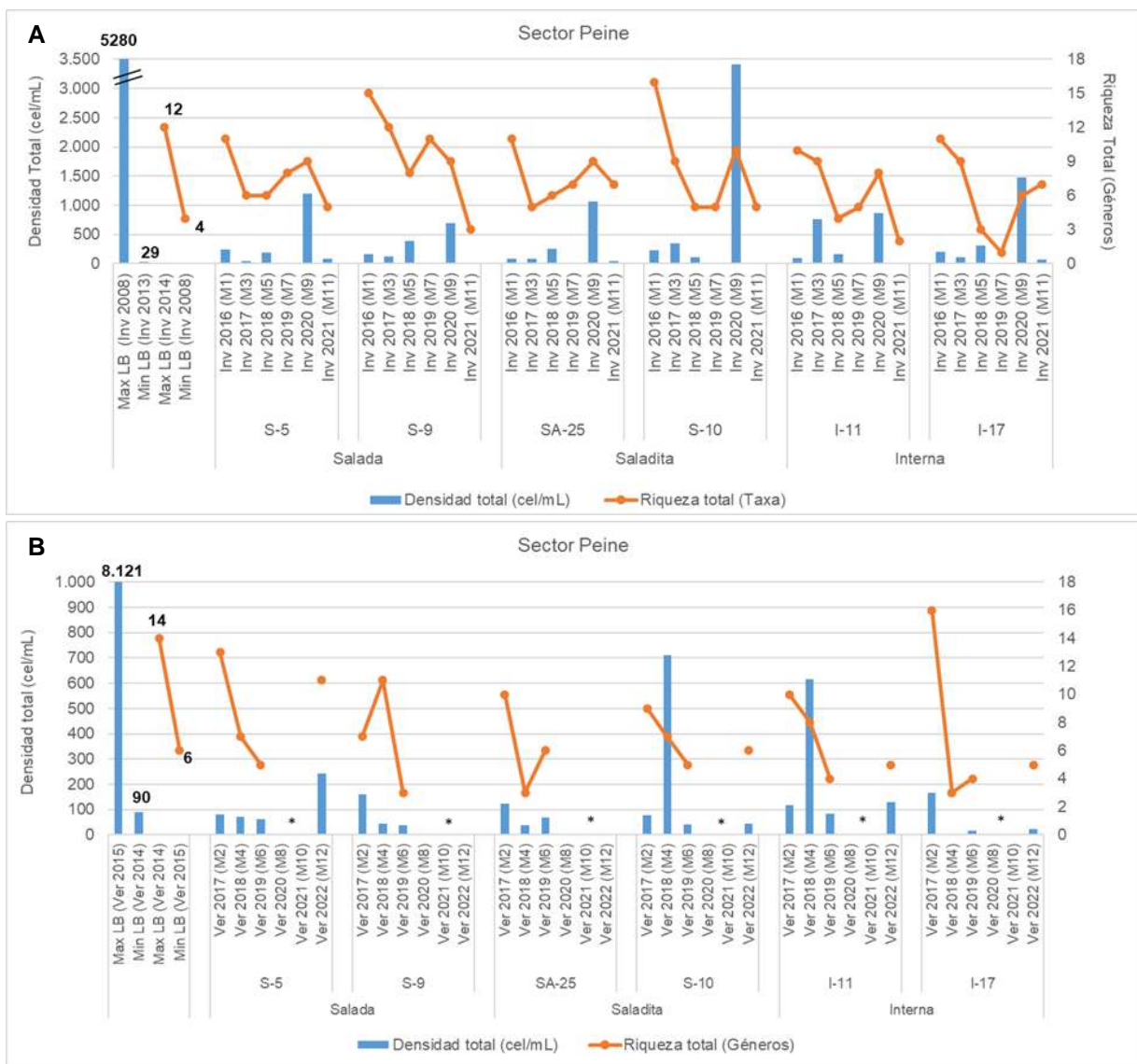
Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2021, estuvo por debajo (en la mayoría de las estaciones) de lo observado en la LB. Rango (Min 3 cel/mL; Max 93 cel/mL) en invierno 2021 versus (Min 76 cel/mL; Max 4.905 cel/mL) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-74 A**).

En la campaña verano 2022, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido en general dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 5; Max 11) en verano 2022 versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB. Respecto de la riqueza algunas estaciones I-11 e I-17 (laguna Interna) presentaron en verano 2022 registros por debajo del mínimo de línea de base con 5 géneros (**Figura N° 13-74 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2022, los valores registrados estuvieron en general dentro de lo observado en la LB. Rango

(Min 24 cel/mL; Max 243 cel/mL) en verano 2022 versus (Min 90 cel/mL; Max 8121 cel/mL) en periodos de verano LB. Cabe destacar que, en Peine, la campaña de verano 2022, presentó valores más bien bajos de abundancia respecto de los monitoreos, observándose, en general, abundancias variables en el tiempo con máximos en verano 2018 y con un rango de valores menores a la línea de base del año 2014 (**Figura N° 13-74 B**). Respecto de la abundancia algunas estaciones S-10 (laguna Saladita) e I-11 (laguna Interna) presentaron en verano 2022 registros por debajo del mínimo de línea de base con 24 y 44 cel/mL.

Figura N° 13-74. 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 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 diferentes observándose representaciones indistintas de géneros fitobentónicos, ya sea entre periodos estacionales y entre la LB y las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional.

Respecto a los géneros dominantes en periodo de invierno, se observó que la clorofícea *Chlamydomonas* y la cianófita *Chroococcus* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2021, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno.

En periodos de verano, se observó que las diatomeas *Navicula* y *Nitzschia* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2022, mientras que, *Nitzschia*, *Halamphora* y *Navicula* junto a *Cocconeis*, *Amphora* y *Achnanthes* (todas diatomeas), fueron dominantes en la línea de base del periodo de verano y en los periodos de verano del monitoreo. 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 2021 y LB (periodos de invierno), estuvo contenido en general dentro de lo observado en la LB, excepto por el registro mínimo de 3 géneros en LP-23 (laguna La Punta) en invierno 2021 el que fue menor a lo consignado en la LB. Del mismo modo, la abundancia total presentó valores menores en invierno 2021 con valores bajo el rango de variación de la LB.

En periodo de verano, en el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre campaña de monitoreo verano 2022 y línea de base (periodos de verano), se observó registros ligeramente mayores de riqueza en verano 2022. En cambio, la abundancia total presentó registros bajos (valores cercanos al límite inferior de la LB) en verano 2022, no obstante, dentro del rango de variación de la línea de base.

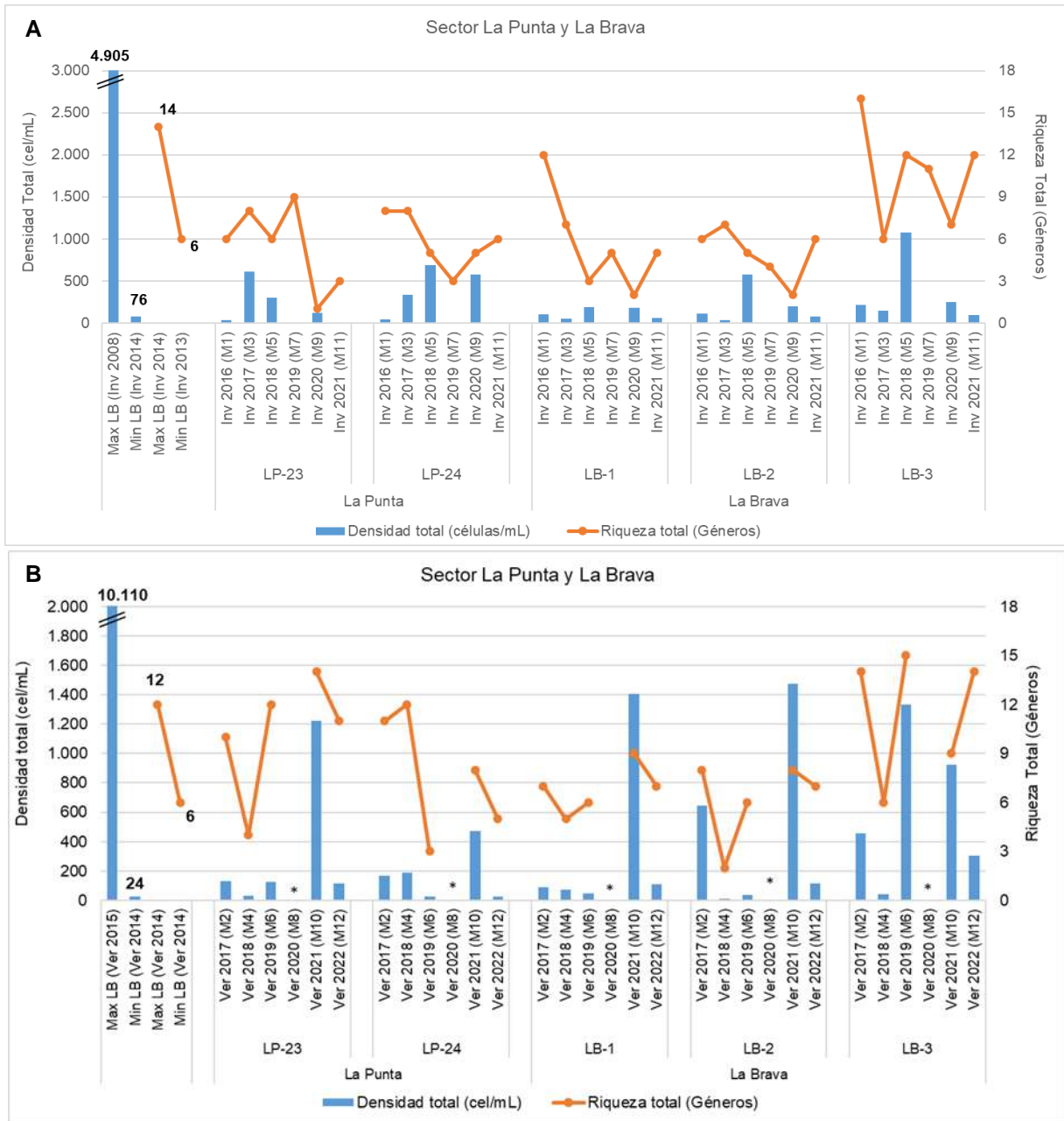
Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano, se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron menores en invierno.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2021 presentó un rango ligeramente menor al observado en la LB, con

un valor mínimo (LP-23 y LB-1) en invierno 2021 menor al mínimo de LB. Rango (Min 3; Max 12) en invierno 2021 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB. El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en verano 2022 fue ligeramente mayor a lo observado en la línea de base. Rango (Min 5; Max 14) en verano 2022 versus (Min 6; Max 12) en periodos de verano LB. Sin embargo, la estación LP-24 presentó una riqueza de 5 géneros, registró que estuvo por debajo del mínimo de línea de base (**Figura N° 13-75 A**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2021, estuvo por debajo (en la mayoría de las estaciones) de lo observado en la LB. Rango (Min 3 cel/mL; Max 93 cel/mL) en invierno 2021 versus (Min 76 cel/mL; Max 4.905 cel/mL) en periodos de invierno LB. Mientras que, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2022 estuvo contenida dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 26 cel/mL; Max 302 cel/mL) en verano 2022 versus (Min 24; Max 10110) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-75 B**).

Figura N° 13-75. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia.

En relación con las mayores representatividades a nivel de géneros fitoplanctónicos, invierno y verano en el tiempo en el sector **La Punta-La Brava**, se detectó que los registros fueron similares, entre periodos de invierno y la LB y entre las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional. En tanto, para los periodos de verano se observó que las dominancias fueron más bien variables.

Respecto a los géneros en periodo de invierno, se observó que la clorofícea *Chlamydomonas* y la cianófita *Chroococcus* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2021, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En periodo de verano, se observó que la diatomea *Nitzschia* y la cianófita *Oscillatoria* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2022, mientras que las clorofíceas *Chlamydomonas* y *Botryococcus* y las diatomeas *Proschkinia* y *Cymbella*, presentaron las mayores dominancias en la línea de base y monitoreos para periodos de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos, así como para la línea de base del fitoplancton en el sector La Punta y La Brava, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al.*1996).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitoplancton, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación con las campañas de monitoreo anterior considerando el mismo periodo estacional. Cabe señalar que la estación TB-2 no presentó agua superficial en las campañas de invierno 2019, 2020 y 2021.

Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que 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, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 (TB-3). En tanto, para verano, los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022 también presentaron diferencias aun cuando hay varios vacíos de información, observándose para la riqueza de géneros mayores valores en verano 2017 (TB-1 y TB-3) y mayores valores para la abundancia en verano 2018 observados en la estación TB-2, siendo el registro de los dos últimos veranos (2021 y 2022) más homogéneo.

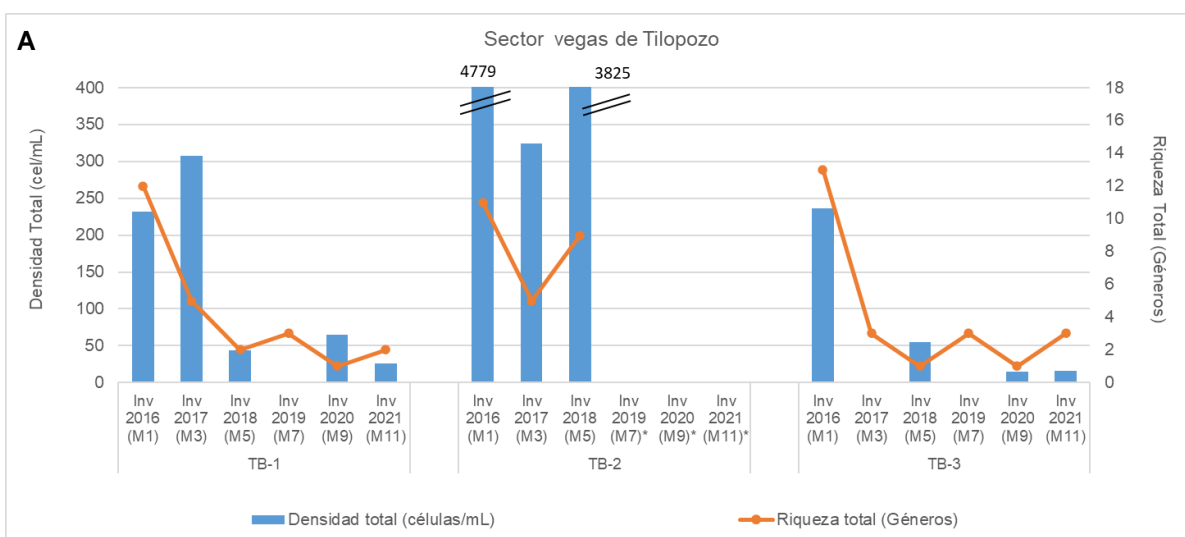
Al respecto, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, presentó diferencias detectándose los mayores registros en invierno 2016 y mínimos en invierno 2020. Rango (Min 11; Max 13) en invierno 2016; (Min 3; Max 5) en invierno 2017; (Min 1; Max 9) en invierno 2018; (Min 0; Max 3) en invierno 2019, (Min 0; Max 1) en invierno 2020 y (Min 2; Max 3) en invierno 2021 (**Figura N° 13-76 A**).

En periodo de verano, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022, presentó el mayor registro en verano 2017. Rango (Min 6; Max 14) en verano 2017, (Min 4; Max 9) en verano 2018, (Min 4; Max 5) en verano 2019, (Min 4; Max 6) en verano 2021 y verano 2022 (**Figura N° 13-76 B**).

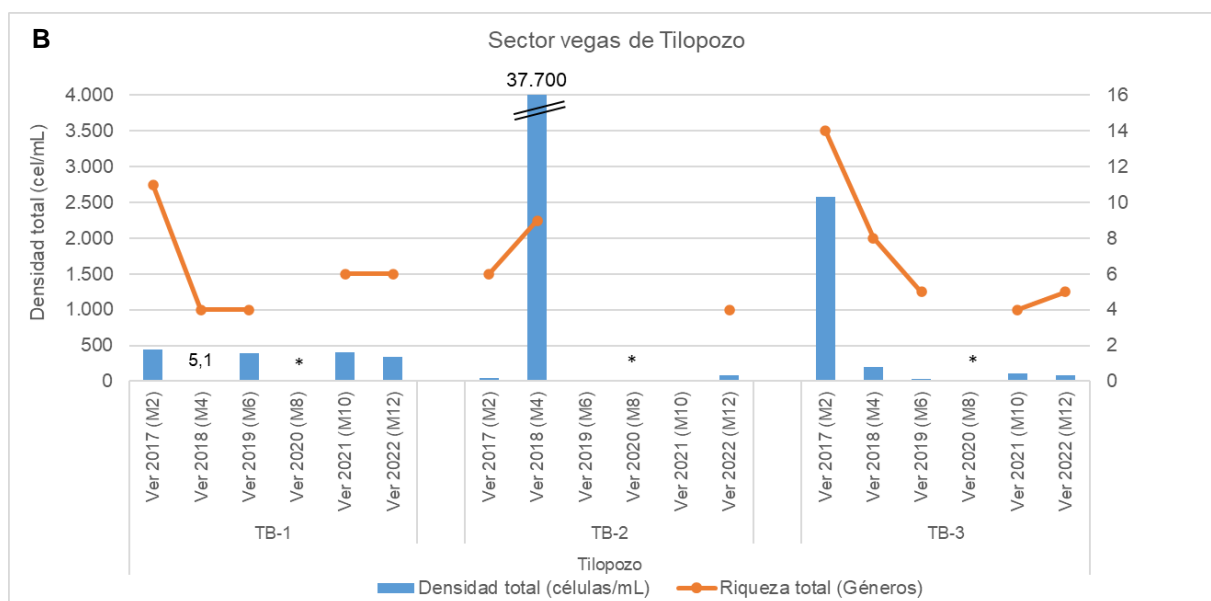
Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, fueron mayores en invierno 2016 y menores en invierno 2019 y 2021. Rango (Min 232 cel/mL; Max 4.778 cel/mL) en invierno 2016; (Min 1 cel/mL; Max 325 cel/mL) en invierno 2017; (Min 44 cel/mL; Max 3.825 cel/mL) en invierno 2018; (Min 0 cel/mL; Max 0,66 cel/mL) en invierno 2019, (Min 0 cel/mL; Max 64,81 cel/mL) en invierno 2020 y (Min 16 cel/mL; Max 26 cel/mL) en invierno 2021 (**Figura N° 13-76 A**).

Mientras que, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectada entre verano 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022, presentó en mayor registro en verano 2018 (con el mayor aporte de la estación TB-2). Rango (Min 49 cel/mL; Max 2575 cel/mL) en verano 2017, (Min 5 cel/mL; Max 37700 cel/mL) en verano 2018, (Min 31; Max 386) en verano 2019, (Min 111 cel/mL; Max 403 cel/mL) en verano 2021 y (Min 77 cel/mL; Max 334 cel/mL) en verano 2022 (**Figura N° 13-76 B**).

Figura N° 13-76. 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* (cianoficea) y *Amphora* (diatomea). Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en la campaña de invierno 2017 donde se observó una alta predominancia de la zygnotoficea *Mougeotia*, y las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*, cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*). En tanto, para la campaña de invierno 2018, *Nitzschia* (diatomea), presentó la mayor abundancia relativa entre las estaciones de vegas de Tilopozo y en la campaña de 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*. Por último, en la campaña de invierno 2021 la mayor representatividad se observó para la diatomea *Ulnaria* y para la zygnotoficea *Mougeotia*.

En verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Amphora* y las cianófitas *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 *Halumphora* (diatomea) y en verano 2021 la diatomea *Nitzschia* y la cianófitas *Microcystis*. Por último, en verano 2022

se detectó la mayor dominancia de *Halamphora* y *Nitzschia* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

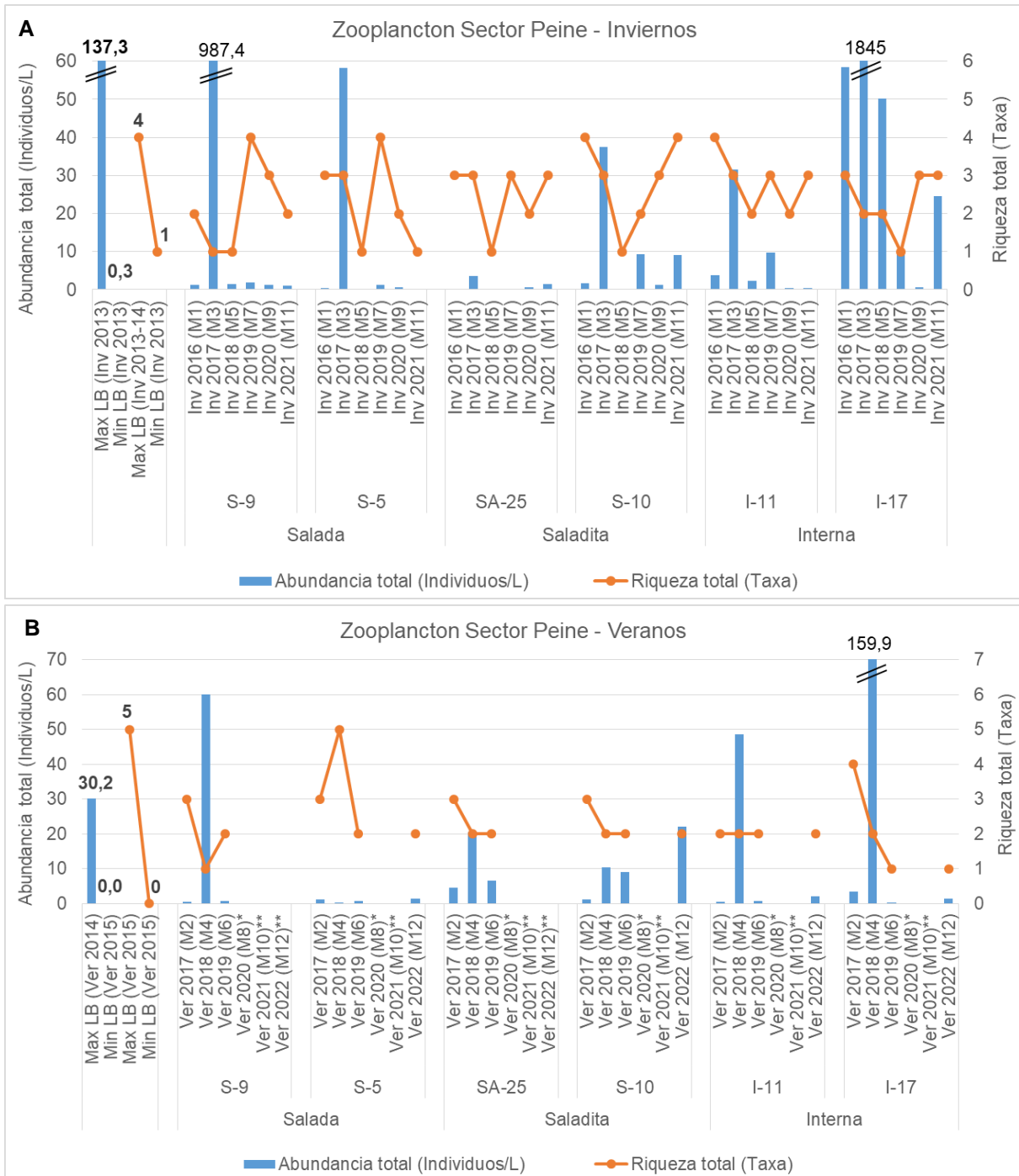
Cabe destacar que, que para todos los monitoreos de invierno como de verano en vegas de Tilopozo, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *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 línea base del PMB, excepto por casos puntales de alta abundancia tanto en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) en invierno 2017 y como en S-9, I-11 e I-17 en verano 2018. Las riquezas de *taxa* fueron en general bajas, con valores entre 1 y 5 *taxa* en los periodos monitoreados de invierno y verano (**Figura N° 13-77**).

Cabe mencionar que en este sistema los zooplanktones más abundantes fueron copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Esta última fue más abundante en verano 2018, donde se constató un incremento de su abundancia desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual tiene relación con la misma variación en conductividad y salinidad dada en este sistema. Cabe considerar que esta especie se considera como halofílica, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L (De los Ríos-Escalante, 2010).

Figura N° 13-77. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



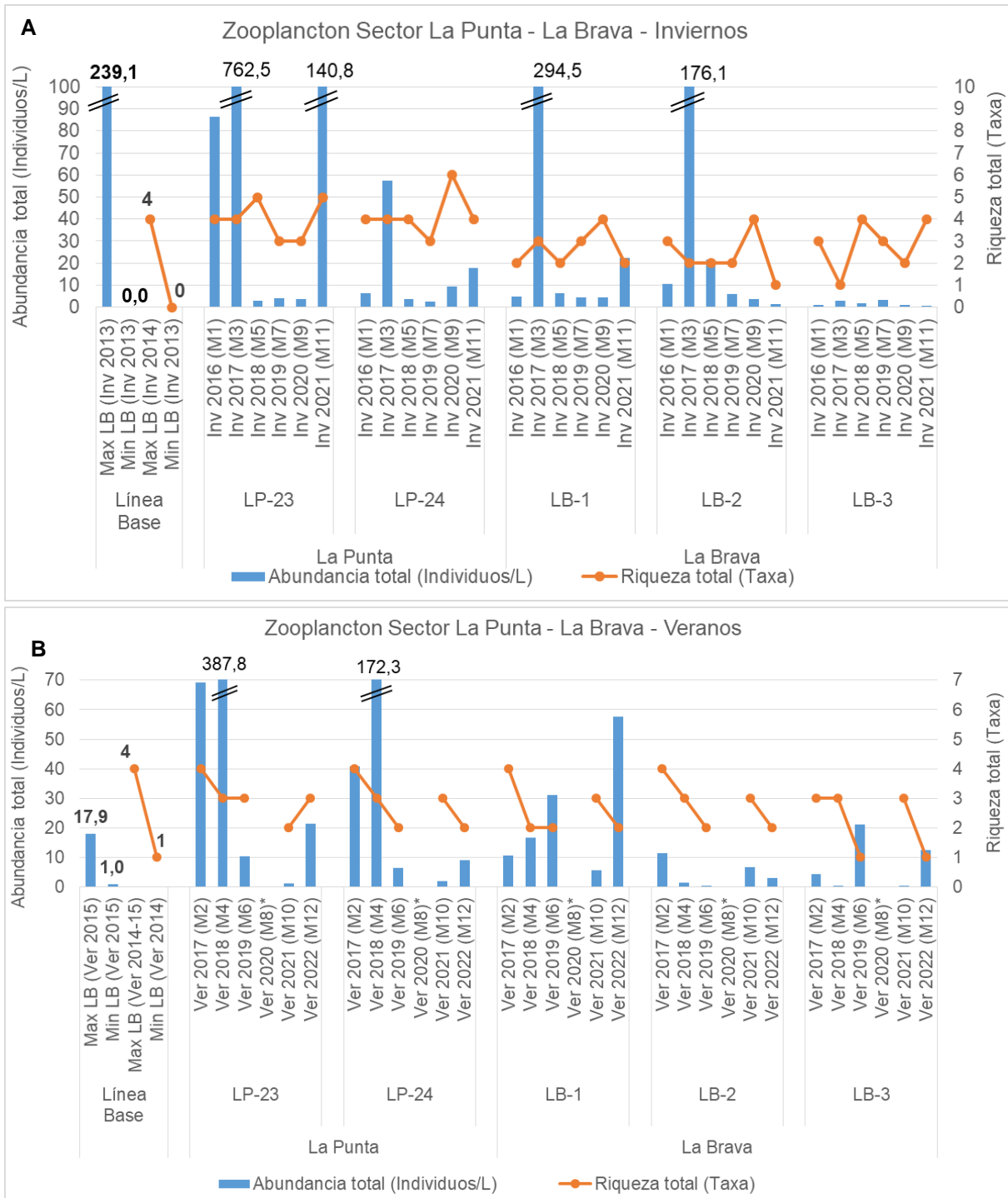
Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (**) En la campaña estival de 2021 no se realizó el muestreo en las lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones impuestas por parte de la comunidad 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).

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° 13-78**). 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).

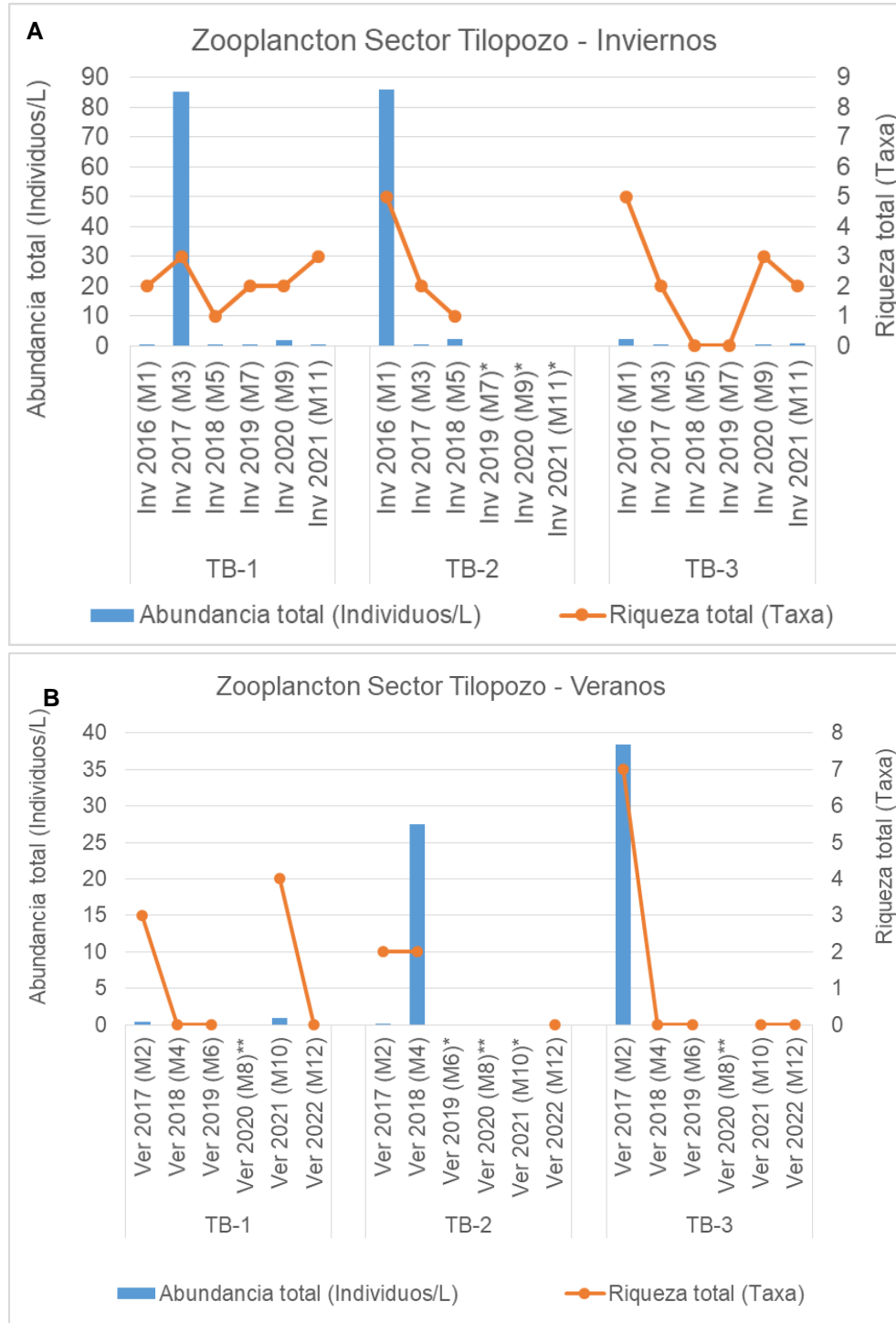
Para el sector **Tilopozo**, las riquezas totales estuvieron en el rango de 0 a 5 *taxa* en las campañas de invierno y entre 0 y 7 en las campañas de verano, mostrando en general bajas abundancias totales (menores a 90 ind/L). En las campañas de invierno se registraron las mayores abundancias totales (en TB-2 en invierno 2016 y en TB-1 en invierno 2017), mientras que en verano las abundancias totales fueron muy bajas o cercanas a 0 (**Figura N° 13-79**). 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 mencionar 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.

Figura N° 13-78. 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.

Figura N° 13-79. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilipozo. 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

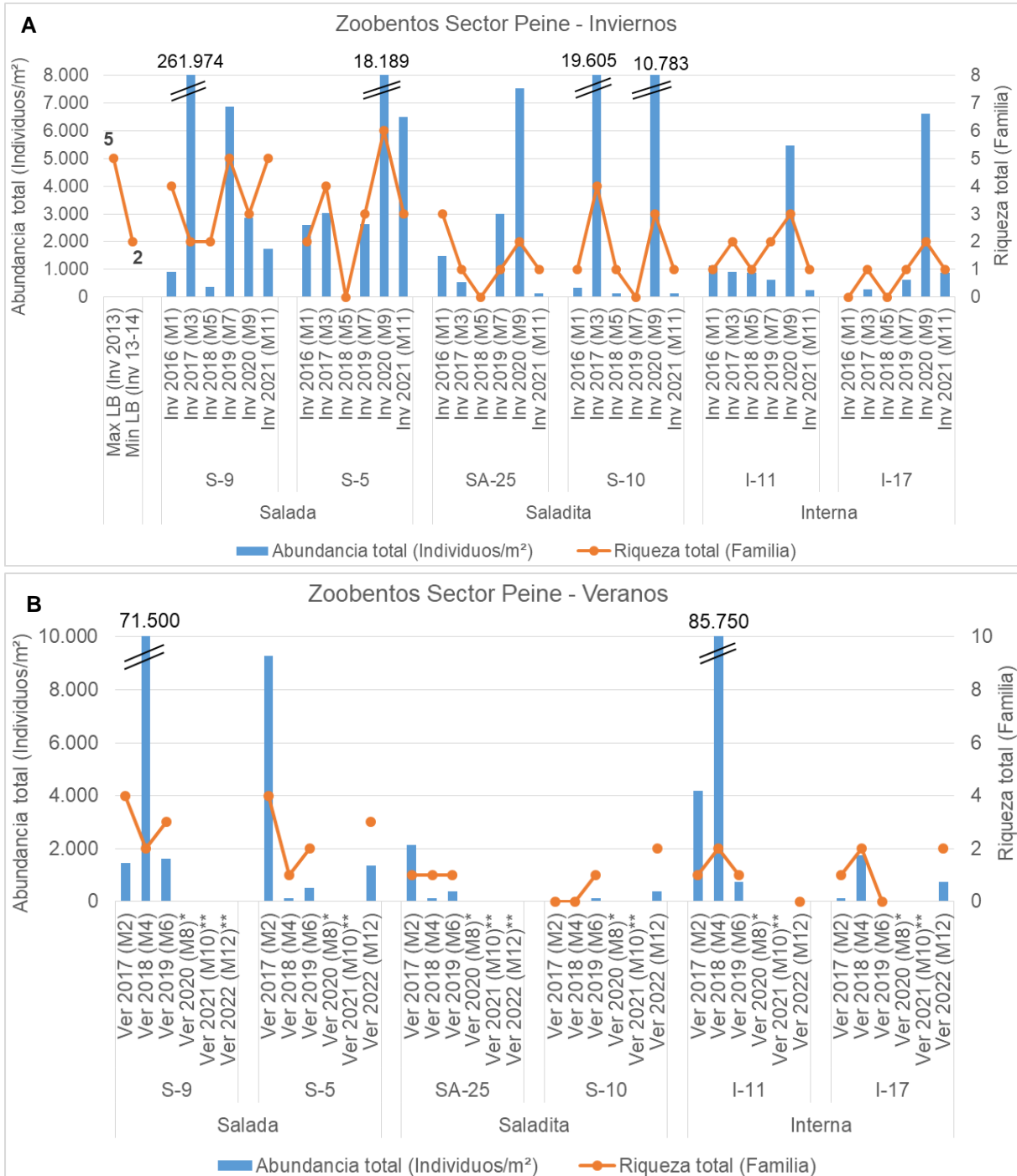
El zoobentos del **Sector Peine** tanto en las campañas de invierno como en verano, mostró en general bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 6 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada. Las abundancias totales en Peine durante los inviernos y veranos monitoreados mostraron valores en general bajo los 10000 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 y en invierno 2020 en las estaciones S-5 y S-10, registrándose un máximo total de 261.974 ind/m² en S-9 en 2017 (**Figura N° 13-80**).

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 10000 ind/m², sin embargo se encontraron abundancias totales mayores a este valor en verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 e invierno 2020, principalmente en LP-23, LP-24 y LB-1, alcanzando un máximo de 31.592 ind/m² en LP-23 durante el verano 2017 (**Figura N° 13-81**).

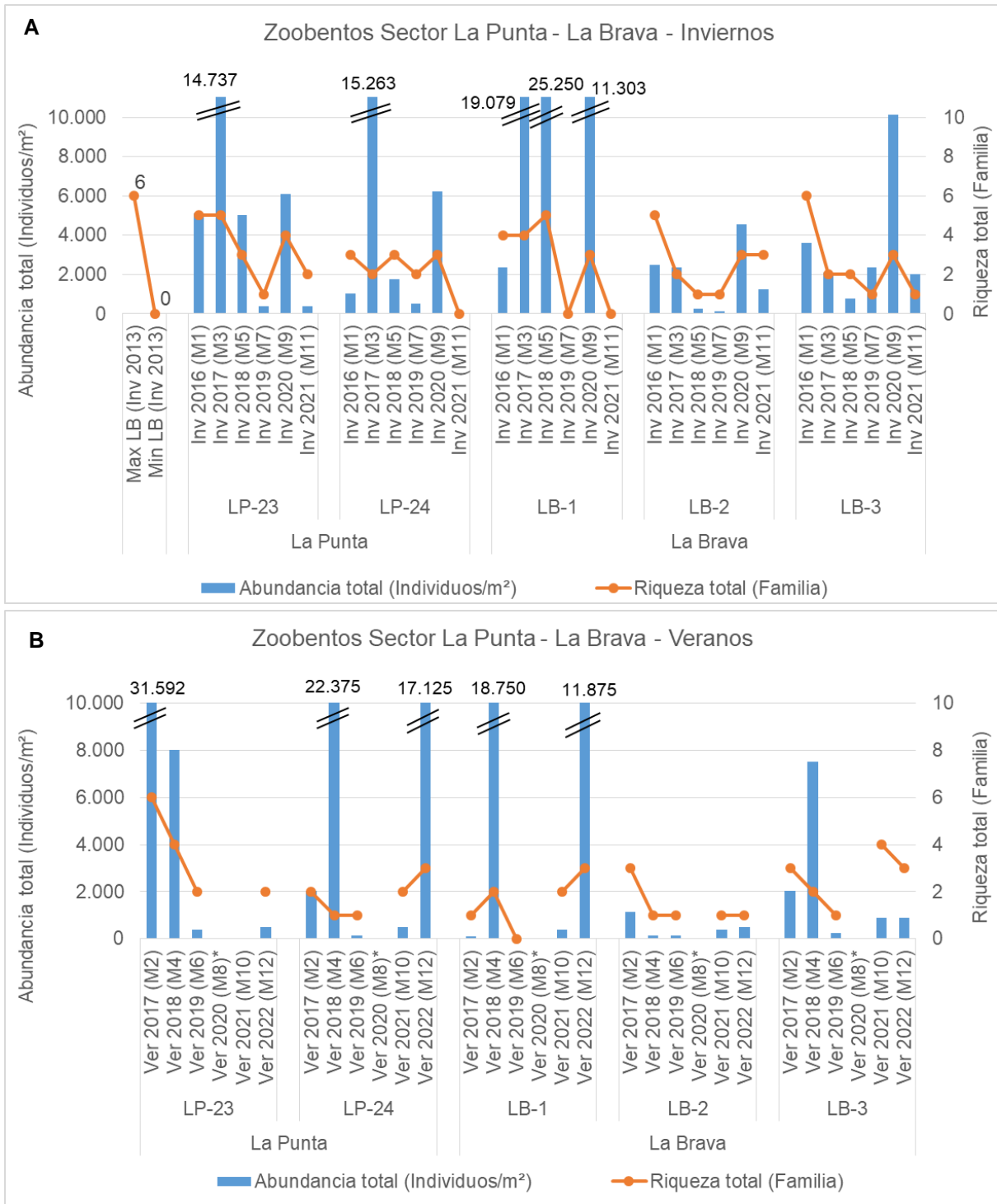
En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. 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.)

Figura N° 13-80. 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 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° 13-81. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



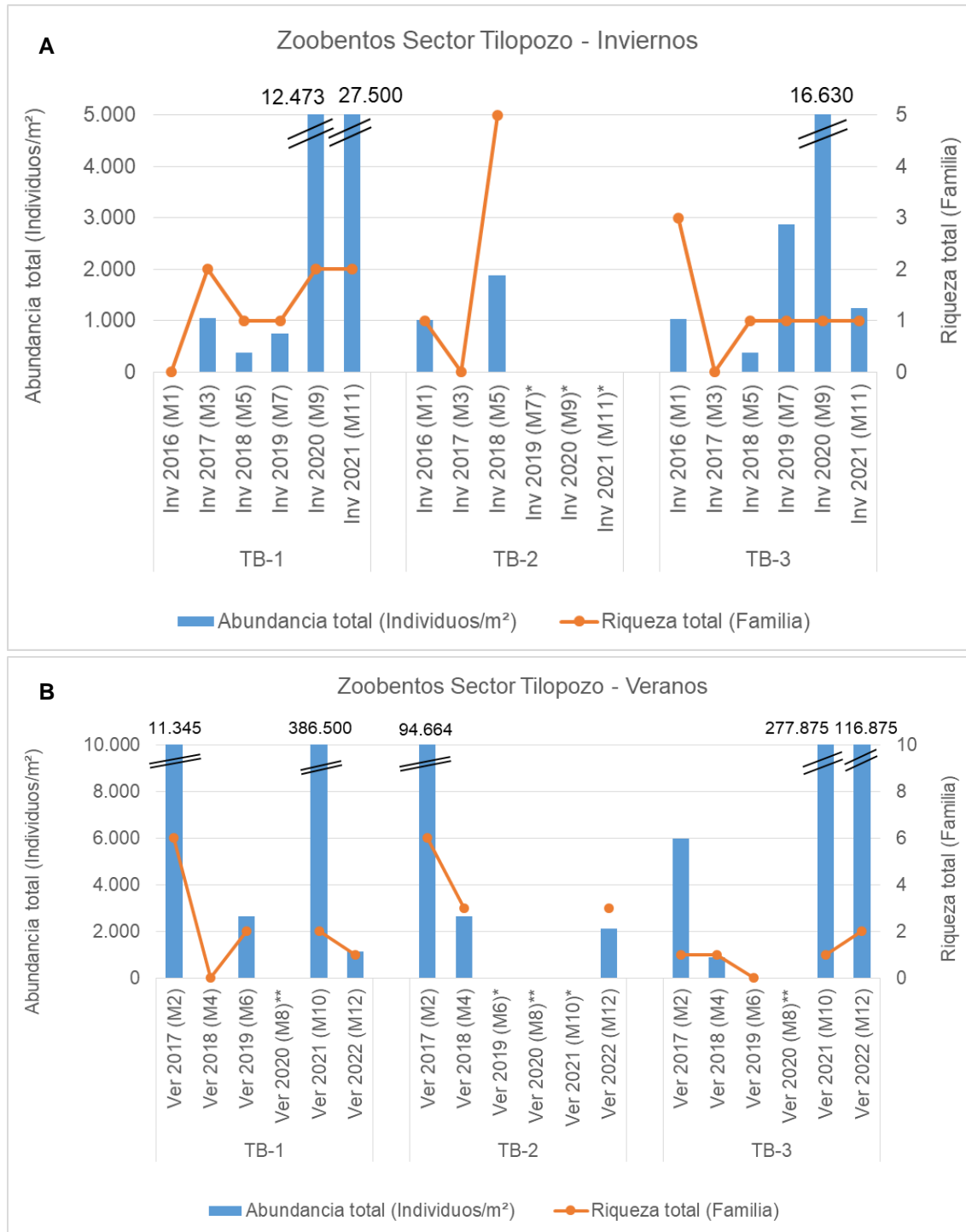
Fuente: Elaboración propia. La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en las campañas de invierno y verano se registraron bajas riquezas de *taxa*, 0 a 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° 13-82**).

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 y 2022 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 mientras que el sector La Punta y La Brava es alimentada por la quebrada del Tucúcaro. Ambos sistemas no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que exista una pendiente de escorrentía desde el sector Tilopozo a La Punta y La Brava la cual permita el desplazamiento de *Heleobia atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.

**Figura N° 13-82. 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, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021), se ha detectado un total de 11 especies. Mientras que, el registro histórico de plantas vasculares acuáticas en los sectores Peine, La Punta y La Brava y vegas de Tilopozo, entre las campañas realizadas en la línea de base verano (2014 y 2015) y los monitoreos verano (2017, 2018, 2019, 2021 y 2022), se ha detectado un total de 9 especies (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Las especies reportadas para ambos periodos estacionales son similares y corresponden a las especies reportadas corresponden a las hidrófitas *Ruppia filifolia*, *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata*, *Puccinellia frigida*, *Triglochin concinna*, *Baccharis* sp., y *Sarcocornia fruticosa*. Salvo excepciones como *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófita *Patosia clandestina* ambas reportadas en campañas de línea de base de invierno. En relación con el origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 13-48**).

Tabla N° 13-48. 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	Helófita	Nativa
	Ruppiaceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófita	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° 13-83 A**).

Por otra parte, en relación con la riqueza de géneros detectada en la campaña invierno 2021 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 y 2021, 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° 13-83 A**).

Con relación a la riqueza de géneros detectada en las campañas históricas de verano LB (2014 y 2015) y PMB (2017-2021), 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° 13-83 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 (2017-2022), y coincidiendo con el periodo de invierno, solo fue detectada *R. filifolia*, en algunas estaciones de monitoreo las que correspondieron a S-5 (Laguna Salada), SA-25 y S-10 (Laguna Saladita). En tanto, en la laguna Interna durante la LB para la riqueza, si bien se observó la presencia de un máximo de 3 especies en periodos de verano, posteriormente en las campañas de monitoreos de invierno y verano (2016 a 2022), no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 13-83 B**).

Por último, hay que señalar que excepcionalmente, no se registraron monitoreos en la campaña verano 2021 debido a restricciones impuestas por la comunidad de Peine, y en la campaña verano 2020 debido a la pandemia COVID-19.

En relación con las coberturas totales en periodo de invierno, comenzaron a ser registradas desde la campaña de invierno 2016 en adelante, en tanto, en las campañas de invierno 2008 y 2014 no fueron consideradas. En tanto, para el periodo de verano se empezaron a registrar desde verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

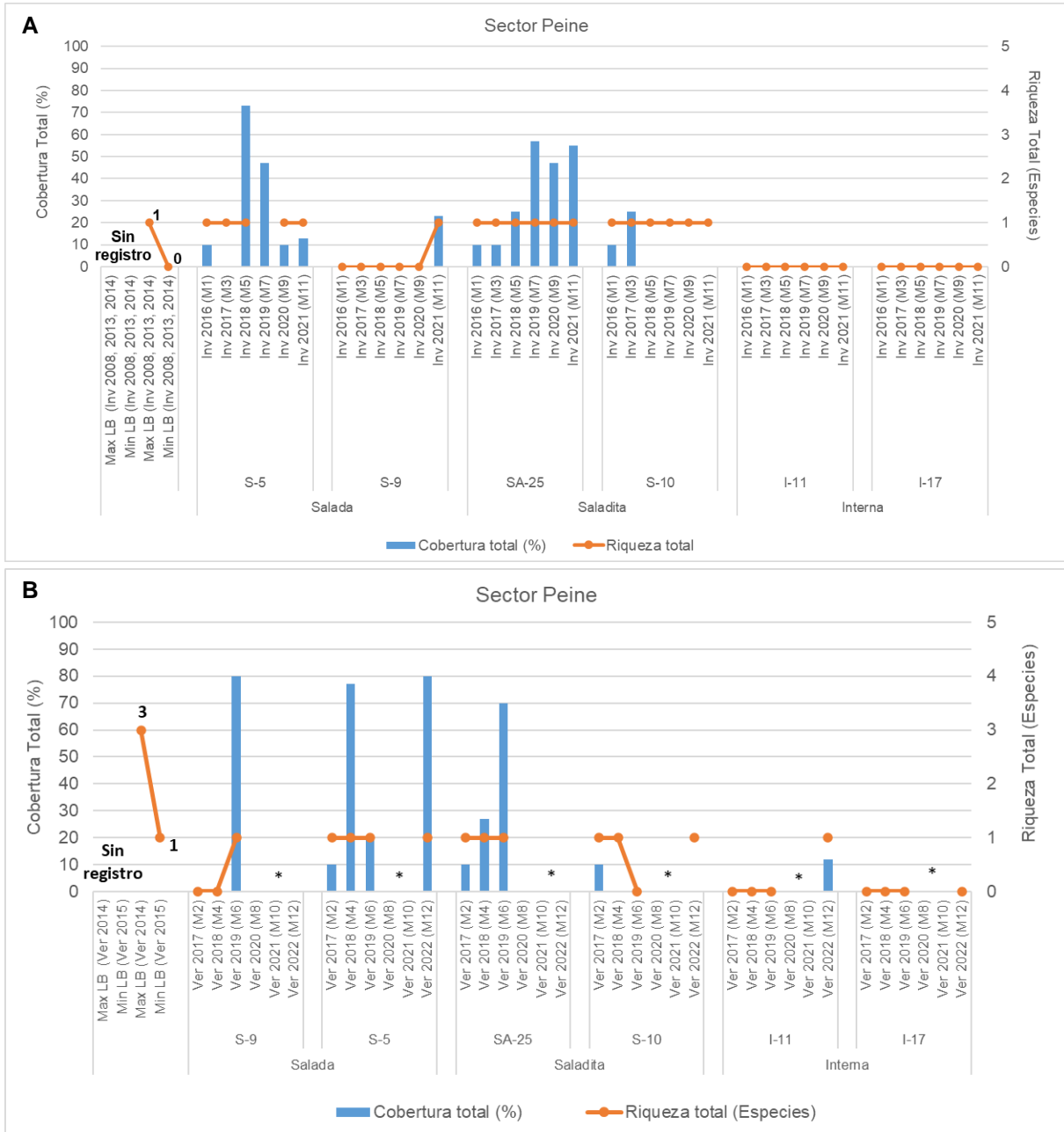
Como se indicó el periodo de monitoreo de invierno, en Peine, solo ha sido detectada *Ruppia filifolia*, para la cual se han registrado coberturas totales en invierno 2016, en la estación S-5 (laguna Salada) y en las estaciones SA-25 y S-10 (ambas ubicadas en laguna Saladita) con porcentajes <10%. Así mismo, invierno 2017, se registró en la estación S-5 y en las estaciones SA-25 y S-10, coberturas entre 30 y 25% respectivamente. En invierno 2018, en las estaciones S-5 y SA-25 las coberturas para esta especie correspondieron a 73 y 25% y en invierno 2019 oscilaron entre 47 y 57% en las estaciones S-5 y SA-25 respectivamente. En tanto, en invierno 2020, se reportó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25 y S-10, con coberturas de 10 y 47% en S-5 y SA-25 respectivamente. Mientras que, en invierno 2021 fue detectada en S-5 (13%), S-9 (23%) y SA-25 (55%) (**Figura N° 13-83 A**).

Cabe señalar que, en invierno 2018, 2019, 2020 y 2021, en la estación S-10 solo ha sido reportada la presencia de *R. filifolia*, dado que esta especie presentó parches en el centro de la laguna y en la estación S-9, solo en la campaña de invierno 2021 fue detectada la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 13-83 A**).

En periodo de monitoreo 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° 13-83 B**).

Para las coberturas, en monitoreos de verano en la estación S-5 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), se ha observado un aumento en términos temporales, hasta sus registros de 2019. Cabe señalar que no se han registrado campañas de monitoreo en verano 2020, 2021 y 2022 por impedimentos en el acceso y por la pandemia COVID-19.

Figura N° 13-83. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el 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 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** y periodo estacional, 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 invierno y verano 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 (solo invierno) y 2021 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 y 2021 y en verano 2018, 2019, 2021 y 2022 en las lagunas La Punta y La Brava.

En las campañas de LB, invierno 2008 no se registraron plantas vasculares acuáticas. En invierno 2013 se registró la presencia de *R. filifolia* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava). En tanto en la laguna La Punta no se observó la presencia de plantas. Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus* y *P. clandestina* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (ubicadas en la Laguna La Punta). Cabe destacar que en estas campañas no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies (**Figura N° 13-84 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° 13-84 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 en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2018, 2021 y 2022 en la estación LP-23 (**Figura N° 13-84 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.

En relación con las campañas de monitoreo de invierno y las coberturas totales, en invierno 2016 se observó *R. filifolia* en las estaciones LB-3 (Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (Laguna La Punta), todas con coberturas menores al 10%. En invierno 2017 se registró *R. filifolia* en las estaciones LP-24 y LP-23 (Laguna La Punta) con coberturas <10% y 40% respectivamente. Además, se reportó la presencia de la helófito *Sarcocornia fruticosa*.

En invierno 2018, se reportó parches de *R. filifolia* con coberturas entre 3% y 23% en LP-24 y LB-3, además de *Sarcocornia fruticosa* con un 58%, *Puccinellia frigida* con un 7% y *Triglochin concinna* entre 12% en LP-23 y 17% en LB-2. En invierno 2019, se reportó parches de *R. filifolia* con coberturas entre 8, 22 y 10% en LP-23, LP-24 y LB-3 respectivamente, además de *Sarcocornia fruticosa* con un 53%, *Puccinellia frigida* con un 3% y *Triglochin concinna* con un 2% en LP-23 y 17% en LB-2.

En invierno 2020, se reportó parches de *R. filifolia* con coberturas entre 3, 13 y 25% en LP-23, LP-24 y LB-3 respectivamente, además de *Sarcocornia fruticosa* con un 53%, *Puccinellia frigida* con un 3% y *Triglochin concinna* con un 7% en LP-23 y 17% en LB-2. Además, se reportó la presencia de la helófito *Sarcocornia fruticosa* en LP-24. Por último, en invierno 2021, similar a lo reportado en inviernos anteriores se observó parches de *R. filifolia* con coberturas entre 3% en LP-23 y 7% en LP-24 y LB-3, de *T. concinna* con 13 y 17% en LP-23 y LB-2 respectivamente, presencia de *P. frigida* en LP-23 y de *S. fruticosa* con un 48% en LP-23 y presencia en LP-24.

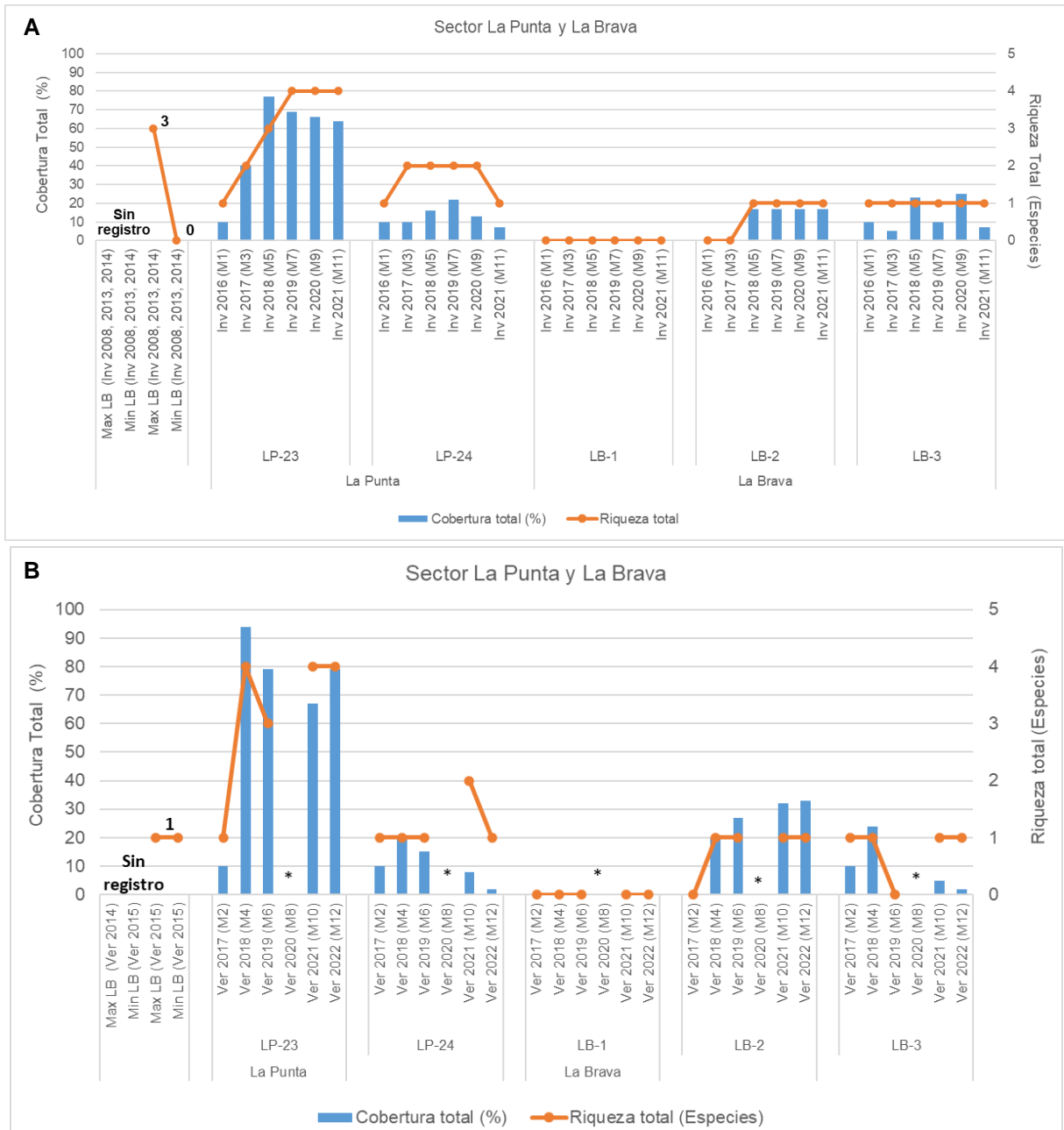
Respecto de las campañas de monitoreo de verano, se observó en verano 2017 a *R. filifolia* en las estaciones LB-3 (Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (Laguna La Punta), todas con coberturas menores al 10%. En verano 2018 se registró *R. filifolia* en las estaciones LP-24 y LP-23 (Laguna La Punta) y LB-3 (Laguna La Brava) con coberturas entre 20%, 27% y 24% respectivamente. Además, se reportaron las helófitas *Sarcocornia fruticosa* (53%), *Puccinellia frigida* (7%), *Triglochin concinna* (7%) en LP-23 y en la estación LB-2 (Laguna La Brava) *T. concinna* con 20%. En verano 2019, en el sector La Punta se reportó parches de *R. filifolia* con coberturas entre 13% y 15% en LP-23 y LP-24, además de *S. fruticosa* con un 63% en LP-23, y *T. concinna* con un 3% en la estación LP-23. En tanto, en LB-2 (Laguna La Brava) se detectó *T. concinna* con un 27%, en LB-1 y LB-3 no se detectaron plantas vasculares acuáticas.

Por otro lado, en verano 2021, se observó *R. filifolia* con coberturas entre 2% y 8% en LP-23 y LP-24, mientras que en verano 2022, en las estaciones LP-23 y LP-24 solo fue registrada con un 2%. En la estación LP-23, *S. fruticosa* presentó coberturas de 57% y 58% en verano 2021 y 2022 y presencia de esta en LP-24 solo en verano 2021, en tanto, *T. concinna* presentó un 6% y un 12% en la estación LP-23 para ambos periodos de monitoreo. En tanto, en LB-2 (Laguna La Brava) se ha detectado *T. concinna* con un 32% y 33% en verano 2021 y 2022, mientras que, en LB-1 no se han detectado plantas vasculares acuáticas para ningún periodo de monitoreo (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Respecto de las coberturas totales, se observa que, en los monitoreos, dado que no existen registros de LB, la estación LP-23 ha presentado valores máximos en invierno con 77% y verano 2018 con 94%. Mientras que, para las restantes estaciones de monitoreo las coberturas

presentaron valores similares entre campañas de invierno con registros entre 10 y 23% y valores diferentes entre campañas de verano con registros entre 2 y 79% (Figura N° 13-84 B).

Figura N° 13-84. 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*. El sector de vegas de Tilopozo no presenta registro de línea de base, por lo que se analizan los registros de invierno 2016 y de verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 5 especies en invierno y verano, encontrándose diferencias entre estaciones de muestreo. Cabe consignar que, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos tipo pozas y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico (**Figura N° 13-85 A**).

En relación con las campañas de monitoreo periodo invierno y coberturas totales, se observó en invierno 2016 la especie *Z. palustris* en las estaciones TB-1 y TB-3, con coberturas de 40 y 75% respectivamente. En invierno 2017 se registró *Z. palustris* en las estaciones TB-1 y TB-3 con coberturas del 100% respectivamente. Además, se reportó la presencia de las helófitas *Schoenoplectus californicus* y *Juncus balticus* en las estaciones mencionadas. En invierno 2018, se reportaron las especies *Z. palustris* en TB-1 y TB-3 con coberturas de 33% respectivamente, *Schoenoplectus californicus* en TB-1 y TB-3 con coberturas de 33% respectivamente, *Distichlis spicata* con 3% de cobertura en TB-1 y 17% en TB-2, *Juncus balticus* con 33% de cobertura y 42% en TB-1 y TB-2 respectivamente y *Baccharis* sp. con 33% en TB-3. En invierno 2019 se reportaron las especies *Z. palustris* en TB-1 y TB-3 con coberturas de 33% respectivamente, *Schoenoplectus californicus* en TB-1 y TB-3 con coberturas de 27 y 33% respectivamente, *Distichlis spicata* con 10% de cobertura en TB-1, *Juncus balticus* con 27% de cobertura y 100% en TB-1 y TB-2 respectivamente y *Baccharis* sp. con 33% en TB-3.

En invierno 2020 se reportaron las especies *Z. palustris* en TB-1 y TB-3 con coberturas de 33%, *S. californicus* en TB-1, TB-2 y TB-3 con coberturas de 47 y 100%, *D. spicata* con 42% de cobertura en TB-1, *J. balticus* con 17% de cobertura en TB-1 y *Baccharis* sp. con 8% y 20% en TB-1 y TB-3. En invierno 2021, similar a lo registrado en inviernos anteriores se reportaron las mismas especies, *Z. palustris* con 33% en TB-1 y TB-2, *S. californicus* en TB-1, TB-2 y TB-3 con coberturas entre 8 y 100%, *D. spicata* con 32% de cobertura en TB-1, y *Baccharis* sp. con 50% en TB-3 (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua, Numeral 1.8**).

Respecto de las campañas de monitoreo periodo verano, la hidrófita libre flotante, *Z. palustris*, se observaron coberturas bien estables entre campañas. En la campaña de verano 2017 en

las estaciones TB-1 y TB-3, se registraron coberturas de 10% respectivamente. En verano 2018 y 2019, en la estación TB-1 y TB-3 se reportaron coberturas del 33%. En tanto, en verano 2021 se observaron en TB-1 y TB-3 coberturas de 28 y 33% respectivamente.

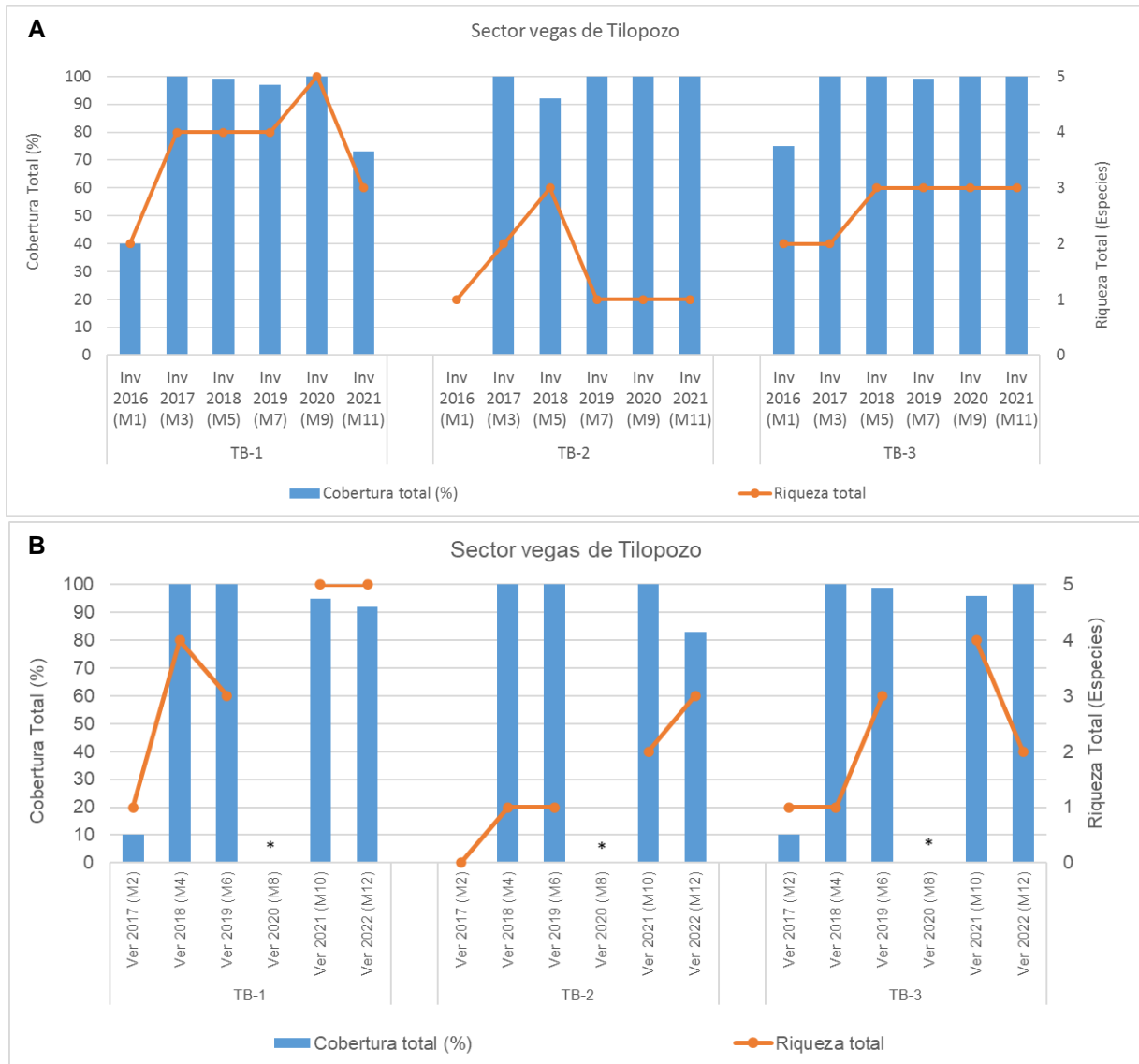
Además, se reportó la presencia de helófitas emergentes, las que también presentaron coberturas bastante estables en el tiempo. En verano 2018, con *Schoenoplectus californicus* con 33% y 100% en las estaciones TB-1 y TB-3 y *Juncus balticus* con 27% y 100% en las estaciones TB-1 y TB-2 respectivamente, y de *D. spicata* con un 7% en TB-1. En verano 2019, *S. californicus* en TB-1, TB-2 y TB-3 con coberturas de 42%, 100% y 33% respectivamente, *D. spicata* con 25% de cobertura en TB-1 y *Baccharis* sp. con 33% en TB-3.

En verano 2021, las especies *S. californicus* presentaron coberturas que oscilaron entre 33% y 52% en TB-3 y TB-1, *D. spicata* con 5% en TB-1 y 52% en TB-2 y *Baccharis* sp. con 10% en TB-1 y 30% en TB-3. Por último, para verano 2022, las coberturas oscilaron entre 8 y 67% entre las estaciones de monitoreo (TB-1, TB-2 y TB-3) (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua, Numeral 1.8**).

En relación las coberturas totales de las plantas acuáticas, en periodos de invierno y verano, el sector vegas de Tilopozo, se han mantenido más bien estables y con valores altos. En invierno las coberturas entre las estaciones de monitoreo oscilaron entre 75 y 100%, excepto para la campaña de invierno 2016 que presentó una cobertura total de 40%. Mientras que, en periodos de verano, los valores también fueron altos oscilando entre 80 y 100%, excepto para la campaña de verano 2017 donde se observó una cobertura total del 10% (**Figura N° 13-85 B**).

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de LB) las estaciones de muestreo presentan altas coberturas de la hidrófita *Zannichellia palustris* como de las helófitas reportadas. *Z. palustris* durante el periodo de verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3. Además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces. Por otra parte, la estación TB-2, sigue presentando una alta cobertura de *S. californicus*, debido a que la estación sigue manteniendo agua subsuperficialmente manteniendo la disponibilidad para las plantas vasculares acuáticas.

Figura N° 13-85. 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.

En términos comparativos vegas de Tilopozo, registró un número mayor de especies respecto del sector Peine y menor a La Punta y La Brava, siendo este último sector el que presentó mayor riqueza de especies. Respecto de las plantas vasculares acuáticas reportadas en los tres sectores estudiados correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria (Ramírez y San Martín 2006).

13.6 En relación con Área de Lagunas

13.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el sexto año de monitoreo 2021 con respecto a los registros históricos se presenta en la **Tabla N°13-49**.

Tabla N°13-49. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2021					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2021		Verano 2021		Promedio anual (2021)	
					ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	33,8	35,0	31,6	45,8	458.260,4	24,1	240.841,4	35,0	349.550,9
	PE	64,8	73,6	48,9	45,7	457.119,2	26,4	263.543,4	36,0	360.331,3
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	-	-	-	40,0	399.631,7	35,5	355.025,8	37,7	377.328,7
	PE	-	-	-	36,0	359.676,6	33,4	333.609,9	34,7	346.643,2

Dónde: PB: La Punta y La Brava, PE: Peine. *Los resultados desde media resolución (de licencia libre) se comparan con los registros históricos de alta resolución para determinar la relación entre ambas resoluciones espaciales. Fuente: Elaboración Propia

De los valores de las superficies estimadas para invierno 2021 y verano 2021, para el sector **La Punta y La Brava** se observa sobre el mínimo histórico en invierno 2021 y bajo el mínimo histórico en los resultados de verano 2021. Para el sector **Peine** se encuentran bajo el mínimo histórico ambos registros.

Las mayores variaciones con respecto a los registros históricos se presentan en el sector Peine en verano 2021 con -22,5 ha (-46,1%); y las menores variaciones se presentaron también en el sector Peine en invierno 2021 con -3,2 ha (-6,5%).

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 ir robusteciendo 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 sexto 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 PSA Hídrico y con ello, explicar la evolución de las superficies obtenidas en estos últimos 6 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 (m^2) de los sistemas lagunares La Punta - La Brava y Peine, permitiendo con ello la visualización de la evolución temporal interanual de los sistemas estudiados (Apéndice L. Monitoreo de dinámica espaciotemporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de imágenes satelitales LANDSAT, del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5).

2. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2021 (serie complementaria semestral).

Como complemento al análisis anteriormente citado, se agrega en el presente informe la serie temporal interanual de los años 2016 a 2021. 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 histogramas⁵⁷, el muestreo al azar de píxeles y la verificación de los umbrales usados en los monitoreos de 2016 a 2021. 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 *RStoolbox*, *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; siendo la serie complementaria interanual, de frecuencia semestral y la serie complementaria intranual, de frecuencia mensual.

3. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2021, PMB N°1 a N°6 (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°5 y del presente informe N°6 (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 la metodología de clasificación supervisada entregan en mayor detalle las superficies de los cuerpos de agua, ya que cuentan con la combinación de cuatro índices espectrales y el trabajo en terreno 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 – 2021), 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.

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

⁵⁷ Representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

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.

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 – 2021 – 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 semestrales de superficie lagunar, 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 (superficies semestrales y Adenda 5), siendo los principales aspectos para considerar: diferentes tipos de imágenes de alta resolución, diferente metodología de clasificación supervisada, inclusión de validación de terreno o análisis visual 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 y La Brava

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

De acuerdo a la información de línea de base, 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.

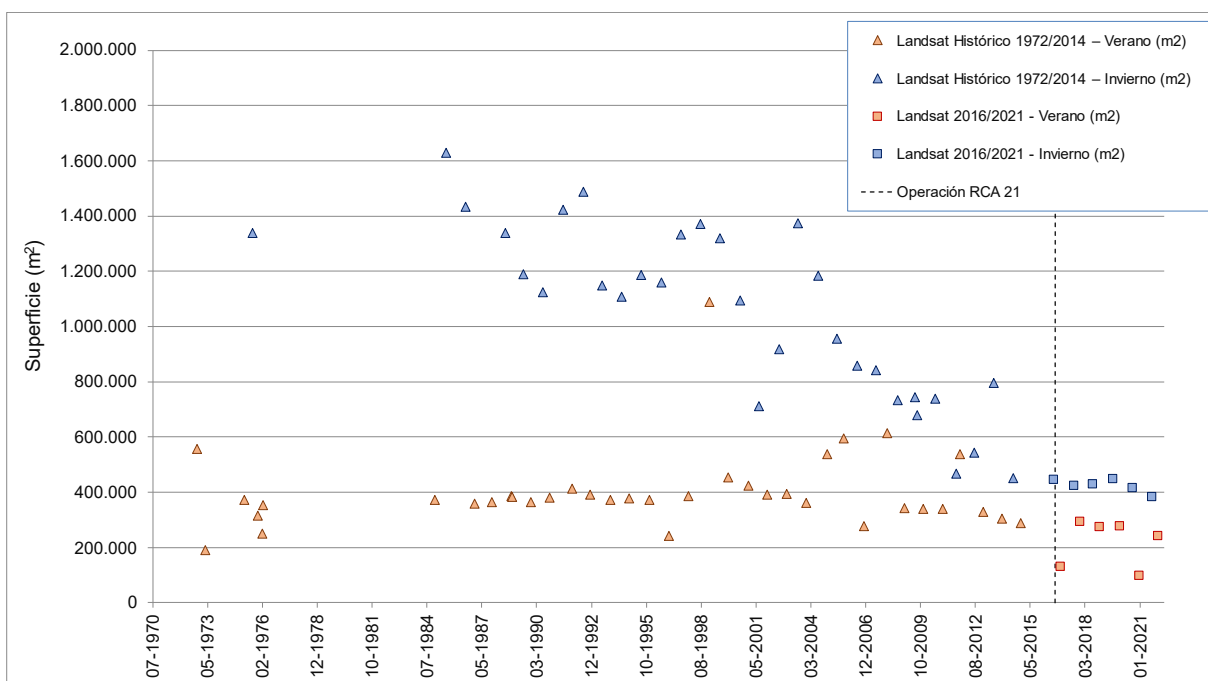
- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria semestral).

En la **Figura N° 13-86** se presenta la serie histórica entre los años 1972 y 2021 de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, asociadas al índice NDWI. En ella se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante

los meses de invierno (indicados en colores celestes y azules en la imagen); y con los registros más bajos en general en verano, dándose en marzo 1973, diciembre 1996, diciembre 2006, diciembre 2016 y diciembre 2020.

Si bien se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan 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, que desde 2016 se mantienen en promedio en el rango de los 425.000 m², con una leve baja en la cobertura estimada en 2021 en relación a los históricos en igual fecha, siendo la superficie observada en verano 2020 la más baja de las observadas.

Figura N° 13-86. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y 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

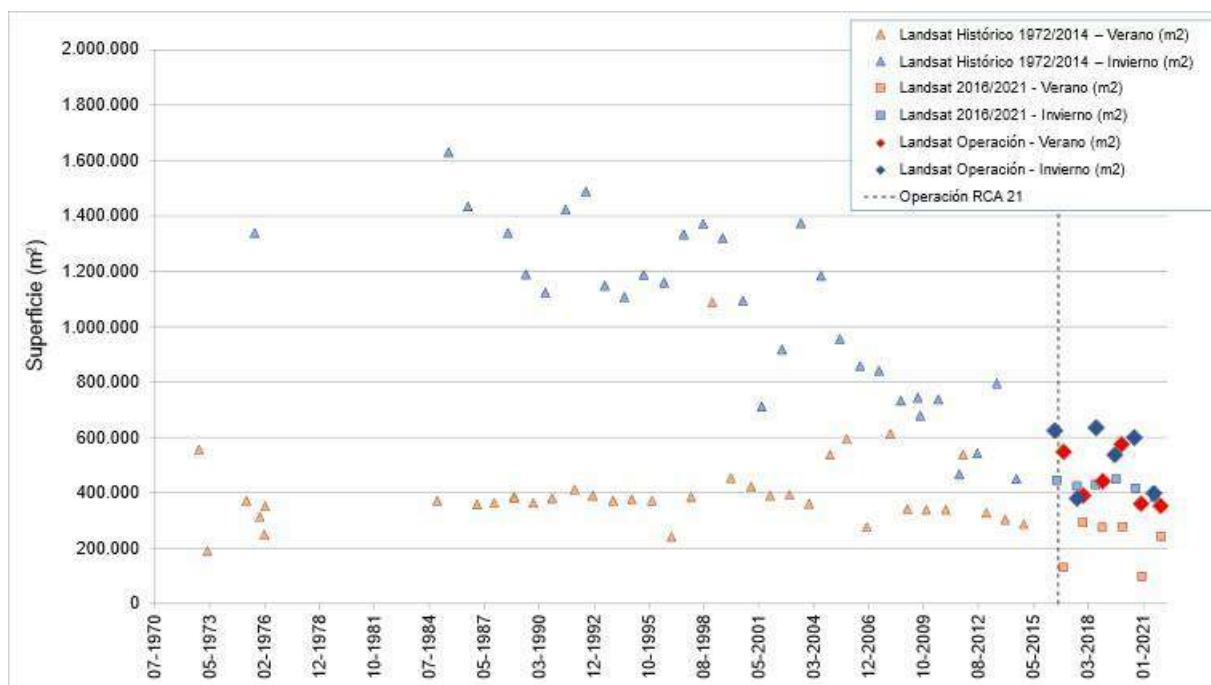
- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (series semestrales PSAH y PMB) en relación a las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria semestral).

Los registros de superficies calculadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2021, como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según

el análisis de variación del índice NDWI para el sector La Punta y 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° 13-87**.

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° 13-87. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector La Punta y 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 mensual).

Con respecto a las variaciones intranuales, en la **Figura N° 13-88** se observa la variación de las superficies lagunares considerando el índice NDWI, desde imágenes Landsat, durante los años 2013 – 2014 (presentadas en proceso de evaluación del Proyecto como Línea de Base) y se ha realizado para efectos del presente análisis el ejercicio para el período enero 2016 –

dic 2021 y su relación con las precipitaciones en estación meteorológica de la Planta Albemarle y Datos Pluviométricos por sector.

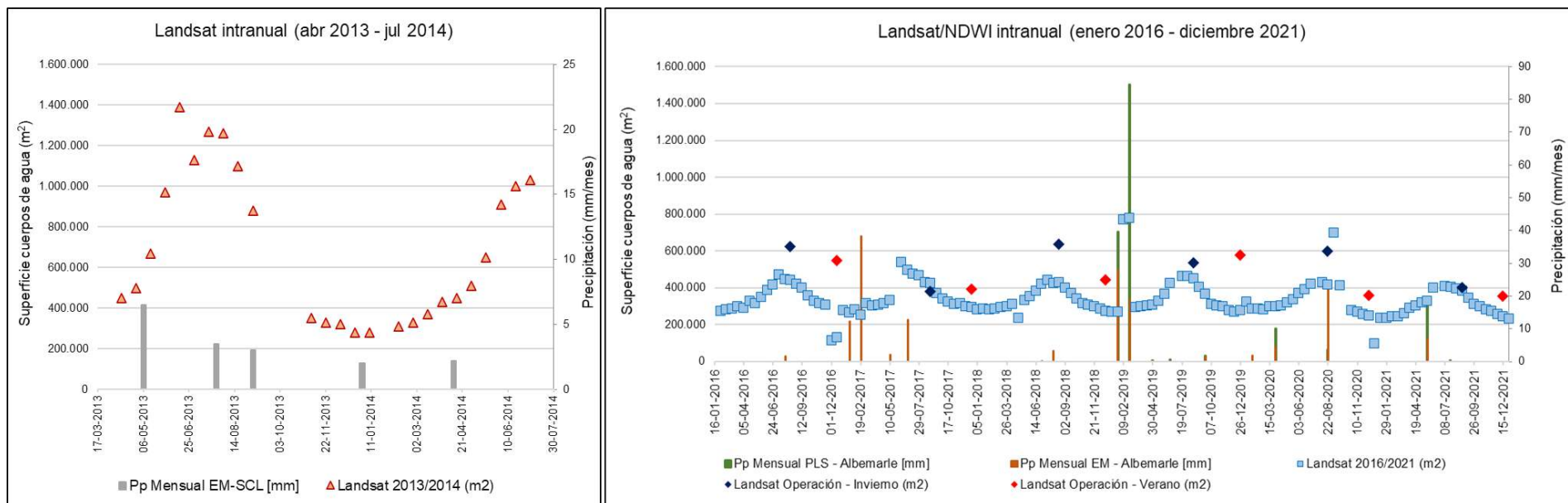
De este análisis intranual se puede apreciar que para los años 2013-2014 existió aumento de las superficies desde fines de mayo hasta agosto 2013 (otoño – invierno) y una disminución de los valores desde noviembre 2013 hasta marzo 2014 (primavera – verano), posterior a esa fecha, las superficies retomaron el alza subiendo hasta el siguiente invierno 2014. Para la serie intranual 2013 - 2014 se observaba una cierta correspondencia o sincronía entre la superficie lagunar y las variaciones mensuales de precipitación durante ese año.

En el caso de los años 2016-2021, 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 corto plazo, 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.

De ambas series intranuales, 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”. Este comportamiento es coherente con el observado en los niveles de pozos y barrenos del sector.

De los registros de superficies calculadas semestralmente durante los monitoreos 2016 – 2021, **Figura N° 13-88**, se observa que coinciden temporalmente con las variaciones en la serie de tiempo de NDWI intranual y el mayor aporte de precipitaciones (agosto 2020).

Figura N° 13-88. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.



Fuente: Elaboración Propia

De la serie Landsat periodo 2016-2021 se observa además una tendencia al descenso de las superficies máximas (de invierno) y en menor grado de las superficies mínimas de verano. La **Figura N°11-4** presenta la serie Landsat histórica período 1985-2021, estimada por IZUMI, 2021 para Informe⁵⁸ de Investigación N°1 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (agosto 2021), con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo de mayor data. Los registros obtenidos fueron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

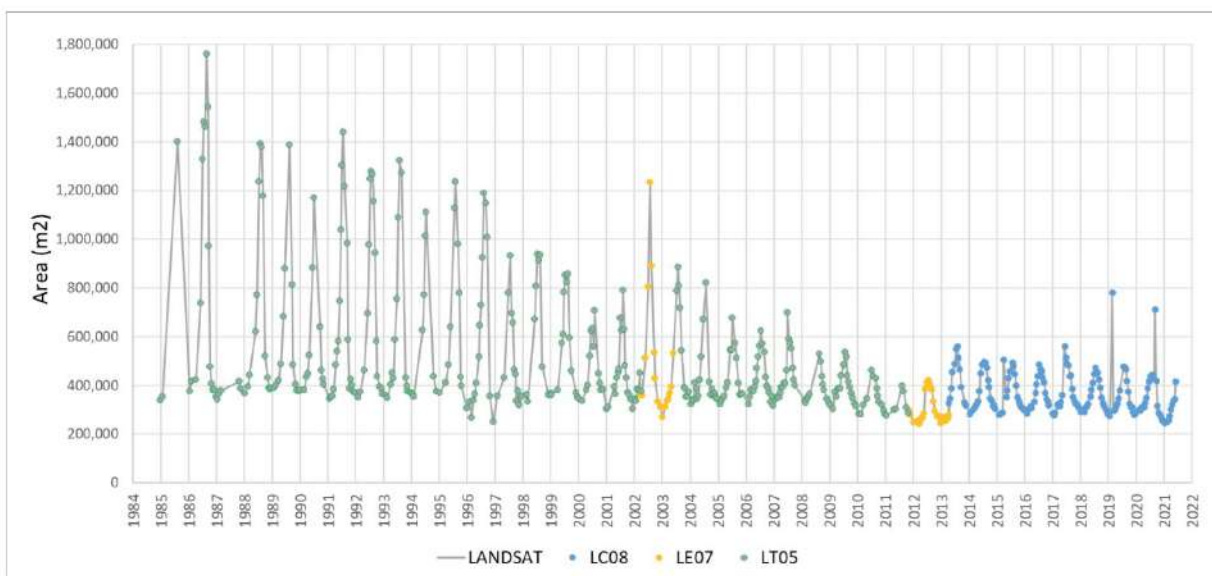
Al igual que para la serie 2016-2021, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7 y 8 entre los años 1985 y 2021. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (*Surface Reflectance, Level-2*), una resolución espacial de 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo a su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

De la variación histórica, **Figura N°11-4**, se observan dos periodos de descenso en las áreas máximas anuales (áreas de invierno), previo al año 2012. El primer período desde el año 1994 a 2000 con una reducción de 1.400.000 m² a 705.000 m² aprox. y el segundo período de 2003 a 2012 con una reducción de 890.000 m² a 420.000 m² aprox. En el segundo periodo el área mínima de verano muestra además una reducción en el orden de 60.000 m².

Los dos periodos se encuentran interrumpidos por 2 años (2001 y 2002) donde se aumenta el tamaño máximo de las lagunas hasta 1.230.000 m² en julio de 2002. El aumento en el tamaño coincide con 81,7 mm de lluvia caída en marzo de 2001 y 20 mm en marzo de 2002 en la estación de EM – SCL. Finalmente, dada la escala del gráfico y la ventana temporal presentada histórica (1985-2021), en el periodo 2013 a 2021, considerando las variaciones del sistema lagunar La Punta La Brava previas, se observa una cierta estabilidad en el tamaño máximo y mínimo del área de las lagunas, que es lo que se visualizaba antes de tener toda la serie, que podría estar asociado al efecto amortiguador de los eventos de precipitaciones que ha ocurrido con una frecuencia de 2 años durante los meses de verano de 2013, 2015, 2017, y 2019 (y también agosto de 2020) (Ver **Figura N° 13-89**).

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización pero que a escala más pequeña de tiempo también presenta disminución en los últimos años.

⁵⁸ Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan 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. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del 09-08-2021, 2021 08 06 ALB-GMA-2021-SMA-046 Entrega Informe de Investigación.

Figura N° 13-89. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2021)

Fuente: IZUMI, 2021 para Albemarle.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución.

Con respecto a la variación semestral de las superficies lagunares, en la **Figura N° 13-90**, se presentan las imágenes de alta resolución para el sector de La Punta y la Brava, junto a las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015). Las superficies semestrales desde imágenes de alta resolución se presentan sobre los históricos, a excepción del mes de diciembre de 2020 y diciembre de 2021. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR 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.

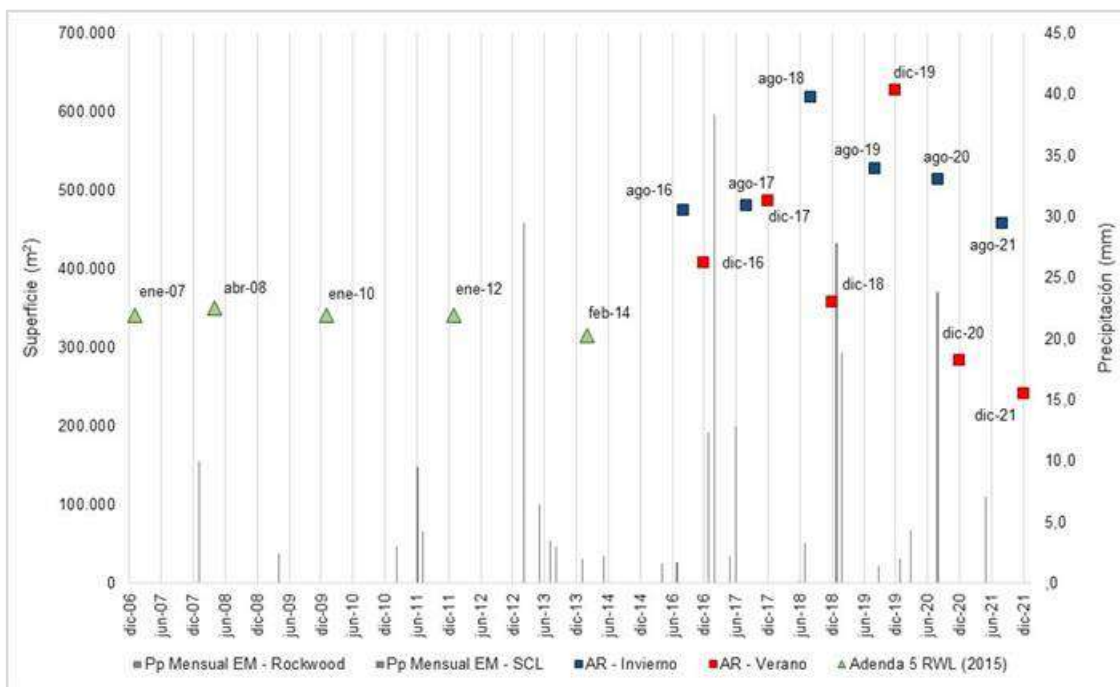
Los aportes de precipitaciones en el periodo 2016 – 2021, los cuales se presentaron en general en los meses de enero - febrero y mayo - junio; de las mayores superficies medidas en AR, solo una se asocia temporalmente a lluvias invernales (agosto de 2018) que coincide temporalmente con las lluvias de junio y julio de 2018 (3,5 mm acumulados).

Por otra parte, las menores superficies registradas de diciembre de 2018 y diciembre de 2020 no presentan lluvias asociadas y ambas están precedidas de tres meses de nula precipitación. 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 línea de base de AR (**Figura N° 13-90**) 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° 13-90**). Existen periodos más largos en los que no hay registro de precipitaciones que no alteran mayormente el ciclo de variación invierno – verano (**Figura N° 13-90**). Para el año 2021, en general las precipitaciones se presentan escasas (con un aporte de 7,1 mm en el mes de mayo 2021), que puede haber aportado a las superficies de inundación de agosto de 2021, pero que en particular no muestran incidencia en las superficies reportadas para el año en cuestión.

En general, las variaciones estacionales con inviernos de mayor área de ocupación lagunar y veranos con menor superficie lagunar, puede observarse tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, pero en la serie de alta resolución no se observa una diferencia constante entre inviernos y veranos, a excepción de los años 2020 y 2021 donde se puede ver mayor diferencia entre temporadas. Sin perjuicio de lo anterior, para ambas fuentes (AR y Landsat) se tiene que los rangos de superficies lagunares para el Sistema La Punta – La Brava, varía en general entre 350.000 m² a 620.000 m², lo cual está dentro del rango observado tanto para AR como para Landsat del último período histórico 2007-2014 que promedia los 338.200 m²; sin embargo para diciembre de 2020 y diciembre de 2021 bajan del rango señalado.

Figura N° 13-90. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta y La Brava.



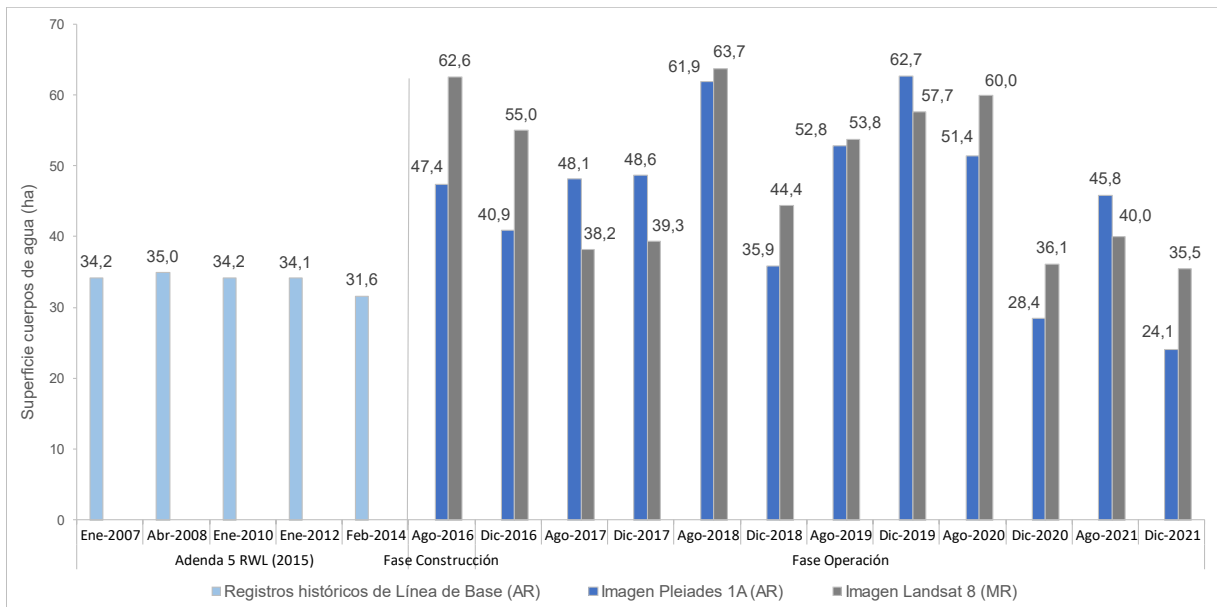
Fuente: Elaboración Propia

- Comparación Landsat y AR PMB con registros históricos de línea de base (AR).

En el sistema lagunar La Punta y La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 45,8 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 24,1 ha (**Tabla N°13-49**). La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (31,6 ha) estimado desde imágenes satelitales de alta resolución (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura de agosto de 2021 es mayor en +14,2 ha (45,0%) y la de diciembre 2021 es menor en -7,5 ha (-23,8%). La **Figura N° 13-91** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha.

Las principales diferencias de superficie que pueden incidir en los resultados y en comparación con los registros históricos de alta resolución, se observan en sectores de inundación no recurrentes, que cuentan con variabilidad intranual e interanual, asociados tanto al subsector La Punta como La Brava. En el caso del sector noroeste de La Punta, la naturaleza del sustrato (endurecido) genera acumulación de aguas someras interconectando los cuerpos de aguas en el periodo de mayor aporte de las precipitaciones, pero retrocede los cuerpos de agua en épocas más secas, exponiendo sustratos con microorganismos que interfieren en la medición de los parámetros (**Figura N° 13-92 a Figura N° 13-95**).

Figura N° 13-91. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



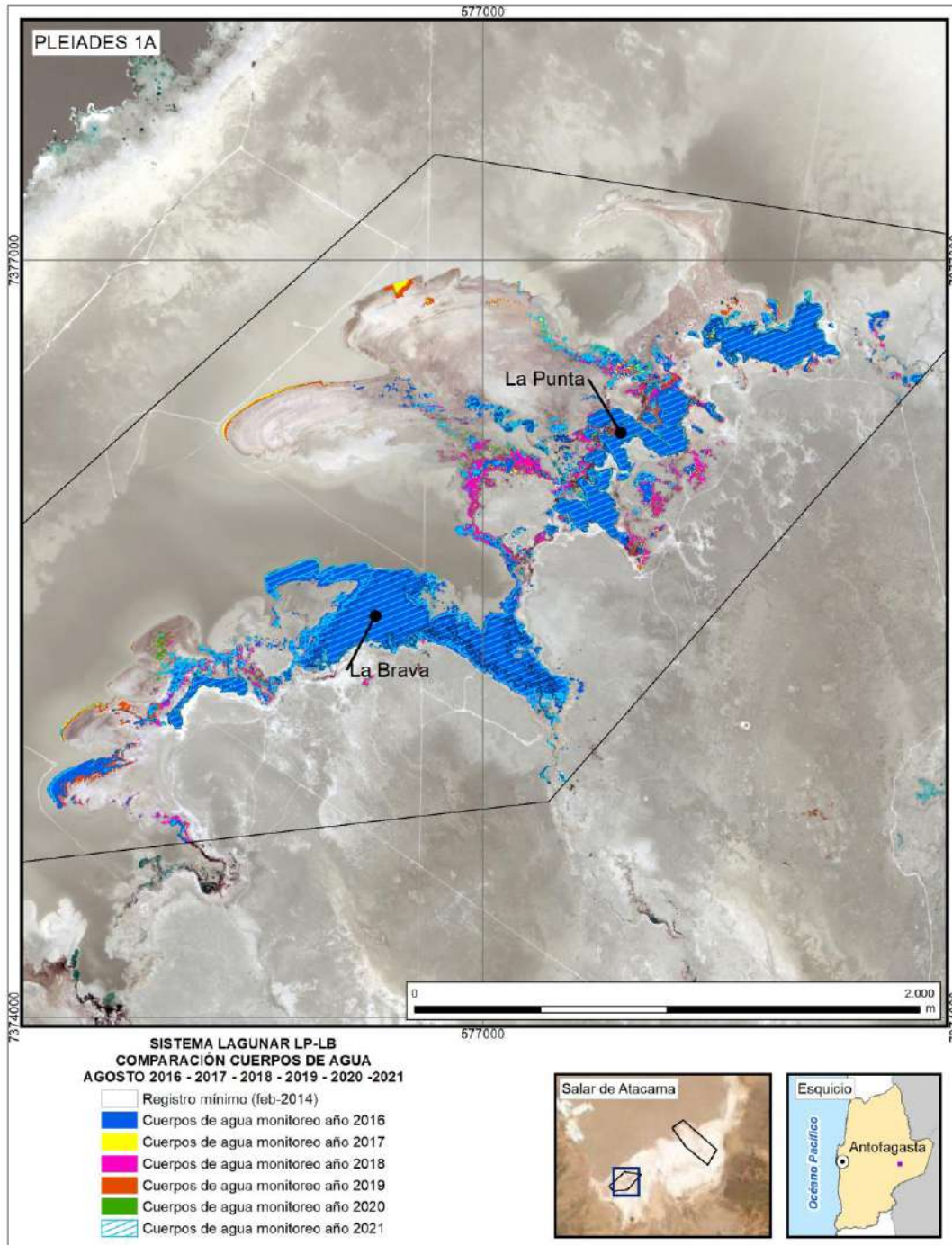
Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

-
- Comparación Imágenes/Cartográfica entre monitoreos 2016 al 2021

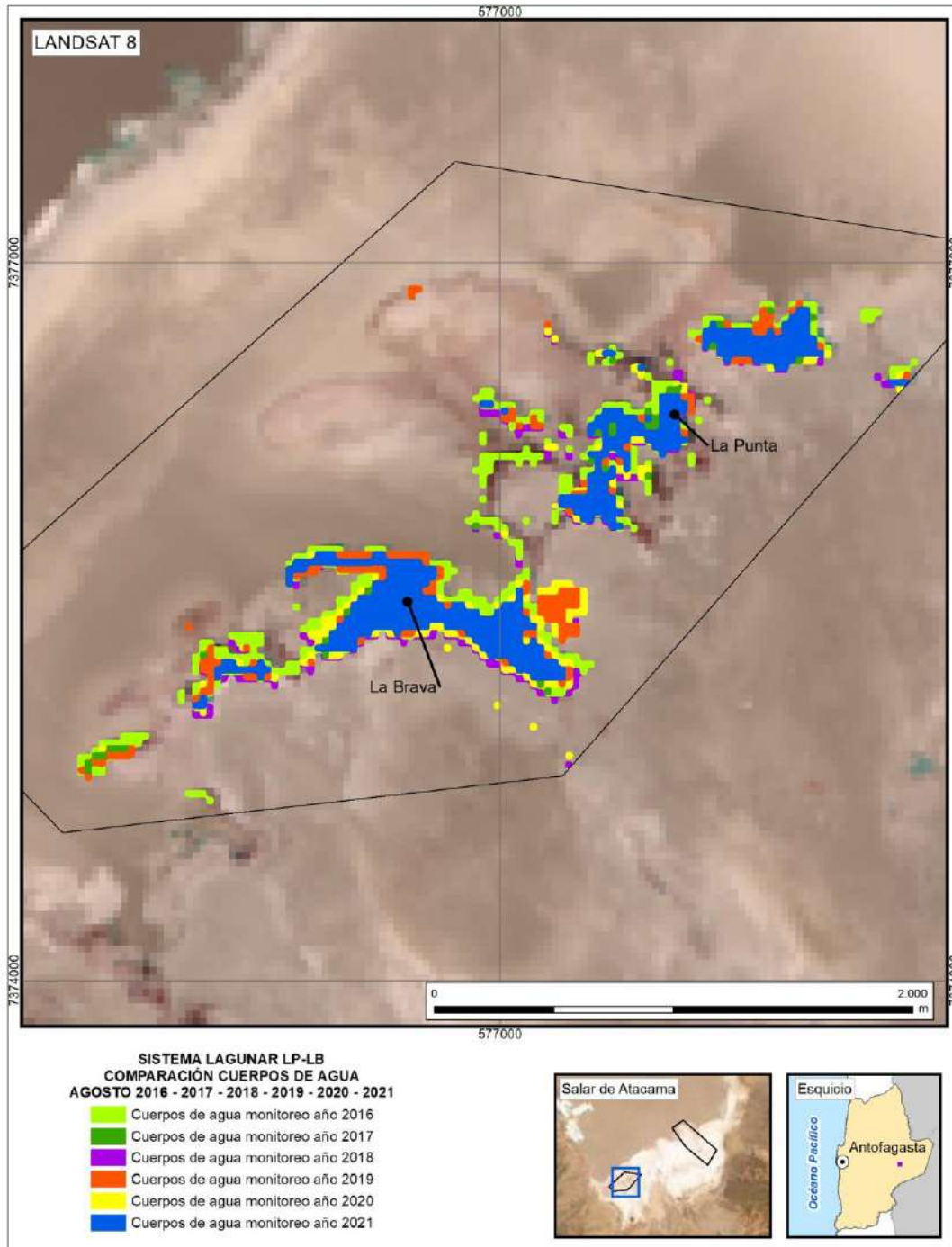
La **Figura N° 13-92** a la **Figura N° 13-95**, muestran la evolución en imágenes y por ende las principales diferencias de superficie durante el monitoreo de invierno y de verano para el sector de la Punta y la Brava, entre 2016 a 2021. Para el sector de la Punta y la Brava, se observan variaciones cíclicas interanuales, 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. Por el contrario, las áreas de invierno 2021 y verano 2021, resultan ser los registros más bajos tanto en alta como media resolución, comparables con los registros de alta y media resolución de verano 2020.

Figura N° 13-92. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.



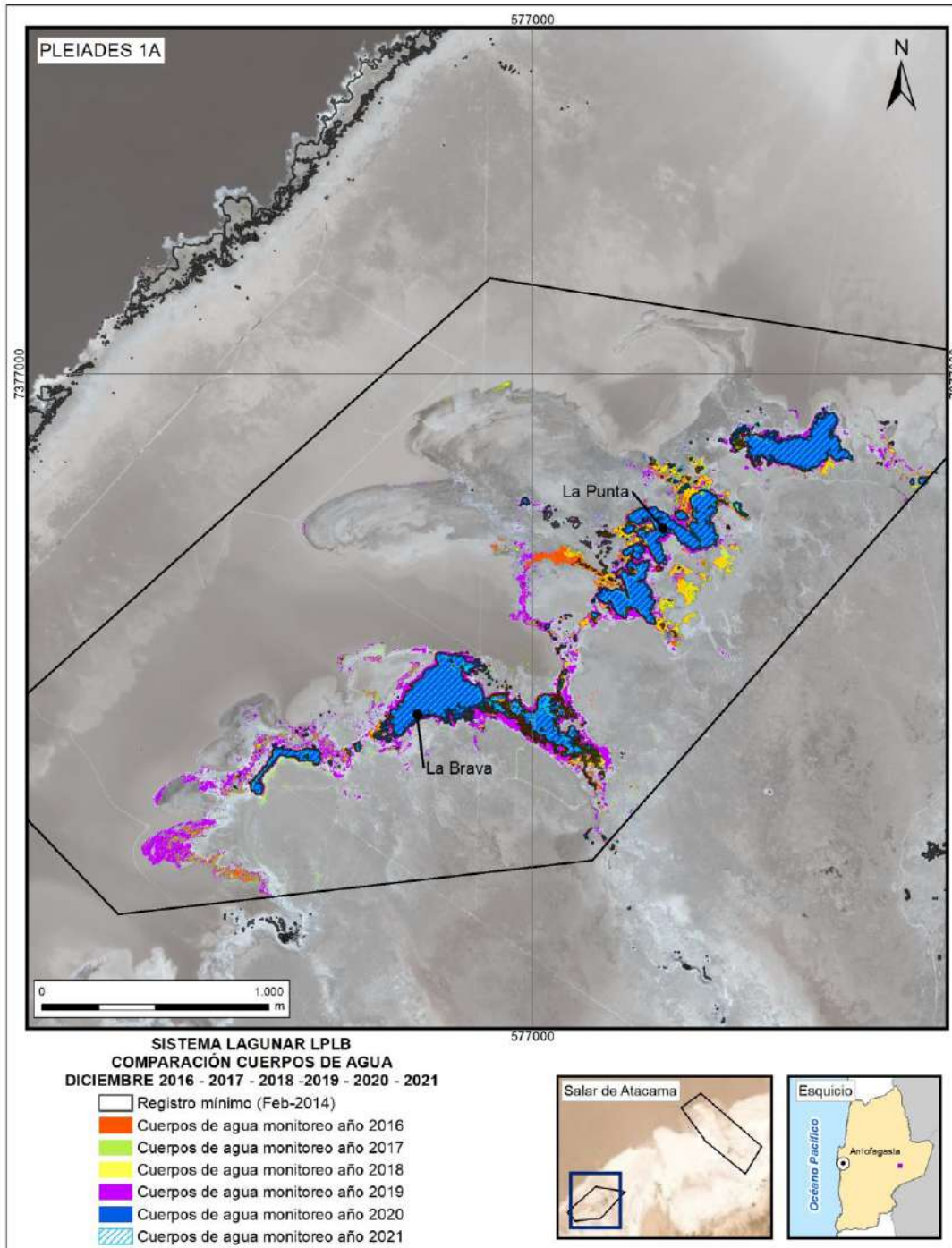
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021

Figura N° 13-93. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



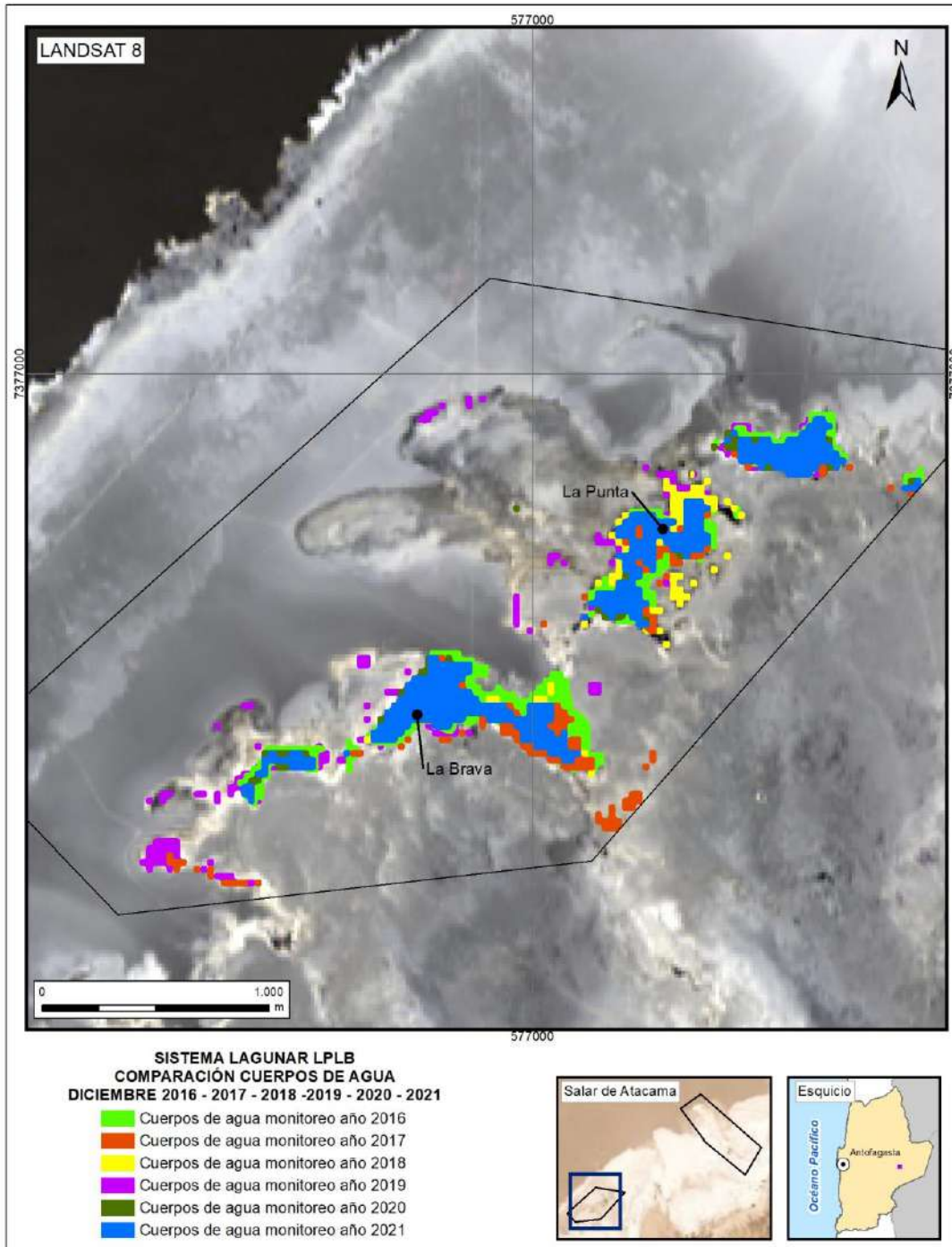
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021

Figura N° 13-94. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021

Figura N° 13-95. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021

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° 13-96**) lo cual se corrobora con el análisis intranual año 2016-2020 de la misma Figura.

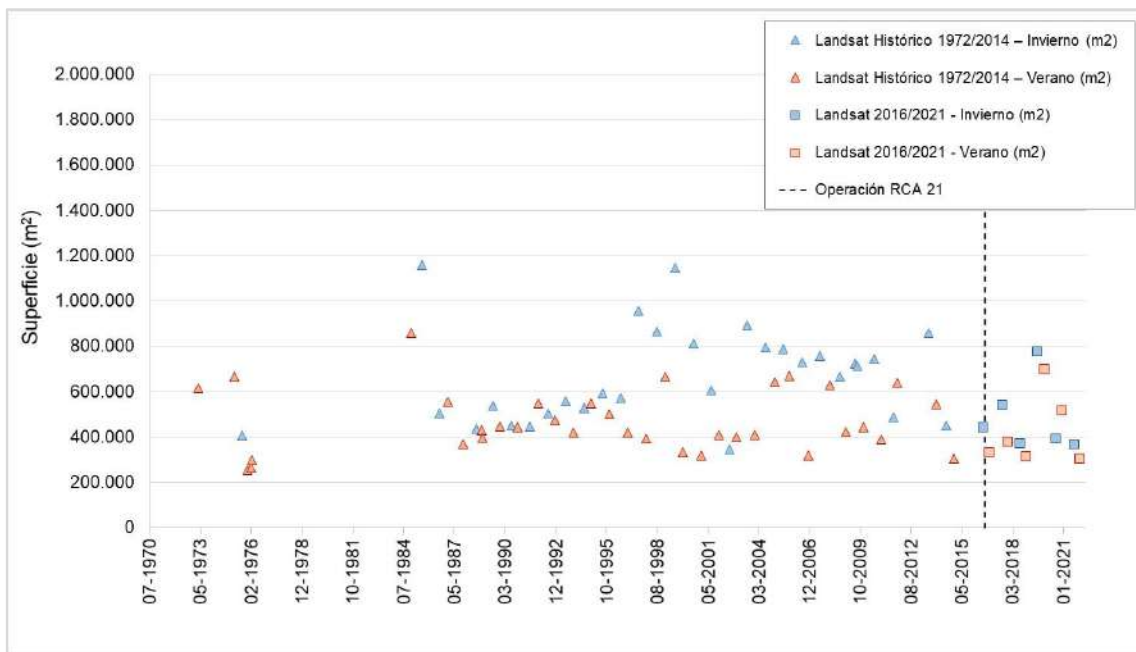
De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5, se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, *“las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose 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 semestral).

En la **Figura N° 13-96**, 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 (2016-2021) 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), en triángulos celestes y cuadros celestes, muestran un ascenso desde 1972 a 1998, luego un descenso hasta el 2014 y finalmente una variación no concluyente entre 2016 a 2021. Por otro lado, la tendencia de las superficies reportadas en verano se muestra a la baja en la serie histórica hasta 1998, desde ahí muestra variabilidad y en la serie complementaria muestra un aumento en los veranos de 2019 y 2020, para volver a la condición anterior el verano 2021.

Figura N° 13-96. 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 semestrales PSAH y PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria semestral).

En la **Figura N° 13-97** se presentan las superficies lagunares determinadas en el PSAH entre los años 2016-2021, en 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 2016-2021; sin embargo las mediciones de invierno y verano 2021 son mayormente concordantes a los valores de la serie NDWI, con superficies en promedio cercanos a los 350.000 m².

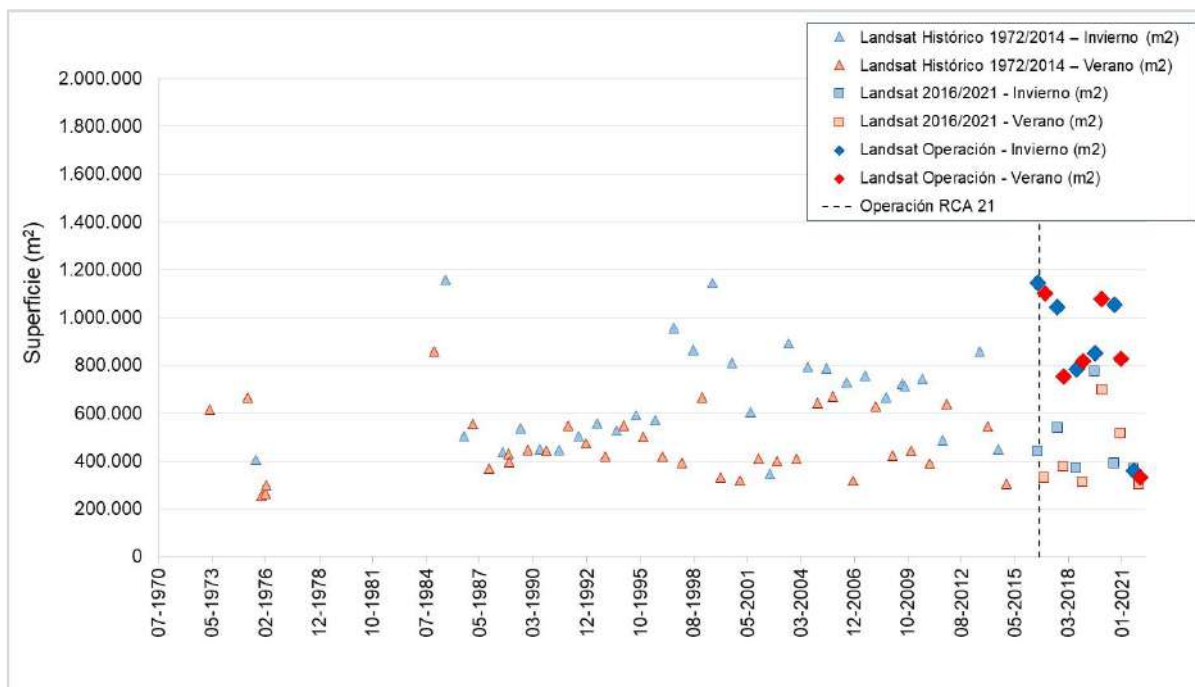
Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales 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 2021 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 - 2021. Para los años 2016, 2017 y 2020 las superficies de invierno reportadas se encuentran en el rango de las superficies máximas, mientras que las superficies reportadas para los veranos están sobre los registros máximos y mínimos para la temporada; a excepción de los registros de invierno y verano de 2021.

Entre las principales diferencias con los registros anteriores en temporada de verano, se puede apreciar que el subsector Laguna Interna no presenta superficie de agua para la temporada de diciembre 2021. Cabe señalar que la laguna Interna se “llena” posterior a las lluvias, y no hubo precipitaciones en el periodo estival de 2021, lo 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 en diciembre 2021.

Figura N° 13-97. 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).

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Peine, en la **Figura N° 13-98** se observa en el gráfico del lado izquierdo la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat, durante los años 2013 – 2014 y en el gráfico de la derecha, mismo análisis para años 2016 – 2021 y junto con ello las precipitaciones de la estación Planta y Pluviométricos Sector Peine. De este análisis intranual se pudo apreciar que para los años 2013-2014 existe menor variabilidad de las áreas lagunares (200.000 m² aprox.), a diferencia de los años 2016-2021 con un rango de variabilidad de 600.000 m².

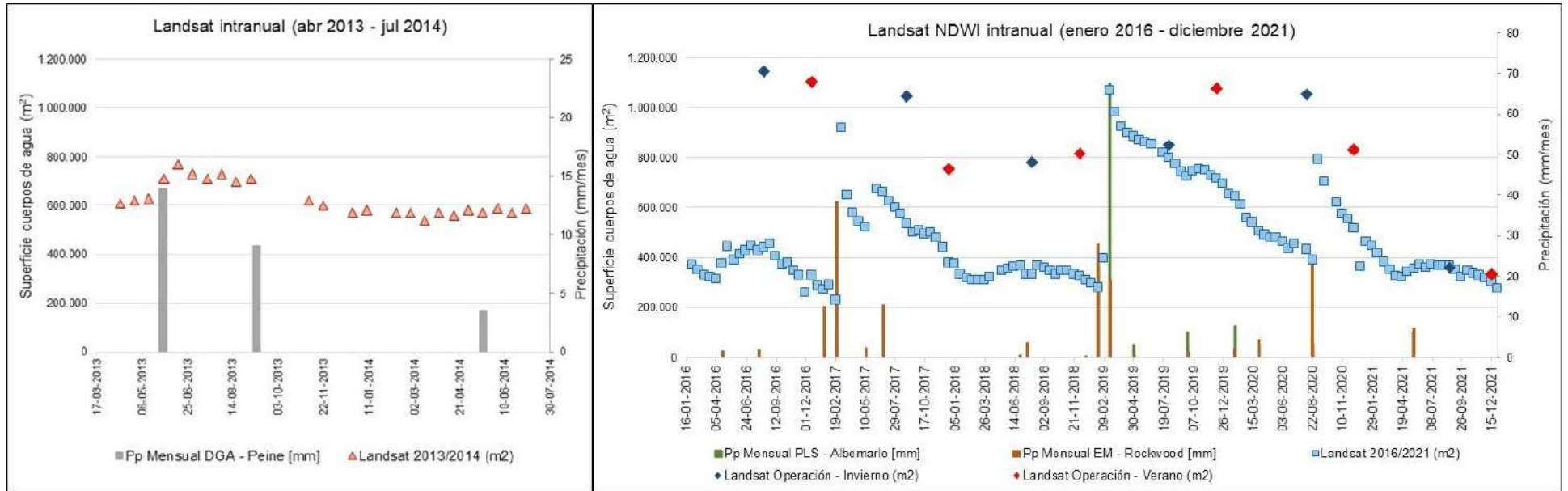
Se observa un leve aumento de las superficies lagunares de Peine desde fines de mayo de 2013 hasta septiembre de 2013 (otoño – invierno), manteniéndose el resto del periodo con superficies en valores similares (noviembre 2013 a julio 2014). En el caso de los años 2016-2021, la serie de NDWI muestra las superficies más altas entre julio de 2019 y enero 2020

(mostrando un amplio periodo de máximas superficies), 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 promedio en el rango de los 340.000 m², muy similar a los presentado en el periodo de enero 2018 a enero 2019. La relación de estas fluctuaciones 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).

La gráfica de variaciones Landsat/NDWI 2016- 2021, muestra que el comportamiento mostrado desde junio 2017 – enero 2019, podría tener un correspondencia con el periodo septiembre 2020 – diciembre 2021.

Con respecto a las variaciones de las superficies lagunares del índice Landsat/NDWI 2016-2021 y los registros calculados como parte del PSAH, estos últimos se encuentran sobre de los registros máximos y mínimos para la serie total hasta diciembre de 2020; sin embargo los registros de invierno y verano 2021 se presentan en el rango mínimo de las superficies calculadas del índice NDWI, correspondiendo a valores promedio que bordean los 340.000 m² entre los meses de julio – diciembre 2021, 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 2016-2021, (**Figura N° 13-98**, der. Landsat NDWI (enero 2016 – diciembre 2021)), no se observa una tendencia clara para este período, en donde las superficies mínimas en verano 2016 y verano 2018 se presentan similares en magnitud a la superficie estimada para verano 2021. Las superficies máximas que se presentan son posteriores a eventos de precipitaciones.

Figura N° 13-98. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.

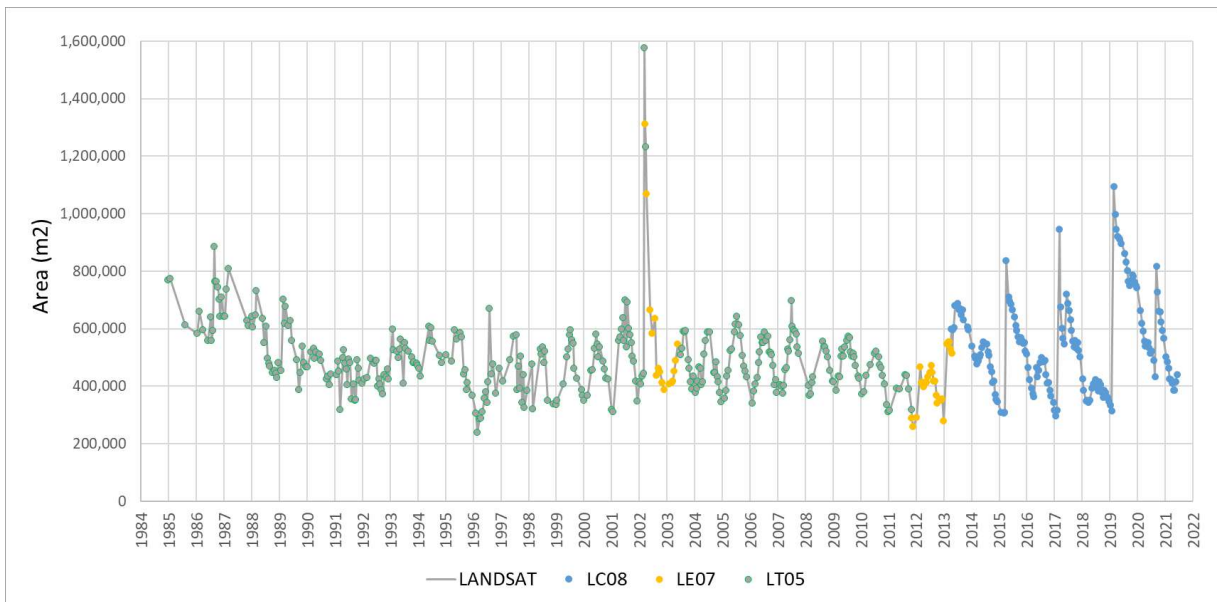


Fuente: Elaboración Propia

Sin perjuicio de lo anterior, así mismo como se han estudiado las lagunas La Punta-La Brava, con el objetivo de poder estudiar la evolución histórica que ha tenido el sistema Peine, es que durante el año 2021 Albemarle encomendó analizar las superficies lagunares de este sistema desde una ventana temporal más amplia, con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo de mayor data. La **Figura N° 13-99** presenta esta serie Landsat histórica período 1985-2021, estimada por IZUMI, 2021 para Informe⁵⁹ de Investigación N°1 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (agosto 2021). Los registros se obtuvieron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), y considerando todo el sistema Peine en su conjunto, es decir, lagunas Salada, Saladita e Interna.

Al igual que para la serie 2016-2021, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7 y 8 entre los años 1985 y 2021. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (*Surface Reflectance, Level-2*), una resolución espacial de 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo a su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

Figura N° 13-99. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2021)



Fuente: IZUMI, 2021 para Albemarle.

Analizando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI (1985-2021), **Figura N° 13-99**, en general se observan tres periodos. El primer

⁵⁹ Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan 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. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del 09-08-2021, 2021 08 06 ALB-GMA-2021-SMA-046 Entrega Informe de Investigación.

período entre 1985 a 1996, marcado por descensos y ascensos tanto de las superficies mínimas de verano como de las de invierno, llegando a un mínimo de casi 200.000 m² en el año 1996. El segundo período entre 1996 a 2013, caracterizado por una variabilidad estacional más o menos en rangos estables, entre 400.000 m² a 600.000 m² aproximadamente, con la excepción de una subida abrupta en marzo del año 2002. Finalmente, un tercer período el cual, a diferencia del anterior, presenta una variación no estacional y con aumentos abruptos de superficies en promedio cada 2 años aprox. Estos aumentos o peaks de áreas, han coincidido con las precipitaciones del último período (Ver **Figura N° 13-98**).

Como se puede observar, los valores registrados durante el seguimiento ambiental y en particular el año 2021, se encontraría dentro de los rangos de variabilidad natural del sistema Peine, el que ha fluctuado de manera dinámica y variable a través del tiempo. Las disminuciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar Peine, se puede observar una variabilidad histórica y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas, y que en el último período 2013- 2021 se ve relacionado con el aporte de precipitaciones.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

Con respecto a la variación de las superficies semestrales del PSAH desde imágenes de alta resolución, para el sector Peine (**Figura N° 13-100**), se puede observar en los años 2016 y 2021 una cierta variabilidad estacional reflejada por una diferencia entre el área de invierno con la de verano, hasta el invierno 2021. Sin embargo, para el resto de los períodos, las áreas resultan ser muy similares, en donde incluso las áreas de verano resultaron ser superiores a las de invierno en el 2019 y 2020. 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 del PSAH, de invierno y verano 2021, se presentan bajo el mínimo históricos AR (489.000 m²), con una cobertura en agosto de 2021 menor en -31.881 m² (-6,5%) y en diciembre 2021 menor en -225.457 m² (-46,1%). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses

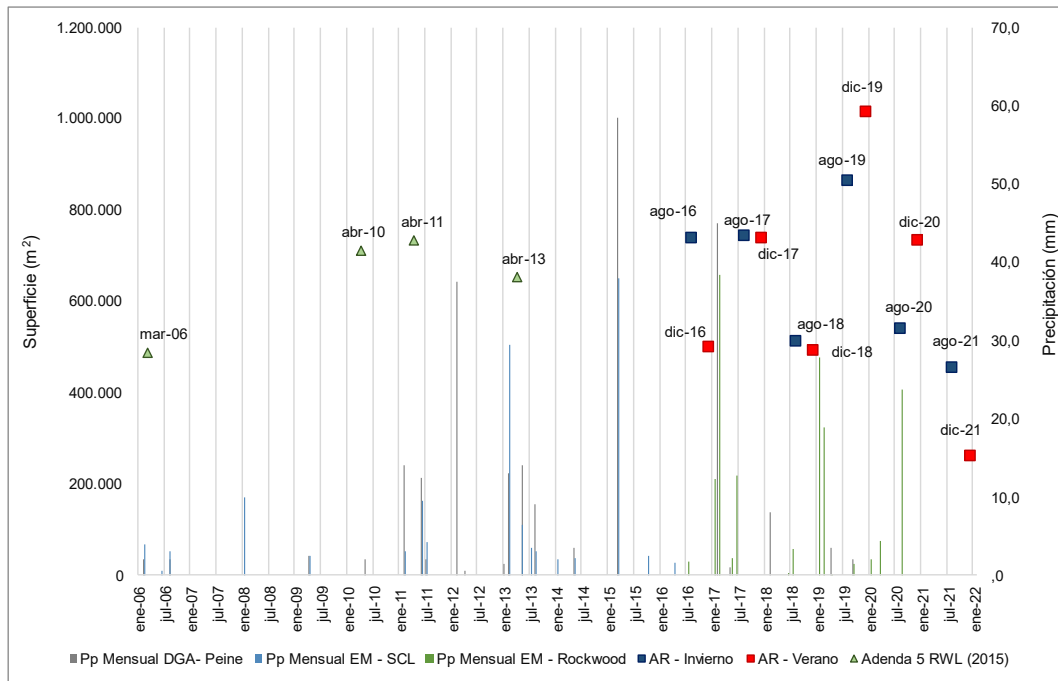
distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Con respecto a las precipitaciones para el sector⁶⁰, y considerando las precipitaciones registradas por estación Peine y en los últimos años la estación de Albemarle, observando la **Figura N° 13-100**, 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. 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.

⁶⁰ 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 2021); por lo tanto, se agregan datos de las estaciones meteorológicas Planta Albemarle para contextualización.

Figura N° 13-100. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.

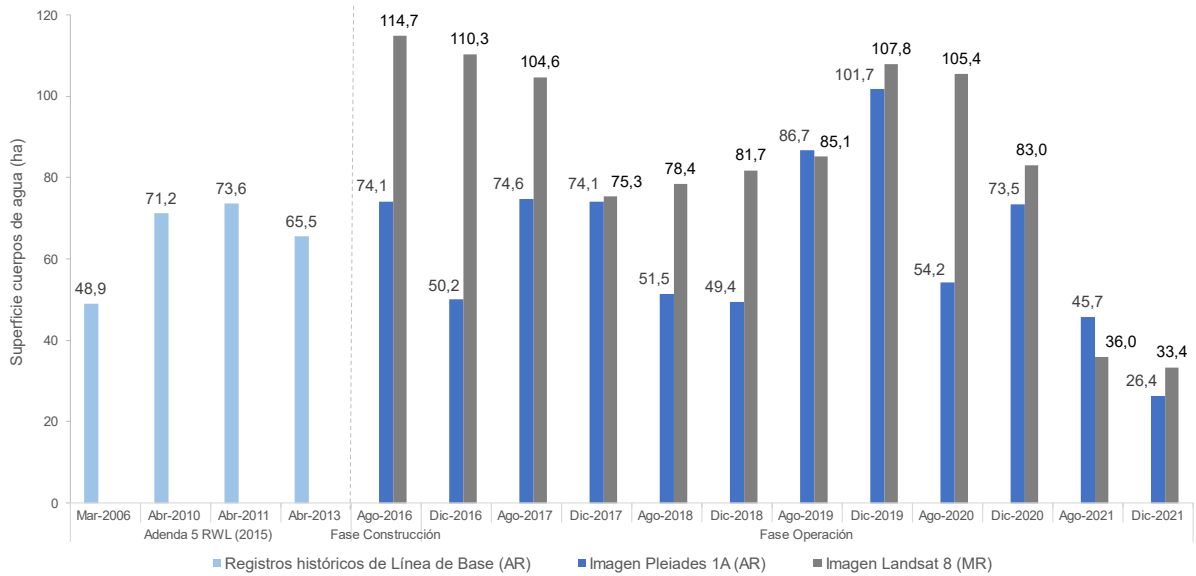


Fuente: Elaboración Propia

- Comparación Landsat y AR PMB con registros históricos de línea de base.

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 2021 es de 45,7 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 26,4 ha. La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (48,9 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales de alta resolución (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura de los cuerpos de agua en agosto de 2021 es menor en -3,2 ha (-6,5%) y la de diciembre 2021 es menor en +22,5 ha (-46,1%). La **Figura N° 13-101** muestra la comparación gráfica y numérica de las superficies con los registros históricos en la zona. Las principales variaciones respecto a los valores registrados en la línea de base 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; estas áreas específicas surgen de la comparación de la recurrencia de la ocupación de áreas de inundación en seguimientos consecutivos de igual temporada.

Figura N° 13-101. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.

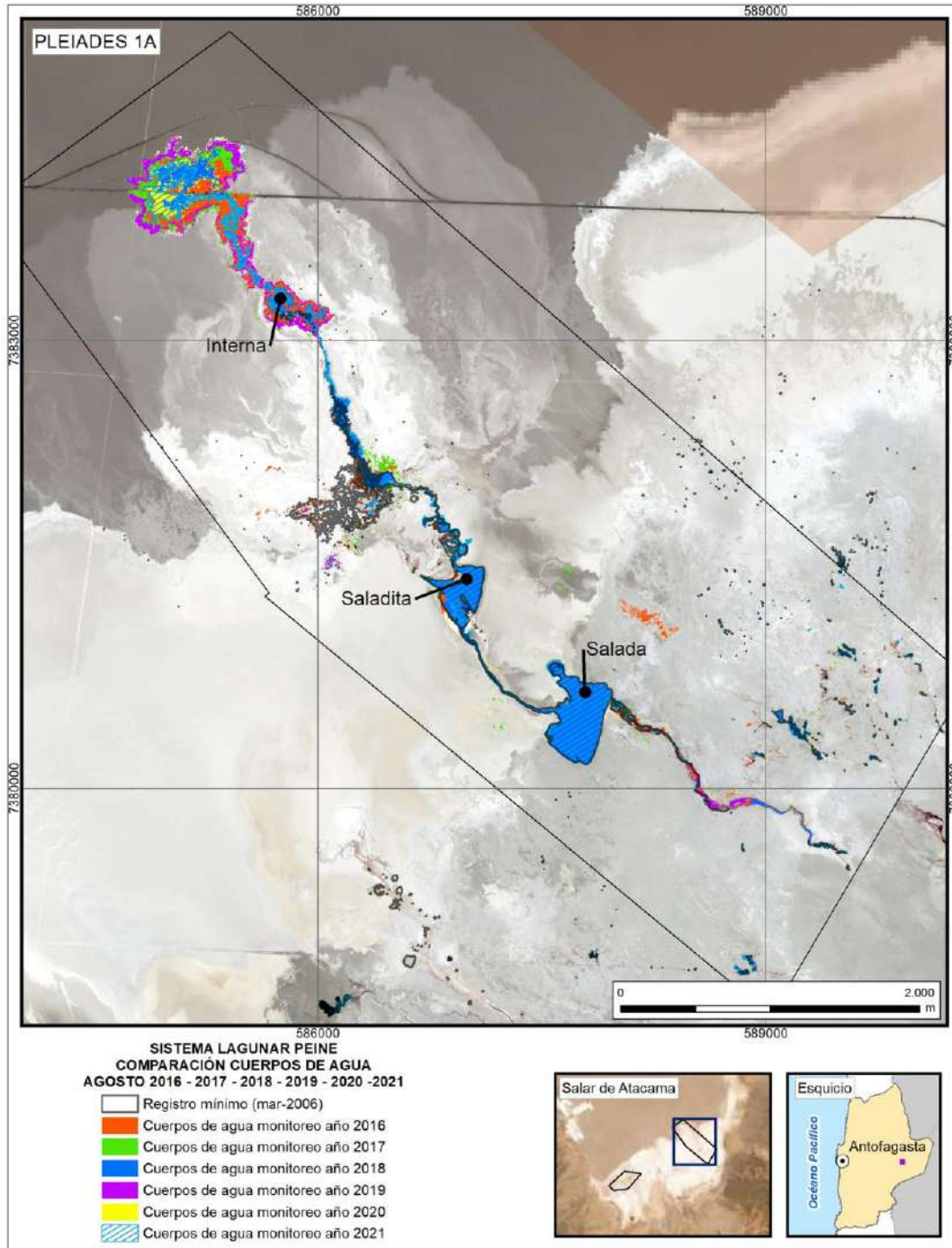


Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
 Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

- Comparación Imágenes/Cartográfica entre monitoreos 2016 al 2021

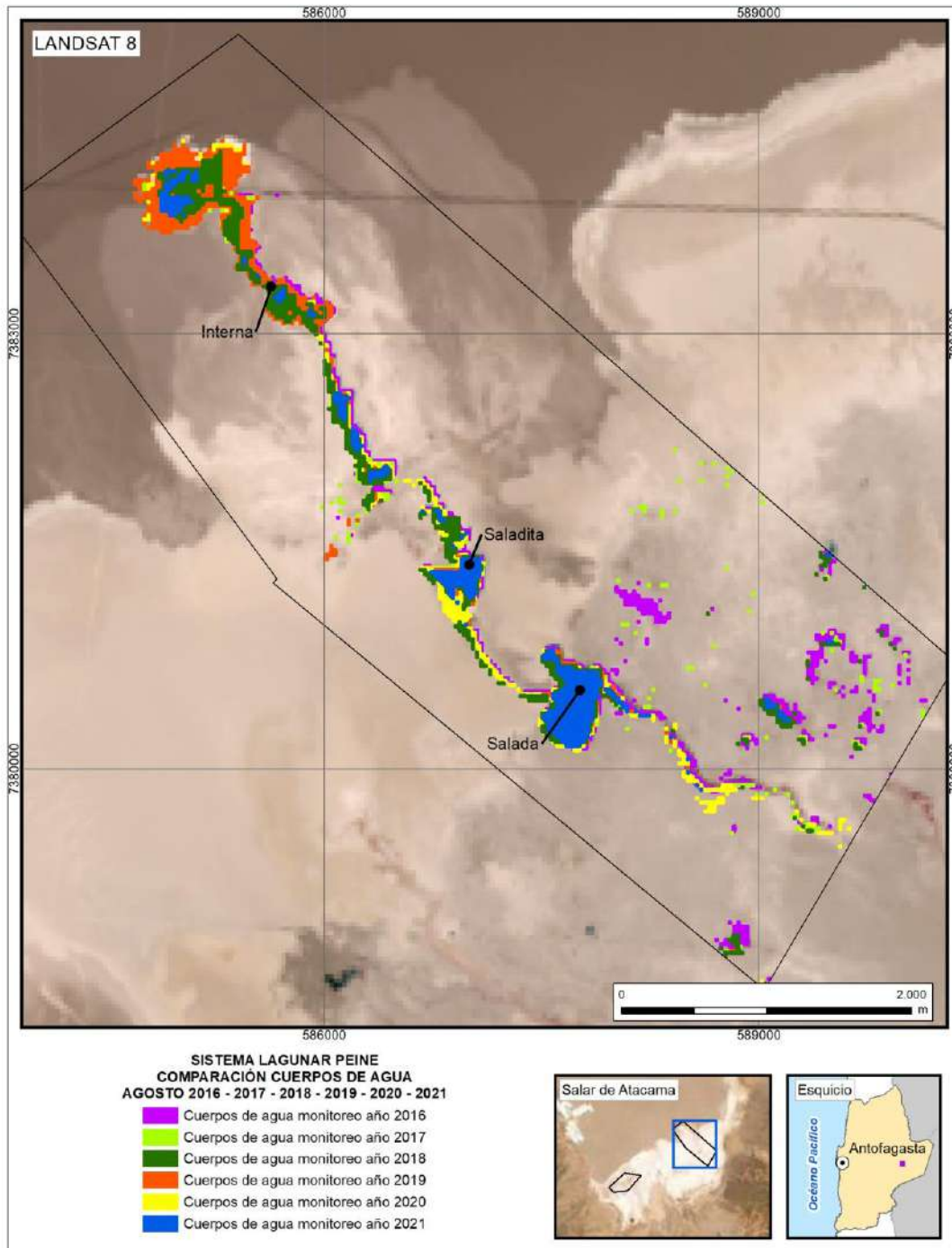
En las **Figura N° 13-102** a la **Figura N° 13-105**, muestran los cambios en las superficies de los cuerpos de agua, desde 2016 a la fecha, y su representación espacial respectivamente. Para el sector Peine, la comparación entre monitores muestra que las superficies más bajas se presentan tanto en alta como baja resolución en los seguimientos de agosto 2021 y diciembre 2021, mientras que los registros más altos en alta resolución se encuentran en agosto y diciembre de 2019, y en media resolución los registros de agosto y diciembre de 2016.

Figura N° 13-102. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



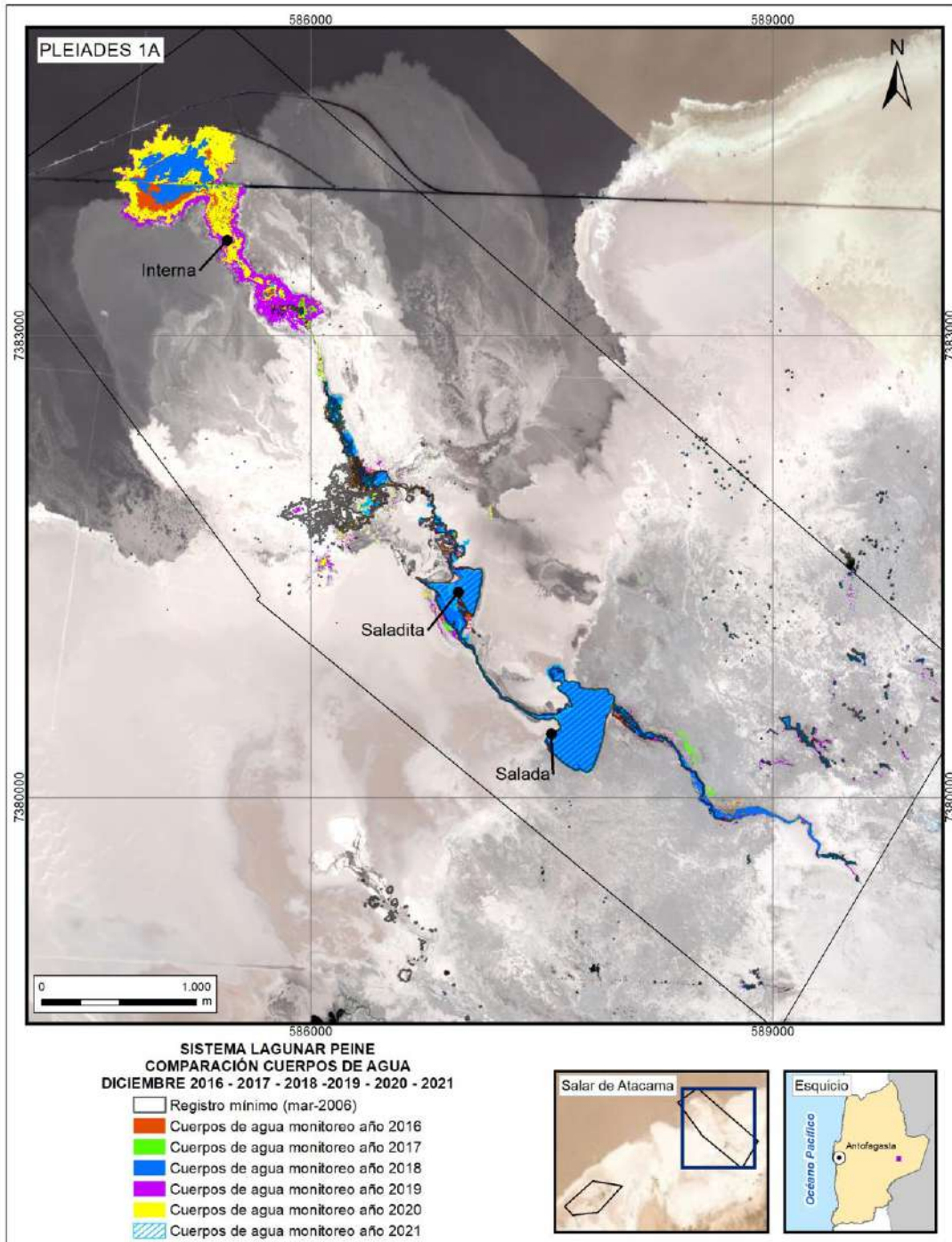
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

Figura N° 13-103. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



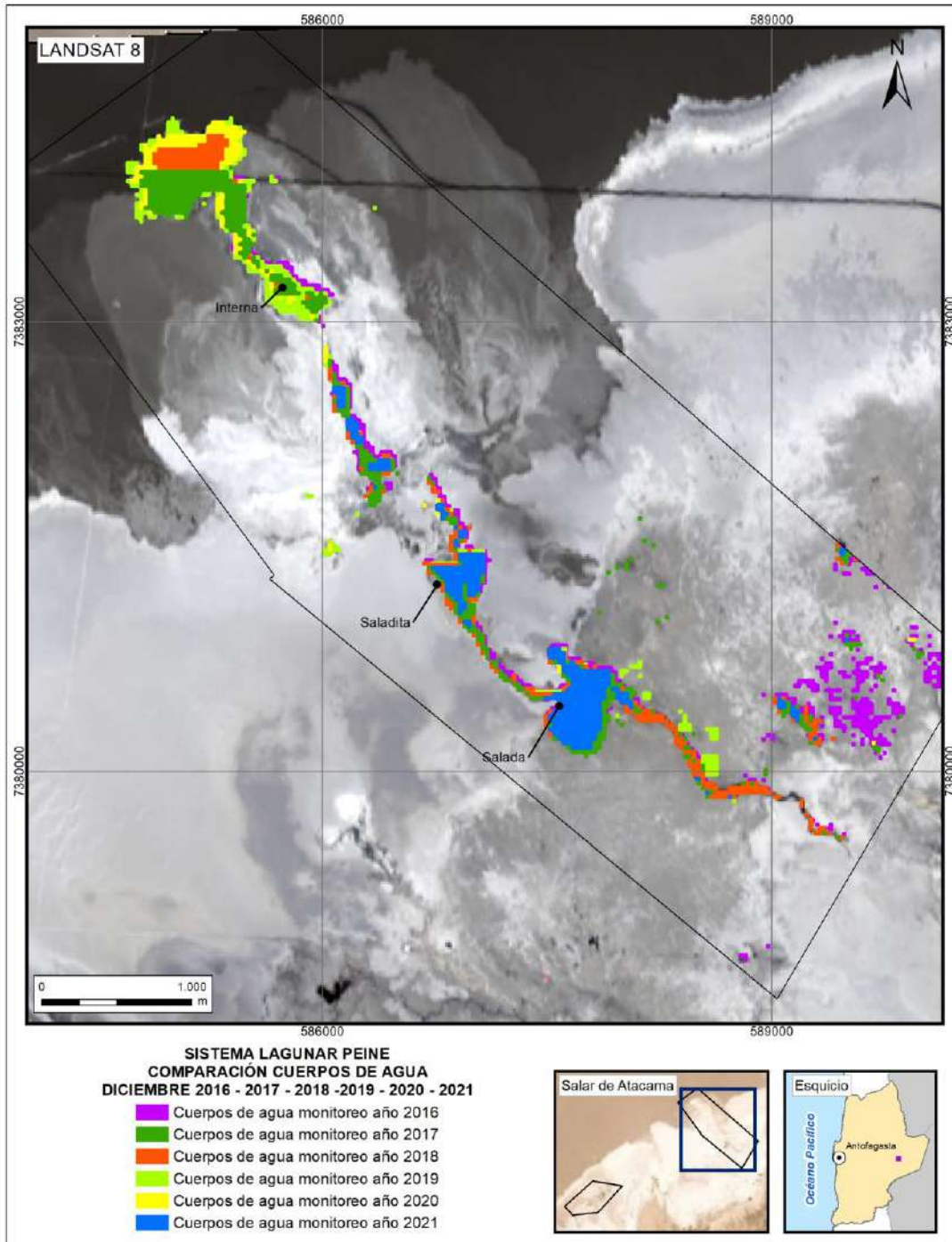
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

Figura N° 13-104. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021.

Figura N° 13-105. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021.

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*⁶¹ para todos los sistemas lagunares (con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2021 que van entre 0,86 (Peine) y 0,69 (La Punta y La Brava) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo *moderado* de 0,45 en la Punta y la Brava para agosto de 2016 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 – 2021 van entre 0,78 (Peine) y 0,59 (La Punta y La Brava), presentando un valor mínimo de 0,44 en la Punta y 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 determinado 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 macroorganismos, 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.

⁶¹ 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° 13-50. Consolidado de índices *Kappa* de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8.

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar	
			La Punta y La Brava	Peine
PLEIADES 1A - AR	ago-16	Superficie (ha)	47,4	74,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,45	0,89
	dic-16	Superficie (ha)	40,9	50,2
		<i>Índice Kappa</i>	0,82	0,91
	ago-17	Superficie (ha)	48,1	74,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,86
	dic-17	Superficie (ha)	48,6	74,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,73	0,83
	ago-18	Superficie (ha)	61,9	51,5
		<i>Índice Kappa</i>	0,78	0,88
	dic-18	Superficie (ha)	35,9	49,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,83	0,80
	ago-19	Superficie (ha)	52,8	86,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,66	0,83
	dic-19	Superficie (ha)	62,7	101,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,79	0,91
	ago-20	Superficie (ha)	51,4	54,2
		<i>Índice Kappa</i>	0,64	0,96
dic-20	Superficie (ha)	28,4	73,5	
	<i>Índice Kappa</i>	0,62	0,73	
ago-21	Superficie (ha)	45,8	45,7	
	<i>Índice Kappa</i>	0,80	0,92	
dic-21	Superficie (ha)	24,1	26,4	
	<i>Índice Kappa</i>	0,61	0,78	
		Promedio Kappa	0,69	0,86
LANDSAT 8 - MR	ago-16	Superficie (ha)	62,6	114,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,47	0,83
	dic-16	Superficie (ha)	55,0	110,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,62	0,83
	ago-17	Superficie (ha)	38,2	104,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,74
	dic-17	Superficie (ha)	39,3	75,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,54	0,59
	ago-18	Superficie (ha)	63,7	78,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,55	0,73
	dic-18	Superficie (ha)	44,4	81,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,84	0,83
	ago-19	Superficie (ha)	53,8	85,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,54	0,79
	dic-19	Superficie (ha)	57,7	107,8
		<i>Índice Kappa</i>	0,59	0,76
	ago-20	Superficie (ha)	60,0	105,4
		<i>Índice Kappa</i>	0,56	0,77
dic-20	Superficie (ha)	36,1	83,0	
	<i>Índice Kappa</i>	0,44	0,73	
ago-21	Superficie (ha)	40,0	36,0	
	<i>Índice Kappa</i>	0,92	0,93	
dic-21	Superficie (ha)	35,5	33,4	
	<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,87	
		Promedio Kappa	0,59	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 2022). De dichos resultados, y respecto de la evolución de niveles freáticos, se debe considerar que, para ambos sistemas, a la fecha se tienen 2 años y 4 meses de línea de base, 3 años en total de mediciones históricas y 6 años de monitoreo o seguimiento (abril 2016 – marzo 2022).

13.7.1 Análisis comparativo invierno 2021 y verano 2022

Considerando las fluctuaciones que presentan los niveles freáticos en los pozos de ambos Sistemas, en la **Figura N° 12-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava** y **Figura N° 12-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine** se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2021 a marzo 2022) que éstos presentan una variabilidad natural cíclica, 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). La variabilidad antes mencionada es muy marcada para los pozos de La Punta – La Brava, con ciclos anuales bien definidos. En cambio, para Peine, si bien se observa esta ciclicidad en BA-22 más que en BA-21, este último presenta una fuerte influencia de las precipitaciones. Esto puede observarse en eventos de precipitación tal como abril 2015, marzo 2017, febrero 2019 y agosto 2020, lo que distorsiona el ciclo antes mencionado para BA-21. Es importante mencionar que durante los veranos 2020 y 2021 no hubo ningún evento de precipitación, mientras que en el verano 2022 se registran un par de eventos de precipitación en enero y marzo, pero de magnitudes menores, que no tuvieron efectos visibles en los niveles registrados.

Con respecto a las amplitudes de las variaciones de niveles freáticos para este sexto año en análisis, en La Punta - La Brava se presentan rangos o amplitudes de variabilidad desde 8 cm para BA-16 (entre junio y enero), hasta 13,2 cm para BA-07, lo que implica una disminución de los rangos de variación con respecto al año anterior. Para los pozos de Lagunas Sector Peine, las amplitudes son de 2,9 cm para BA-22 y de 3,7 cm para BA-21, observándose también una disminución de los rangos de variabilidad con respecto al año anterior, aunque con la consideración de que no se pudieron tomar medidas en gran parte del periodo estival (en que se presentan los niveles más profundos) debido a que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso para realizarlas por época de reproducción de flamencos.

13.7.2 Análisis comparativo con valores históricos

En esta sección se realizará un análisis de niveles freáticos por piezómetro y por sector, incorporando los valores promedios del último año de monitoreo.

13.7.2.1 Nivel freático en Sector La Punta - La Brava.

Para el **Sistema La Punta - La Brava**, se presenta en la **Tabla N° 13-51** los valores de línea de base e históricos, incluyendo los mínimos registrados y el promedio en el período del último año de monitoreo.

Tabla N° 13-51: Valores⁶² 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 2021 - Mar 2022 (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio anual
		BA-05	LP-LB	2.300,148
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990	2.299,980
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,848

Fuente: Elaboración propia

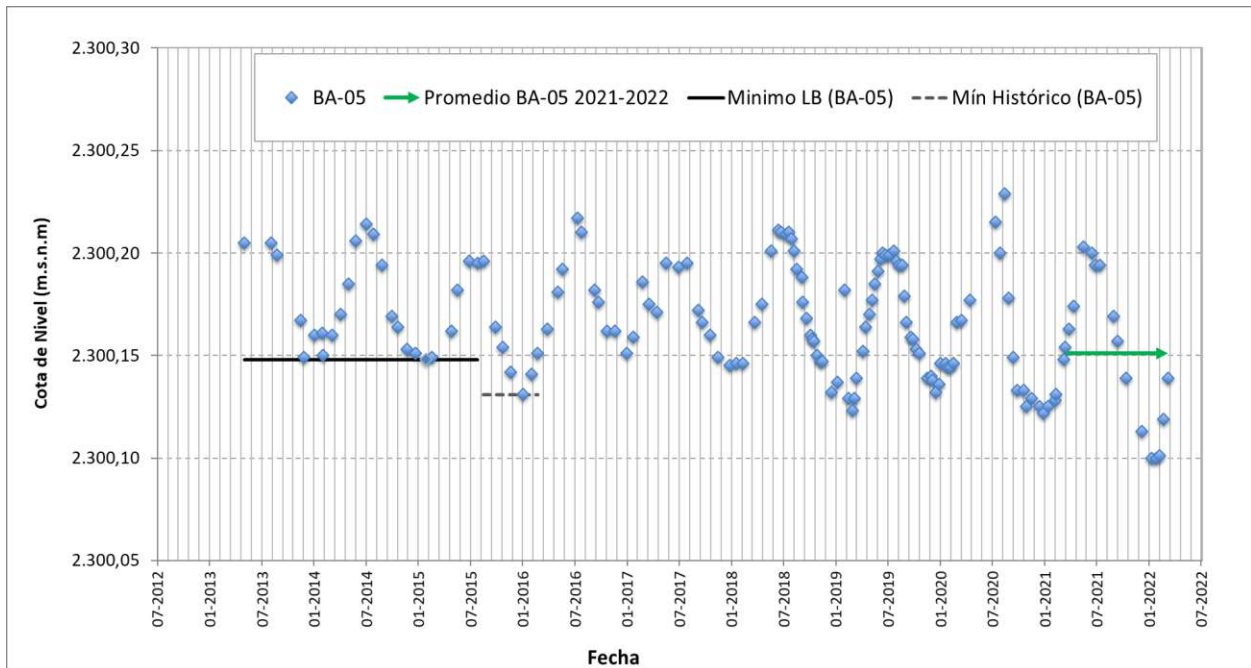
Los valores de línea base corresponden al periodo desde abril 2013 hasta agosto 2015, para BA-05, BA-07 y BA-16, de acuerdo a lo señalado en el Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del proyecto (Numeral 4.2.7.1 Anexo 2).

Es importante señalar que el período “histórico” es el período de línea de base junto con la continuación de la medición hasta que el proyecto comienza el período de monitoreo oficial de seguimiento. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación 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 **Figura N° 13-106**, en el período previo a la entrada de construcción del proyecto, para los pozos BA-05 y BA-16 se registraron niveles menores a los de línea de base.

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector La Punta - La Brava, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-05 (Figura N° 13-106)**, si bien se observa una variabilidad estacional, los registros indican un mínimo histórico (previo al inicio del seguimiento) en enero del año 2016 (2.300,131 m s.n.m.), por debajo de la línea de base, indicado con línea discontinua (previo a la etapa de construcción y operación del proyecto). En marzo 2019, enero 2021 y enero 2022 se registraron niveles más bajos que el referido mínimo histórico, con valores en este último mes de hasta 2.300,100 m s.n.m, valor que constituye el mínimo de toda la serie histórica registrada en el pozo. En el último año (abril 2021 – marzo 2022), se tiene un promedio anual levemente por encima tanto del mínimo de la Línea Base como del periodo histórico.

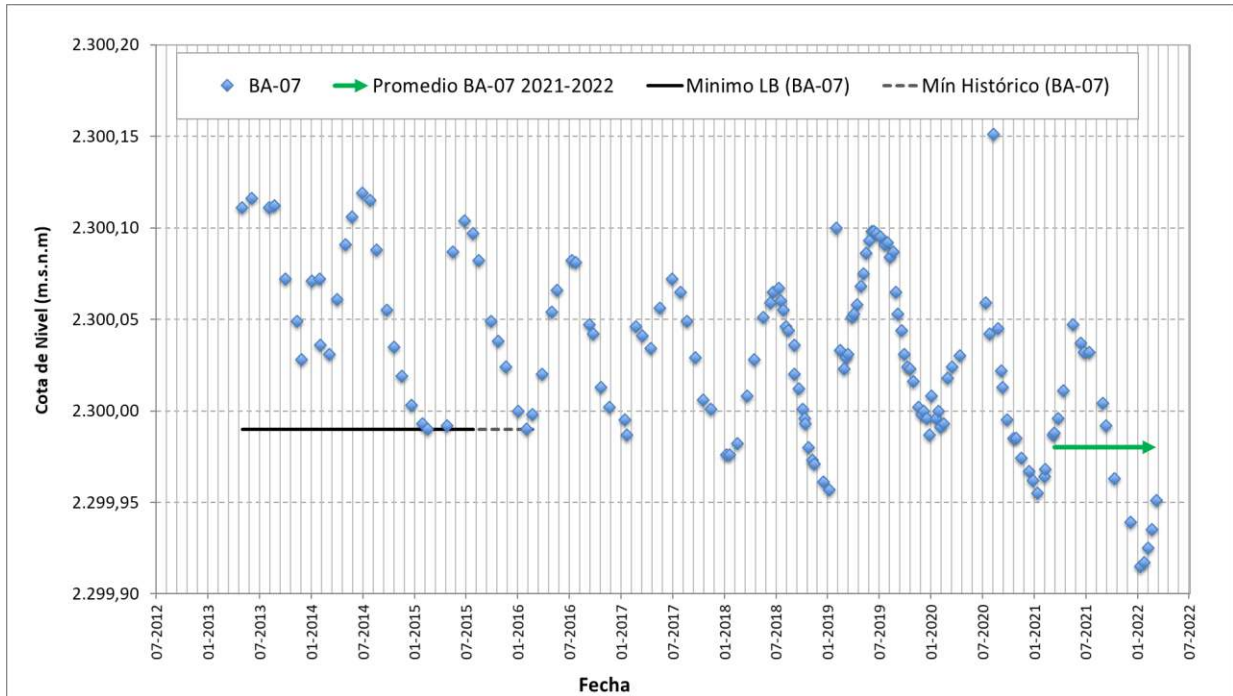
⁶² Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°6 PMB.

Figura N° 13-106: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB

Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07 (Figura N° 13-107)**, los registros de la serie mostraban desde mayo 2013 hasta enero 2019 una tendencia al descenso de sus valores (tanto de las cotas máximas registradas en invierno como de las cotas mínimas registradas en verano), lo que también se vio representado en algunos valores menores al mínimo histórico. Luego del peak registrado en febrero de 2019 (post lluvia) el pozo se logró recuperar, pero el 2020 vuelve a presentar tendencia a la baja vista para los años anteriores. En el período abril 2021 a marzo 2022, si bien en invierno los niveles subieron, en el periodo de verano se registraron los niveles más bajos en el pozo, mostrando una continuidad con la tendencia al descenso de los niveles mínimos, registrándose un nuevo mínimo histórico de 2.299,915 m s.n.m en enero 2022. El promedio anual, también resulta por debajo del mínimo histórico y del de la Línea Base. Este pozo fue el que dio origen a la activación del PAT sector Acuífero, comentado previamente.

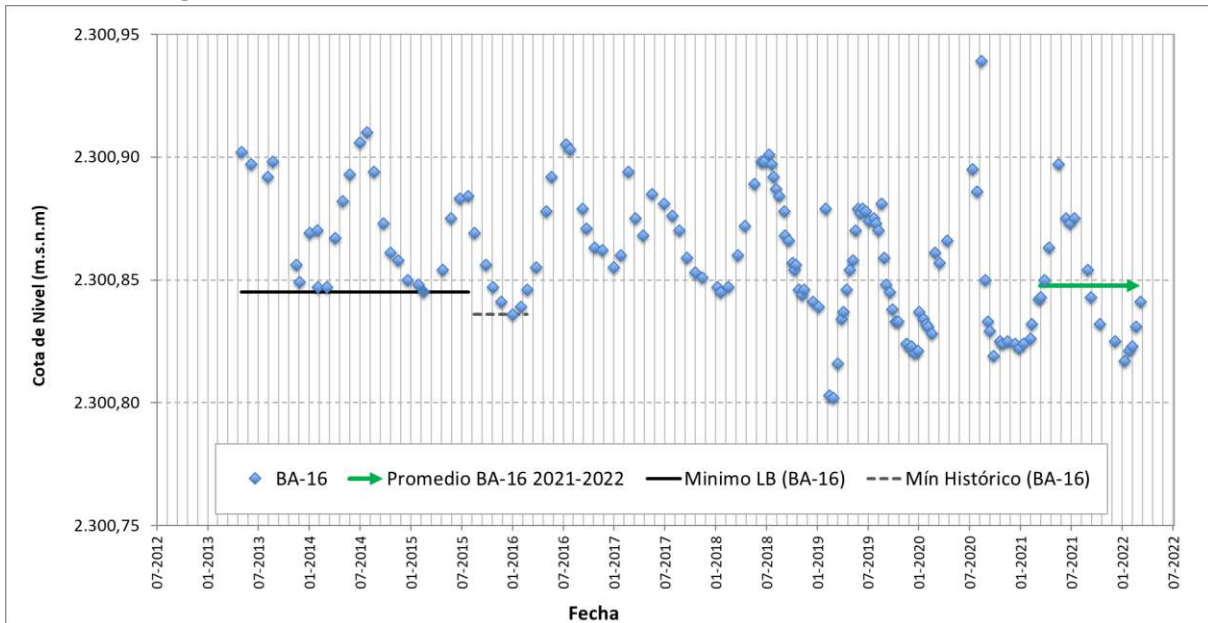
Figura N° 13-107: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB



Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16 (Figura N° 13-108)**, presenta una variabilidad estacional y tendencia muy similar a BA-05, con un valor histórico en enero del 2016 por debajo del valor de línea de base. Para el período en análisis, abril 2021 a marzo 2022, el pozo BA-16 comienza su ciclo en una condición favorable y los niveles comienzan a elevarse, llegando a su máximo nivel en junio 2021, con un valor de 2.300,897 m s.n.m. Luego (posterior a la lluvia de mayo 2021) se observa una caída abrupta de los niveles en el pozo (similar a lo acontecido posterior a las lluvias estivales de 2019), y después se retoma la tendencia previa de los niveles del punto. Entre octubre 2021 y marzo 2022 se registraron varios niveles bajo el mínimo de la Línea Base y también bajo el mínimo del periodo histórico. Sin perjuicio de los anterior, el promedio anual para BA-16 (2.300,848 m s.n.m.) está por sobre el mínimo de la Línea Base y es superior al promedio del periodo anterior.

Figura N° 13-108: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB



Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, abril 2021 a marzo 2022, los niveles para los puntos BA-05 y BA-16 se presentan con valores dentro de la variación histórica y fuera de ella, con una tendencia al descenso, en tanto que para el punto BA-07 para el periodo analizado, luego de una recuperación en los niveles constatado el año 2019, se retoma una continuidad con tendencia al descenso de los niveles en el pozo. Asimismo, se registran nuevos mínimos históricos en BA-05 y BA-07.

13.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine.

Para el **Sistema Lagunar Peine**, los pozos BA-21 y BA-22 para el periodo 2021-2022, presentan similitudes de amplitud entre mínimos y máximos, cercano a los 3 cm. Así, mientras en BA-21 el rango es de 3,7 cm, en el caso de BA-22 este corresponde a 2,9 cm. En relación a la variación histórica, en BA-21 los niveles no reflejan una ciclicidad exactamente anual, sino que los ciclos entre un valor alto y uno bajo, se presentan más extensos, cada dos años aproximadamente, y presenta una alta sensibilidad frente a eventos de precipitación. Así, en abril 2015, marzo 2017 y febrero 2019, se observan los ascensos de nivel de aguas subterráneas, como respuesta directa a eventos de precipitaciones ocurridas en los períodos de invierno boliviano, lluvias que generalmente acontecen en febrero. También se observa un ascenso de los niveles en septiembre de 2020, como respuesta a la mencionada lluvia ocurrida en agosto de ese año. De todas formas, se debe tener en cuenta que no se pudieron hacer mediciones del nivel para gran parte del periodo estival en este sector, debido a la que la

Comunidad de Peine no permitió el ingreso al sector donde se ubican los pozos y a cortes de camino producto de huelgas.

En la **Tabla N° 13-52** se presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos, así como también el promedio en el período del último año de monitoreo.

Tabla N° 13-52: Valores⁶³ Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Abril 2021 - Mar 2022 (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,075
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,283

Fuente: Elaboración propia

Los valores de línea base corresponden al periodo que va de abril 2013 hasta septiembre 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).

Es importante recordar que el período “histórico” corresponde al período de línea de base junto con la continuación de la medición hasta que el proyecto comienza el período de monitoreo oficial de seguimiento, abril del 2016. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación fue para entregar continuidad a los registros de niveles mensuales, y también para poder mostrar la variabilidad y cambios que se pudieran producir previo a la entrada de fase construcción (abril 2016) y operación del proyecto (septiembre 2016). Tal como se observa de la **Tabla N° 13-52**, en el período previo a la entrada de construcción del proyecto para el pozo BA-22 se registraron niveles menores a los de línea de base, situación que no se da en BA-21.

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. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

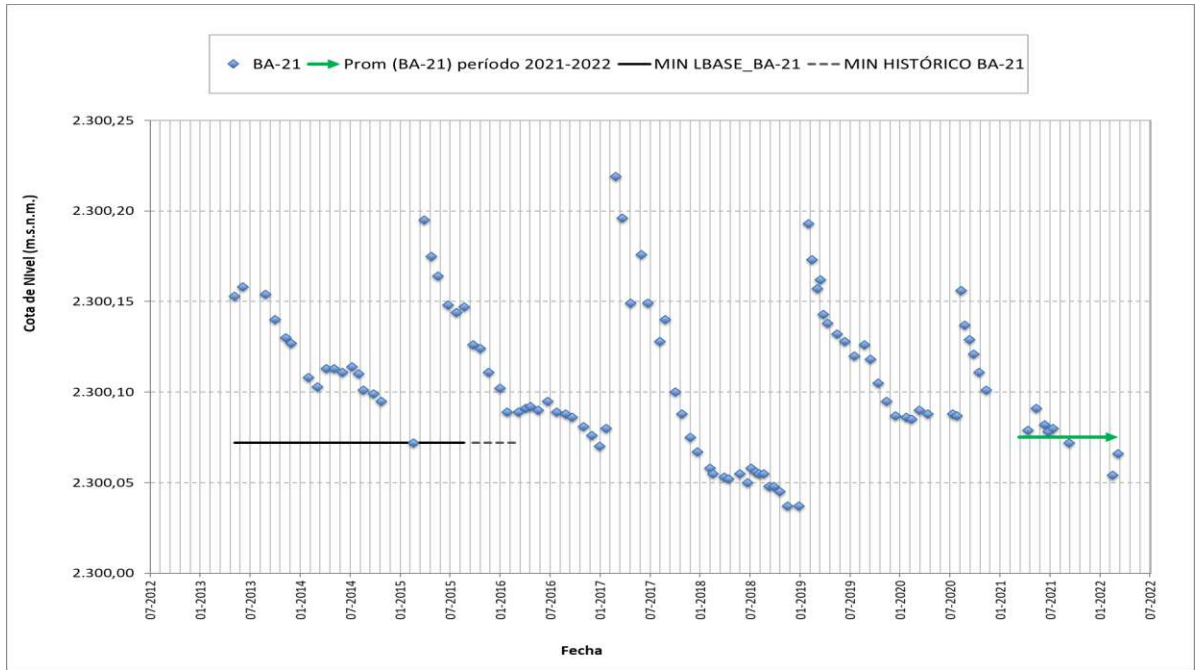
Para el **pozo BA-21 (Figura N° 13-109)**, hasta enero 2019, si se consideran los valores de las cotas mínimas de la serie, los registros indicaban una tendencia al descenso, y por el contrario, un ascenso de los valores de sus cotas máximas. Esta tendencia se revirtió el año 2020, con descensos de la cota máxima y aumento del mínimo, angostando el rango de variación de amplitud de los niveles. En este último año (abril 2021 – marzo 2022), en el contexto de la imposibilidad de tener mediciones en agosto y septiembre 2021 y entre noviembre y febrero 2022, se registraron valores en el rango de los mínimos de línea de base, sin tanta amplitud en las variaciones (3,7 cm). El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base.

El punto BA-21, se ubica en la zona media de lagunas, por eso su comportamiento se aprecia diferente al de los otros barrenos. De hecho, su variación se ve más parecida a los puntos

⁶³ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°6 PMB

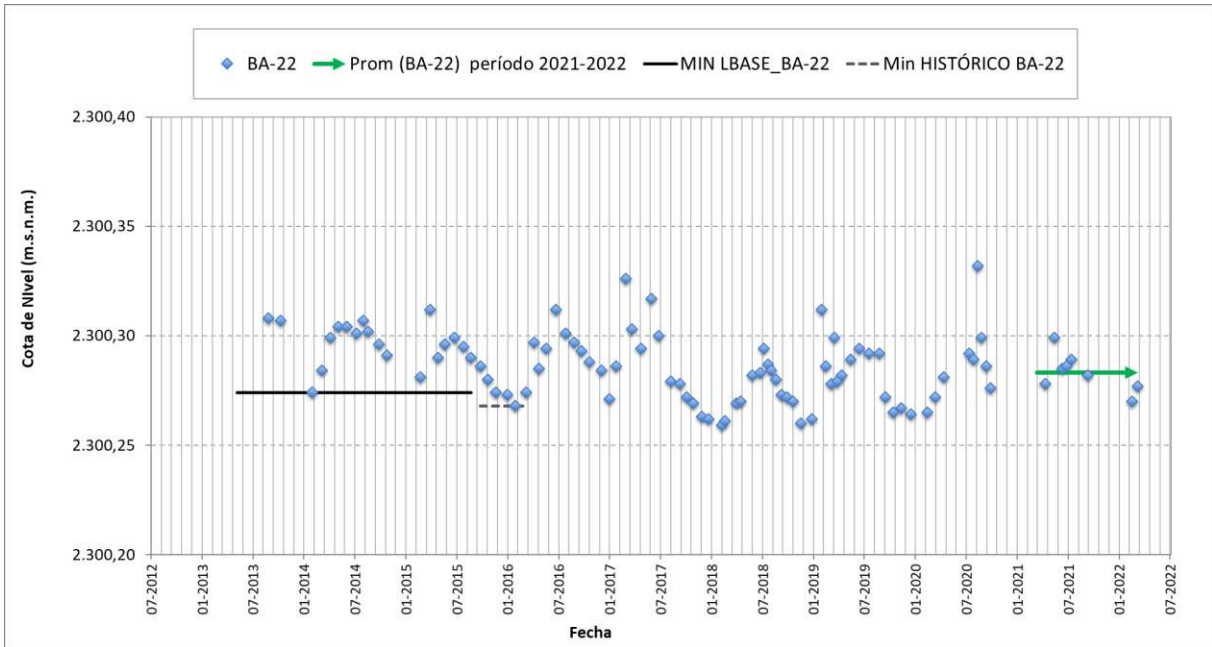
ubicados en el núcleo, los cuales responden más rápidamente a las precipitaciones y elevan sus niveles para luego tener bajas progresivas en el tiempo.

Figura N° 13-109. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13-110. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-22**, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero).

En diciembre 2018 y enero 2019, los datos mostraron niveles por debajo del valor de línea de base, y por debajo también del mínimo histórico. Luego, si bien los niveles hasta septiembre 2019 mostraban una recuperación y estabilización, en octubre de ese año se observó un descenso de 2 cm hasta 2.300,272 m s.n.m, manteniéndose relativamente estable en torno a ese nivel hasta abril de 2020. Después de eso, se observa un aumento de niveles que llega al máximo histórico en septiembre de 2020 (como consecuencia de las lluvias del mes anterior), correspondiente a 2.300,332 m s.n.m. En este último año (abril 2021 – marzo 2022), en el contexto de la imposibilidad de tener mediciones en agosto y septiembre 2021 y entre noviembre y febrero 2022, se registraron valores en torno al rango de los valores históricos, sin tanta amplitud en las variaciones (2,9 cm). El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base.

13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

En el presente capítulo, y de acuerdo con el numeral 4.2.7 “Criterios para detección de cambio de estado ecológico”, comprometido en el Anexo 2 de la Adenda 5, “Plan de Manejo Biótico” (PMB), se analizan 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 presentan la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio, y corresponden a:

- Niveles freáticos
- Vegetación azonal, y
- Superficies de las lagunas

En el numeral indicado, se señala como criterio general* que “se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las **variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente, en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector**”⁶⁴, y al respecto, en este capítulo se realizará la evaluación de este punto incorporando además un análisis de tendencia de este sexto año de monitoreo.

Por otra parte, en el mismo Anexo 2 de la Adenda 5 se indica que la evaluación de la condición de cambio se realizará por sector de manera independiente: Peine, La Punta y La Brava y Tilopozo, mediante análisis de tendencia. Los cambios de estado ecológico serán comparados tomando la evolución de las variables de estado en el tiempo versus su comportamiento previo (línea de base y registro histórico).

Se expone a continuación el método de análisis de cada una de las variables de estado:

a) Niveles freáticos

En relación a los **niveles freáticos**, se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5 (Figura 4.2-13 y Figura 4.2-14). Con los valores registrados y monitoreados en estos 6 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado como criterio general en la Adenda 5, Anexo 2: *“que los valores medidos anualmente, en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”*

⁶⁴ Fuente: Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo biótico

b) Vegetación Azonal

En relación con la **vegetación azonal**, quedaron establecidos **dos indicadores** (1) Transectos de Vegetación y (2) Coberturas de Vegetación activa:

(1) Transectos de Vegetación: Análisis de tendencias de las coberturas de transectas de flora y vegetación:

De acuerdo a lo señalado en el Anexo 2, de la Adenda 5 “*se entenderá como un cambio de tendencia lo siguiente si después de 3 años consecutivos (periodos) se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino (medición obtenida en el monitoreo de suelo) o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”. Este seguimiento se analiza a través del método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat” mediante transectas, el cual entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, con un error de medición del $\pm 5\%$, por lo cual deberá ser considerado para evaluar estadísticamente las tendencias, según criterios utilizados por el SAG para este tipo de análisis. El plan de seguimiento de la vegetación sigue los lineamientos definidos en la “Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT)” (Ahumada y Faúndez 2009).

Para el análisis de tendencia se realizaron diversas pruebas, con la finalidad de evaluar el comportamiento de la vegetación azonal (formaciones de herbazales y matorrales monitoreadas) posterior a la puesta en marcha del proyecto. Los análisis se enmarcan en determinar si hay cambios en la:

1. **Variación de la cobertura vegetal**
2. **Estructura comunitaria**
3. **Composición de especies**
4. **Salinidad del Suelo**

Para esto se realizó un análisis de las coberturas, **obtenidas por transecta** en el período de monitoreo, correspondiente a muestreos semestrales entre invierno 2016 (julio, monitoreo base MB0, preoperacional) y verano (post-lluvias, marzo-abril, M12) 2022, y para el análisis sobre la salinidad se realizó con los datos del componente suelo entre el periodo de monitoreo (M1 en agosto 2016 a M12).

(2) Coberturas de Vegetación Activa: análisis multitemporal de las superficies de vegetación activa, en las formaciones azonales sujetas a seguimiento:

Para el análisis de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, de acuerdo a lo señalado en el Anexo 2, de la Adenda 5, se utilizan las “*coberturas de vegetación activa*” establecidas “*mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución*” espacial. Además, para la

evaluación del estado ecológico, se definió como el segundo indicador, y quedó establecido que *“Se entenderá un cambio de tendencia si después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera de la tendencia registrada históricamente por sector (líneas de base)”*.

La cobertura de vegetación activa, como variable de seguimiento, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés)⁶⁵, el cual se obtiene de imágenes satelitales de alta resolución espacial, durante la temporada de crecimiento de la vegetación (periodo posterior a las precipitaciones estivales; marzo – abril), es decir, de frecuencia anual. Esto según lo establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del Proyecto.

c) Superficie de Lagunas

En relación a lo requerido para **Superficie de Lagunas**, se utilizarán los registros de línea base y de monitoreo de las campañas de invierno y verano, para evaluar el análisis de tendencia de los seis (6) años de monitoreo. De acuerdo al criterio señalado en la Adenda 5, Anexo 2 *“Se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución de la superficie de las lagunas, fuera de la tendencia de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*.

Para el componente **Superficie de Lagunas**, además de lo anterior establecido, se presenta información complementaria y adicional a lo especificado en la metodología del Análisis del Estado Ecológico, que se realiza con el fin de entregar un adecuado entendimiento para el análisis del Estado Ecológico de las lagunas, y contiene el análisis multitemporal y de tendencias que se subdividen en los siguientes dos tipos de evaluaciones: Análisis de Tendencias y Análisis de Recurrencia.

- **(1) Análisis de tendencias**⁶⁶ en los sistemas lagunares, a través de imágenes Landsat (media resolución, píxel de 30m), para el periodo 2016-2021. Adicionalmente a lo requerido por la RCA N°21/2016, y con el objetivo de robustecer el análisis de la evolución en el tiempo de las superficies lagunares, es que en este sexto año del PMB se incluyen como parte del análisis comparativo histórico de las superficies lagunares antecedentes de imágenes Landsat desde 1985 hasta 2021, desarrollados en el “Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine” (Albemarle – IZUMI, Julio 2021).

En términos metodológicos el análisis de tendencias con Landsat históricas permite identificar patrones de cambio de la superficie de los sistemas lagunares, a lo largo del periodo de seguimiento del proyecto. Dada la dinámica propia de estos sistemas, donde ocurren

⁶⁵ El NDVI entrega una descripción fisionómica de la vegetación con relación a la densidad y vigor de la vegetación a una resolución equivalente a la del tamaño 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, es decir mayor densidad y/o vigor de la vegetación.

⁶⁶ Análisis de tendencias, se refiere a evaluar la existencia de cambios direccionales del comportamiento de una variable en el tiempo (aumento o descenso), y poner en un contexto más amplio el seguimiento producto del Plan de Manejo Biótico, a modo de contextualizar a través de estos datos el estado actual del área de estudio.

variaciones asociadas a los ciclos climáticos (intraanuales), así como cambios a través de los años (interanuales), es que se requiere de una herramienta que permita captar dicha variabilidad. De esta forma, y considerando el criterio que quedó establecido en el Anexo 2 – PMB de la Adenda 5 del proyecto, para análisis de tendencia resulta más adecuado realizarlo con imágenes Landsat, ya que este satélite, que mantiene un tiempo de revisita de 16 días aprox., permite contar con al menos una imagen cada mes, y su correspondiente estimación de superficie ocupada por agua, capturando de mejor forma la dinámica intranual e interanual de los sistemas lagunares.

Es importante considerar que, dada la resolución espacial de Landsat (30 m de píxel), la estimación de superficie ocupada por agua resulta más precisa con imágenes de alta resolución (AR) (2 m de píxel). Sin embargo, dado que las imágenes AR son capturadas a nivel semestral de acuerdo con el compromiso establecido por RCA N°21/2016, es que se ha considerado realizar el análisis de tendencia mediante imágenes Landsat.

Este análisis interanual realizado con imágenes Landsat, toma como referencia la máxima cantidad de imágenes Landsat disponibles entre los años 2016 y 2021, tomando en consideración aquellas que no presenten errores de origen o alta cobertura de nubes. Dado que la determinación de la superficie de lagunas se realiza con la implementación de un modelo de clasificación supervisada, en base a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por sus siglas en inglés), se utilizarán el índice espectral que ha mostrado mejor ajuste en el modelo, para dar continuidad a la metodología propuesta para ese estudio según el PMB⁶⁷; así el índice usado es el **NDWI** (*Normalized Difference Water Index*)⁶⁸.

A modo de contexto, y como una actividad adicional y complementaria al seguimiento periódico de los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en la RCA N°21/2016, con el fin de tener más antecedentes para analizar la evolución que presentan los cuerpos de agua en esta zona, es que Albemarle desarrolló a través de IZUMI Consultores, el análisis de teledetección satelital LANDSAT de los cuerpos de agua en los Sectores de La Punta-La Brava y Peine. El objetivo fue obtener una serie de tiempo histórica (1985 – 2021) del área de cuerpos de agua de los sectores La Punta/La Brava y Peine, estimada mediante clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). A través de esta serie histórica se buscó replicar y complementar el trabajo del PMB con imágenes Landsat que se había realizado para el período 2016-2021, utilizando la misma metodología.

Para realizar el análisis, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad que han sido capturadas por del programa LANDSAT de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (NASA), y distribuidas por el Servicio Geológico de Estados Unidos

⁶⁷ Metodología descrita en la sección 4.6 del Informe anual N°5 de Área de Lagunas del Plan de Manejo Biótico (desarrollada desde el inicio de la etapa de monitoreo).

⁶⁸ Para el análisis intranual, correspondiente al año N°6, se realiza un ajuste a las imágenes Landsat entregadas en versiones anteriores, ya que se detecta variaciones en los archivos disponibles en el servidor de descarga USGS. Esto podría resultar, en algunos casos, en una variación en los promedios anuales entregados, debido a la actualización de las superficies por mes/año. Esta variación corresponde a una mejora en la imagen gratuita disponible, correspondiendo a archivos en versiones finales por lo que no habrá variaciones posteriores.

(USGS). En particular, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7 y 8 entre los años 1985 y 2021. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (Surface Reflectance, Level-2), una resolución espacial de 30 m de píxel, y se filtraron de acuerdo a su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

Tanto el índice NDWI como el umbral de corte para la clasificación fueron obtenidos de la metodología que viene desarrollando Albemarle en el PMB. Así, la fórmula considerada para el cálculo del índice fue una basada en las bandas espectrales verde e infrarroja cercana, de la forma: $NDWI = (GREEN-NIR) / (GREEN+NIR)$ según documenta McFeeters (1996). El umbral de corte utilizado para definir la cobertura de agua fue NDWI mayor a cero ($NDWI > 0$).

- **(2) Análisis de recurrencia**⁶⁹ de la superficie cubierta por lagunas, obtenida desde imágenes de alta resolución durante monitoreos de invierno (agosto) y verano (diciembre) entre el 2016 y 2021; con la finalidad de evaluar su comportamiento multitemporal en los cuerpos de agua. Esta es una herramienta complementaria a lo requerido por la RCA N°21/2016, desarrollada para mejorar el entendimiento de la distribución espacial de las lagunas (zonas de inundación), y corresponde a un análisis que va depurándose en la medida que se cuenta con mayor número de imágenes AR a través del tiempo.

En términos metodológicos, se realizó el **análisis de recurrencia** de la superficie cubierta por lagunas, obtenida desde imágenes de alta resolución durante monitoreos de invierno (agosto) y verano (diciembre) entre el 2016 y 2021, con la finalidad de evaluar su comportamiento multitemporal, siendo la superficie, una de las variables de evaluación del estado ecológico, según lo establecido por el PMB.

Para la determinación de las áreas y sus niveles de recurrencia, se procede a la delimitación por superposición de las superficies lagunares en formato *shape*. Estas son las resultantes del seguimiento de las coberturas de los cuerpos de agua a través del uso de imágenes satelitales de alta resolución (Pleiades - 1A), registradas semestralmente desde agosto 2016 a diciembre de 2021⁷⁰.

Estas superficies lagunares según su recurrencia 2016- 2021 fueron clasificadas en estratos para caracterizar lo que corresponde al recubrimiento con mayor frecuencia de ocupación de agua. Para la clasificación, se seleccionaron aquellas superficies poligonales de igual criterio, que coinciden en la superposición seis o más veces (siendo doce el número mayor de repeticiones, equivalente al total de monitoreos realizados a la fecha). El resultado fueron tres estratos temáticos de recurrencia de los cuerpos de agua:

⁶⁹ Análisis de recurrencia se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la superficie cubierta por lagunas obtenida desde imágenes de alta resolución para los años de monitoreo 2016-2021.

⁷⁰ Además de los polígonos resultantes del modelo de clasificación supervisada de los cuerpos de agua (Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016), se utilizaron, en caso de disposición, los puntos de muestreo GPS GNSS que también entregan información de la disposición de los cuerpos de agua, y que sostienen con datos en terreno el criterio de determinación de recurrencia por superposición de áreas.

-
- (i) Superficie con ocupación de agua mayor a 50%: presencia de lámina de agua entre siete (7) y doce (12) de los seguimientos efectuados.
 - (ii) Superficie con ocupación de agua menor o igual 50%: presencia de lámina agua entre uno (1) y seis (6) de los seguimientos efectuados.
 - (iii) Otros recubrimientos: presencia nula de agua durante los 12 monitoreos semestrales, equivalente a una recurrencia de 0%.

El análisis de recurrencia está determinado por el tamaño de la muestra; por lo que los resultados de las superficies con ocupación de agua y su clasificación, aumentará o disminuirá en la medida que se adicionen nuevos datos, depurando el análisis hasta establecer con mayor certeza las zonas de inundación.

13.8.1 Sistema La Punta – La Brava

13.8.1.1 Niveles Freáticos

Para el Sector La Punta - La Brava (LP-LB) se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5, que corresponden a los pozos BA-05, BA-07 y BA-16. Con los valores registrados y monitoreados durante ya 6 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo con lo estipulado para la variable: **“se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente, en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”**⁷¹.

Los valores de línea base para este Sector LP-LB, corresponden a los registrados desde abril de 2013 hasta agosto del año 2015. Se incluye el monitoreo desde agosto 2015 hasta marzo 2016, bajo la condición sin proyecto, de manera de darle continuidad al monitoreo. A este período más extenso se le ha denominado Período Histórico.

En la **Tabla N° 13-53**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en la **Figura N° 13-111**, **Figura N° 13-112** y **Figura N° 13-113** se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

Tabla N° 13-53. Valores⁷² Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB

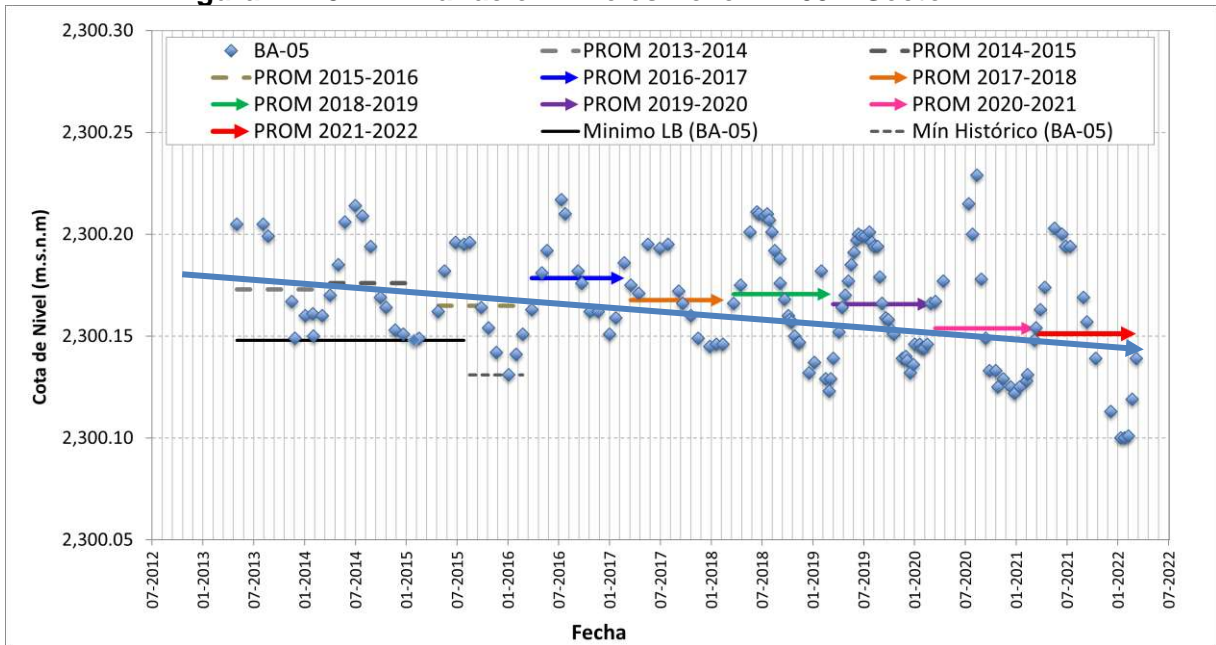
Punto	Período LB (m.s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Abril 2016- Mar 2017 (m.s.n.m)	Abril 2017- Mar 2018 (m.s.n.m)	Abril 2018- Mar 2019 (m.s.n.m)	Abril 2019- Mar 2020 (m.s.n.m)	Abril 2020- Mar 2021 (m.s.n.m)	Abril 2021- Mar 2022 (m.s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-05	2.300,148	2.300,131	2.300,178	2.300,168	2.300,172	2.300,166	2.300,154	2.300,151
BA-07	2.299,990	2.299,990	2.300,036	2.300,024	2.300,022	2.300,044	2.300,007	2.299,980
BA-16	2.300,845	2.300,836	2.300,876	2.300,863	2.300,865	2.300,848	2.300,845	2.300,848

Fuente: Elaboración propia

⁷¹ Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo biótico.

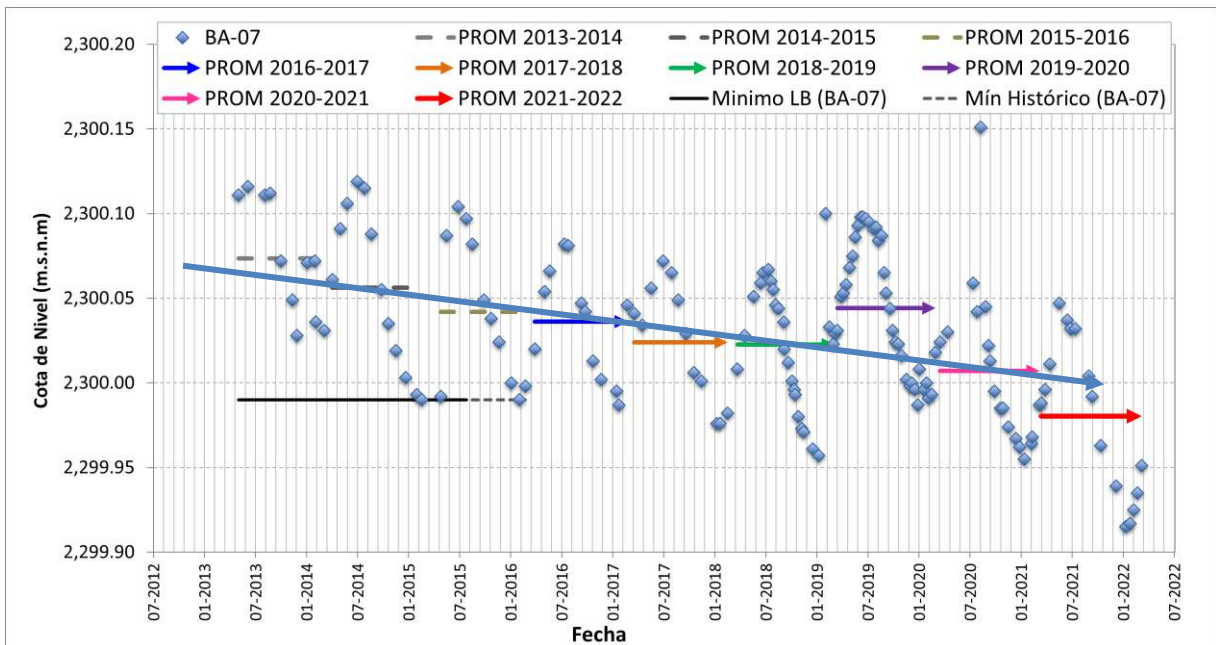
⁷² Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°6 PMB.

Figura N° 13-111. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.



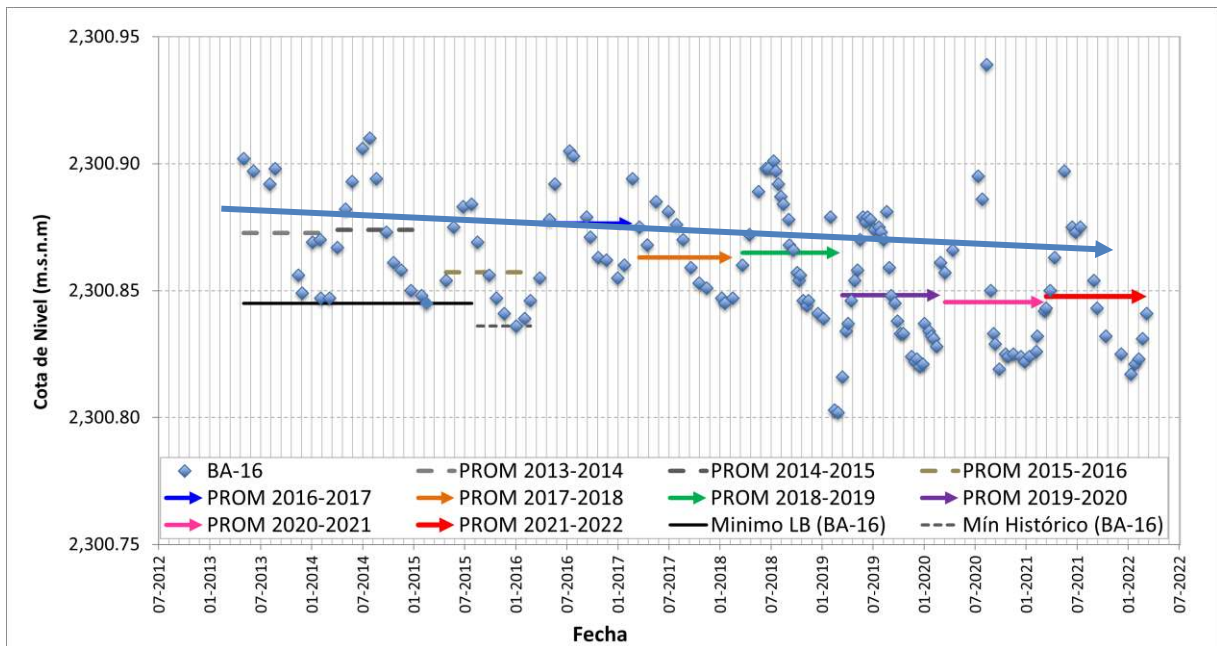
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13-112. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13-113. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.



Fuente: Elaboración propia

Teniendo a la vista el criterio de análisis para el estado ecológico, los valores medidos anualmente, en promedio, indican lo siguiente:

Para el pozo BA-05, (**Figura N° 13-111**) de los valores medidos anualmente en promedio, se observa una tendencia al descenso marcada por los últimos años, luego de una disminución que se observa en 2019-2020 con respecto a 2018-2019, y otra profundización más marcada en el periodo 2020-2021 con respecto al anterior, pero que al observar todos los años, línea larga continua, se observa que es una tendencia que se arrastraría desde la condición de línea de base (2014). En este último periodo, 2021-2022 se tiene una leve disminución en comparación al periodo inmediatamente anterior, llegando a un nivel promedio anual igual a 2.300,151 m.s.n.m, manteniéndose el promedio anual dentro del rango de los valores registrados históricamente en el punto.

Para el pozo BA-07 (**Figura N° 13-112**), los valores medidos anualmente en promedio se presentan de manera similar a lo observado en el pozo BA-05, con una tendencia al descenso desde la condición de línea de base, y con un aumento de los niveles observados en el periodo 2019-2020 con respecto a los años previos. Para el último año, correspondiente al periodo 2021-2022, los niveles registrados son los más bajos de todo el periodo, llegando a un promedio anual 2.299,980 m.s.n.m. Todos los promedios anuales, a excepción de este último año, se encuentran por sobre el mínimo histórico y por sobre los valores de línea de base (en este pozo, ambos valores son iguales a 2.299,990 m.s.n.m).

Por último, el pozo BA-16 (**Figura N° 13-113**), se observa una leve tendencia al descenso diferenciándose su magnitud en relación a los pozos descritos anteriormente (BA-05 y BA-07), De la misma manera, también presenta aumentos y descensos en los registros y en los promedios anuales, pero con todos los promedios por sobre el mínimo de línea de base e histórico. Para este último año, se tiene un promedio anual de 2.300,848 m.s.n.m, ligeramente por encima al nivel mínimo observado de Línea Base.

Sin embargo, **la conclusión más importante** es que se observa en el largo plazo una disminución de los niveles en el período anterior a la ejecución del proyecto a una tasa similar a los descensos posteriores. Estos descensos de largo plazo se ven modificados en torno a las precipitaciones, generando un aumento puntual de los niveles y luego un descenso a mayor velocidad hasta alcanzar la tendencia de largo plazo.

Considerando todas las mediciones a la fecha se tiene que, existe una tendencia al descenso en todos los pozos desde antes de la operación del proyecto en cuestión. Dicha tendencia es leve en el pozo BA-16, comparada con los pozos BA-05 y BA-07. Se observa, además, que la tendencia de largo plazo no se ha visto modificada si se compara el período anterior al proyecto de Albemarle en comparación al período posterior.

Lo anterior, presenta consistencia y una lógica correlación 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 deben a un mejor flujo de agua subterránea en el lugar.

Por último, y de acuerdo a lo comentado anteriormente, los pozos de este Sector (LP-LB) presentan promedios anuales por encima (más someros) del mínimo de Línea Base y del mínimo histórico, **a excepción del promedio anual de este último año (2021-2022) en el pozo BA-07**, el cual corresponde al mínimo del registro de niveles en el pozo, y se encuentra por debajo (más profundo) tanto del mínimo de Línea Base como del mínimo histórico. Cabe señalar, que en este punto se activó el PAT Acuífero en enero 2022, lo que fue notificado a la autoridad mediante carta **ALB-GMA-2022-SMA-010**, de fecha 1 de febrero 2022, entregando el “*Informe de Investigación de las causas del desvío de los pronósticos y activación del Plan de Alerta Temprana*” (PAT), en el sector de alerta Acuífero” a través de carta ALB-GMA-2022-SMA-038 el 29 de julio 2022.

13.8.1.2 Vegetación azonal

13.8.1.2.1 Vegetación y Flora (Transectas)

A continuación, se presenta la evaluación de la condición del estado ecológico del componente de vegetación y flora, de acuerdo al seguimiento de transectas de vegetación en relación a las variaciones en su cobertura, en la estructura comunitaria o composición y del sustrato salino, en conjunto con los análisis de salinidad del componente suelo en los sectores de estudio, y el análisis sobre de la distribución y cobertura de la vegetación mediante el *proxy* NDVI.

a. Variación de la cobertura vegetal en sector y transectas

En la **Figura N° 13-114** se puede observar la cobertura promedio⁷³ de la vegetación en los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava, junto a la evolución de las coberturas de rastrojos, la cobertura de otros recubrimientos y la riqueza en los seguimientos desde invierno 2016-M1 a verano 2022-M12, en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**.

En términos generales, de acuerdo a los resultados de los seguimientos de M1 a M12, se puede señalar para el sector de Tilopozo que presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos (**Figura N° 13-114**), principalmente desde MB0 a M5 con rango de promedios de 39,9% a 33,8%, en M6 presenta una baja moderada a una cobertura promedio de 30,6%, presentando una recuperación en M7 con 35,7% hasta llegar a 31,6% en M10 y un descenso moderado desde M9 y M10 a un 26,1% en M12. A su vez, se observa que aumenta la cobertura de rastrojos para el sector Tilopozo, de un 6,1% en M1 a un 18,3% en M6, pero luego fluctúa en bajas y alzas de rastrojos, entre rangos de 10% en M7 y M10, 16% en M12 y un mayor registro de 20% en M9.

En La Punta y La Brava, se observan variaciones en la cobertura vegetal, con fluctuaciones entre monitoreos, presentando un rango desde 39,1% (en MB0) a 30,4% (en M5), disminuyendo en M6 la cobertura, pero manteniéndose en un rango de 24% a 26% (entre M6 y M10), y en la última campaña (M12) se observa un descenso a 17,9%. En relación a la cobertura de rastrojos, en el sector La Punta y La Brava, se observan coberturas mayores a lo registrado en MB0 y M1 (1,3%), con rango de valores entre 4,7% (en M4), hasta 9,9% (en M9), disminuyendo en M10 a un 6,3% y un aumento mayor a un 15,9% en M12.

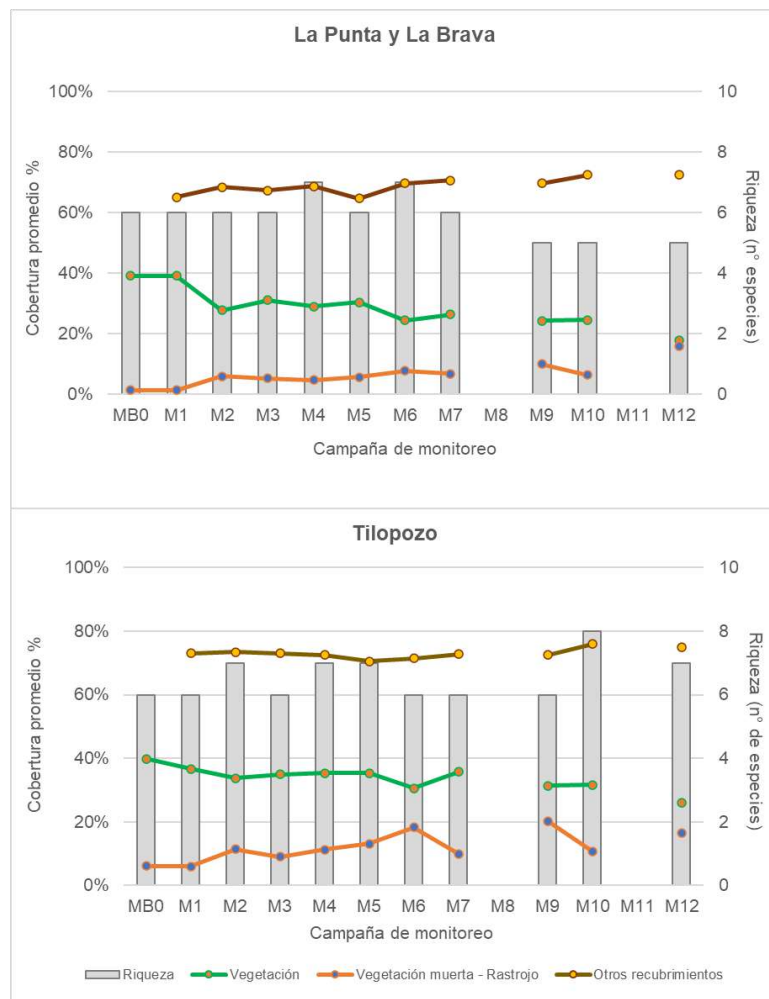
En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, ambos sectores presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable hasta M12; los promedios fluctúan entre 70,5% a 76,0% en el sector Tilopozo y 64,7% a 72,6% en el sector La Punta y La Brava. En Tilopozo se observa mayor variedad de tipos de

⁷³ Cobertura promedio calculada a partir de las coberturas absolutas por transecta de cada monitoreo, donde en Tilopozo se promedia por las 14 transectas en el sector y en La Punta y La Brava se promedia con 4 transectas (en M9 se promedia con 3 transectas a causa de que la transecta T12 no pudo realizarse).

recubrimientos, destacando la superficie terrosa, no registrada en La Punta y La Brava, y en este último la cobertura de agua superficial.

Con respecto a la riqueza (eje derecho de las gráficas), se observa una variabilidad entre los monitoreos desde MB0 a M12, con variación máxima de dos especies en ambos sectores. En el caso de Tilopozo, los mayores registros se observan en los monitoreos M2, M4, M5 y M12 (siete especies), siendo el mayor registro el de M10 con ocho especies. En La Punta y La Brava, el máximo registro de siete especies se observó en M4 y M6, pasando por seis especies entre M1 y M7, y disminuyendo a cinco especies desde M9 a M12.

Figura N° 13-114. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 (la transecta T12 en La Punta no se pudo realizar por nidificación de aves), M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N° 13-115**, **Figura N° 13-116**, **Figura N° 13-117** y **Anexo Vegetación y Flora**, se aprecian las coberturas absolutas de las transectas en los sectores Tilopozo y La Punta y La Brava, ordenadas por formación vegetal. Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los seguimientos M1 a M12 (2016 - 2022), se puede señalar lo siguiente:

En los herbazales de *J. balticus*, (**Figura N° 13-115**) se observa una disminución general de las coberturas al sexto año de monitoreo, destacando T30 con un descenso paulatino año a año, con leves aumentos en algunos monitoreos (M4, M7 y M10) pero siempre bajo el registro inicial de MB0 (43,4%). También destaca el descenso en el último año de T18, alcanzando un mínimo de cobertura de 4,8% en M12, que después del descenso en M2, se había mantenido en coberturas similares entre M2 y M10 (7,2% a 13,2%). Para el sector La Punta y La Brava, en el herbazal de *J. balticus* (T13) se observa una variación al descenso al año 6 (M12) registrando una cobertura menor a todos los monitoreos anteriores de 20,2% e inferior al registro inicial de MB0 (51,6%); asimismo para la cobertura del herbazal de *T. concinna* (**Figura N° 13-116**) (T10 y T11) con una tendencia a la disminución en los 6 años de monitoreo, a pesar de la recuperación parcial en la T10 de la cobertura registrada en M9 (invierno 2020).

De la **Figura N° 13-116** y **Figura N° 13-115**, se observa en los herbazales de *D. spicata* (T20, T22, T26, T27 y T28) presentan fluctuaciones de cobertura sin una tendencia fija, a excepción de la T21 donde se verifica un leve ascenso en M12. También, se observan fluctuaciones de cobertura en algunas transectas entre años de monitoreo; por ejemplo, T20 destaca por presentar en M12 similar cobertura a la registrada en M10 y descensos mayores en M2 y M6 que fueron recuperados en otros monitoreos alcanzando inclusive en M4 y M7 mayores coberturas a la registrada en MB0, algo similar ocurre en T22, donde el mayor descenso ocurre M2 (10%) y los otros monitoreos fluctúan entre cobertura de 15% y 20%, y en el caso de la transecta T28, en M12 la cobertura es mayor que la registrada en el quinto año de monitoreo (M9 – M10). Considerando todos los monitoreos y su evolución en el tiempo, no se observa una tendencia clara en estas transectas siendo más bien variables.

El herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo (T19 y T29) (ver **Figura N° 13-116**), es la que presenta la mayor cobertura vegetal del sector. Si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos registran mayormente una cobertura absoluta por sobre el 100%, con promedios entre 159,2% y 123,4% entre ambas transectas, exceptuando T29 en M12 que registra una cobertura de 84,8%. Por otro lado, en T19 se observa que en M2 (verano 2017) la cobertura es mayor que el registro del monitoreo base (MB0) y mayor a monitoreos posteriores. En la transecta T29, se observa desde M4 a M10 una mayor cobertura absoluta respecto de MB0, siendo en M4 (159,2%) la mayor cobertura registrada, llegando al quinto año de seguimiento (M9-M10) con valores semejantes a la condición base, destacando la diferencia registrada en el último monitoreo (M12) con valores absolutos bajo el 100%. Considerando todos los monitoreos y su evolución en el tiempo, no se observa una tendencia clara en estas transectas T29 y T19 siendo más bien variables.

En el herbazal de *T. concinna* en La Punta y La Brava (**Figura N° 13-116**), la transecta T11 se observa con una disminución de su cobertura desde MB0 hasta en M12 (31,8%), donde

registra el menor valor desde MB0 (51,6%). La transecta T10 presenta un descenso de su cobertura con respecto a MB0, que a pesar de que se mantiene más estable entre M3 y M5 y presenta una leve recuperación en M9 (6,0%), baja nuevamente en M10 con una cobertura de 0,8%, y en M12 marca un descenso mayor al igual que lo registrado en verano 2019-M6 (cobertura absoluta de 0,6%), con lo que mantiene su condición por debajo de MB0.

Entre los matorrales, la formación de *S. fruticosa* con la transecta T12 en La Punta y La Brava presenta coberturas variables, desde el descenso en M2 (27,2%) a M12 (19,0%) con coberturas menores que MB0 (38,6%), presentándose aumentos leves en M3 y M5 desde la baja en M2, y en M10 un aumento de la cobertura registrada desde M6 (24,2%), ver **Figura N° 13-116**.

Por último, los matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo se observan con una mayor variación (**Figura N° 13-117**), con alzas o disminuciones intermitentes de la cobertura, generalmente con una tendencia de mayor cobertura en monitoreos de invierno que veranos. Para M5 (invierno 2018) y M7 (invierno 2019) se observan alzas en las coberturas en las tres transectas con esta formación, siendo en T24 la que presenta mayor magnitud con respecto al monitoreo anterior, que va desde 27,8% (M4) a 63,2% (M5). Si bien en M12 se registran coberturas inferiores a MB0, éstas no alcanzan los mínimos registrados en otros años de seguimiento en todas las transectas.

En general, con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los seguimientos de M1 a M12 (2016- 2022), se observa en algunas transectas un descenso de las coberturas vegetales desde MB0, sin embargo, otras presentan una variabilidad intermitente entre monitoreos sin observar una tendencia clara. En Tilopozo, los descensos más marcados se observan en el herbazal de *J. balticus*, la transecta T26 en un herbazal de *D. spicata* y los matorrales de *T. absinthioides* (T24 y T25), pero éstos presentan la particularidad de que los inviernos tienden a tener una cobertura vegetal más activa y al año 6 falta este dato (M11). En el caso de La Punta-La Brava, el herbazal de *J. balticus* también representa una de las mayores variaciones al descenso (T13) junto al herbazal de *T. concinna* (T10). Por su parte, el herbazal de *S. californicus* en Tilopozo, presenta la mayor cobertura vegetal del sector y leves variaciones entre monitoreos, donde en M12 la transecta T29 tiene el único registro menor al 100% de cobertura (84,8%).

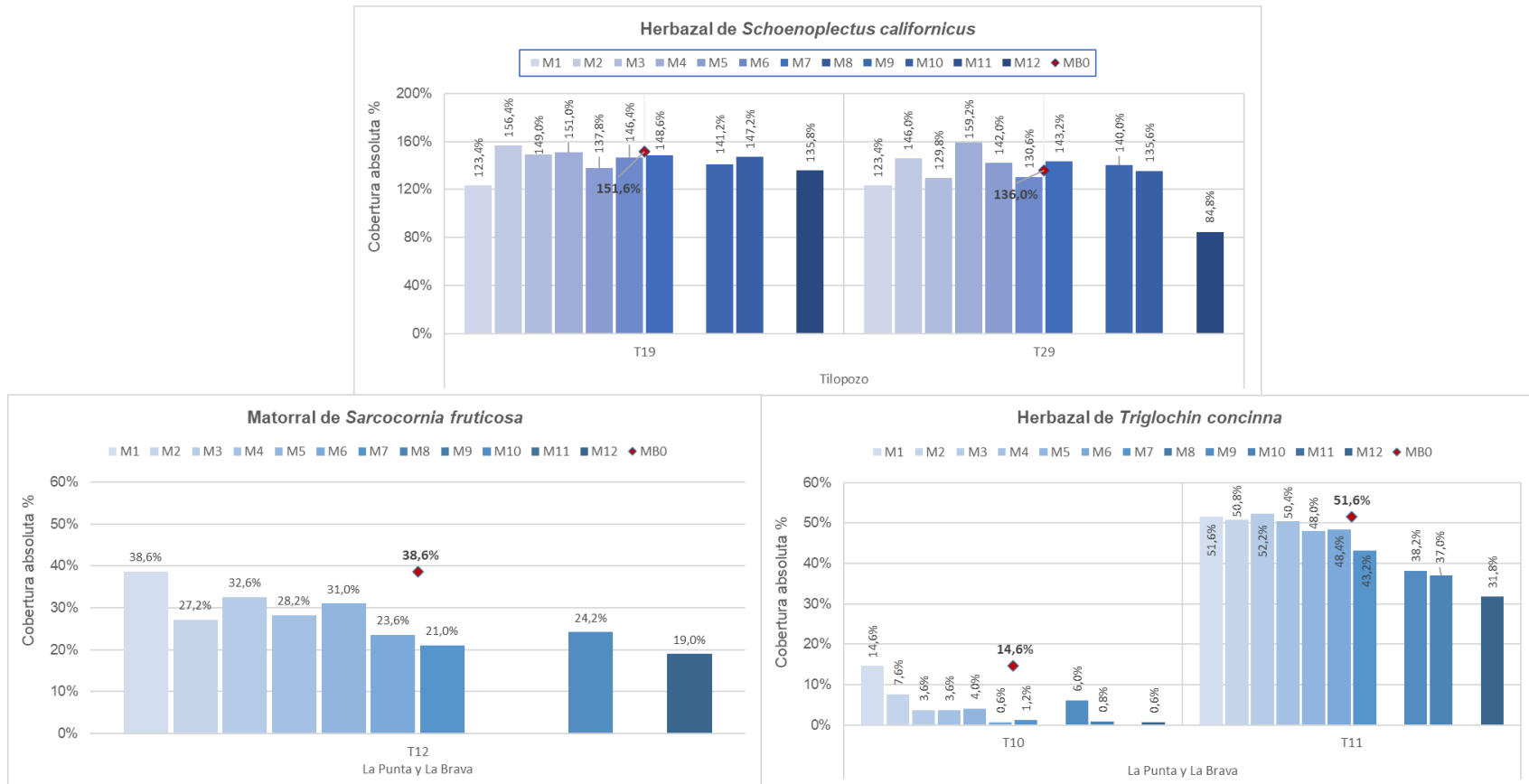
Figura N° 13-115. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MBO), M1 a M12 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de las formaciones Herbazal de *Juncus balticus* y Herbazal de *Distichlis spicata*.



Donde: MBO monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022.

Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1 6, Anexo I de Vegetación y Flora.

Figura N° 13-116. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de las formaciones Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, Matorral de *Sarcocornia fruticosa* y Herbazal de *Triglochin concinna*.

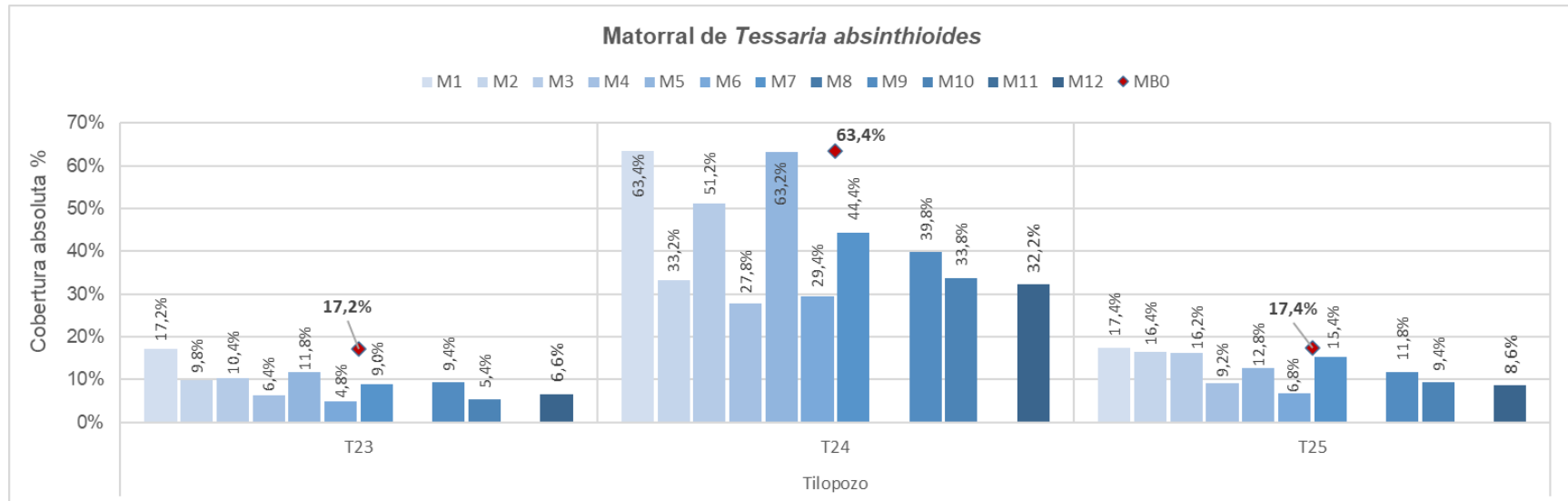


Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022.

Para el matorral de *Sarcocornia fruticosa*, no se realiza medición en la transecta T12 en el monitoreo M9 debido a restricciones de acercamiento por nidificación de aves.

Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1 6, Anexo I de Vegetación y Flora.

Figura N° 13-117. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de la formación de *Tessaria absinthioides*.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022.

Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1 6, Anexo I de Vegetación y Flora.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

Para evaluar un cambio en el estado ecológico, se consideró lo indicado por el PMB establecido en el Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, respecto a evaluar entre otros parámetros en la vegetación: *una disminución sostenida de la cobertura de especies o cambios en la estructura comunitaria.*

El análisis de estos parámetros se realiza a partir de la **variación de la cobertura vegetal de las especies y la variación en la composición de las especies** en referencia al número de intercepciones en la transecta (frecuencia), para determinar cambios en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

Respecto a la **variación de la cobertura vegetal de las especies**, se realiza considerando la evolución de estas coberturas en dos escalas de análisis:

- El promedio anual de las coberturas de las especies por formación vegetal y se relaciona con el promedio de las coberturas del periodo inicial asociado a la condición basal del proyecto, correspondiente a MB0. Esta relación, nos permite observar si las variaciones en el tiempo son sostenidas a través de los seis años de seguimiento o bien se enmarcan en una variabilidad interanual.
- La variación de la cobertura de las especies por transecta, determinada por la diferencia porcentual de las coberturas absolutas por transecta entre el promedio del primer semestre de monitoreo, dado que ambos muestreos presentaban un mes de diferencia (julio y agosto 2016, MB0/M1), con respecto al promedio de los monitoreos del período total de seguimiento (M2 a M12; 2017-2022), además de analizar su importancia estadística con un nivel de significancia del 0,05.

De manera adicional y complementaria, y para determinar estadísticamente si las variaciones de cobertura por transectas son significativas, es decir, si la variación de las coberturas presentaría una validez estadística al relacionar las variaciones de las coberturas durante el periodo de seguimiento, se utilizaron los valores promedio anuales para cada especie (M1-M2/M3-M4/M5-M6/M7⁷⁴/M9-M10/M12⁷⁵) y se compararon con MB0 y M1. Para esto se realizó la prueba estadística Kruskal-Wallis donde el valor del parámetro F de esta prueba, se acompaña del valor p para cuantificar estadísticamente la importancia de la variación. 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.

⁷⁴ No se incluye Monitoreo 8 de verano 2020, debido a que no fue posible realizar la campaña dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Sin embargo, se logró ejecutar el monitoreo de NDVI.

⁷⁵ No se incluye Monitoreo 11 de invierno 2021, debido a que no fue posible realizar la campaña dadas las restricciones de acceso al área de estudio, a causa de movilizaciones sociales en la zona.

En relación a la **variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte, se analiza la cobertura promedio anual⁷⁶ de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N°13-118**, y posteriormente, se analizan los cambios de estas coberturas en los monitoreos hasta el Año 6⁷⁷, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

En el sector “La Punta-La Brava-Tilopozo”, se registran 10 especies entre las formaciones vegetales en seguimiento, de las cuales ocho se han registrado en el subsector Tilopozo con cuatro especies dominantes en cada una de las formaciones: las herbáceas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*, y el arbusto *Tessaria absinthioides*, y en el subsector La Punta y La Brava se han registrado siete especies, donde las dominantes son las herbáceas *Juncus balticus*, *Triglochin concinna* y el arbusto *Sarcocornia fruticosa*. En la **Figura N°13-118** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas especies, en las cuatro formaciones de Tilopozo (arriba) y las tres formaciones de La Punta y La Brava (abajo).

Para Tilopozo (**Figura N°13-118** arriba), la especie *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los seis años y se mantiene estable hasta el quinto año en relación a la cobertura inicial (MB0; invierno 2016) bajando la cobertura en el sexto año, recordando que en este año considera solo la cobertura de M12 y no se tiene el promedio con el monitoreo de invierno, al igual que el año 4, dado la ausencia de monitoreos. En general, se observa una variación entre los años de monitoreo, destacando el herbazal de *J. balticus* que desciende bajo el 10% de cobertura promedio en el segundo y tercer año, representando una variación de entre un -8,3 y -9,0% con respecto a MB0 en la formación donde domina, aunque en el primer semestre del año 4 (M7), muestra una tendencia de recuperación (-7,7% respecto a MB0); sin embargo, para el año 5 muestra un descenso de -11,7% y en M12 un descenso mayor de -14,4% respecto a MB0.

El matorral de *T. absinthioides* muestra una tendencia similar (variación de -10,1% el año 2, mostrando una tendencia de recuperación el año 4), con una disminución de -12,6% para el año 5 y de -15,4% al año 6 en el matorral. La especie *D. spicata* es la que se observa más constante en las distintas formaciones y con promedio de cobertura cercanos o sobre el promedio inicial. Por otra parte, en el herbazal de *S. californicus* se observa que la cobertura promedio de *Baccharis juncea* descendió en el primer año de monitoreo (Año 1-MB0; -9,3% de variación), pero repuntó hasta el año 4, superando la condición inicial de MB0, sobre todo por el aumento desde el año 1 al 2 en un +4,0%; para el año 5 y 6 desciende con relación a la condición base en -2,7% y -8,7%, respectivamente.

⁷⁶ Cobertura promedio anual por especie: promedio de las coberturas promedio anual de las especies por formación vegetal (que contienen todas las transectas de dicha formación); la cobertura promedio anual es aquella entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7; Año 5: M9 y M10.

⁷⁷ Esta comparación se realiza con la cobertura promedio entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7; Año 5: M9 y M10; Año 6: M12 y MB0: condición basal, invierno 2016. Para el Año 4 sólo se pudo realizar un monitoreo semestral, el de invierno 2019 (M7), por los que los valores para ese año corresponden a dicha estación y en el Año 6 solo se tiene el monitoreo de verano 2022 (M12).

En el sector La Punta y La Brava (**Figura N°13-118** abajo), se observa, en general, un descenso de las especies de la cobertura desde el primer año (M1-M2) y el segundo año (M3-M4) de monitoreo a la fecha, no obstante, la variación de las coberturas promedio anuales no superan más de un -16% con respecto a la cobertura inicial de invierno de 2016 (MB0), exceptuando que al sexto año (M12) se registra un descenso mayor para la especie *J. balticus* de -24,0% en su formación y en el matorral de *S. fruticososa* esta especie registra un -17,0% de variación al sexto año, respecto MB0. Dentro de estas variaciones, destaca un alza de cobertura en el año 4 observado principalmente en el herbazal de *J. balticus* (aunque cabe recordar que en ese año solo se hizo invierno, ya que M8 no se pudo realizar por la pandemia).

Figura N°13-118. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales de los sectores Tilopozo (arriba) y en La Punta y La Brava (abajo).



Donde: Especies: **sca**: *Schoenoplectus californicus*, **bj**: *Baccharis juncea*, **dp**: *Distichlis spicata*, **Tb**: *Tessaria absinthioides*, **jb**: *Juncus balticus*, **nia**: *Nitrophila atacamensis*, **Lh**: *Lycium humile*, **Sf**: *Sarcocornia fruticosa*, **tc**: *Triglochin concinna*, **pu**: *Puccinellia frigida*, **esp**: *Eleocharis sp.* Promedio anual de coberturas: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7 (M8 monitoreo verano 2020, no fue realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); Año 5: M9 y M10; Año 6: M12 (M11 monitoreo invierno 2021, no fue realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y MBO: condición basal, invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a **la variación en la composición de las especies**, se determina la variación de la composición de especies a través de su frecuencia, a partir de los registros de especies en las transectas evaluando su posición, es decir el N° de intercepciones de cada especie en la transecta. La transecta que es de 50 metros lineales, lo que consiste en 500 intercepciones posibles, se divide en tres tramos: los extremos con menor cantidad de intercepciones (Tramo 1 y 3) y el centro de la transecta que representa la mayor cantidad de intercepciones (Tramo 2).

- Tramo 1: 0-10 m, que representa 100 intercepciones posibles
- Tramo 2: 10,1 – 40 m. que representa 300 intercepciones posibles, y
- Tramo 3: 40,1 – 50 m, que representa 100 intercepciones posibles.

En esta división por tramos, se suman los registros (frecuencia) de cada especie por tramo y de todas las transectas asociadas a una formación vegetal en un sector determinado, y en cada monitoreo. A partir de estos datos, se obtiene el promedio del N° de intercepciones de cada especie en los monitoreos, pudiendo comparar la evolución de estos registros con el registro inicial de MB0 (monitoreo basal en invierno 2016).

Adicionalmente, para determinar si las variaciones de cobertura de las especies son significativas, es decir, si la variación de las coberturas presentaría una validez estadística al relacionar ambos periodos, se realizó la prueba estadística Kruskal-Wallis donde el valor del parámetro F de esta prueba, se acompaña del valor p para cuantificar estadísticamente la importancia de la variación. 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.

La evaluación de cambios en el estado ecológico se realiza de acuerdo a lo señalado en la Adenda 5, Anexo 2, que señala *“se entenderá como un cambio en tendencia según la evaluación realizada después de 3 años consecutivos (periodos), respecto su comportamiento previo de línea de base o registros históricos”*. De acuerdo a esto, se analiza la variación de la composición de las especies a través de su posición, medida a través del número de intercepciones de cada especie en las transectas. Esta variación se realiza a través del promedio de intercepciones por especie y por tramo, comparando los valores promedio de cada monitoreo con los registros de MB0. Además, adicionalmente, para determinar aquellos cambios con variaciones significativas estadísticamente, considerando un **α menor o igual a 0,05, se determinaron las variaciones de cada especie por transecta.**

Con respecto a **la variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los seis años de seguimiento M1 a M12 en relación al registro inicial en MB0, se observa una estabilidad en la composición de especies en las formaciones vegetales, manteniendo una similar riqueza florística entre monitoreos, donde las variaciones se observan en el número de registros (frecuencia a través del n° de intercepciones en las transectas⁷⁸),

⁷⁸ Esta frecuencia en la transecta se realiza a través del número de intercepciones en cada una, entendiendo que una transecta de 50 metros tiene 500 intercepciones posibles, en las cuales puede haber más de una especie en cada intercepto. A su vez, la transecta se dividió en tres tramos: Tramo 1= 0-10 m (100 intercepciones posibles); Tramo 2= 10,1 – 40 m (300 intercepciones posibles); Tramo 3= 40,1 – 50 m (100 intercepciones posibles).

denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos (ver a continuación las **Figura N°13-119, Figura N°13-120, Figura N°13-121, Figura N° 13-122, Figura N° 13-123, Figura N° 13-124 y Figura N° 13-125**).

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Tilopozo, se observa una estabilidad de los registros en el tiempo para la especie dominante en la formación, con una variación menor en M5 en relación al número registrado en MB0 y un leve aumento en M7 en el tramo 2, con valores en el año 5 muy semejantes a la condición base y un descenso mayor en M12, reflejado con menores registros en los tres tramos (**Figura N°13-119**). Para las especies acompañantes se observa una mayor variación entre monitoreos, donde *B. juncea* presenta una disminución en el número de registros, principalmente en el tramo 2, aunque con una variabilidad entre monitoreos denotando una mayor presencia en los monitoreos de verano (M2 y M4) y menor presencia en los registros de M9, M10 y M12; para el caso de *D. spicata* se observa una disminución de sus registros en Tramos 1 y 2 desde M4, con ausencia de registros en M4 y M6, aunque en Tramo 3 vuelve a tener mayor presencia desde M4 a M12, más marcado en M9.

En el herbazal de *Juncus balticus*, para la especie dominante (*J. balticus*) se observa en general, una mayor variabilidad de sus registros entre monitoreos en el tramo 2 (**Figura N°13-120**). En el principal tramo (tramo 2) en la formación de Tilopozo, se observa en M6 un descenso en los registros, con una recuperación parcial en M7 y M9, presentándose en M12 los menores registros para *J. balticus*, a diferencia de la formación en La Punta y La Brava que continua más estable entre monitoreos (**Figura N°13-121**), con variaciones estacionales. Las especies acompañantes presentan algunas variaciones menores, pero dentro de los rangos registrados por tramo en MB0.

En el herbazal de *Distichlis spicata* en Tilopozo, la especie dominante (*D. spicata*) presenta en el tramo 2 una disminución de valores en M2 a M6, y un alza en M7 con registros cercanos al histórico para el tramo, para mantenerse en un rango medio en M9 a M12 (**Figura N° 13-122**), manteniéndose con registros similares en los veranos de M10 y M12. Las especies acompañantes presentan bajo número de registros en general, con mayor presencia de *Lycium humile*, que si bien muestra una menor frecuencia con respecto a MB0 se observa un ascenso paulatino desde M1 a M12, y especies como *J. balticus*, *N. atacamensis* y *Sarcocornia fruticosa* han sido reportadas sólo en uno o dos monitoreos.

En el herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava (**Figura N° 13-123**), se observa un descenso del registro de la especie dominante (*T. concinna*) en todos los tramos en M10 y en el tramo 2 y 3 de M12. La especie *Nitrophila atacamensis* presenta un descenso en M6 y recuperación parcial en M7 y M10; se encuentra presente solo en el tramo 1, con registros bajos en comparación a otras especies. Para las otras especies acompañantes se observan leves variaciones y más bien una presencia estable entre tramos y monitoreos, con un leve aumento en M12 para el arbusto *Sarcocornia fruticosa*.

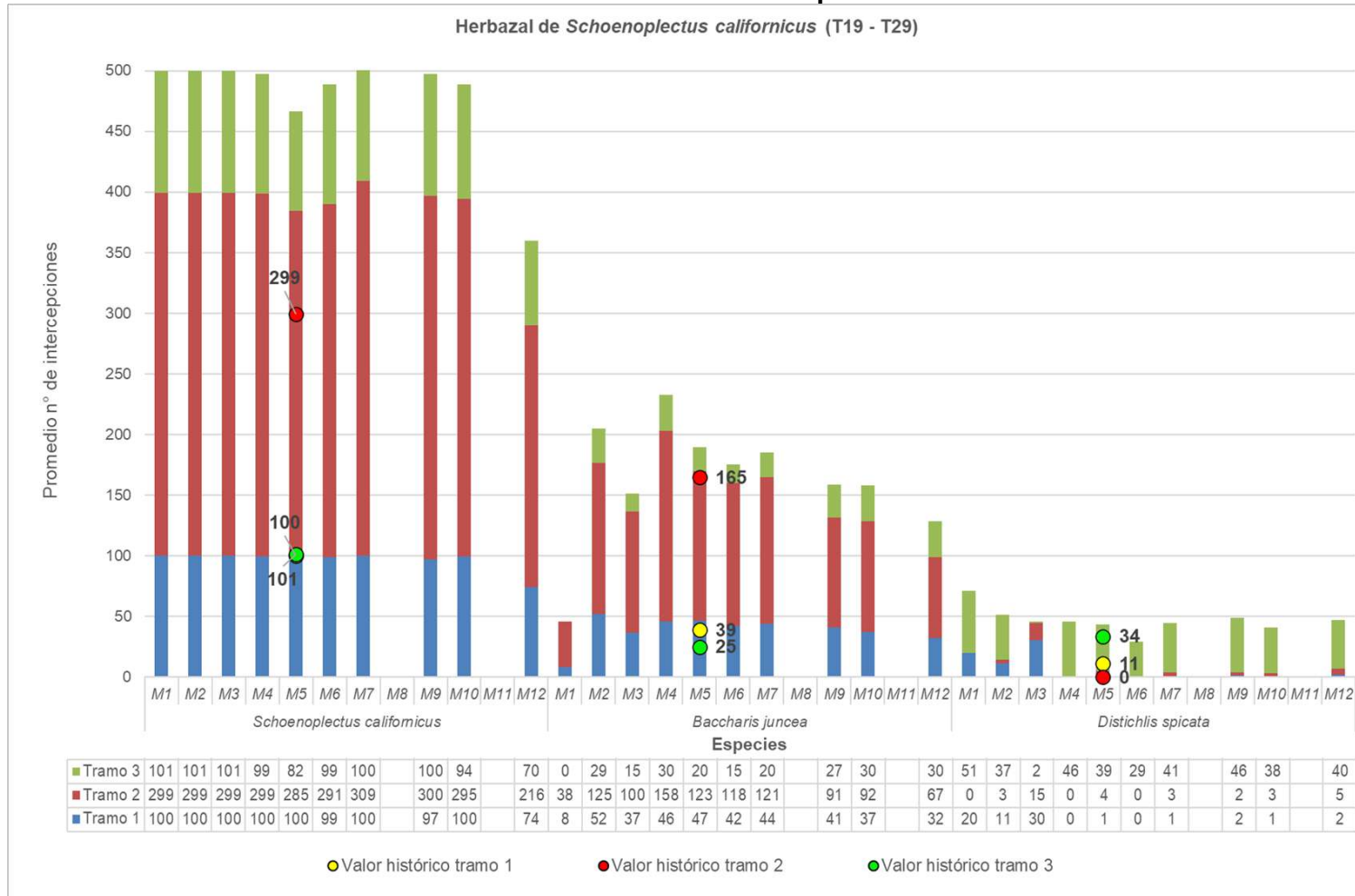
En relación a los matorrales, en el matorral de *S. fruticosa* del sector La Punta y La Brava (**Figura N° 13-124**), su especie dominante se observa con variaciones principalmente en el

tramo 2, donde se registra valores menores a M1, variados, con un aumento en M12 en relación a M6, M7 y M10, pero bajo el valor histórico para el tramo. El resto de los tramos tiene variaciones dentro del rango normal. En el matorral de *T. absinthioides* del sector Tilopozo, si bien se observa un descenso hasta M6 en relación al monitoreo inicial MB0 y M1, los registros señalan un aumento de valores en todos los tramos en M7, manteniéndose similar hasta M9, ya que en M10 bajan los registros de *T. absinthioides* pero suben los de *D. spicata*, mientras que en M12 aumentan los registros para la especie arbustiva y bajan para la especie acompañante (**Figura N° 13-125**).

En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar. Por una parte, esto se deduce del análisis complementario que se realiza con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2021 (ver resultados en **sección 13.8.1.2.2**) y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis de correlaciones en **sección 13.8.3**).

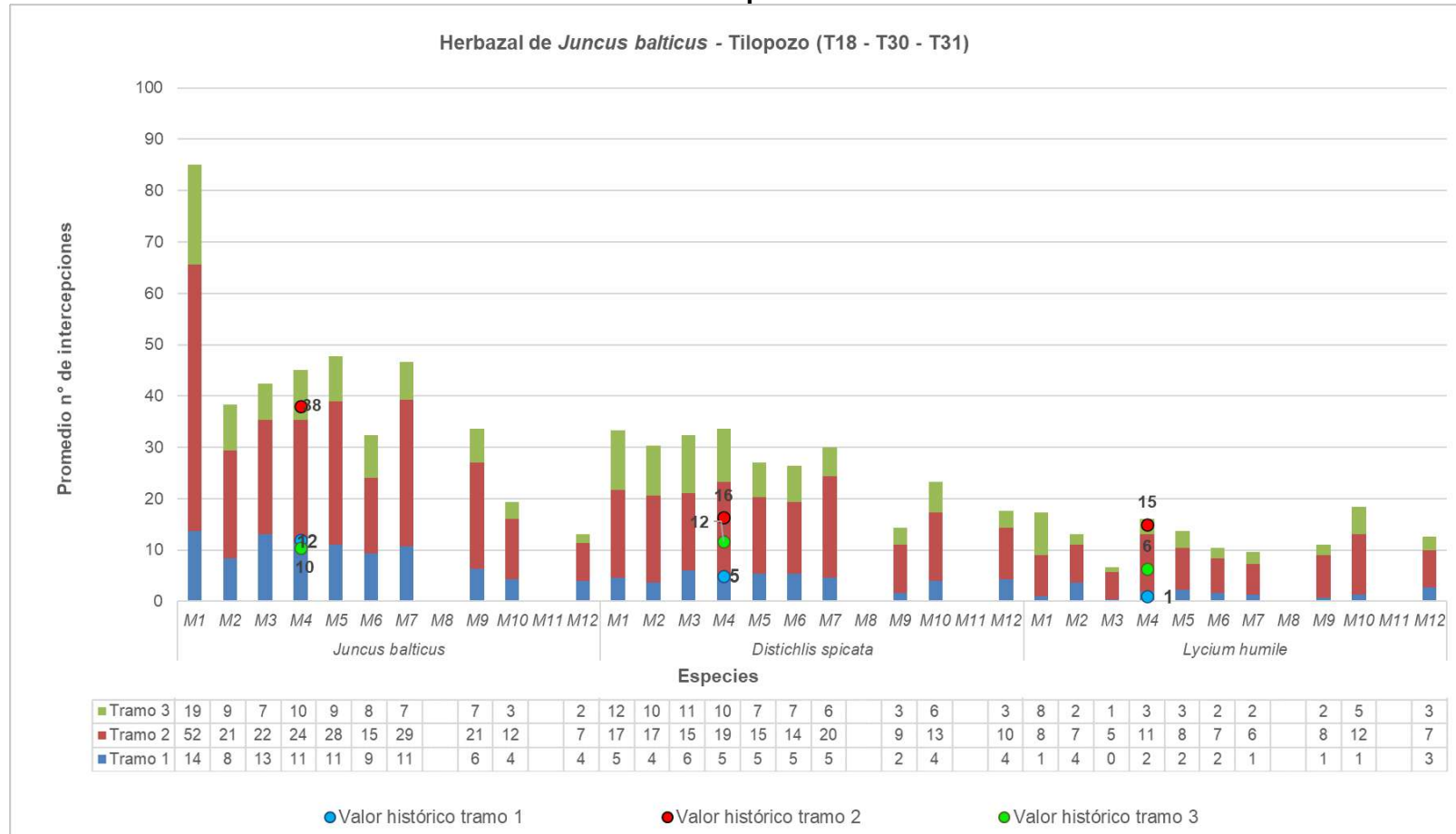
Asimismo, al analizar estadísticamente las variaciones por transecta desde MB0-M1 como condición inicial hasta el sexto año de monitoreo M12, las diferencias significativas en las variaciones del NDVI se presentan principalmente por descensos de la cobertura vegetal, coincidiendo generalmente con las formaciones vegetales de *Juncus balticus*, probablemente por el mayor descenso registrado en M2 (verano 2017) enmarcado en un ciclo de baja actividad según evaluaciones del NDVI mencionadas anteriormente, y en los matorrales de *Tessaria absinthioides* las variaciones podrían estar asociadas al descenso paulatino en el tiempo, a pesar de las fluctuaciones al alza entre monitoreos, indicando probablemente factores distintos que influyen en las variaciones de otras formaciones. Por otro lado, también están los descensos que se asocian a las transectas que durante todo el seguimiento del PMB han presentado baja cobertura vegetal, resultando una variación más notoria al analizar sus diferencias en el tiempo, como T21 y T26 en Tilopozo y T10 en La Brava.

Figura N°13-119. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Tilopozo.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

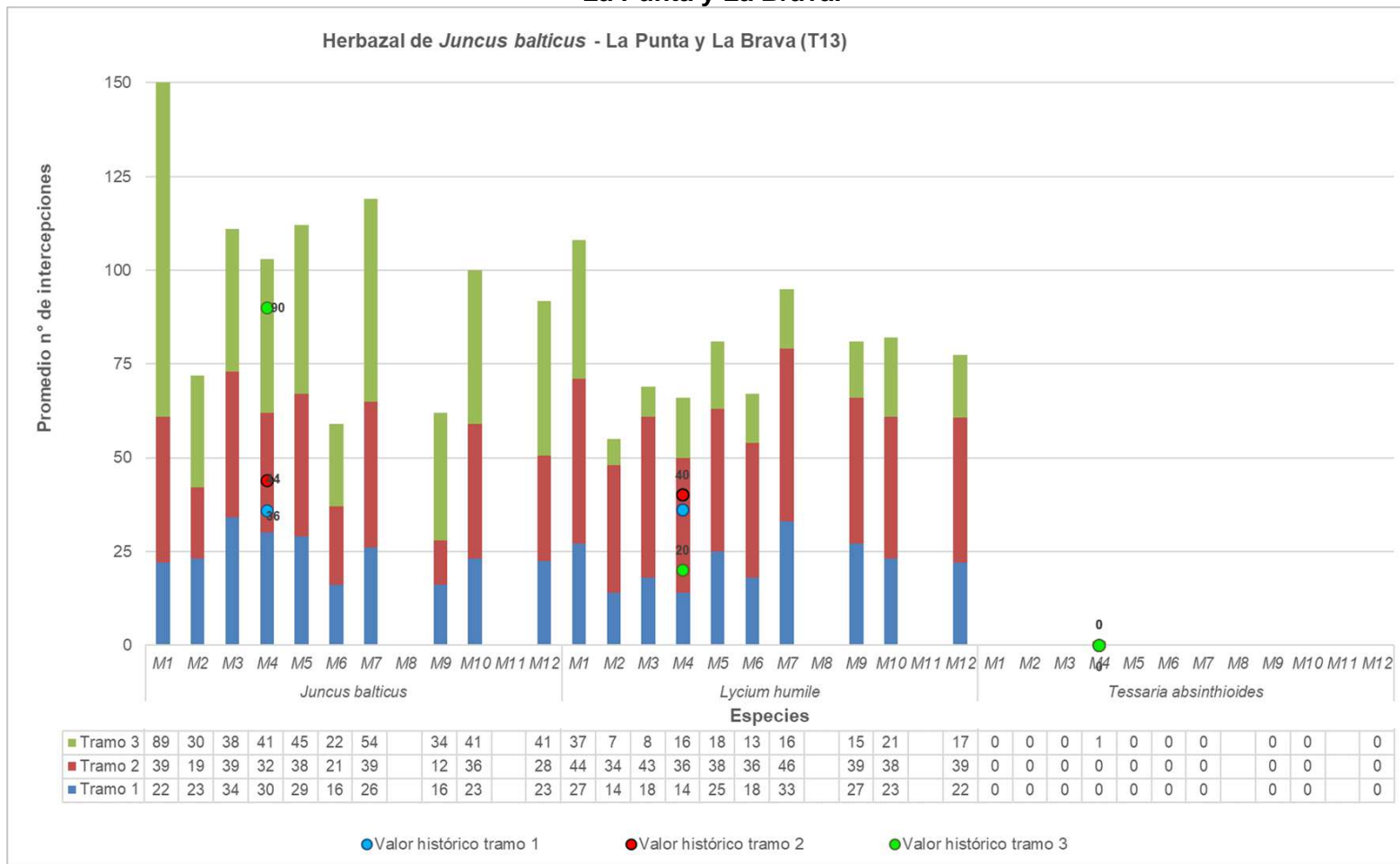
Figura N°13-120. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Juncus balticus*, en sector de Tilopozo.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

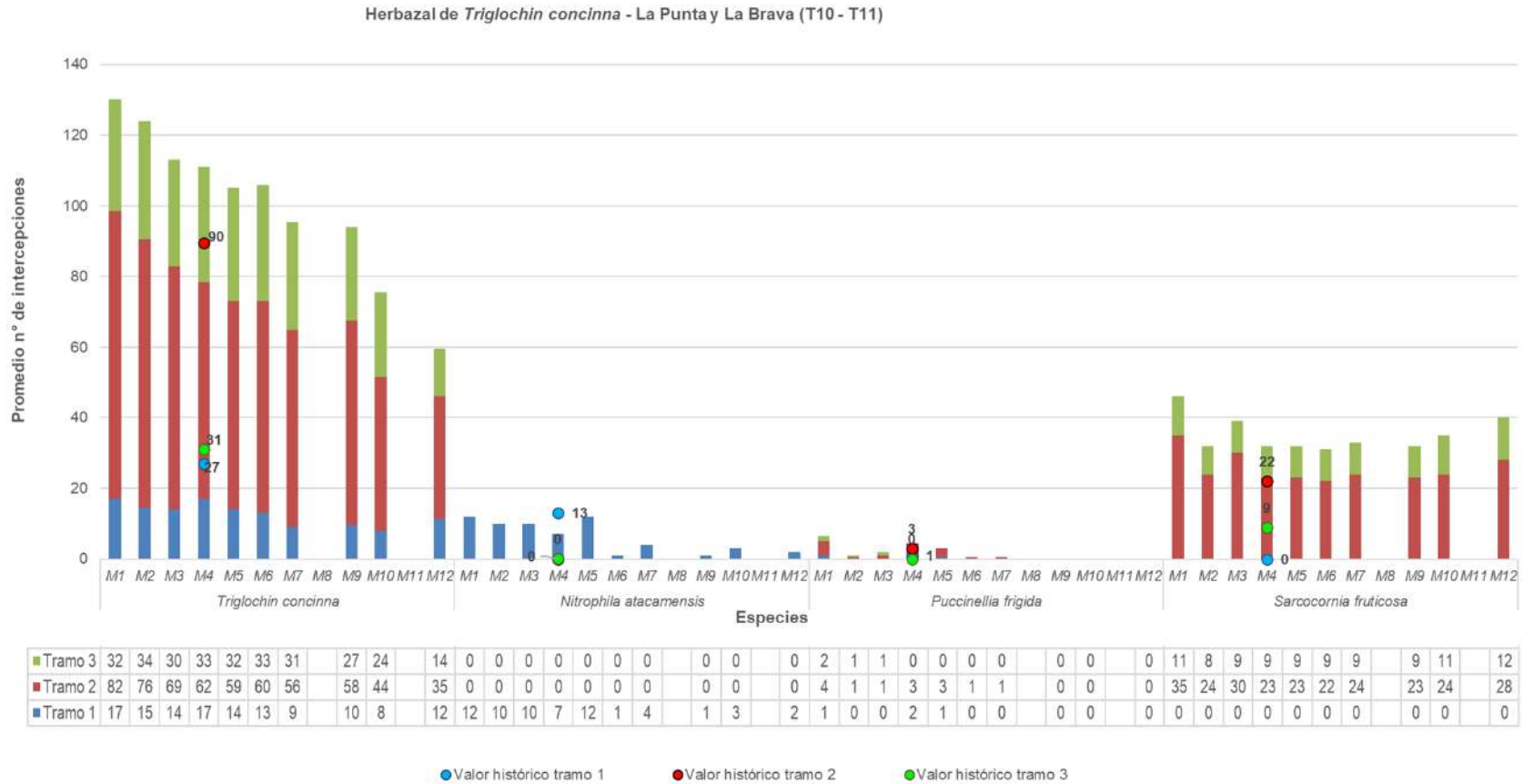
Figura N°13-121. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Juncus balticus*, en sector La Punta y La Brava.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

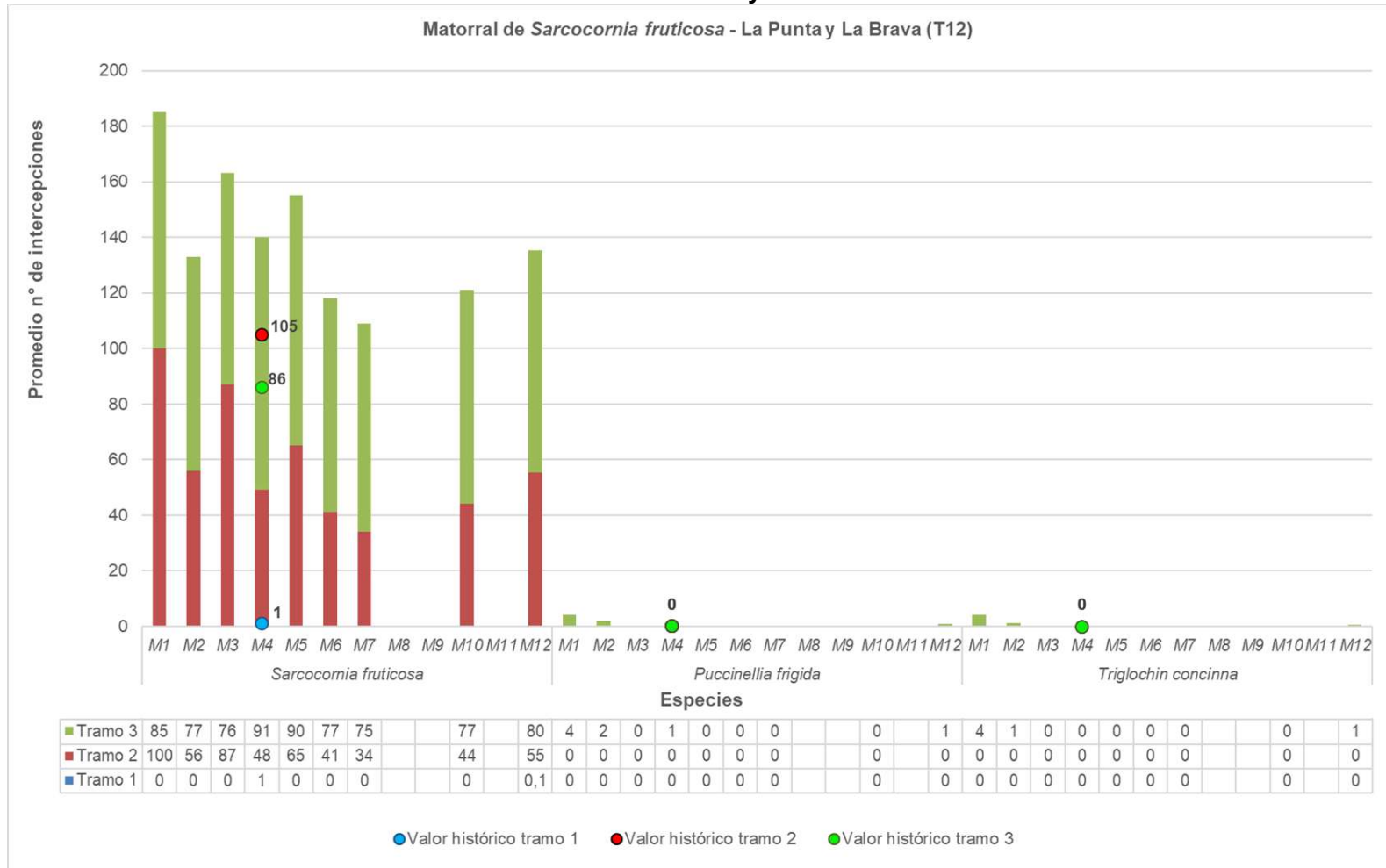
Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-123. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava.



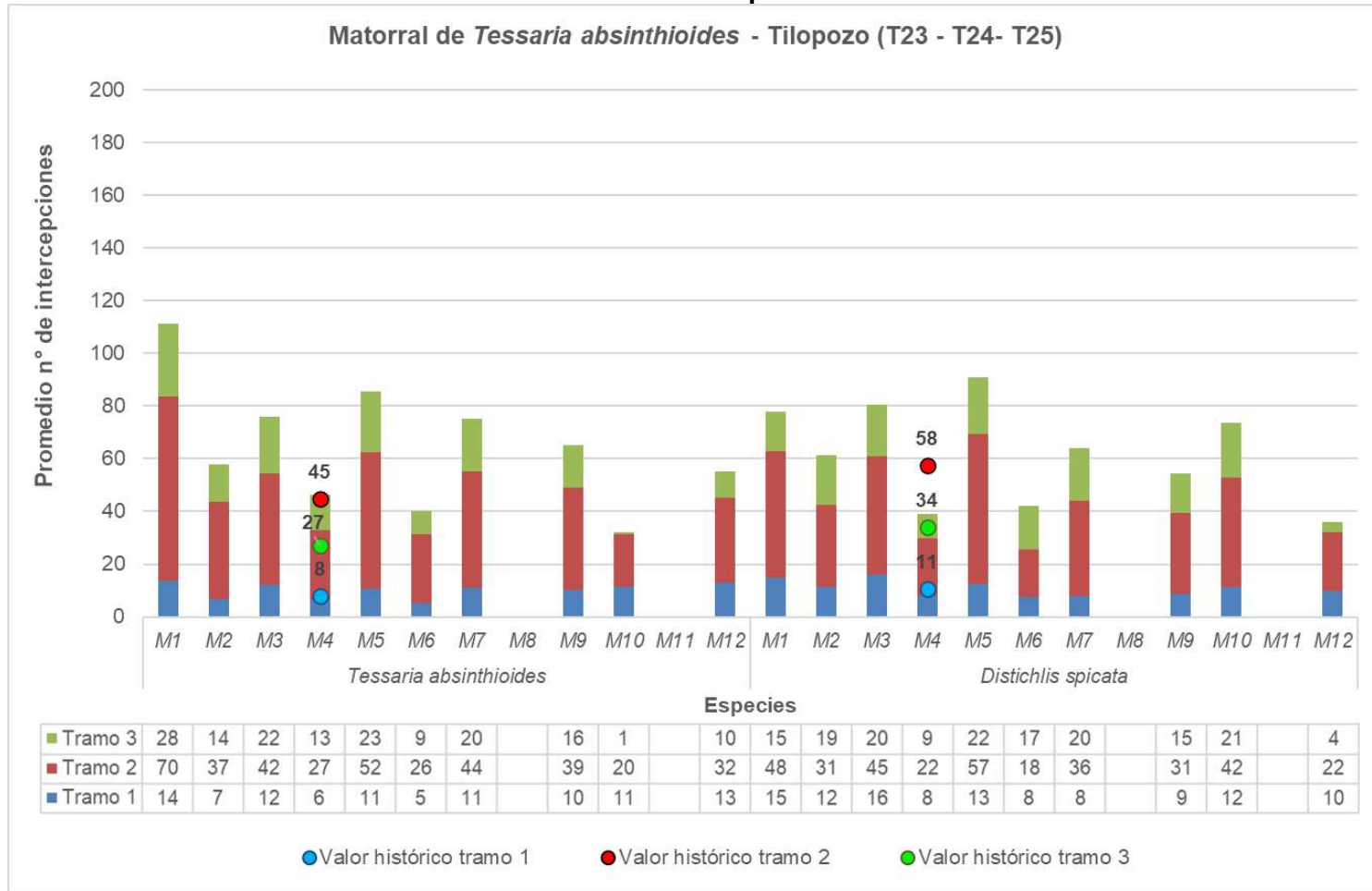
Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;
 Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-124. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de *Sarcocornia fruticosa* en sector La Punta y La Brava.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;
 Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-125. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de *Tessaria absinthioides* en sector Tilopozo.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;
 Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

c. Análisis estadístico de la variación de las coberturas vegetales

Se presenta a continuación, un **análisis estadístico de la variación de las coberturas vegetales** de las especies por transecta en los seis años de seguimiento, que permite obtener algunas conclusiones respecto de la evolución. En relación a la cobertura basal de invierno 2016 (MB0-M1), se tiene para el sector La Punta – La Brava y por subsector:

En el subsector Tilopozo, localizado al Noroeste dentro del sistema La Punta- La Brava, en **Figura N° 13-126** y **Figura N° 13-127 izquierda**, se observan las variaciones de las coberturas para las especies dominantes y acompañantes, respectivamente. **Entre las especies dominantes** el rango de variación es de $\pm 100\%$, con algunas diferencias significativas (estadísticamente):

- Aumento de *D. spicata* en la transecta T21, con una variación del 90%.
- Aumento de *S. californicus* en T22, ya que el 100% de su variación es porque no se registraba en MB0 y M1 y en los siguientes monitoreos aparece con una baja cobertura absoluta (<5%).
- Descenso de *J. balticus* en T18, T30 y T31 en la formación donde domina esta especie, con variaciones de cobertura entre un 38% (T30) y 75% (T31).
- Descenso de *J. balticus* en T22, ya que el 100% de su variación es porque solo se registraba en MB0 y M1 con una baja cobertura absoluta (<5%) y en los siguientes monitoreos no aparece.
- Descenso de *D. spicata* en T18, ya que el 100% de su variación es porque solo se registraba en MB0 y M1 con una baja cobertura absoluta (<1%) y en los siguientes monitoreos no aparece.
- Descenso de *D. spicata* en T22 y T26 en la formación donde domina esta especie, con variaciones de cobertura entre un 33% y 73%.
- Descenso de *T. absinthioides* en T23, T24 y T25 en la formación donde domina esta especie, con variaciones de cobertura entre un 36% y 52%.

En relación a las diferencias significativas, el aumento y descenso de *D. spicata* ocurre en transectas donde la cobertura siempre ha sido baja (<15%), destacando de esta forma cualquier descenso de su cobertura. No obstante, la transecta que ha disminuido la cobertura a valores absolutos mínimos es T26, la cual presentaba una cobertura de 7,8% en MB0 y M1, disminuyendo su cobertura con fluctuaciones entre monitoreos, a menos de un 1% en M9 (0,8%), M10 (0,6%) y M12 (0,2%). Asimismo, hay que destacar que esta transecta se localiza más cerca de los faldeos de los cerros al noroeste del área de Tilopozo, más alejada del núcleo del salar.

Con respecto a los aumentos, el ascenso significativo de *S. californicus* en T22, no representa coberturas importantes en la transecta, sin embargo, el contraste de sus registros durante el seguimiento indicaría una significancia en su dinámica en la formación (0,0% en MB0 a un máximo de 2,8% en M6 y un descenso a 0,2% en M12). Asimismo, el aumento significativo de *D. spicata* en T21, puede estar reflejado por la baja cobertura absoluta en general que presenta esta transecta (2,4% en MB0 y M1 y un máximo de 6,6%

registrado en M12), donde cualquier aumento es importante. Por otro lado, los aumentos en T19 y T29 que no representan cambios significativos, sí destaca la aparición de *Eleocharis sp* en T29, la cual no se había registrado entre MB0 y M9 y aparece en M10 manteniéndose activa hasta M12, probablemente después de una recuperación más estable del establecimiento de las especies post-incendio, asimismo, la especie *B. juncea* en ambas transectas ha aumentado su cobertura, pero en forma estable desde M2 a M12 después del descenso observado en M1.

Con respecto a los descensos significativos de *J. balticus*, éstos presentaron en M2 la principal disminución para todas sus transectas, no obstante, desde M3 en adelante esta cobertura fue menos variable, presentando inclusive una mayor recuperación en M7 (invierno 2019), aunque en el último monitoreo de verano (M12-2022) presenta nuevamente una disminución de la cobertura en las tres transectas, sin embargo, en T31, con un 0,8% en M12 no alcanza a ser menor que el registro de M2 (0,2%).

Sobre el descenso significativo de *T. absinthioides*, se puede mencionar que en M2, también se registró la mayor diferencia de cobertura en las transectas T23 y T24, con un descenso de la cobertura absoluta con respecto a MB0 y M1, sin embargo, esta cobertura fue variando en monitoreos posteriores, aumentando generalmente en los monitoreos de invierno, alcanzando máximos muy distintos a los de verano. En T25, probablemente la significancia en la disminución de la cobertura corresponda a que siempre ha presentado baja cobertura (menos del 10%), y cualquier disminución refleja una variación importante. Asimismo, la cobertura en T23 y T25 es mayor en M12 que la registrada en el verano anterior M10, aunque con menor diferencias entre ellas que la disminución registrada desde MB0.

Entre las especies acompañantes, las variaciones tienen un rango entre -55% a 120% y un descenso con significancia estadística de *Lycium humile* en T18, resaltando su disminución al tener baja cobertura absoluta desde MB0 y M1 (8,6%), y una disminución con fluctuaciones entre M2 a M12, con mínimas de 2,2% (M3), 2,6%(M7) y 3,2%(M6 y M12), aunque ha presentado leves aumentos en dos monitoreos de verano, alcanzando una cobertura de 5,0% en M4 y de 6,0% en M10 (ver detalles en **Anexo I de Vegetación y Flora**).

En el subsector La Punta- La Brava (Figura N° 13-126 y Figura N° 13-127 derecha), entre las especies dominantes el rango de variación va desde -97% a 100%, con las siguientes diferencias significativas (estadísticamente):

- La especie *T. concinna* en T10 con un descenso del 85%, debido a la disminución paulatina de la cobertura en la formación de la T10, siendo más notoria la variación por la baja cobertura registrada desde MB0 y MB1 (10,2%) a registros mínimos de 0,2% en distintos monitoreos (M6, M7, M10 y M12).
- La especie *S. fruticosa*, disminuye en 26% en T11 y en 30% en T12, probablemente por un descenso paulatino, aunque no representa las mayores variaciones en

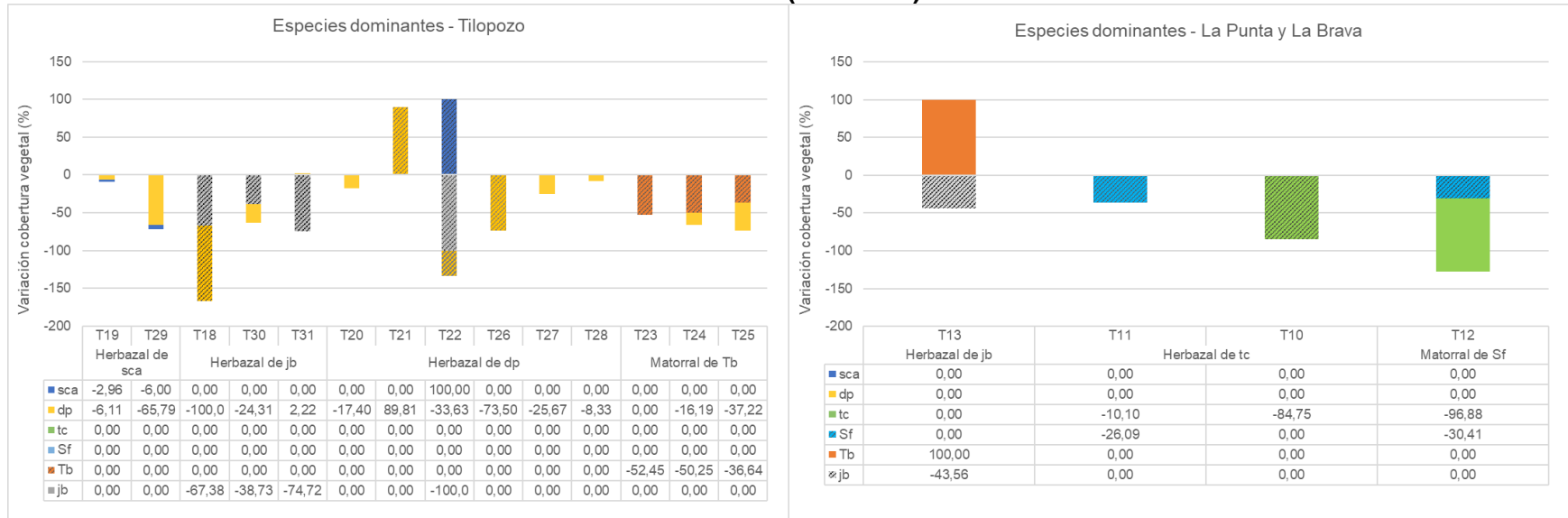
ambas transectas, inclusive en T11 la cobertura registrada en M12 (8,0%) es mayor a la registrada desde el descenso en M2 (6,4%).

- La especie *J. balticus*, disminuye un 44% en T13, probablemente por los mayores descensos de la cobertura absoluta registrada en M2, M6, M9 y en M12 con el registro más bajo, ya que en los otros monitoreos muestra una recuperación de la cobertura aunque no se ha alcanzado a registrar la cobertura inicial de MB0 o M1.

El aumento de *T. absinthioides* en el herbazal de *J. balticus*, si bien representa un 100%, no es significativo, ya que fue por la aparición de esta especie puntualmente en el monitoreo de verano M4, con una cobertura menor al 1%

Entre las especies acompañantes del subsector, *Puccinellia frigida* registra variaciones significativas al descenso en T11, T10 y T12, probablemente por la baja cobertura que presenta (<2% cobertura absoluta), acentuándose cualquier descenso en su caso, además que ya no se registra su presencia en M9 para la transecta T10, en M4 para T11 y en M5 para T12 (**Figura N° 13-127**).

Figura N° 13-126. Variación porcentual de la cobertura vegetal de las especies dominantes en las formaciones del sector Tilopozo y La Punta y La Brava, de los monitoreos iniciales (MB0-M1; invierno 2016) con respecto al periodo total de monitoreo (M2 a M12).

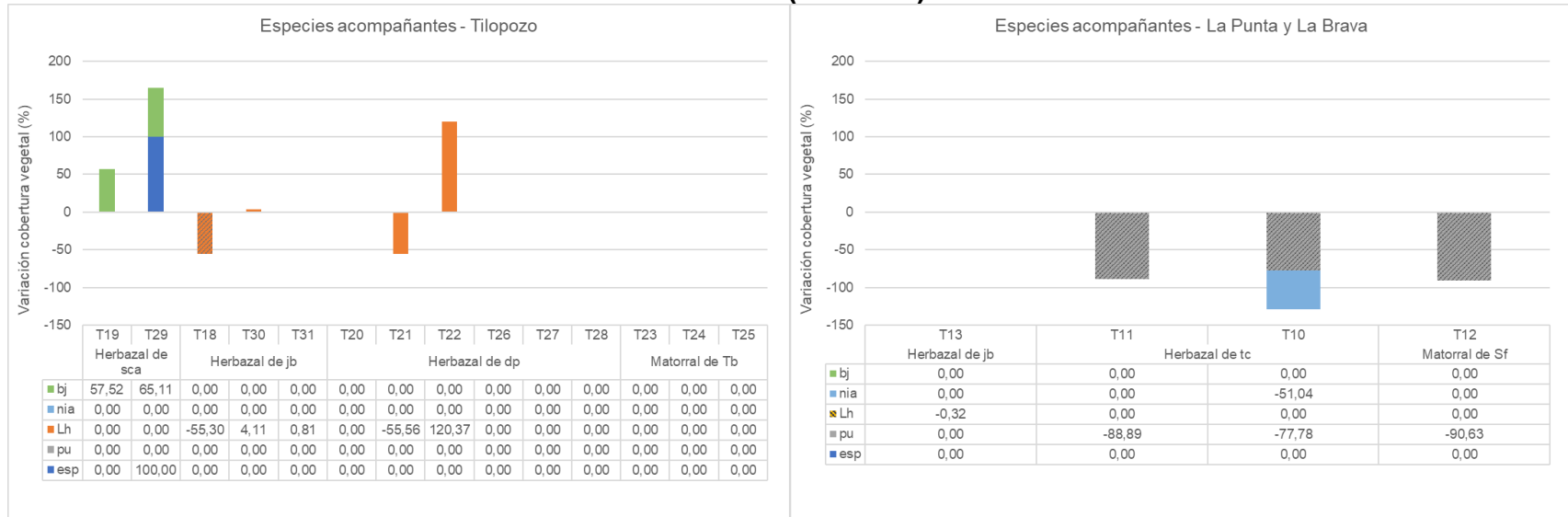


Donde: Achurado en columnas representan variaciones significativas estadísticamente considerando un valor de $p < 0,05$, correspondientes a: dp-T18; jb-T18; jb-T30; jb-T31; dp-T21, jb-T22, dp-T22; sca-T22, dp-T26; Tb-T23; Tb-T24; Tb-T25; jb-T13; Sf-T11, tc-T10, tc-T12; Sf-T12.

Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, dp: *Distichlis spicata*, tc: *Triglochin concinna*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Tb: *Tessaria absinthioides*, jb: *Juncus balticus*.

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-127. Variación porcentual de la cobertura vegetal de las especies acompañantes en las formaciones del sector Tilopozo y La Punta y La Brava, de los monitoreos iniciales (MB0-M1; invierno 2016) con respecto al periodo total de monitoreo (M2 a M12).



Donde: Achurado en columnas representan variaciones significativas estadísticamente considerando un valor de $p < 0,05$, correspondientes a: Lh-T18, Lh-T13, pu-T11, pu-T10, pu-T12.

Especies: bj: *Baccharis juncea*, nia: *Nitrophila atacamensis*, Lh: *Lycium humile*, pu: *Puccinellia frigida*.

Fuente: Elaboración propia.

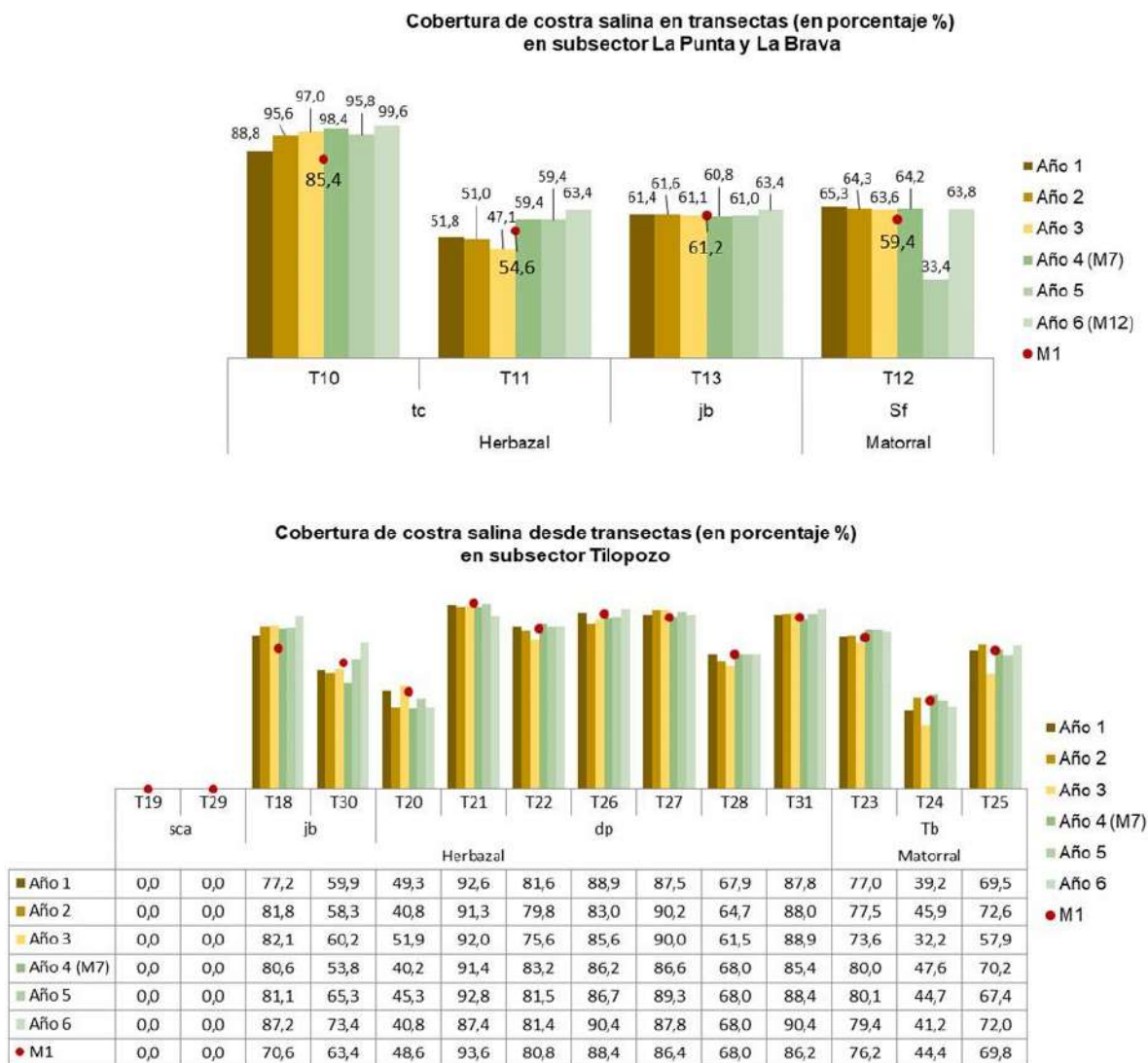
d. Variación del sustrato salino en transectas

La **Figura N°13-128** presenta la variación del promedio anual del porcentaje de las coberturas salinas registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a verano 2022 (M1 a M12), en las 18 transectas distribuidas en seis formaciones azonales de seguimiento del sector. En el caso del año 4 y año 6, solo se tiene el registro de monitoreo M7 y monitoreo M12, respectivamente, por lo tanto, no hay un promedio anual en ambos años. Adicionalmente, se incluye el valor de referencia del primer monitoreo (M1) para comparar con los valores promedio anuales en los 6 años de monitoreo.

En el subsector La Punta y La Brava la comparación entre los promedios anuales de la cobertura salina durante los 6 años de monitoreo en la mayor parte de las transectas, muestra variaciones leves entre 0,5% y 12,3% respecto al primer monitoreo M1. Particularmente, tres casos superan este rango de variaciones: *i)* la T10 correspondiente a herbazal de *T. concinna* presentó en el año 6 un ascenso de 16,6% en la cobertura salina, respecto al monitoreo inicial M1, siendo la mayor alza con respecto a los monitoreos anteriores y mostrando un aumento sostenido de la cobertura salina; *ii)* la T11 de herbazal de *T. concinna*, registra un ascenso de un 16,1% en el año 6 lo que significa casi un 50% sobre los años 4 y 5 y *iii)* la T12 de matorral *S. fruticosa*, presentó una baja de un 0,5% de la cobertura salina, respecto al monitoreo inicial M1 de 2016 (**Figura N°13-128**).

En el subsector Tilopozo, la mayor parte de las transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura salina durante el periodo de seguimiento, con una baja leve (inferior al -10%) del año 6 respecto al monitoreo inicial M1 (**Figura N°13-128**). Destacan las transectas T19 y T29 de herbazal de *S. californicus*, que registran 0% de cobertura salina. Por otro lado, la T18 de herbazal *D. spicata* registra un aumento del porcentaje de la cobertura salina el año 6 respecto al monitoreo inicial M1, del 23,5%, siendo el mayor aumento detectado en el sector; esta transecta había registrado un aumento de la cobertura salina de 14,9% respecto del monitoreo inicial con el año 5; sin embargo, ya que desde M2 a M12 la cobertura de afloramientos salinos es estable entre 80,6% y 87,2%, por lo que no estaría asociado a un cambio a nivel de sustrato o de la cobertura vegetal.

Figura N°13-128. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en los subsectores La Punta y La Brava (arriba) y Tilopozo (abajo).



Especies dominantes en formaciones monitoreadas: sca: *Schoenoplectus californicus*; dp: *Distichlis spicata*; jb: *Juncus balticus*; tc: *Triglochin concinna*; Tb: *Tessaria absinthioides*. Sf: *Sarcocornia fruticosa*.

Promedio anual de coberturas **Año 1:** M1 y M2; **Año 2:** M3 y M4; **Año 3:** M5 y M6; **Año 4:** M7 (M8 monitoreo verano 2020, no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); **Año 5:** M9 y M10; **Año 6:** M12 (M11 monitoreo invierno 2021, no realizado debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar por razones de seguridad).

Fuente: Elaboración propia.

13.8.1.2.2 Análisis de la Cobertura Activa

a. Comparación de la cobertura activa con línea de base

La condición de mantención del estado ecológico en la cobertura activa obtenida a partir del NDVI de imágenes de alta resolución 2017-2022, se realiza por sector en consideración a lo señalado en la Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo Biótico, referente a que “se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

Al respecto, en este acápite se evalúa por sector este punto en específico del PMB. Para esto, se compararon las superficies de 2017-2022 con las áreas máximas y mínimas propuestas para el seguimiento de polígonos de vegetación mediante imágenes de alta resolución según el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del Proyecto (**Tabla N° 13-54**).

La evaluación de cambios en el estado ecológico se realiza de acuerdo a lo señalado en el PMB, que señala “se entenderá como un cambio en tendencia según la evaluación realizada después de 3 años consecutivos (periodos), respecto su comportamiento previo de línea de base o registros históricos”. De acuerdo con esto, se compara la mantención de las coberturas anuales de monitoreo para el periodo posterior de operación del proyecto dentro del rango de superficies históricas por sector (**Tabla N° 13-54**).

Tabla N° 13-54. Registros históricos de superficies de vegetación activa obtenidos con el NDVI de imágenes de alta resolución.

VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN		
Sector / Objeto de seguimiento	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
Tilopozo - La Punta y La Brava/ Polígono de vegetación COT	113,6	343,3
Tilopozo - La Punta y La Brava/ Polígono Herbazal de <i>Schoenoplectus</i> [§]	26,0	59,2

[§]La formación Herbazal de *Schoenoplectus* se evalúa en unidades de Vega con dominancia de *Schoenoplectus californicus* según homologación de las formaciones en seguimiento con la COT presentada en la Tabla N°13-55. Polígono de vegetación COT = superficie total del sector con vegetación. Fuente: 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).

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución**, considerando la condición post-lluvias de los 6 años que se tienen de monitoreo (2017-2022), indican una mantención del estado ecológico, con valores de coberturas por sobre el mínimo histórico, tanto en general para el sector (LP-LB y

Tilopozo), como en particular, para la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N°13-129** y **Figura N°13-130**, respectivamente).

Durante los monitoreos anuales 2017-2022, es posible observar que en el sector prevalece la cobertura vegetal inactiva o bien, son bajas las coberturas vegetales, siendo imperceptibles para el sensor desde donde se obtienen los valores del NDVI. La superficie vegetal inactiva en el sector (2017 – 2022) registra valores entre 2.102,9 y 2.705,5 hectáreas, esto equivale entre un 77,7% a 78,6% de la superficie COT con vegetación del sector Tilopozo – La Punta y La Brava, respectivamente (**Figura N°13-129**). El sector tiene un rango de actividad que va desde 15,6 % al 22,5%, con un porcentaje máximo del 22,5% (613,2 hectáreas) en 2017. La diferencia de superficie reportada para verano 2022, se debe a un aumento de la superficie de vegetación observada, lo que significó un ajuste a la COT.

Figura N°13-129. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava en superficie con vegetación del sector.



Fuente: Superficies de vegetación activa (NDVI) en alta resolución en relación al mínimo histórico, Informe Anual N° 6. Monitoreo invierno 2021 – Verano 2022 Plan de Manejo Biótico.

Figura N°13-130. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava



Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2016 - 2022) y valores históricos de línea de base según 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).

b. Análisis de recurrencia de la cobertura activa

De forma complementaria a lo exigido en el PMB, con las coberturas de vegetación activa obtenidas con el índice **NDVI de imágenes de alta resolución durante el periodo 2017-2022**, se analiza el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los 6 años de monitoreo en el periodo marzo – abril⁷⁹.

Este análisis complementario se realiza con el fin de evaluar la variabilidad espacial de la cobertura activa mediante un análisis del **nivel de recurrencia**⁸⁰ entre los años 2017 a 2022, de la cobertura activa en las formaciones de seguimiento, donde las áreas de superposición resultantes representan el nivel variabilidad o estabilidad espacial en seguimientos sucesivos. El resultado determina el grado de estabilidad de la vegetación,

⁷⁹ Se refiere como comportamiento multitemporal a las variaciones espaciales y temporales entre los seis monitoreos, ya que para evaluar una tendencia estadística se requieren de mayor cantidad de datos. Por lo mismo, esto último se analiza posteriormente con los datos provenientes de imágenes Landsat para un periodo de 14 años, 2009-2022 (abril 2022).

⁸⁰ Nivel de recurrencia se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la cobertura vegetal activa obtenida desde el índice NDVI para los años de monitoreo 2017-2022.

que se encuentra sujeta a diversos procesos dinámicos, mapeando las etapas sucesionales y proporcionando información de la dinámica vegetal.

Las **áreas de evaluación de la recurrencia** corresponden a las formaciones de seguimiento por sector (azonales). Este análisis se realiza con el fin de poder relacionar los resultados de las coberturas vegetales medidas *in situ* (transectas), con la cobertura de vegetación activa registrada con el NDVI de imágenes de alta resolución y según unidades vegetales de la Carta de Ocupación de Tierras (COT). Para esto, previamente se realizó una selección y homologación de la denominación de las formaciones vegetales monitoreadas, según se presenta en la **Tabla N°13-55**.

Para la determinación de las áreas y sus niveles de recurrencia se consideraron aquellas superficies de vegetación activa que fueron el resultado de los cálculos obtenidos a partir del método COT- NDVI de imágenes satelitales⁸¹, que representan la cobertura vegetal de mayor grado de vigorosidad para el periodo de verano en los años 2017 a 2022 (**Figura N°13-132**). Las capas de entidades fueron interceptadas entre ellas en formato *shape* y luego con las unidades de formaciones de monitoreo, según los límites de la Carta de Ocupación de Tierras en su última actualización disponible (verano 2022).

Estas coberturas de vegetación activa superpuestas, fueron clasificadas según el porcentaje presencia entre los seguimientos 2017 a 2022, considerando **cinco estratos según el nivel recurrencia entre el año 1 y año 6 de monitoreo**:

- (1) no recurrente o presencia en uno de seis seguimientos (**1/6; 17%**),
- (2) recurrencia en dos de seis seguimientos (**2/6 – 3/6; 33% - 50%**),
- (3) recurrencia entre tres y cinco de seis seguimientos (**4/6 – 5/6; 67% a 83%**),
- (4) recurrencia en seis de seis seguimientos (**6/6; 100%**) y
- (5) inactividad o recurrencia nula (**0/6; 0%**).

El ajuste en la clasificación de los niveles de recurrencia responde a una calibración del modelo para seguimientos posteriores, en respuesta a la mejor estimación de la dinámica natural de las formaciones vegetales en seguimiento de cada y al robustecimiento del modelo.

El proceso de determinación de los niveles de recurrencia se describe en la **Figura N°13-131**. La reasignación de los porcentajes por estrato utilizada en el presente informe, y en comparación con lo utilizado el año anterior y que se describió en el Informe Anual N°5, **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema año N°5**, se debe a un ajuste de valores para la generación de un mapeo de percentiles, que pueda ser asociado a otras comparaciones estadísticas. Además, corresponde a un ajuste para la determinación de un porcentaje de variabilidad temporal, que evite la sobrestimación/subestimación de áreas de alta o baja variabilidad al proceder con la agregación de años posteriores, manteniendo un rango porcentual que explica la dinámica de ocupación de vegetación activa en las

⁸¹ Metodología desarrollada, en Informes Anuales del Plan de Manejo Biótico: Albemarle (2017 a 2022).

unidades de cada formación vegetal. Menor cantidad de rangos podría generalizar áreas y dificultar la comprensión de la dinámica vegetacional, o incorporar áreas con mayor variabilidad en zonas más estables generando alertas no consecuentes con el estado ecológico, sino de nivel metodológico. Estos rangos serán los usados de aquí en adelante en informes posteriores.

El análisis de recurrencia está determinado por el tamaño de la muestra; por lo que los resultados de las superficies de vegetación activa por percentiles, aumentará o disminuirá en la medida que se adicionen nuevos datos.

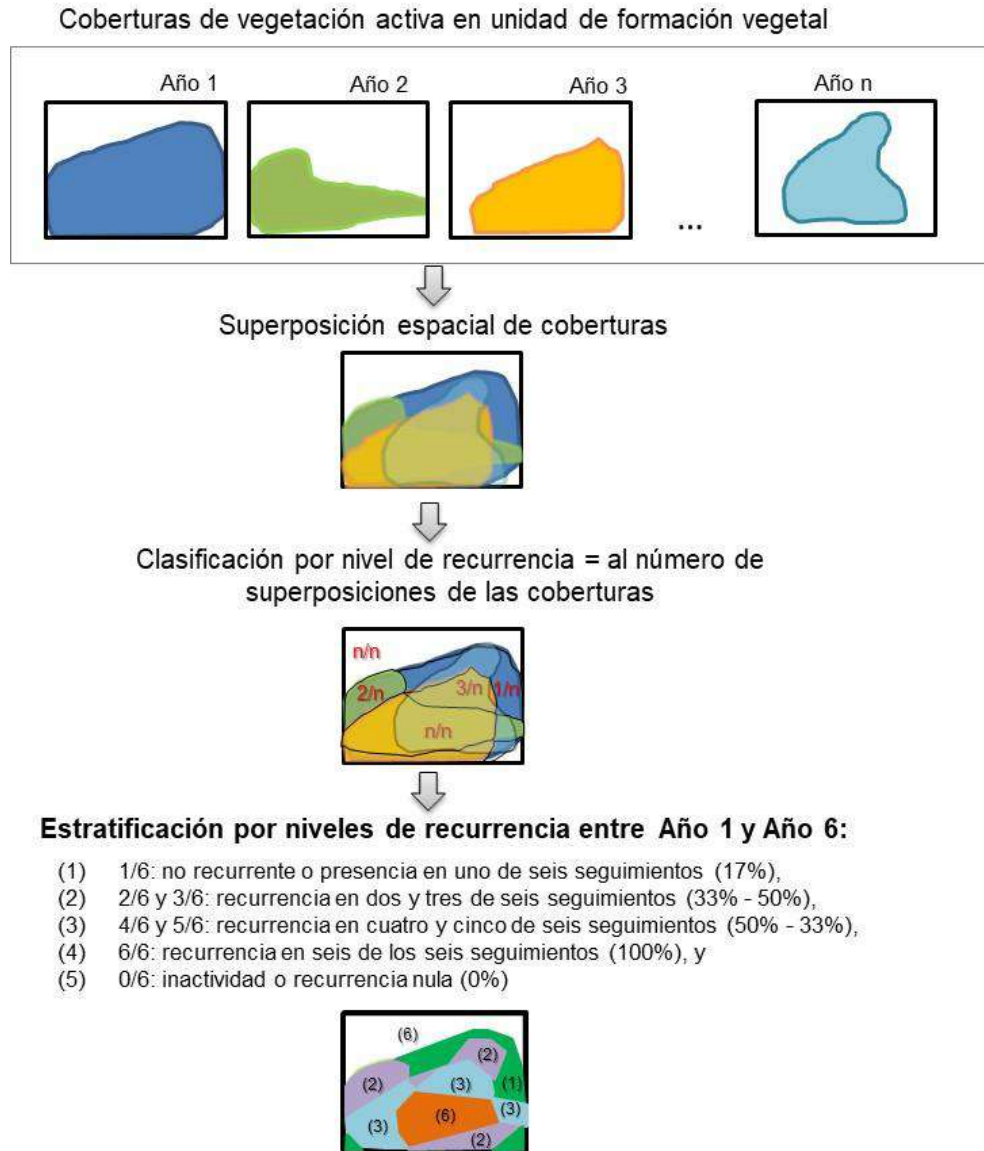
La evaluación del cambio en la condición de la cobertura de vegetación activa, se realiza según las superficies determinadas para cada uno de los niveles de recurrencia en las formaciones vegetales en seguimiento por sector. Según esto, mayores superficies con nivel de recurrencia de 0% a 17%, sugieren una alta variabilidad/inestabilidad en la cobertura vegetal activa de la(s) formación(es) de seguimiento. Lo contrario se refleja en superficies con recurrencia de 100%, mostrando mayor estabilidad de la cobertura activa (**Figura N°13-132 y Figura N° 13-133**).

Tabla N°13-55. Homologación de formaciones vegetales de seguimiento, según monitoreos de Transectas y COT- NDVI

Formaciones vegetales de seguimiento en Transectas		Denominación de formaciones vegetales seguimiento en la COT y Vegetación activa- NDVI			
Formaciones monitoreadas	Transecta(s)	Formación Vegetal	Dominancia COT		
Herbazales	<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	T08; T09; T20; T21; T26; T27; T28	Vega de dp	Vega con dominancia de dp	
		-	Vega de dp bj		
		-	Vega de dp jb		
		T22	Matorral hídrico - Vega de Lh dp		Matorral hídrico - Vega con dominancia de dp
		-	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca		
		-	Matorral hídrico - Vega de Lh dp bj		Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh
	<i>Herbazal de Juncus balticus</i>	T18; T31	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb	
		-	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp		
		T30	Matorral hídrico - Vega de Lh dp jb	Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh	
		T13	Matorral hídrico - Vega de Lh jb		
		-	Vega de jb	Vega con dominancia de jb	
		-	Vega de jb dp		
	<i>Herbazal de Schoenoplectus californicus</i>	T01; T02; T03	Vega de sca bj	Vega con dominancia de sca	
		-	Vega de sca		
		T04; T19; T29	Vega de sca bj dp		
		-	Vega de sca dp		
		-	Vega de bj dp sca		
		-	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp; Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca		Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh
<i>Herbazal de Triglochin concinna</i>	T11	Matorral hídrico - Vega de Sf tc	Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc		
	-	Vega de tc	Vega con dominancia de tc		
	-	Vega de nia dp	Vega con dominancia de nia		
	T10	Vega de nia tc			
Matorrales	<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa</i>	T15	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf	
		-	Matorral hídrico - Vega de Sf dp; Matorral hídrico - Vega de Sf tc dp		
		T12	Matorral hídrico - Vega de Sf pu		
		T16; T17	Matorral hídrico de Sf		Matorral hídrico con dominancia de Sf
	<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	T24; T25	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	
		-	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	
		T23	Matorral de Tb	Matorral con dominancia de Tb	
		-	Matorral de Tb Lh		
T06; T05; T07	Matorral de Tb Aa				
Otros recubrimientos	T14	-	-		

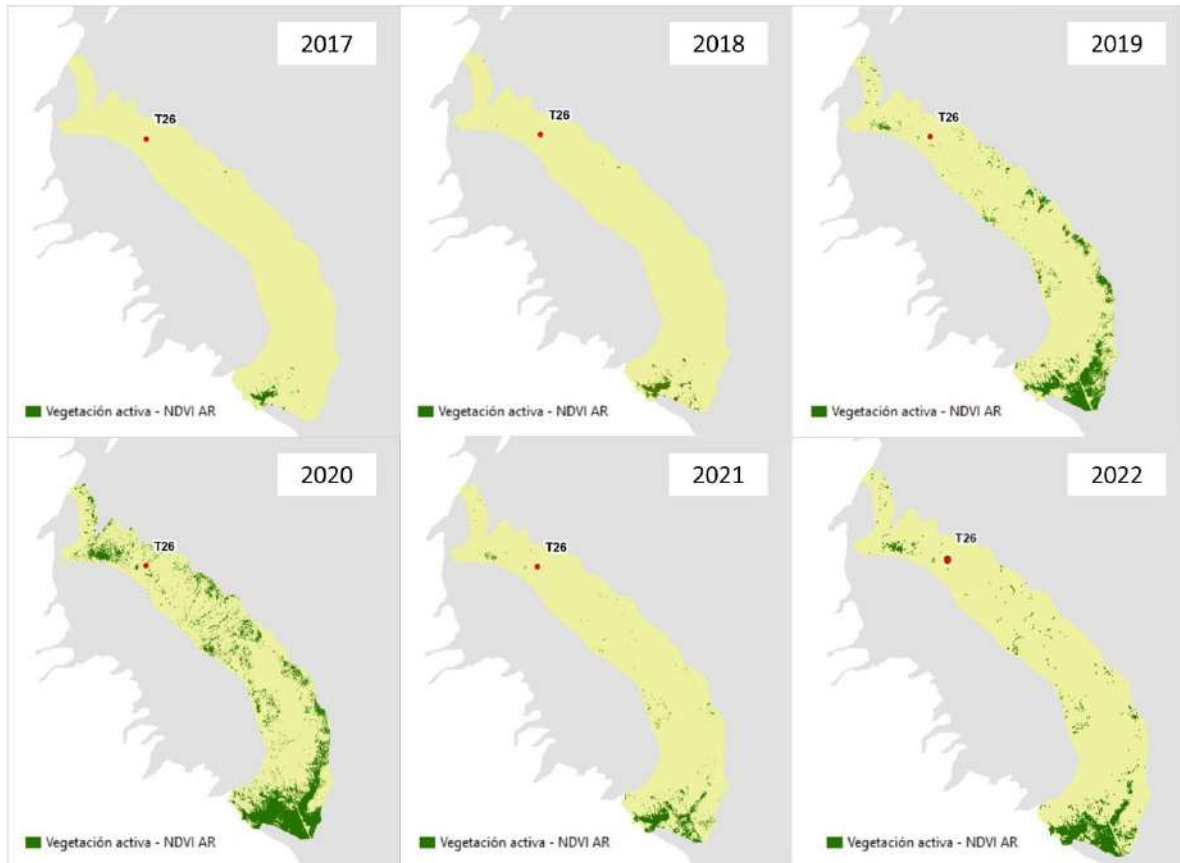
Códigos especies arbustivas: Aa: *Atriplex atacamensis*, Lh: *Lycium humile*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Tb: *Tessaria absinthioides*; Especies herbáceas: bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, jb: *Juncus balticus*, nia: *Nitrophila atacamensis*, sca: *Schoenoplectus californicus*, tc: *Triglochin concinna*. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°13-131. Proceso metodológico de determinación del nivel de recurrencia de la cobertura de vegetación activa obtenida con el NDVI de imágenes de alta resolución para el periodo de verano (post - lluvia) 2017-2022.



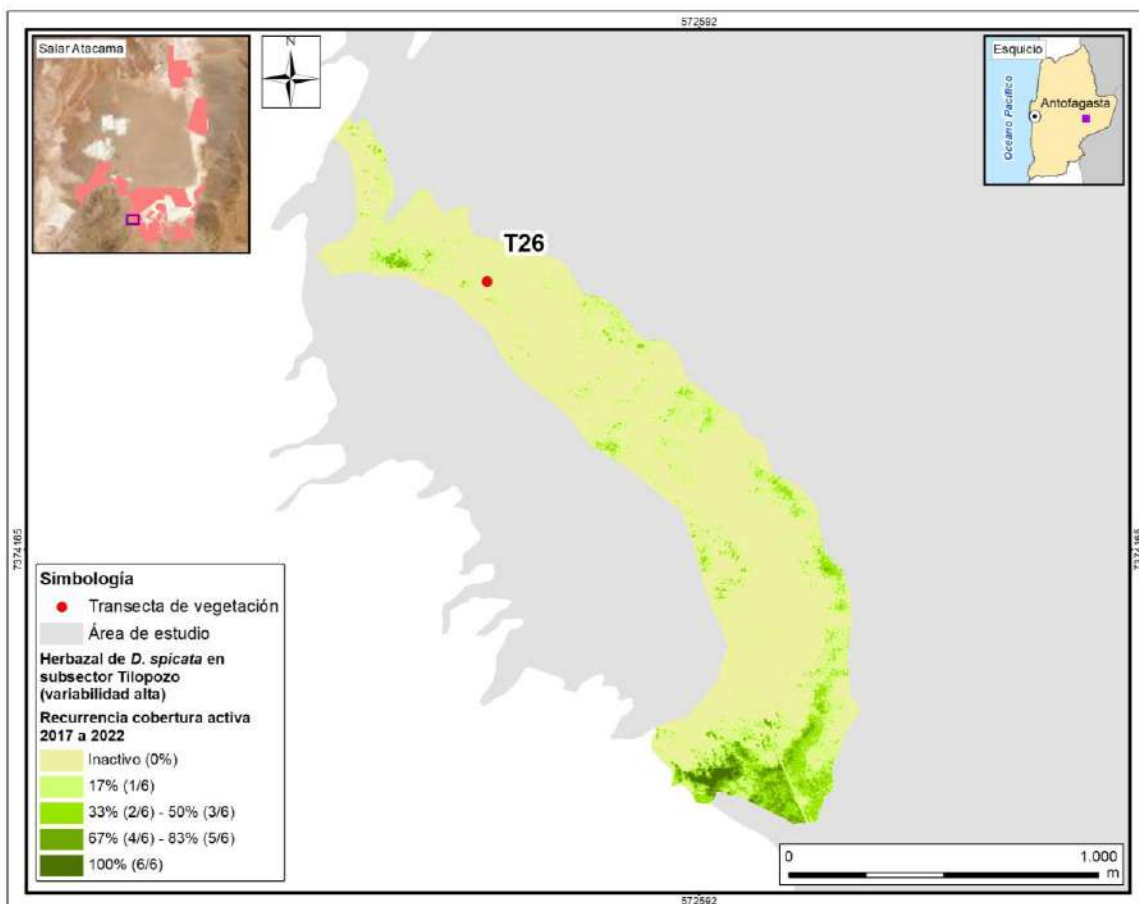
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°13-132. Variación anual en formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava, caso herbazal de *D. spicata* en subsector Tilopozo.



* Formación vegetal de seguimiento, imágenes desde izquierda – arriba, variación de vegetación activa en seguimientos 2017 a 2022, NDVI – alta resolución.
 Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-133. Nivel de recurrencia en formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava, caso herbazal de *D. spicata* en subsector Tilopozo.



Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla N° 13-56** y la **Figura N°13-134** presentan las superficies y los porcentajes de la cobertura vegetal activa según el nivel de recurrencia para los seis años de monitoreo anual (veranos post - lluvia, 2017-2022), el total por subsector y en las formaciones vegetales de estudio, respectivamente.

Para el sector Tilopozo – La Punta y la Brava, las formaciones en seguimiento (**Tabla N°13-55**) abarcan una superficie COT total de 2.122,1 hectáreas según monitoreos 2017-2022; de ésta 949,2 hectáreas, equivalente a un 44,7%, corresponden a lo que ha reflejado actividad según el NDVI en alguno de los monitoreos (actividad acumulada). En contraparte domina la baja actividad o menor cobertura de la vegetación según el porcentaje inactivo en el sector con un 55,3% del total (1.173,1 hectáreas; **Tabla N° 13-56**). Cabe destacar que con respecto a la superficie COT reportada en 2021, la actualización COT del seguimiento 2022, significó un aumento de superficie de 18,38 ha, producto de ampliación de límites y áreas de ocupación de las formaciones en seguimiento.

Dentro de la cobertura activa del sector (949,2 hectáreas), 130,4 hectáreas (6,1%) presentan mayor nivel de recurrencia en 6 de los 6 monitoreos realizados (recurrencia 100%), lo que equivale a las superficies más estables dentro del sector. En el otro sentido, una superficie de 309,7 hectáreas (14,6%), corresponde a la de menor nivel de recurrencia con una repetición en los seis monitoreos realizados.

Tabla N° 13-56. Superficies y porcentajes de cobertura de vegetación activa según nivel de recurrencia entre el Año 1 (2017) y Año 6 (2022) obtenidos con el NDVI de imágenes satelitales de alta resolución para monitoreos anuales de verano en las formaciones en seguimiento por subsector Tilopozo y La Punta-La Brava.

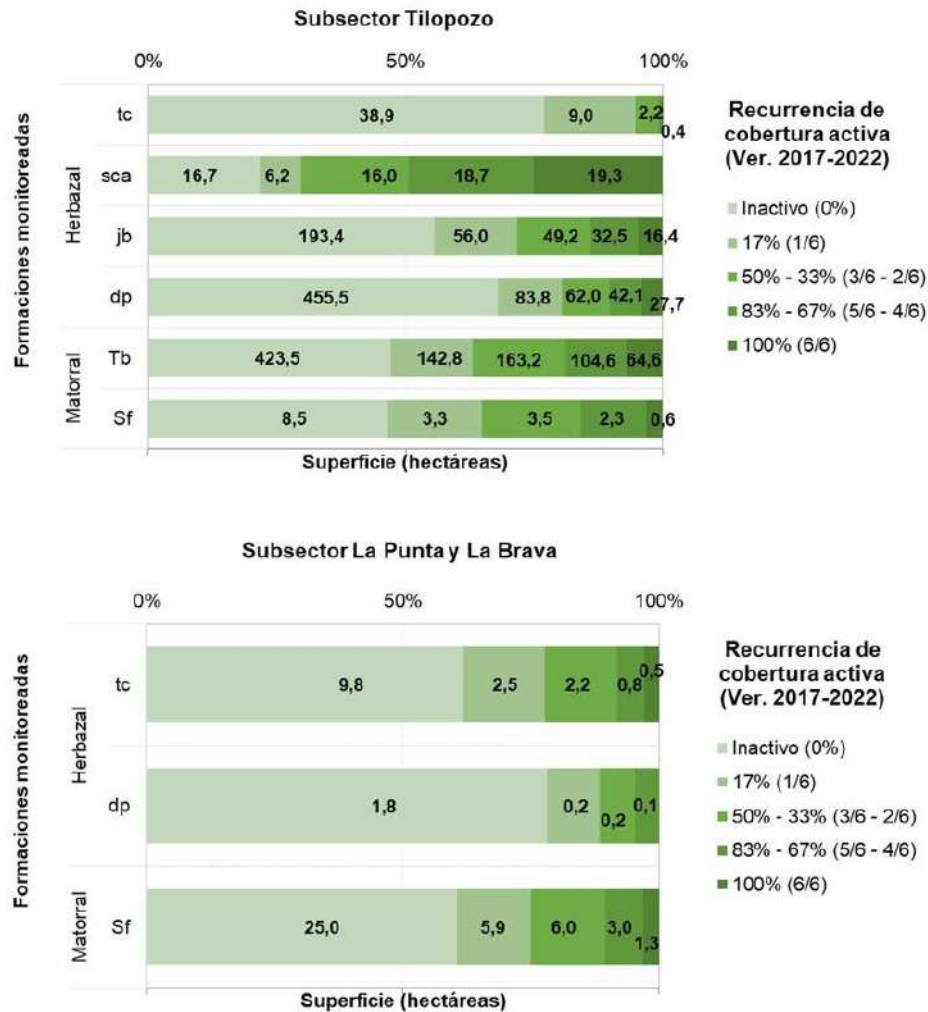
SUBSECTOR	Cobertura de vegetación activa por estrato según nivel de recurrencia Año 1 - Año 6										
	100% (6/6)		83% - 67% (5/6 - 4/6)		50% - 33% (3/6 - 2/6)		17% (1/6)		Inactivo (0%)		Total general**
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
Tilopozo	128,6	6,2	200,6	9,7	296,1	14,4	301,1	14,6	1.136,5	55,1	2.062,8
La Punta y La Brava	1,8	3,1	4,0	6,8	8,4	14,2	8,6	14,6	36,6	61,7	59,3
Total en formaciones de seguimiento*	130,4	6,1	204,6	9,6	304,5	14,3	309,7	14,6	1.173,1	55,3	2.122,1

* Formaciones vegetales de seguimiento según homologación entre la COT y monitoreos de transectas (detalle en Tabla N°2-2). ** Unión de unidades COT de 2017 a 2022, de las formaciones vegetales de seguimiento.

Fuente: Elaboración propia.

La Punta y La Brava registra una cobertura activa acumulada entre 2017 y 2022 de 22,9 hectáreas en las formaciones en seguimiento (38,6% del total de cobertura vegetal para el sector LPLB); no obstante, prevalece una baja actividad/cobertura de la vegetación, según el mayor porcentaje de superficie inactiva con 61,7% del total de la vegetación en seguimiento del sector LPLB (36,6 hectáreas; **Tabla N° 13-56**). Este subsector presenta tres formaciones monitoreadas, herbazal de *Triglochin concinna*, herbazal de *Distichlis spicata* y el matorral de *Sarcocornia fruticosa*. La formación con mayor proporción de actividad/vigor, corresponde a la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa* con 25,1% de superficie recurrente sobre el 33% (10,3 ha); mientras que la formación con menor actividad/vigor corresponde a la formación de herbazal de *Triglochin concinna* con 15,9% de superficie recurrente de 17% (2,5 ha) (**Figura N°13-134**).

Figura N°13-134. Evaluación de la recurrencia de la cobertura vegetal activa en las formaciones de monitoreo, obtenida con el NDVI de imágenes de alta resolución en monitoreos anuales de verano 2017-2022 en los subsectores de Tilopozo y La Punta-La Brava.



Donde Especies dominantes en formaciones monitoreadas: Tb: *Tessaria absinthioides*; Sf: *Sarcocornia fruticosa*; dp: *Distichlis spicata*; tc: *Triglochin concinna*; sca: *Schoenoplectus californicus*; jb: *Juncus balticus*.

Fuente: Elaboración propia.

El subsector **Tilopozo**, presenta 926,3 hectáreas de cobertura activa acumulada entre 2017 y 2022, aunque es superior la cobertura inactiva con 1.136,5 hectáreas (55,1% de la superficie de las formaciones vegetales en seguimiento del sector; **Tabla N° 13-56**).

Este subsector presenta seis formaciones monitoreadas (6), donde la formación con mayor proporción de actividad/vigor, corresponde a la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus* con 70,3% de superficie recurrente sobre el 33% (54,0 ha); mientras que la formación con menor actividad/vigor corresponde a la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa* con 18,3% de superficie recurrente de 17% (3,3 ha) (**Figura N°13-134**).

c. Comparación de la tendencia interanual del NDVI Landsat

De forma complementaria a lo exigido por el PMB y para poder evaluar estadísticamente cambios en la tendencia del NDVI, siendo éste el índice a partir del cual se determinan las coberturas de vegetación activa (como indicador de evaluación del estado ecológico), se analizó un periodo de estudio de 14 años (superior al de seguimiento del proyecto de seis años) y con frecuencia estacional; análisis dado por imágenes Landsat, aunque de menor resolución espacial (pixel de 30x30m), se encuentran disponibles con una alta frecuencia temporal (16 días) y para un amplio periodo histórico comparado con las imágenes de alta resolución.

Cabe mencionar que las áreas para las cuales se realiza el análisis del NDVI con imágenes Landsat son las mismas del análisis del NDVI de imágenes de alta resolución 2017-2022, correspondientes a las formaciones vegetales en seguimiento por sector (según homologación en la **Tabla N°13-55** con unidades vegetales de la Carta de Ocupación de Tierras, COT verano 2022).

A continuación, se describe la metodología empleada para el análisis de comparación de la tendencia con el NDVI de imágenes Landsat.

Para la obtención de los registros de NDVI, se descargaron y procesaron imágenes Landsat de resolución media, de tres tipos de sensores: 5 (TM), 7 (ETM+), y 8 (OLI), a modo de completar la serie temporal superior a 14 años de estudio (2009 – 2022 marzo) y considerando una imagen por estación (marzo-abril, agosto, octubre, diciembre). La **Tabla N°13-57** presenta el detalle de los sensores usados en el análisis del NDVI.

Tabla N°13-57. Características de los sensores utilizados en el análisis NDVI.

Sensor	Características	Detalle bandas utilizadas	Fechas de análisis
LANDSAT 5, TM (Thematic Mapper)	Bandas Sensor	3 rojo: 0.630–0.690 µm 4 NIR: 0.77–0.90 µm	2009 (abril, agosto, octubre, diciembre) 2010 (marzo, agosto, octubre, diciembre) 2011 (marzo, agosto)
	Resolución espacial	Multiespectral: 30 mts	
LANDSAT 7, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)	Bandas Sensor	3: Rojo: 0.630–0.692 µm 4: NIR: 0.772–0.898 µm	2011 (octubre, noviembre**) 2012 (abril, agosto, octubre, diciembre)
		8: Pancromática: 0.515–0.896 µm	
		Pancromática: 15mts	2013 (octubre)

Sensor	Características	Detalle bandas utilizadas	Fechas de análisis
	Resolución espacial	Multiespectral: 30 mts	
LANDSAT 8, OLI (Operational Land Imager)	Bandas Sensor	4: Rojo: 0.630–0.680 μm	2013 (abril, agosto, diciembre)
		5: NIR: 0.845–0.885 μm	2014 (marzo, agosto, octubre, diciembre)
		8: Pancromática: 0.500–0.680 μm	2015 (abril, agosto, octubre, diciembre)
		9: Cirrus: 1.360–1.390 μm	2016 (abril, agosto, octubre, diciembre)
	Resolución espacial	Pancromática: 15mts	2017 (marzo, agosto, octubre, diciembre)
Multiespectral: 30 mts		2018 (marzo, agosto, octubre, diciembre)	
		2019 (marzo, septiembre**, octubre, diciembre)	
		2020 (marzo, agosto, octubre, diciembre)	
		2021 (marzo, agosto, octubre, diciembre)	
		2022 (abril)	

**La utilización de imágenes fuera de rango, dentro de lo considerado por estacionalidad, se debe a la utilización de un producto cuyas características técnicas sean las óptimas para la obtención de datos, descartando productos con baja visibilidad (cobertura de nubes) o valores numéricos; en este caso se reemplaza con imagen siguiente en disposición. Fuente: Cedrem Consultores.

Las imágenes fueron adquiridas a través de la plataforma Earth Explorer del Servicio Geológico de Estados Unidos – United States Geological Survey USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Estas imágenes fueron obtenidas y procesadas considerando cuatro imágenes anuales correspondientes a una por estación, desde el año 2009 a 2022 (marzo- abril 2022). Este conjunto de datos espaciales fue georreferenciado en Sistema de Referencia WGS84 (World Geodetic System 1984) y proyección cartográfica UTM zona 19S.

En la etapa de pre procesamiento, para cada imagen Landsat (y para cada una de sus bandas espectrales), se 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 [$W / (m^2 *sr * \mu\text{m})$]; en este proceso los valores desde ND se transformaron a valores de reflectancia *Top-Atmospheric* (TOA).

El proceso de corrección radiométrica 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.

En el caso particular de las imágenes del sensor Landsat 7, además se corrigió el bandeo proveniente de un fallo en el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) del satélite. En cada imagen se usó una del mismo sensor y con posición del bandeo diferente (los archivos originales de la imagen traen la información que debe ser reconstituida). En total, se utilizaron siete imágenes de este sensor y fueron usadas a modo de lograr completar la serie de tiempo estacional y multianual superior a 14 años de análisis.

Para todas las imágenes Landsat, la automatización del proceso de correcciones radiométrica y atmosférica; así como el relleno del bandeo en el caso de imágenes del sensor Landsat 7, se realizó mediante la plataforma de análisis “R”, que se encuentra bajo la Licencia Pública General (GPL por sus siglas en inglés) del proyecto colaborativo de software libre GNU. La secuencia de operaciones se ejecutó en un *script*, basados en los paquetes *RStoolbox*, *Landsat*, *Landsat8*, *Rgdal* (*gdal_fillnodata*), *Rgeos*, y *Raster*; este *script* también consideró la obtención del índice espectral NDVI. El proceso de extracción de datos NDVI, tuvo en cuenta los estratos temáticos según su nivel de recurrencia y las superficies de las formaciones de seguimiento

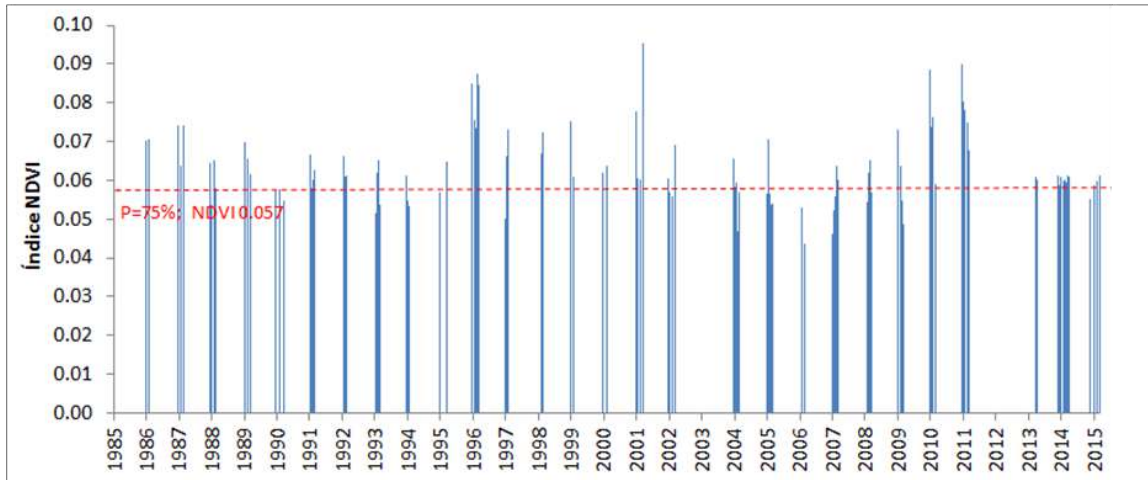
En el proceso de análisis de las imágenes Landsat se compararon los valores del NDVI de (**Figura N°13-135**) según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, éste corresponde al valor que es superado un 75% de las veces, como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico.

El proceso de extracción de datos NDVI en las imágenes Landsat, se realiza para las formaciones en seguimiento en el sector Tilopozo, en los meses de diciembre 2016, marzo 2017, diciembre 2017, marzo 2018, diciembre 2018, marzo 2019, diciembre 2019, marzo 2020, diciembre 2020, marzo 2021, diciembre 2021 y abril 2022, los cuales tienen correspondencia con el seguimiento de la cobertura de vegetación activa en el marco del PMB (se agrega al cálculo de vegetación activa post-lluvias de marzo – abril, la vegetación activa del periodo estival para su equivalencia a los cálculos de la serie histórica) . El resultado es un valor promedio por mes/año que representa el valor NDVI de la vegetación activa de todas las formaciones vegetales en esa fecha, teniendo así 12 valores representativos (uno para 2016 y 2022, y dos para 2017 a 2021). Finalmente, estos valores son comparados con percentil 75 del valor histórico de NDVI de las superficies con vegetación registradas en el sector (**Figura N°13-135**), y en particular con la formación de herbazal de *S. californicus*. (**Figura N°13-136**)

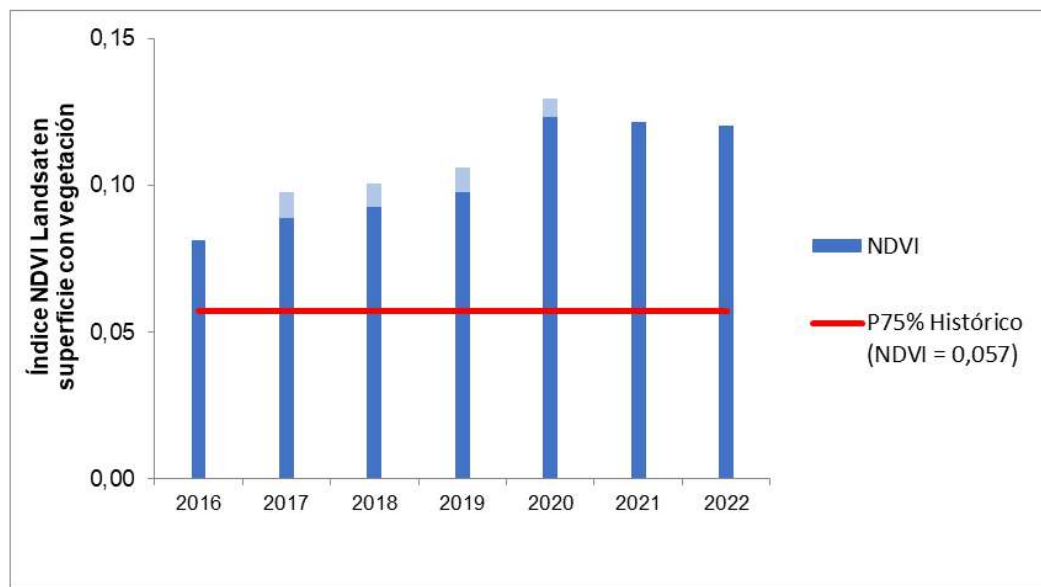
La comparación del NDVI Landsat, para el periodo operación y durante las temporadas 2016-2022, reflejan la mantención del estado ecológico, según el valor histórico de NDVI con P75% tanto en la superficie con vegetación como en la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N°13-135** y **Figura N°13-136**). Esta tendencia indica una mayor actividad vegetal en el sector para el periodo operacional.

Figura N°13-135. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – abril 2022) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo.

A) Serie histórica previo operación del proyecto*

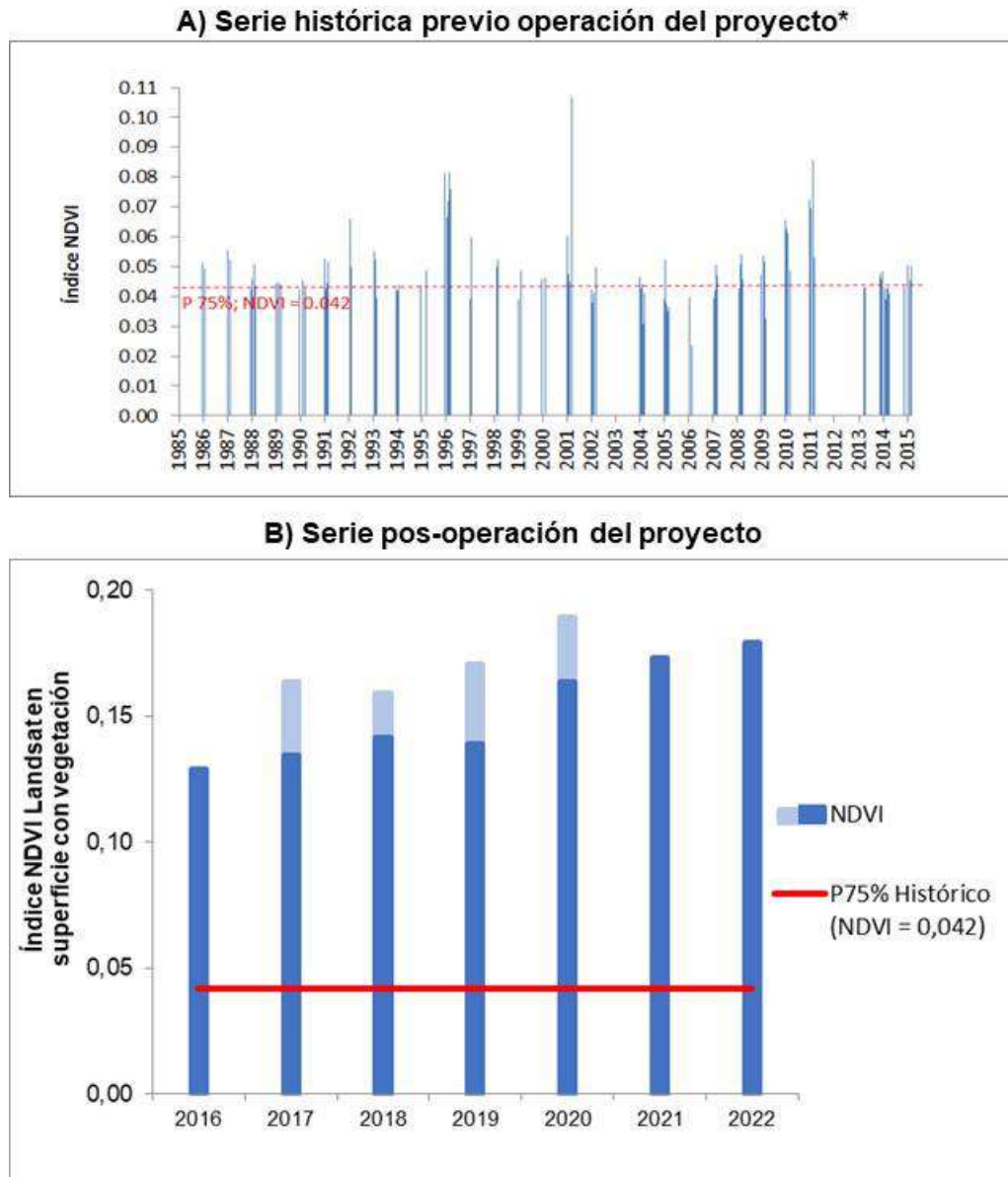


B) Serie pos-operación del proyecto



Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.1.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Tilopozo, estimado sobre el Polígono de vegetación Tilopozo (COT)...” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015)**. La doble coloración en la columna hace referencia a los dos meses analizados por año, siendo el resultado acumulativo.

Figura N°13-136. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post-lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2022) en el sector Tilopozo.



Nota: * Serie histórica: de **Figura 4.2. Apéndice B: Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de agua, Anexo 2, Adenda 5 “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Tilopozo, estimado sobre el Polígono Tilopozo Herbazal Muy Denso de *Schoenoplectus*”** y ** Valores de comparación histórica en **Tabla 5.1 “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).** La doble coloración en la columna hace referencia a los dos meses analizados por año, siendo el resultado acumulativo.

13.8.1.3 Superficie de Lagunas

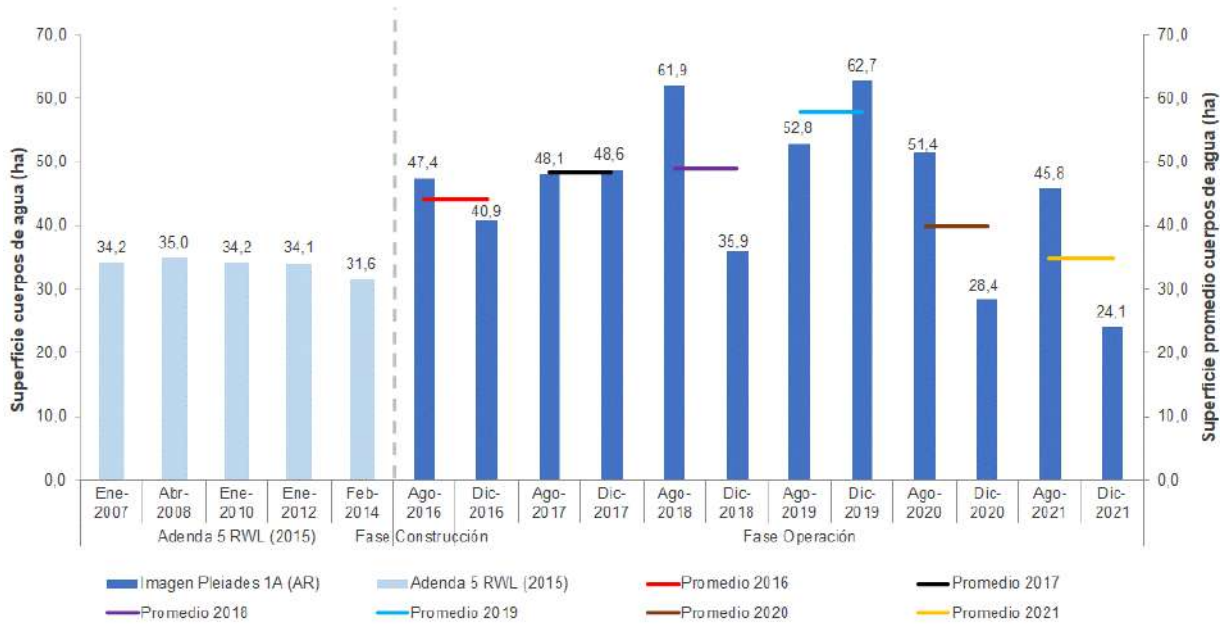
13.8.1.3.1 Análisis de la evolución de superficies lagunares con imágenes AR

Con el objetivo de analizar la evolución de las superficies lagunares de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, Anexo 2, para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que *“se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*⁸², es que la **Figura N° 13-137** muestra la variación intranual de las superficies lagunares de las imágenes AR entre agosto de 2016 a diciembre de 2021, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

La **Figura N° 13-137** muestra las superficies de los cuerpos de agua estimados a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en los seguimientos PMB de 2016 a 2021, donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2021 de 349.551 m² y en 2019 un promedio máximo de 577.841 m²; observándose un quiebre en el año 2019, producto de las alzas provocadas por las lluvias estivales. Además se observa que los datos de los 2 últimos veranos (diciembre) fuera de los valores registrados históricamente por sector, es decir, bajo las áreas obtenidas durante la línea base que fueron medidas en enero y febrero 2007 a 2014 principalmente. Considerando los valores medidos anualmente en promedio, éstos aún se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente (2007-2014), sin embargo, los registros de la condición de verano de diciembre 2020 y diciembre 2021 auspician una tendencia a la baja.

⁸² Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo biótico.

Figura N° 13-137. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



Dónde: **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

13.8.1.3.2 Análisis de tendencias con Landsat históricas

En la **Figura N° 13-139** se presenta la serie Landsat histórica período 1985-2021, estimada por IZUMI, 2021 para Informe⁸³ de Investigación N°1 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (agosto 2021), y actualizada para Informe de Investigación N°2 (julio 2022), con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo con mayor data. Los registros obtenidos fueron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

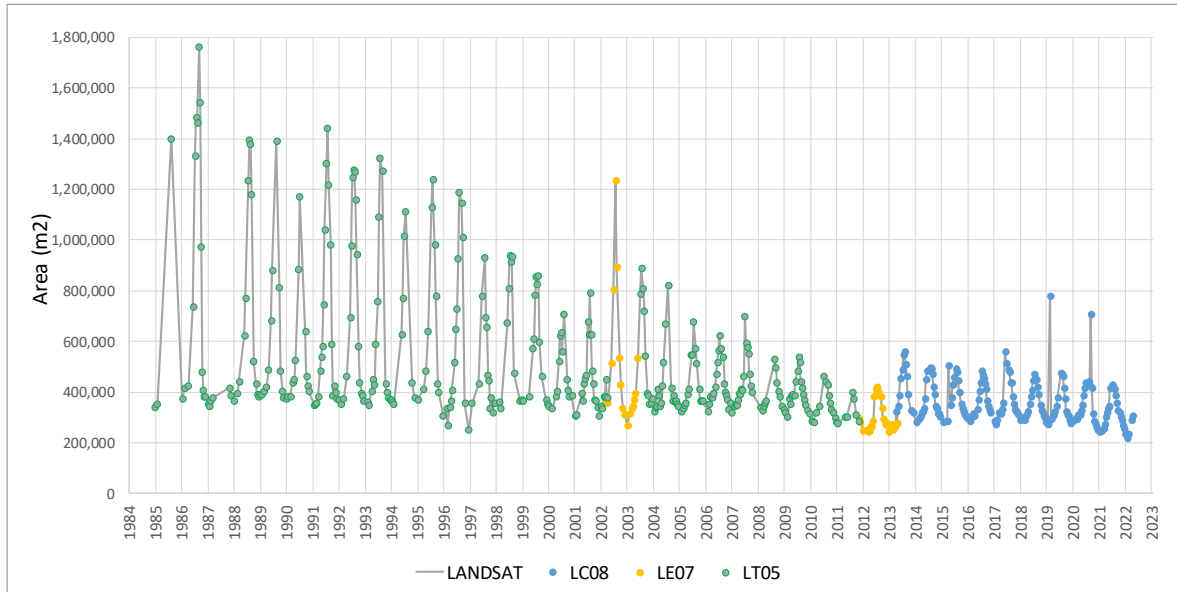
En la **Figura N° 13-139** se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce, generalmente, durante los meses de invierno y con los registros más bajos en los meses de verano. De los registros, se observan dos periodos de descenso en las áreas máximas anuales (áreas de invierno), previo al año 2012. El primer período desde el año 1994 a 2000 y el segundo período de 2005 a 2012. Los dos periodos se encuentran interrumpidos por 4 años (2001 al 2004) donde las lagunas presentan un aumento de su tamaño en relación al último tamaño del primer período de disminución de las lagunas (1994 a 2000) del año 2000.

Finalmente, en el periodo 2013 a abril 2022, considerando las variaciones previas del sistema lagunar La Punta - La Brava, se observa hasta el año 2020 una cierta estabilidad en el tamaño máximo y mínimo del área de las lagunas, que podría estar asociado al efecto amortiguador de los eventos de precipitaciones que ha ocurrido con una frecuencia de 2 años durante los meses de verano de 2013, 2015, 2017, 2019 e invierno 2020. Después de ello (año 2021), se observa una tendencia al descenso en las superficies mínimas y máxima.

En resumen, considerando el periodo de 1985 a diciembre 2021 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización, pero que mantiene en los últimos años una tasa de disminución aunque a menor velocidad.

⁸³ Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan 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. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del 09-08-2021, 2021 08 06 ALB-GMA-2021-SMA-046 Entrega Informe de Investigación.

Figura N° 13-139. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2022, Sector La Punta y la Brava.



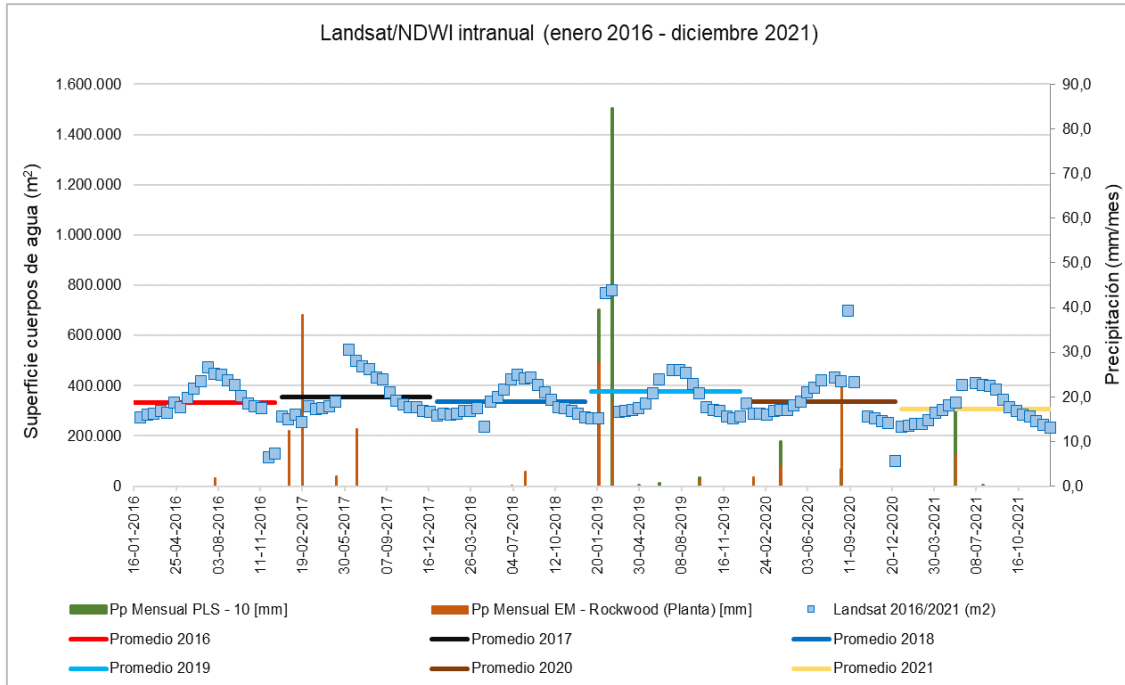
Fuente: IZUMI-Hidromas, 2022 para Albemarle.

Con el objetivo de analizar la tendencia de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, para la evaluación del estado ecológico, en donde se tiene que las variables de estado “se mantengan dentro del registro de línea base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”⁸⁴, es que la **Figura N° 13-140** muestra la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2021, que corresponde al período de seguimiento PMB, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

Los registros de las superficies Landsat indican que la amplitud de la variación es menor entre temporadas de invierno y verano; donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2021 de 306.450 m² y en 2019 un promedio máximo de 378.082 m². De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares, muestran una baja variabilidad, donde las variaciones entre promedios no sobrepasan el 18%.

⁸⁴ Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo biótico.

Figura N° 13-140. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2021, Sector La Punta y la Brava



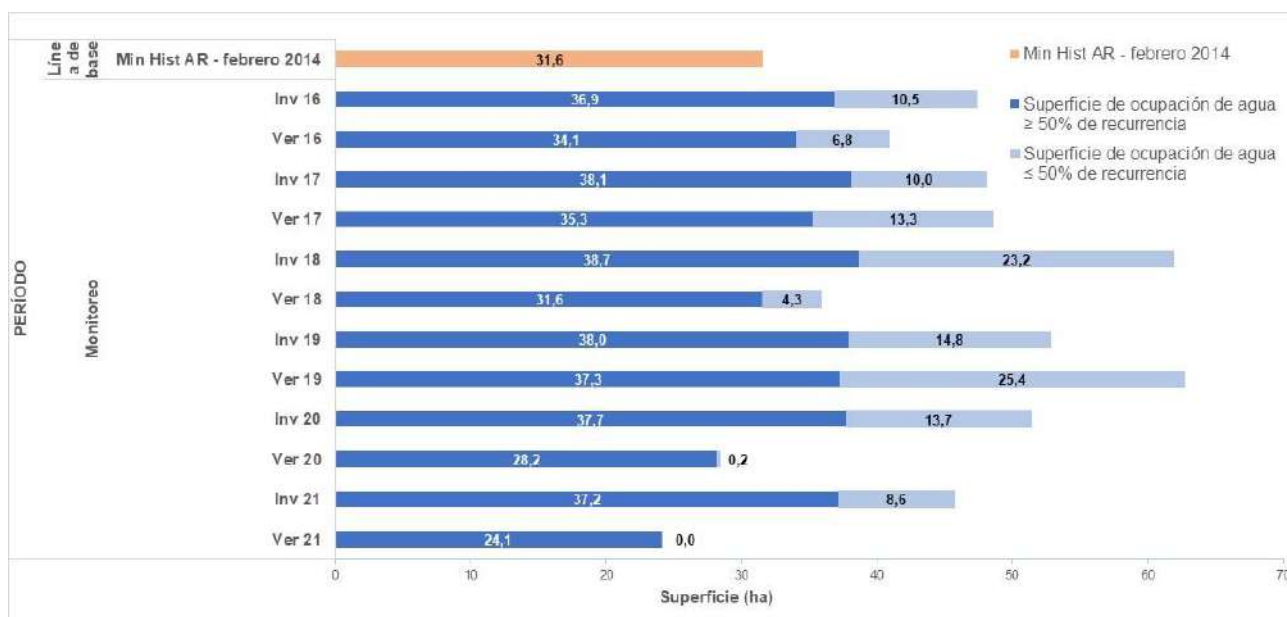
Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat serie 2016-2021

En la **Figura N° 13-140**, 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 ubicada en Planta Salar de Albemarle (EM – Rockwood) con las superficies observadas, sino más bien se da una respuesta puntual y de corto plazo, como se verifica en el aumento de la superficie producto de la precipitación caída en invierno en agosto 2020 (23,8 mm estación Planta Salar; 3,68 mm pluviómetro (PLS-10) (ubicado en la cercanía del sistema lagunar La Punta - La Brava) y en mayo de 2021 (7,1 mm estación Planta Salar; 17,4 mm pluviómetro (PLS-10). Posterior a ello, la superficie lagunar retoma la tendencia previa al evento de lluvia. Los datos resultantes del pluviómetro del sector muestran correspondencia en los eventos de precipitaciones de enero y febrero 2019 y agosto 2020 con las variaciones en las superficies lagunares, pero con la consiguiente baja, recuperando la dinámica previa.

13.8.1.3.3 Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016 – 2021 con imágenes AR

A partir del análisis de recurrencia, la **Figura N°13-141** muestra la relación entre las superficies reportadas producto del seguimiento semestral del PMB, y los estratos con ocupación de agua según su porcentaje de ocurrencia en el tiempo, considerando las 12 imágenes en AR disponibles a la fecha. Además, la **Figura N°13-141** muestra la relación de las superficies lagunares con respecto a la superficie mínima histórica determinada mediante imagen AR (Adenda 5 RWL, 2015), que corresponde a 31,6 ha y que ocurrió en febrero de 2014.

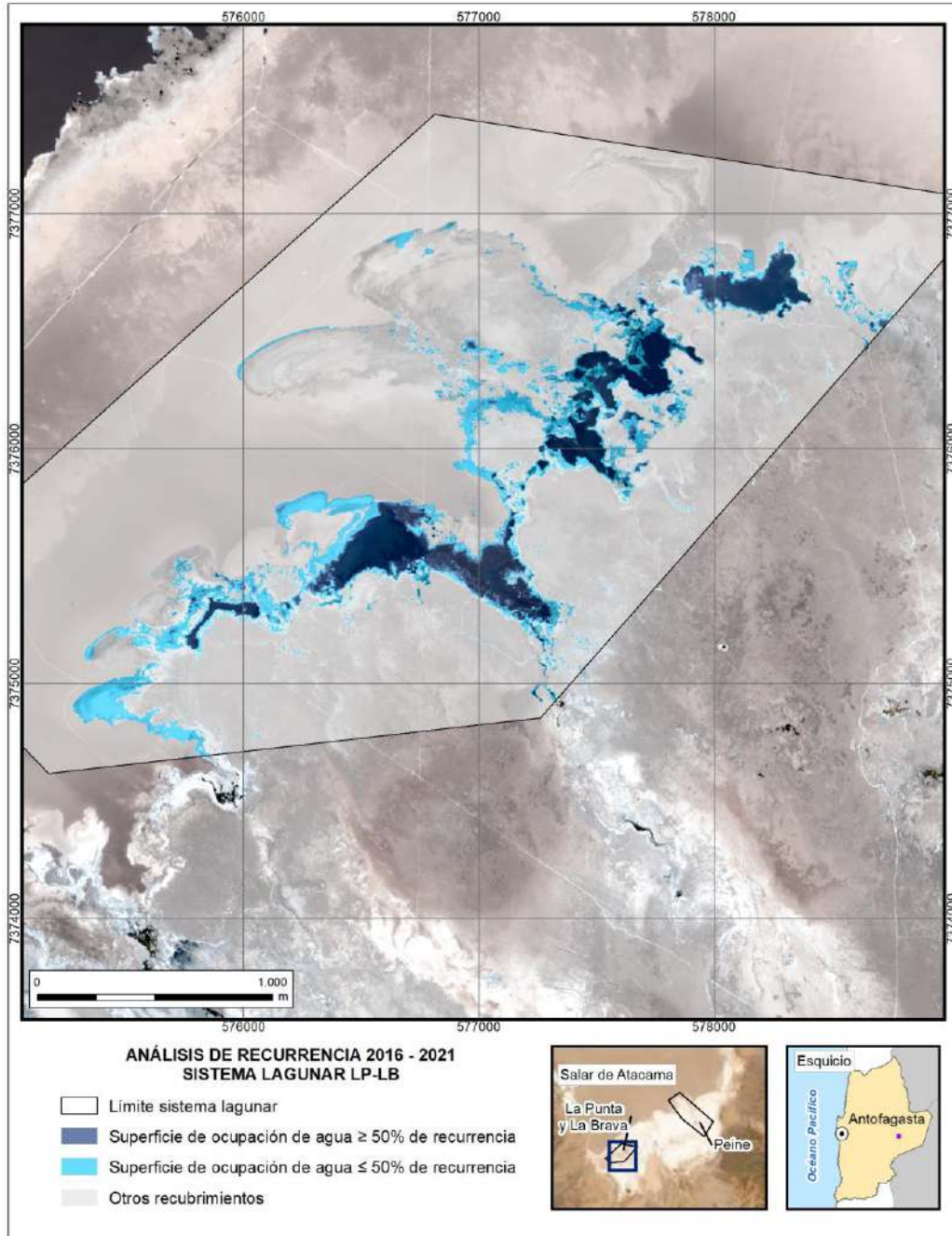
Figura N°13-141. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración Propia. Superficie histórica en AR (Adenda 5 RWL, 2015), de febrero de 2014.

Semestralmente, los valores reportados de las superficies lagunares corresponden a la suma de los estratos según su porcentaje de ocurrencia, de acuerdo al total de imágenes de AR disponibles a la fecha (12 imágenes Pleiades). Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a diciembre 2021, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de febrero de 2014 (31,6 ha); sin embargo, se reporta un descenso en la recurrencia de las superficies en relación al mínimo histórico en diciembre de 2020 (-3,4 ha) y diciembre de 2021 (-7,5 ha). El estrato con superficies recurrentes menor al 50% del tiempo, no muestra presencia en verano 2021 y baja presencia en verano 2020, siendo este el estrato con mayor variación (**Figura N°13-141**). La **Figura N°13-142** muestra los estratos clasificados en recurrencia para los sectores de La Punta y La Brava.

Figura N°13-142. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2021, Sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración propia

13.8.2 Sistema Peine

13.8.2.1 Niveles Freáticos

Para el Sector Peine, se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5, que corresponden a los pozos BA-21 y BA-22. Con los valores registrados y monitoreados en los 6 años que van de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las **variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente, en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.**”⁸⁵

Los valores de Línea Base para el Sector Peine corresponden a los registrados desde abril de 2013 hasta agosto del año 2015. Se incluye monitoreo desde agosto 2015 hasta marzo 2016, bajo la condición sin proyecto, de manera de darle continuidad al monitoreo. A este período más extenso se le ha denominado Período Histórico.

En la **Tabla N° 13-58**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 13-143** y **Figura N° 13-144**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

Tabla N° 13-58. Valores⁸⁶ Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine

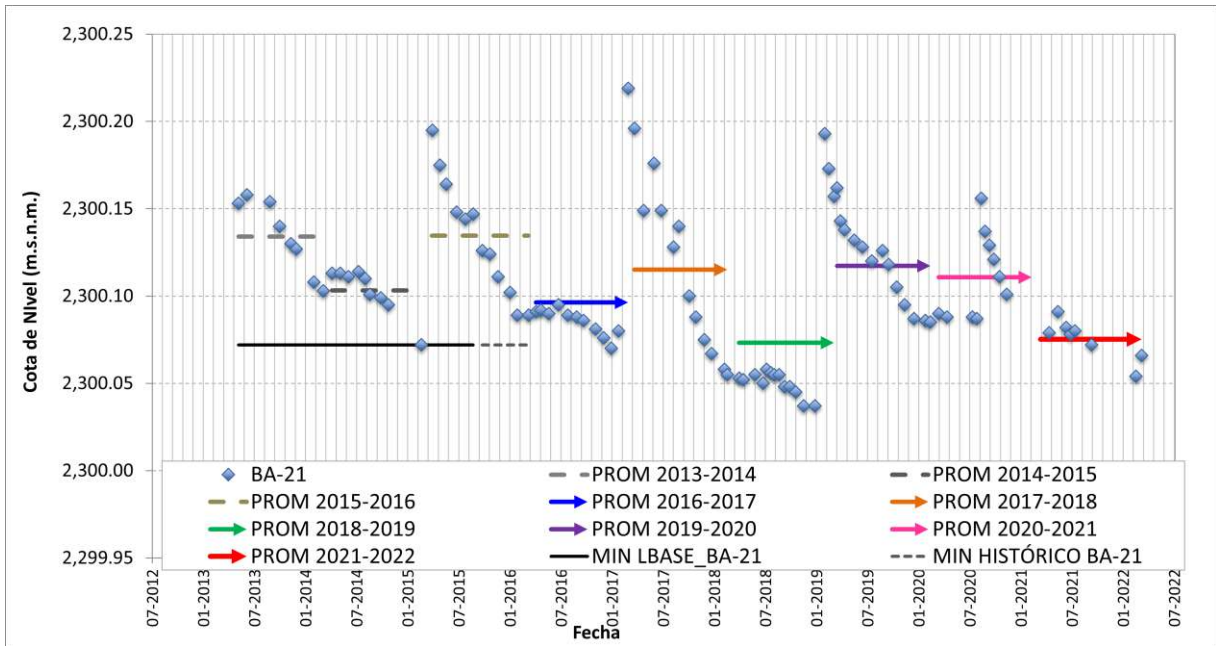
Punto	Período LB (m.s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Abril 2016- Mar 2017 (m.s.n.m)	Abril 2017- Mar 2018 (m.s.n.m)	Abril 2018- Mar 2019 (m.s.n.m)	Abril 2019- Mar 2020 (m.s.n.m)	Abril 2020- Mar 2021 (m.s.n.m)	Abril 2021- Mar 2022 (m.s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-21	2.300,072	2.300,072	2.300,096	2.300,115	2.300,073	2.300,117	2.300,111	2.300,075
BA-22	2.300,274	2.300,268	2.300,295	2.300,280	2.300,279	2.300,280	2.300,291	2.300,283

Fuente: Elaboración propia

⁸⁵ Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo biótico

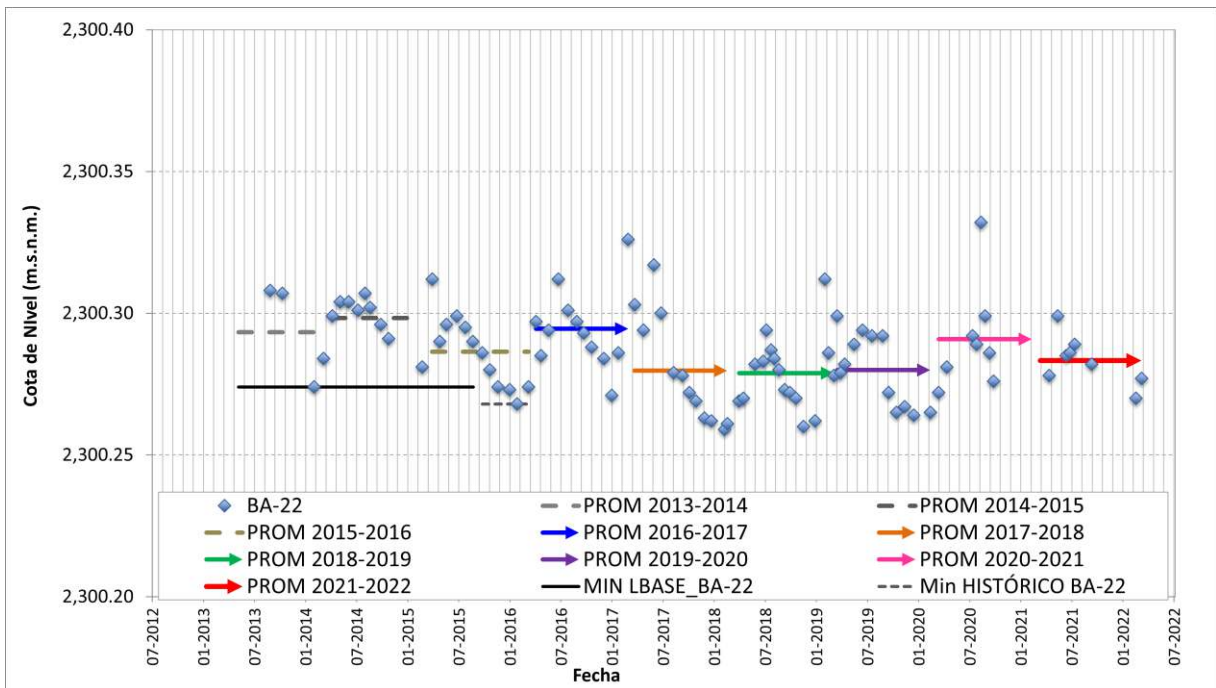
⁸⁶ Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°6 PMB.

Figura N° 13-143. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13-144. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Teniendo a la vista el criterio de análisis para el estado ecológico, los valores medidos anualmente en promedio indican las siguientes conclusiones:

Para el pozo BA-21 se presentan valores medidos anualmente en promedio variables. Si bien el promedio anual del último período disminuyó en relación a los anteriores (2019-2020 y 2020-2021) éste está por sobre el mínimo histórico (más somero) registrado en el período de línea base. En el último año (período abril 2021 – marzo 2022) los niveles se registraron en promedio a 2.300,075 m.s.n.m., por debajo (más profundo) del periodo anterior (2020-2021; promedio igual a 2.300,111 m.s.n.m). No obstante lo anterior, todos los valores anuales promedio se mantienen en el rango de los valores registrados y por encima del mínimo de Línea Base y del mínimo histórico.

El pozo BA-22 presenta un descenso sostenido en el período de línea de base y hasta el año 2018, para luego aumentar y/o mantenerse. Sin embargo, los promedios anuales son a lo largo del período observado. En este último período (abril 2021 – marzo 2022), los niveles se encontraron en promedio a 2.300,283 m.s.n.m. valor menor al del período anterior, pero cercano a los valores promedios mínimos del período de descenso sostenido (2013 a 2018). Todos los valores anuales en promedio se mantienen en el rango de los valores registrados previamente y por encima del mínimo de Línea Base y del mínimo histórico.

Considerando todas las mediciones a la fecha y del análisis de tendencia de los niveles promedio se observa:

- 1) Un descenso sostenido de los niveles en el período previo a la operación del proyecto de Albemarle, que se extiende hasta el año 2018.
- 2) Una tendencia al alza hasta el penúltimo año
- 3) Un descenso durante el último año, pero con niveles promedio superiores a los registrados entre 2016 y 2019.

13.8.2.2 Vegetación azonal

13.8.2.2.1 Vegetación y Flora (Transectas)

A continuación, se presenta la evaluación de la condición del estado ecológico del componente de vegetación y flora, de acuerdo al seguimiento de transectas de vegetación en relación a las variaciones en su cobertura, en la estructura comunitaria o composición y del sustrato salino, en conjunto con los análisis de salinidad del componente suelo en los sectores de estudio, y el análisis sobre de la distribución y cobertura de la vegetación mediante el *proxy* NDVI.

a. Variación de la cobertura vegetal en sector y transectas

En la **Figura N°13-145**, se puede observar la cobertura promedio⁸⁷ de la vegetación en el sector de Peine, junto a la evolución de las coberturas de rastrojos, la cobertura de otros recubrimientos y la riqueza en los monitoreos M1 a M12, en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**.

En términos generales, el sector Peine presenta mayor cobertura vegetal promedio que el sector Tilopozo – La Punta y La Brava (**Figura N°13-145**); con una vegetación base en MB0 de 91,8%, presenta coberturas que van desde 77,9% en M2 hasta 62,5% en M1 y M4, menores a la cobertura absoluta base y variaciones con una diferencia máxima de 15%. En M6 se registra un aumento de la cobertura (72,5%) y que se ha mantenido más constante hasta M12 (70,1%), con variaciones menores al 5%. No obstante, es importante recordar que los valores absolutos de cobertura entre transectas son heterogéneos entre sí, desde valores cercanos al 10% (en un matorral de *T. absinthioides*) hasta más del 100% en los herbazales de *S. californicus*, aunque generalmente con coberturas mayores que los otros sectores para todas las formaciones.

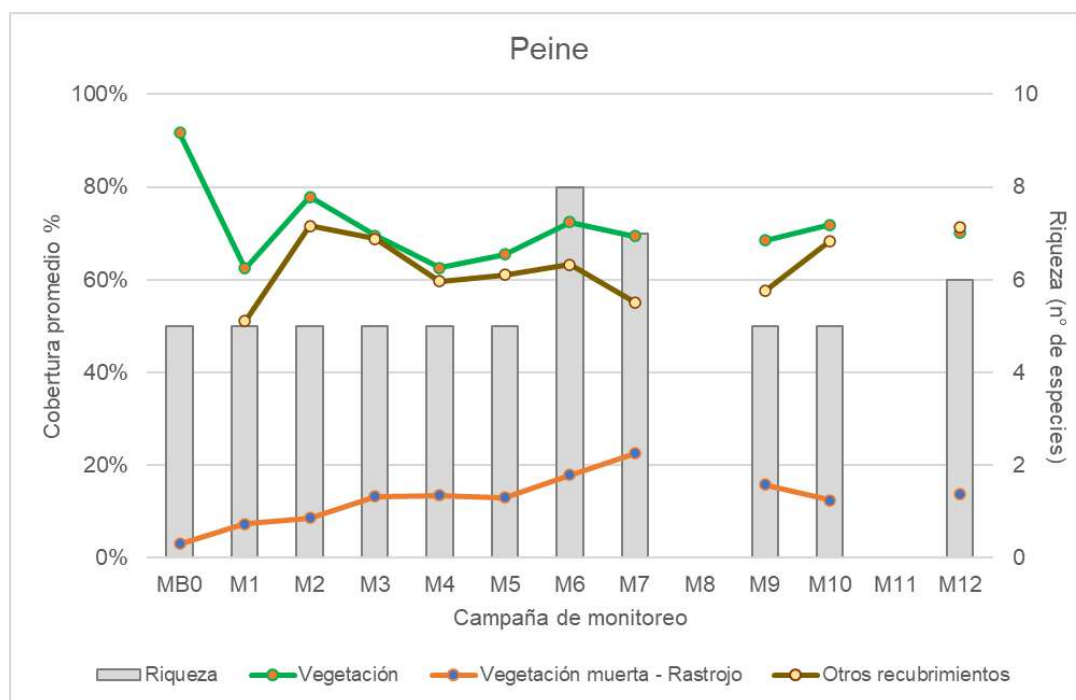
En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, este sector presenta variaciones moderadas, con un aumento inicial hasta M2 con 71,6% y luego una leve baja hasta M4 con 59,6%, desde donde se observa un aumento hasta llegar a 63,2% en M6, con una baja posterior en M7 con 55,2% y luego un aumento de 68,4% (M10) y 71,4% (M12). Presenta heterogeneidad de tipos de recubrimientos, destacando la superficie terrosa en matorrales de *T. absinthioides*, y la ausencia de costra salina en la transecta T07.

Con respecto a la riqueza, se observa un número similar de especies identificadas para el sector, desde la condición base en MB0 hasta M5, asimismo en M9 y M10 se reportan cinco especies, es en M6 y M7 donde se reporta un mayor aumento de la riqueza con 8 y 7 especies respectivamente, las cuales no habían sido registradas en los monitoreos anteriores y en M12 se registran seis especies.

⁸⁷ Cobertura promedio calculada a partir de las coberturas absolutas por transecta de cada monitoreo, donde se promedia por las 9 transectas en el sector.

Este aumento de riqueza ocurrido en verano 2019 (M6) se trata de un registro puntual en una transecta de matorral de *T. absinthioides* en T07. 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. 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. Estas especies no son observadas en el monitoreo de invierno 2019 (M7) y posteriores hasta 2022 (M12). La especie adicional en M12 corresponde a una especie de vega, asociada a ambientes más salinos, registrada en el herbazal de *S. californicus* y que también había sido registrada en M7.

Figura N°13-145. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N°13-146** se aprecian las coberturas absolutas de las transectas en el sector Peine, ordenadas por formación vegetal. Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas, se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M12.

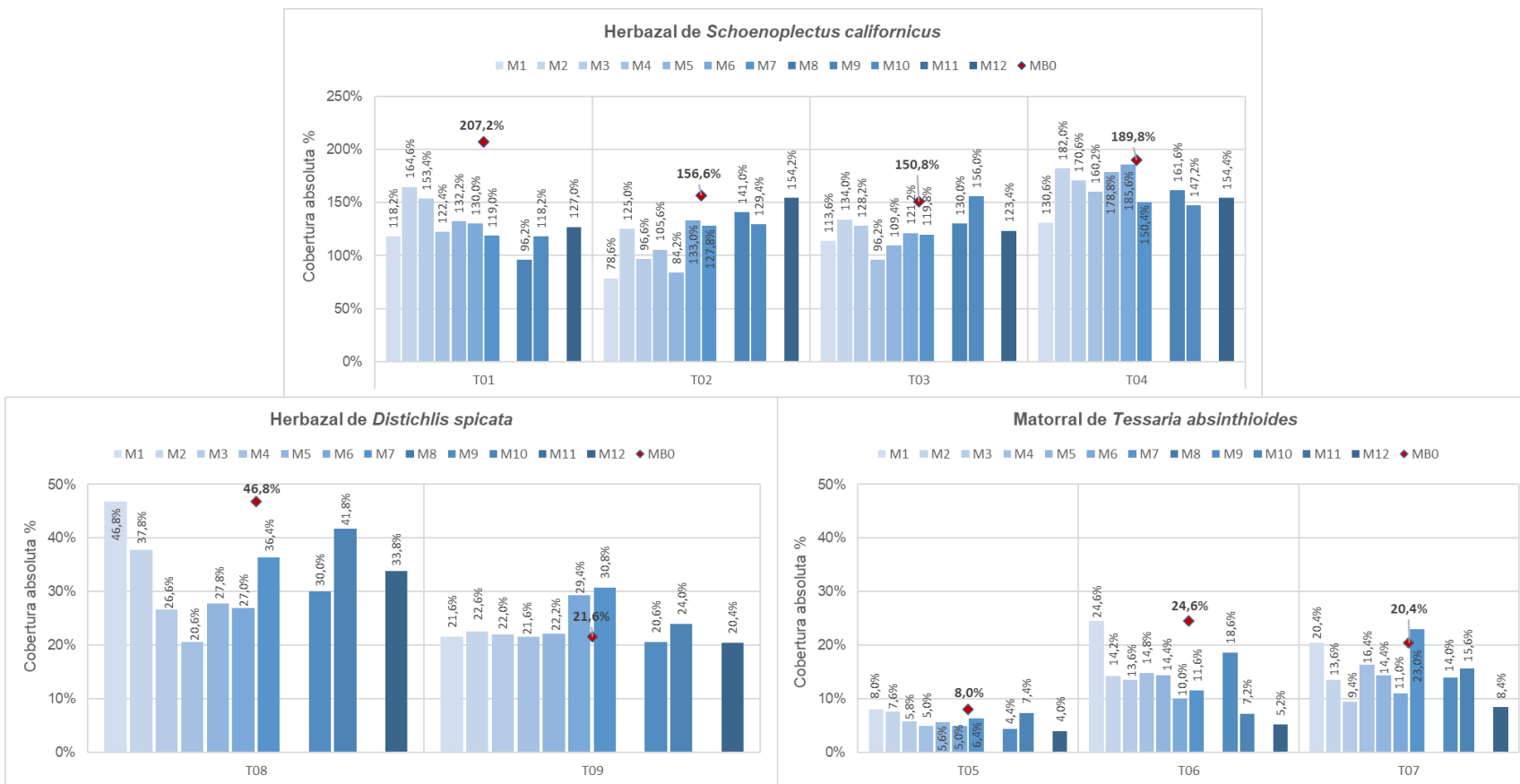
El herbazal de *S. californicus*, presenta la mayor cobertura vegetal del sector (**Figura N°13-146**). Si bien registra variaciones entre monitoreos, en general registran una cobertura absoluta cercana o sobre el 100%, aunque en la transecta T02 se observan disminuciones en los monitoreos M1 y M5 menores al 85%. En la transecta T01, se observa el valor más bajo de 96,2% en M9, con un aumento en M10 y M12 (118,2% y 127,0%, respectivamente); asimismo, se observa que para M1, la cobertura es muy inferior a la registrada en MB0 (207,2%), a pesar de que corresponden ambas fechas a invierno del mismo año (2016), esto puede deberse a la latencia de las especies que pudieran haber afectado el valor de cobertura vegetal en esta formación, sin embargo, en monitoreo siguiente (M2; verano post - lluvia 2017) se observa el ascenso pronunciado de la cobertura. En general, desde M1 a M12 se observan pocas coberturas similar o superior a la de MB0 en los monitoreos, destacando T02 el último monitoreo (M12; 154,2%) donde se registra un ascenso de la cobertura muy similar al de MB0 (156,6%), y en T03 se registra en M10 (156,0%) una cobertura mayor a la de MB0 (150,8%). Para T04 se observa una cobertura más estable entre M2 y M12, con un leve descenso en M10 que no alcanza los niveles reportados en M1.

El herbazal de *D. spicata*, presenta dos situaciones (**Figura N°13-146**). La transecta T08 muestra una menor cobertura desde M2 a M6 con respecto a MB0, mostrando un aumento desde los seguimientos M7 y M12, aunque con algunas variaciones, estando M10 con un ascenso similar al registro de MB0 y M1. La transecta T09, muestra mayor estabilidad, con coberturas similares entre MB0 y M5, y presentando un aumento en M6 y M7, superior a lo registrado en MB0, siendo M7 el aumento más significativo del total de monitoreos (30,8%).

En el matorral de *T. absinthioides*, también se observa una variación dinámica de la cobertura vegetal entre monitoreos, con T06 leve tendencia al descenso respecto a la condición base MB0 (24,6%), exceptuando M9 con un ascenso importante (18,6%), aunque en M10 y M12 el seguimiento presenta las coberturas más bajas con respecto a sus antecesores (7,2% y 5,2%, respectivamente). Para la transecta T05 se observa variaciones mínimas entre seguimientos, con una baja leve en M9 (4,4%) y en M12 (4,0%). Finalmente, en la transecta T07 se observa un alza significativa de la cobertura absoluta registrada en M7 (23,0%) con respecto a sus antecesores y sucesores, estando por sobre el MB0 base (20,4%), por otra parte, en M12 se registra la menor cobertura del seguimiento (8,4%), **Figura N°13-146**.

En resumen, en las coberturas absolutas de las transectas en el sector Peine, se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M12 (2016-2022), que no se traducen en una tendencia marcada al descenso o alza de tales coberturas; donde se destacan las formaciones de herbazal de *S. californicus*, que registra una cobertura absoluta cercana o sobre el 100%, que en general no ha registrado variaciones significativas (a pesar del descenso de la transecta T01 en M1, en comparación a su condición base, porque se ha mantenido estable en el rango de los valores entre monitoreos). En general, el resto de las formaciones presentan valores dentro del rango de variación en comparación a MB0, si bien el matorral de *T. absinthioides* presenta una mayor disminución al año 6 (M12) respecto MB0, ésta no se puede traducir en una tendencia debido a la dinámica de variaciones que presenta estacionalmente.

Figura N°13-146. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M12 en el sector Peine.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022.

Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1-6, **Anexo I Vegetación y Flora.**

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

Para evaluar un cambio en el estado ecológico, se consideró lo indicado por el PMB establecido según Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, respecto a evaluar entre otros parámetros en la vegetación: *una disminución sostenida de la cobertura de especies o cambios en la estructura comunitaria.*

El análisis de estos parámetros se realiza a partir de la **variación de la cobertura vegetal de las especies y la variación en la composición de las especies** en referencia al número de intercepciones en la transecta (frecuencia), para determinar cambios en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

Respecto a la **variación de la cobertura vegetal de las especies**, se realiza considerando la evolución de estas coberturas en dos escalas de análisis:

- El promedio anual de las coberturas de las especies por formación vegetal y se relaciona con el promedio de las coberturas del periodo inicial asociado a la condición basal del proyecto, correspondiente a MB0. Esta relación, nos permite observar si las variaciones en el tiempo son sostenidas a través de los seis años de seguimiento o bien se enmarcan en una variabilidad interanual.
- La variación de la cobertura de las especies por transecta, determinada por la diferencia porcentual de las coberturas absolutas por transecta entre el promedio del primer semestre de monitoreo, dado que ambos muestreos presentaban un mes de diferencia (julio y agosto 2016, MB0/M1), con respecto al promedio de los monitoreos del período total de seguimiento (M2 a M12; 2017-2022), además de analizar su importancia estadística con un nivel de significancia del 0,05.

De manera adicional y complementaria, y para determinar estadísticamente si las variaciones de cobertura por transectas son significativas, es decir, si la variación de las coberturas presentaría una validez estadística al relacionar las variaciones de las coberturas durante el periodo de seguimiento, se utilizaron los valores promedio anuales para cada especie (M1-M2/M3-M4/M5-M6/M7⁸⁸/M9-M10/M12⁸⁹) y se compararon con MB0 y M1. Para esto se realizó la prueba estadística Kruskal-Wallis donde el valor del parámetro F de esta prueba, se acompaña del valor p para cuantificar estadísticamente la importancia de la variación. 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.

⁸⁸ No se incluye Monitoreo 8 de verano 2020, debido a que no fue posible realizar la campaña dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Sin embargo, se logró ejecutar el monitoreo de NDVI.

⁸⁹ No se incluye Monitoreo 11 de invierno 2021, debido a que no fue posible realizar la campaña dadas las restricciones de acceso al área de estudio, a causa de movilizaciones sociales en la zona.

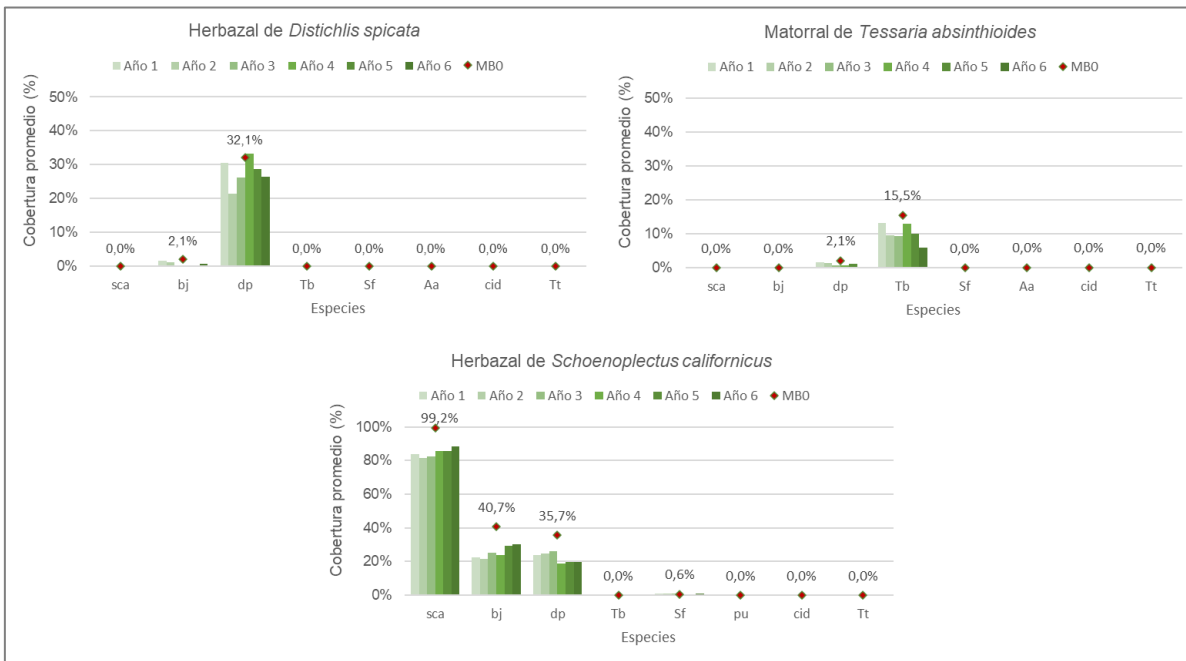
En relación a **la variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte se analiza la cobertura promedio anual de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N° 13-147**, y seguidamente, se analiza la variación de estas coberturas entre periodos, MB0-Año 1, Año 1-Año 2, Año 2-Año 3, Año 3-Año 4, Año 4-Año 5 y entre Año 5-Año 6⁹⁰, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

En el sector Peine, se registran nueve especies entre las formaciones vegetales en seguimiento, de las cuales tres especies son dominantes en cada una de las formaciones, las herbáceas *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata*, y el arbusto *Tessaria absinthioides*. En la **Figura N° 13-147** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas nueve especies en las tres formaciones, observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los seis años, con una disminución de la cobertura promedio anual el primer año respecto a MB0, aunque se mantiene en una alta cobertura sobre un 80% y mostrando una ligera tendencia al alza desde el tercer año y, sobre todo, del cuarto al sexto año (de -17,5% entre MB0-año 2, -13,4% entre MB0-año 4, -13,6 entre MB0-año 5 y -10,7 entre MB0-año 6). Asimismo, destaca en esta formación el aumento de la especie *Baccharis juncea*, no alcanzando los registros de MB0, que habían reflejado una variación cercana al 20% al año 1, pero con una leve tendencia al ascenso desde el año 1 al año 6.

Para las otras formaciones, en general se observa una variación de las coberturas de las otras especies entre los años de monitoreo (**Figura N° 13-147**), observando que *D. spicata* presenta el mayor descenso en el año 2, representado por una variación de -9,1% desde el año 1, y disminuyendo un total de -10,6% respecto al valor inicial de MB0 en la formación donde domina; aunque, sin embargo, la especie muestra una tendencia de recuperación en el año 3 y en el año 4, llegando a estabilizarse y superar levemente en este último año el promedio inicial de MB0 (+1,1%). El comportamiento es variable en el resto de las especies, con descensos y recuperaciones parciales, en el matorral de *T. absinthioides* se observa un descenso mayor al año 6 para esta especie, pero es importante tener presente que no representa el promedio anual al tener solo la cobertura de verano, que estacionalmente es la que refleja menor actividad biológica en este tipo de formaciones. Para el resto de las especies acompañantes no se observan variaciones importantes, representadas generalmente por bajas coberturas.

⁹⁰ Esta comparación se realiza con la cobertura promedio entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7; Año 5: M9 – M10; Año 6: M12 y MB0: condición basal, invierno 2016. Para el Año 4 sólo se pudo realizar un monitoreo semestral, el de invierno 2019 (M7), por los que los valores para ese año corresponden a dicha estación y en el Año 6, solo se realiza el monitoreo de verano 2022 (M12).

Figura N° 13-147. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Aa: *Atriplex atacamensis*, cid: *Cistanthe densiflora*, Tt: *Tiquilia atacamensis*. Promedio anual de coberturas: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7 (M8 monitoreo verano 2020, no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); Año 5: M9 y M10; Año 6: M12 (M11 monitoreo invierno 2021, no fue realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y MBO: condición basal, invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a **la variación en la composición de las especies**, se determina la variación de la composición de especies a través de su frecuencia, a partir de los registros de especies en las transectas evaluando su posición, es decir el N° de intercepciones de cada especie en la transecta. La transecta que es de 50 metros lineales, lo que consiste en 500 intercepciones posibles, se divide en tres tramos: los extremos con menor cantidad de intercepciones (Tramo 1 y 3) y el centro de la transecta que representa la mayor cantidad de intercepciones (Tramo 2).

- Tramo 1: 0-10 m, que representa 100 intercepciones posibles
- Tramo 2: 10,1 – 40 m. que representa 300 intercepciones posibles, y
- Tramo 3: 40,1 – 50 m, que representa 100 intercepciones posibles.

En esta división por tramos, se suman los registros (frecuencia) de cada especie por tramo y de todas las transectas asociadas a una formación vegetal en un sector determinado, y en cada monitoreo. A partir de estos datos, se obtiene el promedio del N° de intercepciones de cada especie en los monitoreos, pudiendo comparar la evolución de estos registros con el registro inicial de MBO (monitoreo basal en invierno 2016).

Adicionalmente, para determinar si las variaciones de cobertura de las especies son significativas, es decir, si la variación de las coberturas presentaría una validez estadística al relacionar ambos periodos, se realizó la prueba estadística Kruskal-Wallis donde el valor del parámetro F de esta prueba, se acompaña del valor p para cuantificar estadísticamente la importancia de la variación. 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.

La evaluación de cambios en el estado ecológico se realiza de acuerdo a lo señalado en la Adenda 5, Anexo 2, que señala “se entenderá como un cambio en tendencia según la evaluación realizada después de 3 años consecutivos (periodos), respecto su comportamiento previo de línea de base o registros históricos”. De acuerdo a esto, se analiza la variación de la composición de las especies a través de su posición, medida a través del número de intercepciones de cada especie en las transectas. Esta variación se realiza a través del promedio de intercepciones por especie y por tramo, comparando los valores promedio de cada monitoreo con los registros de MB0. Además, adicionalmente, para determinar aquellos cambios con variaciones significativas estadísticamente, considerando un **α menor o igual a 0,05, se determinaron las variaciones de cada especie por transecta.**

Con respecto a **la variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los seis años de seguimiento M1 a M10 en relación al registro inicial en MB0, se observa una estabilidad en la composición de especies en las formaciones vegetales, manteniendo una similar riqueza florística entre monitoreos, donde las variaciones se observan en el número de registros (frecuencia a través del N° de intercepciones en las transectas⁹¹), denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos.

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, si bien se registran valores menores en los monitoreos con respecto a MB0 para la especie dominante (*S. californicus*), se observa una estabilidad entre monitoreos con una baja variabilidad principalmente en el tramo 2 y 3, pero dentro de un rango similar de registros por tramo que se mantiene hasta M12 (**Figura N° 13-148**). Para las especies acompañantes se observa que el tramo 1 es el más estable y el que está dentro del rango histórico de MB0 incluso se supera en algunos registros; para T2 se observan valores bajo el histórico con descenso de *D. spicata* en M10 y M12, y con *B. juncea* más estable entre monitoreos, con un leve ascenso en T1 y T2 desde M9 a M12.

En el herbazal de *Distichlis spicata*, la especie dominante (*D. spicata*) presentaba disminución de sus registros entre M3 y M4, observados en los tramos 2 y 3 principalmente, en relación a MB0 y M1, registrando posteriormente una mayor presencia de la especie en M5, M6 y M7, superando al valor histórico de MB0 en M7 en todos los tramos y manteniéndose similar en M12 (**Figura N° 13-149**). En el caso de la acompañante *B. juncea* se observa una disminución, principalmente en el tramo 2, donde se había registrado en M1 y M3 y no vuelve a registrarse,

⁹¹ Esta frecuencia en la transecta se realiza a través del número de intercepciones en cada una, entendiendo que una transecta de 50 metros tiene 500 intercepciones posibles, en las cuales puede haber más de una especie en cada intercepto. A su vez, la transecta se dividió en tres tramos: Tramo 1= 0-10 m (100 intercepciones posibles); Tramo 2= 10,1 – 40 m (300 intercepciones posibles); Tramo 3= 40,1 – 50 m (100 intercepciones posibles).

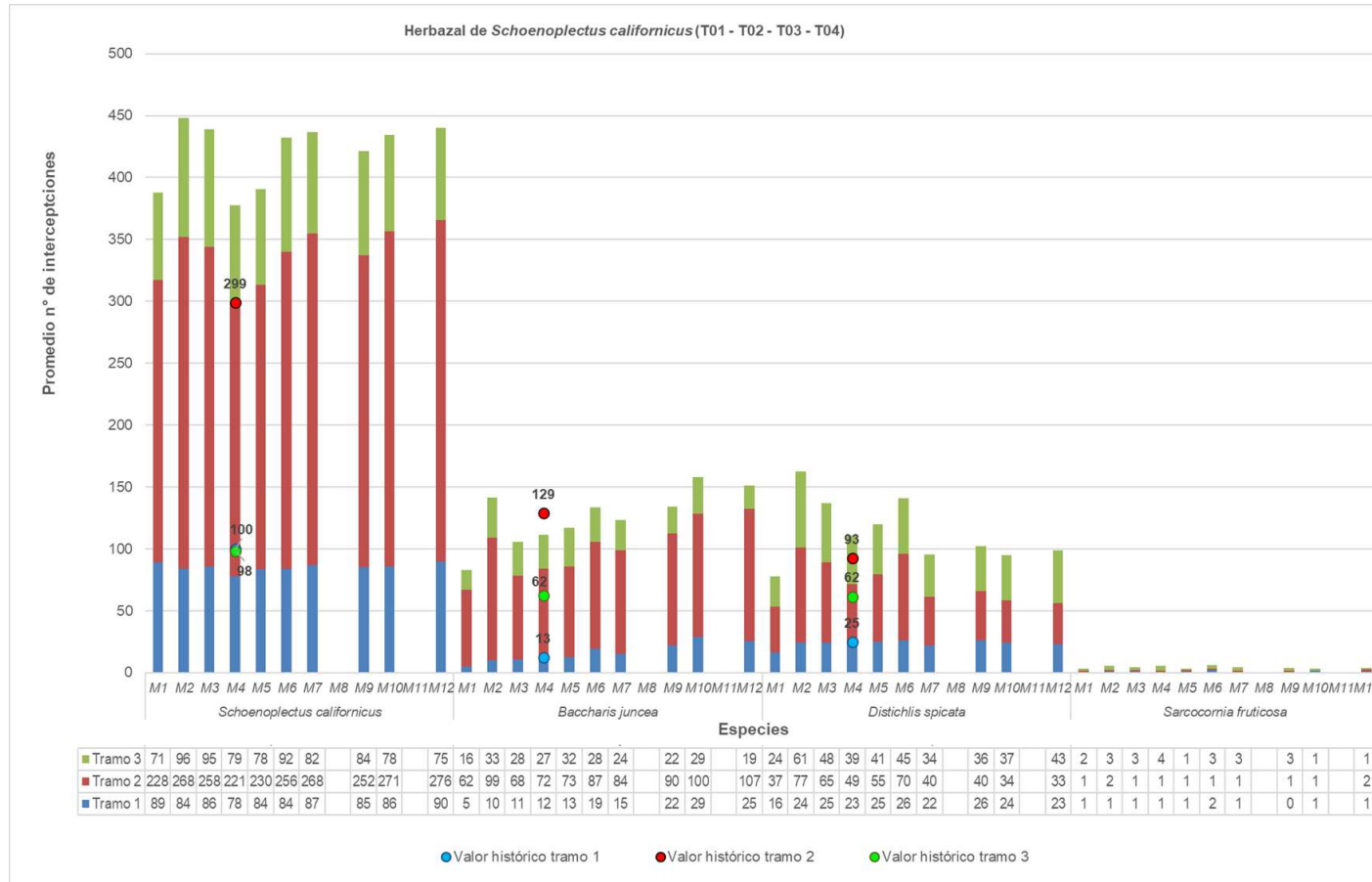
aunque históricamente presentó bajos registros y éstos se han mantenido constantes desde M4 a M12.

En el matorral de *Tessaria absinthioides*, se observa una baja de los registros para la especie dominante en M3, M6 y M12, y con alzas en M7, superando el valor histórico en el tramo 2 (**Figura N° 13-150**). La especie acompañante *D. spicata* presenta variaciones entre monitoreos, observando en general un descenso desde M1, y donde M12 presenta uno de los registros más bajos. Las especies *Atriplex atacamensis*, *Cistanthe densiflora* y *Tiquilia atacamensis* corresponden a registros erráticos durante el seguimiento, registradas en una interceptación (tramo 3) en M6 y solo permaneciendo hasta M7 el individuo interceptado de *A. atacamensis*.

En consideración a las alzas específicas de cobertura vegetal en M7, mencionadas anteriormente en herbazales de *D. spicata* y matorrales de *T. absinthioides* (y también observada en herbazales de *J. balticus* de Tilopozo), se sugiere correlacionar a futuro con estudios de niveles freáticos y estudio de raíces, además de la correlación con las precipitaciones, para estudiar la distinta respuesta que tienen las especies sobre las distintas precipitaciones, ya que puede existir para estas especies una respuesta más tardía a las lluvias al no necesitar aguas tan someras y asimismo una respuesta de adaptabilidad a ciclos de mayor periodo.

En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos, aunque algunas variaciones en el matorral de *T. absinthioides* presentan mayor tendencia al descenso, y en este sentido los cambios en la cobertura de los matorrales podrían corresponder a otros factores como la escasez de precipitaciones, mientras que las variaciones estimadas en las otras formaciones se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar. Esto último se deduce del análisis complementario que se realizó con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2022, y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas estadísticamente obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis en este informe en la **sección 13.8.1.2.2** y las correlaciones en **sección 13.8.3**).

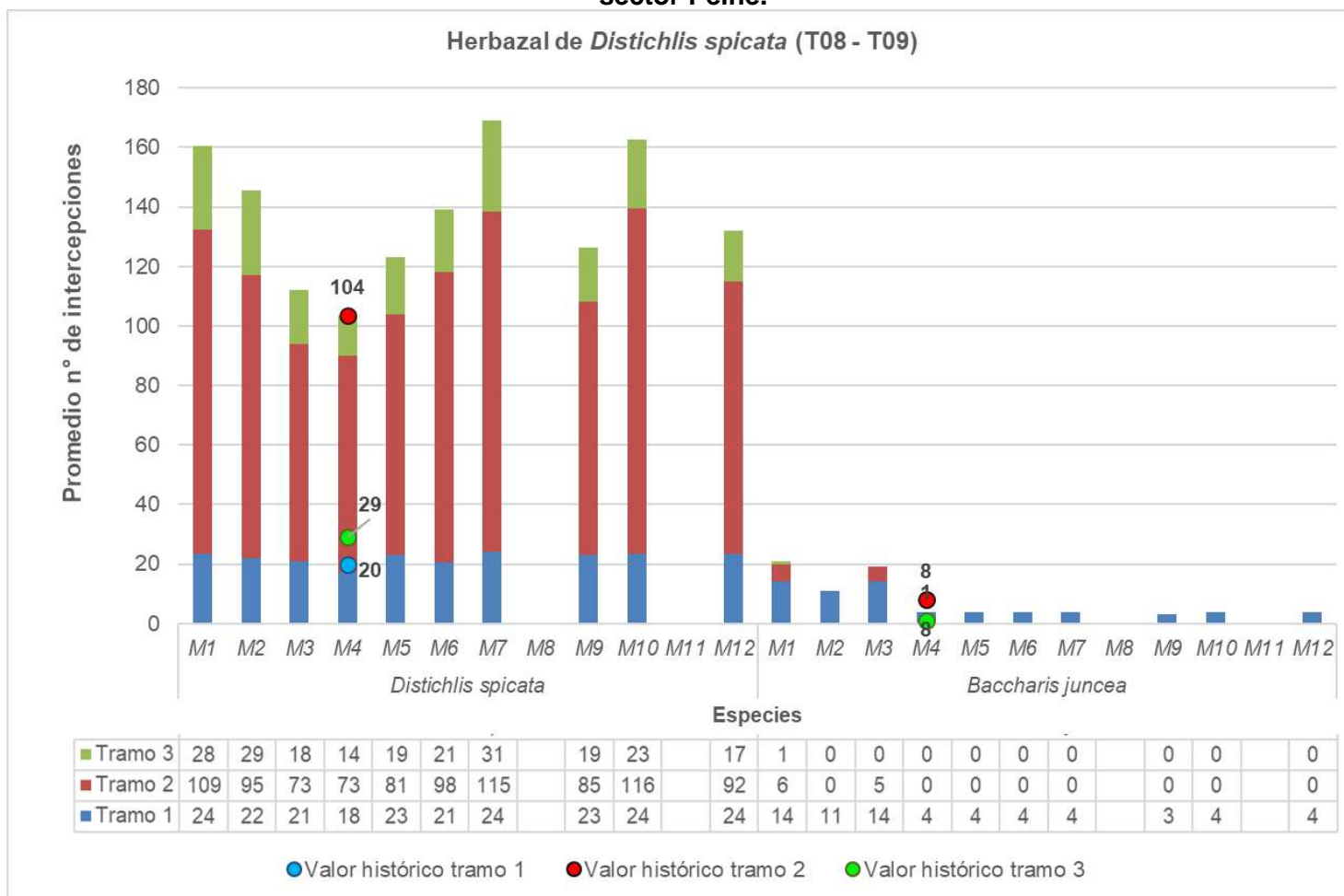
Figura N° 13-148. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Peine.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

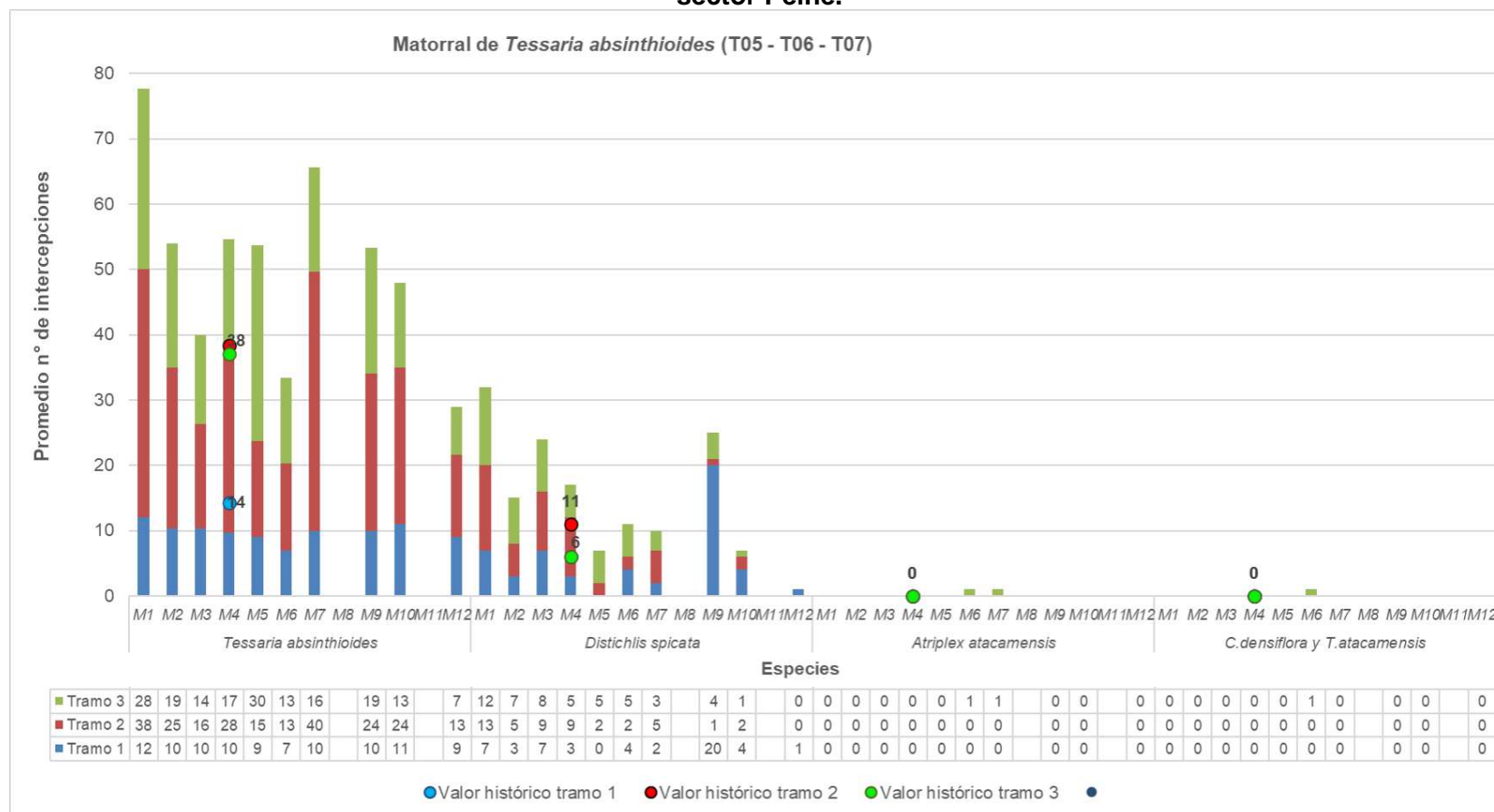
Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-149. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Distichlis spicata* en sector Peine.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-150. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de *Tessaria absinthioides* en sector Peine.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); M9 monitoreo invierno 2020 M10 monitoreo verano 2021, M11 monitoreo invierno 2021 (no realizado por restricciones de acceso a causa de movilizaciones sociales) y M12 monitoreo verano 2022; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

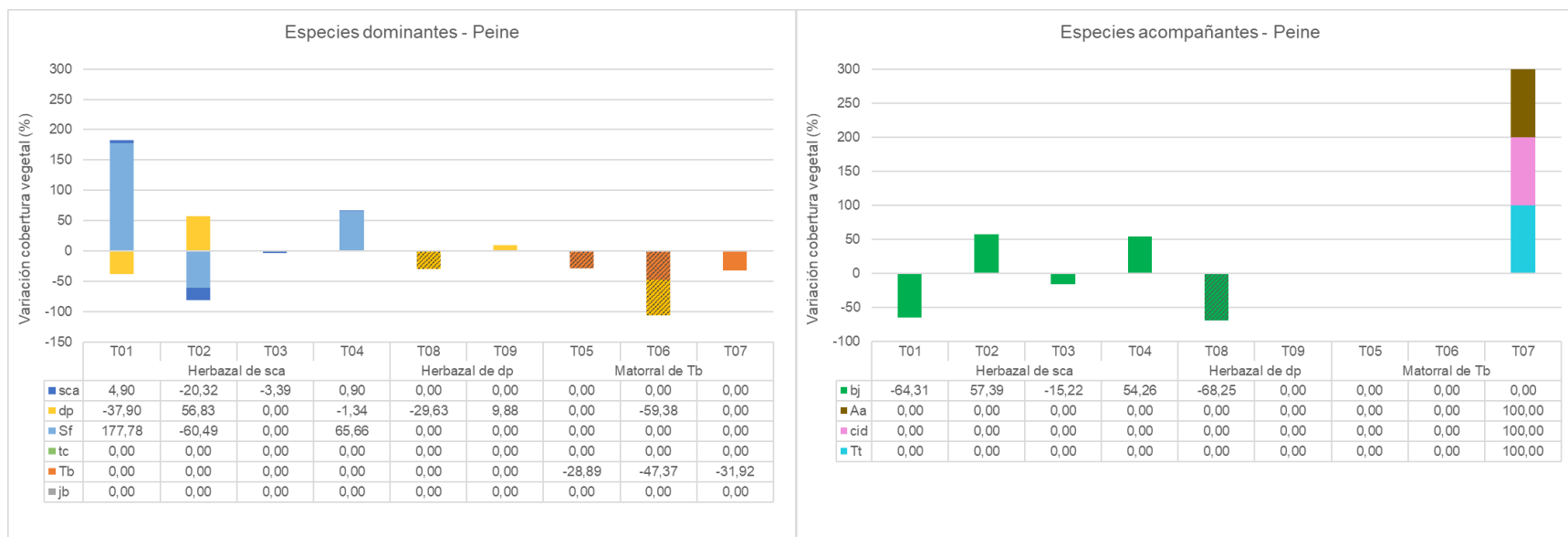
c. Análisis estadístico de la variación de las coberturas vegetales

Del mismo modo que para La Punta-La Brava, se realiza un análisis adicional, estadístico de la variación de las coberturas de las especies por transecta, en donde se registra una amplia variabilidad con un rango entre -60% a 177% entre las dominantes y de -68% a 100% entre las acompañantes (**Figura N° 13-151**), para el periodo M2 a M12 y con respecto a MB0-M1.

Entre las especies dominantes, se observan algunos aumentos principalmente en las transectas del herbazal de *S. californicus* sin presentar diferencias significativas entre éstos, ya que las alzas corresponden a coberturas menores dentro de la cobertura absoluta total para la transecta (por ejemplo *S. fruticosa* en T01 con 0,2% en MB0 a 2,4% en M12 y *D. spicata* en T02 con 12,8% en MB0, bajando a un 4,6% en M1 y un máximo de 18,8% en M12), mientras que en las variaciones de cobertura al descenso se presentan diferencias significativas en tres transectas, para dos especies; la especie *T. absinthioides* presenta una variación de 29% y 47% en T05 y T06, respectivamente, y un descenso de 29% y 59% para *D. spicata* en la transecta T08 y T06, respectivamente (**Figura N° 13-151, izquierda**).

Entre las especies acompañantes, se observan aumentos y descensos entre las cuatro especies representantes, siendo particular la variación de las especies *Atriplex atacamensis*, *Cistanthe densiflora* y *Tiquilia atacamensis* con un aumento del 100% en T07, ya que estas tres especies no habían sido registradas en MB0 o M1 y solo aparecen en los monitoreos M6 y M7. La única variación significativa (estadísticamente) se registra para la especie *B. juncea* en T08, con un descenso de un 68%, probablemente por un descenso sostenido, aunque es una especie que presenta una baja cobertura en la formación, en todos los monitoreos <5% de cobertura absoluta (**Figura N° 13-151, derecha**; detalles en **Anexo I de Vegetación y Flora**).

Figura N° 13-151. Variación porcentual de la cobertura vegetal de las especies dominantes y acompañantes en las formaciones del sector Peine, de los monitoreos iniciales (MB0-M1; invierno 2016) con respecto al periodo total de monitoreo (M2 a M12).



Donde: Achurado en columnas representan variaciones significativas estadísticamente considerando un valor de $p < 0,05$, correspondientes a: Tb-T05; Tb-T06; dp-T06; dp-T08, bj-T08.

Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, dp: *Distichlis spicata*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*; tc: *Triglochin concinna*, Tb: *Tessaria absinthioides*, jb: *Juncus balticus*; bj: *Baccharis juncea*, Aa: *Atriplex atacamensis*, cid: *Cistanthe densiflora*, Tt: *Tiquilia atacamensis*

Fuente: Elaboración propia.

d. Variación del sustrato salino en transectas

La **Figura N° 13-152** presenta la variación del promedio anual del porcentaje de las coberturas salinas registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a 2022 (M1 a M12), en las nueve transectas en tres formaciones de seguimiento del sector. En el caso del año 4 y año 6, solo se tiene el registro de monitoreo M7 y monitoreo M12, respectivamente, por lo tanto, no hay un promedio anual en ambos años. Adicionalmente, se incluye el valor de referencia del primer monitoreo (M1) para comparar con los valores promedio anuales en los 6 años de monitoreo.

En el sector, el herbazal de *S. californicus*, registra coberturas muy bajas de costra salina en las transectas T01, T02, T03 y T04 (0% - 0,5%); mientras que el herbazal *D. spicata* (T08 y T09) y el matorral de *T. absinthioides* (T05, T06 y T07) registran rangos entre 44% a 69% y de 64,7% a 87,7%, respectivamente (**Figura N° 13-152**).

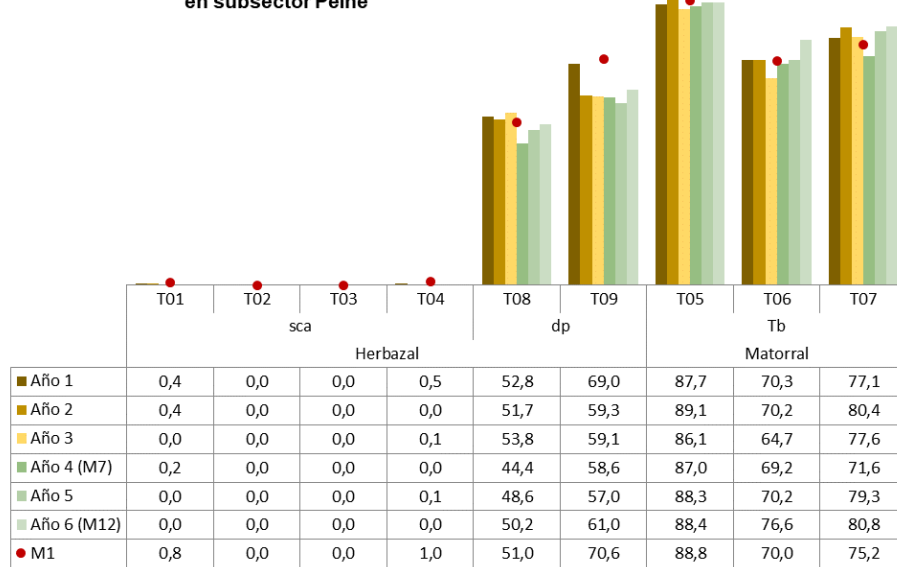
Cuatro de las nueve transectas de monitoreo del sector registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con ausencia de la cobertura para el año 6 y porcentajes muy bajos para el resto de los años (herbazal de *S. californicus*); mientras que en el matorral de *T. absinthioides* se presentan leves variaciones, respecto MB0, alcanzando las mayores diferencias al año 6 con variaciones al ascenso de 6,6% en T06 y de 5,6% en T07. En el herbazal de *D. spicata*, se presenta una mayor variación de la cobertura salina en la transecta T09, donde bajan las coberturas hasta un máximo de -13,6% en el quinto año de seguimiento, respecto MB0.

Los factores que pueden explicar el ascenso de la cobertura salina en el matorral de *T. absinthioides* del sector en los últimos 3 años (en T06 y T07), pueden relacionarse con lo indicado a continuación, recordando que esta cobertura salina fue reemplazada por un sustrato terroso en las últimas campañas, donde originalmente se registraban como costra salina terrosa (**Anexo I Vegetación y Flora – Informe Anual PMB N°6**):

- La variación de la cobertura vegetal a la baja, entre diciembre 2015 a diciembre 2016, se sugiere debido la ocurrencia de un evento excepcional en este periodo, el cual conllevó al descenso de la formación de *T. absinthioides* del sector.
- El efecto por variaciones hidroclimáticas existentes en el sistema, las cuales determinan la disponibilidad de agua para la actividad y cobertura vegetal cuya baja repercute en una mayor superficie de costra salina (ver detalle de análisis de correlaciones con variables hidroclimáticas en **sección 13.8.3**).

Figura N° 13-152. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.

Cobertura de costra salina en transectas (en porcentaje %) en subsector Peine



Especies dominantes en formaciones monitoreadas: **sca:** *Schoenoplectus californicus*; **dp:** *Distichlis spicata*; **Tb:** *Tessaria absinthioides*. Promedio anual de coberturas **Año 1:** M1 y M2; **Año 2:** M3 y M4; **Año 3:** M5 y M6; **Año 4:** M7 (M8 monitoreo verano 2020, no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); **Año 5:** M9 y M10; **Año 6:** M12 (M11 monitoreo invierno 2021, no realizado debido a la suspensión de las actividades de terreno en Planta Salar por razones de seguridad).

Fuente: Elaboración propia.

13.8.2.2.2 Análisis de la Cobertura Activa

a. Comparación de la cobertura activa con línea de base

La condición de mantención del estado ecológico en la cobertura activa obtenida a partir del NDVI de imágenes de alta resolución 2017-2022, se realiza por sector en consideración a lo señalado en la Adenda 5, Anexo 2, referente a que “se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

Al respecto, en este acápite se evalúa por sector este punto en específico del PMB. Para esto, se compararon las superficies de 2017-2022 con las áreas máximas y mínimas propuestas para el seguimiento de polígonos de vegetación mediante imágenes de alta resolución según el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del Proyecto (**Tabla N° 13-59**).

La evaluación de cambios en el estado ecológico se realiza de acuerdo a lo señalado en el PMB, que señala “se entenderá como un cambio en tendencia según la evaluación realizada después de 3 años consecutivos (periodos), respecto su comportamiento previo de línea de base o registros históricos”. De acuerdo con esto, se compara la mantención de las coberturas anuales de monitoreo para el periodo posterior de operación del proyecto dentro del rango de superficies históricas por sector (**Tabla N° 13-59**).

Tabla N° 13-59. Registros históricos de superficies de vegetación activa obtenidos con el NDVI de imágenes de alta resolución.

VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN		
Sector / Objeto de seguimiento	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
Peine/ Polígono de vegetación COT	157,7	242,8
Peine/ Polígono Peine Herbazal de <i>Schoenoplectus</i> [§]	23,0	22,6

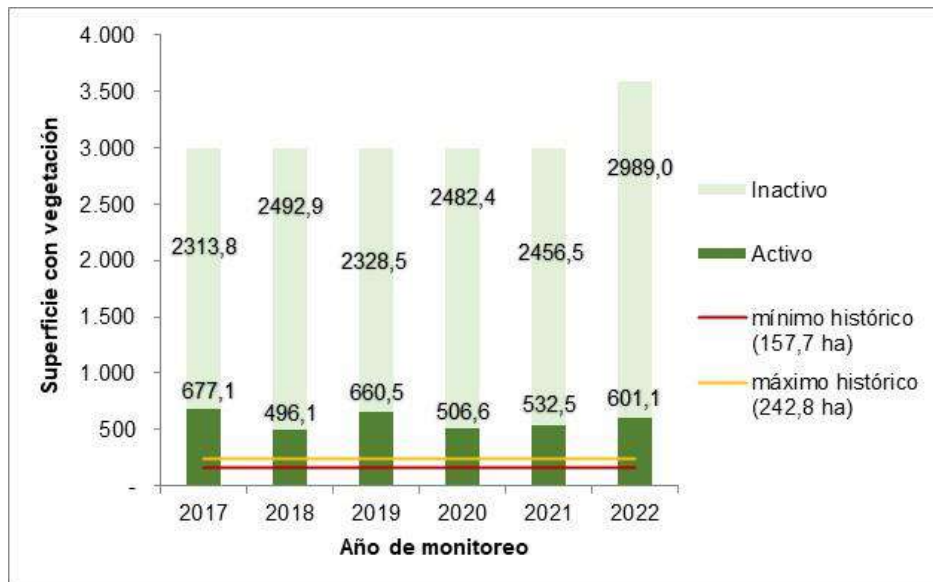
[§]La formación Herbazal de *Schoenoplectus* se evalúa en unidades de Vega con dominancia de *Schoenoplectus californicus* según homologación de las formaciones en seguimiento con la COT presentada en la Tabla N°13-55. Polígono de vegetación COT = superficie total del sector con vegetación. Fuente: Tabla 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).

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución** de post-lluvias estivales 2017-2022, entre los valores de línea de base y de monitoreos, se presenta gráficamente en la **Figura N°13-153**, y de los datos de NDVI se observa para el Sector Peine la mantención del estado ecológico, con mayores coberturas en relación al rango histórico para el sector general. Por otro lado, en particular para la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector, **Figura N°13-154**, para el seguimiento 2022 se observa un aumento respecto del periodo 2017 - 2020, con un leve

descenso de lo observado en 2021, aunque persisten valores por debajo del rango histórico obtenidos desde imágenes de resolución media desde el año 2017.

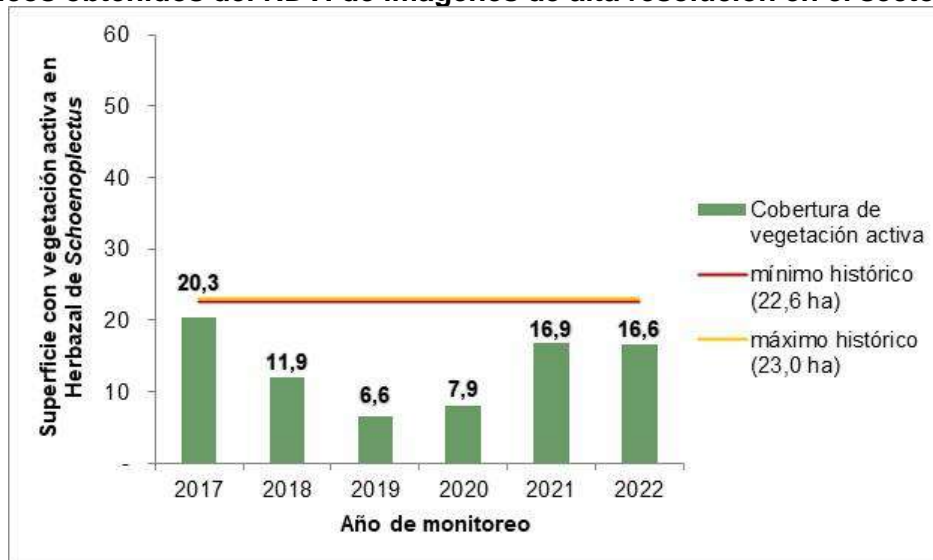
La superficie vegetal inactiva en el sector registra valores entre rango mínimo y máximo de 2.313,8 (2017) y 2.989,0 (2022) hectáreas, esto equivale entre un 77,4% a 83,3% de la superficie COT con vegetación (**Figura N°13-153**). El sector tiene un rango de actividad que va desde 16,6 % al 22,6%, con un porcentaje máximo del 22,6% (677,1 hectáreas) en 2017. La diferencia de superficie reportada para verano 2022, se debe a un mejor ajuste de la superficie de vegetación observada, lo que significó un ajuste de límites de ocupación de la vegetación en la COT.

Figura N°13-153. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.



Fuente: Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, Informe Anual No 6. Monitoreo invierno 2020 – Verano 2022 Plan de Manejo Biótico.

Figura N°13-154. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2022, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine.



Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2016 - 2022) y valores históricos de línea de base según 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).

b. Análisis de recurrencia de la cobertura activa

De forma complementaria a lo exigido en el PMB, con las coberturas de vegetación activa obtenidas con el índice **NDVI de imágenes de alta resolución durante el periodo 2017-2022**, se analiza el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los 6 años de monitoreo en el periodo marzo – abril⁹².

Este análisis complementario se realiza con el fin de evaluar la variabilidad espacial de la cobertura activa mediante un análisis del **nivel de recurrencia**⁹³ entre los años 2017 a 2022, de la cobertura activa en las formaciones de seguimiento, donde las áreas de superposición resultantes representan el nivel variabilidad o estabilidad espacial en seguimientos sucesivos. El resultado determina el grado de estabilidad de la vegetación, que se encuentra sujeta a diversos procesos dinámicos, mapeando las etapas sucesionales y proporcionando información de la dinámica vegetacional (ver detalle metodológico del análisis de recurrencia de la cobertura activa en **13.8.2.2 Análisis de la Cobertura Activa, sección b. Análisis de recurrencia de la cobertura activa**).

⁹² Se refiere como comportamiento multitemporal a las variaciones espaciales y temporales entre los seis monitoreos, ya que para evaluar una tendencia estadística se requieren de mayor cantidad de datos. Por lo mismo, esto último se analiza posteriormente con los datos provenientes de imágenes Landsat para un periodo de 14 años, 2009-2022 (abril 2022).

⁹³ Nivel de recurrencia se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la cobertura vegetal activa obtenida desde el índice NDVI para los años de monitoreo 2017-2022.

La **Tabla N° 13-60** y **Figura N°13-155** presentan las superficies y los porcentajes de la cobertura vegetal activa según el nivel de recurrencia para los seis años de monitoreo anual (veranos post - lluvia, 2017 a 2022) en las formaciones vegetales en seguimiento del sector.

Este sector, destaca por la mayor cobertura activa acumulada entre los sectores de monitoreo, con un total de 965,7 hectáreas, lo cual equivale a un 43,3% de la superficie total activa de las formaciones en seguimiento del sector (2.228,2 hectáreas). Por otra parte, la cobertura inactiva abarca 1.262,6 hectáreas lo que equivale a un 56,7% de la superficie total en seguimiento para este sector (**Tabla N° 13-60**).

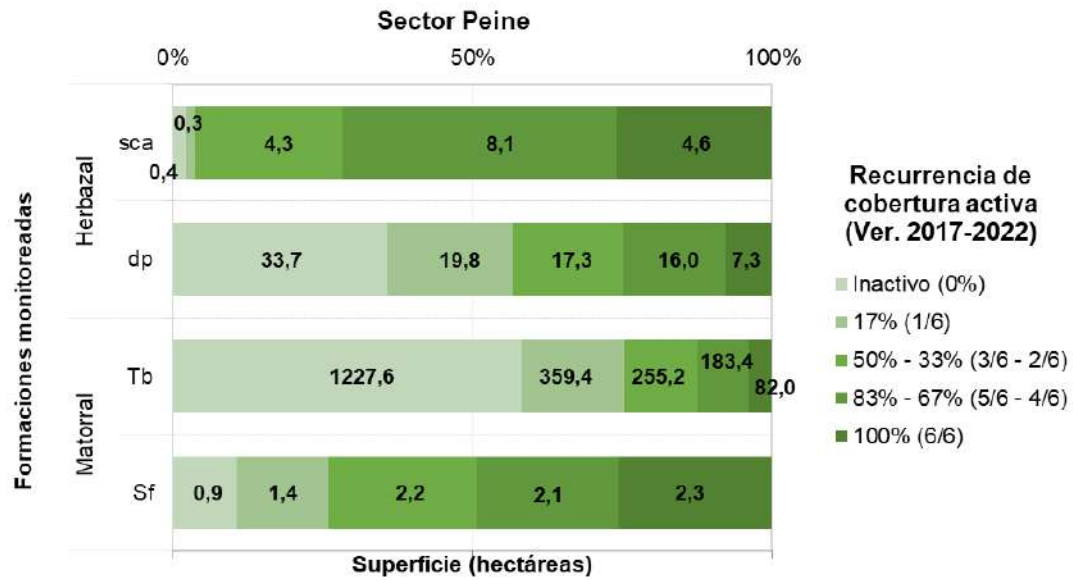
Dentro de la cobertura activa acumulada del sector (965,7 hectáreas), 96,2 hectáreas presentan mayor nivel de recurrencia en 6 de los 6 monitoreos realizados (recurrencia 100%), lo que equivale a las superficies más estables dentro del sector (**Tabla N° 13-60**). La formación que refleja la mejor condición de estabilidad es el matorral de *T. absinthioides*, el cual presentan la mayor proporción de superficie con nivel de recurrencia de 100% (82,0 hectáreas, 3,7% de la superficie total del sector).

Tabla N° 13-60. Superficies y porcentajes de cobertura de vegetación activa según nivel de recurrencia entre el Año 1 (2017) y Año 6 (2022) obtenidos con el NDVI de imágenes satelitales de alta resolución para monitoreos anuales de verano en las formaciones de seguimiento en el sector Peine.

SECTOR PEINE	Cobertura de vegetación activa por estrato según nivel de recurrencia Año 1 - Año 6										
	100% (6/6)		83% - 67% (5/6 - 4/6)		50% - 33% (3/6 - 2/6)		17% (1/6)		Inactivo (0%)		Total general**
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
Formaciones de seguimiento	96,2	4,3	209,6	9,4	279,0	12,5	380,8	17,1	1.262,6	56,7	2.228,2

Formaciones vegetales de seguimiento según homologación entre la COT y monitoreos de transectas (detalle en Tabla N°2-2). ** Unión de unidades COT de 2017 a 2022 de las formaciones vegetales de seguimiento. Fuente: Cedrem Consultores.

Figura N°13-155. Evaluación de la recurrencia de la cobertura vegetal activa en las formaciones de monitoreo, obtenida con el NDVI de imágenes de alta resolución en monitoreos anuales de verano 2017-2022 en el sector Peine.



Donde Especies dominantes en formaciones monitoreadas: Tb: *Tessaria absinthioides*; Sf: *Sarcocornia fruticosa*; dp: *Distichlis spicata*; tc: *Triglochin concinna*; sca: *Schoenoplectus californicus*; jb: *Juncus balticus*.

Fuente: Elaboración propia.

c. Comparación de la tendencia interanual del NDVI Landsat

De forma complementaria a lo exigido por el PMB y para poder evaluar estadísticamente cambios en la tendencia del NDVI, siendo éste el índice a partir del cual se determinan las coberturas de vegetación activa (como indicador de evaluación del estado ecológico), se analizó un periodo de estudio de 14 años (superior al de seguimiento del proyecto de seis años) y con frecuencia estacional; análisis dado por imágenes Landsat, aunque de menor resolución espacial (pixel de 30x30m), se encuentran disponibles con una alta frecuencia temporal (16 días) y para un amplio periodo histórico comparado con las imágenes de alta resolución.

Cabe mencionar que las áreas para las cuales se realiza el análisis del NDVI con imágenes Landsat son las mismas del análisis del NDVI de imágenes de alta resolución 2017-2022, correspondientes a las formaciones vegetales en seguimiento por sector (según homologación en la **Tabla N°13-55** con unidades vegetales de la Carta de Ocupación de Tierras, COT verano 2022) (ver detalle metodológico del análisis de recurrencia de la cobertura activa en **13.8.2.2.2 Análisis de la Cobertura Activa, sección c. Comparación de la tendencia interanual del NDVI Landsat**).

En el proceso de análisis de las imágenes Landsat se compararon los valores del NDVI de (**Figura N°13-156**) según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, éste corresponde al valor que es superado un 75% de las veces, como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico.

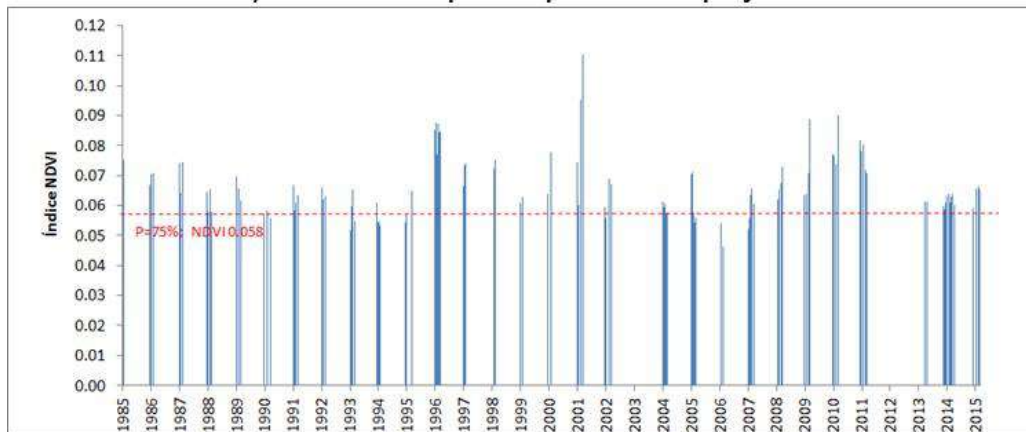
El proceso de extracción de datos NDVI en las imágenes Landsat, se realiza para las formaciones en seguimiento en el sector, en los meses de diciembre 2016, marzo 2017, diciembre 2017, marzo 2018, diciembre 2018, marzo 2019, diciembre 2019, marzo 2020, diciembre 2020, marzo 2021, diciembre 2021 y abril 2022, los cuales tienen correspondencia con el seguimiento de la cobertura de vegetación activa en el marco del PMB (se agrega al cálculo de vegetación activa post – lluvias de marzo – abril, la vegetación activa del periodo estival para su equivalencia a los cálculos de la serie histórica). El resultado es un valor promedio por mes/año que representa el valor NDVI de la vegetación activa de todas las formaciones vegetales en esa fecha, teniendo así 12 valores representativos (uno para 2016 y 2022, y dos para 2017 a 2021). Finalmente, estos valores son comparados con percentil 75 del valor histórico de NDVI de las superficies con vegetación registradas en el sector Peine, y en particular con la formación de herbazal de *S. californicus*.

En la comparación con valores históricos de línea de base del NDVI obtenidos de imágenes Landsat, para el periodo de operación y durante las temporadas estivales (diciembre-marzo) 2016-2022, se observa la mantención del estado ecológico para las superficies con vegetación del sector según el valor histórico de NDVI con P75% (**Figura N°13-156**), y en particular para la formación de herbazal de *S. californicus*, se muestra sobre el umbral determinado histórico de los valores del NDVI de imágenes Landsat. **Figura**

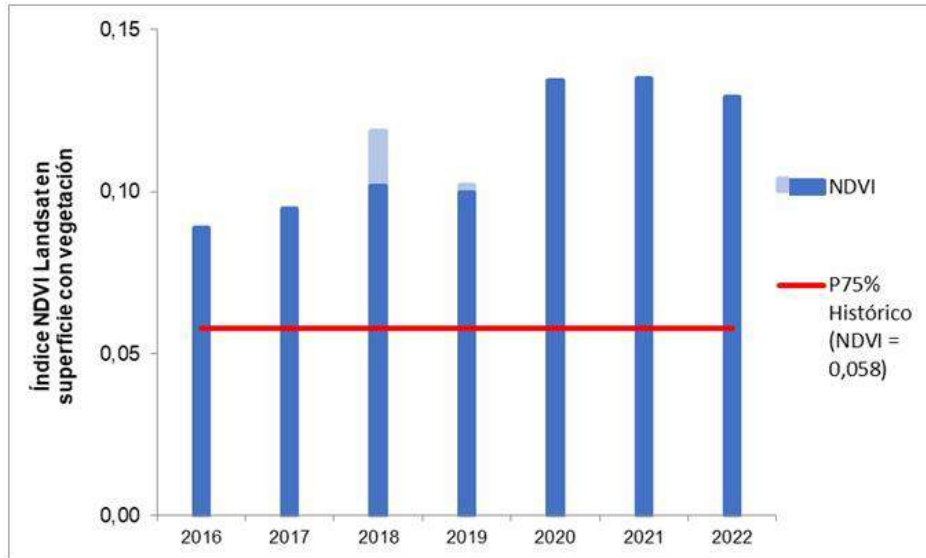
N°13-157). Esta tendencia indica una mayor actividad vegetal en el sector para el periodo operacional.

Figura N°13-156. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2022) en la superficie con vegetación del sector Peine.

A) Serie histórica previo operación del proyecto*



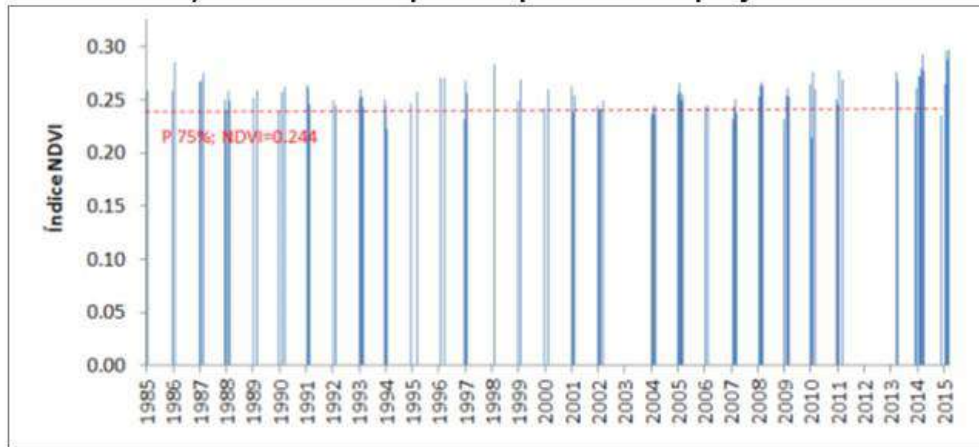
B) Serie pos-operación del proyecto



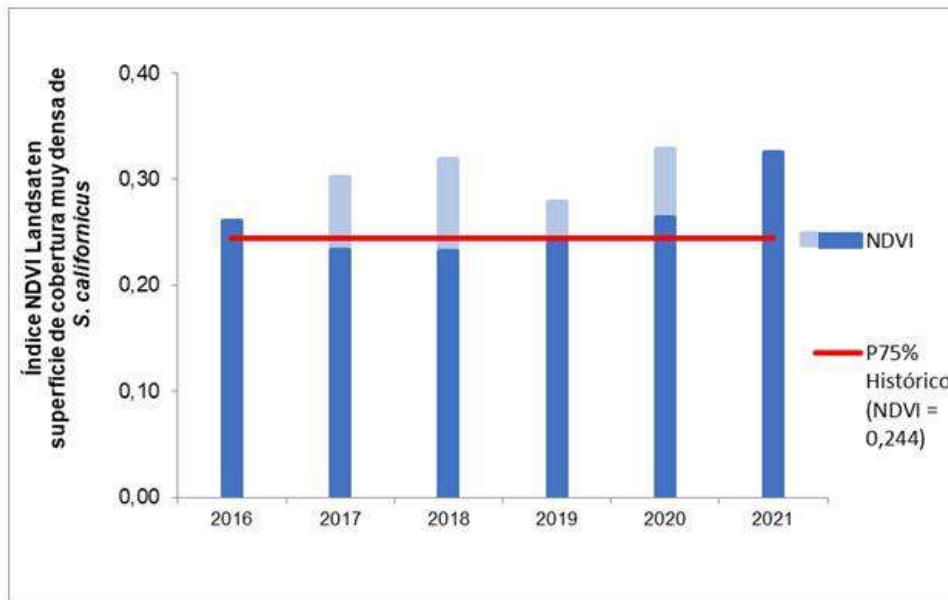
Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.6.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono de vegetación Peine (COT)...” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015)**. La doble coloración en la columna hace referencia a los dos meses analizados por año, siendo el resultado acumulativo.

Figura N°13-157. Formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2022) en el sector Peine.

A) Serie histórica previo operación del proyecto*



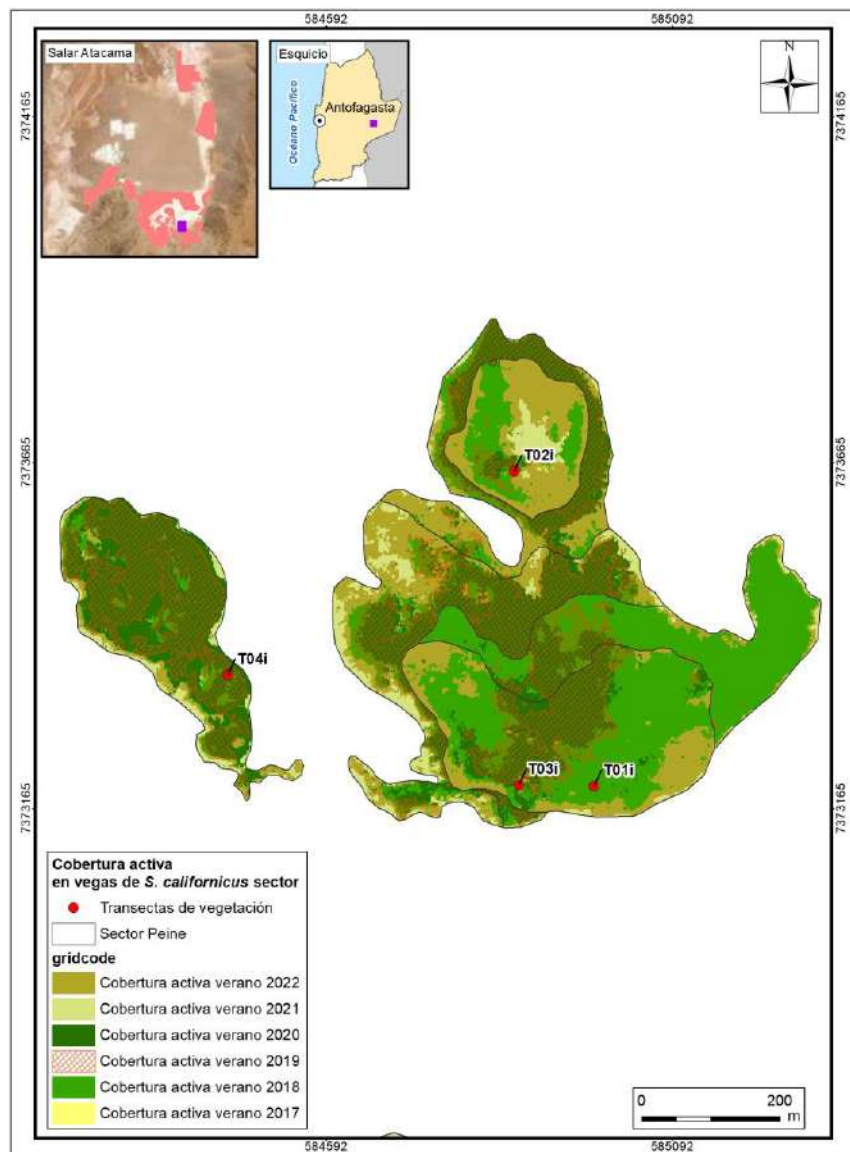
B) Serie pos-operación del proyecto



Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.7.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono Peine Herbazal Muy Densa de *Schoenoplectus*...” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015)**. La doble coloración en la columna hace referencia a los dos meses analizados por año, siendo el resultado acumulativo.

En particular, para las formaciones de herbazal de *S. californicus* del sector, las variaciones en el registro de la cobertura activa se pueden relacionar con los procesos de variación de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 a 2020, 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. Sin embargo, se ha observado una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector (**Figura N°13-158**).

Figura N°13-158. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* (AR) durante monitoreos de verano 2018 y 2022 en unidades de herbazal de *S. californicus* en el sector Peine.



* Cobertura vegetal activa obtenida desde NDVI de imágenes de alta resolución. Fuente: Elaboración propia.

13.8.2.3 Superficie de Lagunas

13.8.2.3.1 Análisis de la evolución de superficies lagunares con imágenes AR

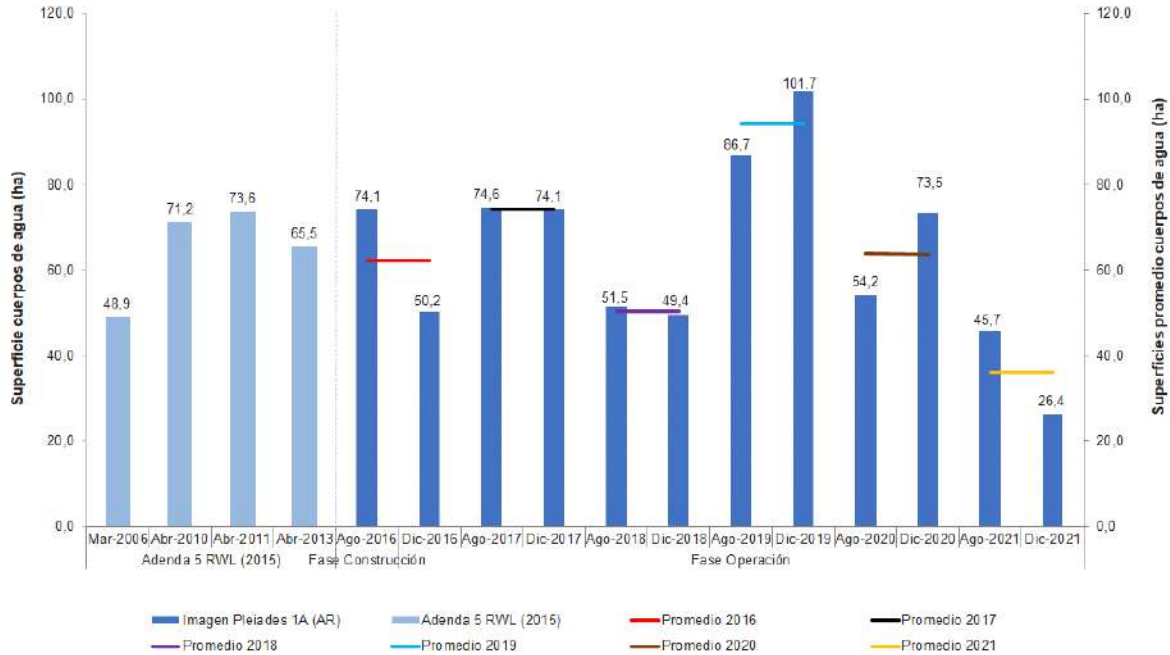
Con el objetivo de analizar la evolución de las superficies lagunares de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que “*se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)*”, es que la **Figura N° 13-159** muestra la variación intranual de las superficies lagunares de las imágenes AR entre agosto de 2016 a diciembre de 2021 en el sector Peine, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

La **Figura N° 13-159** muestra las superficies de los cuerpos de agua estimados a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en los seguimientos PMB de 2016 a 2021, donde los promedios anuales registran un valor mínimo en el año 2021 (360.331 m²) y en 2019 el valor máximo (941.720 m²), observándose un quiebre en el año 2019, producto de las alzas provocadas por las lluvias estivales. Además, se observa que los datos de agosto 2021 y diciembre 2021 (mismo año) se encuentran fuera de los valores registrados históricamente en marzo y abril por sector, es decir, el último período estaría bajo las áreas obtenidas en marzo del 2006 y abril 2010 a 2013.

Es importante consignar que si bien la metodología utilizada hasta la fecha es más robusta y más detallada que la usada en la línea de base, no es directamente comparable entre lo que ocurría antes del proyecto (línea base) y los valores registrados de manera posterior (seguimiento), que es algo que se ha mencionado en todos los Informes de Seguimiento. Lo anterior debido a que los valores de línea base corresponden a abril, es una época en que se debiera esperar una superficie de las lagunas mayor a las de diciembre y los valores registrados en el seguimiento, corresponden a diciembre (época de superficies esperadas mínimas anuales).

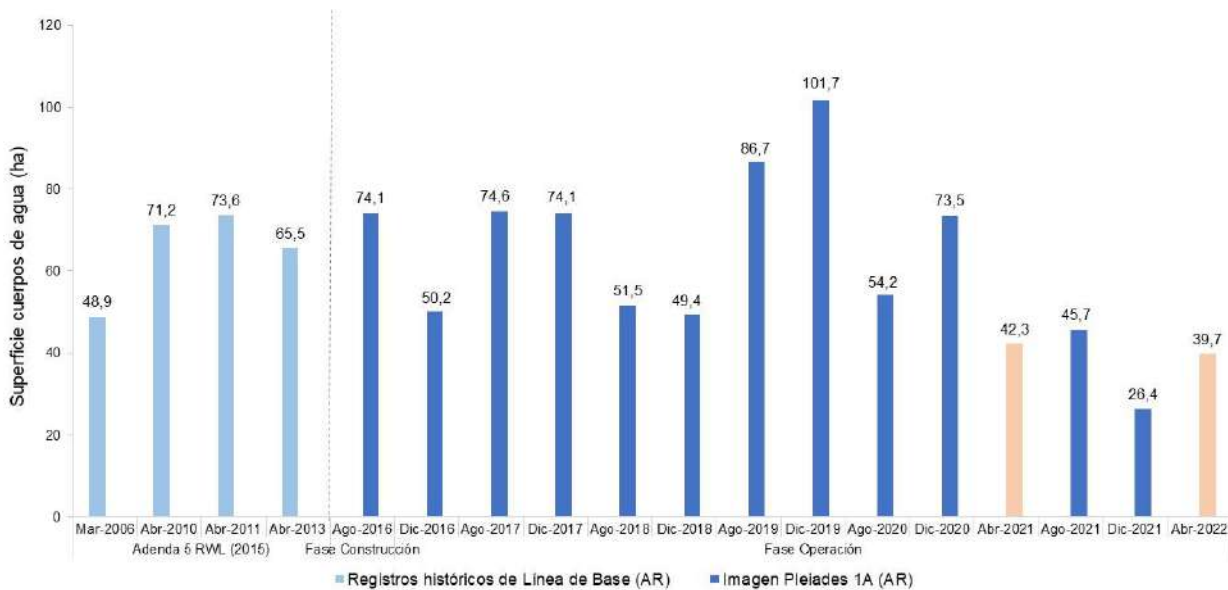
Es por ello, que se presenta en la **Figura N° 13-160**, las superficies de los cuerpos de agua estimados a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en los seguimientos PMB de 2016 a 2021, sumados a superficies Lagunares estimadas en el marco del PSAH y de la activación del PAT por el BA-07, en donde se tienen las superficies lagunares en abril 2021 y abril 2022, que completan de manera más detallada el análisis.

Figura N° 13-159. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



Dónde: AR: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

Figura N° 13-160. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine



Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

Como fue mencionado, la **Figura N° 13-160** presenta las superficies lagunares estimadas en el marco del PSAH y de la activación del PAT por el BA-07, en donde se tienen las superficies lagunares en abril 2021 y abril 2022, que permiten la comparación con la línea de base. Las áreas de abril también se han determinado con la misma metodología de las áreas de julio y diciembre de cada año (invierno y verano), con validación de terreno.

Como es posible apreciar, cada año existe una variabilidad que depende de la condición del invierno del año previo, lo que condiciona las superficies de diciembre. En diciembre 2020 la superficie lagunar fue relativamente alta para la estación, puesto que había llovido en agosto del mismo año, por lo que la superficie de abril 2021 fue menor en magnitud que la de diciembre 2020. En diciembre 2021 la superficie lagunar fue baja, como resultado del invierno 2021, que tuvo una condición de niveles menor, y por eso la superficie de abril 2022 fue mayor respecto a la de diciembre 2021. De esta manera, las superficies lagunares de abril 2020 y abril 2021, vienen a confirmar la superficie de diciembre 2021, la cual es menor a la superficie de línea de base y se tendría una condición de descenso fuera de los rangos de línea de base en este período 2021.

Al tener mediciones en temporada invierno o verano, con un seguimiento semestral, no es posible analizar la evolución completa o intranual que tienen los sistema lagunares, y es por ello por lo que se realiza el análisis complementario del numeral siguiente, con el objetivo de poder evidenciar ciertos periodos previos con superficies mínimas y máximas, previos al periodo de la operación del proyecto.

13.8.2.3.2 Análisis de tendencias con Landsat históricas

En la **Figura N° 13-161** se presenta esta serie Landsat histórica período 1985-2021, estimada por IZUMI, 2021 para Informe⁹⁴ de Investigación N°1 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (agosto 2021) y actualizada hasta abril 2022 para el Informe de Investigación N°2 (julio 2022). Los registros se obtuvieron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), y considerando todo el sistema Peine en su conjunto, es decir, lagunas Salada, Saladita e Interna.

Analizando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI (1985-2021), **Figura N° 13-161**, en general se observan tres periodos. El primer período entre 1985 a 1996, marcado por descensos y ascensos tanto de las superficies mínimas de verano como de las de invierno, llegando a un mínimo de casi 200.000 m² en el año 1996. El segundo período entre 1996 a 2013, caracterizado por una

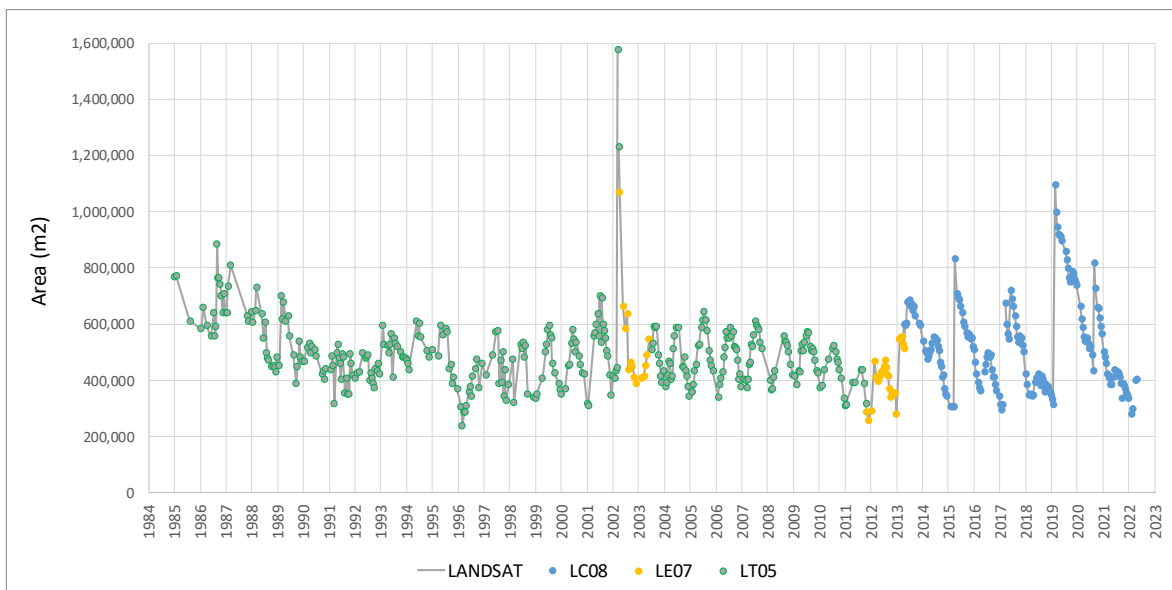
⁹⁴ Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Agosto 2021)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – IZUMI . Julio 2021. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del 09-08-2021, 2021 08 06 ALB-GMA-2021-SMA-046 Entrega Informe de Investigación.

variabilidad estacional más o menos en rangos estables, entre 400.000 m² a 600.000 m² aproximadamente, con la excepción de una subida abrupta en marzo del año 2002. Finalmente, un tercer período el cual, a diferencia del anterior, presenta una variación no estacional y con aumentos abruptos de superficies en promedio cada 2 años aprox. Estos aumentos o peaks de áreas, han coincidido con las precipitaciones del último período.

Como se puede observar, los valores registrados durante el seguimiento ambiental (2016-2021) y en particular el año 2021, se encontraría dentro de los rangos de variabilidad natural del sistema Peine, el que ha fluctuado de manera dinámica y variable a través del tiempo. Las disminuciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar Peine, se puede observar una variabilidad histórica y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas, y que en el último período 2013- 2021 se ve relacionado fuertemente con el aporte de precipitaciones.

Figura N° 13-161. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2021, Sector Peine.



Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat-NDWI serie 1985 - 2021

Con el objetivo de analizar la tendencia de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, para la evaluación del estado ecológico, en donde se tiene que las variables de estado “se mantengan dentro del registro de línea base, esto es

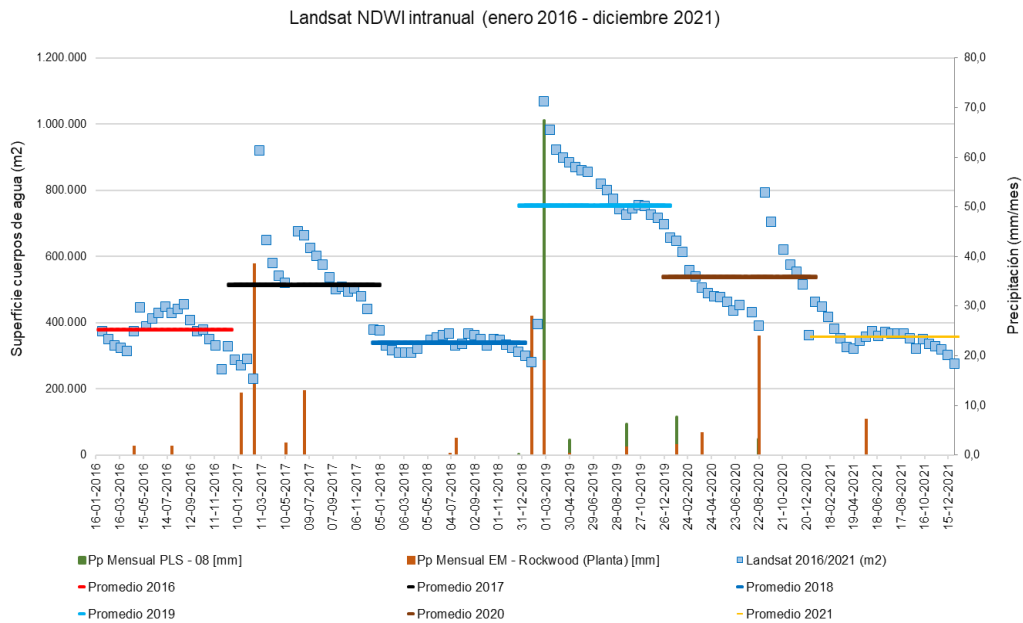
que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector” 95, es que la **Figura N° 13-162** muestra la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2021, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

Los registros de los promedios anuales, registran un promedio mínimo en 2018 de 338.768 m² y en 2019 un promedio máximo de 753.873 m², con un promedio 2021 de 357.026 m² levemente superior al promedio 2018. De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares, muestran una mayor variabilidad en comparación con el sector La Punta – La Brava, donde las variaciones entre promedios en el sector de Peine pueden llegar hasta el 55%.

Las áreas intranuales estimadas para el sistema Peine, para el período 2016-2021, de la serie Landsat/NDWI, muestra que la variación intranual no es tan marcada en forma estacional, sino que presenta pick de aumentos de áreas y posterior a ello una tendencia al descenso volviendo a una condición previa. En la **Figura N° 13-162**, se observa la relación entre las fluctuaciones puntuales y su asociación con las precipitaciones en el sector, esta es visible en los análisis pluviométricos de la estación ubicada en el interior de la Planta Salar (EM- Rockwood y en el pluviómetro PLS – 08, ubicado cercano al borde del sistema lagunar) asociados a la superficie y sus alzas en febrero 2019 (18,9 mm EM-Rockwood; 67,5 mm PLS - 08) y agosto 2020 (23,8 mm EM- Rockwood; 3,29 mm PLS-08).

⁹⁵ Adenda 5, Anexo 2: Plan de Manejo Biótico.

Figura N° 13-162. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2021, Sector Peine

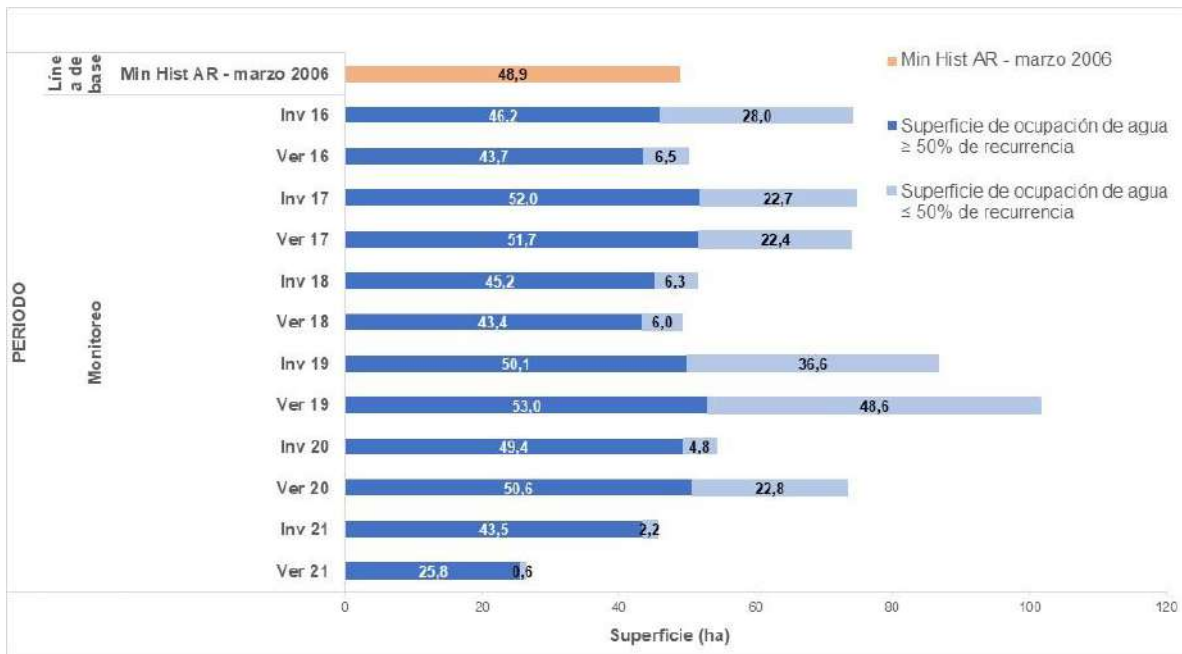


Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat serie 2016-2021

13.8.2.3.3 Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016 – 2021 con imágenes AR

A partir del análisis de recurrencia, la **Figura N°13-163** muestra la relación entre las superficies reportadas producto del seguimiento semestral del PMB en el sector Peine, y los estratos con ocupación de agua según su porcentaje de ocurrencia en el tiempo, considerando las 12 imágenes AR disponibles a la fecha. Además, la **Figura N°13-163** muestra la relación de las superficies lagunares con respecto a la superficie mínima histórica determinada mediante imagen AR (Adenda 5 RWL, 2015), que corresponde a 48,9 ha y que ocurrió en marzo de 2006.

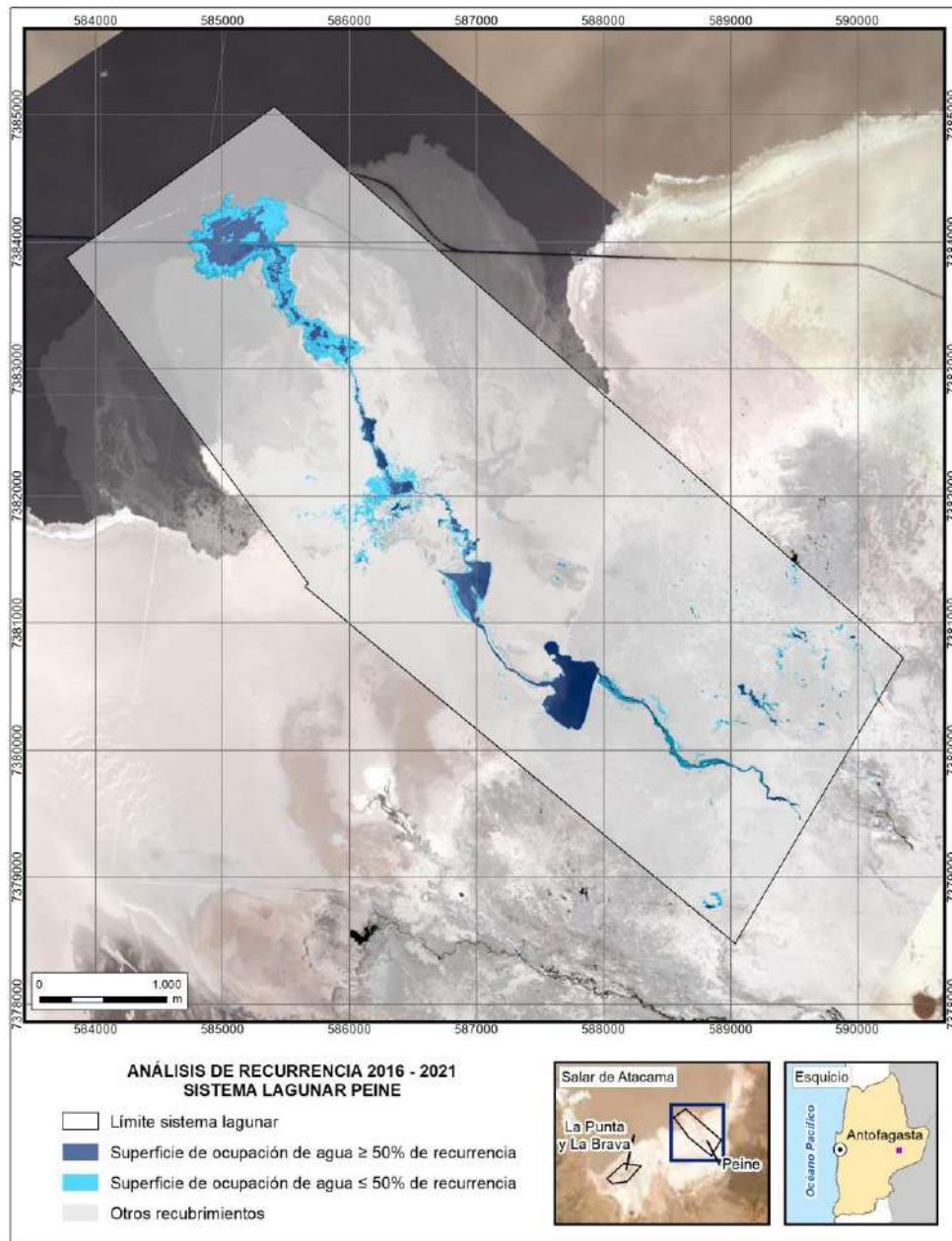
Figura N°13-163. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector Peine



Fuente: Elaboración Propia. Superficie histórica en AR (Adenda 5 RWL, 2015), de marzo de 2006.

Semestralmente, los valores reportados de las superficies lagunares en el sector Peine corresponden a la suma de los estratos según su porcentaje de ocurrencia, de acuerdo a las 12 imágenes de AR disponibles a la fecha. Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a diciembre de 2021, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de marzo de 2006 (48,9 ha); sin embargo, se reportan descensos leves de recurrencia de las superficies en relación al mínimo histórico en invierno y verano 2016, invierno y verano 2018 e invierno y verano 2021, siendo este último la mayor variación con respecto al mínimo histórico (-23,1 ha). El estrato con superficies recurrentes menor al 50% del tiempo es el estrato con mayor variación, que presenta valores máximos en verano 2019, invierno 2019 e invierno 2016. El sector donde se verifica mayor superficie recurrente menor al 50%, es el sector de Laguna Interna, que presenta variaciones de llenado post – lluvias y vaciamiento estival por aumento de la evaporación. Para el periodo 2021 se registran precipitaciones menores, resultando en una mayor diferencia proporcional de la superficie recurrentes menor al 50%. La **Figura N°13-164** muestra los estratos clasificados en recurrencia para el sector de Peine.

Figura N°13-164. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2021, Sector Peine.



Elaboración propia

13.8.3 Análisis de correlaciones con el NDVI

De forma complementaria a lo exigido por el PMB y con el propósito de robustecer la discusión y conclusiones de los posibles factores que indiquen en la condición o el estado ecológico de la vegetación del salar, a continuación se presenta un **análisis de relaciones del NDVI** con la cobertura de vegetación medida *in situ* mediante transectas y variables hidroclimáticas.

Para este fin, se determinaron las relaciones lineales entre el NDVI obtenido de imágenes tanto de alta resolución como Landsat con las coberturas absolutas de vegetación determinadas en las transectas de monitoreo, distinguiendo entre los tipos de formaciones vegetales, dado que se sabe de diferencias en la respuesta fenológica de actividad vegetal y por ende en la variación de los valores del NDVI.

También, las variables hidroclimáticas usadas para correlación con el NDVI de imágenes Landsat (por su mayor data multitemporal) fueron: la precipitación y evaporación de la estación meteorológica de la Planta Albemarle.

Las correlaciones lineales entre variables se determinaron con los coeficientes de Pearson (paramétrico) y Rho Spearman (no paramétrico) para examinar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre el NDVI con las coberturas y variables hidroclimáticas.

El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$. Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

El signo del coeficiente indica la dirección de la relación. Si ambas variables tienden a aumentar o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia arriba. Si una variable tiende a incrementarse mientras la otra disminuye, el coeficiente es negativo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia abajo.

Para determinar si la correlación entre las variables es significativa, se comparó el *valor p* con su nivel de significancia. Los niveles de significancia (denotado como α o alfa) usados fueron 0,05. Un α de 0,05 indica que el riesgo de concluir que existe una correlación, cuando en realidad no es así, es 5%. El *valor p* indica si el coeficiente de correlación es significativamente diferente de 0 (un coeficiente de 0 indica que no existe una relación lineal).

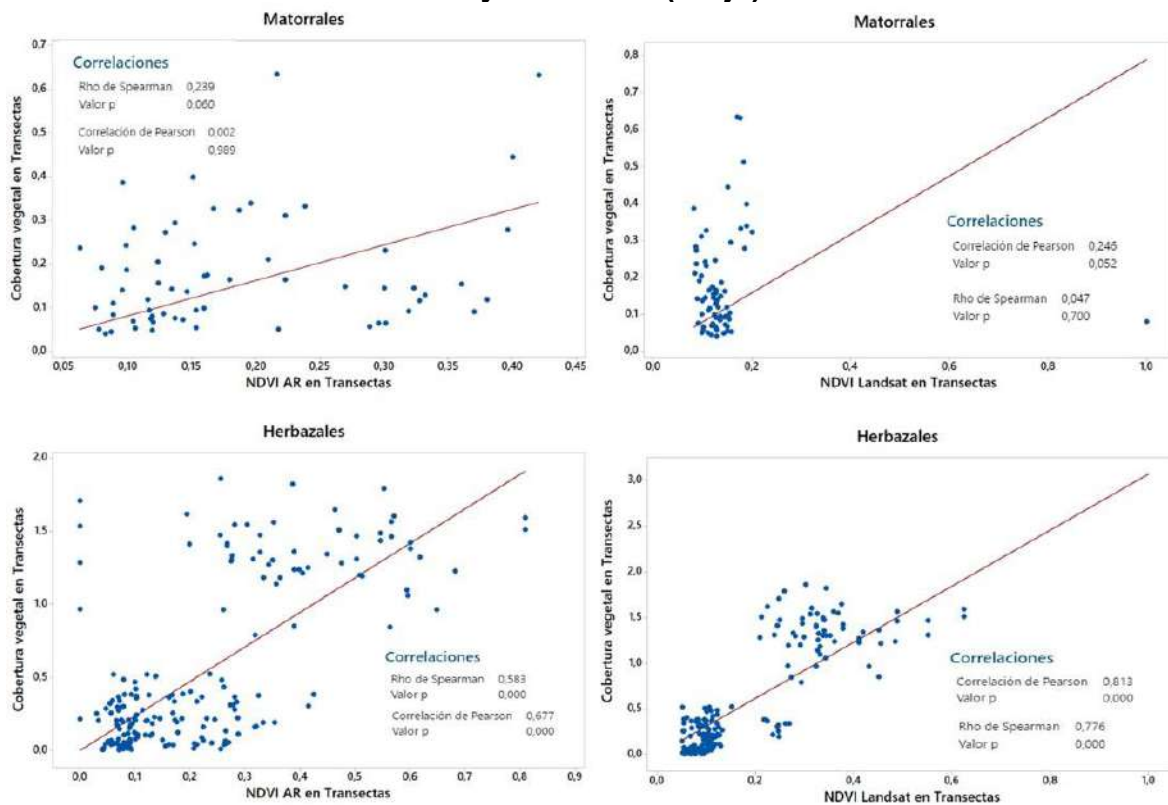
A continuación se describen los resultados de las correlaciones con el NDVI por variable de evaluación:

a. Validación del NDVI con las coberturas en transectas

Los resultados de correlaciones lineales entre la cobertura vegetal en transectas (según monitoreos 2016-2022) con el NDVI obtenido de imágenes de alta resolución y Landsat, muestran una relación proporcional entre estas variables, es decir mayor NDVI se refleja con valores más altos de cobertura. Además, esta relación es proporcional de alta intensidad entre las formaciones de herbazales y el NDVI (AR – L8) (**Figura N° 13-165**).

En base a las correlaciones determinadas entre el NDVI y las coberturas vegetales en las transectas de monitoreo, las tendencias del NDVI - Landsat y NDVI - AR se pueden extrapolar a las coberturas de herbazales (con correlaciones significativas; **Figura N° 13-165**). A partir de este ejercicio, se puede deducir una estabilidad en las coberturas vegetales para el periodo histórico 2009-2022 y las variaciones determinadas hacen parte de las transiciones generales en el sistema.

Figura N° 13-165. Correlaciones lineales entre el NDVI (obtenidos de imágenes de Alta Resolución- AR izquierda y Landsat - derecha) y las coberturas vegetales en transectas de los tipos de vegetación de monitoreo (2016-2022): matorrales (arriba) y herbazales (abajo).



Nota: Coeficientes de correlación Pearson (paramétrico) y Spearman (no paramétrico): Valores positivos cercanos a 1, significan relación proporcional de alta intensidad entre variables. El valor $p < 0,05$, refleja correlación significativa con nivel de confianza de 95%. Formaciones vegetales monitoreadas según homologación de la COT en base a monitoreos de transectas (detalle en sección 1.5). Fuente: Elaboración propia

b. Relación del NDVI con variables hidroclimáticas

Las correlaciones estimadas, no muestran una relación significativa (valor $p < 0,05$) del NDVI promedio anual (NDVI total, NDVI herbazales y NDVI matorrales) con las variables hidroclimáticas precipitación anual y evaporación anual (**Figura N° 13-166**).

Por otra parte, las correlaciones estacionales del NDVI con la precipitación anual sugieren diferencias según el tipo de formación vegetal, sin embargo solo los herbazales alcanzan significancia estadística $< 90\%$. En los matorrales, la mayor relación lineal con el NDVI se determinó en el otoño del año siguiente al de las precipitaciones (*Lag +1*), con coeficiente significativo de hasta 0,594. Para los herbazales, esto ocurre durante el invierno con coeficientes de Pearson de 0,529 y Rho Spearman de 0,531, y coeficientes $p < 0,07$ (**Tabla N°13-61**).

Las relaciones estacionales de la precipitación con el NDVI, muestran que los herbazales responden en más corto plazo a la escasez o superávit hídrico del Salar, principalmente en invierno y verano del mismo año; mientras que los matorrales (con especies menos hidrófilas), tienen una respuesta de mayor plazo, incluso durante el otoño del año siguiente (**Tabla N°13-61**).

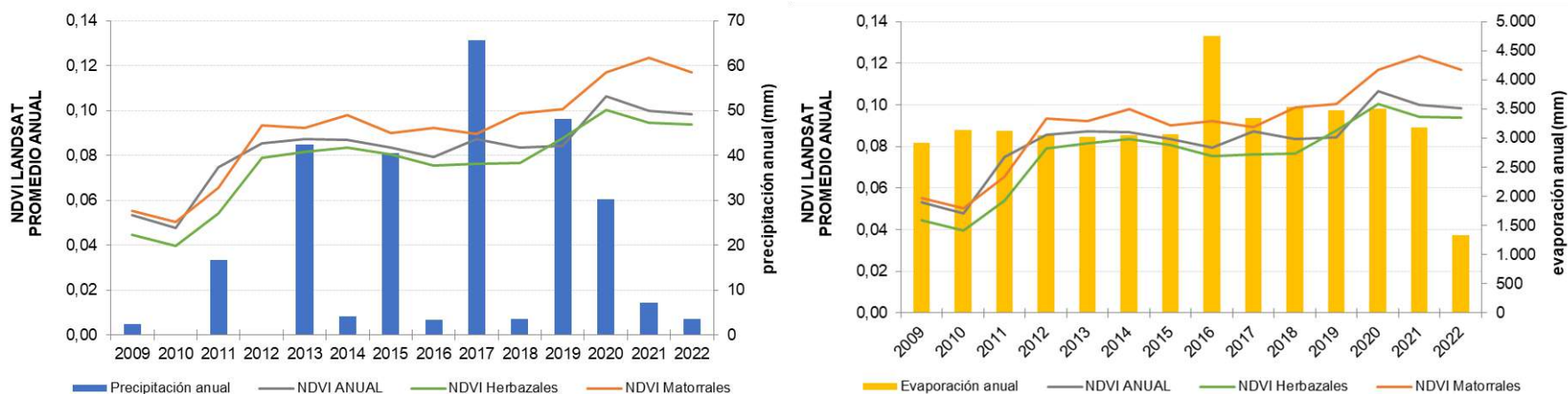
Tabla N°13-61. Coeficientes de correlación lineal del NDVI promedio por estación, obtenidos desde imágenes Landsat 2009-2022 con la precipitación anual (estación meteorológica de la Planta Albemarle) en formaciones de herbazales y matorrales monitoreadas.

Periodo de NDVI promedio (2009-2021)	HERBAZALES		MATORRALES	
	Pearson	Rho Spearman	Pearson	Rho Spearman
Otoño- Lag+1	0,345	0,396	0,434	0,594 *
Invierno- Lag+1	0,246	0,186	0,335	0,361
Invierno	0,529 **	0,531 **	0,426	0,355
Primavera	0,330	0,407	0,213	0,116
Verano	0,339	0,429	0,159	0,050

Nota: Coeficientes de correlación Pearson (paramétrico) y Spearman (no paramétrico). Valores positivos cercanos a 1, significan relación proporcional de alta intensidad entre variables. *Lag+1* significa rezago del NDVI en un año posterior al de lluvias. Nivel de Significancia de correlación: * $<90\%$ y ** $<95\%$. Sin asterisco, correlación no significativa.

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13-166. Correlación multitemporal del NDVI Landsat promedio con variables hidroclimáticas (anuales en mm): precipitación, evaporación y balance precipitación-evaporación.



VARIABLE HIDROCLIMÁTICA (mm)	NDVI TOTAL		NDVI HERBAZALES		NDVI MATORRALES	
	Pearson	Rho Spearman	Pearson	Rho Spearman	Pearson	Rho Spearman
Precipitación anual	0,283	0,436	0,278	0,421	0,138	0,187
Evaporación anual	-0,112	-0,029	-0,084	0,002	-0,104	0,138

Dónde: * Correlación significativa. Sin asterisco, correlación no significativa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos de la estación meteorológica de la Planta Albemarle.

14 CONCLUSIONES.

A continuación, se presentan las principales conclusiones del sexto año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle, correspondiente a los monitoreos de invierno 2021 (M11) y verano 2022 (M12), además de un análisis sobre la evolución del componente con los valores históricos de la línea de base (2014-2015), monitoreo base (MB0-2016) y los monitoreos de los seis años de seguimiento (M1 a M12; 2016 a 2022). Las conclusiones se presentan de manera ordenada por subcomponente, siguiendo la línea de presentación de este informe.

14.1 En relación con Flora y Vegetación

A continuación, se presentan las principales conclusiones del sexto año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle, correspondiente únicamente al monitoreo de verano 2022 (M12), ya que el monitoreo de invierno 2021 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y seguridad al área de estudio. Además de un análisis sobre la evolución del componente con los valores históricos de la línea de base (2014-2015), monitoreo base (MB0-2016) y los monitoreos de los seis años de seguimiento (M1 a M12; 2016 a 2022). 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 sexto 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 sexto año de monitoreo se describen 37 formaciones vegetales, 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 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, que representan diferencias no biológicas y que reorganizan la configuración de las unidades en estudio. Particularmente, en M12 se generaron 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 en la cartografía de vegetación.

En relación a las formaciones vegetales caracterizadas a través de transectas, en M12 (verano-post lluvia 2022) 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 **riqueza florística** de las formaciones vegetales, esta se mantiene similar en los seis 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 (M9 y M10) se registró una especie adicional en Tilopozo (T29; *Eleocharis* sp.) en verano 2021, manteniéndose este registro en el último monitoreo de verano 2022 (M12), sumando además el registro de *Puccinellia frigida* que no se registraba desde M4.

Respecto del análisis de las **coberturas de las transectas** en el periodo de seguimiento (2016-2022), se puede observar, en algunas transectas, un descenso de las coberturas vegetales y asimismo un aumento en la cobertura de rastrojos (para todos los sectores al menos una transecta), aunque con algunas diferencias. Peine, siendo el sector con mayor cobertura vegetal, es el que presenta mayores variaciones entre monitoreos, y el sector de La Punta y La Brava es el que presenta una disminución en forma más paulatina de la cobertura vegetal al sexto año de seguimiento. Los sectores Tilopozo y Aguas de Quelana presentan igualmente una disminución de la cobertura vegetal desde MB0, pero con menor rango de variación desde MB0 a M12 para la cobertura vegetal. Cabe destacar, que en M10 (verano 2021) se registró un aumento de la cobertura promedio en sector Peine con respecto a M9 (en 6 de 9 transectas), y si bien en M12 (verano 2022) disminuye nuevamente la cobertura vegetal, ésta sigue siendo mayor a la registrada en M7 y M9 (inviernos 2019 y 2020, respectivamente). Mientras que en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava y Aguas de Quelana el descenso registrado en M12 es el mínimo registrado de todos los monitoreos, incluyendo MB0. Para la cobertura de rastrojos se observa un aumento general de la cobertura promedio en M12 para todos los sectores, mayor que MB0, aunque para Peine y Tilopozo los mayores registros de cobertura muerta ocurren en monitoreos de invierno (M7 y M9, respectivamente).

Con respecto a variaciones estacionales, solo los matorrales registran una variación más marcada en relación a la estacionalidad, observando una mayor cobertura para algunas transectas en invierno en relación a monitoreos de verano. Para los herbazales, solo algunas transectas indican mayor activación de la cobertura en verano (post-lluvia), como las transectas en herbazales de *S. californicus*, sin embargo, no con una tendencia clara porque puntualmente M4 (verano 2018) fue un monitoreo marcado al descenso en las transectas del sector Peine y en el caso del herbazal de *J. balticus* se observa una recuperación de la

cobertura en M7 (invierno 2019) y para algunas transectas de *D. spicata* hay monitoreos de invierno y verano con alzas de cobertura para ciertas transectas, por ejemplo T20 de Tilopozo aumenta su cobertura en M4 (verano 2018) y M7 (invierno 2019), la transecta T09 en Peine aumenta en una campaña de invierno (M7), la transecta T08 de Peine aumenta en M10 (verano 2021). Además, en el sexto año de monitoreo no se tiene información de invierno y en forma generalizada, con algunas excepciones, los registros de cobertura del verano 2022 (M12) tienden a ser menores que los del verano anterior (M10).

Al relacionar la variación de cobertura vegetal entre monitoreos, estos reflejan, en general, una variabilidad desde MB0 a M12, 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. Mayor cobertura en M12 en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0) en solo una transecta en el herbazal de *D. spicata* (T21 en Tilopozo).

En 10 transectas las variaciones registradas hasta M12 presentan menos del 10% de variación en la cobertura según lo registrado en MB0 (siete en Tilopozo y tres en Peine).

En 11 transectas las variaciones son entre un 10 y 20% de la cobertura vegetal (T19 y T23 en Tilopozo, T08, T06 y T07 en Peine, T11 y T12 en La Punta, T10 en La Brava y T15, T16 y T17 en Aguas de Quelana), generalmente variaciones mayores que las registradas en el monitoreo de verano anterior (M10, verano 2021) pero algo menores en algunas transectas que lo registrado en M9 (invierno 2020).

Finalmente, una variación entre un 20% y 40% de la cobertura desde MB0 a M12 se registran seis transectas, las cuales presentan una variación en aumento desde monitoreos anteriores (T03 y T04 en Peine, T13 en La Punta y T18, T30 y T24 en Tilopozo), destacando las últimas dos transectas con una variación mayor con un descenso del 51% de la cobertura en T29 (Tilopozo) y de un 80% en T01 (Peine), pero éstas registran fluctuaciones de alzas y disminuciones entre monitoreos.

No obstante, entre estas variaciones, la transecta T26 en Tilopozo y T10 en La Brava, 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% en MB0 y M1; T26, 7,8% en MB0 y M1). Por el contrario, las transectas T29 y T01, en herbazales de *S. californicus*, si bien presentan unos de los mayores descensos desde MB0, continúan presentando altas coberturas vegetales en M12, donde T01 presenta un 127% de cobertura absoluta (M12) de 207% en MB0 y un 84,8% (T29) de un 136% en MB0.

Asimismo, los herbazales de *S. californicus* demuestran la mayor variabilidad, ya sea por su efecto interanual o estacional, además de las intervenciones antrópicas ocurridas (incendios), observándose en sus registros variables de cobertura vegetal y uno de los mayores registros de cobertura muerta en ciertos monitoreos. No obstante, siempre han presentado la mayor

cobertura absoluta del área en todos los monitoreos, con coberturas superiores o cercanas al 100%, tanto en Tilopozo y Peine, destacando solo dos registros más bajos durante el seguimiento, correspondiente a un 84,2% de cobertura vegetal en T02 en invierno 2018 (M5) y un 84,8% registrado en este monitoreo en T29 (verano 2022, M12).

En términos comparativos, al sexto año de monitoreo las variaciones observadas muestran un descenso general de la cobertura vegetal a nivel de transectas respecto de MB0, pero sin marcar una tendencia clara al tener variaciones entre monitoreos además de la falta de datos en ciertas estaciones (verano M8 e invierno M11). No obstante, las fluctuaciones de cobertura son evidentes al estudiar los análisis en estos 6 años, en los diferentes puntos, mostrando una diversidad de comportamientos según el tipo de formaciones y localizaciones de éstas, además de las influencias climáticas como la estacionalidad en algunas transectas y en general la variación interanual. Por lo que continuar el análisis en un periodo más amplio puede ser clave para establecer una tendencia más clara, apoyada probablemente con mayor información de otras formaciones dentro del sistema y análisis puntuales en transectas que han presentado mayor variación, considerando que el sistema, en general, venía de dos años consecutivos con falta de lluvias estivales (2020 y 2021) y en el último verano con lluvias puntuales y menores a 10 mm para todo el periodo estival.

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 24,4% (1.453 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 seis 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 seis 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 seis periodos, aunque con un leve aumento en los registros de verano 2021 (16,9 hectáreas) y verano de 2022 (16,6 hectáreas), con respecto a los registros de 2018 a 2020. 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 quemas 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 en el presente una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector.

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 12 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia, en verano 2021 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.

En total, considerando el total acumulado para las 12 campañas (de invierno 2016 a verano 2022), la riqueza es de 58 especies de vertebrados, con una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 44 especies de aves y 11 especies de mamíferos, correspondientes a un subconjunto de las 62 especies registradas en la línea base y varios años entre 2006 y 2015, descritas en PMB, 2015. Además se registraron 17 especies nuevas no registradas en ese periodo.

Los tres sectores presentan una riqueza acumulada que varía entre 40 especies en el sector de Tilopozo, a 23 especies en el sector de La Punta y La Brava, 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.

En cuanto a la caracterización de la fauna detectada en todo el monitoreo (posterior al histórico):

De acuerdo a su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile, en tanto que otras 55 especies son nativas, y finalmente, una especie es catalogada como introducida.

De las 58 especies de fauna detectadas, 24 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 21 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 24 especies en categoría de conservación, nueve se consideran amenazadas, es decir, en las categorías 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 (tres especies): en categoría Vulnerable: *Lama guanicoe* (guanaco) y *Vicugna vicugna* (vicuña) y en categoría Casi amenazada, *Puma concolor* (puma).

Ninguna de las especies registradas se considera Monumento Natural.

Del total de especies, cuatro corresponden a especies de baja movilidad, cuatro a especies de movilidad media, y 50 a especies con alta movilidad. En relación con las especies especialistas de hábitat, 21 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) y 19 aves (asociadas a ambientes de humedal).

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 cuatro se encuentran clasificadas con un riesgo alto, nueve se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 44 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A la única especie introducida (el burro), no le fue asignado 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 2016 (16 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 2022 (120 ejemplares, con censo incompleto en las lagunas de Peine), destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas (salvo en verano 2021 y verano 2022, 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 campañas⁹⁶, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, seguido por el matorral, la quebrada y el humedal pajonal. 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%. La yaca del norte y la lauchita de pie sedoso solo se registraron en la campaña de verano 2019, con un IDR de 0,8%. En particular, para las aves, los parámetros son mayores en el Monitoreo que en la Línea de Base (ej. mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos)⁹⁷, 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 y verano 2022, 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,

⁹⁶ Excluyendo el monitoreo de verano 2021 y verano 2022, sin muestreo o incompleto de las lagunas de Peine por restricción de acceso.

⁹⁷ Idem nota 6

para el sistema Peine no podría compararse el verano 2021 y verano 2022, dado que no se efectuó monitoreo de aves en el sector.

El patrón de dominancia de flamencos y la comparación de Monitoreo PMB versus Línea de Base se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema lagunar Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). 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 y 2021, 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 sexto año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle. Las conclusiones se presentan de manera ordenada por subcomponente, siguiendo la línea de presentación de este informe.

- *En relación con Tapetes Microbianos*

Los resultados del registro de tapetes microbianos en los sistemas lagunares: Sector Peine conformada por Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna; Sector La Punta-La Brava conformada por Laguna La Brava y Laguna La Punta y el Sector Vegas de Tilopozo, indica que de las doce campañas realizadas, la primera campaña invierno 2016 mostró que el 75% de las estaciones de monitoreo presentó tapetes microbianos, que en las campañas siguientes de verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018, verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, el 68% de las estaciones de monitoreo presentó estas comunidades microbianas; dicho descenso se debe puntualmente a la presencia de tapetes microbianos en la estación TB-2 del Sector de Tilopozo, que sólo se registró en la campaña invierno 2016. En la campaña verano 2021, el 62,5% de los sectores presentó comunidades microbianas. Cabe destacar que la campaña verano 2021 no se pudo ingresar al sector Peine y sólo se muestreó el sector La Punta-La Brava y Vegas de Tilopozo. Además de señalar que la campaña verano 2020 no se realizó debido a las restricciones sanitarias producto de la pandemia COVID-19. Finalmente, en la campaña invierno 2021, se volvió a registrar un 68,8% de estaciones con presencia de tapetes microbianos, mientras que en verano 2022, sólo se detectaron tapetes en el 62,5%. Esto, dado que hubo estaciones del Sector Peine, (S-6A, S-9 y SA-25) que no pudieron ser muestreadas.

- *Respecto a los periodos de monitoreos invierno 2020 y verano 2022*

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 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 rosada y/o púrpura. Finalmente, en la macrozona profunda, se hallaron principalmente capas de tonalidad marrón. Cabe destacar que se realizó monitoreo parcial del Sector Peine, debido a restricciones de acceso en campaña verano 2022.

Sobre el número de capas promedio, para las campañas invierno 2021 y verano 2022, se destaca la variación de este parámetro en Laguna Saladita, mientras que se mantuvo similar en Laguna Interna, correspondientes al Sector Peine, respecto a invierno 2021. Respecto al

Sector La Punta-La Brava, se observó una variación de las capas promedio en Laguna La Punta, mientras que Laguna La Brava, se mantuvo estable. Estas variaciones, podría deberse a la falta de estaciones muestreadas, en lo relativo al Sector Peine, mientras que en Sector La Punta-La Brava, se debería a la falta de tapetes sumergidos en la estación LP-24. Por otro lado, la escasa variación en el número de capas no implica que no existan cambios en las estructuras de los tapetes, donde predominó la Tipología 1 en ambas campañas de monitoreo, en el Sector Peine, mientras que en el Sector La Punta-La Brava, predominó la Tipología 2 en Invierno 2021 y la Tipología 1 en verano 2022.

El máximo valor de espesor (30 mm), correspondiente a invierno 2021 fue registrado en Laguna Salada (S-9), mientras que el menor espesor (1,3 mm) fue detectado en Laguna La Brava (LB-1). En cuanto a nivel de espesor promedio, el mayor valor fue registrado en Laguna Salada (S-9) con 23,3 mm, mientras que el menor valor fue de 4,3 mm, detectado en Laguna Interna (I-11). Respecto a verano 2022, los mayores espesores (13 mm), fueron detectados en Laguna Interna (I-17), Laguna La Punta (LP-23) y Laguna La Brava (LB-3), mientras que el menor espesor (1 mm), fue observado, también, en Laguna La Punta (LP-24). Referente al valor promedio, se pudo observar que Laguna Interna (I-17) mostró el mayor espesor promedio (11,7 mm), mientras que el menor valor promedio fue detectado en Laguna La Punta (LP-24), con 3,3 mm.

Respecto a la morfología de los tapetes, en Laguna Salada (invierno 2021) se caracterizaron por presentar una estructura plana con estratificación uniforme de capas pigmentadas. 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 2021 y verano 2022, no registró presencia de tapetes microbianos.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2021 la presencia de microbialitos (I-11, LP-23, LB-1) y de evaporitas (LP-24), así también para la campaña verano 2022 tanto de microbialitos (I-11, LP-23, LB-1, LB-3) 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 observó la presencia de tapetes Tipología 1 en las doce campañas realizadas a la fecha. Estos tapetes predominaron en invierno 2016, verano 2017, invierno 2017, verano 2018 e invierno 2018, sin embargo, en la campaña verano 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, tanto en Sector Peine (invierno 2020) como en Sector La Punta-La Brava (verano 2021), acompañado de un aumento de Tipología 3 en Sector Peine (invierno 2020). No obstante, en invierno 2021 y verano 2022, se observó un nuevo aumento, en la prevalencia de la Tipología 1 principalmente en el Sector Peine, mientras que en el Sector La Punta-La Brava, este aumento fue observado en verano 2022; esto, como consecuencia en el retroceso, principalmente, de la prevalencia de la Tipología 2. 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.

En general, los tapetes de Tipología 1 durante las doce 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 ambas 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 relativa disminución en el número de capas observadas, tanto en Sector Peine (Laguna Saladita) como en La Punta-La Brava (Laguna La Punta), en verano 2022, respecto a invierno 2021.

Respecto al Sector Peine, a diferencia de lo observado en invierno 2020, se puede observar que en invierno 2021, se detectó variaciones en Laguna Saladita (disminuyendo 1 capa promedio) y en Laguna Interna (aumentando 1 capa promedio). Desafortunadamente, dado que este sector no pudo ser muestreado en verano 2021, no se puede comparar con los datos obtenidos en verano 2022. Respecto al Sector La Punta-La Brava, similar a lo observado entre invierno 2020 y verano 2021, en invierno 2021 y verano 2022, las capas promedio se mantuvieron estables, excepto por una leve disminución en Laguna La Punta, en verano 2022. Respecto al espesor de tapetes en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, 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) y Laguna Salada en invierno 2021 (13 mm).

A partir de la totalidad de campañas de monitoreo (12), 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 2021 y verano 2022, tanto en el Sector Peine (I-11) 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).

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 2 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.

Por último, para el caso del sector Tilopozo, pese a que en el PMB no se incluyó la variable Tapetes en sector Tilopozo, sólo se ha evidenciado, a la fecha, la presencia de tapetes microbianos en la campaña de invierno 2016, durante las campañas siguientes de verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018, verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021, invierno 2021 y verano 2022, no se han detectado tapetes en este sector.

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 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 VII⁹⁸ y VIII.⁹⁹

Para el área de estudio, y considerando los 9 monitoreos, la **conductividad eléctrica** varía entre 654,6 y 34.940 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Lo que determina que 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 o superior a 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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 5-2, S 6-1 y S 6-2), los cuales presentan valores superiores en algunas evaluaciones, igual comportamiento presenta este parámetro en **Peine**, sector en el cual los puntos S 10 y S 12 presentan valores superiores. En **Tilopozo** la situación es similar, destacando algunos puntos con valores superiores (S 2, S 1, S 7-1, los cuales a partir de M6 aumentan la conductividad eléctrica a para la mayoría de los monitoreos. 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 fundamentalmente a las características fisicoquímicas de los suelos, las cuales condicionan el comportamiento de los factores que influyen en el aumento a 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.

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 en parte al cambio de laboratorio y no completamente a condiciones ambientales de los puntos, las restantes categorías participan con un menor número de puntos.

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

⁹⁸ 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)

⁹⁹ 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).

resultados, y en estos sectores tanto los puntos con las concentraciones más altas como las menores, corresponden en general a los mismos. Sin embargo, destaca el aumento en el porcentaje de materia orgánica para la mayoría de los puntos entre M7 y M12, lo que podría estar relacionado con el cambio de laboratorio, pero es necesario disponer de mayor información para corroborar esto, o que sólo corresponde a cambios ocurridos en el suelo en las 4 últimas evaluaciones.

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 9,2 (**neutro, medianamente básico, moderadamente básico, ligeramente alcalino y alcalino**), siendo los suelos de mayor frecuencia donde el pH es **moderadamente básico y ligeramente alcalino**, y con una menor proporción los suelos de pH **medianamente básico**, y 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**, excepto en M5 donde se observa una acidificación de los suelos y en la mayoría de los puntos dominan el pH **moderadamente básico**.

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 M12 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 diferencia estacional, 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 se debería 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, y 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 y en algunos puntos se observan valores muy superiores, principalmente para 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, y en general en la mayoría de los puntos la concentración se encuentra bajo los 10.000 mg/kg y sólo en algunos puntos estos valores son muy superiores 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, 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 velocidad de infiltración del agua dominante de **alta** a **muy alta**, siendo las permeabilidades más bajas muy escasas.

En relación con los factores que determinan la velocidad de infiltración del agua 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 144 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, tanto M2 como en M4 presentan valores mayores que los monitoreos indicados anteriormente siendo ambos estivales.

Respecto a M7, M9, M10 y M12, que presentan valores muy superiores a los 6 anteriores y dado que, se efectuó cambio de laboratorio, estos resultados podrían ser atribuibles a este cambio, pero confirman lo indicado anteriormente en relación a la estacionalidad, ya que M7 y M9 son invernales, tanto M10 como M12 son estivales. En M10 la concentración de nitrógeno es mayor a los 2 anteriores, mientras que en M12 se observa una disminución respecto a la anterior pero mayores que los determinados para M7 y M9.

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 y M4 la categoría más frecuente es **media** y luego **baja**, la **muy baja** sólo se presenta en el punto (S 4-1) en M4. Si no se considera 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 M12, con valores más alto, pero presentan un comportamiento similar a los anteriores, es decir, presencia de valores **medios** en los monitoreos invernales y ausentes en el 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 destacando: clima (temperatura, precipitaciones, radiación), estacionalidad de medición, vegetación, topografía, orientación de la pendiente, tipo de suelo, material parental, presencia de microorganismos, entre otros. Sin embargo, es necesario destacar que la mayoría de estos factores son irrelevantes dado la proximidad de los puntos de muestreo, excepto 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 dado la diversidad de los materiales que lo constituyen.

En cuanto al **potasio disponible** y de acuerdo con los resultados de los monitoreos, en el área de estudio se presentan valores muy disímiles, tanto a nivel de sector como también de punto de muestreo, principalmente en los monitoreos M1, M2, M3, M4 y M9, mientras que en M5, M6, M7, M10 y M12 la variación entre puntos es menos. 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, estando estas variaciones no están 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 similitud estacional.

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**, aun cuando en algunos puntos de los monitoreos posteriores se observa concentraciones que varían de **baja** a **muy alta**.

Tanto en **Peine** como **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos el fósforo disponible es muy bajo, a partir de M2 la disponibilidad es mayor, no observándose 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 monitoreos, siendo un reducido número de puntos donde ésta 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.

En el sector de **La Punta-La Brava**, se reconocen 4 texturas y 5 clases texturales, correspondiendo estas últimas a **franca, franca limosa, franca arenosa, arenosa y areno francosa**. Mientras que, **Peine**, se definen 6 texturas con 10 clase texturales, siendo estas **arcillosa, franca arcillosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa, franca, limosa, franco arenosa, areno francosa, franco limosa y arenosa**, y en **Tilopozo**, se definieron 5 texturas con 8 clase texturales, correspondiendo estas últimas a **franco arcillosa, franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franca, franco limoso, franco arenoso, 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** en 9 puntos a profundidad de trabajo, este número descendió a 8 en M3, a 7 en M6, 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 ambiental, 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 de 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 que toda la variación observada aun cuando los puntos de muestreo se encuentren muy próximos uno de otro, y no implica necesariamente influencias de actividades antrópicas, 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

La calidad de agua en invierno 2021 y verano 2022 de los sistemas de lagunas del sector Peine, La Punta y La Brava, se caracterizaron por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica (máximo en La Brava en verano 2022 con 111900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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 altos valores de bicarbonato y alcalinidad total, junto a altas temperaturas acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 28,42°C en LB-2 y mínimo de 14,3°C en S-10, ambos en verano 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 3929 y 4551 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y salinidad 2 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 de 2017, 2018, 2019 y 2022, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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 sexto año de monitoreo, se puede señalar que no existen cambios en los parámetros evaluados que puedan ser asociados al proyecto. Si bien, hubo diferencias en algunos parámetros respecto a los registros de LB, tales diferencias pueden deberse a cambios propios de la variación natural de estos sistemas acuáticos salinos, 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), 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 que los sedimentos de esta zona marginal del Salar que corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos.

Los análisis granulométricos realizados en invierno 2017, verano 2018, invierno 2018, verano 2021 e invierno 2021, indican que se obtuvieron tamaños de grano medio principalmente entre *arena muy fina* y *arena media*, lo que corresponde a un rango más acotado de tamaño de grano medio que el estimado en la línea base el cual estuvo entre limo y arena muy gruesa.

En cuanto a las comunidades biológicas y en términos históricos y campañas de monitoreo, se detectaron riquezas en general dentro de los rangos establecidos previamente en la línea de base, y abundancias variables en función del sector evaluado.

En algunos componentes como el fitobentos, fitoplancton y zooplancton, se observaron en general valores menores de abundancia en periodos de invierno.

Por otra parte, destaca la ausencia de registros en verano 2020 en todos los sectores, en verano 2021 y 2022 particularmente en Peine, que tal como se indicó previamente, 2020 no se ejecutó producto de la pandemia COVID-19, en verano 2021 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 cuanto a la comunidad de fitobentos en invierno 2021, en el sector **Peine** se registraron riquezas y abundancias dentro del rango de la LB del PMB. Excepto, la estación SA-25 en la laguna Saladita e I-17 en laguna Interna que presentó altos valores de abundancia. Para fitoplancton, en general, las riquezas y abundancias fueron bajas en la mayoría de las estaciones respecto del rango de variación de la LB del PMB, con valores cercanos al límite inferior del rango LB.

Respecto de la riqueza de géneros y abundancias, en verano 2022, para fitobentos y fitoplancton se detectó que los registros obtenidos, en general, están contenidos dentro del rango de variación de la LB. Para fitobentos, se observaron valores por sobre el límite superior de la LB para la abundancia, en las estaciones S-5 de laguna Salada e I-17 de laguna Interna. En tanto, para el fitoplancton, la excepción fue observada en la estación I-11 e I-17 ambas de la laguna Interna para la riqueza con un registro bajo el límite inferior de la LB y en la estación I-17, para la abundancia con un valor bajo el límite inferior del rango LB.

Respecto de las lagunas **La Punta-La Brava**, para fitobentos se observaron riquezas dentro del rango de variación de la LB para ambos periodos de invierno 2021 y verano 2022. En tanto, los registros de abundancias fueron mayores en verano 2022. Para fitoplancton, se observó registros ligeramente mayores de riqueza en verano 2022. En cambio, la abundancia total presentó registros bajos (valores cercanos al límite inferior de la LB) en verano 2022, no obstante, dentro del rango de variación de la línea de base.

Para el Sector de Peine y La Punta-La Brava, en cuanto a las comunidades de fitobentos y fitoplancton se observaron riquezas similares, más bajas en Peine (entre 4 y 12 géneros fitobentos y 2 y 7 géneros fitoplancton) en invierno 2021 y más altas (entre 7 y 16 géneros fitobentos y 5 y 14 géneros fitoplancton) en La Punta-La Brava en verano 2022. En cuanto a las abundancias de invierno 2021, para fitobentos fueron mayores en el sector Peine respecto de La Punta-La Brava, en tanto, para fitoplancton fueron similares entre sectores.

En verano 2022, las abundancias fueron variables para ambos componentes, destacando para fitobentos registros por sobre el máximo de la línea base en algunas estaciones de Peine (S-5 e I-17 fitobentos) y valores máximos en todas las estaciones de las lagunas La Punta y La Brava. En cambio, para el fitoplancton, se registraron bajos valores de abundancias en ambos sectores.

Por último, el sector de **Tilopozo**, para fitobentos se observaron riquezas y abundancias dentro del rango de variación obtenido en el monitoreo de invierno. En tanto, para fitoplancton, la riqueza fue similar entre invierno y verano y la abundancia registrada mayor en verano.

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 2021 y verano 2022, sobre todo en esta última campaña se observaron altas abundancias para el fitobentos y bajas abundancias para el fitoplancton respecto del registro histórico, lo que podría atribuirse a la disminución de la altura en la columna de agua en las lagunas Salada y Saladita en Peine, y en la laguna La Brava en La Punta-La Brava. Lo que conlleva a una mayor penetración de la luz en las lagunas, favoreciendo el aumento de microalgas bentónicas, en tanto, la disminución de la altura de la columna de agua podría estar influyendo en las bajas abundancias de las microalgas planctónicas.

Por otra parte, las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad entre periodos estacionales entre otras variables, atribuibles a las variaciones de precipitación y evaporación propias del salar, el nivel y la disponibilidad de agua pueden estar afectando a las comunidades

microalgales bentónicas y planctónicas y zooplanctónica, provocando un efecto 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 2021 como en verano 2022, 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 ambas estaciones que corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial. 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 2021 y verano 2022 e históricamente (campanas 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022), 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 2021 y verano 2022, corresponden a parte del seguimiento de estos sistemas, los resultados mostraron algunas variaciones respecto a los monitoreos previos y los límites de referencia de la LB, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran en general dentro de los rangos de variación para estos sistemas. La continuidad de estas evaluaciones, tanto estivales como invernales, permitirá evidenciar patrones de las dinámicas naturales y detectar eventuales cambios asociados a la operación en los sistemas en estudio.

14.6 En relación con Área Lagunas

De los resultados de las campañas para el año 2021, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante **imágenes de alta resolución**, para la condición de invierno 2021 se encuentran para Sistema La Punta-La Brava por sobre el mínimo histórico y para Sistema Lagunar Peine bajo el mínimo histórico. Para la estación de verano (diciembre 2021) 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 (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en la discusión de este informe.

De la validación del ajuste de las coberturas determinadas para el año 2021, en relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, 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*¹⁰⁰. Se obtuvieron **valores promedios anuales** que van entre 0,85 (Peine) y 0,70 (La Punta y La Brava) desde imágenes de alta resolución; y Landsat 8 con valores promedio entre 0,90 (Peine) y 0,71 (La Punta y 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 entre *alta y moderada*; mientras que los valores *p* indican que existe *evidencia estadística* sobre la *significancia* de la asociación entre las variables Pleiades 1A y Landsat 8. Esto señala que para los sectores que existe una relación entre los resultados provenientes de AR y Landsat, 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

¹⁰⁰ 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).

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).

- Sector La Punta-La Brava

Según el análisis de comparación con registros históricos de línea de base, y según la evolución de la superficie mediante imágenes NDWI-Landsat, para el sector de La Punta y 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. 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 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 calculadas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2021, como parte del PSAH, 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 - 2021.

De las variaciones intranuales y su relación con las precipitaciones, para ambas series intranuales 2013/2014 y 2016/2021, se observa que para La Punta-La Brava, 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 del sector, tendría una relación más directa con la evapotranspiración, dejando la precipitación como un factor secundario, dado que esta produce variaciones significativas de la superficie, sólo para eventos de “alta precipitación”. Considerando el periodo de 2016 a 2021 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una variabilidad estacional, con una tendencia disminución en los últimos años.

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una variabilidad estacional, con una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización en el período 2013-2021, y que particularmente a escala más pequeña de tiempo (2016-2021) también presenta disminución en los últimos años.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector La Punta – 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 del mes de diciembre de 2020 y diciembre de 2021. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR 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. En general, las variaciones estacionales con inviernos de mayor área de ocupación lagunar y veranos con menor superficie lagunar, puede observarse tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, pero en la serie de alta resolución no se observa una diferencia constante entre inviernos y veranos, a excepción de los años 2020 y 2021 donde se puede ver mayor diferencia entre temporadas.

- 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 (2016-2021) donde se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, manteniéndose estable y por sobre los valores históricos. Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 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 – 2021.

Para la variabilidad intranual, en este sector se observa mayor variabilidad de las superficies en el periodo 2013 – 2014, con un periodo 2016 – 2021 que muestra una fuerte alza en septiembre de 2020, ligado eventualmente a un mayor aporte de precipitaciones en agosto 2020, pero de la cual la estación DGA - Peine no cuenta con registro. Desde marzo de 2021 hasta fines del mismo año, las superficies fluctúan en promedio en el rango de los 340.000 m², muy similar a los presentado en el periodo de enero 2018 a enero 2019, sin presentarse aportes de precipitaciones ligados a las fluctuaciones mostradas.

Este acontecimiento podría denotar 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. Considerando la variación de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI en el periodo de 2016 a 2021, no se observa una tendencia clara para este período, en donde las superficies mínimas en verano 2016 y verano 2018 se presentan similares en magnitud a la superficie estimada para verano 2021. Las superficies máximas que se presentan son posteriores a eventos de precipitaciones.

Considerando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI en el periodo de 1985 a 2021, se puede observar diferencias de

comportamientos en tres períodos, con descensos en los años 1985-1996, variación estacional entre los años 1996 a 2013 y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas en el último período 2013-2021, y en donde en este último se ve altamente relacionado con el aporte y flujo que provocarían las precipitaciones locales.

La variación de las superficies semestrales 2021 de alta resolución del PSAH para el sector Peine, se encuentran bajo los mínimos históricos de AR, con una variación estacional no influenciada por la evaporación, donde no se evidencia una correlación 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 históricas en AR 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.

14.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas

Del monitoreo de niveles en los 5 puntos comprometidos como parte del PMB en los Sistemas de Lagunas (3 puntos en La Punta - La Brava, y 2 puntos en Peine), se puede concluir, para el período abril 2021 a marzo 2022 y para cada uno de los puntos de monitoreo, excepto BA-07, que los valores promedio anuales de los niveles del período analizado se encuentran sobre el valor mínimo de la Línea Base e histórico. **Para el sector La Punta – La Brava se observan niveles con una tendencia a la baja en los pozos BA-05, BA-07 y BA-16, y para el sector Peine se tienen niveles estables sin tendencia clara en los pozos BA-21 y BA-22.**

Al igual que en años anteriores, para la estación de verano 2022 (diciembre 2021 a marzo 2022) se presentan los niveles más bajos de la temporada y a diferencia de otros años, si bien durante el verano de 2021-2022 la estación en sector Planta registró precipitaciones en marzo de 2022, fueron de baja magnitud, por lo que no tuvo efectos en los niveles (más allá de la estacionalidad natural que generalmente muestra el inicio de los aumentos en los niveles desde febrero-marzo de cada año).

En marzo 2022, para los pozos del sector LP-LB, respecto de las mínimas registradas en el período, se tienen aumentos del nivel de máximo 3,9 cm (en BA-05 respecto a diciembre), efecto que no es posible constatar en los niveles del Sector Peine, dado que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso a realizar mediciones durante prácticamente todo el periodo estival, excluyendo diciembre.

- **Para los pozos del Sector la Punta - La Brava, se tiene que:**

Se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2021 a marzo 2022) que los pozos del Sector presentan una variabilidad estacional, con valores de niveles más altos (agua más somera) en invierno (junio – agosto) y más profundos en verano (diciembre a marzo), ajustándose al rango histórico. Los niveles promedio en los pozos BA-05 y BA-16 se encuentran por sobre del mínimo de la Línea Base y por sobre del mínimo del periodo histórico, excepto el BA-07. La variabilidad se presenta con ciclos anuales bien definidos, salvo algunas excepciones, como las que se indican a continuación:

- El pozo BA-05 presentó varios valores bajo los mínimos LB/histórico, agrupados en el periodo estival (noviembre 2021 – marzo 2022), registrándose un nuevo mínimo histórico en el periodo analizado (abril 2021 – marzo 2022), específicamente en enero 2022, cuando se registra un nivel de 2.300,100 m s.n.m, valor que supera en 2 cm el mínimo anterior registrado (2.300,122 m s.n.m, correspondiente a enero 2021). Por otro lado, se tiene un peak de nivel en junio de 2021. **Con todo, el promedio anual se encuentra por encima tanto del mínimo de Línea Base como del periodo histórico.**

- El pozo BA-07, luego del peak registrado en febrero de 2019 (post lluvia) el pozo recuperó los niveles, pero el 2020 vuelve a presentar tendencia a la baja vista para los años anteriores. En el período abril 2021 a marzo 2022, si bien en invierno los niveles subieron, en el periodo de verano se registraron los niveles más bajos en el pozo, mostrando una continuidad con la tendencia al descenso de los niveles mínimos, registrándose un nuevo mínimo histórico de 2.299,915 m s.n.m en enero 2022. **Considerando todo lo anterior, el nivel promedio anual se encuentra por debajo del mínimo de Línea Base e histórico.**
- El pozo BA-16 para el período en análisis (abril 2021 a marzo 2022), comienza su ciclo en una condición más favorable que la observada en el periodo anterior, llegando a su máximo nivel en junio 2021, con un valor de 2.300,897 m s.n.m, Luego, se observa una caída abrupta de los niveles en el pozo (similar a lo acontecido posterior a las lluvias estivales de 2019 y 2020), no obstante lo cual después se retoma la tendencia “natural” de los niveles del punto, llegando a un mínimo de 2300,817 m s.n.m en el mes de enero. El promedio anual para BA-16 (2.300,848 m s.n.m.) es superior al promedio del periodo anterior **y está por sobre el mínimo de la Línea Base e histórico.**

En general, para el período de análisis, abril 2021 a marzo 2022, los niveles para los puntos BA-05 y BA-16 se presentan con valores dentro de la variación histórica y fuera de ella, con una tendencia al descenso, en tanto que para el punto BA-07 para el periodo analizado, luego de una recuperación en los niveles constatado el año 2019, se retoma una continuidad con tendencia al descenso de los niveles en el pozo. Asimismo, se registran nuevos mínimos históricos en BA-05 y BA-07.

- **Para los pozos del Sector Peine, se tiene que:**

Considerando que no se pudieron hacer mediciones del nivel para gran parte del periodo estival en este sector, debido a la que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso al sector donde se ubican los pozos, se concluye que en general para el sector de Peine, en los puntos BA-21 y BA-22 los niveles se observan con variabilidad y tendencia estables, y que el **promedio anual de cada uno de ellos está por sobre el mínimo de Línea de Base y sobre el mínimo histórico.**

- Para BA-21, en este último año (abril 2021 – marzo 2022), en el contexto de la imposibilidad de tener mediciones en agosto y septiembre 2021 y entre noviembre y febrero 2022, se registraron valores en el rango de los mínimos de línea de base, sin tanta amplitud en las variaciones (3,7 cm). El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base. Hasta el verano de 2019 los registros de la serie indicaban una tendencia al descenso de los valores mínimos de la serie, y un ascenso de los valores máximos. Esto se revierte en el periodo 2019-2020, aumentando la cota de los valores mínimos, sin embargo, en el período 2021-2022, el mínimo de este período está por debajo el mínimo del año anterior, pero por sobre el

mínimo de 2019. Cabe recordar que, el punto BA-21, se ubica en la zona media de lagunas, por eso su comportamiento se aprecia diferente al de los otros barrenos. De hecho, su variación se ve más parecida a los puntos ubicados en el núcleo, los cuales responden más rápidamente a las precipitaciones y elevan sus niveles para luego tener bajas progresivas en el tiempo.

- Para el pozo BA-22, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero). En este último año (abril 2021 – marzo 2022), en el contexto de la imposibilidad de tener mediciones en agosto y septiembre 2021 y entre noviembre y febrero 2022, se registraron valores dentro del rango de los valores históricos, sin tanta amplitud en las variaciones (2,9 cm). El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base.

Por último, se observa la falta de información en el sector de Peine dado por la toma de caminos producto de una huelga, en agosto y septiembre de 2021, y producto de que la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones al pozo entre noviembre de 2021 y febrero de 2022.

14.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

14.8.1 Niveles Freáticos

Al igual que para el comportamiento de las lagunas, en relación con Niveles Freáticos, se observan tendencia distintas de los niveles freáticos en el sector La Punta – La Brava y el Sector Peine.

En el **Sector La Punta - La Brava**, los niveles presentan una tendencia sostenida al descenso en todo el período de registro, incluyendo el período de línea base. Dicho descenso es mayor en los pozos BA-05, BA-07 y presenta la misma tendencia de descenso en la superficie lagunar. Es importante consignar que respecto al descenso de niveles de las aguas subterráneas, la Superintendencia del Medio Ambiente sancionó a Minera Escondida por su responsabilidad en los hechos y que en la actualidad la comunidad de Peine interpuso una demanda por daño ambiental contra la misma empresa.

Para el **Sector Peine**, considerando todas las mediciones a la fecha y del análisis de tendencia de los niveles promedio no se observa una tendencia al descenso durante la operación de Albemarle. Es relevante indicar que en los puntos BA-21 y BA-22, existen periodos con ausencia de datos por la restricción de ingreso a las lagunas, dada la época de reproducción de flamencos.

Considerando niveles como una de las variables de estado del análisis de estado ecológico del sistema, 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 mejor flujo de recarga del agua subterránea en el lugar.

14.8.2 Vegetación Azonal

En cuanto al análisis de estado ecológico del sistema, se tiene para vegetación que:

Respecto al análisis de cambios en la cobertura vegetal de los sectores y en la estructura comunitaria de la vegetación mediante transectas, en el sistema La Punta-La Brava se observa 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). Mientras que el sistema de Peine, si bien también presenta variaciones de coberturas entre monitoreos, no presenta una tendencia clara durante los 6 años de seguimiento.

Respecto a la variación de la cobertura en las transectas, en los seis años de monitoreo (2016-2022), se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, y en algunas transectas se observa una tendencia al descenso desde MB0 al sexto año de monitoreo, como es el caso de las transectas asociadas al herbazal de *J. balticus* (T18, T31), al herbazal de *D. spicata* (T21 y T26) y todas asociadas al sector de Tilopozo o T11 y T10 asociadas al herbazal de *T. concinna* para La Punta-La Brava. Para la transecta T30, puede apreciarse un leve descenso de las coberturas absolutas de vegetación (%), observadas desde el seguimiento M9 (invierno 2019) a verano 2022, lo que debe ser corroborado con los registros sucesivos; el matorral de *T. absinthioides* (T23), no se observa una tendencia general clara, con leve variación estacional con aumento en la cobertura absoluta de vegetación (%) en invierno en relación con la registrada en verano; el matorral de *T. absinthioides* (T24) se observa mayor variabilidad de las coberturas absolutas de vegetación entre los seguimientos PMB MB0 a M12, sin una tendencia definida.

Particularmente, en los herbazales de *S. californicus* se demuestra la mayor variabilidad, observándose en sus registros variables de cobertura vegetal y uno de los mayores registros

de cobertura muerta en ciertos monitoreos, no obstante, siempre ha presentado la mayor cobertura absoluta del área en todos los monitoreos, con coberturas superiores o cercanas al 100%, tanto en Tilopozo y Peine.

Con respecto a las mayores variaciones de coberturas y de estructura comunitaria, se observan para las especies o formaciones que presentan mayor variación en la cobertura vegetal, como es el caso de la transecta T21 que aumentó su cobertura desde MBO (aprox. en un 100%) y las transectas T26 en Tilopozo y T10 en La Brava que disminuyeron sus coberturas desde MBO, presentando coberturas menores al 10% en todo el periodo de seguimiento.

En relación a la riqueza florística de las formaciones vegetales, esta se mantiene similar en los seis años de monitoreo a nivel de sectores y formaciones vegetales, con algunas diferencias puntuales entre transectas, aunque sin demostrar una variación estacional.

Respecto de la estructura comunitaria, o composición de las especies, durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, se presenta en general estable con cambios específicos en la estructura de ciertas transectas. En términos generales, algunas variaciones presentan cambios significativos, aunque estos cambios no presentan una tendencia clara y se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar.

Respecto a la variación del sustrato salino en las transectas de monitoreo, la comparación de la cobertura salina registrada en las transectas de vegetación, en general se observa estable durante el periodo de seguimiento en los sectores de estudio, con variaciones menores en los dos sistemas y solo con algunas diferencias mayores en algunas transectas.

En base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación en base a lo establecido en el PMB “*se entenderá como un cambio en tendencia si después de 3 años consecutivos (periodos), se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino [...] o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”, se **concluye la mantención del estado ecológico en la cobertura, la composición de las especies y el sustrato salino durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación**, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas que 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 muestra los análisis de larga data del NDVI en el sistema.

En cuanto al análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal mediante el método de extracción de valores de NDVI, se concluye:

En relación a la **comparación de la cobertura activa con línea de base**, la evaluación comparativa de la cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución, considerando la condición post-lluvias de los 6 años que se tienen de monitoreo (2017-2022),

indican una mantención del estado ecológico, con valores de coberturas por sobre el mínimo histórico, tanto en general para el sector (LP-LB y Tilopozo), como en particular, para la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector. Así mismo, los datos de NDVI para el sector Peine, muestran la mantención del estado ecológico, con mayores coberturas en relación al rango histórico para el sector general, y en particular para la formación de herbazal de *S. californicus* aún persisten valores por debajo del rango histórico.

En relación a la **comparación de la tendencia interanual del NDVI Landsat**, la comparación con valores históricos de línea de base del NDVI obtenidos de imágenes Landsat, para el periodo de operación y durante las temporadas estivales (diciembre-marzo) 2016-2022, se observa la mantención del estado ecológico para las superficies con vegetación para los sectores La Punta y La Brava, Tilopozo y Peine, de acuerdo al valor histórico de NDVI con P75%, y en particular para la formación de herbazal de *S. californicus*. Esta tendencia indica una mayor actividad vegetal en los sectores para el periodo operacional.

14.8.3 Áreas Lagunares

Respecto al Sector La Punta -La Brava, las superficies lagunares de los años 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado para el sector (superficie mínima histórica: 316.000 m²), sin embargo, los valores de verano 2020 y 2021 (ambos en diciembre) se encuentran fuera de los rangos registrados en la línea base. 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.

Respecto a las superficies lagunares del sector Peine (superficie mínima histórica: 489.000 m²) se tiene que los datos de agosto 2021 y diciembre 2021 (mismo año) se encuentran fuera de los valores registrados históricamente en marzo y abril por sector, es decir, el último período estaría bajo las áreas obtenidas en marzo del 2006 y abril 2010 a 2013. Lo anterior se confirma también para las superficies de abril 2021 y 2022. Como se puede observar, los valores registrados durante el seguimiento ambiental (2016-2021) y en particular el año 2021, se encontraría dentro de los rangos de variabilidad natural del sistema Peine, el que ha fluctuado de manera dinámica y variable a través del tiempo. Las disminuciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

Considerando el indicador de superficie lagunar y el criterio establecido en la Adenda 5, en su Anexo 2, a la fecha para el sector La Punta-la Brava los valores medidos anualmente en promedio, se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente (2007-2014), sin embargo, los registros de la condición de verano de diciembre 2020 y diciembre 2021 auspician una tendencia a la baja. En el caso del Sector de Peine, los valores medidos anualmente en promedio, también se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente (2007-2014), con la excepción del último período 2021, en donde el registro de diciembre hace disminuir el promedio anual.

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. Editorial Universitaria, Santiago. 2006. 316 pp.
- 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. Ellemberg. *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/info2007sp01.pdf>
- SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en agosto de 2016 del sitio web: <http://www.satimagingcorp.com>
- TUCKER, J. *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. *Remote Sensing of the Environment* 8 (2), 127-150 pp. 1979.
- WOENSBY, C. E. (1973). Modified step-point system for botanical composition and basal cover estimates. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 26(4), 302-303.

15.2 Fauna Vertebrados Terrestres

Artículos científicos y capítulos de libros

- Araya, B. & Millie, G. (1998). *Guía de campo de las aves de Chile* (8ª. Ed.). Santiago, Chile: Universitaria.
- Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. (1996). *Ecology: Individuals, Populations and Communities* (3ª. Ed.). Oxford, UK: Blackwell Science.
- Benavides, E., Ortiz, J.C. & Formas, J.R. (2002). A new species of *Telmatobius* (Anura: Leptodactylidae) from Northern Chile. *Herpetológica*, 58(2), 210-220.
- Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2015) Plan de Manejo Biótico. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico.
- Cei, J.M. (1962). *Batracios de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.
- Clements, F.E. (1905). *Research Methods in Ecology*. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska Publishing Company.
- Cofré, H. & Marquet, P. (1999). Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: An assessment. *Biological Conservation*, 88, 53-68.
- Cuevas, C. & Formas, R. (2002). *Telmatobius philippii*, una nueva especie de rana acuática de Ollagüe, norte de Chile (Leptodactylidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1), 245-258.
- De la maza, M. & Bonacic, C. (Eds.) (2014). *Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile*. Santiago, Chile: Ediciones UC.
- Díaz-Páez, H. & Ortiz, J.C. (2003). Evaluación del estado de conservación de los anfibios en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 509-525.
- Donoso-Barros, R. (1966). *Reptiles de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.
- Glade, A. (Ed.) (1993). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile*. Santiago, Chile: CONAF.
- Iriarte, A. (2008). *Mamíferos de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.

- Iriarte, A. & Jaksic, F. (2012). *Los carnívoros de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna y CASEB.
- Iriarte, A., Lagos, N. & Villalobos, R. (2011). *Los Mamíferos de la Región de Antofagasta*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna Chile Limitada.
- Jaramillo, A. (2005). *Aves de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.
- Johnson, A.W. & Goodall, J.D. (1965). *The birds of Chile and Adjacent regions of Argentina, Bolivia, and Perú, Volume I*. Buenos Aires, Argentina: Platt Establecimientos Gráficos.
- Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, EEUU: Springer Netherlands.
- Mann, G. (1978). Los pequeños mamíferos de Chile (marsupiales, quirópteros, edentados y roedores). *Gayana zoológica*, 40, 1-342.
- Martínez, D. & González, G. (2005). *Las aves de Chile. Nueva guía de campo*. Santiago, Chile: Ediciones del naturalista.
- Martínez, D & González, G (2017). Martínez-Piña, D. & González-Cifuentes, G. (2017). *Las aves de Chile. Guía de campo y Breve Historia Natural*. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2010). *Huellas y signos de mamíferos de Chile*. Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Muñoz-Pedrerros, A. & Yáñez, J. (2009). *Mamíferos de Chile* (2ª. Ed.). Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Núñez, H., Maldonado, V. & Pérez, R. (1997). Reunión de trabajo con especialistas de herpetología para categorización de especies según estados de conservación. *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.
- PMB 2015, Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B Proyecto RWL 2015. "Plan de Manejo Biótico". Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el

Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada.

Podani, J. (2000). *Introduction to the exploration of multivariate biological data*. Leiden: Backhuys.

Rottman, J. & López-Callejas, M.V. (1992). *Estrategia Nacional de Conservación de Aves. Serie Técnica 1*. Santiago, Chile: SAG, División de Protección de los Recursos Naturales Renovables.

Rudran, R., Kunz, T.H., Southwell, C., Jarmann, P. & Smith, A.P. (1996). Chapter 6. Observational techniques for nonvolant mammals. En D.E. Wilson, F.R. Cole, J.D. Nichols, R. Rudran & M.S. Foster (Eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals* (pp.81-104). Washington, DC, EEUU: Smithsonian.

Spotorno, A.E. & Patton, J.L. (2015). Superfamily Chinchilloidea Bennett. En J.L. Patton., U.F.J. Pardiñas. & G. D'Elía (Eds.), *Mammals of South America. Volume 2: Rodents* (pp.762-783). Chicago, IL, EE. UU.: [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>
- 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: Diagnostico 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.

Rioja Molina, A. (2002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., España.

U.S.D.A. 2012. Field book for describing and samplly soils. Versión 3.0.

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

15.5 Limnología

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). Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.

Boletín CIIFEN. Pronóstico Climático Estacional. <https://ciifen.org/>

CADE-IDEPE Consultores. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile. 141 pp.

Cepeda-Pizarro, J. (2013). Variabilidad temporal de algunos parámetros físicos e hidroquímicos de un prado húmedo alto-andino del norte-centro de Chile. *Idesia* (Arica), 31(2), 89-97. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000200013>

- Collado, G.A., Méndez, M. A., Letelier, S. L., Véliz, D. y Sabando, M. C. (2011). Morfología peniana y taxonomía de especies chilenas del género *Heleobia* Stimpson, 1865 (Caenogastropoda: Cochliopidae) junto a una revisión de los ejemplares tipo del Museo Nacional de Historia Natural de Chile. *Amici Molluscarum* (Número especial): 49-58.
- De los Ríos-Escalante, P. R. (2010). Crustacean Zooplankton Communities in Chilean Inland Waters. *Crustaceana Monographs*, 12, 109.
- De Los Ríos-Escalante, P., Adamowicz, S. & Witt, J. (2010). Aquatic fauna in the driest desert on earth: first report on the crustacean fauna of the Loa river (Atacama desert, Antofagasta region, Chile). *Crustaceana* 83(3): 257-266.
- Díaz-Quiroz, C., & Rivera-Rondon, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381–394.
- Dodds, W.K., Jones, J.R., Welch, E.B., 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research* 32, 1455±1462.
- Domínguez, E., Molineri, C, Pescador, M., Hubbart, M. & Nieto, C. (2006). Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSOF, Sofia, Moscow. 646 pp.
- Farías, M. E., Contreras, M., Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Poiré, D. G., Novoa, F. & Visscher, P. T. (2014). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. *Extremophiles*, 18(2), 311–329.
- Fernandez, A., Rasuk, M., Visscher, P., Contreras, M., Novoa, F., Poire, D., Patterson, M., Ventosa, A. & Farias, M. (2016). Microbial diversity in sediment ecosystems (evaporites domes, microbial mats, and crusts) of Hypersaline Laguna Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–18.
- Fernández, H. R. & Dominguez, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán - Facultad de Ciencias Naturales y Instituto Miguel. Lillo. 282p.
- González, E. & Watling, L. (2003). Two new species of *Hyalella* from Lake Titicaca, and redescrptions 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 sepa-rated 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 SouthAmerica. *Annals Limnologie* 31: 233-243.
- Lugo-Ortiz, C.R. & McCafferty. (1999). Revision of SouthAmerican 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 bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales. Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium - CEA. Santiago, Chile, octubre 2015.
- Pennak, R.W. (1989). *Fresh-water invertebrates of the United States*. Third Edition. John Wiley & Sons, New York, New York.
- Pereira, I. & O. Parra. (1984). Algas filamentosas dulceacuícolas de Chile I. Algas bentónicas de la Región de Concepción. *Gayana Bot.* 41 (3/4): 201-224.
- Prescot, G.W. (1970). *How to 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 las 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”.

-
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.

- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 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.
- 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, 2021. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual N°6 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico, comprobante SMA Cód. 125133 de fecha 31 marzo 2022.

16 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Anual N°6 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.