



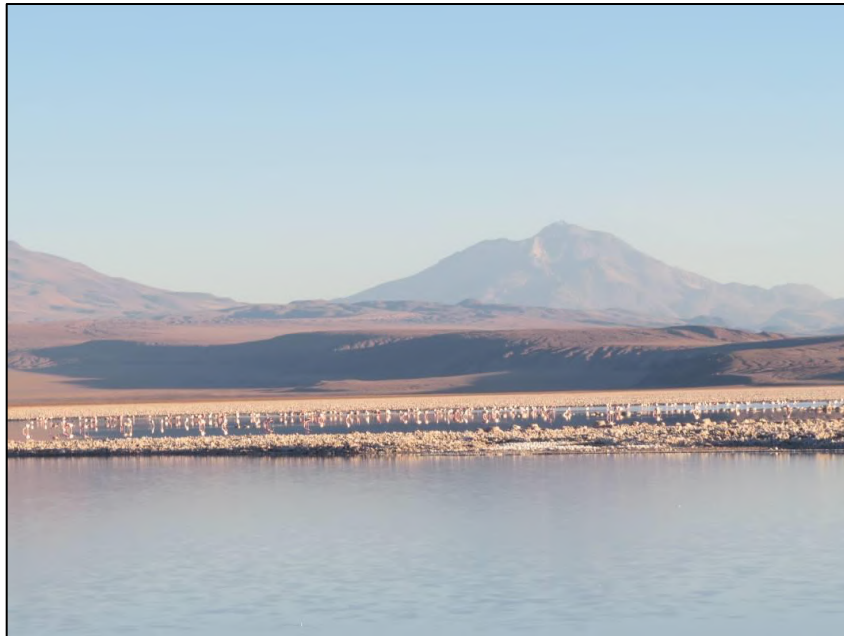
Plan de Manejo Biótico

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

(RCA N°21/2016)”

Monitoreo Invierno 2020 – Verano 2021

Informe Anual N°5



Región de Antofagasta

Agosto de 2021

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN	1
2	INTRODUCCION	46
3	OBJETIVO	57
4	ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME.	57
5	FLORA Y VEGETACIÓN	58
5.1	MATERIALES Y MÉTODOS	60
5.1.1	COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT)	60
5.1.1.1	Descripción del área de estudio	60
5.1.1.2	Ubicación de puntos muestreo	63
5.1.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	65
5.1.1.4	Materiales y equipos utilizados	68
5.1.1.5	Metodología de muestreo.....	69
5.1.1.6	Metodología de cálculo y análisis.....	74
5.1.1.7	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro ...	77
5.1.2	FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	78
5.1.2.1	Ubicación de puntos muestreo	78
5.1.2.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	89
5.1.2.3	Materiales y equipos utilizados	90
5.1.2.4	Metodología de muestreo.....	90
5.1.2.5	Metodología de cálculo y análisis.....	94
5.1.2.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro ...	96
5.1.3	DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI	96
5.1.3.1	Descripción del área de estudio	96
5.1.3.2	Ubicación de sectores para la medición.....	97
5.1.3.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	99
5.1.3.4	Materiales y equipos utilizados	99
5.1.3.5	Metodología de cálculo y análisis.....	102
5.1.3.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.	103
5.2	RESULTADOS	107
5.2.1	RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT).....	107
5.2.1.1	Resultados del muestreo campaña de invierno de 2020	107
5.2.1.2	Resultados del muestreo campaña de verano de 2021.....	123
5.2.2	RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	140

5.2.2.1	Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de invierno de 2020	140
5.2.2.2	Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de verano de 2021	158
5.2.3	RESULTADOS DE DISTRIBUCION Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI.....	176
5.2.4	Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación.....	179
6	FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES	180
6.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	181
6.1.1	Descripción del área de estudio	181
6.1.2	Ubicación de puntos muestreo	184
6.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	192
6.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	192
6.1.4.1	Tipos de muestreo.....	192
6.1.4.2	Diseño de muestreo	192
6.1.4.3	Muestreo de terreno	193
6.1.4.4	Procedimiento de muestreo por taxón	194
6.1.4.5	Trabajo en gabinete post terreno	198
6.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	204
6.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	204
6.2	RESULTADOS	205
6.2.1	Resultados del monitoreo campaña de invierno 2020	205
6.2.1.1	Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres	205
6.2.1.2	Análisis por clase.....	211
6.2.1.3	Composición por ambiente.....	219
6.2.1.4	Similitud	221
6.2.1.5	Abundancia y Frecuencia.....	223
6.2.1.6	Abundancia por ambiente (Densidad).....	225
6.2.2	Resultados del monitoreo campaña de verano 2021	226
6.2.2.1	Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres	226
6.2.2.2	Análisis por clase.....	231
6.2.2.3	Composición por ambiente.....	240
6.2.2.4	Similitud	242
6.2.2.5	Abundancia y Frecuencia.....	243
6.2.2.6	Abundancia por ambiente (Densidad).....	245
6.2.3	Límites considerados en la evaluación	246
7	TAPETES MICROBIANOS.....	247
7.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	248
7.1.1	Descripción del Área de Estudio.....	248

7.1.2	Estaciones de Monitoreo	249
7.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	250
7.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	251
7.1.5	Materiales y Equipos Utilizados.....	253
7.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	254
7.2	RESULTADOS	254
7.2.1	Resultados Campaña Invierno 2020.....	254
7.2.1.1	Aspectos Generales Tapetes Microbianos.....	254
7.2.2	Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos	256
7.2.2.1	Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo.....	261
7.2.2.2	Parámetros físicos y químicos	302
7.2.3	Resultados Campaña Verano 2021.....	309
7.2.3.1	Aspectos Generales Tapetes Microbianos.....	309
7.2.3.2	Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos	311
7.2.3.3	Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo.....	314
7.2.3.4	Parámetros físicos y químicos	338
7.2.4	Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos.....	345
8	SUELO O SUSTRATO	345
8.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	346
8.1.1	Descripción del área de estudio	346
8.1.2	Ubicación de puntos muestreo	346
8.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	349
8.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	350
8.1.4.1	Metodología in situ	350
8.1.4.2	Análisis de laboratorio	351
8.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	355
8.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	356
8.2	RESULTADOS	357
8.2.1	Resultados campaña de invierno 2020.....	357
8.2.1.1	Caracterización suelos	357
8.2.2	Resultados campaña de verano 2021	386
8.2.2.1	Caracterización suelos	386
8.2.3	Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato	414
9	LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS).....	415
9.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	416
9.1.1	Descripción del área de estudio	416
9.1.2	Ubicación de puntos muestreo	416

9.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	419
9.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	419
9.1.4.1	Metodología de muestreo y análisis calidad de agua y sedimentos.....	419
9.1.4.2	Metodología de muestreo flora y fauna acuática	422
9.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	425
9.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	425
9.2	RESULTADOS	427
9.2.1	Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2020 y verano 2021	427
9.2.1.1	Sector Peine	427
9.2.1.2	Sector La Punta y La Brava	431
9.2.1.3	Sector Tilopozo.....	437
9.2.2	Resultados del muestreo campaña de invierno 2020 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)	442
9.2.2.1	Resultados Calidad de agua	442
9.2.2.2	Resultados Calidad de sedimentos.....	446
9.2.2.3	Resultados Biota acuática	449
9.2.3	Resultados del muestreo campaña de verano 2021 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)	474
9.2.3.1	Resultados Calidad de agua	474
9.2.3.2	Resultados Calidad de sedimentos.....	477
9.2.3.3	Resultados Biota acuática	481
9.2.4	Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)	500
10	AREA DE LAGUNAS	502
10.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	505
10.1.1	Descripción del área de estudio	505
10.1.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua.....	508
10.1.3	Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua	508
10.1.4	Materiales y equipos utilizados.....	510
10.1.5	Metodología de muestreo y/o medición	511
10.1.5.1	Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A.....	511
10.1.5.2	Imagen de resolución media – LANDSAT 8	515
10.1.5.3	Procesamiento de las imágenes satelitales	516
10.1.5.4	Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua	517
10.1.5.5	Parámetros espectrales del modelo de clasificación	519
10.1.5.6	Umrales y validación del modelo de clasificación	521
10.1.5.7	Depuración cartográfica de cuerpos de agua	524

10.1.6	Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua.....	525
10.1.7	Fechas de medición	526
10.2	RESULTADOS	526
10.2.1	Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	526
10.2.2	Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar.....	530
10.2.3	Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua	536
11	NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS	536
11.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	537
11.1.1	Área de Estudio.....	537
11.1.2	Ubicación de Puntos de Monitoreo	538
11.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables.....	539
11.1.4	Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.....	539
11.1.5	Materiales y Equipos utilizados	540
11.1.6	Fechas de medición, muestro y/o análisis.	541
11.2	RESULTADOS	542
11.2.1	Resultados de los registros abril 2020 a marzo 2021	542
11.2.2	Límites considerados en la evaluación	546
12	DISCUSIÓN	547
12.1	En relación con Flora y Vegetación	547
12.1.1	Análisis Vegetación (COT)	547
12.1.2	Comparación monitoreo invierno 2020 y verano 2021.....	547
12.1.2.1	Evolución respecto a valores históricos	550
12.1.3	Análisis Flora y Vegetación (Transectas)	552
12.1.3.1	Comparación entre invierno 2020 y verano 2021	553
12.1.3.2	Evolución respecto de valores históricos	559
12.1.4	Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI.....	571
12.1.4.1	Comparación con valores históricos	571
12.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	577
12.2.1	Representatividad del muestreo	577
12.2.2	Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres	578
12.2.3	Análisis por clase	585
12.2.3.1	Anfibios	585
12.2.3.2	Reptiles.....	585
12.2.3.3	Aves.....	586
12.2.3.4	Mamíferos.....	586
12.2.4	Composición por ambiente	587
12.2.5	Similitud	590

12.2.6	Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas)	592
12.2.7	Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas) 602	
12.2.8	Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres	605
12.2.8.1	Riqueza y composición.....	606
12.2.8.2	Abundancia.....	614
12.3	En relación con Tapetes Microbianos	631
12.3.1	Análisis Año 5: Monitoreo invierno 2020 y verano 2021	631
12.3.1.1	Sector Peine	631
12.3.1.2	Sector La Punta – La Brava	632
12.3.1.3	Sector vegas de Tilopozo	636
12.3.2	Análisis evolución inviernos 2016 a 2020	636
12.3.2.1	Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector	636
12.3.3	Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos	640
12.3.3.1	Sector Peine	640
12.3.3.2	Sector La Punta-La Brava	651
12.3.3.3	Sector Tilopozo.....	660
12.3.4	Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas	661
12.3.5	Análisis evolución veranos 2017 a 2021	663
12.3.5.1	Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector	663
12.3.6	Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos	665
12.3.6.1	Sector Peine	666
12.3.6.2	Sector La Punta-La Brava	671
12.3.6.3	Sector vegas de Tilopozo	681
12.3.6.4	Caracterización morfológica pigmentaria, posibles grupos funcionales y comunidades microbianas	681
12.3.7	Presencia de Microbialitos y Evaporitas	682
12.3.8	Evolución de Parámetros Físicos y Químicos.....	684
12.4	En relación con Suelo o Sustrato	692
12.4.1	Análisis comparativo campañas M9 (invierno 2020) y M10 (verano 2021).....	692
12.4.1.1	Conductividad Eléctrica	692
12.4.1.2	Materia Orgánica	694
12.4.1.3	pH	695
12.4.1.4	Salinidad (Sales Solubles)	697
12.4.1.5	Conductividad Hidráulica o Permeabilidad	698
12.4.1.6	Nutrientes	700
12.4.1.7	Humedad	705
12.4.1.8	Textura	706
12.4.1.9	Nivel freático	708
12.4.2	Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 - 2018 – 2019 - 2020 y 2021	709
12.4.2.1	Conductividad Eléctrica	709
12.4.2.2	Materia Orgánica	713
12.4.2.3	pH	717

12.4.2.4	Salinidad	721
12.4.2.5	Conductividad Hidráulica o Permeabilidad	724
12.4.2.6	Nutrientes	728
12.4.2.7	Humedad	740
12.4.2.8	Textura	744
12.4.2.9	Nivel Freático.....	744
12.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos).....	747
12.5.1	Comparación Invierno 2020 y Verano 2021.....	750
12.5.1.1	Calidad de agua	750
12.5.1.2	Calidad de sedimentos	752
12.5.1.3	Biota acuática	753
12.5.2	Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo).....	763
12.5.2.1	Calidad de agua	763
12.5.2.2	Calidad de sedimentos	774
12.5.2.3	Biota acuática	779
12.6	En relación con Área de Lagunas	813
12.6.1	Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base 813	
12.6.1.1	La Punta y La Brava	817
12.6.1.2	Peine.....	829
12.6.2	Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	841
12.7	En relación con Nivel Freático de Lagunas.....	843
12.7.1	Análisis comparativo invierno 2020 y verano 2021	843
12.7.2	Análisis comparativo con valores históricos.....	843
12.7.2.1	Nivel freático en Sector La Punta - La Brava	843
12.7.2.2	Nivel freático en Sector Peine	847
12.8	En relación con el Estado Ecológico del Sistema	851
12.8.1	Sistema La Punta – La Brava	853
12.8.1.1	Vegetación azonal	853
12.8.1.2	Superficie de Lagunas.....	879
12.8.1.3	Niveles Freáticos	882
12.8.2	Sistema Peine	886
12.8.2.1	Vegetación azonal	886
12.8.2.2	Superficie de Lagunas.....	904
12.8.2.3	Niveles Freáticos	907
13	CONCLUSIONES.....	910
13.1	En relación con Flora y Vegetación.....	910
13.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	912
13.3	En relación con Tapetes microbianos	916
13.4	En relación con Suelo o Sustrato	918
13.5	En relación con Limnología.....	925
13.6	En relación con Área Lagunas	928

13.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas.....	930
13.7.1 Para los pozos del Sector la Punta - La Brava, se tiene que:	931
13.7.2 Para los pozos del Sector Peine, se tiene que:	932
13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema	932
14 REFERENCIAS	936
14.1 Flora y Vegetación	936
14.2 Fauna Vertebrados Terrestres	939
14.3 Tapetes microbianos	945
14.4 Suelo o Sustrato.....	947
14.5 Limnología.....	948
14.6 Área de las Lagunas	952
14.7 Nivel Freático en Lagunas.....	956
15 ANEXOS.....	958

FIGURAS

Figura N° 2-1. Delimitación de las Areas de Estudio del Plan de Manejo Biótico	47
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).....	52
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	53
Figura N° 5-1. Área de estudio Vegetación y Flora	62
Figura N° 5-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.....	83
Figura N° 5-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama.....	84
Figura N° 5-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama.	85
Figura N° 5-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama.	86
Figura N° 5-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama.....	87
Figura N° 5-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama.....	88
Figura N° 5-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama.	98
Figura N° 5-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2021 en el Salar de Atacama.	101
Figura N° 5-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2020.....	112
Figura N° 5-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Invierno de 2020.	113
Figura N° 5-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2020.	114
Figura N° 5-13. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2021.....	128
Figura N° 5-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Verano de 2021.....	129

Figura N° 5-15. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2021.	130
Figura N° 5-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> . (inv 2020).....	147
Figura N° 5-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de <i>Juncus balticus</i> . (inv 2020).....	148
Figura N° 5-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> . (inv 2020)	148
Figura N° 5-19. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> . (inv 2020)	149
Figura N° 5-20. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> . (inv 2020) ...	149
Figura N° 5-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> . (Ver 2021).....	165
Figura N° 5-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Juncus balticus</i> . (Ver 2021).....	165
Figura N° 5-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> . (Ver 2021)	166
Figura N° 5-24. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> . (Ver 2021)	166
Figura N° 5-25. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> . (Ver 2021) ..	167
Figura N° 5-26. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> . (Ver 2021)	167
Figura N° 6-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).	183
Figura N° 6-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio.	190
Figura N° 6-3. Categorías de conservación de la UICN.	200
Figura N° 6-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2020.	222
Figura N° 6-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2021.	242
Figura N° 7-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos.....	250
Figura N° 7-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.	252

Figura N° 7-3. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2020.	255
Figura N° 7-4. Espesor de tapetes microbianos (□), Invierno 2020.....	256
Figura N° 7-5. 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 2020.....	257
Figura N° 7-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava, Invierno 2020.....	259
Figura N° 7-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.....	304
Figura N° 7-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.....	305
Figura N° 7-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.....	306
Figura N° 7-10. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos.....	310
Figura N° 7-11. Espesor de tapetes microbianos (□). Campaña verano 2021.	311
Figura N° 7-12. 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. Campaña verano 2021.	312
Figura N° 7-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en el sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.....	313
Figura N° 7-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	340
Figura N° 7-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	341
Figura N° 7-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	342
Figura N° 8-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.	349
Figura N° 9-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.	418
Figura N° 9-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2020).	451
Figura N° 9-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	453
Figura N° 9-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2020).	454
Figura N° 9-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2020).	457

Figura N° 9-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	459
Figura N° 9-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2020).	460
Figura N° 9-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2020).	462
Figura N° 9-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	464
Figura N° 9-10. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Tilopozo (invierno 2020).	466
Figura N° 9-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2020).	468
Figura N° 9-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2020).....	470
Figura N° 9-13. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2020).	471
Figura N° 9-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	483
Figura N° 9-15. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2021).	484
Figura N° 9-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	487
Figura N° 9-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2021).	488
Figura N° 9-18. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	491
Figura N° 9-19. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Tilopozo (verano 2021).	493
Figura N° 9-20. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2021).	495
Figura N° 9-21. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2021).	497
Figura N°10-1. 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°10-2. 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 2020.	513

Figura N°10-3. 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 2020.....	514
Figura N°10-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2020 (izquierda – RGB) y verano 2020 (derecha - RGB)...	515
Figura N°10-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.....	518
Figura N°10-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (raster) a polígonos (shape).....	525
Figura N° 10-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.....	531
Figura N° 10-8. 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 – diciembre 2020.	532
Figura N° 10-9. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.....	534
Figura N° 10-10. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2020.	535
Figura N° 11-1. Área de Estudio	537
Figura N° 11-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine	539
Figura N° 11-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava	545
Figura N° 11-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine.....	546
Figura N° 12-1. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M10) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en sector Tilopozo.	562
Figura N° 12-2. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M10) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en matorral de Sarcocornia fruticosa en sector Aguas de Quelana.	564
Figura N° 12-3. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza por sector.....	568
Figura N° 12-4. Cobertura promedio de otros recubrimientos por sector en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10.	570
Figura N° 12-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2021).	591
Figura N° 12-6. 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 los periodos en Línea de Base y Monitoreo.	617

Figura N° 12-7. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.....	620
Figura N° 12-8. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.	624
Figura N° 12-9. 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.....	625
Figura N° 12-10. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.	626
Figura N° 12-11. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.	627
Figura N° 12-12. 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.	628
Figura N° 12-13. 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).	630
Figura N° 12-14. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).....	634
Figura N° 12-15. Número de capas (□) y distribución de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).....	634
Figura N° 12-16. Espesor (□) de tapetes microbianos. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).....	635
Figura N° 12-17. Espesor (□) de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).	635
Figura N° 12-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2020.	638
Figura N° 12-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2020.....	639
Figura N° 12-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.	641
Figura N° 12-21. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.....	652

Figura N° 12-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores La Punta-La Brava y Tilopozo. Campaña verano, 2017 a 2021.	664
Figura N° 12-23. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Campaña verano, 2017 a 2021.	665
Figura N° 12-24. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine.	666
Figura N° 12-25. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava. Campaña verano, 2017, 2018, 2019 y 2021.	672
Figura N° 12-26. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.	684
Figura N° 12-27. Variación promedio de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	685
Figura N° 12-28. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	686
Figura N° 12-29. Variación promedio de oxígeno disuelto (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	687
Figura N° 12-30. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	688
Figura N° 12-31. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO_3 _mg/L) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	689
Figura N° 12-32. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	690
Figura N° 12-33. Variación promedio de potencial redox (ORP) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.	691
Figura N° 12-34: Resultados análisis laboratorio Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	693
Figura N° 12-35: Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	694
Figura N° 12-36: Resultados análisis laboratorio pH. Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	696
Figura N° 12-37: Resultados análisis laboratorio Salinidad (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	697
Figura N° 12-38: Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica (cm/hr). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	699
Figura N° 12-39: Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	701
Figura N° 12-40: Resultados análisis laboratorio Potasio disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	702
Figura N° 12-41: Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).	704

Figura N° 12-42: Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).....	705
Figura N° 12-43: Resultados profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).....	708
Figura N° 12-44: Resultados C.E ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.	710
Figura N° 12-45: Resultados C.E. ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	711
Figura N° 12-46: Resultados C.E ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6 M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.	712
Figura N° 12-47: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	714
Figura N° 12-48: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	715
Figura N° 12-49: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	716
Figura N° 12-50: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	718
Figura N° 12-51: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.	719
Figura N° 12-52: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	720
Figura N° 12-53: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	721
Figura N° 12-54: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	722
Figura N° 12-55: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	723
Figura N° 12-56: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.	725
Figura N° 12-57: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	726
Figura N° 12-58: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	727
Figura N° 12-59: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	729
Figura N° 12-60: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	730

Figura N° 12-61: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	731
Figura N° 12-62. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	733
Figura N° 12-63: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	734
Figura N° 12-64: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	735
Figura N° 12-65: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	737
Figura N° 12-66: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	738
Figura N° 12-67: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	739
Figura N° 12-68: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.....	741
Figura N° 12-69: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.....	742
Figura N° 12-70: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.....	743
Figura N° 12-71: Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo.....	746
Figura N° 12-72. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	765
Figura N° 12-73. 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.....	766
Figura N° 12-74. 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.....	769
Figura N° 12-75. 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.....	770
Figura N° 12-76. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	772
Figura N° 12-77. 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.....	773

Figura N° 12-78. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	775
Figura N° 12-79. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	777
Figura N° 12-80. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	778
Figura N° 12-81. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	780
Figura N° 12-82. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	783
Figura N° 12-83. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	785
Figura N° 12-84. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	788
Figura N° 12-85. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	790
Figura N° 12-86. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	793
Figura N° 12-87. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	795
Figura N° 12-88. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	797
Figura N° 12-89. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	798
Figura N° 12-90. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	800
Figura N° 12-91. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	801
Figura N° 12-92. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	803
Figura N° 12-93. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.	807
Figura N° 12-94. 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.....	810
Figura N° 12-95. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	812
Figura N° 12-96. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.....	818

Figura N° 12-97. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector La Punta y la Brava.....	819
Figura N° 12-98. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.....	821
Figura N° 12-99. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta y La Brava.....	822
Figura N° 12-100. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.....	824
Figura N° 12-101. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.....	825
Figura N° 12-102. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.....	826
Figura N° 12-103. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.	827
Figura N° 12-104. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	828
Figura N° 12-105. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.	830
Figura N° 12-106. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas e históricas, Sector Peine.....	832
Figura N° 12-107. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.	833
Figura N° 12-108. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.....	835
Figura N° 12-109. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.....	836
Figura N° 12-110. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.	837
Figura N° 12-111. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	838
Figura N° 12-112. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.....	838
Figura N° 12-113. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	840
Figura N° 12-114: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB	845
Figura N° 12-115: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB	846
Figura N° 12-116: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB	847

Figura N° 12-117. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine	849
Figura N° 12-118. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine	850
Figura N° 12-119. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.	855
Figura N° 12-120. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 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>	858
Figura N° 12-121. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 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>	859
Figura N° 12-122. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de la formación de <i>Tessaria absinthioides</i>	860
Figura N°12-123. 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).	863
Figura N°12-124. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en sector Tilopozo.	866
Figura N°12-125. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Juncus balticus</i> , en sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava.	867
Figura N° 12-126. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en sector Tilopozo.	868
Figura N° 12-127. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en La Punta y La Brava.	869
Figura N° 12-128. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorrales de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Sarcocornia fruticosa</i> en sectores Tilopozo y La Punta y La Brava.	870
Figura N°12-129. 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).	872
Figura N°12-130. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, 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.	873
Figura N°12-131. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava.	874

Figura N°12-132. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.	875
Figura N°12-133. 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 pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en el sector Tilopozo- La Punta y La Brava.....	876
Figura N°12-134. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales (pos - lluvia) 2017 a 2021: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.....	878
Figura N° 12-135. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.....	879
Figura N° 12-136. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector La Punta y la Brava	880
Figura N° 12-137. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector La Punta y La Brava.	881
Figura N°12-138. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector La Punta y La Brava.	882
Figura N° 12-139. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.	884
Figura N° 12-140. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.	884
Figura N° 12-141. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.	885
Figura N°12-142. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.	887
Figura N°12-143. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 en el sector Peine.....	889
Figura N° 12-144. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.....	891
Figura N° 12-145. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en sector Peine.....	893
Figura N° 12-146. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en sector Peine.	894
Figura N° 12-147. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en sector Peine.....	895
Figura N° 12-148. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.	896

Figura N°12-149. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.	898
Figura N°12-150. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine	898
Figura N°12-151. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en la superficie con vegetación del sector Peine.....	900
Figura N°12-152. 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 pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en el sector Peine.	901
Figura N°12-153. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* (AR) durante monitoreos de verano 2018 y 2021 en unidades de herbazal de <i>S. californicus</i> en el sector Peine.	903
Figura N° 12-154. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.....	904
Figura N° 12-155. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector Peine	905
Figura N° 12-156. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector Peine.	906
Figura N°12-157. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector Peine	907
Figura N° 12-158. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine	908
Figura N° 12-159. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine	909

TABLAS

Tabla N° 2-1.Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo al Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016.	50
Tabla N° 2-2. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis	54
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.	55

Tabla N° 5-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2020 y verano 2021.	64
Tabla N° 5-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes.	66
Tabla N° 5-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación.	66
Tabla N° 5-4. Rango de valores para la cobertura vegetal.	67
Tabla N° 5-5. Categorías de posición topográfica.	67
Tabla N° 5-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales.	67
Tabla N° 5-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno.	72
Tabla N° 5-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio.	72
Tabla N° 5-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT. .	75
Tabla N° 5-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV).	75
Tabla N° 5-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT.	76
Tabla N° 5-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales.	76
Tabla N° 5-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes).	77
Tabla N° 5-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio.	80
Tabla N° 5-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector.	89
Tabla N° 5-16. Contenido de humedad del suelo.	92
Tabla N° 5-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades - 1A.	100
Tabla N° 5-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo. .	103
Tabla N° 5-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2020.	109
Tabla N° 5-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2020.	111
Tabla N° 5-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2021.	124
Tabla N° 5-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2021.	126

Tabla N° 5-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....	140
Tabla N° 5-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 9 (invierno 2020), en cada subsector.	142
Tabla N° 5-25. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 9 (invierno 2020).	152
Tabla N° 5-26. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 9 (invierno 2020).	155
Tabla N° 5-27. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 9 (invierno 2020).	157
Tabla N° 5-28. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 9 (invierno 2020).	158
Tabla N° 5-29. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....	158
Tabla N° 5-30. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 10 (verano 2021), en cada subsector.	160
Tabla N° 5-31. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 10 (verano 2021).	170
Tabla N° 5-32. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 10 (verano 2021).	173
Tabla N° 5-33. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 10 (verano 2021).	175
Tabla N° 5-34. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 10 (verano 2021).	176
Tabla N° 5-35. Superficie de vegetación activa (NDVI) post – lluvias 2021 en base a la COT de verano 2021, por sector.	177
Tabla N° 6-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19.	185
Tabla N° 6-2. Lista Sistemática de especies de fauna registradas en la novena campaña de monitoreo (invierno 2020). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.	207
Tabla N° 6-3. Especies de fauna registradas por ambiente. Novena campaña de monitoreo (invierno 2020). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.	220
Tabla N° 6-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Novena campaña de monitoreo (invierno 2020).	224
Tabla N° 6-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Novena campaña de monitoreo (invierno 2020).	226
Tabla N° 6-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas en la décima campaña de monitoreo (verano 2021). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.	228

Tabla N° 6-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décima campaña de monitoreo (verano 2021). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector. .	241
Tabla N° 6-8 Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Décima campaña de monitoreo (verano 2021).	244
Tabla N° 6-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. Décima campaña de monitoreo (verano 2021).	246
Tabla N° 7-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB.	249
Tabla N° 7-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. Invierno 2020.	254
Tabla N° 7-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2020.	260
Tabla N° 7-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S6-A. (S/C: sin capas pigmentadas).	264
Tabla N° 7-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-9. (S/C: sin capas pigmentadas).	266
Tabla N° 7-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	268
Tabla N° 7-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).	270
Tabla N° 7-8. Caracterización de las capas de tapetes microbianos asociados a base vegetal en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).	271
Tabla N° 7-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	273
Tabla N° 7-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).	273
Tabla N° 7-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (S/C: sin capas pigmentadas).	275
Tabla N° 7-12. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2020.	276
Tabla N° 7-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2020.	278
Tabla N° 7-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2020.	279
Tabla N° 7-15. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).	282
Tabla N° 7-16. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).	284
Tabla N° 7-17. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).	285

Tabla N° 7-18. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).	287
Tabla N° 7-19. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).	287
Tabla N° 7-20. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).	290
Tabla N° 7-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).	291
Tabla N° 7-22. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).	293
Tabla N° 7-23. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).	294
Tabla N° 7-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2020.	295
Tabla N° 7-25. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2020.	296
Tabla N° 7-26. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2020.	297
Tabla N° 7-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2020.	299
Tabla N° 7-28. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.	308
Tabla N° 7-29. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.	308
Tabla N° 7-30. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos.	309
Tabla N° 7-31. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.	314
Tabla N° 7-32. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).	317
Tabla N° 7-33. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).	319
Tabla N° 7-34. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).	320
Tabla N° 7-35. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).	322
Tabla N° 7-36. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).	322
Tabla N° 7-37. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).	325

Tabla N° 7-38. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).	325
Tabla N° 7-39. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).	328
Tabla N° 7-40. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).	328
Tabla N° 7-41. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	330
Tabla N° 7-42. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	332
Tabla N° 7-43. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2021.	333
Tabla N° 7-44. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2021.	336
Tabla N° 7-45. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	344
Tabla N° 7-46. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.	344
Tabla N° 8-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M10, puntos de muestreo suelo.	348
Tabla N° 8-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo.	349
Tabla N° 8-3: Parámetros evaluados y método de análisis. Componente Suelo. ...	351
Tabla N° 8-4: Valores de Materia orgánica (%).....	352
Tabla N° 8-5: Interpretación del pH.....	353
Tabla N° 8-6: Categorías de Salinidad.	353
Tabla N° 8-7: Niveles de Fosforo (mg/kg)	353
Tabla N° 8-8: Niveles de Nitrógeno (mg/kg).....	354
Tabla N° 8-9. Niveles de Potasio (mg/kg)	354
Tabla N° 8-10. Rangos de conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h)	354
Tabla N° 8-11. Tamaño de partículas que determina la textura del suelo	354
Tabla N° 8-12. Clases texturales del suelo.	355
Tabla N° 8-13. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Monitoreo invierno 2020.	359
Tabla N° 8-14. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Monitoreo invierno 2020.	361
Tabla N° 8-15. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Monitoreo invierno 2020.	362
Tabla N° 8-16. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Monitoreo invierno 2020.	365

Tabla N° 8-17. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2020.	366
Tabla N° 8-18. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Monitoreo invierno 2020.	368
Tabla N° 8-19. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Monitoreo invierno 2020.	370
Tabla N° 8-20. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Monitoreo invierno 2020.	373
Tabla N° 8-21. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Monitoreo invierno 2020.	374
Tabla N° 8-22. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Monitoreo invierno 2020.	377
Tabla N° 8-23. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Monitoreo invierno 2020.	379
Tabla N° 8-24. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2020.	381
Tabla N° 8-25. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Monitoreo invierno 2020.	383
Tabla N° 8-26. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Monitoreo invierno 2020.	385
Tabla N° 8-27. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Verano 2021.	388
Tabla N° 8-28. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Verano 2021.	389
Tabla N° 8-29. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Verano 2021.	391
Tabla N° 8-30. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Verano 2021.	394
Tabla N° 8-31. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Verano 2021.	395
Tabla N° 8-32. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Verano 2021.	397
Tabla N° 8-33. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Verano 2021.	399
Tabla N° 8-34. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Verano 2021.	402
Tabla N° 8-35. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Verano 2021.	403

Tabla N° 8-36. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Verano 2021.	406
Tabla N° 8-37. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Verano 2021.	408
Tabla N° 8-38. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Verano 2021.	410
Tabla N° 8-39. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Verano 2021.	412
Tabla N° 8-40. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Verano 2021.	414
Tabla N° 9-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2020 y verano 2021.	417
Tabla N° 9-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.	420
Tabla N° 9-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.....	421
Tabla N° 9-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).	422
Tabla N° 9-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.	422
Tabla N° 9-6. Instrumentos de medición in situ de parámetros del agua.....	425
Tabla N° 9-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.....	425
Tabla N° 9-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables.	426
Tabla N° 9-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2020).	442
Tabla N° 9-10. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	443
Tabla N° 9-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2020).	445
Tabla N° 9-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2020).	447
Tabla N° 9-13. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	447
Tabla N° 9-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2020).	448
Tabla N° 9-15. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2020).....	450
Tabla N° 9-16. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	452
Tabla N° 9-17. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2020).....	454

Tabla N° 9-18. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2020).....	456
Tabla N° 9-19. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	458
Tabla N° 9-20. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2020).	460
Tabla N° 9-21. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2020).....	462
Tabla N° 9-22. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	464
Tabla N° 9-23. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2020).	465
Tabla N° 9-24. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m2) y riqueza en Sector Peine (invierno 2020).....	467
Tabla N° 9-25. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m2) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).....	469
Tabla N° 9-26. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m2) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2020).	471
Tabla N° 9-27. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2020).....	472
Tabla N° 9-28. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2020).....	474
Tabla N° 9-29. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	475
Tabla N° 9-30. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (verano 2021).	476
Tabla N° 9-31. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	478
Tabla N° 9-32: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2021.	479
Tabla N° 9-33. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2021.	479
Tabla N° 9-34: Resultados granulométricos de los Sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2021.	480
Tabla N° 9-35. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	482
Tabla N° 9-36. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2021).....	484

Tabla N° 9-37. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	486
Tabla N° 9-38. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2021).	488
Tabla N° 9-39. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	490
Tabla N° 9-40. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2021.	492
Tabla N° 9-41. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m2) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (verano 2021).	494
Tabla N° 9-42. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m2) y riqueza en Sector Tilopozo (verano 2021).	496
Tabla N° 9-43. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2021).	498
Tabla N° 9-44. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 2021).	499
Tabla N°10-1. Resumen de Componentes y Variables	503
Tabla N°10-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.	504
Tabla N°10-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2020, 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°10-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2020, 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°10-5. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.	512
Tabla N°10-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8.	515
Tabla N°10-7. 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 2020.	521
Tabla N°10-8. 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, 2020.	527
Tabla N°10-9. 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, 2020.	527

Tabla N°10-10. 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, 2020.....	528
Tabla N°10-11. 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, 2020.....	528
Tabla N° 10-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2020 (invierno y verano).	530
Tabla N° 10-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2020 (invierno y verano).	530
Tabla N° 11-1: Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas.....	538
Tabla N° 11-2: Materiales y Equipos.....	540
Tabla N° 11-3: Fechas de Medición del Año.....	541
Tabla N° 11-4: Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta - La Brava	543
Tabla N° 11-5: Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine.....	544
Tabla N° 12-1. Comparación de superficies por recubrimiento de suelo y formaciones vegetales en el monitoreo de verano 2021 respecto al monitoreo de invierno 2020.	548
Tabla N° 12-2. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por campaña.....	551
Tabla N° 12-3. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de verano de 2021.	552
Tabla N° 12-4. Variaciones en los rangos de cobertura COT en transectas, entre invierno 2020 y verano 2021.....	554
Tabla N° 12-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos Alta Resolución por sector.	573
Tabla N° 12-6. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a las formaciones de seguimiento según PMB, por sector	574
Tabla N° 12-7. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de Schoenoplectus californicus, en relación a los registros históricos de alta resolución.	576
Tabla N° 12-8. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las 10 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2021). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.	580
Tabla N° 12-9. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.....	588

Tabla N° 12-10. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.	594
Tabla N° 12-11. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.	598
Tabla N° 12-12. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 10 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2021).	603
Tabla N° 12-13. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.	604
Tabla N° 12-14. 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 y verano 2021.	607
Tabla N° 12-15. 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 2021).	610
Tabla N° 12-16. 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 2021).	613
Tabla N° 12-17. 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.	614
Tabla N° 12-18. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.	618
Tabla N° 12-19. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.	622
Tabla N° 12-20. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2020 y verano 2021.	633
Tabla N° 12-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2020.	642
Tabla N° 12-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.	645
Tabla N° 12-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.	647
Tabla N° 12-24 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.	648
Tabla N° 12-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.	650
Tabla N° 12-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2020.	653

Tabla N° 12-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2020.	654
Tabla N° 12-28 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2020.....	655
Tabla N° 12-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2020.	657
Tabla N° 12-30 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2020.	658
Tabla N° 12-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava, inviernos 2016 a 2020.....	659
Tabla N° 12-32. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2020. (S/C: sin capas pigmentadas).....	660
Tabla N° 12-33. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.	662
Tabla N° 12-34. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, estaciones S-6 y S-9. Campaña verano, 2017 a 2019.....	667
Tabla N° 12-35. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita, estaciones SA-25 y S-11. Campaña verano, 2017 a 2019.....	668
Tabla N° 12-36. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Interna, estaciones I-11 e I-17. Campaña verano, 2017 a 2019.....	669
Tabla N° 12-37. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2019.	670
Tabla N° 12-38. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2019.	670
Tabla N° 12-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2021.	673
Tabla N° 12-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2021.	674
Tabla N° 12-41. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2021.	675

Tabla N° 12-42. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2021.	676
Tabla N° 12-43. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2021.	677
Tabla N° 12-44. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta. Campaña verano, 2017 a 2021.....	678
Tabla N° 12-45. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Brava. Campaña verano, 2017 a 2021.....	679
Tabla N° 12-46. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2021.....	680
Tabla N° 12-47. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019 y 2021.	682
Tabla N° 12-48: Resultados análisis de laboratorio textura. Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).....	707
Tabla N° 12-49: Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10.	744
Tabla N° 12-50. Resumen de especies detectadas en los sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo en campañas de línea de base y monitoreo.	804
Tabla N°12-51. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2020 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).	813
Tabla N° 12-52. Consolidado de índices Kappa de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8.....	842
Tabla N° 12-53: Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB.....	844
Tabla N° 12-54: Valores Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine	848
Tabla N° 12-55. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB	883
Tabla N° 12-56. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine	908

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 5-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar.....	91
Fotografía N° 5-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastros.....	93
Fotografía N° 5-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación.....	94
Fotografía N° 5-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2020.	116
Fotografía N° 5-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2020.	120
Fotografía N° 5-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.....	122
Fotografía N° 5-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.	122
Fotografía N° 5-8. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2021.	133
Fotografía N° 5-9. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2021.	137
Fotografía N° 5-10. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.....	139
Fotografía N° 5-11. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.	139
Fotografía N° 5-12. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en invierno 2020, en distintas transectas de estudio.....	144
Fotografía N° 5-13. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en invierno 2020, en transectas de estudio.....	144
Fotografía N° 5-14. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en invierno 2020, en transectas de estudio.....	145
Fotografía N° 5-15. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en invierno 2020, en transectas de estudio.....	145
Fotografía N° 5-16. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en invierno 2020, en transectas de estudio.....	146
Fotografía N° 5-17. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en invierno 2020, en transectas de estudio.....	146
Fotografía N° 5-18. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en verano 2021, en distintas transectas de estudio.....	162
Fotografía N° 5-19. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en verano 2021, en transectas de estudio.....	162

Fotografía N° 5-20. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en verano 2021, en transectas de estudio.....	163
Fotografía N° 5-21. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en verano 2021, en transectas de estudio.....	163
Fotografía N° 5-22. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en verano 2021, en transectas de estudio.....	163
Fotografía N° 5-23. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en verano 2021, en transectas de estudio.....	164
Fotografía N° 6-1. 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 (abajo, derecha).....	191
Fotografía N° 6-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo.	197
Fotografía N° 6-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.	197
Fotografía N° 6-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (superior) y lagartija de Fabián (inferior).	213
Fotografía N° 6-5. Aves del área de estudio: playero de Baird (arriba, izquierda), aguilucho de la puna (arriba, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y caití (abajo, derecha).....	215
Fotografía N° 6-6. Macromamíferos del área de estudio: zorro culpeo.	217
Fotografía N° 6-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejudo amarillo (superior), y ratón andino (inferior).....	218
Fotografía N° 6-8. Sapo espinoso, única especie de anfibio registrada en el área de estudio, en la campaña de verano 2018.	232
Fotografía N° 6-9. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (superior) y lagartija de Fabián (inferior).	234
Fotografía N° 6-10. Aves del área de estudio: pollito de mar (superior, izquierda), chorlo de la puna (superior, derecha), caití (abajo, izquierda) y minero cordillerano (inferior, derecha).	236
Fotografía N° 6-11. Macromamífero del área de estudio: zorro culpeo.	238
Fotografía N° 6-12. Micromamíferos del área de estudio: ratón andino (arriba) y ratón orejudo amarillento (abajo).	239
Fotografía N° 7-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.	253
Fotografía N° 7-2. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, invierno 2020.	262
Fotografía N° 7-3. a. Estación de monitoreo S-6A; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2020.....	263
Fotografía N° 7-4. a. Estación de monitoreo S-9; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2020.....	265

Fotografía N° 7-5. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2020.	267
Fotografía N° 7-6. a. Estación de monitoreo S-11; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2020.	268
Fotografía N° 7-7. 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 2020.	269
Fotografía N° 7-8. 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 2020.	272
Fotografía N° 7-9. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana inundada; c. Tapete superficial plano. Laguna Interna, invierno 2020.	274
Fotografía N° 7-10. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, invierno 2020.	281
Fotografía N° 7-11. 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 2020.	283
Fotografía N° 7-12. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2020.	286
Fotografía N° 7-13. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2020.	289
Fotografía N° 7-14. 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 2020.	292
Fotografía N° 7-15. a. Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. invierno 2020.	298
Fotografía N° 7-16. Estación de monitoreo TB-2. invierno 2020.	298
Fotografía N° 7-17. Estación de monitoreo TB-3; B. Muestra de Sedimentos. invierno 2020.	299
Fotografía N° 7-18. Presencia de microbialitos. a. Estación LP-23; b. Estación LB-1. Presencia de Evaporitas. c. Estación LP-24. invierno 2020.	301
Fotografía N° 7-19. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2021.	316
Fotografía N° 7-20. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2021.	318

Fotografía N° 7-21. 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 2021.....	321
Fotografía N° 7-22. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2021.	324
Fotografía N° 7-23. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2021.	327
Fotografía N° 7-24. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2021.	334
Fotografía N° 7-25. Estación de monitoreo TB-2. verano 2021.....	334
Fotografía N° 7-26. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2021.	335
Fotografía N° 7-27. Presencia de microbialitos. a. Estación LP-23; b. Estación LB-1. Presencia de Evaporitas. C. Estación LP-24. verano 2021.	337
Fotografía N° 8-1. Materiales utilizados para extraer muestras de suelo para conductividad hidráulica (permeabilidad).	356
Fotografía N° 8-2. Vista general punto de muestreo S 1. Monitoreo invierno 2020.	358
Fotografía N° 8-3. Vista general perfil punto de muestreo S 1, Monitoreo invierno 2020.	359
Fotografía N° 8-4. Vista general punto de muestreo S 2. Monitoreo invierno 2020.	360
Fotografía N° 8-5. Vista general perfil punto de muestreo S 2, Monitoreo invierno 2020.	361
Fotografía N° 8-6. Vista general punto de muestreo S 7. Monitoreo invierno 2020.	362
Fotografía N° 8-7. Vista general perfil punto de muestreo S 7, Monitoreo invierno 2020.	363
Fotografía N° 8-8. Vista general punto de muestreo S 8. Monitoreo invierno 2020.	364
Fotografía N° 8-9. Vista general perfil punto de muestreo S 8, Monitoreo invierno 2020.	365
Fotografía N° 8-10. Vista general punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2020.	366
Fotografía N° 8-11. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2020.	367

Fotografía N° 8-12. Vista general punto de muestreo S 13. Monitoreo invierno 2020.	368
Fotografía N° 8-13. Vista general perfil punto de muestreo S 13, Monitoreo invierno 2020.	369
Fotografía N° 8-14. Vista general punto de muestreo S 3. Monitoreo invierno 2020.	370
Fotografía N° 8-15. Vista general perfil punto de muestreo S 3, Monitoreo invierno 2020.	371
Fotografía N° 8-16. Vista general punto de muestreo S 4, Monitoreo invierno 2020.	372
Fotografía N° 8-17. Vista general perfil punto de muestreo S 4, Monitoreo invierno	373
Fotografía N° 8-18. Vista general punto de muestreo S 5. Monitoreo invierno 2020.	374
Fotografía N° 8-19. Vista general perfil de suelo punto de muestreo S 5, Monitoreo invierno 2020.	375
Fotografía N° 8-20. Vista general calicata punto de muestreo S 5, nivel freático a 19 cm. Monitoreo invierno 2020.	376
Fotografía N° 8-21. Vista general punto de muestreo S 6. Monitoreo invierno 2020.	376
Fotografía N° 8-22. Vista general perfil punto de muestreo S 6, Monitoreo invierno 2020.	378
Fotografía N° 8-23. Vista general punto de muestreo S 10. Monitoreo invierno 2020.	378
Fotografía N° 8-24. Vista general perfil punto de muestreo S 10, Monitoreo invierno 2020.	380
Fotografía N° 8-25. Vista general punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2020.	380
Fotografía N° 8-26. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2020.	382
Fotografía N° 8-27. Vista general punto de muestreo S 12. Monitoreo invierno 2020.	382
Fotografía N° 8-28. Vista general perfil punto de muestreo S 12, Monitoreo invierno 2020.	384
Fotografía N° 8-29. Vista general punto de muestreo S 14. Monitoreo invierno 2020.	384
Fotografía N° 8-30. Vista general perfil punto de muestreo S 14, Monitoreo invierno 2020.	386
Fotografía N° 8-31. Vista general punto de muestreo S 1. Verano 2021.	387

Fotografía N° 8-32. Vista general perfil punto de muestreo S 1. Verano 2021.	388
Fotografía N° 8-33. Vista general punto de muestreo S 2. Verano 2021.	389
Fotografía N° 8-34. Vista general perfil punto de muestreo S 2. Verano 2021.	390
Fotografía N° 8-35. Vista general punto de muestreo S 7. Verano 2021.	391
Fotografía N° 8-36. Vista general perfil punto de muestreo S 7. Verano 2021.	392
Fotografía N° 8-37. Vista general punto de muestreo S 8. Verano 2021.	393
Fotografía N° 8-38. Vista general perfil punto de muestreo S 8. Verano 2021.	394
Fotografía N° 8-39. Vista general punto de muestreo S 9. Verano 2021.	395
Fotografía N° 8-40. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Verano 2021.	396
Fotografía N° 8-41. Vista general punto de muestreo S 13. Verano 2021.	397
Fotografía N° 8-42. Vista general perfil punto de muestreo S 13. Verano 2021. ...	398
Fotografía N° 8-43. Vista general punto de muestreo 3 (S 3). Verano 2021.	399
Fotografía N° 8-44. Vista general perfil punto de muestreo S 3. Verano 2021.	400
Fotografía N° 8-45. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2021.	401
Fotografía N° 8-46. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2021.	402
Fotografía N° 8-47. Vista general punto de muestreo S 5. Verano 2021.	403
Fotografía N° 8-48. Vista general perfil punto de muestreo S 5. Verano 2021.	404
Fotografía N° 8-49. Vista general punto de muestreo S 6. Verano 2021.	405
Fotografía N° 8-50. Vista general perfil punto de muestreo S 6. Verano 2021.	406
Fotografía N° 8-51. Vista general punto de muestreo S 10. Verano 2021.	407
Fotografía N° 8-52. Vista general perfil punto de muestreo S 10. Verano 2021. ...	408
Fotografía N° 8-53. Vista general punto de muestreo S 11. Verano 2021.	409
Fotografía N° 8-54. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Verano 2021. ...	410
Fotografía N° 8-55. Vista general punto de muestreo S 12. Verano 2021.	411
Fotografía N° 8-56. Vista general perfil punto de muestreo S 12. Verano 2021. ...	412
Fotografía N° 8-57. Vista general punto de muestreo S 14. Verano 2021.	413
Fotografía N° 8-58. Vista general perfil punto de muestreo S 14. Verano, 2021. ..	414
Fotografía N° 9-1. 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.	418
Fotografía N° 9-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2020 a. Panorámica de la estación y b. Sustrato fino, bajo flujo y profundidad	428
Fotografía N° 9-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2020. a. Panorámica de la estación. b. Hidrófita sumergida.	428
Fotografía N° 9-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Parche de hidrófita Ruppia y sustrato fino.	429

Fotografía N° 9-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación en invierno. b. Parche de la hidrófita <i>Ruppia</i> en línea de costa y sustrato fino.....	430
Fotografía N° 9-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2020 a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino.	430
Fotografía N° 9-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino.	431
Fotografía N° 9-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2020 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.y Campaña Verano 2021 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.	432
Fotografía N° 9-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2020 y Verano 2021. a y c. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófita: <i>Triglochin concinna</i>).....	433
Fotografía N° 9-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2021. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino, afluente, sin hidrófita.	434
Fotografía N° 9-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i> (helófitas). Campaña Verano 2021. c. Vista panorámica de la estación y d. Parche helófitas <i>S. fruticosa</i> , y <i>T. concinna</i>	435
Fotografía N° 9-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2020 y Verano 2021. a y b. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y evaporitas.	436
Fotografía N° 9-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2020 y Verano 2021 a y c. Vista panorámica de la estación c y d. Parche <i>Zannichellia palustris</i> (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua.	438
Fotografía N° 9-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico y de la helófita <i>Schoenoplectus californicus</i> . b. Se observa sin agua superficial. Campaña Verano 2021. c. y d. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de <i>S. californicus</i> y sin disponibilidad de agua superficial.	439
Fotografía N° 9-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2020 a. Vista panorámica de la estación, presencia de lamas microalgales dentro de la poza y helófitas en la línea de costa. b. Presencia de peces del género <i>Gambusia</i> .y Campaña Verano 2021 c. Vista panorámica de la estación y d. Presencia de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis</i> sp. en línea de costa.....	441
Fotografía N° 9-16. Registro fotográfico de laboratorio de <i>Heleobia atacamensis</i> (verano 2021).	496

1 RESUMEN

El presente informe corresponde al quinto 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, da cuenta de las campañas de invierno 2020 y verano 2020-2021, las cuales se desarrollaron durante los meses de agosto y septiembre del 2020, y entre diciembre del 2020 (para seguimiento de superficies lagunares), y abril del 2021 (para todo el resto de las variables). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2020 a marzo 2021.

La campaña correspondiente a invierno 2020, se desarrolló entre los días 19 de agosto y 18 de septiembre de 2020, constituyendo la novena campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto. Por su parte, la campaña correspondiente a verano 2020-2021, dependiendo de la variable, se desarrolló durante los meses de diciembre 2020 y abril 2021, constituyendo la décima campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto. Corresponden estas fechas por una primera parte, a la campaña de medición de superficie de Lagunas, realizada entre 19 de diciembre de 2020, y por la otra, a la campaña de seguimiento de componentes bióticas (PMB), realizada entre el 06 al 19 de abril de 2021, Como medida de prevención frente a la Pandemia COVID-19, las campañas de cada componente fueron realizadas de forma diferida en el tiempo, para evitar aglomeraciones de equipos de trabajo en terreno, y en el alojamiento disponible. No obstante esta separación de fechas, cada monitoreo pudo ser realizado dentro de la estación de invierno correspondiente.

Cabe indicar que para la campaña invierno 2020, respecto a las transectas de vegetación azonal y puntos de control de la vegetación en el sector Aguas de Quelana y Soncor, estas no pudieron ser realizadas por restricción de acceso a la R.N. Los Flamencos, por requerimientos de seguridad de CONAF, al mantener sus accesos aún cerrados por motivos de la Pandemia Covid-19. Adicionalmente la transecta T12 en el sector La Punta tampoco pudo ser realizada por presentar nidificación de aves aledaño a la transecta, por

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

lo cual se optó por indicación de los veedores de la comunidad de Peine, no realizar la actividad en ese punto (**ver carta CONAF en Anexo Vegetación y Flora**).

Por su parte para el caso del componente Nivel Freático en Lagunas, en específico en las mediciones de junio y julio 2020, no se pudo acceder a las zonas de La Punta-La Brava y Peine debido a que la Comunidad de Peine no permitió acceso a los territorios bajo su administración en esos meses (**ver cartas comunidad de Peine en Anexo Nivel Freático en Lagunas**).

Como aspecto general, es relevante mencionar que durante en esta estación de invierno 2020, hubo ocurrencia de precipitaciones sobre el área de estudio del salar, durante los días 24 y 25 agosto, con un total caído de 23,8 mm, una semana antes del inicio del monitoreo de componentes bióticas. Cabe su indicación en cuanto es una condición relevante de considerar, por la respuesta que puede tener el sistema, a la hora de interpretar los resultados observados para algunos componentes biológicos monitoreados, tales como la vegetación, la fauna terrestre (ej. abundancia observada de aves) o la biota acuática (ej. dilución de concentraciones salinas en los cuerpos agua).

Por su parte, cabe indicar que para la campaña semestral Verano 2021, respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el **sector de las lagunas de Peine** (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser realizados debido a la restricción de acceso definida por la Comunidad de Peine, argumentando que el área presenta poblaciones de flamencos en fase reproductiva (**ver Anexo Cartas Prohibición de Acceso a Sector Peine**) limitando con ello por primera vez el ingreso al sector. Por esta razón, para esta campaña verano 2021, estos componentes no presentan información de monitoreo para este sector en particular.

Igualmente, en la campaña verano 2020 (diciembre 2020) del componente Superficie Área de Lagunas, solo fue posible realizar validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava. Para el caso del sector Peine se procedió a realizar la validación de superficies lagunares con apoyo de análisis de imágenes AR en gabinete, debido a que se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso a este sector, y por lo tanto la validación *in situ* de sus cuerpos lagunares.

Esta restricción, fue definida por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine), y bajo estas condiciones tampoco se pudo realizar toma complementaria de imagen desde UAV – dron en este sector. **En Anexo Área de Lagunas se adjunta Carta N°78/2020 de la Comunidad de Peine.**

Para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en enero, febrero y marzo del 2021 en BA-21, y desde noviembre 2020 a marzo 2021 en 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 Carta Prohibición de Acceso a Sector Peine**).

Cabe complementar a lo anterior, a modo de recordatorio, que el **Monitoreo N°8 de verano 2020**, no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales establecidas por la autoridad de salud, en el marco del inicio de la Pandemia Covid-19. Por este motivo, en los análisis comparativos de estaciones de verano del presente informe, 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.

Respecto de la componente Superficie 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 04 de febrero de 2021².

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 operaciones³. En cambio, desde diciembre 2016 a abril 2021, 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 quinto 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

² Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 04/02/2021. División de Fiscalización SMA. Cod: 79482.

³ 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.

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 (2018 – 2021) y comparando dicha evolución de las variables de estado versus su comportamiento previo (línea de base y registros históricos) junto con la mirada completa de todos los monitoreos realizados hasta la fecha.

A continuación los principales y más relevantes resultados, análisis y conclusiones del Informe Anual N°5 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 quinto año del plan de seguimiento, correspondiente al monitoreo de invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10) 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, aunque no se han registrado lluvias para los dos últimos periodos estivales (2020 y 2021).

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. De las transectas y puntos de control de la vegetación en el sector Aguas de Quelana y Soncor no pudieron ser realizadas en Invierno 2020 por restricción de acceso a la R.N. Los Flamencos, por requerimientos de seguridad de CONAF regional, al mantener sus accesos aún cerrados por motivos de la Pandemia Covid-19 (**Ver Carta CONAF en Anexo I Vegetación y Flora**). 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 época estival.

En relación al monitoreo COT, a través de los puntos de seguimiento al quinto año de monitoreo, **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, con respecto a lo registrado en años anteriores**. 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 **invierno 2020 (M9)**, se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo, entre los cuales destaca la “superficie sin vegetación” representada por un 78,1% de superficie del área de estudio. En cuanto a “superficie con vegetación” (21,9%), se observa una representatividad de 8,7% con vegetación zonal y un 13,2% con vegetación azonal. A partir de lo anterior, se describieron cinco agrupaciones de formaciones de matorral zonal según dominancia (ocho formaciones en total); seis agrupaciones de formaciones vegetales azonales de humedal (10 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral – vega, y tres agrupaciones de matorral hídrico – vega según dominancia (15 formaciones en total).

Entre las formaciones más representativas, destacan los matorrales zonales con dominancia de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 hectáreas (4,9%) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine. Por otra parte, en la vegetación azonal son más representativas las formaciones de vega con dominancia de *Distichlis spicata* con 970,3 hectáreas (2,9%)

localizada principalmente en el sector de Tilopozo, y los matorrales – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* con 2.139,3 hectáreas (6,5%) ampliamente distribuidos en cuatro sectores, concentradas sus formaciones en el sector Tilopozo.

La formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (42 unidades) y a su vez, las unidades de esta formación presentan una variación de cobertura vegetal, de escasa a densa (5% a 90%). En contraste, el matorral de *Atriplex imbricata*, la vega de *Nitrophila atacamensis* y *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 invierno 2020 describe 33 formaciones vegetales, que se observan en ambas temporadas y que incluye el seguimiento de las formaciones comprometidas en el PMB (33 en línea de base 2015), manteniéndose similar con los otros monitoreos, aunque con una disminución en la cantidad de formaciones descritas en los monitoreos de invierno 2018 y 2019 con 34 formaciones, 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.

En la campaña de **verano 2021 (M10)**, 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 8,4% con vegetación zonal y un 13,4% con vegetación azonal. A partir de lo anterior, se describieron cinco agrupaciones de formaciones de matorral zonal según dominancia (nueve formaciones en total); seis agrupaciones de formaciones vegetales azonales de humedal (10 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral – vega, y cinco agrupaciones de matorral hídrico – vega según dominancia (14 formaciones en total).

Entre las formaciones más representativas, destacan los matorrales zonales con dominancia de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.541,0 hectáreas (4,7%), 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 986,6 hectáreas (3,0%) localizada principalmente en el sector de Tilopozo; y los matorrales – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* con 2.078,4 hectáreas (6,3%), 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* (44 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 *Nitrophila atacamensis* y *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 2021 describe 33 formaciones vegetales, que se observan en ambas temporadas, y que incluye el seguimiento de las formaciones comprometidas en el PMB; cambiando tres formaciones descritas en el monitoreo de verano anterior (2019), con una formación adicional de matorral zonal en 2021, mientras que disminuyen dos formaciones vegetales azonales de matorral mixto para el último monitoreo de verano.

En cuanto a las formaciones vegetales, el análisis de flora y vegetación a través del método de transectas, muestra en general variaciones en las coberturas entre monitoreos del quinto año respecto de los monitoreos de años anteriores, registrando un descenso de las coberturas vegetales absolutas al quinto año, con algunas excepciones (T03 y T09 en Peine y T21 en Tilopozo). Por otro lado, se observa una estabilidad en la riqueza de especies registradas entre monitoreos para todos los sectores, aunque con un registro adicional en M10 aumentando la riqueza registrada en una especie.

En los monitoreos anuales (**invierno 2020, M9 y verano 2021, M10**) se observa, en general, las mismas características de estructura de las formaciones, composición de especies dominantes y fisonomía. Sin embargo, de acuerdo a los rangos de cobertura por estrato dominante de la COT, entre M9 y M10 se registran algunos cambios de la cobertura en la formación (T21, T26, T28, , T18, T31 en Tilopozo, T13 en La Punta y T08 y T02 de Peine) o de la cobertura de uno de los dos estratos dominantes (T30, T23 y T25 en Tilopozo, T11 y T12 en La Punta, T17 en Aguas de Quelana y T06 en Peine), relacionadas principalmente al aumento en un rango de cobertura en la formación, destacando la suma del estrato leñoso en la transecta T30 de *Juncus balticus* a una cobertura entre un 5 y 10%; también se registran algunas diferencias con respecto a las características físicas del suelo sobre el que se desarrollan estas formaciones vegetales, principalmente en la humedad del suelo con menor saturación en M10–T04 y T08 en Peine, T20, T26, T28, T25, T19, T29 y T30 Tilopozo, y T13 en La Punta–; y, diferencias en el recubrimiento de afloramientos salinos, que aumenta en algunos casos en M10 (T27, T28, T30, T23 y T25 en Tilopozo) y disminuye en otros (T26 en Tilopozo y T06 en Peine).

Referente a la **composición y coberturas** registradas en las campañas de invierno (M9) y verano (M10), se observa que el herbazal de *Schoenoplectus californicus* localizado en el sector de Tilopozo y Peine, presenta en los monitoreos la mayor cobertura absoluta de toda el área de estudio, tanto en su especie dominante como en las seis transectas definidas en esta formación. Por otra parte, las especies dominantes presentes en las transectas de esta formación (*S. californicus*, *Baccharis juncea* y *D. spicata*) mantienen, en general, similares sus coberturas absolutas en M10 con respecto a M9, aunque con un aumento mayor en la cobertura media de *B. juncea* en M10. Las mayores diferencias se presentan en el sector

de Peine, con un aumento mayor de la cobertura absoluta en M10 en T01 y T03 (Peine), reflejado en el aumento de la cobertura de *S. californicus* y *B. juncea* en las transectas.

En la formación de herbazal de *D. spicata*, también destaca el aumento de la cobertura media en M10, con respecto a M9, reflejado principalmente por el aumento de la cobertura de la especie dominante en las dos transectas del sector Peine (T08 y T09) y en T20 de Tilopozo. En el herbazal de *J. balticus*, la cobertura media para la formación en M10 disminuye, sin embargo, destaca el aumento de la cobertura de *J. balticus* en una de las transectas (T13 en La Punta) de un 12% en M9 a un 20% en M10, además aumenta la cobertura media de las especies acompañantes *L. humile* y *D. spicata* en la formación en M10.

En cuanto a la **cobertura absoluta por transecta**, en M9 y M10 los mayores valores se observan en el herbazal de *S. californicus*. En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M9 hay ocho y en M10 son 10 transectas con coberturas absolutas inferiores al 10%, destacando entre éstas, la transecta T26 en Tilopozo en un herbazal de *D. spicata* con la cobertura más baja de todas, con un 0,8% en M9 y 0,6% en M10; y en el herbazal de *Triglochin concinna* destaca la transecta T10 (La Brava) por la disminución de la cobertura absoluta de un 6,0% en M9 a un 0,8% en M10; similar disminución en un matorral de *T. absinthioides* (T06 en Peine), que registra un 18,6% en M9 y disminuye a un 7,2% en M10. El resto de las transectas disminuye o aumenta con una menor variación entre ambos monitoreos.

En general, la **cobertura muerta (absoluta)** se registra para todas las formaciones estudiadas en M9 y M10, con un rango de cobertura variable destacando que en el herbazal de *S. californicus* se observan tanto los mínimos como los máximos de cobertura muerta en distintas transectas para los dos periodos (M9: 0,8% en T29 y 95,8% en T19; M10: 0,2% en T19 y máximo de 32,6% en T02), esta mayor variación refleja la mayor dinámica ocurrida en esta formación, que desde MB0 ha presentado una de las mayores fluctuaciones pero sin perder la alta cobertura vegetal que las identifica. Por otra parte, se puede resumir que las coberturas de rastrojos en M9 se encuentran mayoritariamente bajo un 25% (20 transectas), mientras que en M10 la mayor proporción de cobertura muerta está bajo un 20% (26 transectas), destacando las transectas T24 y T25 en el matorral de *T. absinthioides* y T20 en el herbazal de *D. spicata*, todas en Tilopozo, con las mayores coberturas de rastrojos además de los máximos indicados anteriormente.

Con respecto a la **riqueza de especies**, en general se mantienen los registros desde M9 a M10, presentando algunas diferencias en pocas transectas. En M9 se registra una especie más en las transectas T02 (Peine) y T21 (Tilopozo), con respecto a M10; y, al contrario, en M10 se registra una especie adicional en T29 y T28 (Tilopozo), destacando el registro adicional en T29 en un herbazal de *S. californicus* que corresponde a una especie no registrada en monitoreos anteriores (*Eleocharis* sp.). Con estos registros, en M10 las formaciones de herbazal de *D. spicata* y herbazal de *S. californicus* aumentan su riqueza a cinco especies en M10.

Con respecto a la **cobertura absoluta de otros recubrimientos**, en general no se observan mayores diferencias de coberturas al comparar los resultados entre M9 y M10. El herbazal de *Schoenoplectus californicus* es el único que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de 1% en una transecta en M9. En los matorrales de *T. absinthioides* se observa un reemplazo de mayor cobertura de costra salina terrosa en M10 que había sido registrada como costra salina en M9. En los herbazales, en la formación de *J. balticus* también se registra mayor cobertura de costra salina terrosa en M10, en reemplazo de cobertura de costra salina y costra salina saturada registrada en M9. Y en el herbazal de *D. spicata*, en M9 se presentaba mayor heterogeneidad de otros recubrimientos con distinta saturación de la costra salina, la cual se observa solo como costra salina en M10.

En los valores de **cobertura promedio por sector**, se observa un aumento en la cobertura vegetal de un 68,5% registrado en M9 a 71,9% en M10 en Peine, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio, disminuyendo también el porcentaje de cobertura de rastrojo entre ambos monitoreos (de 15,8% en M9 a 12,5% en M10). El sector de Tilopozo, presenta variación estable en su cobertura vegetal, dado entre 31,4% en M9 y 31,6% en M10 y también una disminución de la cobertura de rastrojo con un 20,3% registrado en M9 a un 10,7% en M10. En el sector La Punta y La Brava, también se observa una cobertura promedio estable entre ambos monitoreos, con un 24,3% en M9 y un 24,6% en M10, asimismo, la cobertura de rastrojos también disminuye en M10, de un 9,9% en M9 a un 6,3% en M10. Para los sectores Aguas de Quelana y Soncor, no fue posible analizar M9 (Invierno 2020), ya que no fue posible realizar el monitoreo de transectas de vegetación azonal, por restricción de acceso a la R.N. Los Flamencos, debido a requerimientos de seguridad de CONAF, al mantener sus accesos aún cerrados por motivos de la Pandemia Covid-19.

De acuerdo a la comparación histórica entre los monitoreos de transectas, la relación que se hizo con algunos puntos de línea base de 2014, no son 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 al 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 a la comparación histórica desde MB0 a M10, en general, al analizar la **cobertura promedio de la vegetación entre sectores**, se observa algunas diferencias entre sectores. 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%) y M10 (71,9%). En Tilopozo, se observa una leve variación entre monitoreos, principalmente desde MB0 a M5, presentando una baja moderada en M6, pero recuperándose en M7 con una cobertura de 35,7% y en M9 y M10 con valores similares. En La Punta y La Brava se registran variaciones leves de cobertura promedio, aunque con consistencia a la baja desde MB0, en 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. 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%. Respectivamente (no se presenta M6 y M9 ya que no se realizó el monitoreo correspondiente por restricciones de acceso).

Al relacionar la cobertura de rastros o cobertura muerta en los sectores, esta presenta un aumento moderado para todos los sectores, aunque en el último monitoreo (M10) muestra una disminución generalizada con respecto a los últimos registros en el monitoreo de invierno (M9; 2020) o inclusive al último monitoreo de verano (M6; 2019), pero que sigue siendo mayor a lo registrado en MB0. Es importante mencionar, que la cobertura de rastros no necesariamente implica una cobertura muerta, respecto de lo que se registraba activo en monitoreos anteriores, hay variaciones de su origen, como los rastros observados por quemaduras 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 desaparecer.

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 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 entre monitoreos, a diferencia de Aguas de Quelana donde la cobertura de agua se registra mayoritariamente en monitoreos de invierno. Es importante mencionar que para la transecta localizada en Soncor (T14), no se ha podido levantar información de cobertura vegetal desde el primer monitoreo, principalmente por limitaciones de acceso por daños e inundaciones en el camino vehicular. Esta transecta sin embrago, se ubica en un área desprovista totalmente de vegetación.

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.

Al relacionar la variación de cobertura vegetal en las transectas, en general, se observa una disminución desde MB0 a M10, con excepción en algunos casos, mayor cobertura en M10 en dos transectas en el herbazal de *D. spicata* (T09 en Peine y T21 en Tilopozo) y una transecta en el herbazal de *S. californicus* (T03 en Peine), en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0) Mientras que en 15 transectas las variaciones registradas hasta M10 presentan menos del 10% de variación en la cobertura según lo registrado en MB0 (nueve en Tilopozo, tres en Peine y tres en Aguas de Quelana) y siete transectas con variaciones entre un 10 y 20% de la cobertura vegetal (T18, T23 en Tilopozo, T06 en Peine, T11, T12 y T13 en La Punta y T10 en La Brava). No obstante, entre estas variaciones, la transecta T26 en Tilopozo y T10 en La Brava, representan el mayor descenso de cobertura según lo registrado en el monitoreo base (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 17,2% (1.241,6 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, 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 cinco años de monitoreos, superando incluso los valores máximos. Cabe recordar, que para el sector de Peine, se había observado una disminución de la cobertura activa entre el monitoreo de 2017 al 2018, sin embargo, en el verano de 2019 la cobertura activa aumentó a una superficie similar a la registrada en 2017, y en los últimos registros (2020-2021) se registra una disminución con respecto al año anterior, pero igualmente superan los valores mínimos registrados durante 2018.

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 cinco períodos (2017-2021), 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 cinco 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. Para este sector, la superficie de vegetación activa NDVI en verano 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021,

se ha observado relativamente estable, evidenciándose una leve baja de los valores registrados durante 2020, pero aumentado en el último año 2021.

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 hidrórfismo, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los cinco 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 los cinco periodos y en orden decreciente desde el 2017 al 2019, con un leve aumento en 2020 y un mayor aumento en el último monitoreo de 2021. De acuerdo a 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 es 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°321/2020 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta (ver **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

La novena campaña de monitoreo, invierno 2020, se realizó entre el 8 al 14 de septiembre de 2020, 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: trampeos de micromamíferos (en nueve puntos), playback de aves nocturnas (en cinco puntos) y anfibios (en dos puntos) y trampas cámara con atrayente olfativo para macromamíferos (en 12 puntos). 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 29 especies, siendo éstas dos especies de reptiles, 22 especies de aves y cinco especies de mamíferos. Del total, 11 especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, cinco se consideran amenazadas). En detalle, estas 11 especies corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, cinco de las especies de aves y cuatro de las especies de mamíferos. En cuanto a su origen geográfico, tres de las especies registradas en la campaña son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas y una especie de mamífero); otras 25 especies se clasifican como nativas (22 especies de aves y tres especies de mamíferos), mientras que una especie es catalogada como introducida, *Equus asinus* (burro).

En la campaña de invierno 2020, se registraron dos especies que no se habían observado en invierno en campañas anteriores, ambas de la clase aves, y corresponden a *Geranoaetus poecilochrous* (aguilucho de la puna) y *Tringa flavipes* (pitotoy chico). De ellas, una especie (aguilucho de la puna), tampoco se había registrado en el monitoreo histórico de línea de base (PMB, 2015).

En relación a la riqueza por sector, en la campaña invierno 2020, se registraron 18 especies en el sector de Tilopozo, seguido por el registro de 16 especies en Peine y 13 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 13 especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, 12 especies en el humedal salar de Peine y 11 especies en el pajonal de Tilopozo.

La décima campaña de monitoreo, verano 2021, se realizó entre el 4 y 10 de abril de 2021, con un equipo integrado por seis especialistas, divididos en tres grupos. Se realizaron 20 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando por primera 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 de Peine.

Se registró una riqueza total de 28 especies, identificándose: dos especies de reptiles, 21 especies de aves y cinco especies de mamíferos. Del total, 10 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, tres 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 esta campaña de verano 2021, se registraron tres especies que no se habían observado en verano en campañas anteriores, todas de la clase aves, y corresponden a: águila (*Geranoaetus melanoleucus*), minero cordillerano (*Geositta rufipennis*) y golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*). De ellas, dos especies (águila y minero

cordillerano), tampoco se habían registrado en el monitoreo histórico de línea de base (PMB, 2015).

En relación a la riqueza por sector, se registraron 15 especies en el sector Tilopozo, 11 especies en La Punta y La Brava y siete especies en Peine, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la riqueza comparada por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), variando entre 11 especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, seguido por los ambientes humedal pajonal y matorral de Tilopozo, con 10 especies. El humedal salar de Peine, como fue indicado previamente, no fue muestreado por restricciones de acceso establecidas por la comunidad atacameña de Peine.

En el área de estudio, y en relación a la riqueza acumulada en las 10 campañas de monitoreo, ésta asciende a un total de 57 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 44 especies de aves y 10 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 y frecuente fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza. En relación a las aves, la abundancia fue mayor en verano 2018 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, sin muestreo en las lagunas de Peine).

Comparando las 10 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 57 especies registradas en total para las 10 campañas de monitoreo (de 2016 a 2021⁴) 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. De ellas, el águila y el minero cordillerano se registraron en la última campaña de verano 2021.

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, 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).

En general, para todos los monitoreos (desde 2016 a 2021), 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 hidrológico Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). Analizando el sistema hidrológico 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

⁴ A la fecha hemos ejecutado 4 campañas estacionales efectivas de terreno, que corresponden a 2017, 2018 y 2019 y 2021. La campaña verano 2020 no pudo efectuarse por COVID, sin embargo, para efectos de generalizar las campañas del PMB se consideran 5 campañas en verano (además de las 5 de invierno), dado que si se logró hacer otras componentes.

que en la Línea de Base, lo que está dado particularmente por la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*).

Cabe mencionar, que de las 10 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia y en verano 2021 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo (no se muestrearon 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 2020 y verano 2021, 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 2020 (15, 16 y 17 de septiembre 2020) y verano post-lluvias 2021 (06, 07 y 08 de abril 2021), que corresponde al quinto informe de monitoreo anual del subcomponente tapetes microbianos. Durante verano 2021, el Sector Peine conformado por la Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna no logró ser muestreado por la imposibilidad de acceder a dicho sector por restricciones impuestas por la comunidad de Peine (**Ver Anexo Carta Prohibición Acceso Peine**). 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.

Se analizaron *in situ* muestras de 16 puntos de monitoreo 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 los 16 puntos de monitoreo establecidos (68,8%) para invierno 2020

y en 5 de las 8 estaciones de monitoreo establecidas (62,5%) en verano 2021. 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.

A su vez, se observa la disminución de tapetes Tipología 1 a partir de verano 2019 respecto a campañas anteriores, que se relaciona con la detección de tapetes con menor estratificación (Tipología 2).

Respecto al espesor máximo obtenido en los tapetes, el mayor valor de invierno 2020 fue registrado en Laguna Interna (I-17) con 18 mm, mientras que en verano 2021, sólo se muestreo el Sector La Punta-La Brava, en la cual el mayor valor de espesor observado fue de 10 mm (LP-23).

El sector Tilopozo en las campañas invierno 2020 y verano 2021, no registró presencia de tapetes microbianos.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2020 y verano 2021, presencia en el Sector La Punta-La Brava de microbialitos (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 y verano 2021, 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 nueve campañas semestrales, en el Sector La Punta-La Brava (Sector Peine, no pudo ser muestreado en verano 2021 debido a imposibilidad de acceder a dicho sector). Estos tapetes 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 observa principalmente en el Sector Peine (invierno 2020).

En general, los tapetes Tipología 1 durante las nueve 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, verde claro, entre otras.

De los cambios importantes detectados en la estratificación de capas pigmentadas de tapetes microbianos no se observa una mayor disminución, entre campañas (invierno 2020 y verano 2021) en el Sector La Punta-La Brava.

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.

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector La Punta - La Brava (LB-1, LP-23) en las nueve campañas de monitoreo que han sido ejecutadas. 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-23) estas estructuras se observaron en invierno 2017, verano e invierno 2018, verano 2019, invierno 2020 y verano 2021.

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 y el potencial redox.

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 y verano 2019, 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 01 al 08 de septiembre de 2020, fecha entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno (M9), y la campaña de verano post-lluvias estivales, realizada entre los días 13 al 19 de abril de 2021, correspondiente al monitoreo 10 (M10).

Para el área de estudio, se evaluaron 14 puntos de muestreo, en los cuales se confeccionaron 14 calicatas de una profundidad máxima de 70 cm (M9) y 73 cm (M10). 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)⁵, 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).

En relación a la **conductividad eléctrica**, tanto en el sector de **La Punta-La Brava** como en **Tilopozo**, se observa en la mayoría de los puntos de muestreo una disminución de los valores en M10 respecto a M9, excepto en S 3-2 (La Punta-La Brava) y S 1-1 y S 1-2 (Tilopozo) donde la conductividad eléctrica es mayor en M10 respecto a M9. Mientras que, en el sector de **Peine** la totalidad de los puntos en M10 presentan valores de C.E. inferiores a los determinados para M9, lo que implica que en los perfiles de suelo se verifica que las sales se encuentran a mayor profundidad que la muestreada, debido a la profundización de éstas por efecto del arrastre de las aguas lluvia (percolación).

El porcentaje de **materia orgánica** en el sector **La Punta-La Brava** aumenta en la mayoría de los puntos en M10 respecto a M9, independiente de estos el contenido es **muy alto**, igual situación se presenta en **Peine** y en **Tilopozo**, la materia orgánica aumenta en M10 respecto a M9, la mayoría de ellos presenta un contenido **alto** y sólo en algunos **muy alto**.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en 3 puntos de muestreo el **pH** del suelo disminuye en M10 respecto a M9, en igual número de puntos no existen cambios numéricos y en 2 el **pH** aumenta en M10, lo que implica una variabilidad en los resultados para este sector. En cambio, en **Peine** la mayoría de los puntos de muestreo presenta una acidificación de los

⁵ Entre paréntesis se indica código original Punto Muestreo Suelos (PMB, 2015)

suelos respecto a M9 y sólo en un punto no existen cambios, igual condición se presenta en **Tilopozo**, pero aquí son 2 los puntos donde no se determina variación en el **pH**.

En general, para los tres sectores y al comparar los resultados de la concentración de sales solubles (salinidad) para ambos monitoreos, no se observa una tendencia estacional definida, por cuanto, en algunos puntos los valores para M9 son superiores a los de M10 y en otros estos son inferiores, siendo esto una indicación de comportamiento normal del área.

En el sector de **La Punta-La Brava y Tilopozo**, en la mayoría de los puntos de muestreo la **conductividad hidráulica** aumenta en M10 respecto a M9, y en **Peine** en la mitad de los puntos se observa un aumento en la permeabilidad en M10 respecto a M9. Aun cuando se observa una amplia variación numérica, pero no dependiente de la estación de muestreo, este cambio en la **conductividad hidráulica** ocasiona que sólo algunos puntos cambien de categoría, manteniéndose constante en la mayoría de ellos.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos el **nitrógeno** aumenta en M10 respecto a M9 y en sólo uno no presenta cambios. Mientras que, en el sector de **Peine**, la mayoría de los puntos el nitrógeno es superior en M10 respecto a M9, pero en un bajo número se observa un cambio de categoría, igual situación se presenta en **Tilopozo**.

En cuanto al **potasio** disponible, en la mayoría de los puntos presenta una disponibilidad **alta** y en un reducido número de puntos ésta es **adecuada**, aun cuando se observa una variación significativa en la concentración para todos los puntos. En el sector de **La Punta-La Brava**, en la totalidad de los puntos la disponibilidad de **potasio** es alta, y en la mayoría de éstos la concentración es menor en M10, respecto a M9. En cambio, en **Peine** la disponibilidad es **alta y adecuada**, y la mayoría de los puntos presenta una disminución de la concentración en M10, pero sólo un punto cambia de categoría. En el sector de **Tilopozo**, la mayoría de los puntos presenta una disponibilidad **alta** y en un reducido número es **adecuada**, en la mitad de los puntos la disponibilidad de **potasio** baja en M10 y en los restantes aumenta, a pesar de esto el cambio de categoría se verifica en 2 puntos de muestreo.

En el sector de **La Punta-La Brava** los suelos con disponibilidad de **fósforo muy baja** son los más frecuentes y en la mayoría de los puntos se observa una disminución del fósforo en M10, determinado que en 3 puntos cambie la categoría. En **Peine**, tanto los puntos que aumentan en M10 como los que disminuye se presentan en igual número, destacando que en 2 puntos no hay variación en el valor, aun cuando existe una variación numérica importante en la disponibilidad, esto no implica muchos cambios en las categorías, dado que se produce en sólo un punto. La concentración de **fósforo** en **Tilopozo** es muy variable, siendo posible determinar todas las categorías de disponibilidad, y en la mitad de los puntos la disponibilidad aumenta en M10 y en 2 puntos no hay cambio en el valor, en este sector se produce el mayor número de puntos que cambian de categoría (5).

En los tres sectores y para ambos monitoreos tanto los valores mínimos como máximos de **humedad** en el perfil de suelo se presentan en los mismos puntos, observándose en general que los valores mayores se presentan en el monitoreo invernal, lo que en general no es lo normal para el área de estudio, lo cual se atribuye a las baja precipitaciones ocurridas en el verano del 2021 y cuando precipitó fue en un corto tiempo, determinando una baja infiltración del agua.

Para el monitoreo M9 se detectó en 9 puntos agua a profundidad de trabajo, correspondiendo a 4 puntos en el sector de **La Punta-La Brava**, 2 en **Peine** y 3 en **Tilopozo**. Para M10 no se observó **nivel freático** a profundidad de trabajo en **Tilopozo**, y se mantiene constante el número en los otros sectores.

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

En relación a la campaña de verano 2020 (M8) no se realizó debido a la condición sanitaria (COVID 19) nacional e internacional.

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 presenta valores superiores a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En **Peine**, en la mitad de los puntos (S 11 y S 14) en el total de puntos la conductividad eléctrica es inferior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y en los restantes puntos sobre un 50% presentan una conductividad eléctrica superior a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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), 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

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 para los mismos puntos entre estaciones de muestreo, observándose similitud entre monitoreos invernales y estivales, situación similar se presenta para los otros 2 sectores.

Respecto al **pH**, en el sector de **La Punta- La Brava**, en todos los monitoreos excepto M5 los suelos son **moderadamente básico** o **ligeramente alcalino** y en este último 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**, de un **pH**

moderadamente básico y dominante en la mayoría de los puntos en los monitoreos M1 a M4 y M6 a M10, baja a **moderadamente básico** y otros más ácidos en M5, esta misma condición se presenta en **Tilopozo**.

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 presenta 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 para M10. 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** en M9 y M10. 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 es **baja** y **media** y las restantes muy escasa, aumentando a una disponibilidad **alta** y **muy alta** y en algunos puntos **media** para M7, M9 y M10.

La disponibilidad de **potasio** para el sector de **La Punta-La Brava**, es en la totalidad de los monitoreos 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 aumenta en 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 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.

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 y M10).

En relación con Limnología:

El presente informe consolidado da cuenta del monitoreo del quinto 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 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 diez campañas semestrales en las cuales se evalúan los subcomponentes biota acuática, calidad de aguas y sedimento, realizadas en los periodos de agosto de 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 correspondiente a la época de invierno, y marzo de 2017 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 lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine (**Ver Anexo Cartas Prohibición Acceso Peine - Verano 2021**).

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.

Cabe mencionar que, para las comunidades acuáticas 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), en la campaña verano 2021, no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

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 quinto informe consolidado, los resultados del componente agua de las campañas de monitoreo de invierno 2020 y verano 2021, 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 2020 y verano 2021, tanto para el sector de Peine (exceptuando verano 2021 que no pudo llevarse a cabo en lagunas 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 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, alcanzando un máximo de 212.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano 2019 en la estación I-17, valor que corresponde a una salinidad de 105 g/kg. Cabe mencionar que la conductividad detectada en I-17 en esa campaña, ha sido la más alta registrada durante todos los monitoreos del PMB, pero no superando las concentraciones registradas en línea base (LB) (agua hipersalina). El Sulfato, registró altos valores 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. Cabe mencionar que 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.

Por otra parte, estas lagunas de Peine presentan un carácter principalmente básico, 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 9,4 unidades de pH en laguna Saladita (SA-25) en verano 2018 y un mínimo neutro de 7,1 en verano 2019 en I-17. Respecto al oxígeno disuelto, las concentraciones en general fueron bajas en Saladita e Interna ($< 5 \text{ mg/L}$), lo

cual se relaciona con las altas salinidades y temperaturas registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

Para el **sector La Punta-La Brava**, los registros obtenidos durante los monitoreos de invierno 2020 y verano 2021, 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 62.533 mg/L en La Brava en verano 2021. Se observó un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava, alcanzando los máximos para estos parámetros en La Brava (LB-2) en verano 2021 con 131.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 119 g/Kg, respectivamente. 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, registrando un mínimo de 31.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano 2021). 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. Cabe mencionar que también se registró un descenso de estos parámetros en la estación LB-3, punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando valores entre 29.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (verano 2018) y 69.960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (invierno 2020)

Para este año, en el sector La Punta-La Brava se presentaron valores alcalinos de pH por sobre un valor de 8, esto en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. En estas lagunas, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más variables en verano 2021 respecto de invierno 2020, lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en verano que también fueron variables y afecta la solubilidad del oxígeno en el agua. Cabe mencionar que históricamente, se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a 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 cercanos a un valor de 8 en la mayoría de las estaciones en todos los períodos, exceptuando por un pH de 6 en LB-3 en invierno 2018. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados.

Otro parámetro presente en altos contenidos en estos sistemas es 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) (mínimo de 992 mg/L en LP-24 en invierno 2016 y máximo de 12.861 mg/L en LB-3 en verano 2019). 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 de calidad de agua obtenidos en el **sector de Tilopozo**, para invierno 2020 y verano 2021, muestran un sistema notablemente menos salino que La Punta y La Brava, lo que es esperable al ser una zona de vegas y de su lejanía del núcleo del salar, registrándose valores menores de conductividad (entre 3336 y 4320 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2 g/Kg) y un pH neutro, con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 316 y 351 mg/L. Las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de 2 y 3 m de profundidad, respectivamente, y TB-2 a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Por tal razón algunos parámetros tuvieron resultados similares para TB-1 y TB-3, en relación a la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila "a" y turbiedad.

Desde un punto de vista histórico, las temperaturas en Tilopozo 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. 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 a 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 a 3 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente y TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que esta última se encontró sin agua superficial en verano 2019, invierno 2019, invierno 2020 y verano 2021.

Respecto a la calidad de sedimentos, los resultados descritos para 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 media*.

Los resultados de sedimentos para las estaciones del **sector La Punta y La Brava** (campañas invierno 2020 y verano 2021), 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, fósforo 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 todas las estaciones de este sector se registraron mayores valores en la campaña de monitoreo de verano 2021 (<1000 mg/Kg) respecto de la de invierno 2020 (<0,5 a 80,47 mg/Kg). Sin embargo, tales resultados de verano 2021 deben observarse con cautela, ya que los límites de detección del analito entre una campaña y otra son notablemente disímiles haciendo complejo su contraste. La ETFA ANAM a través de la Carta R 102/ 2021 respondió a esta inquietud, afirmando que hubo un cambio en la técnica de determinación del analito, ya que, por requerimientos de la SMA, los análisis informados deben estar autorizados para la ETFA. Respecto el potencial redox, en todas las estaciones de ambas campañas se registraron características reductoras con valores negativos.

Respecto a la granulometría obtenida en verano 2021, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, correspondieron a *Arena fina* y *Arena media*, respectivamente, con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado* y *Pobremente seleccionado*, en cada estación. En laguna La Brava el diámetro medio de grano correspondió a *Arena gruesa*, con un grado de selección obtenido de *Muy pobremente seleccionado* y *Pobremente seleccionado*.

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, 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 halófilicos, 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 altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total, este último alcanzando los 1800 mg/Kg en la estación TB-3 en verano 2021, además de concentraciones elevadas de nitrógeno total Kjeldahl en el sector, tanto en invierno 2020 como en verano 2021 (entre 5,4 y 13,7 g/Kg). Tales parámetros han sido variables a lo largo del PMB (históricamente), sin

una tendencia clara observada. Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en ambos periodos y en ambas estaciones (-343 a -270,3 mV). Cabe mencionar que las estaciones TB-1 y TB-3 como corresponden a pozas de 2 y 3 m de profundidad, se favorece la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos. Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo en verano 2021, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondieron a Arena media tanto en TB-1 (0,271 mm) como en TB-3 (0,367 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* en ambas estaciones.

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 2020 y verano 2021, estos correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Cocconeis*, *Amphora*, *Achnantheidium*, *Fragilaria*, *Fallacia*, *Diatoma* y *Nitzschia* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes hipersalinos (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009). Cabe mencionar la presencia de cianófitas la que en el presente monitoreo anual estuvo representado por el género *Microcystis*, cosmopolita, y determinado 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 para el *fitobentos* y *fitoplancton* en riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, es probable que tengan relación con las variaciones estacionales dadas entre los periodos invierno y verano (muestreo post lluvias). Cabe destacar que en ambas campañas se observó disminuciones en la abundancia, en tanto las riquezas presentaron registros más bien similares. Esto podría responder a las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, producto del aumento de las precipitaciones en el salar (2018, 2019 y 2020), lo que podría estar afectando la diversidad microalgal, repercutiendo en las abundancias de estos componentes.

En el **sector Peine** para *fitobentos* y *fitoplancton*, como se mencionó, no se tuvo acceso al sector, por lo cual no fue posible comparar entre ambas campañas dado que se cuenta con información solo para la campaña de invierno 2020.

La campaña de invierno 2020 presentó un total de 20 géneros para *fitobentos* y 17 para *fitoplancton*, las mayores riquezas se registraron en la estación I-11 (Laguna Interna) para *fitobentos* y S-10 (Laguna Saladita) para *fitoplancton* y las mayores abundancias en S-5 (Laguna Salada) para *fitobentos* y S-10 (laguna Saladita) para *fitoplancton*. Por otra parte, el *fitobentos* presentó una diversidad y equidad mayor en la estación S-9 (laguna Salada) e I-17 (Laguna Interna) respectivamente. En tanto, para *fitoplancton* la diversidad y equidad fue mayor en las estaciones S-9 y S-5 (laguna Salada).

Respecto del *fitobentos* y su evolución histórica en el **sector Peine**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno), se observó que los registros fueron similares para la riqueza y valores bajos para la abundancia. En cambio, para el *fitoplancton* invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno), se observaron registros similares de riqueza y abundancia total.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica y fitoplanctónica entre invierno 2020 y verano 2021 considerando el sector **La Punta y La Brava**, presentaron registros con diferencias entre el periodo de invierno y verano con 20 y 25 géneros para *fitobentos* y 9 y 17 géneros en total para *fitoplancton*.

Las mayores riquezas por estación de muestreo para *fitobentos* fueron observadas en la laguna La Punta, en ambos periodos de monitoreo. En invierno y verano la estación LP-23 presentó la mayor riqueza. Por otra parte, en la laguna La Brava en la estación LB-2 y LB-3 se observaron las menores riquezas en ambos periodos de monitoreo. Para el *fitoplancton*, las mayores riquezas por estación de muestreo fueron observadas en la laguna La Brava en invierno y en la laguna La Punta en verano. En invierno la estación LB-3 presentó la mayor riqueza, mientras que, en verano fue la estación LP-23. Por otra parte, en la laguna La Punta en la estación LP-23 en invierno y LP-24 y LB-2 (laguna La Brava) se observaron las menores riquezas en ambos periodos de monitoreo.

La abundancia total detectada en **La Punta y La Brava** para *fitobentos*, fue mayor en el periodo de invierno 2020 respecto de verano 2021. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2020 y verano 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación LP-23 (laguna La Punta). Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LB-2 (laguna La Brava) en invierno 2020 y en la estación LB-3 (laguna La Brava) en verano 2021. Para el *fitoplancton* la abundancia total en La Punta y La Brava, fue mayor en el periodo de verano 2020 respecto de invierno 2021. Las abundancias por estación de monitoreo, entre invierno 2020 y verano 2021 presentaron la mayor abundancia

en la estación LP-24 (laguna La Punta) y LB-1 (laguna La Brava) respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-23 y LP-24 (laguna La Punta) en invierno 2020 y en verano 2021.

Por otra parte, durante invierno 2020 y verano 2021 el *fitobentos* presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en la estación LP-24 (laguna La Punta) en invierno y LB-2 (laguna La Brava) en verano. En cambio, la menor diversidad fue detectada en la estación LB-3 (laguna La Brava) en invierno y LP-24 (laguna La Punta) en verano y la menor equidad en la estación LB-1 (laguna La Brava) en ambos periodos de monitoreo. Por otra parte, en invierno 2020 el *fitoplancton* presentó, una diversidad y equidad mayor en la estación LB-3 (laguna La Brava) en invierno y LP-24 (laguna La Punta) en verano. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación LB-1 (laguna La Brava) en ambos periodos de monitoreo.

Respecto del *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 invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2021 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros de riqueza de géneros fueron similares para un mismo periodo estacional. En cambio, los registros para la abundancia fueron variables.

En tanto, para *fitoplancton* y su evolución histórica, para riqueza de géneros al comparar invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno), se observó registros similares. En el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre verano 2021 y línea de base (periodos de verano), se observó registros ligeramente mayores de riqueza en verano 2021 respecto de la línea de base. 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.

La comparación de la riqueza total de la comunidad fitobentónica y fitoplanctónica entre invierno 2020 y verano 2021 considerando el sector **Vegas de Tilopozo**, presentó un registro similar entre el periodo de invierno y verano. En tanto, entre estaciones de monitoreo, las mayores riquezas por estación de muestreo en invierno y verano lo presentó la estación TB-1.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo para *fitobentos* y *fitoplancton*, fue menor en el periodo de invierno 2020 respecto de verano 2021. En relación con las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2020 y verano 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación TB-1 en ambos periodos de monitoreo.

En la campaña de invierno 2020 y verano 2021 para *fitobentos*, los valores de diversidad fueron mayores en TB-1 en invierno y TB-3 en verano. En tanto, la mayor equidad la presentó TB-1 en invierno y TB-3 en verano. Para *fitoplancton*, los valores de diversidad y equidad fueron mayores en TB-1 en la campaña de verano, en tanto, en la campaña de invierno no se pudo calcular estos indicadores comunitarios ya que las estaciones presentaron solo un género.

Respecto a la **evolución temporal en vegas de Tilopozo**, para *fitobentos* y *fitoplancton*, tanto la riqueza de géneros los registros de invierno como de verano fueron similares. En tanto, se ha observado que la abundancia en ambos periodos estacionales invierno y verano, han presentado una disminución en el tiempo con menores registros en verano. Cabe señalar que, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial desde la campaña de verano del 2019 adelante.

Para *fitobentos*, específicamente la estación TB-1 presentó un alto valor de riqueza en invierno 2016 y 2020 y la estación TB-3 en verano 2017 y 2018. Por otro lado, para la abundancia, la estación TB-1 presentó los mayores valores en invierno 2016 y 2017 y en verano 2017 y 2019. Para el *fitoplancton*, los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre invierno y verano presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 (TB-3), en tanto, para verano se observó 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.

La comunidad de *zooplancton* en el **Sector Peine** en invierno 2020, se observaron riquezas entre 2 y 3 *taxa* en las estaciones de muestreo. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida principalmente de la familia Canthocamptidae, por el branquiópodo *Artemia franciscana* (en estado larvario *Metanauplius* y adultos), crustáceos Ostrácodos y también por larvas de insectos dípteros de la familia Ephydriidae. Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton fueron bajos y variaron entre 0,47 ind/L en I-11 (laguna Interna) y 1,35 ind/L en S-10 (laguna Saladita). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en Peine fueron los copépodos Canthocamptidae, obteniendo su máximo registro en S-9, además de ser los más abundantes en las estaciones de las lagunas Salada e Interna. Por su parte *A. franciscana* mayoritariamente se encontró en S-10 siendo encontrado solo en laguna Saladita.

Cabe mencionar que en este sistema los zooplancteres más abundantes han sido los 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. Esta especie se considera como halofílica, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L.

La comparación entre invierno 2020 y verano 2021 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 6 *taxa* en LP-24 en invierno 2020 y un mínimo de 2 *taxa* en LB-3 (invierno 2020) y LP-23 (verano 2021). Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron bajas tanto en invierno 2020 como en verano 2021. El registro menor correspondió a 0,25 ind/L en LB-3 (verano 2021) y el mayor a 9,43 ind/L en LP-24 (invierno 2020). Al comparar por estación y período, las abundancias totales fueron mayores en invierno 2020 en laguna La Punta y mayores en verano 2021 en laguna La Brava. Para los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna. En invierno 2020, los grupos dominantes en laguna La Punta fueron los copépodos Canthocamptidae y *Boeckella bergi*. Las estaciones de laguna La Brava, fueron mayormente representadas por copépodos Canthocamptidae y secundariamente por el branquiópodo *Artemia franciscana*, observándose un incremento en LB-2 en la proporción de *A. franciscana* respecto a los copépodos. Para el verano 2021, la fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por *A. franciscana*, por copépodos Calanoida de la especie *Boeckella poopoensis* (familia Centropagidae) y por copépodos Harpacticoida del género *Tigriopus*. El taxón con mayor frecuencia en esa campaña fue *Tigriopus* sp., que se encontró en todas las estaciones de ese sector. Históricamente, la comunidad de zooplancton en La Punta y La Brava, 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 2018 y verano 2019 en las estaciones LP-23 y LP-24 y en verano 2019 en las estaciones LB-1 y LB-3, donde se sobrepasó en abundancia total. Las riquezas fueron bajas, entre 1 y 4 *taxa* en los periodos de verano e invierno monitoreados

El zooplancton del **Sector de Tilopozo**, en invierno de 2020 en la estación TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde solo se encontró copépodos Canthocamptidae y artrópodos Collembola. Estos últimos corresponden a hexápodos primitivos no alados que no pertenecen a la clase Insecta, principalmente son de hábitat terrestre y son escasamente mencionados debido a que son parte de categorías no planctónicas y que aparecen ocasionalmente. En la estación TB-3, ocurrieron 3 *taxa*, *Artemia franciscana*, Copepoda y Acari, con una abundancia total en esa estación de 0,22 ind/L. Si bien fueron bajas las abundancias, *A. franciscana* fue la más representativa. En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2021, solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zooplanctónicos, donde se encontraron organismos que son parte de categorías relacionadas con el zoobentos y que aparecen ocasionalmente como parte del zooplancton. Entre los *taxa* encontrados están los dípteros Orthocladiinae (Chironomidae), el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Cyprididae y Ácaros (Acari). La

abundancia total fue de 0,95 ind/L, siendo *H. atacamensis* el taxón dominante con 0,85 ind/L. 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. Históricamente en este sector, 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.

El zoobentos del **Sector Peine** para la campaña de invierno 2020, registró una riqueza entre 2 y 6 taxa, encontrándose el máximo en la estación S-5 (laguna Salada) y de 2 a 3 taxa en las demás estaciones. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta principalmente por copépodos Harpacticoida, junto con larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Ephydriidae y Chironomidae (entre otras), crustáceos ostrácodos *Eucypris* sp. y *Herpetocypris* sp., además de moluscos de la familia Cochliopidae. Los organismos más abundantes fueron los copépodos Harpacticoida, alcanzando los 9744 ind/m² en S-10. 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 mayores en invierno 2020 respecto a verano 2021. El menor registro fue de 250 ind/m² en LP-23 (verano 2021) y el mayor de 11303 ind/m² en LB-1 (en invierno 2020). En relación a los taxa dominantes registrados en el sector, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y campaña. En invierno 2020 los taxa dominantes por cada estación fueron los dípteros Ceratopogonidae y Ephydriidae en LP-23 y LP-24 (respectivamente), los copépodos Harpacticoida como dominantes en LB-1, gusanos Oligochaeta en LB-2 y las larvas de insectos Ceratopogonidae y gasterópodos Cochliopidae en la estación LB-3. En verano 2021, los taxa dominante fueron *Heleobia* sp. y Orthoclaadiinae en LP-23, Orthoclaadiinae en LP-24, *Tigriopus* sp. en LB-1, Muscidae en LB-2 y Orthoclaadiinae, Stratiomyidae y Cyprididae en LB-3. Históricamente en este sector se registró 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 fueron mayores 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 2020 como en verano 2021, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 1 y 2 *taxa* por estación). Durante invierno 2020, en TB-1 se encontró mayoritariamente el crustáceo ostrácodo *Herpetocypris* sp., además del gasterópodo Cochliopidae *Heleobia* sp. En la estación TB-3, solo ocurrió el taxón *Heleobia* sp. en alta abundancia, siendo el mayor registro para este sector durante esa campaña. Durante verano 2021, en TB-1 se encontró en gran abundancia el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (386.375 ind/m²) con el mayor registro histórico para este sector. En la estación TB-3, solo ocurrió el taxón *H. atacamensis* también en alta abundancia (277.875 ind/m²). Históricamente en este sector se registró que en las campañas de invierno mostró muy bajas riquezas de *taxa* (0 a 5) a diferencia de las campañas de verano (entre 0 y 6 *taxa* por estación), 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), seguida por la abundancia total registrada en TB-3 durante esa misma campaña (277.875 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 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.

Respecto de las *plantas vasculares acuáticas*, en los tres sectores evaluados en las campañas de invierno 2020 y verano 2021, 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 2020 y verano 2021, 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 2020 debido a restricciones de acceso. Se observó en los sectores de Peine y La Punta - La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en porcentajes intermedios. Solo en las orillas de la laguna La Punta se reportó la presencia de la helófito emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* ha sido reportada desde verano 2018 a la fecha en las lagunas La Punta (LP-23) y La Brava (LB-2).

En términos temporales inviernos y veranos, el Sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófito 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, 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 (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 2020.

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 2020, 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.

Durante las campañas 2020, se presentaron restricciones de acceso a los subsectores de estudio, tanto por las medidas sanitarias en el marco de la Pandemia COVID – 19; como también, parte de las medidas de acceso limitado a áreas con poblaciones de flamenco en fase reproductiva informado por las comunidades atacameñas.

En la campaña verano 2020 solo fue posible realizar validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine). En **Anexo Área de Lagunas** se adjunta Carta N°78/2020 de la Comunidad de Peine.

Los valores de ajuste se obtuvieron mediante el índice *Kappa*⁶, este índice tuvo valores de 0,64 y 0,96 para imágenes de alta resolución y de 0,56 y 0,77 para imágenes de resolución media en agosto de 2020, en los sectores de La Punta y La Brava y Peine, respectivamente. Respecto de diciembre de 2020, este índice tuvo una variación entre 0,62 y 0,73 para imágenes de alta resolución y desde 0,44 a 0,73 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*. 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. Los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un

⁶ 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).

gradiente de vegetación en los bordes lagunares, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua, esto ocurre especialmente en invierno o en aumentos de las superficies inundadas, periodos en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies combinándose con otros recubrimientos.

Complementariamente se aplicó el índice de *precisión global*⁷, los valores tuvieron una variación entre 83% y 98% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y desde 79% y 90% para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2020, para la Punta – La Brava y Peine, respectivamente. Respecto de diciembre de 2020, la precisión global del modelo obtuvo valores entre 85% y 88% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y desde 82% a 87% para imágenes de resolución media Landsat 8 en La Punta - La Brava y Peine, respectivamente. Valores promedio sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado con el resultado del método de clasificación supervisada, en todos los sectores y para ambas temporadas (agosto 2020, diciembre 2020).

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución (Pleiades 1A) en invierno de 2020 correspondieron a: 51,4 ha en La Punta y La Brava y 54,2 ha en Peine, en tanto para verano de 2020 las superficies son: 28,4 ha en La Punta y La Brava y 73,5 ha en Peine.

Las superficies lagunares estimadas en el monitoreo desde imágenes de media resolución (Landsat 8), para invierno de 2020 corresponden a 60,0 ha en La Punta y La Brava y 105,4 ha en Peine, en tanto para verano de 2020, corresponden a 36,1 ha en La Punta y La Brava y 83,0 ha Peine.

En relación al análisis comparativo entre las imágenes satelitales, las diferencias en la resolución espacial entre las imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, para los periodos de invierno y verano de 2020, son atribuibles principalmente a diferencias en la resolución espacial (tamaño pixel). La variación más importante se da en el sistema lagunar Peine, en agosto de 2020, donde existe una diferencia de +48,6% de Landsat 8 sobre Pleiades 1A (+51,2 ha); por otra parte, en verano 2020 esta diferencia alcanza un +11,5% (+9,5 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 2020 muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1-A de un +14,3% (+8,6 ha). Desde imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua en comparación con los verificados para Pleiades 1-A,

⁷ El índice de Precisión Global (*Overall Accuracy*) describe la exactitud de los aciertos en la clasificación supervisada expresada en porcentaje (0 a 100%). Se interpreta como la proporción de píxeles de una imagen clasificados correctamente en concordancia con los datos de terreno, p.ej. todos los píxeles identificados como "agua" en la imagen, también corresponden a "agua" en terreno, en este caso de un 100% de coincidencia es una clasificación perfecta.

muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +21,3% (+7,7 ha) para diciembre 2020.

La correlación entre las superficies calculadas desde alta resolución (Pleiades 1A) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestran para el año 2020 que para los sectores La Punta-La Brava y Peine, las variables tienen una relación positiva con una correlación entre *moderada* y *baja*; mientras que los valores *p* indican que existe evidencia no concluyente sobre la significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat. Lo anterior, señala que las 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 del contorno de los recubrimientos, 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).

En relación con la evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria semestral (2016 – 2020)), en los sectores de estudio se observa que la máxima extensión de la superficie de los cuerpos de agua se presenta en los meses de invierno, con registros más bajos en verano. Las fluctuaciones entre las superficies de inviernos y veranos son variables. En general, se observa una tendencia desde 1984 al descenso de las superficies de invierno, en el sistema La Punta y La Brava, cuyas diferencias entre superficies de inviernos y veranos han disminuido y se ven acortadas desde el año 2008, mostrando en dicho año un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno hasta la fecha actual. Para el sistema Peine, se observa también mayores superficies en invierno y menores en verano, pero sin una tendencia marcada. Vale destacar, que las variaciones de las superficies de los cuerpos de agua observadas en la serie complementaria semestral (2016 -2020), están en los rangos mínimos y máximos registrados en la serie NDWI-Landsat histórica (1972 – 2014).

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 – 2020), las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo de seguimiento PMB 2016 a 2020, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, en todos los sectores de estudio, tanto en las superficies de invierno y verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y complementaria semestral 2016 - 2020.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes en la serie semestral

de seguimiento PMB, 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, todos ellos elementos que la serie histórica no considera.

En ese sentido, la validación en terreno implementada en el seguimiento ambiental, 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 presente informe. Para el caso de La Punta y la Brava la metodología aplicada, permite la inclusión de áreas de vegetación inundada a la superficie total de ocupación de las lagunas, señalados en los índices NDVI y por la banda NIR, lo que explica la inclusión de áreas de transición que no son detectadas por la metodología NDWI-Landsat, lo que se traduce en las diferencias en las superficies de ambos métodos.

En relación a la variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución, la variación de las superficies semestrales de alta resolución 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. 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, siendo más amplia o más acotada, sin un patrón fijo.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución para el sector Peine, se encuentran sobre los mínimos históricos de AR, con una variación estacional poco influenciada por la evaporación, pero donde en Sistema Peine en relación a Sistema Lagunar La Punta- La Brava, no se percibe una relación más directa y respuestas puntuales entre la precipitación registrada y las variaciones en el área de ocupación de los cuerpos de agua; con registros al alza tanto en invierno como verano, como los observados en verano 2017 y verano 2020.

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 2020 a marzo 2021**.

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 (llamados barrenos), 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.

Para los años 2020-2021, para los pozos del sector La Punta - La Brava (los barrenos BA-05, BA-07 y BA-16) se presentan registros de mayor frecuencia de medición a partir de agosto de 2020 (exceptuando el mes de diciembre 2020). Esto, debido a la activación del PAT Sector Alerta Norte (asociado a SQM) que hubo en agosto 2020, lo que implicó aumentar la frecuencia de medición desde ese mes hasta octubre 2020 para todos los puntos del PSAH. Posterior a ello, en enero de 2021 volvió a activarse el PAT Sector Alerta Norte, por lo que Albemarle siguió con la medición de frecuencia de 2 niveles mensuales hasta marzo 2021, mes que cierra el presente análisis. En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, en ellos se mantuvo una medición quincenal de niveles por el mismo periodo de activación del PAT, sin embargo, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en enero, febrero y marzo del 2021 en BA-21, y desde noviembre 2020 a marzo 2021 en BA-22. La no autorización del ingreso antes referida es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar (ver Ref. Carta Comunidad de Peine Doc. N°78/2020 en Anexo de Niveles de este Informe).

De los niveles medidos para los 5 puntos monitoreados se puede concluir que el valor promedio anual del período, para cada pozo, se encuentran sobre los valores de línea base e históricos o bien dentro del rango de los valores históricos registrados.

En general, para el sector La Punta – La Brava, se tiene que los niveles del último año, en promedio, se encuentran en torno o por encima del mínimo de la Línea Base, y por encima del mínimo del periodo histórico (pre operación), en tanto que en el sector Peine los niveles promedio del último año están por encima tanto del mínimo LB como del histórico. En La Punta-La Brava se presentan pozos de variabilidad estacional que, considerando las cotas mínimas, muestran una tendencia al descenso hasta el 2019, como es el caso de los pozos BA-05 y BA-16, y después de eso muestran alzas en sus registros; por otro lado, los datos en sector de Peine, el último año muestran una leve alza con la tendencia estable en el pozo 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. Acá vale la pena mencionar que durante este último verano 2020-2021 no hubo ningún evento de precipitación. Además, hubo una inusual lluvia durante agosto 2020, por lo que los niveles mostraron un aumento algo desfasado con respecto al observado en años anteriores, en septiembre. Para algunos pozos (BA-05 y BA-07) se registraron cotas bajo los mínimos históricos. Luego, en marzo 2021 para los pozos del sector La Punta - La Brava se tienen aumentos del nivel entre 2,3 y 3,2 cm, lo que lleva a los registros de marzo 2021 a ser algo menos elevados que algunos de años anteriores para estos pozos. Cabe recordar que no es posible chequear este efecto en los niveles del Sector Peine, ya que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso al sector a realizar mediciones en este último verano.

Para el **Sistema La Punta - La Brava**, considerando toda la data disponible (abril 2013 - marzo 2021) en los pozos **BA-05** y **BA-16** se observan niveles con una leve tendencia al descenso en los últimos años (registrándose también nuevos mínimos históricos en ambos pozos 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 septiembre, como consecuencia de las lluvias registradas en agosto 2020 y valores de niveles menores (o aguas más profundas), en los meses de verano, entre diciembre y marzo. Por otro lado, el pozo **BA-07** presenta una tendencia al descenso de sus niveles, (en sus cotas mínimas y máximas) hasta el verano de 2019, lo anterior se revirtió producto de las lluvias de enero 2019, en donde subieron sus cotas, pero con el tiempo vuelve a la tendencia al descenso observada previamente.

Realizando el mismo análisis histórico para el Sistema Peine (2013-2020), representado por los pozos BA-21 y BA-22, se tiene que para los niveles en el pozo **BA-21** se presentan ciclos de 2 años (entre un valor alto y uno bajo) distintos a los ciclos anuales que presenta BA-22 y como también se presentan los pozos del sector La Punta - La Brava. Para el pozo BA-21, 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 periodos de invierno boliviano, lluvias que generalmente acontecen en febrero. En el último año también se observó un aumento inusual de los niveles en septiembre 2020, como consecuencia de las lluvias ocurridas en agosto de ese año. Para BA-21, los registros de la serie indicaban una tendencia al descenso de los valores mínimos de la serie y un ascenso de los valores máximos hasta enero 2019. Luego, se tiene un aumento general de la cota de los niveles en el pozo, y se estrecha la amplitud de los niveles (diferencia entre el máximo y el mínimo), la que a grandes rasgos se mantiene en este último periodo.

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). Se observan en general niveles más elevados en el pozo para este último año, con un peak en septiembre 2020 debido a las lluvias del mes anterior. Así, el promedio de los niveles el último año, período abril 2020 a marzo 2021, se encuentra tanto por sobre el mínimo histórico y de línea base, como también por encima del promedio de los últimos 3 periodos anuales. Sólo hay un registro bajo el mínimo de LB (pero por encima del histórico) en abril 2020, aunque cabe recordar que desde octubre 2020 en adelante no se pudieron realizar mediciones en el pozo.

En relación con el Estado Ecológico del Sistema:

En relación con el indicador de cobertura promedio de vegetación por sector, en términos generales, de acuerdo a los resultados de los seguimientos de 2016-M1 a 2021-M10, se tiene que: (1) el sector de Tilopozo presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos principalmente desde MB0 a M5, en M6 presenta una baja moderada de la cobertura promedio, presentando una recuperación de cobertura vegetal en M7 y continúa con valores similares en M9 y M10. En relación con la cobertura de rastrojos para el sector Tilopozo, en general se presentan promedios mayores a los registrados en MB0; no obstante, se verifica una disminución de la vegetación muerta en M7 con respecto a M6 y de M10 con respecto a M9; (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, aunque este sector presenta solo 4 transectas. 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 M10.

Con respecto a la riqueza, se observa una variación leve entre los monitoreos desde MB0 a M10, con variación en La Punta y La Brava de 6 a 5 especies; y de 6 a 8 especies en Tilopozo según último registro observado en M10 y una variación mayor en Peine por el aumento puntual de tres especies, producto de las lluvias estivales, en el tercer (M6) y cuarto año (M7) de monitoreo.

Respecto de la cobertura vegetal por transecta, en general se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, de M1 a M10 (2016-2021) en ambos sistemas. Puntualmente, se tiene que las principales variaciones son: (1) en el sector de La Punta y La Brava, un descenso de la cobertura en el matorral de *S. fruticosa* entre M1 y M7, aunque presentándose un aumento de las coberturas en M10 según las registradas desde M6, y una tendencia al descenso desde MB0 a M10 en el herbazal de *J. balticus*, T13 en La Punta a pesar de los ascensos intermitentes que se observaron, principalmente en M7, y un descenso en las transectas T11 y T10 (herbazales de *T. concinna*); (2) en el sector de Tilopozo, destaca el descenso de la cobertura en T26 y T28 (herbazal de *D. spicata*), en el herbazal de *J. balticus* un descenso marcado en las transectas T18 y T30 y en los matorrales de *T. absinthioides* también se observa un descenso general, aunque las fluctuaciones entre monitoreos de invierno y verano son

mayores, destacando una mayor diferencia en la transecta T24; (3) en sector Peine, se aprecian menores descensos, destacando T06 en un matorral de *T. absinthioides* con el menor registro de cobertura en M10, pero que había presentado una cobertura mayor en M9, que la registrada desde M2 a M7.

Por otra parte, cabe destacar que el herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo y Peine, presenta la mayor cobertura vegetal en cada sector, y si bien registra variaciones entre monitoreos, en general no ha presentado variaciones significativas (a excepción de la transecta T01 en comparación a su condición base, pero que se ha mantenido estable en el rango de los valores entre monitoreos), ya que éstos siempre han mantenido una cobertura absoluta por sobre o cercana al 100%.

Con respecto a las mayores variaciones de coberturas y de estructura comunitaria, se observan para las especies o formaciones que presentan menor cobertura vegetal, como es el caso de T21 que aumentó la cobertura vegetal desde MB0 y T26 que disminuyó su cobertura en el tiempo, ambas en herbazales de *D. spicata* de Tilopozo y T10 en un herbazal de *T. concinna* en La Brava, todas con coberturas menores al 10% en todo el periodo de seguimiento.

Respecto de la estructura comunitaria, o composición de las especies, durante el periodo de seguimiento (M10; verano 2021) a nivel de los sectores de evaluación, se presenta en general estable con cambios específicos en la estructura de ciertas transectas. En términos generales, se presentan algunas variaciones, aunque estos cambios no presentan una tendencia clara y se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar.

En relación a la salinidad (sustrato salino), para el **Sector Tilopozo-La Punta y La Brava**, la mayor parte de las transectas de monitoreo del sector registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con variaciones menores o cercanas a un 10% en esta cobertura. No obstante, en La Punta y La Brava, la transecta T12 presenta una baja del 30% de la cobertura salina en el año 5 de monitoreo con respecto a M1 y en Tilopozo las transecta T27 representa una variación de un 40%, aun que estaría asociado al cambio de sustrato (recubrimiento terroso, no salino). Para el **sector Peine**, seis de las nueve transectas de monitoreo del sector registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento; donde la transecta T05 y T06 muestran un aumento de la cobertura salina en comparación con M1, principalmente hasta al año 3 de seguimiento, pudiendo estar relacionado a la amplia variación de concentración de sales en el suelo, por efecto de variaciones hidroclimáticas del sistema, o bien, la baja de cobertura en el periodo 2015-2016 sugieren un evento anómalo que conllevó a la disminución. El descenso de la cobertura salina de T09 (Peine) hasta M6 presentaba una relación proporcional significativa con la cobertura vegetal, perdiendo esta relación en M9-M10 sugiriendo continuar el análisis para establecer una tendencia.

En base a la evaluación del estado ecológico en las **transectas de vegetación** de acuerdo a lo establecido 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)*”, con la información que se tiene hasta verano 2021, 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 en las transectas, ya mencionadas, que sugieren continuar el análisis para comprobar una tendencia debido a las fluctuaciones que se registran entre monitoreos, dando a entender que los cambios 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 2019 a 2021 considerando la baja que se venía observando respecto a los registros históricos.

Se realizó la comparación de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat para el periodo pre - operacional (2009-2016) y operacional (2016-2020) en las formaciones de seguimiento para los sectores Tilopozo – LPLB y Peine. La evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra tendencias positivas en ambos periodos de estudio, indicando esto una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una muy leve tendencia al ascenso en todas las formaciones vegetales monitoreadas. Destaca la condición previa al 2011 de NDVI bajos, en ambos sectores y para todas las formaciones, situación que no se ha dado en los últimos 3 años consecutivos (2019-2021); y que según las pruebas de tendencia podría suponer un periodo de aumento de la superficie de vegetación activa o mayor actividad en las ya registradas.

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 si 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, con una tendencia leve al alza desde 2020 en la formación herbazal de *S. californicus* del sector Peine, aunque los datos no son concluyentes estadísticamente.

En relación a las superficies de lagunas, es posible señalar que las superficies de los cuerpos de agua se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos. En ambos sistemas lagunares, las superficies promedios anuales están por sobre los registros mínimos de línea de base. Lo anterior, se confirma a partir del análisis del comportamiento

temporal de los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine presentado en este informe, que indica que, al comparar la dinámica pre - operación y post - operación del proyecto, se mantiene el estado ecológico y las superficies lagunares se mantienen en equilibrio hasta el quinto año de monitoreo, mostrando alta variabilidad, sin una tendencia clara ni variaciones sostenidas significativas.

Para el sector La Punta y La Brava , las variaciones entre promedios no sobrepasan el 13% y los valores anuales en promedio, se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente.

En relación con Niveles Freáticos, se puede señalar que, del análisis de tendencia para los 3 últimos años de monitoreo, los niveles freáticos presentan comportamientos diferentes en ambos Sectores. En particular, para el Sector La Punta - La Brava los valores medidos anualmente en promedio de los últimos 3 años para los pozos BA-05 y BA-16 presentan una leve tendencia al descenso, aunque dentro del rango histórico, por sobre los mínimos de Línea Base, y por sobre el mínimo histórico. Por otro lado, para el pozo BA-07 muestra niveles variables, sin tendencia al descenso de los niveles promedio anuales en los últimos 3 años, y para todos los años por sobre el mínimo histórico, y por encima también del mínimo de Línea Base, manteniéndose así dentro de los rangos registrados históricamente.

Para el Sector Peine, se observa, en el pozo BA-21 se observan niveles variables, con aumentos y descensos en los niveles anuales, en los últimos 3 años con una tendencia al ascenso, y todos los niveles anuales promedio se encuentran dentro de los rangos históricos del pozo. El pozo BA-22 por su parte muestra niveles anuales promedio muy estables en el tiempo, con una leve tendencia al alza en los últimos 3 años. En general todos los niveles son similares y dentro del rango histórico de los niveles registrados en el pozo.

De acuerdo con lo anterior y a partir del comportamiento de las 3 variables de estado (Superficie lagunar, Vegetación y Niveles) monitoreadas durante estos 3 años consecutivos (período 2017-2021), se observa la mantención del estado ecológico del sistema, por cuanto no se han registrado cambios significativos en su dinámica, permaneciendo dentro de los rangos de línea de base registrados históricamente por sector.

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 operaciones⁸. 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°5, 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 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):

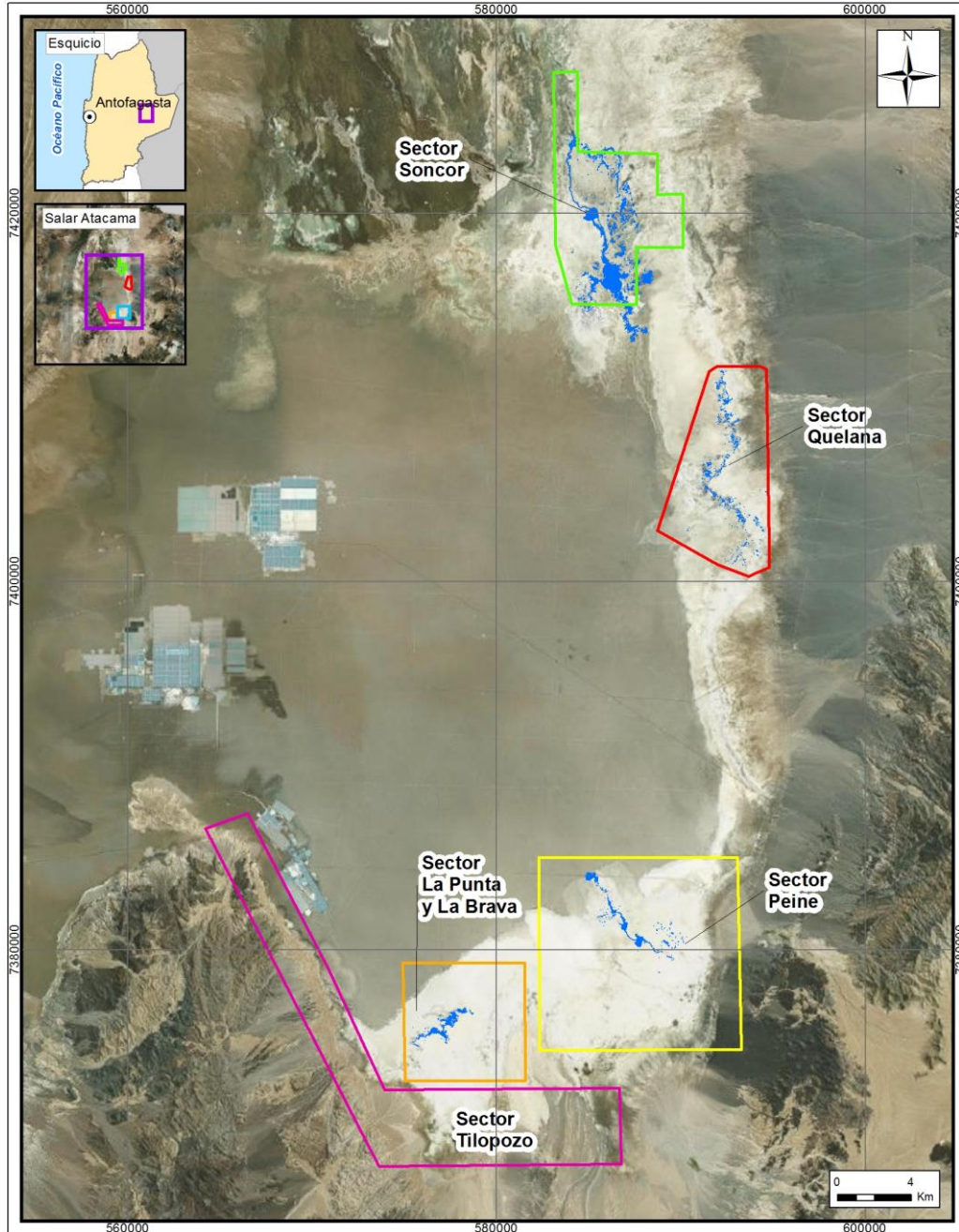
- 4) Sistema Soncor (*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
- 5) Quelana (*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

(*) 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

⁸ 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 2020 y verano 2020-2021, las cuales se desarrollaron durante los meses de agosto y septiembre del 2020, y entre diciembre del 2020 (para seguimiento de superficies lagunares), en y abril del 2021 (para todo el resto de las variables). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2020 a marzo 2021.

La campaña correspondiente a **invierno 2020**, se desarrolló entre los días 19 de agosto y 18 de septiembre de 2020, constituyendo la novena campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto. Por su parte, la campaña correspondiente a **verano 2020-2021**, dependiendo de la variable, se desarrolló durante los meses de diciembre 2020 y abril 2021, constituyendo la décima campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto. Corresponden estas fechas por una primera parte, a la campaña de medición de superficie de Lagunas, realizada entre 19 de diciembre de 2020, y por la otra, a la campaña de seguimiento de componentes bióticas (PMB), realizada entre el 06 al 19 de abril de 2021.

Cabe indicar que para la campaña invierno 2020, respecto a las transectas de vegetación azonal y puntos de control de la vegetación en el sector Aguas de Quelana y Soncor, estas no pudieron ser realizadas por restricción de acceso a la R.N. Los Flamencos, por requerimientos de seguridad de CONAF, al mantener sus accesos aún cerrados por motivos de la Pandemia Covid-19. Adicionalmente la transecta T12 en el sector La Punta tampoco pudo ser realizada por presentar nidificación de aves aledaño a la transecta, por lo cual se optó por indicación de los veedores de la comunidad de Peine, no realizar la actividad en ese punto (**ver carta CONAF en Anexo Vegetación y Flora**).

Por su parte para el caso del componente Nivel Freático en Lagunas, en específico en las mediciones de junio y julio 2020, no se pudo acceder a las zonas de La Punta-La Brava y Peine debido a que la Comunidad de Peine no permitió acceso a los territorios bajo su administración en esos meses (**ver cartas comunidad en Anexo Nivel Freático en Lagunas**).

Como aspecto general, es relevante mencionar que durante en esta estación de invierno 2020, hubo ocurrencia de precipitaciones sobre el área de estudio del salar, durante los días 24 y 25 agosto, con un total caído de 23,8 mm, una semana antes del inicio del monitoreo de componentes bióticas. Cabe su indicación en cuanto es una condición relevante de considerar, por la respuesta que puede tener el sistema, a la hora de interpretar los resultados observados para algunos componentes biológicos monitoreados, tales como la vegetación, la fauna terrestre (ej. abundancia observada de aves) o la biota acuática (ej. dilución de concentraciones salinas en los cuerpos agua).

Por su parte, cabe indicar que para la campaña semestral Verano 2021, respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el **sector de las lagunas de Peine** (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser realizados debido a la restricción de acceso definida por la Comunidad de Peine, argumentando que el área presenta poblaciones de

flamencos en fase reproductiva (**ver Anexo Cartas Prohibición de Acceso a Sector Peine**) limitando con ello por primera vez el ingreso al sector. Por esta razón, para esta campaña verano 2021, estos componentes no presentan información de monitoreo para este sector en particular.

Igualmente, en la campaña verano 2020 (diciembre 2020) del componente Superficie Área de Lagunas, solo fue posible realizar validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava. Para el caso del sector Peine se procedió a realizar la validación de superficies lagunares con apoyo de análisis de imágenes AR en gabinete, debido a que se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso a este sector, y por lo tanto la validación *in situ* de sus cuerpos lagunares.

Esta restricción, fue definida por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine), y bajo estas condiciones tampoco se pudo realizar toma complementaria de imagen desde UAV – dron en este sector. **En Anexo Área de Lagunas se adjunta Carta N°78/2020 de la Comunidad de Peine.**

Para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en enero, febrero y marzo del 2021 en BA-21, y desde noviembre 2020 a marzo 2021 en 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 Carta Prohibición de Acceso a Sector Peine**).

Cabe complementar a lo anterior, a modo de recordatorio, que el **Monitoreo N°8 de verano 2020**, no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales establecidas por la autoridad de salud, en el marco del inicio de la Pandemia Covid-19. Por este motivo, en los análisis comparativos de estaciones de verano del presente informe, 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.

El Plan de Manejo Biótico (PMB) definido en el Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, establece para las componentes de Biota, Suelo y Agua el seguimiento de: flora y vegetación terrestre, flora y fauna acuática, calidad de agua, fauna terrestre, lagunas, entre otros, siguiendo los criterios establecidos en la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA-SAG-DGA, 2011).

La **Tabla N° 2-1** presenta resumidamente todos los componentes y subcomponentes de las variables comprometidas, así como frecuencia y estaciones a monitorear en cada campaña, de acuerdo a los establecido en el PMB y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto de fecha 20 de enero del 2016, RCA 21/2016.

Tabla N° 2-1. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo al Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016.

Compo- nente	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 Invierno 2020, el número efectivo de puntos de monitoreo para validación COT correspondió a un total de 52, debido a que en tres transectas con validación COT del sector Soncor y Quelana (T15, T16 y T17) y en cuatro puntos de vegetación en el sector de Soncor y Quelana (RPV015, CAC032, CAC034 y CAC036) no se pudo realizar la validación del monitoreo COT por falta de acceso al área de la Reserva Nacional Los Flamencos por restricciones sanitarias por parte de CONAF Región de Antofagasta. Por su parte, para la campaña de verano 2021, se pudo validar 60 puntos de monitoreo COT del área de estudio, dado que logró revisar un punto adicional que se incorporó en el monitoreo M7 en invierno de 2019.

*** 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.

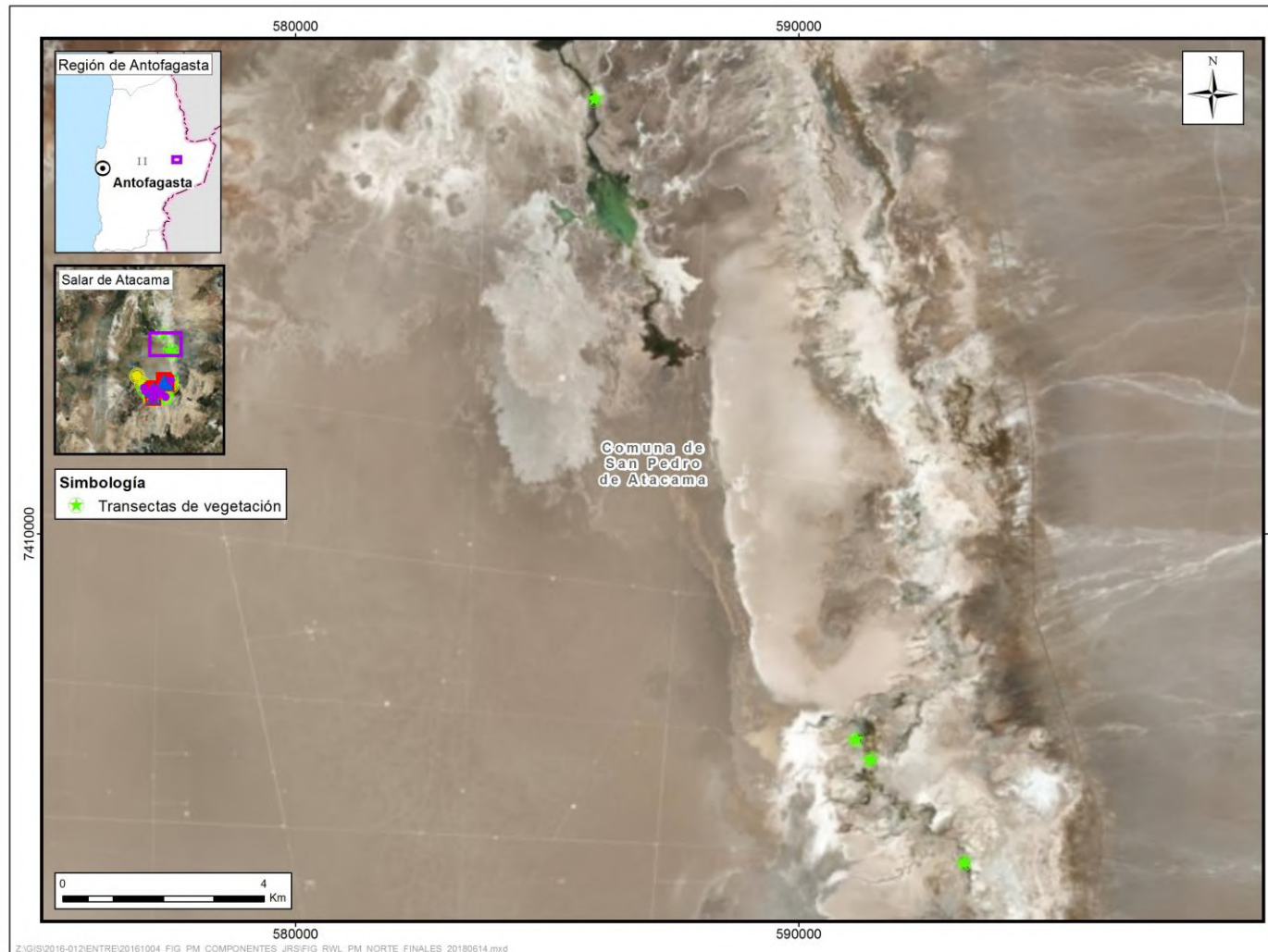
El estado ecológico, de acuerdo a lo establecido en el PMB, se evalúa en términos de tres variables de estado: (1) nivel freático, (2) vegetación azonal⁹, y (3) superficie de las lagunas, las cuales se analizan en el **capítulo 12.8** de este informe.

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.

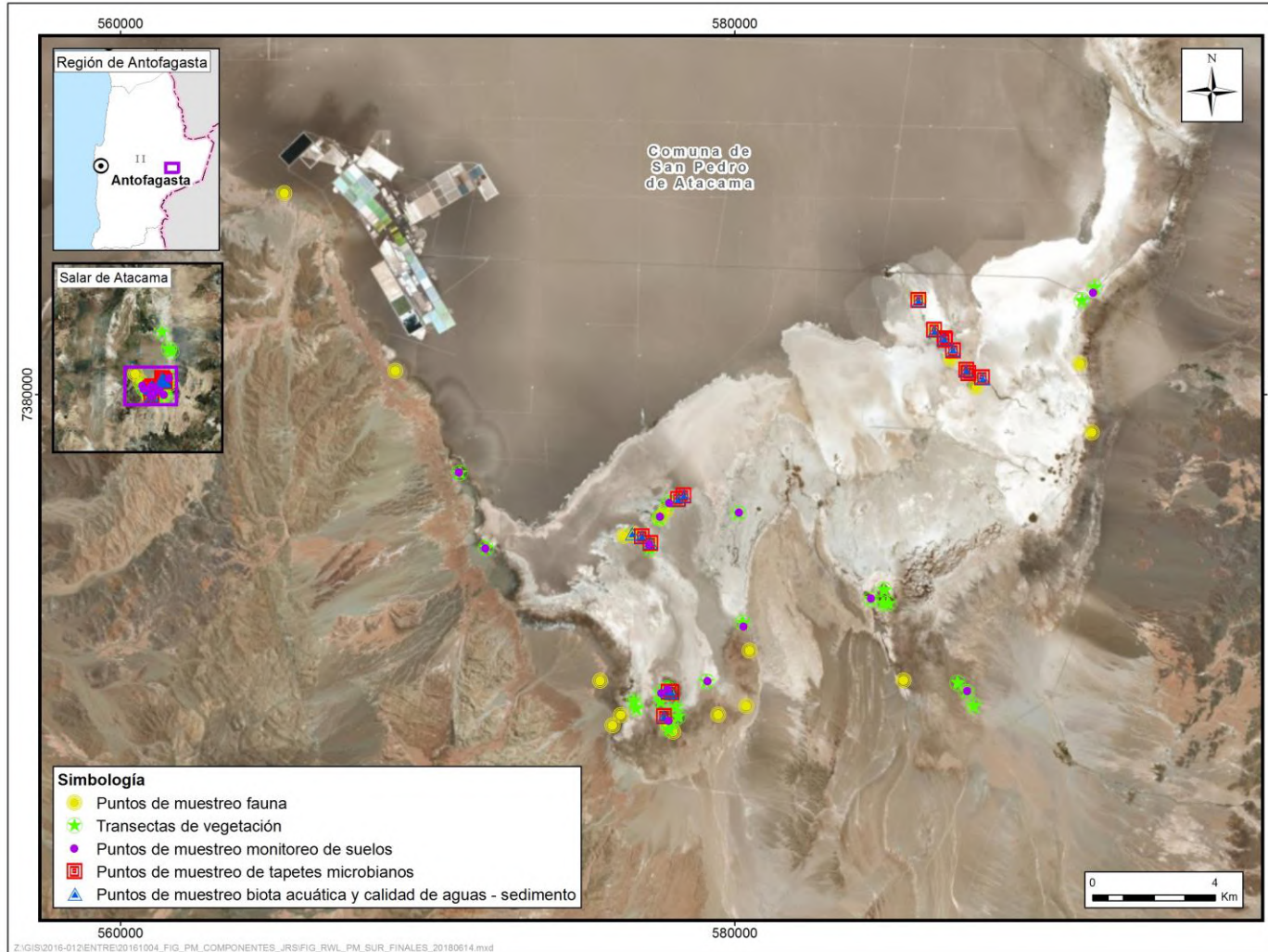
⁹ La definición de puntos de transectas de vegetación azonal, para la subcomponente de flora terrestre, se realiza en levantamiento previo realizado en terreno en el mes de julio de 2016, denominado en adelante "Monitoreo Base 0 – MB0" (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la 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 presentan 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 2020 y verano post-lluvias 2021 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 EFTA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)
Calidad de agua	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como EFTA (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
		Superficie de lagunas en La Punta-La Brava y Peine, 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°5 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 2020 y a la estación de verano 2020-2021, 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 (2018 – 2021) 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 FLORA Y VEGETACIÓN

En el presente informe anual de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos correspondiente a invierno 2020 y verano post lluvias 2021, 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 03 y 08 de septiembre de 2020, fechas en que se realizó la campaña estacional de invierno de 2020 (Monitoreo 9 o M9), y entre los días 15 y 19 de abril de 2021, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de verano de 2021, llamado en adelante Monitoreo 10 (M10). 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. Aunque es importante destacar, que en los periodos de verano 2020 y 2021 no se registraron lluvias estivales, registrándose las últimas lluvias en agosto de 2020.

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 (invierno 2020 y verano 2021) a través del método de carta de ocupación de tierras (COT).
- Determinar la cobertura, riqueza, abundancia, y composición vegetal en las transectas de vegetación azonal, en resultados de los monitoreos de frecuencia semestral (invierno y verano).
- Determinar la cobertura de vegetación activa (según la estimación del índice NDVI), priorizando aquellas áreas donde existan formaciones vegetales sensibles a la alteración del suministro hídrico (hidrófilas y/o halófitas), de frecuencia anual en estación de verano post lluvias.
- Comparar los valores de vegetación activa de cada sector, obtenidos a partir del índice NDVI en temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales año 2021, con los registros históricos de la línea de base y el monitoreo realizado en verano 2020, verano 2019, verano 2018 y en verano 2017.
- Comparar en la discusión la cobertura y composición vegetal actual (Monitoreo 9 y 10) con el monitoreo inicial (MB0) realizado en la etapa pre operacional del proyecto, junto con la variación o evolución de los monitoreos anteriores.

5.1 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.1 COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT)

5.1.1.1 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, en 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 Brava¹⁰, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana¹¹ (**Figura N° 5-1**).

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, en 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 Brava¹², (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana¹³ (**Figura N° 5-1**). Es importante mencionar que para la transecta localizada en Soncor (T14), no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo,

¹⁰ 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*.

¹¹ 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.

¹² 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*.

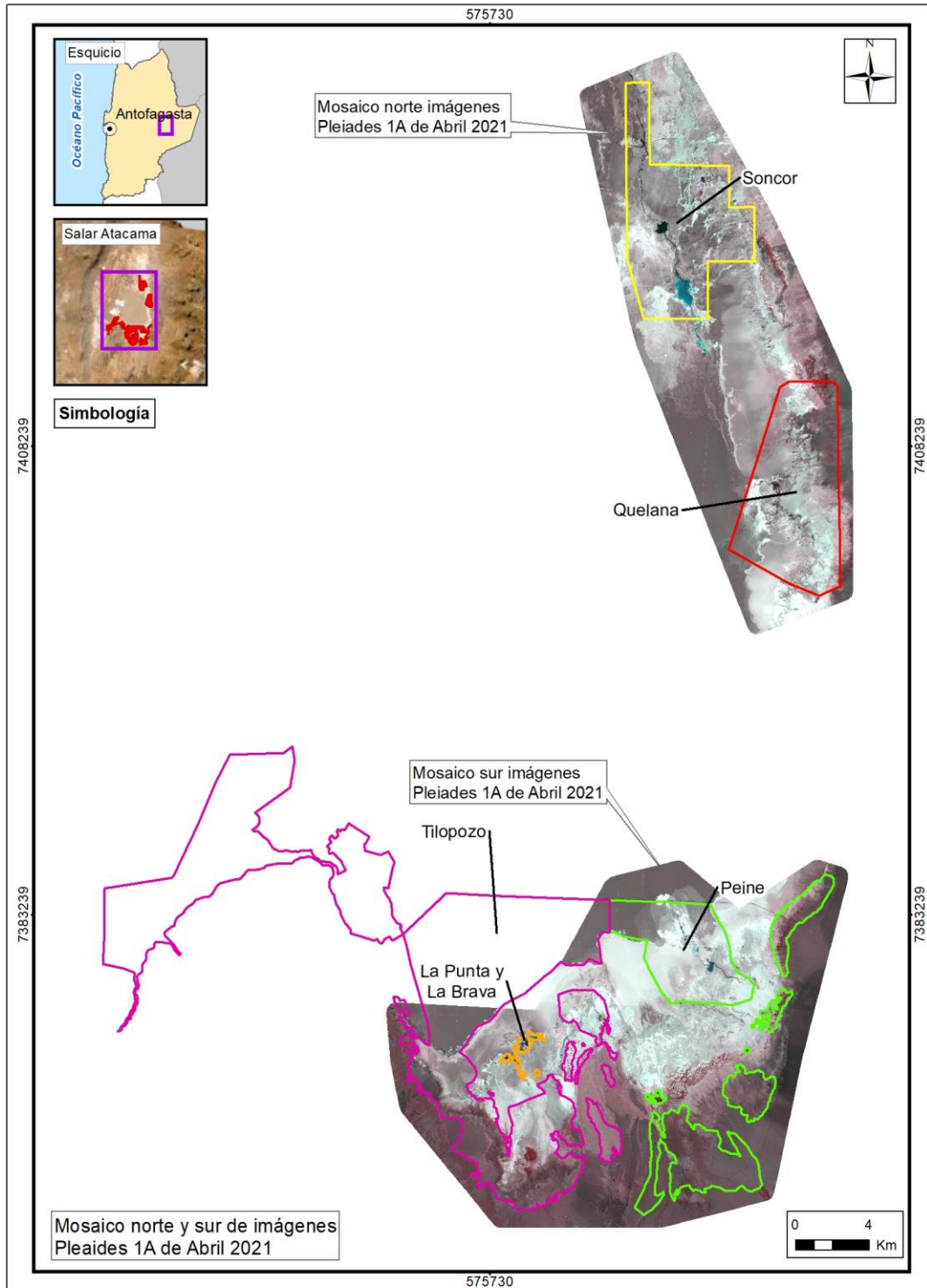
¹³ En Quelana, el área de estudio de la COT se extendió con el fin de lograr describir de forma integral este ecosistema y por lo mismo, los límites del estudio se asimilaron a los contemplados en el monitoreo de cuerpos de agua en este sector.

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 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° 5-1. Área de estudio Vegetación y Flora



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Ubicación de puntos muestreo

La **Figura N° 5-1** 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 5.1.2.1**), 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) y también en los Informes Semestrales.

Para este monitoreo, correspondiente al quinto año de seguimiento, se levantó información de 52 puntos de monitoreo en invierno 2020 y 60 puntos de monitoreo en verano 2021, 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, más un punto complementario agregado en el monitoreo de invierno 2019 (M7). Este punto se agregó 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 (**Figura N° 5-1 y Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (Invierno 2020-Verano 2021)**). Por otra parte, la menor cantidad de puntos reportada en invierno 2020 se debió a la falta de acceso al sector Soncor y Aguas de Quelana por restricciones sanitarias producto de la pandemia al sector de la Reserva de CONAF (**Ver Carta CONAF en Anexo I Vegetación y Flora**).

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 fructicosa*, donde se incorporó el polígono con co-dominancia 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° 5-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2020 y verano 2021.

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
	-	MPC001	584847	7373158
La Brava	LB003	T10	577230	7374967
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
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 LP002 (T12) en subsector La Punta no se realizó muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acercamiento al existir nidificación al lado del inicio de la transecta, pero si se validó la vegetación para el monitoreo COT.

**Transecta y puntos COT de los subsectores Soncor y Aguas de Quelana sin muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acceso al área de la Reserva Nacional los Flamencos por seguridad sanitaria indicada por CONAF.

En Monitoreo 10 (verano 2021) se realizaron todos los puntos de seguimiento.

Fuente: Elaboración propia.

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

El parámetro de seguimiento utilizado en el análisis de vegetación en cumplimiento a lo dispuesto por la RCA, corresponde a la **distribución y cobertura de vegetación azonal**, a través del método de carta de ocupación de tierras (en adelante COT) y los parámetros de **composición, riqueza y cobertura**, orientado a la **caracterización florística** de cada una de las transectas y por sector. Los parámetros analizados equivalen a la condición semestral estimada por sector, en base al seguimiento en invierno 2020 y verano 2021.

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 a la metodología de COT, como muestra la **Tabla N° 5-2**, la cual sintetiza el modo de codificación de los tipos biológicos detectados en terreno.

Tabla N° 5-2. 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 a los valores señalados en la **Tabla N° 5-3**.

Tabla N° 5-3. 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
	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° 5-4** resume la codificación de las medidas de cobertura de acuerdo a la metodología empleada.

Tabla N° 5-4. 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° 5-5** presenta las diferentes categorías de posición topográfica utilizadas para los sectores monitoreados.

Tabla N° 5-5. 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 a los criterios semicuantitativos establecidos en la **Tabla N° 5-6**.

Tabla N° 5-6. 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;	2

GRADO DE ALTERACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO
	movimientos de tierra, presencia de caminos u otras interrupciones en la continuidad de las formaciones vegetales).	
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

5.1.1.4 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 invierno 2020 se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución del sensor Pleiades-1A de agosto de 2020 y para el monitoreo de verano las imágenes son de abril 2021.

5.1.1.5 Metodología de muestreo

5.1.1.5.1 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.

5.1.1.5.2 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.

5.1.1.5.3 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 al tipo de formación vegetal según se listan en la **Tabla N° 5-7**.

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 (pixel de 2 metros).

Los polígonos resultantes son atributados según la nomenclatura que se define en la **Tabla N° 5-7** y **Tabla N° 5-8**, 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° 5-7** 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 suelo¹⁴ definidas para el Catastro y Evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF 1999). La **Tabla N° 5-8** 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.

¹⁴ 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° 5-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno.

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

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio.

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

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

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

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.6 Metodología de cálculo y análisis

5.1.1.6.1 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° 5-7**.

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 (RWL) las que además, van acompañadas por un número identificador de la UV (ver ejemplos en la **Tabla N° 5-9**).

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° 5-9**).

Tabla N° 5-9. 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	RWL-031	RWL-031-163
2	Humedales	Vega	H2	dp	RWL-030	RWL-031-161
3	Humedales	Vega	H2	dp		RWL-031-162
4	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB3 H5	Tb dp	RWL-055	RWL-055-113
5	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB4 H3	Tb dp	RWL-046	RWL-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° 5-10**, 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° 5-9**.

Tabla N° 5-10. 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	RWL-033	Vega muy clara	Vega de <i>Juncus balticus</i>
2	RWL-020	Vega clara	
3	RWL-021		
4	RWL-052	Matorral escaso -Vega muy claro	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>
5	RWL-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° 5-11** se muestran algunos ejemplos comparativos.

Tabla N° 5-11. 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° 5-12** 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° 5-12. 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° 5-13** se describen algunos ejemplos de cómo se presentan los resultados COT.

Tabla N° 5-13. 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

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

El Monitoreo 9 (M9) de invierno 2020 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 03 y 08 de septiembre de 2020, para el levantamiento y validación COT.

El Monitoreo 10 (M10) de verano se realizó durante el período tardío de verano (post-lluvias), entre los días 15 y 19 de abril de 2021.

5.1.2 FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

5.1.2.1 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° 5-14**.

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 a 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° 5-2**).

Cabe señalar que en el Monitoreo 9 (invierno 2020) no se tuvo acceso al sector Soncor y Aguas de Quelana sin poder realizar las transectas T14, T15, T16 y T17 y la transecta T12 del subsector La Punta tampoco fue levantada en este monitoreo de invierno, debido a

restricciones de acercamiento para evitar perturbación a nidificación de aves (**Ver Carta CONAF en Anexo I Vegetación y Flora**). En el Monitoreo 10 (verano 2021) la transecta T14 en el subsector de Soncor tampoco fue muestreada, 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° 5-14** 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° 5-3, Figura N° 5-4, Figura N° 5-5, Figura N° 5-6 y Figura N° 5-7** se indica la localización de las transectas por subsector.

Tabla N° 5-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio.

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

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

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

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

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

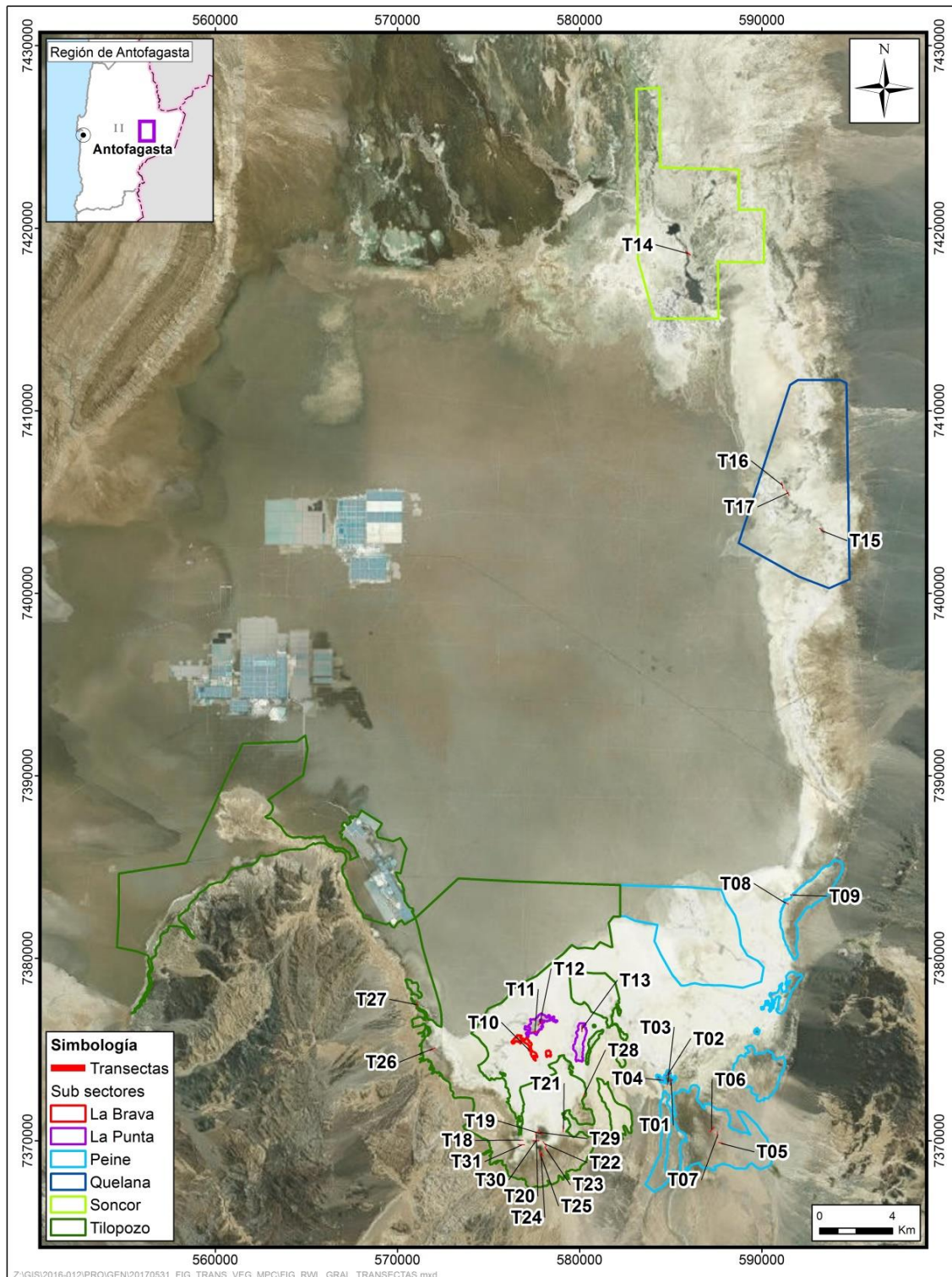
VQ* y **VS***: Puntos asociados al Sector Soncor y Quelana en el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación transectos de Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina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

** : Subsector Aguas de Quelana sin muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acceso al área por motivos sanitarios; y subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 9 y 10 debido a restricciones de acceso y malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

*** Transecta T12 en subsector La Punta no se realizó muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acercamiento al existir nidificación al lado del inicio de la transecta, pero si se validó la vegetación para el monitoreo COT.

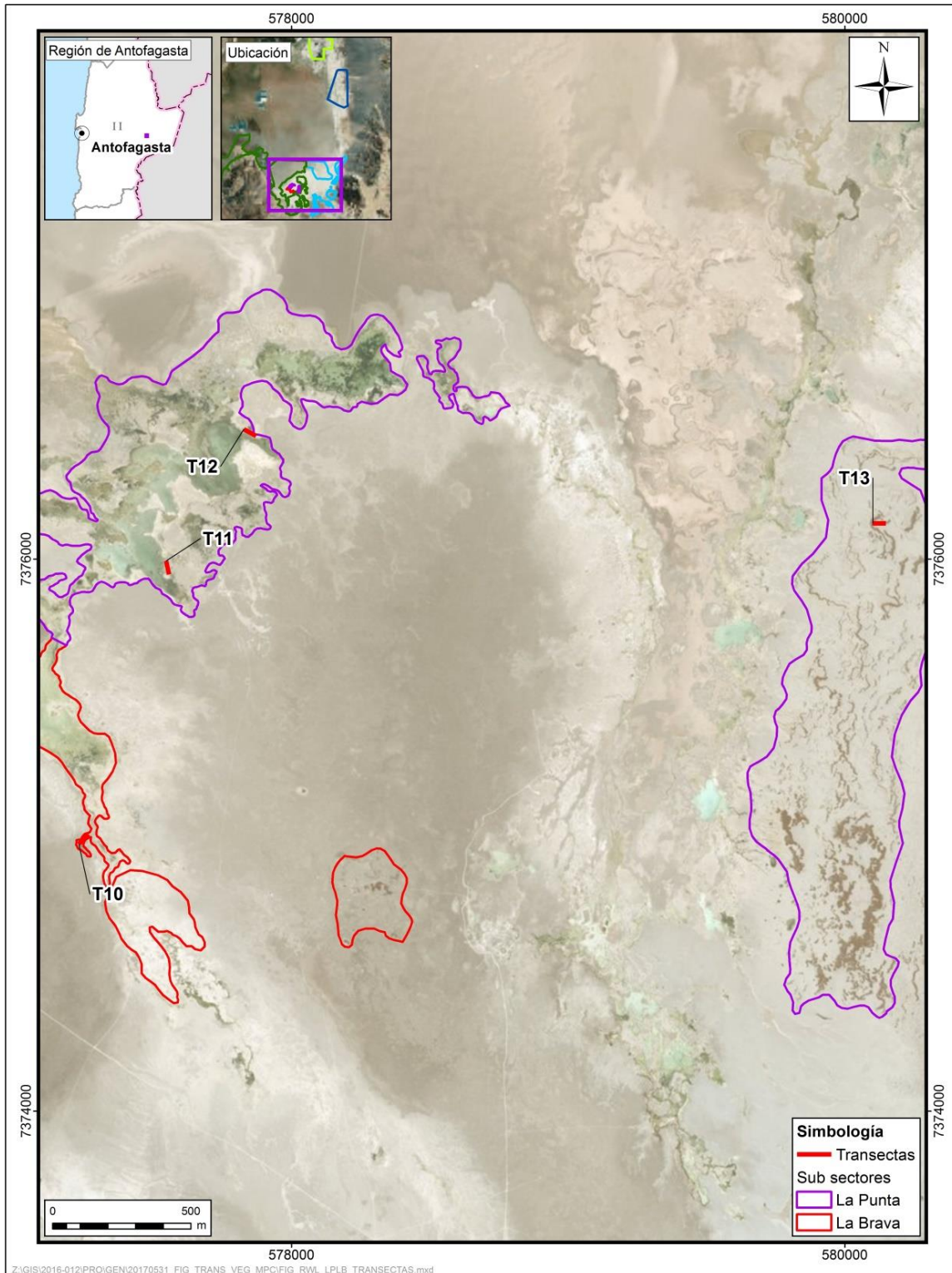
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.



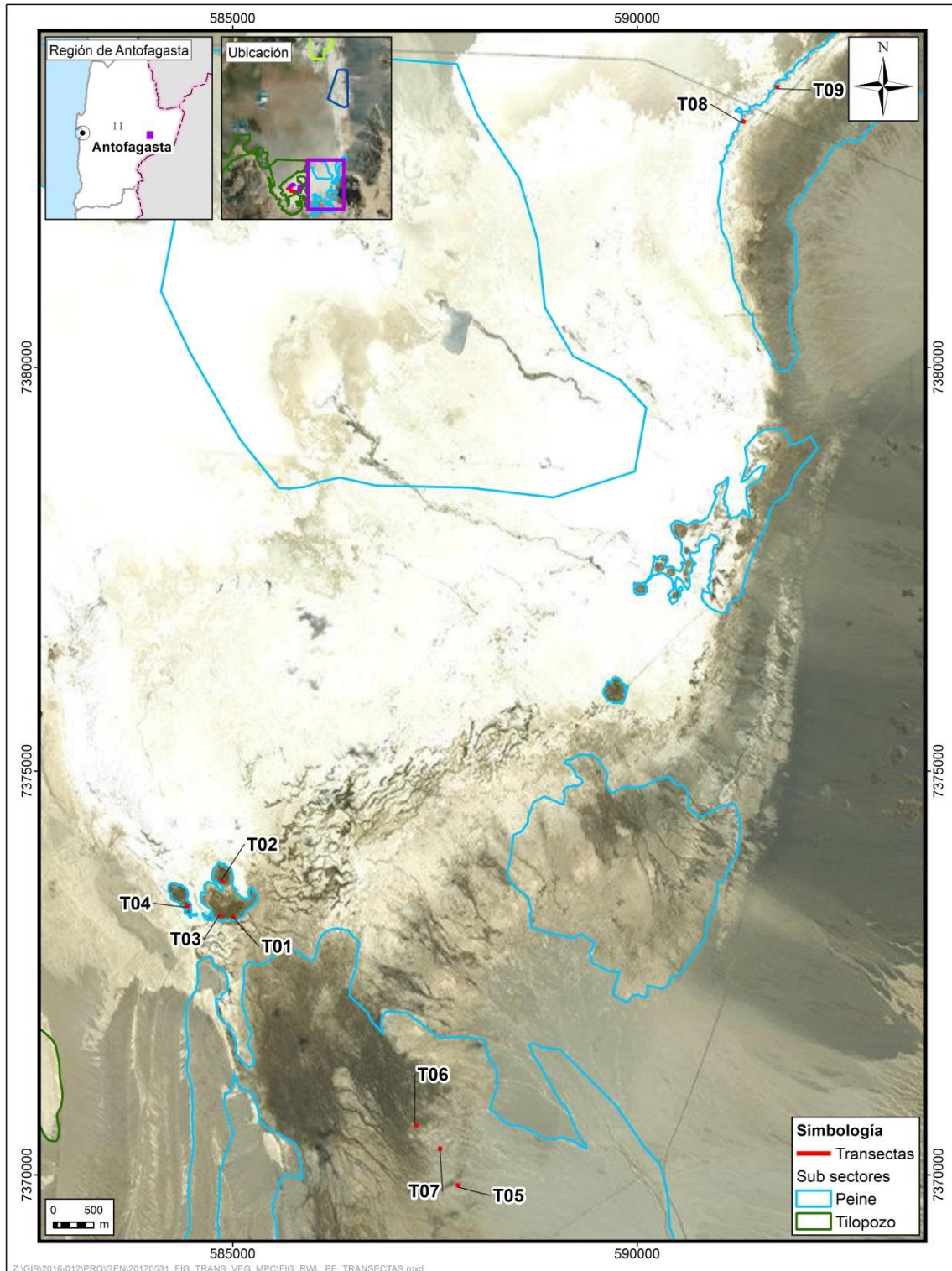
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama.



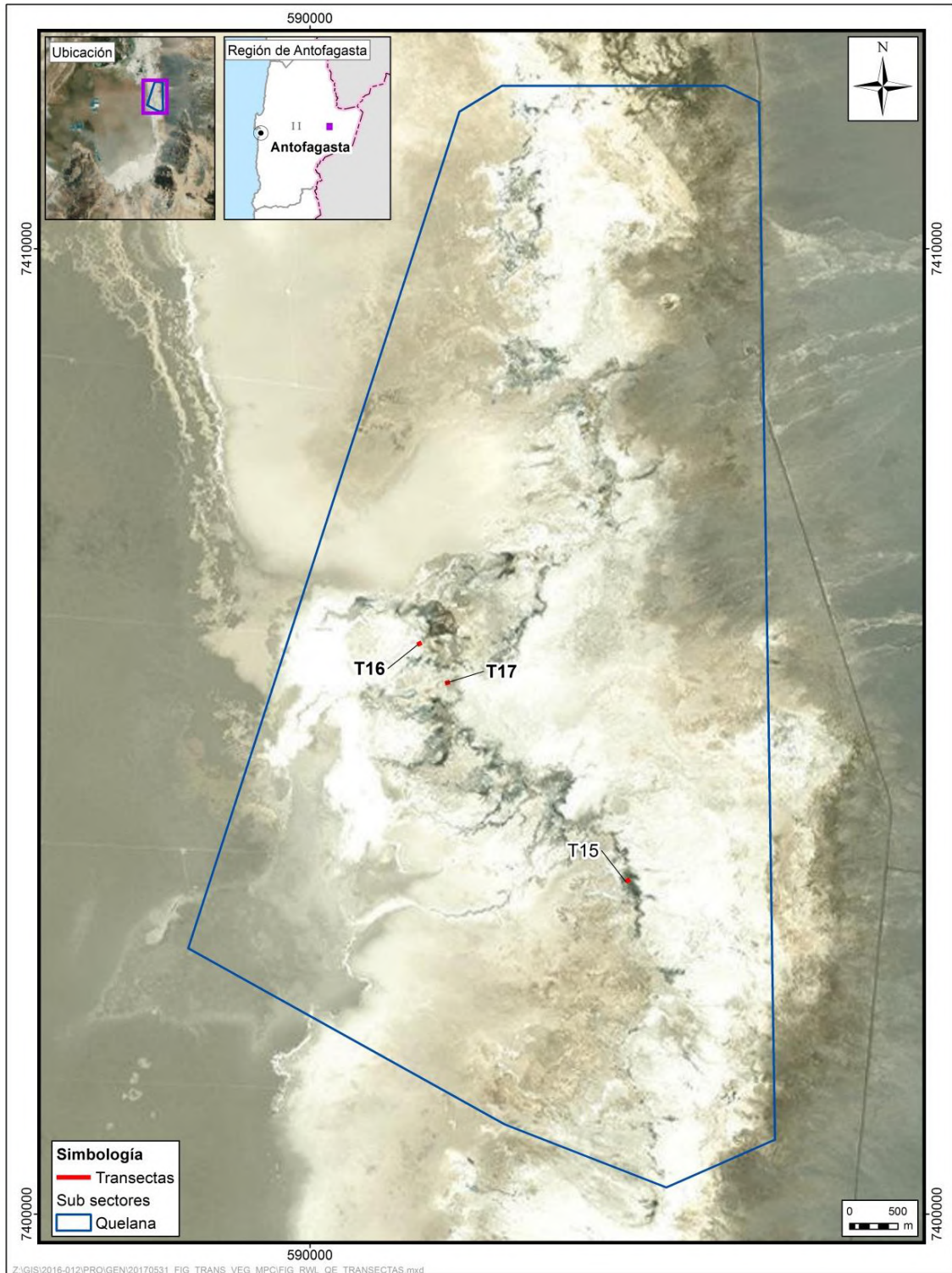
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama.



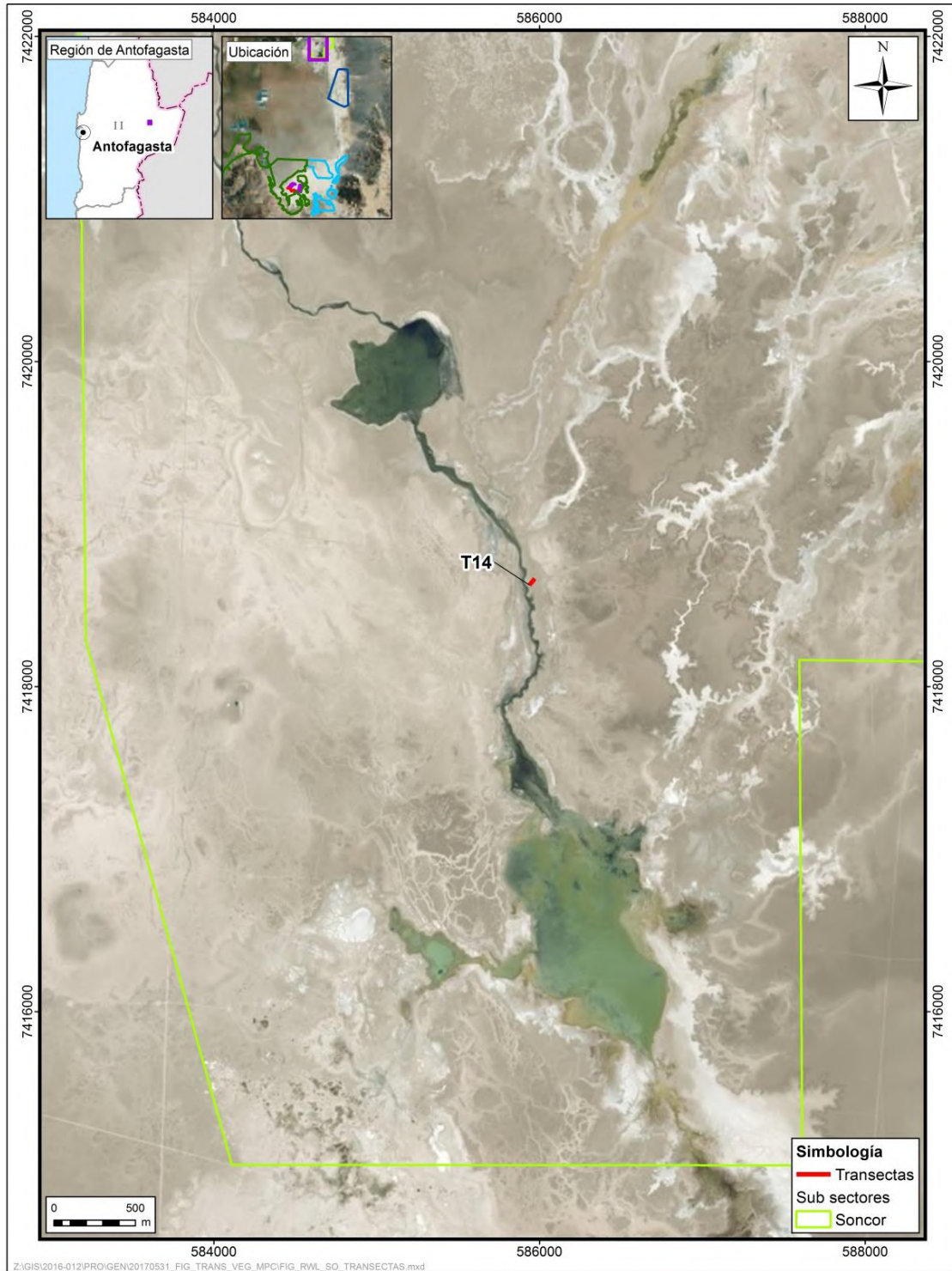
Fuente: Elaboración propia.

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



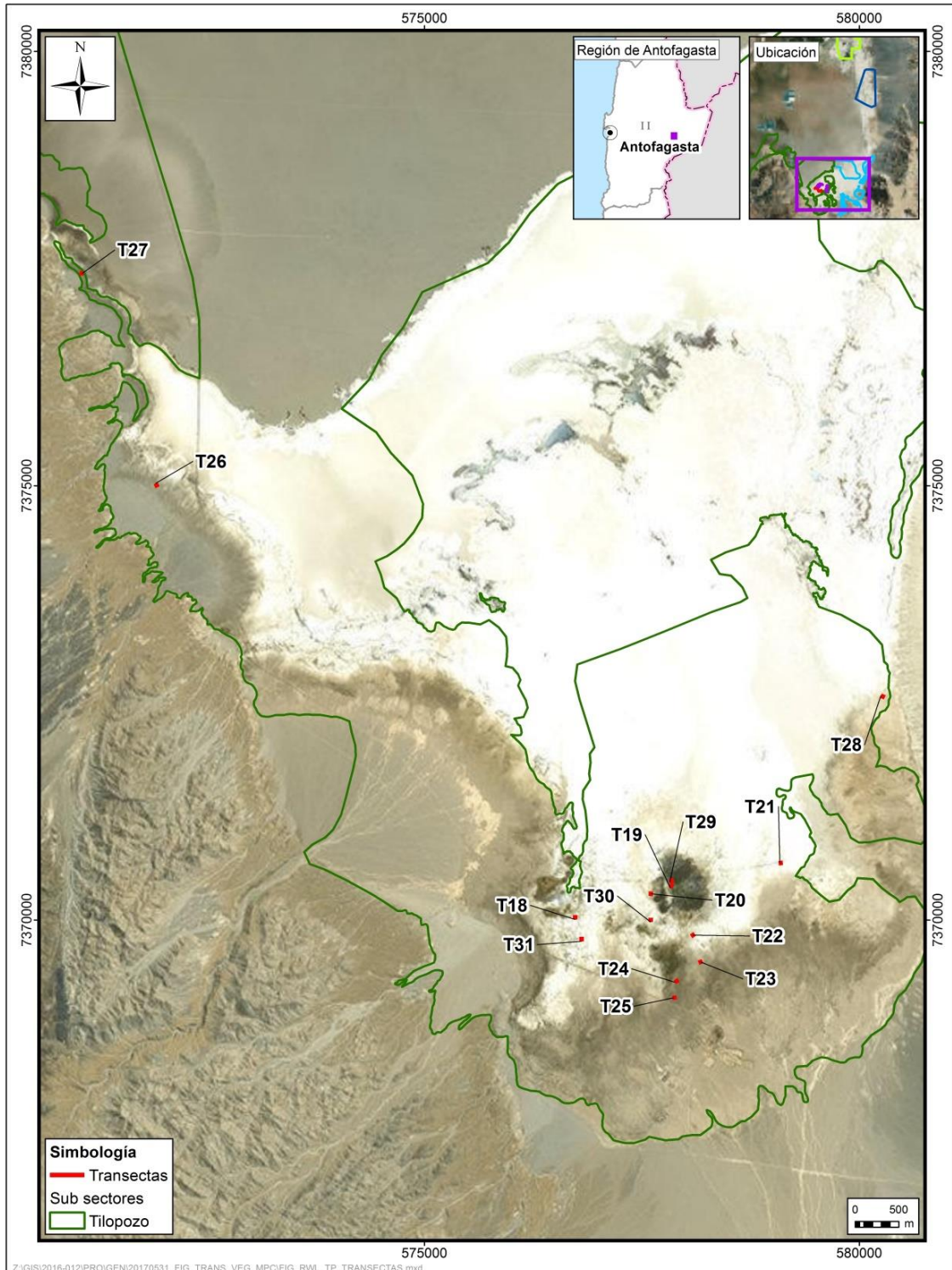
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-7. 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° 5-15**, se detallan el número de transectas definidas por sector y tipo de formación vegetal.

Tabla N° 5-15. 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

5.1.2.2 **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).

5.1.2.3 *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.

5.1.2.4 *Metodología de muestreo*

5.1.2.4.1 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 5.1.1.5**).

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.

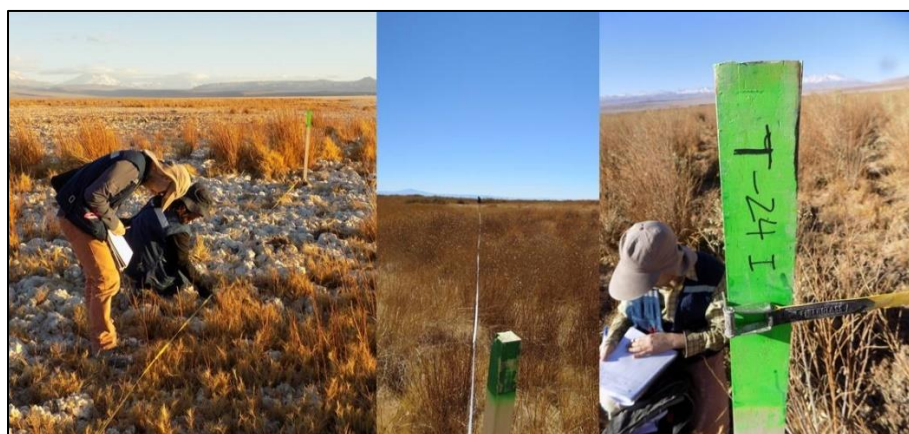
El método de intercepto de puntos en transectos, entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, para la misma cantidad de puntos muestreados (Blackman, 1935; Goodall, 1952; Greg- Smith, 1983). Por lo anterior, el método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat”,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

5.1.2.4.2 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° 5-1.**

Fotografía N° 5-1. 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 a los criterios semi-cuantitativos señalados en la **Tabla N° 5-6**.

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° 5-16**, y
- Porcentaje de afloramiento salino.

Tabla N° 5-16. 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

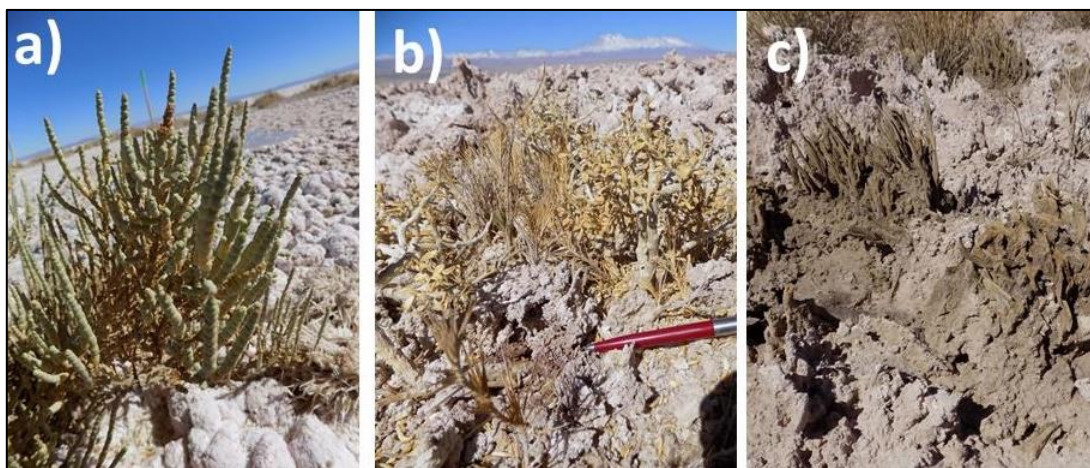
Para el levantamiento de la información, las transectas se marcan utilizando una huincha métrica (**Fotografía N° 5-1**). Seguidamente, se visita cada punto de muestreo y se proyecta una línea perpendicular al suelo, para registrar todos los taxa que se interceptan con esta vertical.

Durante el muestreo de los taxa en cada punto de muestreo, se considera una subdivisión de las especies de flora en relación a su estado fenológico y condición sanitaria, según las siguientes definiciones (**Fotografía N° 5-2**):

- **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° 5-2. 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.

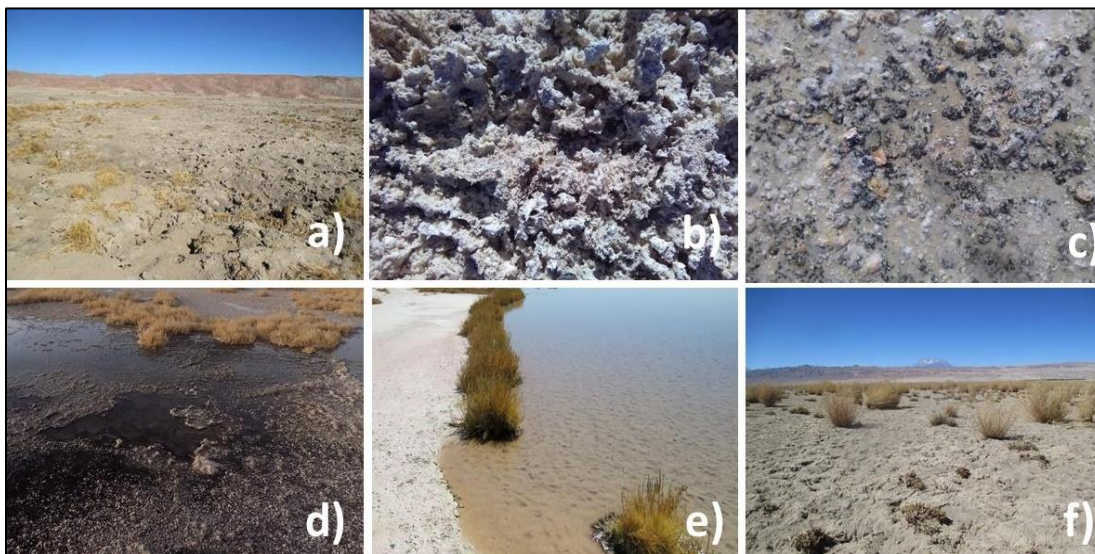
Fuente: Elaboración propia

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° 5-3**), 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° 5-3. 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 coordenadas¹⁵ de inicio y fin en Datum WGS 84 Huso 19S y se mantiene un registro fotográfico de la formación vegetal.

5.1.2.5 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.

¹⁵ UTM (Universal Transversal de Mercator)

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

$$Cat = \sum Casp$$

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

El monitoreo 9 de invierno 2020 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 03 y 08 de septiembre de 2020, para el levantamiento y validación de transectas de flora.

El monitoreo 10 de verano se realizó durante el período tardío de verano (post-lluvias), entre los días 15 y 19 de abril de 2021.

5.1.3 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.

5.1.3.1 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 2021, siendo la versión actualizada del mapeo de vegetación del área de estudio, en cuanto a distribución y superficie de las formaciones vegetales.

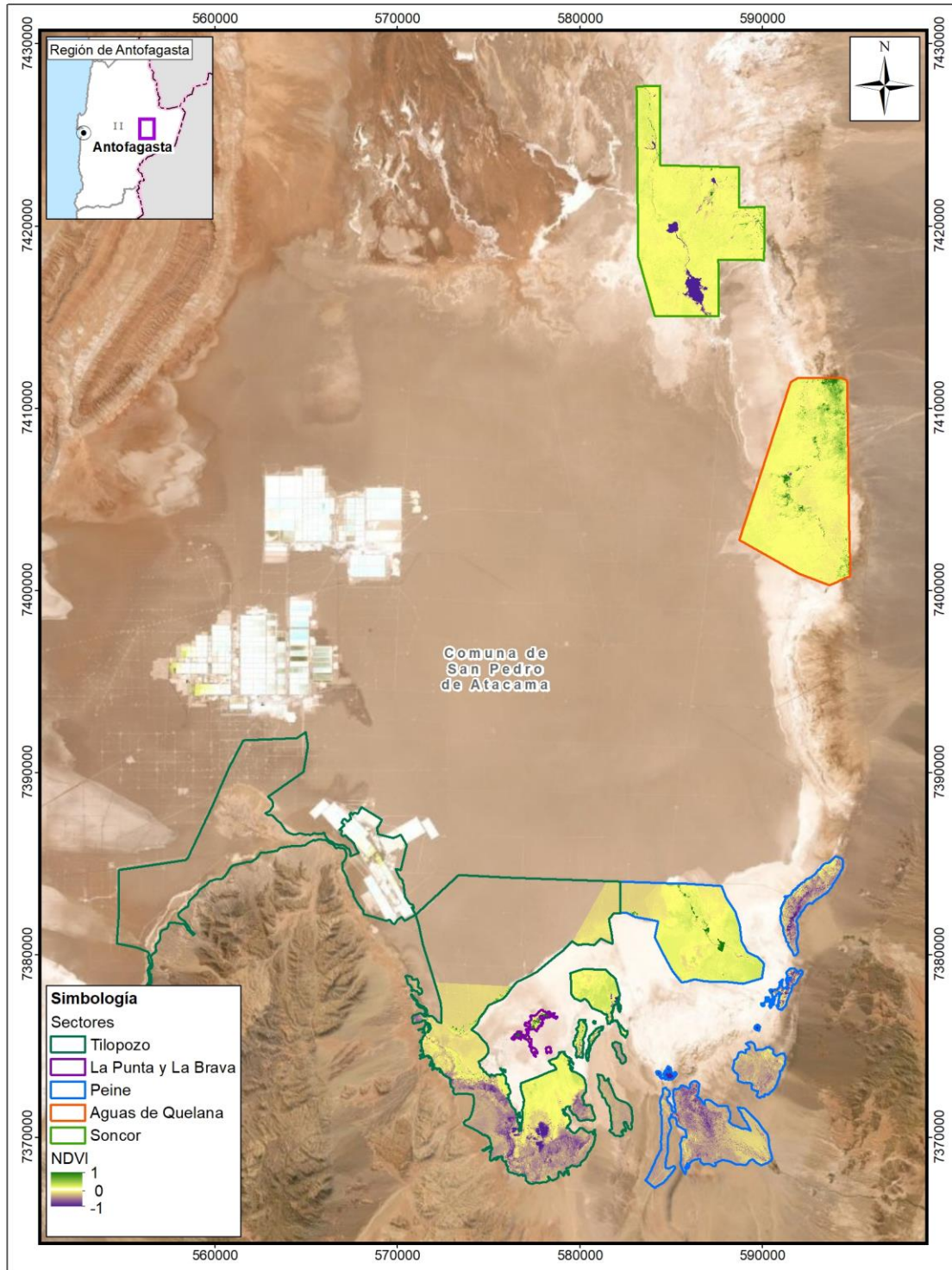
Es necesario recordar, que la COT en términos generales se ha estabilizado campaña a campaña, respecto de cómo se posicionan espacialmente las superficies y distribución de las formaciones vegetales en seguimiento, y es este dato el que se usa. En este sentido, las coberturas y variaciones que se puedan 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.

5.1.3.2 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 2021; Ver **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (Invierno 2020-Verano 2021)**) 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° 5-8**). 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° 5-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.3 *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 Infrarrojo cercano (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 pixel 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.

5.1.3.4 *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° 5-9**).

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).

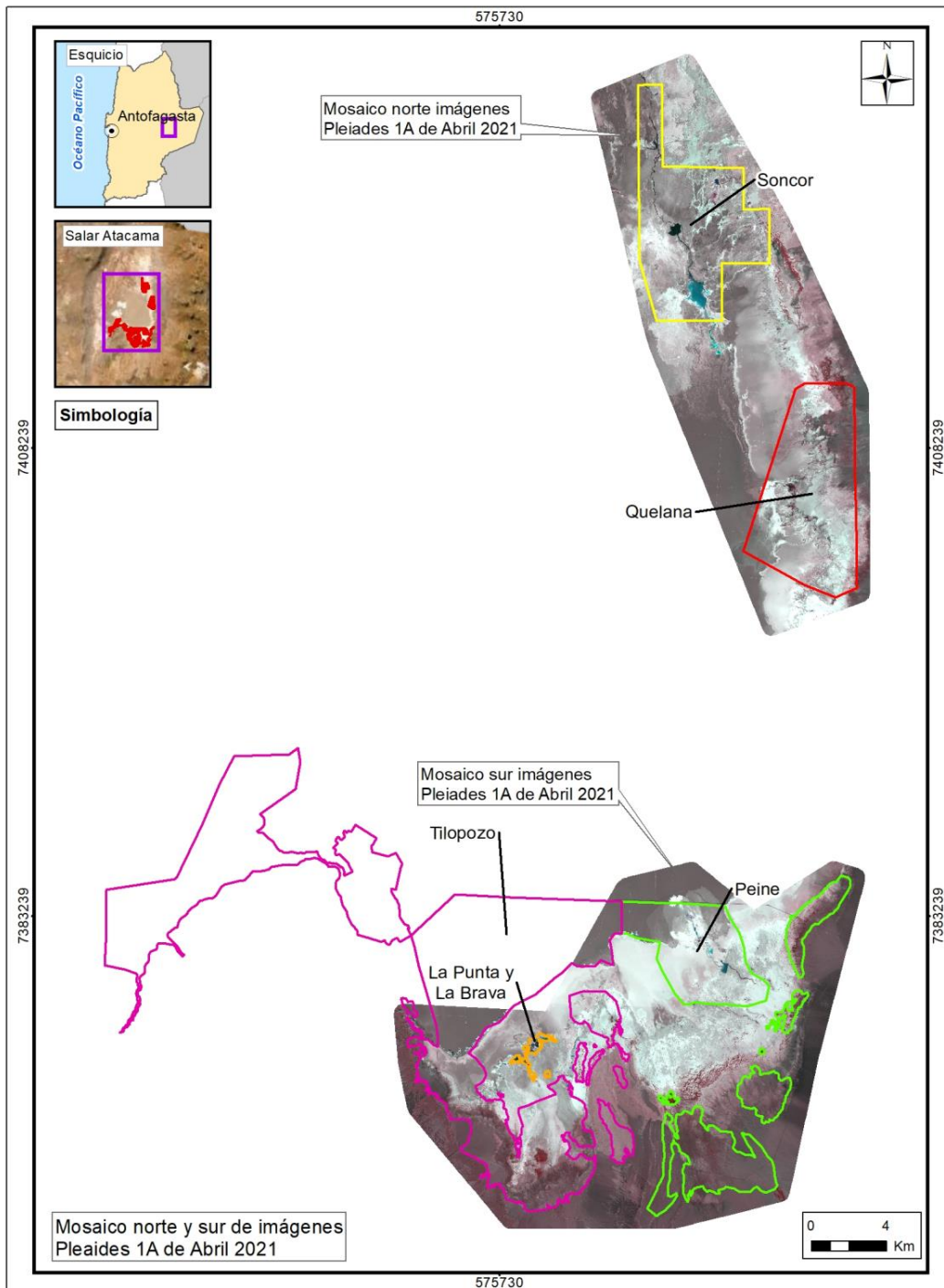
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales con resolución de 2 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro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

Tabla N° 5-17. 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° 5-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2021 en el Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.5 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 ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)¹⁶. 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° 5-9**).

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 5.1.3.3** y luego se

¹⁶ 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*”¹⁷, para cada formación vegetal (polígonos) definidas en la COT, considerando la cobertura más actual existente (verano 2021). 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”. Cabe recordar, que para el análisis de la Vegetación Activa del Año 4 (verano 2020) se utilizó la cobertura COT de invierno de 2019¹⁸.(Tabla N° 5-18).

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

La captura de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A se realizó con fecha 18 de agosto 2020 y 16 de abril de 2021 (en detalle **metadata imágenes satelitales en Anexo Vegetación y Flora**).

Tabla N° 5-18. 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	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
Tilopozo - La Punta y La Brava	No aplica	Áreas desprovistas de vegetación	- (*H1)	>0,068	Quebres naturales
			- (*LB1)	>0,086	Quebres naturales
	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Ephedra breana</i>	>0,100	Quebres naturales
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,128	Quebres naturales
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (LPLB)	>0,107	Quebres naturales
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> (TL)	>0,107	Quebres naturales
			Vega de <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,108	Quebres naturales
			Vega de <i>Juncus balticus</i>	>0,104	Quebres naturales

¹⁷ 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).

¹⁸ Se considera la COT invierno 2019 como la última información validada para el área de estudio, considerando que las formaciones se mantienen estables y no hay modificaciones en la distribución de ellas, dado que en verano 2020 no se realizó el monitoreo COT y su actualización correspondiente, dada las condiciones excepcionales de la pandemia por Covid-19.

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA	
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
			Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	>0,051	Quiebres naturales
			Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,099	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,134	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i> (H7)	>0,154	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,122	Quiebres naturales
			Vega de <i>Triglochin concinna</i> (TL)	>0,092	Quiebres naturales
			Vega de <i>Triglochin concinna</i> (LPLB)	>0,110	Quiebres naturales
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,103	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,111	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Juncus balticus</i>	>0,107	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	>0,102	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,126	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,144	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,145	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Baccharis</i>	>0,097	Quiebres naturales

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA		
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN	
Peine			<i>juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>			
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	>0,100	Quiebres naturales	
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,114	Quiebres naturales	
			Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i>	>0,094	Quiebres naturales	
	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,080	Quiebres naturales	
			Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,077	Quiebres naturales	
			Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	>0,088	Quiebres naturales	
			Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	>0,089	Quiebres naturales	
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,126	Quiebres naturales	
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,106	Quiebres naturales	
		Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (*H6)	>0,125	Quiebres naturales
				Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,131	Quiebres naturales
				Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,115	Quiebres naturales
				Vega de <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,159	Quiebres naturales
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,192			Quiebres naturales		
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i> (*H6)	>0,123			Quiebres naturales		
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,177			Quiebres naturales		
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,114			Quiebres naturales		
Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Atriplex atacamensis</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,087	Quiebres naturales			
	Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,085	Quiebres naturales			

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA	
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> , y <i>Baccharis juncea</i>	>0,145	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,169	Quiebres naturales
Aguas de Quelana	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (LB4)	>0,080	Quantiles (P45)
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (LB2)	>0,065	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	>0,086	Quiebres naturales
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,086	Quiebres naturales
			Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,109	Quiebres naturales
		Matorral - Humedal	Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	>0,081	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,087	Quiebres naturales
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> (LB3)	>0,147	Quantiles (P85)
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> (LB4)	>0,131	Quiebres naturales
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i> (LB2)	>0,060	Quiebres naturales
Soncor	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (H3)	>0,125	Quiebres naturales
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> (H4)	>0,134	Quiebres naturales
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,146	Quiebres naturales

*Recubrimiento Áreas Desprovistas de Vegetación (ADV), con cobertura vegetal que no constituye formación vegetal por criterio COT; H1: Vega muy escasa (cobertura menor 5%), LB1: Matorral leñoso bajo (cobertura menor 5%). Fuente: Elaboración propia.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT)

5.2.1.1 Resultados del muestreo campaña de invierno de 2020

5.2.1.1.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo a lo observado en invierno 2020, no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación al monitoreo de verano de 2017 en adelante (post ajuste metodológico), dando como resultado superficies similares en los distintos tipos de recubrimiento, con una estabilidad principalmente en las formaciones vegetales. Lo anterior, se traduce en una validación de la COT.

En el monitoreo de invierno 2020 (**Tabla N° 5-19**), se identificaron los tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, los mismos identificados en campañas anteriores, entre los cuales destaca la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) equivalente a un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal con una superficie de 7.238,9 hectáreas, equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,7% por vegetación zonal y en un 13,2% por vegetación azonal. Dentro de los tipos de formaciones, se identificaron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia; seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies; y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y tres de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 5-12**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 970,3 hectáreas (2,9%) y las vegas de *Juncus balticus* con 241,6 hectáreas (0,7%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 5-11**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.139,3 (6,5%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y el matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 403,4 ha (1,2%), distribuida principalmente en el sector Aguas de Quelana (**Figura N° 5-10**). En la **Tabla N° 5-19** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

De acuerdo al proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 5-20**, se presenta un resumen de las coberturas y especies dominantes por formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 5-19**, la formación que presenta mayor cantidad de unidades cartográficas corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (42 unidades), las cuales presentan en general una cobertura escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a densa (5% a 90%) en su estrato herbáceo (**Tabla N° 5-20**). Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de invierno 2020, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2020)**.

Tabla N° 5-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2020.

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>								
OTROS RECUBRIMIENTOS	14.408,0	58,2	2.936,0	3.435,4	4.993,5	91	25.831,1	78,1
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	13.088,6	18,4	2.832,6	3.410,1	4.749,3	50	24.099,0	72,9
Salares	12.474,0	18,4	2.675,6	3.410,1	4.749,3	33	23.327,5	70,5
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	244,2	37	486,9	1,5
Lagunas	74,2	39,8	103,4	25,4	244,2	37	486,9	1,5
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	60,3	808,0	1.404,0	24,8	102	4.360,2	13,2
HUMEDALES	1.043,2	19,1	108,3	203,9	16,9	68	1.391,5	4,2
<i>Vega con dominancia de dp</i>	661,8	2,3	85,3	203,9	16,9	42	970,3	2,9
<i>Vega con dominancia de jb</i>	241,6					7	241,6	0,7
<i>Vega con dominancia de sca</i>	72,7		23,0			15	95,7	0,3
<i>Vega con dominancia de tr</i>	24,5	13,6				2	38,1	0,1
<i>Vega de nia tr</i>		3,3				1	3,3	0,01

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
Tipo de formación o recubrimiento								
<i>Formación vegetal</i>								
<i>Vega de ph dp sca</i>	42,5					1	42,5	0,1
MATORRAL - HUMEDAL	1.019,9	41,1	699,7	1.200,1	7,8	34	2.968,7	9,0
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	145,3		3,4			8	148,7	0,4
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	18,2	41,1	8,9	335,2		7	403,4	1,2
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>	49,6					3	49,6	0,1
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>				209,1		6	209,1	0,6
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>				18,6		1	18,6	0,1
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>	806,8		687,4	637,3	7,8	9	2.139,3	6,5
Total general (ha)	16.989,5	183,1	5.925,0	4.954,2	5.018,2	221	33.070,1	100
Total general (%)	51,4	0,6	17,9	15,0	15,2	100		

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

*La superficie del *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh*, se subdividió en esta campaña invierno 2019 entre los sectores de Tilopozo y La Punta-La Brava, para que corresponda con la localización asignada a las transectas y a los límites asignados a cada sector en el área de estudio. .

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2020.

RECUBRIMIENTO DE SUELO	Especies dominantes	Cobertura vegetal	
Formación 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	3(2-5)	1
VEGETACIÓN AZONAL			
HUMEDALES			
<i>Vega de ph dp sca</i>	ph dp sca		5
<i>Vega con dominancia de dp</i>	dp Lh bj	2	4(2-6)
<i>Vega con dominancia de jb</i>	jb Lh dp	1	4(3-4)
<i>Vega con dominancia de sca</i>	sca bj dp		6(2-7)
<i>Vega con dominancia de tc</i>	tc	1	4(3-4)
<i>Vega de nia tc</i>	nia tc		2
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(2-3)	
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>	Sf	3(2-3)	
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	Lh dp sca jb bj	3(2-4)	4(3-4)
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	Sf dp bj sca nia pu tc	3(2-5)	3(2-5)
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>	Tb Lh dp	3	2
Total Unidades cartográficas con cobertura vegetal			

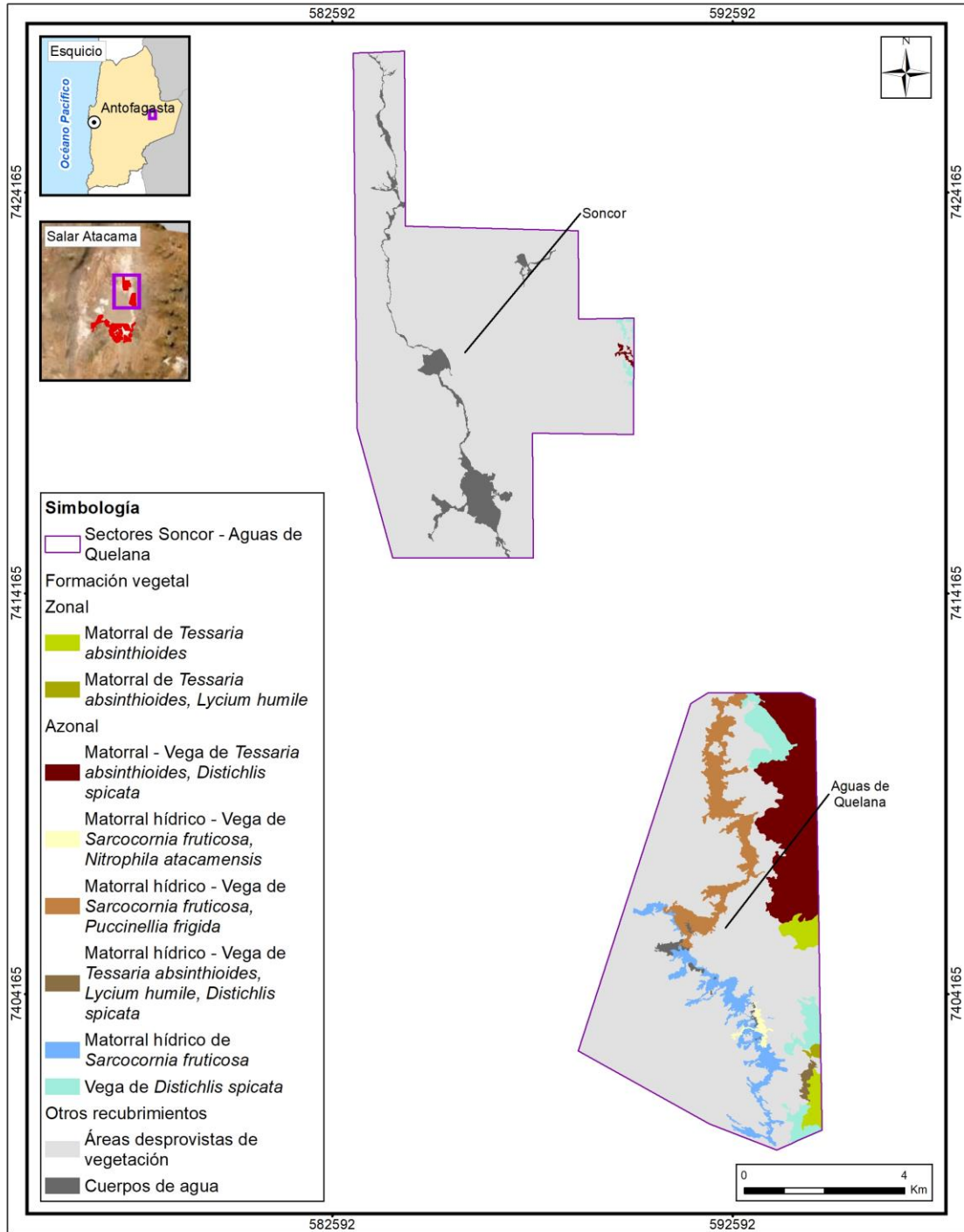
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

Dónde:

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

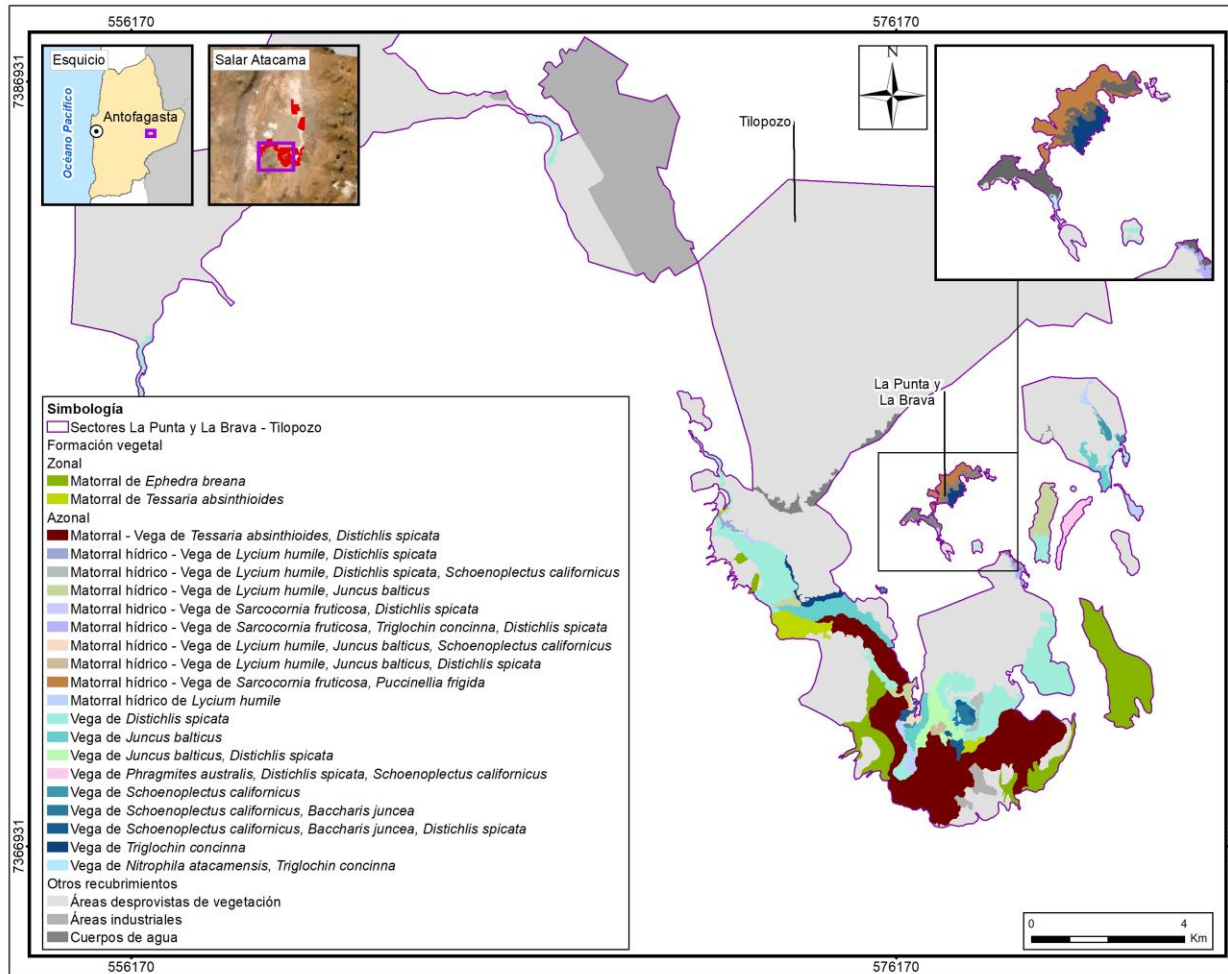
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2020.



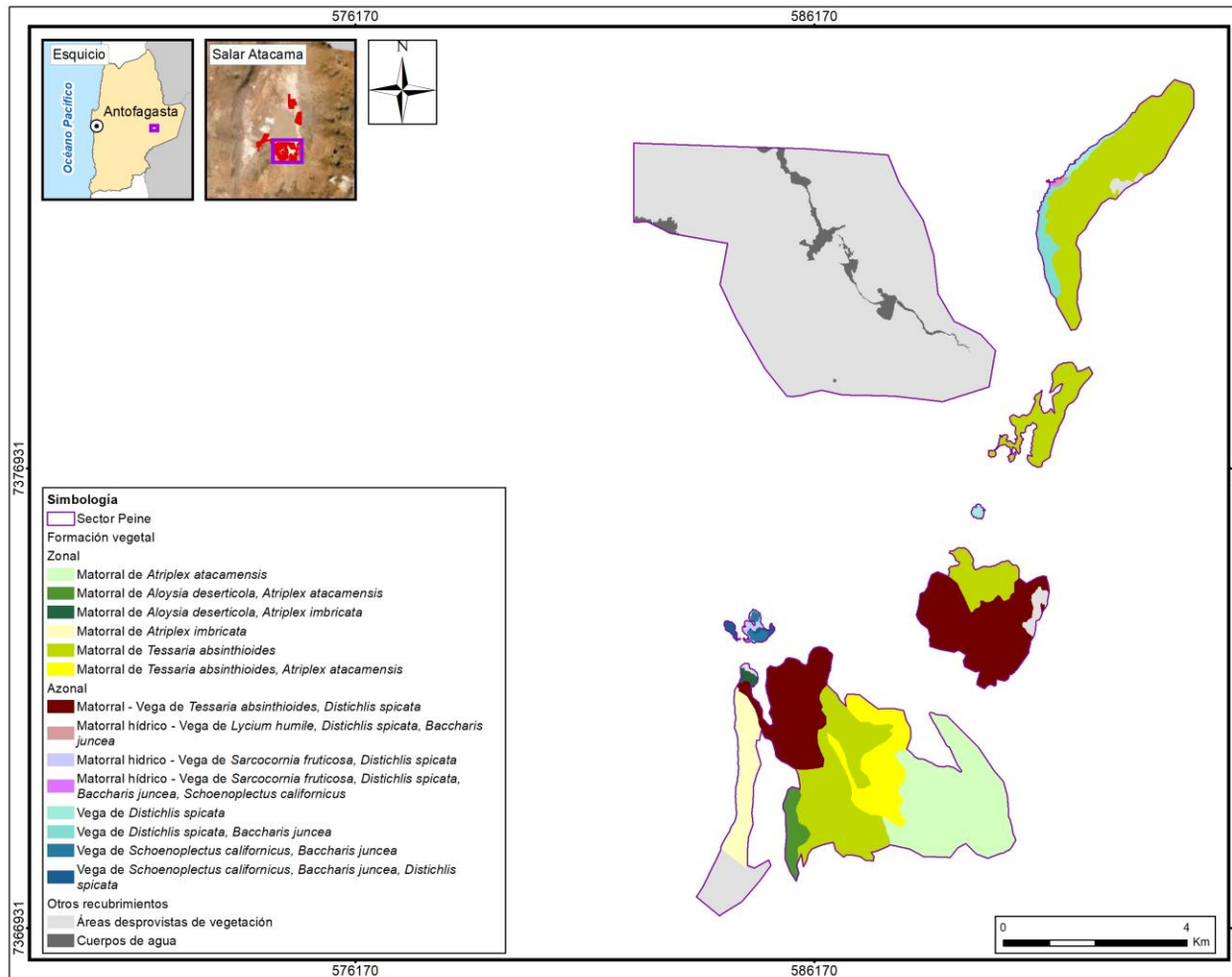
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Invierno de 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2020.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.2 Formaciones vegetales - invierno 2020

Como resultado de la campaña de invierno 2020, a continuación se describe la vegetación de acuerdo a sus patrones de distribución zonal y azonal, junto con una descripción general para las unidades correspondientes a otros recubrimientos dentro del área de estudio. En las figuras previas presentadas, **Figura N° 5-10**, **Figura N° 5-11** y **Figura N° 5-12**, se muestra la distribución de las formaciones vegetales según la COT, en la zona norte (Soncor y Quelana) y sur (Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine) del área de estudio. Los resultados de la cartografía para el monitoreo de invierno de 2020 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de invierno 2020, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2020)**.

a) Vegetación Zonal

- *Matorral con dominancia de Atriplex atacamensis*

Esta formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por el arbusto *Atriplex atacamensis*, “cachiyuyo”, donde destacan otras especies acompañantes como *Tiquilia atacamensis* y la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal arbustiva varía entre muy clara y clara (10 a 50%), y clara (25-50%) para el estrato herbáceo (**Tabla N° 5-20**).

Esta formación se observa en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 542,8 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

- *Matorral con dominancia de Aloysia deserticola*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie *Aloysia deserticola* “rica-rica”, donde destacan otras especies acompañantes como *Atriplex atacamensis*, *Atriplex imbricata* y las herbáceas *Cistanthe densiflora* y *Cistanthe salsoides*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa como muy clara (10 a 25%), mientras que para el estrato herbáceo se observa como clara (25-50%) (**Tabla N° 5-20**).

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

- *Matorral de Atriplex imbricata*

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

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

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° 5-19**).

- *Matorral con dominancia de Ephedra breana*

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

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

- *Matorral con dominancia de Tessaria absinthioides*

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

Esta formación está representada en 14 unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana. Es la formación zonal más representativa, abarcando una superficie de 1.626,8 hectáreas, que representa un 4,9% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

Fotografía N° 5-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2020.



Donde a: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Peine y b: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Tilopozo. 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 poco densa (50 a 75%), ver **Tabla N° 5-20**.

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° 5-19**).

- *Vega con dominancia de Distichlis spicata*

Esta formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”, siendo acompañada en una unidad cartográfica por la herbácea *Baccharis juncea*, y en otra unidad por el arbusto *Lycium humile*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa escasa (5-10%), mientras que el estrato herbáceo varía de escaso a denso (5 a 90%) entre sus unidades (**Tabla N° 5-20**).

Esta formación se observa en 42 unidades cartográficas ubicadas en todos los sectores del área de estudio. Es la formación azonal más representativa, abarcando una superficie de 970,3 hectáreas, que representa un 2,9% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

- *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 dos unidades por la especie *Distichlis spicata* y en una unidad por la especie *Lycium humile*. La cobertura vegetal varía de muy clara a clara (10 a 50%), pudiendo existir un estrato arbustivo de cobertura muy escasa en algunas unidades (**Tabla N° 5-20**).

Esta formación se presenta en siete unidades cartográficas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 241,6 hectáreas, que representa un 0,7% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

- *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° 5-20**.

Esta formación está representada en 15 unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 95,7 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

- *Vega con dominancia de Triglochin concinna*

Esta formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal herbácea varía de muy clara a clara (10 a 50%) entre sus unidades, pudiendo existir un estrato arbustivo de cobertura muy escasa (1-5%) (**Tabla N° 5-20**).

Esta formación se observa en dos unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 38,1 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

- *Vega de Nitrophila atacamensis y Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal del estrato herbáceo es escasa (5 a 10%), ver **Tabla N° 5-20**.

Esta formación está representada por una unidad cartográfica en el sector de La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 3,3 hectáreas, que representa un 0,01% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega, en la cual domina el arbusto *Tessaria absinthioides* “brea” en el estrato arbustivo, junto con la especie *Distichlis spicata* “grama salada” dominando en el estrato herbáceo. 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° 5-20**.

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° 5-19**).

- *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 varía de escasa a muy clara, entre 5 y 25% (**Tabla N° 5-20**).

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 49,6 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

- *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 muy clara (5 a 25%), ver **Tabla N° 5-20**.

Esta formación se presenta en seis unidades cartográficas ubicadas en el sector Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 209,1 hectáreas, que representa un 0,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

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

Esta 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 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° 5-20**.

Esta formación está representada por ocho unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine, abarcando una superficie de 148,7 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por el arbusto *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo dominado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Baccharis juncea* “suncho”, *Schoenoplectus californicus* “junco”, *Nitrophila atacamensis*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal observada tanto para el estrato leñoso bajo, como para el estrato herbáceo varía de escasa a poco densa (5 a 75%), ver **Tabla N° 5-20**.

Esta formación se presenta en siete unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 403,4 hectáreas, que representa un 1,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-19**).

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

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

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° 5-19**).

Fotografía N° 5-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2020.



Donde a: Vega de *Schoenoplectus californicus* en Peine; b: Vega de *Distichlis spicata*, en Tilopozo; c: Vega de *Juncus balticus* en Tilopozo, y d: Vega con dominancia de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava.

Fuente: Elaboración propia.

c) Otros recubrimientos

- Áreas desprovistas de vegetación

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

Este recubrimiento presenta una superficie de 24.099,0 hectáreas, lo que representa la mayor superficie del área de estudio con un 72,9%, distribuido en todos los sectores en 50 unidades cartográficas (**Tabla N° 5-19**).

- Áreas industriales

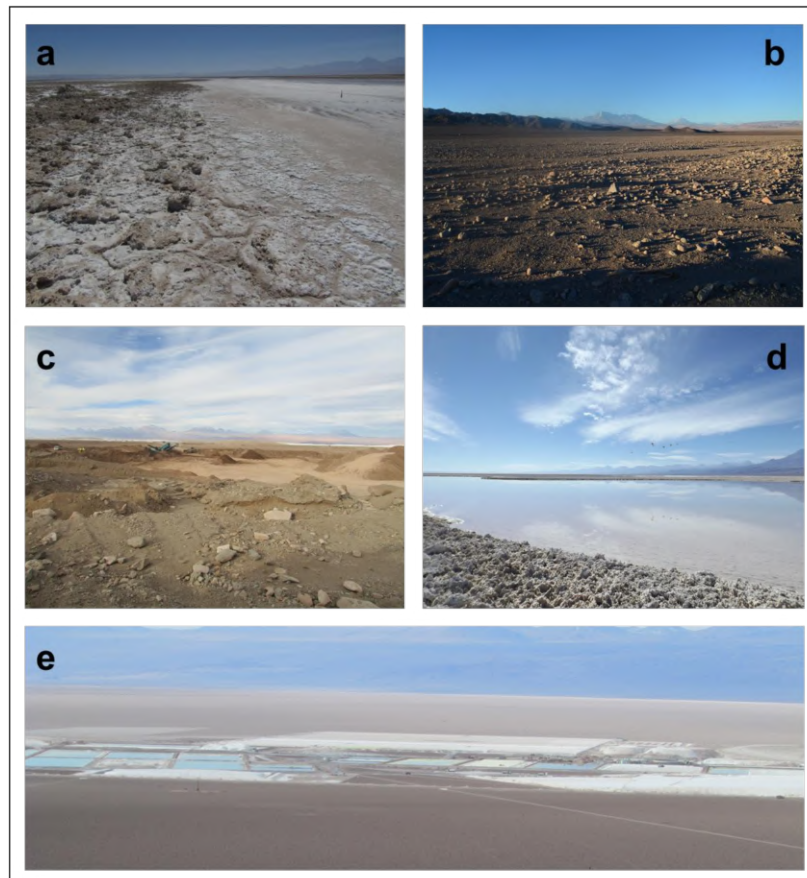
Las áreas industriales están representadas por dos tipos de recubrimiento, donde una unidad está caracterizada como centro industrial, la cual correspondería a las instalaciones de Albemarle, y por otro lado, tres unidades se encuentran identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas identificadas dentro del área de estudio. Este recubrimiento abarca una superficie de 1.245,2 hectáreas, lo que representa un 3,8% del área de estudio, con las cuatro unidades localizadas en el sector Tilopozo (**Tabla N° 5-19**).

- 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 486,9 hectáreas, lo que representa un 1,5% del área de estudio. Particularmente en el sector Soncor, destaca la mayor concentración de la superficie de lagunas con 244,2 hectáreas¹⁹ (50,1% del total; **Tabla N° 5-19**) y en la parte norte, la presencia notable de vegetación acuática al interior de éstas (**Fotografía N° 5-7**).

¹⁹ 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° 5-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.



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

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-7. 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 ©.

5.2.1.2 Resultados del muestreo campaña de verano de 2021

5.2.1.2.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo a lo observado en verano 2021, no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación al 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. Lo anterior, se traduce en una validación de la COT.

En el monitoreo de verano 2021 (**Tabla N° 5-21**), se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, entre los cuales destaca la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) equivalente a un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal se extiende, así, en una superficie de 7.239,0 hectáreas equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,4% por vegetación zonal y en un 13,4% por vegetación azonal. Dentro de los tipos de formaciones, se identificaron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia; seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies; y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y cinco 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 1.541,0 hectáreas (4,7% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 5-12**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 986,6 hectáreas (3,0%) y las vegas de *Juncus balticus* con 147,5 hectáreas (0,4%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 5-11**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.078,4 (6,3%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y el matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 522,7 ha (1,6%), distribuida principalmente en el sector Aguas de Quelana (**Figura N° 5-10**). En la **Tabla N° 5-21** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

Tabla N° 5-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2021.

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
<i>Formación vegetal</i>								
OTROS RECUBRIMIENTOS	14.408,0	58,2	2.936,0	3.435,4	4.993,5	91	25.831,1	78,1
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	13.088,6	18,4	2.832,6	3.410,1	4.749,3	50	24.099,0	72,9
Salares	12.474,0	18,4	2.675,6	3.410,1	4.749,3	33	23.327,5	70,5
Áreas desnudas	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	244,2	37	486,9	1,5
Lagunas	74,2	39,8	103,4	25,4	244,2	37	486,9	1,5
VEGETACIÓN ZONAL	644,1		2.034,1	114,8		28	2.792,9	8,4
MATORRALES	644,1		2.034,1	114,8		28	2.792,9	8,4
<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>	153,0		1.273,3	114,8		14	1.541,0	4,7
<i>Matorral de Ai</i>			148,5			1	148,5	0,4
VEGETACIÓN AZONAL	2.001,9	60,3	955,1	1.404,0	24,7	102	4.446,1	13,4
HUMEDALES	949,0	19,2	108,3	203,9	16,9	65	1.297,3	3,9
<i>Vega con dominancia de dp</i>	672,9	2,3	90,6	203,9	16,9	44	986,6	3,0
<i>Vega con dominancia de jb</i>	147,5					4	147,5	0,4
<i>Vega con dominancia de sca</i>	61,6		17,7			13	79,3	0,2
<i>Vega con dominancia de tc</i>	24,5	13,6				2	38,1	0,1

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
Tipo de formación o recubrimiento								
<i>Formación vegetal</i>								
<i>Vega de nia tc</i>		3,3				1	3,3	0,0
<i>Vega de ph dp sca</i>	42,5					1	42,5	0,1
MATORRAL - HUMEDAL	1.052,9	41,1	846,8	1.200,1	7,8	37	3.148,8	9,5
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	145,3		3,4			8	148,7	0,4
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	18,2	41,1	8,9	21,6		6	89,8	0,3
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb</i>	74,8					2	74,8	0,2
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Tb</i>			146,91			1	146,9	0,4
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>	69,0					4	69,0	0,2
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>				522,7		7	522,7	1,6
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>				18,6		1	18,6	0,1
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>	745,7		687,6	637,3	7,8	8	2.078,4	6,3
Total general (ha)	17.054,1	118,5	5.925,0	4.954,2	5.018,2	221	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 al proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 5-22**, se presenta un resumen de las coberturas y especies dominantes por formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 5-21**, la formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (44 unidades), las cuales presentan cobertura 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, cuatro formaciones vegetales están representadas por solo una unidad cartográfica (**Tabla N° 5-21**).

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 4.749,3 hectáreas (94,6% 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 (244,2 hectáreas). Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de verano 2021, s de verano 2021, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2021)**.

Tabla N° 5-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2021.

RECUBRIMIENTO DE SUELO	Especies Dominantes	Cobertura vegetal	
		Rango*	
<i>Formación vegetal</i>		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 dp	3(2-5)	1
VEGETACIÓN AZONAL			
HUMEDALES			
<i>Vega de ph dp sca</i>	ph dp sca		5
<i>Vega con dominancia de dp</i>	dp Lh bj	2	4(2-7)
<i>Vega con dominancia de jb</i>	jb dp Lh	2	4(3-4)
<i>Vega con dominancia de sca</i>	sca bj dp		6(2-7)
<i>Vega con dominancia de tc</i>	tc	1	4(3-4)
<i>Vega de nia tc</i>	nia tc		2
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 dp	3(2-3)	3

RECUBRIMIENTO DE SUELO	Especies Dominantes	Cobertura vegetal	
		Rango*	
<i>Formación vegetal</i>		LB	H
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>	Sf	3(2-4)	
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb</i>	Lh jb dp	2	4
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Tb</i>	Tb Aa dp	4	2
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>	Lh dp sca jb bj	3(2-4)	4(3-4)
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	Sf dp bj nia tc	3(2-4)	3(2-5)
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>	Tb Lh dp	3	2
Total Unidades cartográficas con cobertura vegetal			

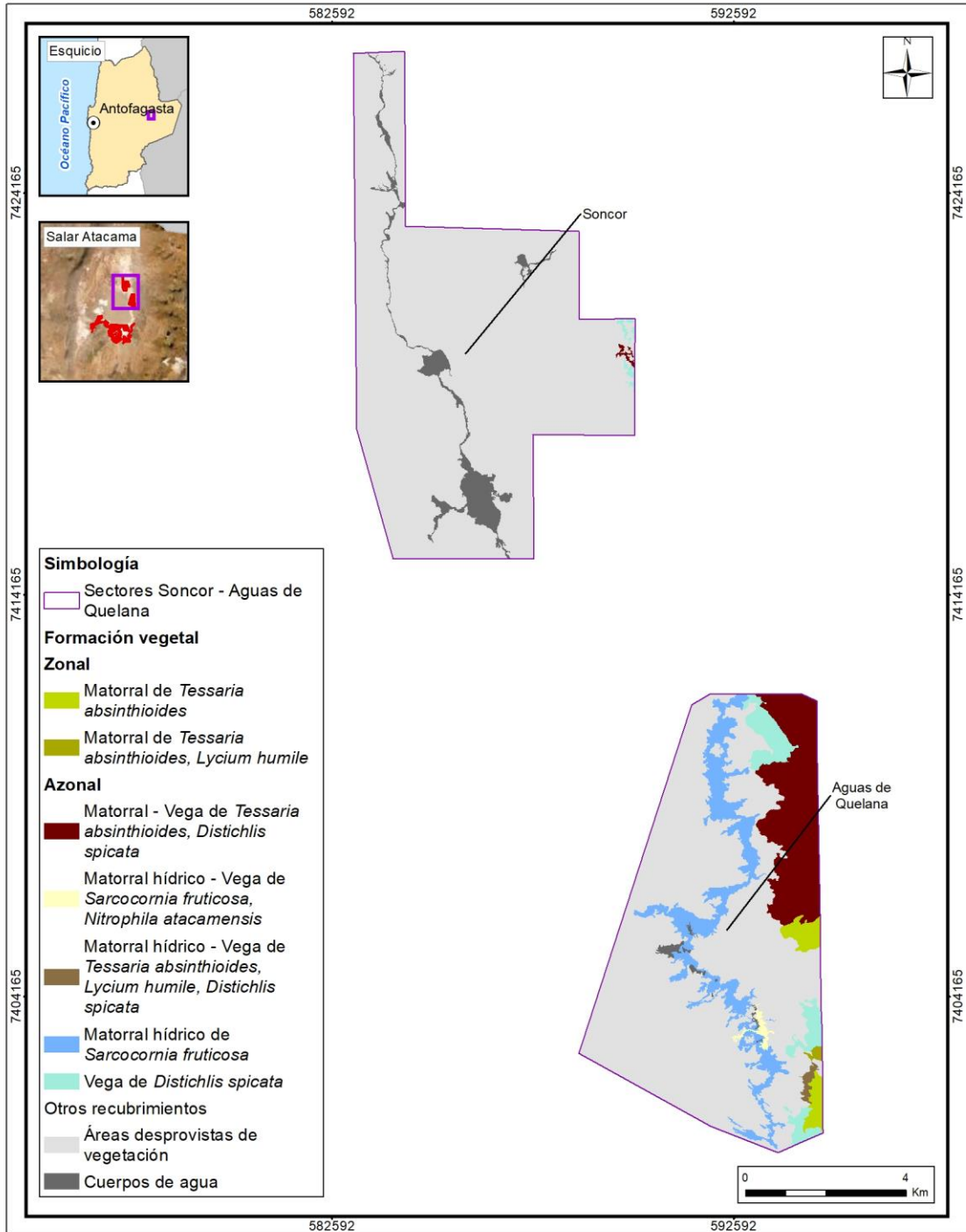
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

Dónde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Cobertura vegetal (%)	Códigos de especies	Herbáceas (H):	
1 muy escasa (1-5)	Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):	bj	<i>Baccharis juncea</i>
2 escasa (5-10)	Aa <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>

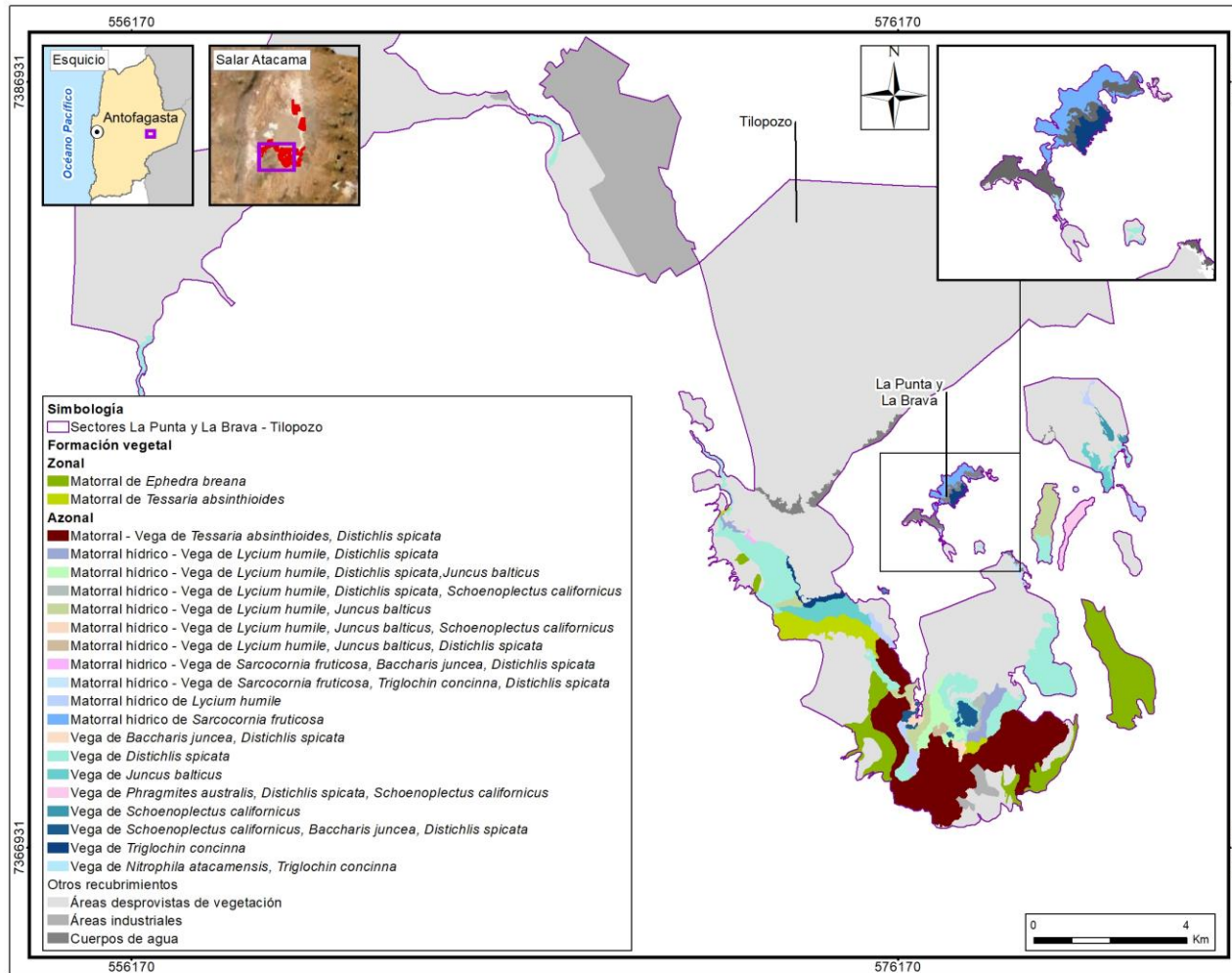
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-13. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2021.



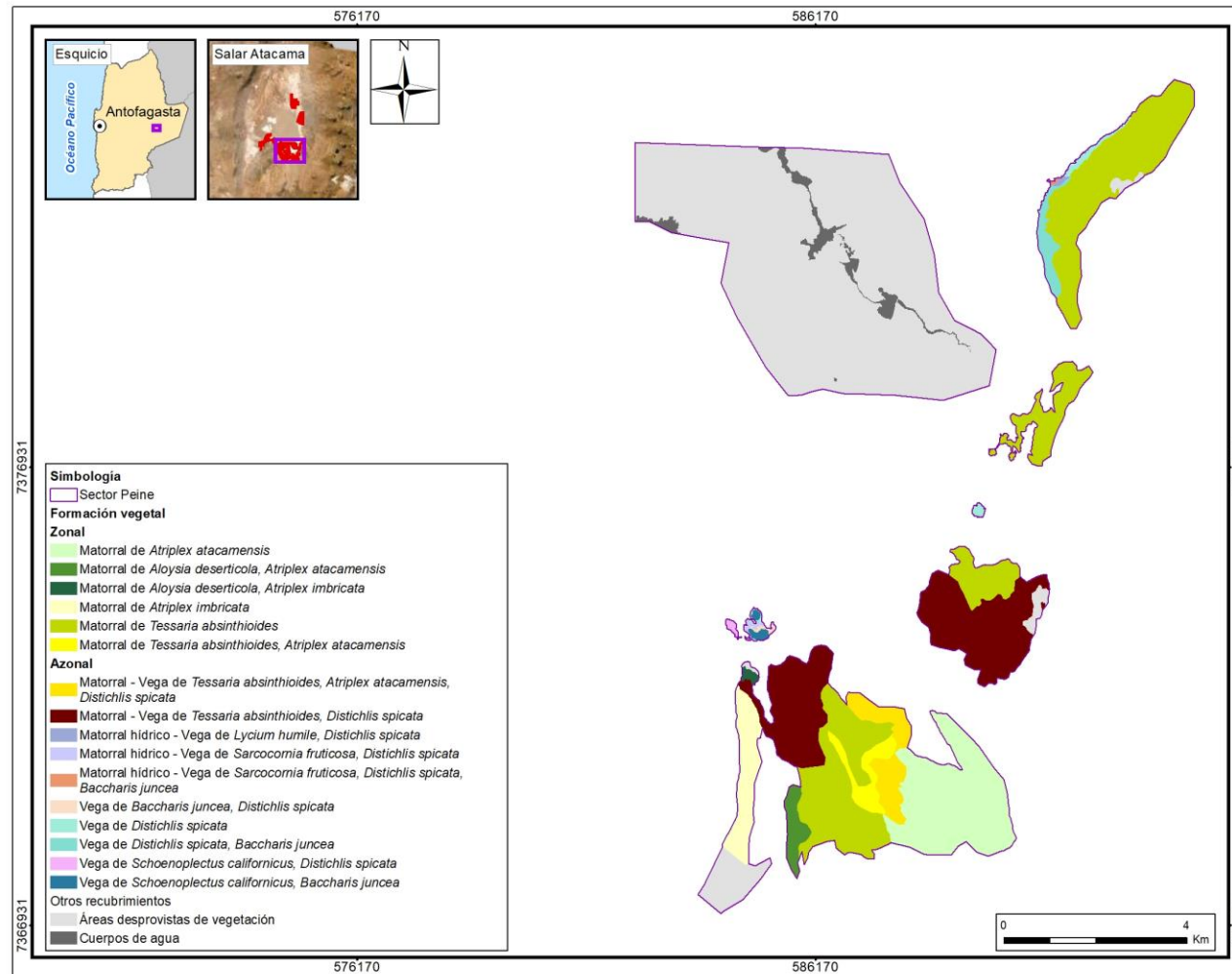
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Verano de 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-15. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2021.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2.2 Formaciones vegetales - verano 2021

A continuación, como resultado de la campaña de verano 2021, 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° 5-13**, **Figura N° 5-14** y **Figura N° 5-15**, se muestra la distribución de las formaciones vegetales según la COT, en la zona norte (Soncor y Quelana) y sur (Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine) del área de estudio. Los resultados de la cartografía para el monitoreo de verano de 2021 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de verano 2021, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2021)**.

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° 5-22**).

Esta formación se observó en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 542,8 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

- *Matorral con dominancia de Aloysia deserticola*

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

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

- *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° 5-22**).

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

- *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° 5-22**.

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

- *Matorral con dominancia de Tessaria absinthioides*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Tessaria absinthioides* “brea”, donde 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 presente varía de muy escaso a muy claro (1-25%), ver **Tabla N° 5-22**.

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 1.541,0 hectáreas, que representa un 4,7% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

Fotografía N° 5-8. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2021.

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 poco densa (50 a 75%), ver **Tabla N° 5-22**.

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

- *Vega con dominancia de Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”, siendo acompañada en una unidad cartográfica por la especie *Baccharis juncea*, y en otra unidad por la especie *Lycium humile*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa como muy escasa (5-10%), mientras que el estrato herbáceo varía de escaso a muy denso (5 a 100%) entre sus unidades (**Tabla N° 5-22**).

Esta formación se observó en 44 unidades cartográficas ubicadas en todos los sectores del área de estudio, Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine, Quelana y Soncor. Es la formación azonal más representativa, abarcando una superficie de 986,6 hectáreas, que representa un 3,0% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

- *Vega con dominancia de Juncus balticus*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Juncus balticus* “junquillo”, siendo acompañado en una unidad por la especie

Distichlis spicata. La cobertura vegetal varía de escasa a muy densa (5 a 100%) entre sus unidades, existiendo además un estrato arbustivo de cobertura escasa (5 a 10%) en algunas unidades (**Tabla N° 5-22**).

Esta formación se observó en cuatro unidades cartográficas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 147,5 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

- *Vega con dominancia de Schoenoplectus californicus*

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

Esta formación se observó en 13 unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 79,3 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

- *Vega con dominancia de Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal herbácea varía de muy clara a clara (10 a 50%) entre sus unidades, pudiendo existir un estrato arbustivo de cobertura muy escasa (1-5%) (**Tabla N° 5-22**).

Esta formación se observó en dos unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 38,1 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

- *Vega de Nitrophila atacamensis y Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal observada es escasa (5 a 10%), ver **Tabla N° 5-22**.

Esta formación está representada por una unidad cartográfica en el sector de La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 3,3 hectáreas, que representa un 0,01% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega representada por el arbusto *Tessaria absinthioides* “brea”, junto a un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía entre

muy clara y clara (10 a 50%), y la del estrato herbáceo varía entre escasa y poco densa (5 a 75%), ver **Tabla N° 5-22**.

Esta formación se observó en ocho unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine, Aguas de Quelana y Soncor, abarcando una superficie de 2.078,4 hectáreas, que representa un 6,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

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

La formación presenta una fisonomía de matorral dominado por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume”, lo que le da la caracterización de matorral hídrico. La cobertura vegetal arbustiva varía de escasa a muy clara (5 – 25%), con la presencia de la herbácea *Distichlis spicata* en una unidad cartográfica con una cobertura muy clara (10 – 25%) (**Tabla N° 5-22**).

Esta formación se observó en cuatro unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 68,9 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

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

La formación presenta una fisonomía de matorral distribuida en bordes de lagunas, lo cual le da la caracterización de formación azonal hídrica. Está dominada por la especie arbustiva *Sarcocornia fruticosa* “sosa”, especie halófila que se desarrolla especialmente sobre costras salinas, alcanzando una cobertura vegetal entre escasa y clara (5 a 50%) entre sus unidades (**Tabla N° 5-22**).

Esta formación se observó en siete unidades cartográficas ubicadas en el sector Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 522,7 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

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

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

Esta formación se observó en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 74,8 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Tessaria absinthioides*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Tessaria absinthioides* “brea”, acompañada con *Atriplex atacamensis* “cachiyuyo” y un estrato herbáceo representado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo es clara (25 a 50%) y la del estrato herbáceo escasa (5 a 10%), ver **Tabla N° 5-22**.

Esta formación se observó en una unidad cartográfica ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 146,9 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Schoenoplectus californicus* “junco”, *Juncus balticus* “junquillo” y *Baccharis juncea*. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía de escasa a clara (5 y 50%) y la del estrato herbáceo entre muy clara y clara (10 a 50%), ver **Tabla N° 5-22**.

Esta formación se observó en ocho unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 148,7 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por el arbusto *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Baccharis juncea* “suncho”, *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal observada para el estrato leñoso bajo es de escasa a clara (5 – 50%) y para el estrato herbáceo de escasa a poco densa (5 – 75%), ver **Tabla N° 5-22**.

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° 5-21**).

- *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° 5-22**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada al sureste del sector de Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 18,6 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-21**).

Fotografía N° 5-9. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2021.



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

Fuente: Elaboración propia.

c) Otros recubrimientos

- Áreas desprovistas de vegetación

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

Este recubrimiento presenta una superficie de 24.099,0 hectáreas, lo que representa la mayor superficie del área de estudio con un 72,9%, distribuido en todos los sectores en 50 unidades cartográficas (**Tabla N° 5-21**).

- Áreas industriales

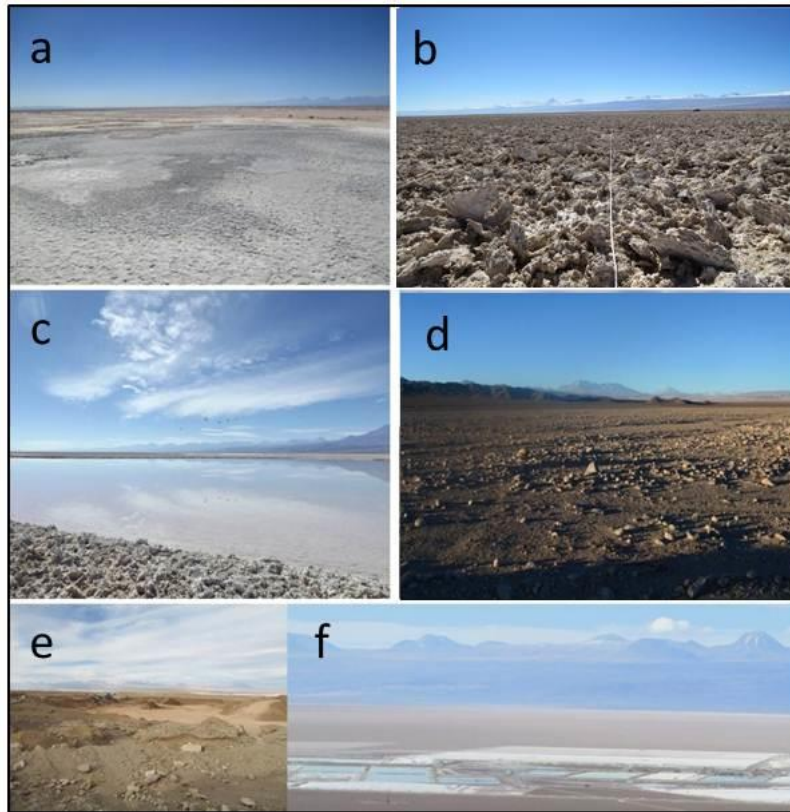
El recubrimiento de áreas industriales está representado por una unidad caracterizada como centro industrial que correspondería a las instalaciones de Albemarle y se añaden tres unidades identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas identificadas dentro del área de estudio. Este recubrimiento abarca una superficie de 1.245,2 hectáreas, lo que representa un 3,8% del área de estudio, con las cuatro unidades localizadas en el sector Tilopozo (**Tabla N° 5-21**).

- Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua corresponden a lagunas de distintas superficies distribuidas en todos los sectores del área de estudio. Abarcan una superficie de 486,9 hectáreas, lo que representa un 1,5% del área de estudio. Particularmente en el sector Soncor, destaca la mayor concentración de la superficie de lagunas con 244,2 hectáreas²⁰ (48,4% del total; **Tabla N° 5-21**) y en la parte norte, la presencia notable de vegetación acuática al interior de éstas (**Fotografía N° 5-11**).

²⁰ 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° 5-10. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.



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

Fotografía N° 5-11. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.



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

5.2.2 RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

5.2.2.1 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de invierno de 2020

5.2.2.1.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 5-23**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de invierno 2020.

Cabe destacar que, por restricciones de acceso al sector Soncor y Aguas de Quelana, no fue posible registrar la transecta T14, T15, T16 y T17 (**Ver Carta CONAF en Anexo I Vegetación y Flora**), recordando que la transecta T14 no sea ha realizado desde el primer monitoreo por malas condiciones del camino, y siempre que se ha podido acercarse al área se valida a distancia mediante un punto COT ya que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros). Es importante recordar que a esta zona se ingresa con apoyo del guardaparque de CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos. Por otra parte, la transecta T12 del subsector La Punta tampoco fue levantada en este monitoreo de invierno, debido a restricciones de acercamiento para evitar perturbación a la nidificación de tres grupos de aves con polluelos instalados muy cerca del inicio de la transecta.

Tabla N° 5-23. 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° 5-24**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de invierno 2020, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado

de alteración) como de las condiciones físicas del terreno (humedad del suelo y salinidad). La fisonomía de las formaciones vegetales y del área desprovista de vegetación en Soncor se pueden observar en las siguientes fotografías **Fotografía N° 5-12, Fotografía N° 5-13, Fotografía N° 5-14, Fotografía N° 5-15, Fotografía N° 5-16 y Fotografía N° 5-17.**

Tabla N° 5-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 9 (invierno 2020), 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	H3	dp bj	Sobresaturado	>80%	1	2
		T09	H4	dp	Saturado	>80%	1	1
	Tilopozo	T20	H5	dp	Saturado	30-50%	2	1
		T21	H2	dp	No saturado	>80%	1	2
		T22	LB2 H3	dp Lh	No saturado	>80%	1	3
		T26	H3	dp	Saturado	30-50%	1	1
		T27	H3	dp	No saturado	<10%	1	1
		T28	H4	dp	Saturado	30-50%	1	1
Riqueza total en formación vegetal								4
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	LB2 H4	jb Lh	Saturado	>80%	1	2
	Tilopozo	T18	LB1 H4	jb	No saturado	>80%	1	2
		T30	H4	jb dp	Saturado	50-80%	2	3
		T31	LB1 H3	jb dp	No saturado	>80%	1	3
Riqueza total en formación vegetal								3
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	4
		T02	H7	sca bj	Saturado	<10%	2	4
		T03	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	3
		T04	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	2	4
	Tilopozo	T19	H7	sca bj	Saturado	<10%	2	3
		T29	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	3
Riqueza total en formación vegetal								4
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	H2	nia tc	Saturado	>80%	1	2
	La Punta	T11	LB1 H4	tc	Sobresaturado	>80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							
	La Punta*	T12	LB3 H2	Sf pu	-	-	1	-

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	Aguas de Quelana**	T15	LB3 H2	Sf nia	-	-	-	-
		T16	LB3	Sf	-	-	-	-
		T17	LB4 H2	Sf pu	-	-	-	-
	Riqueza total en formación vegetal							
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1
		T06	LB4	Tb Aa	No saturado	30-50%	1	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1
	Tilopozo	T23	LB4	Tb	No saturado	30-50%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	30-50%	1	2
		T25	LB4 H3	Tb dp	Saturado	10-30%	1	2
Riqueza total en formación vegetal								2
Área desprovista de vegetación	Soncor**	T14	ADV	-	-	-	-	-

*: Transecta T12 en subsector La Punta sin muestreo en Monitoreo 9 debido a restricciones de acercamiento por nidificación de aves.

** Subsector Aguas de Quelana y Soncor sin muestreo en Monitoreo 9 debido a restricciones de acceso a la Reserva por indicaciones de seguridad de CONAF.

Donde:

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

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-12. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en invierno 2020, en distintas transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-13. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2020, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-14. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en invierno 2020, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-15. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en invierno 2020, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-16. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en invierno 2020, en transectas de estudio.



* El matorral de *S. fruticosa* no fue muestreado en monitoreo 9, la transecta T12 en el subsector La Punta fue observada de lejos: A la izquierda se observa una panorámica del lugar de la transecta y a la derecha se observan las aves con sus polluelos, muy cerca del inicio de la transecta,
 Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-17. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en invierno 2020, en transectas de estudio.



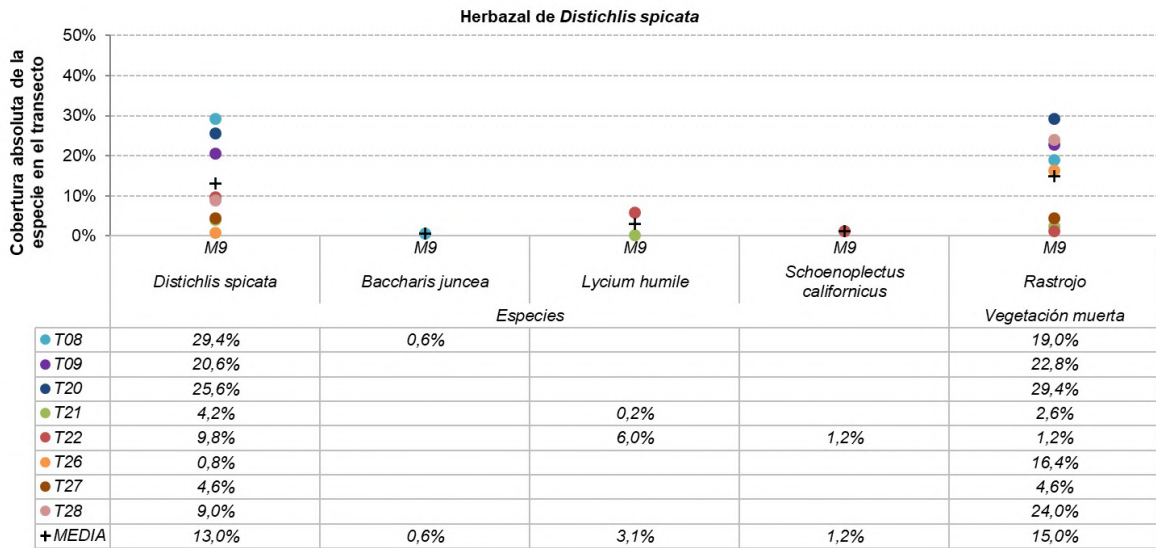
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2 Composición y cobertura

5.2.2.1.2.1 Cobertura absoluta de especies

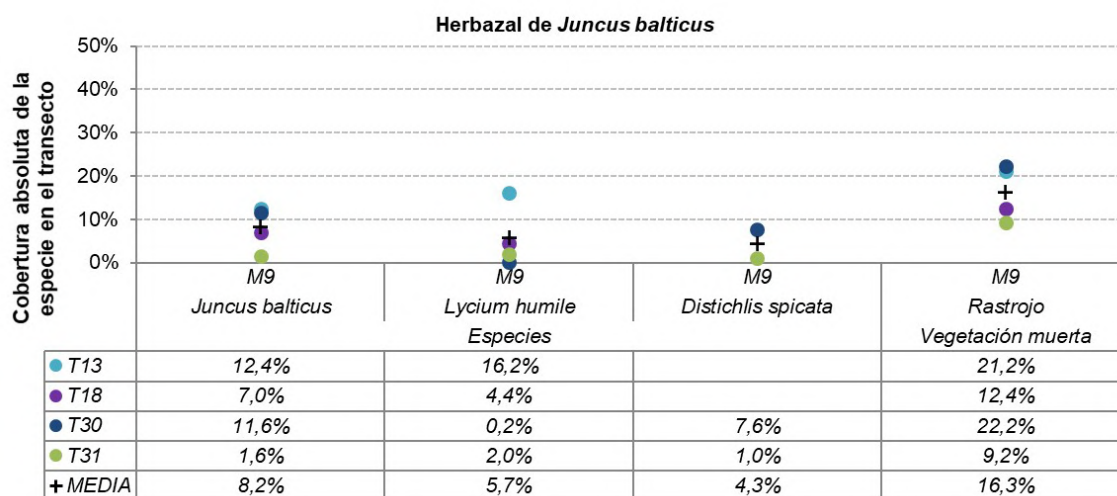
La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 9 (invierno 2020), se presenta por transecta en los siguientes cinco gráficos, ordenados según las seis formaciones vegetales. En cuanto a las coberturas de los otros recubrimientos por transecta y por formación vegetal, se detallan en 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**. Cabe señalar que no hay registros para la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa*, debido a las restricciones de acceso en T15, T16 y T17 y restricciones de acercamiento en T12 para el levantamiento del Monitoreo 9.

Figura N° 5-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de *Distichlis spicata*. (inv 2020)



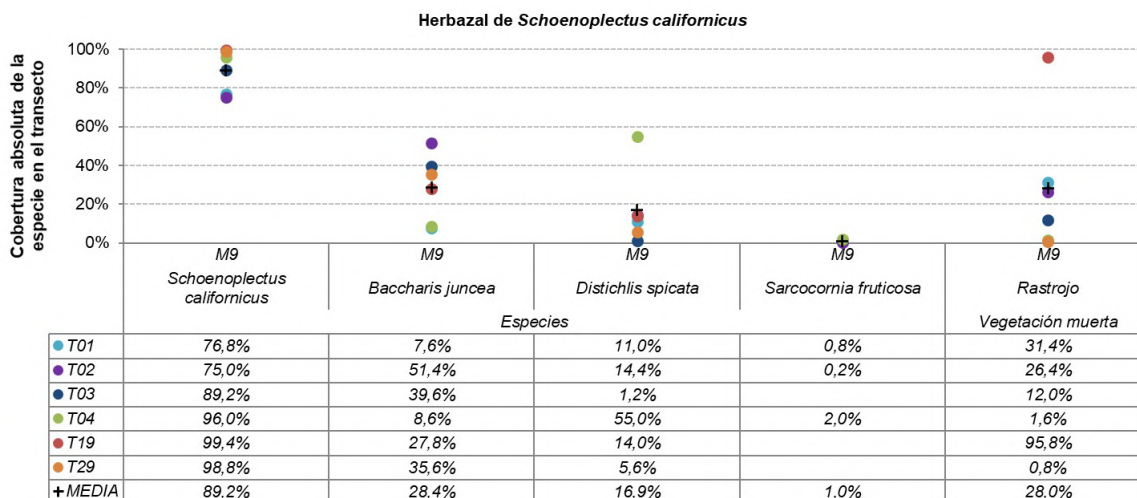
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de *Juncus balticus*. (inv 2020)



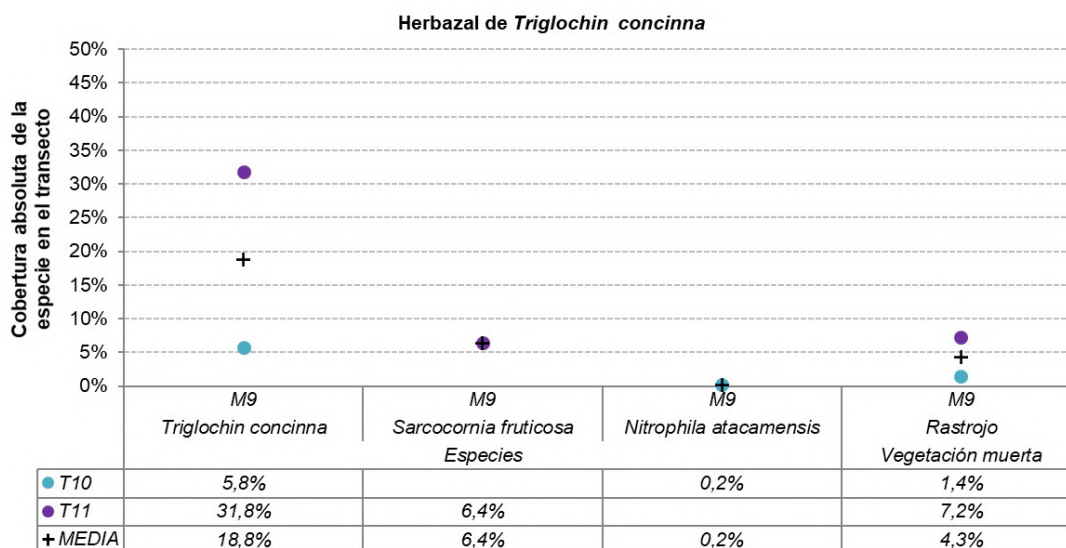
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*. (inv 2020)



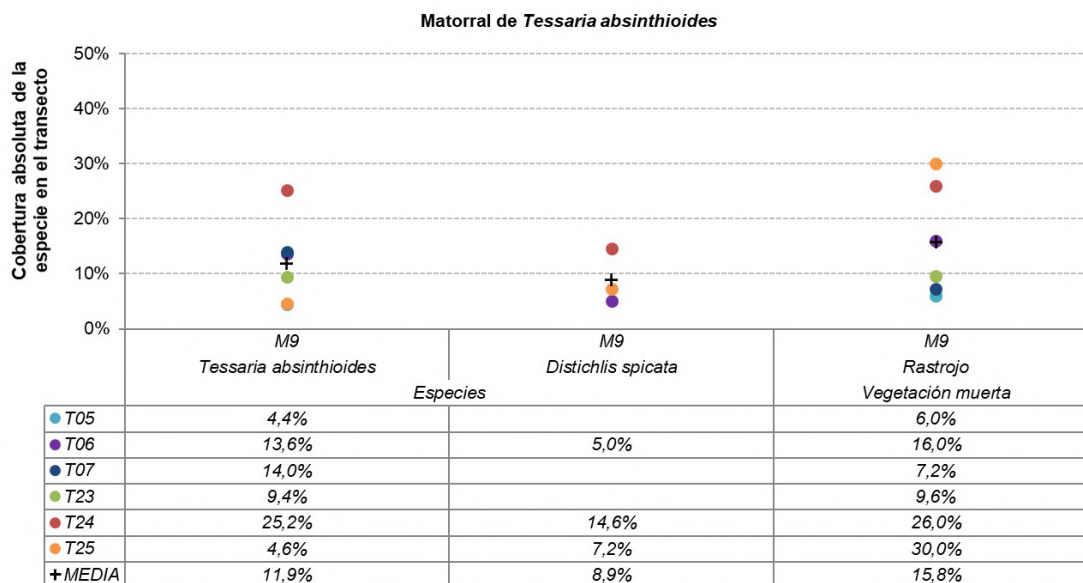
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-19. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de herbazal de *Triglochin concinna*. (inv 2020)



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-20. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 9, en la formación de matorral de *Tessaria absinthioides*. (inv 2020)



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 89% en cuatro de las seis transectas (T03, T04, T19 y T29), ver **Figura N° 5-18**. A pesar de que esta especie tiene menor cobertura en las transectas T01 y T02 (76 y 75% respectivamente) sigue conservando la mayor cobertura promedio de todas las especies registradas, con una media de 89,2% observado en la formación dominada por esta especie. Además se registra en la transecta T22, en una formación de *Distichlis spicata*, aunque con una cobertura (absoluta) mínima de 1,2% (**Figura N° 5-16**).

Entre las especies dominantes de formaciones vegetales que presentan los valores de cobertura promedio más baja de su especie dominante, destacan las especies *Juncus balticus* y *Tessaria absinthioides*. La especie *J. balticus* alcanza un máximo de 12,4% en la transecta T13 y una cobertura (absoluta) mínima de 1,6% en la transecta T31, registrando una cobertura promedio de 8,2% en la formación que domina. Esta especie no se registra en otras transectas de otras formaciones, ver **Figura N° 5-17**.

La arbustiva *T. absinthioides* registra en la transecta T05 y T25 la menor cobertura de 4,4% y 4,6% respectivamente, en T23 de 9,4%, y en la transecta T24 registra el máximo de cobertura absoluta con un 25,2%, presentando una cobertura media de 11,9% en la formación de matorral en que domina (**Figura N° 5-20**). Esta especie no se registra en transectas de otras formaciones.

Entre las especies acompañantes, destaca una menor representatividad dentro de las formaciones la especie *Nitrophila atacamensis*, con una cobertura absoluta menor al 1%, (ver **Figura N° 5-19**).

Por su parte, la especie acompañante *Baccharis juncea* destaca al alcanzar una cobertura media de 28,3% y con una máxima cobertura absoluta de 47,4% en la transecta T02, en el herbazal de *S. californicus* (**Figura N° 5-18**).

5.2.2.1.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Tabla N° 5-25**, se presentan las coberturas absolutas y promedio, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de invierno 2020 (Monitoreo 9).

En el Monitoreo 9, se observa que casi todas las transectas correspondientes a la formación dominada por *Schoenoplectus californicus* presentan coberturas absolutas superiores al 100%, exceptuando la transecta T01 que registra una cobertura absoluta para la formación de 96,2%. Estos valores se explican por la presencia de más de una especie acompañante con coberturas altas en las transectas de la formación (**Tabla N° 5-25, Figura N° 5-18**). En consecuencia, para esta formación los valores de cobertura promedio por transecta se observan altos con respecto a las otras formaciones vegetales, variando entre un 24,1 y 47,1%.

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 0,8% de cobertura absoluta. Las transectas T21 y T27 de esta formación presentan coberturas entre un 4,4 y 4,6%, y la transecta T28 un 9,0% de cobertura absoluta, mientras que la mayor cobertura absoluta se registró en la transecta T08 con un 30,0%. En cuanto al herbazal de *Triglochin concinna*, si bien la formación registra una cobertura cercana al 40% en el subsector La Punta (38,2% en T11), registra en el subsector La Brava una cobertura absoluta menor de 6,0% en T10, ver **Tabla N° 5-25**.

La vegetación del área no se destaca por presentar una alta riqueza de especies vasculares, variando la riqueza por transecta entre una y cuatro especies. Las transectas que registran una riqueza de cuatro especies corresponden a T01, T02 y T04, todas localizadas en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Peine.

Por otra parte, la misma **Tabla N° 5-25** presenta las coberturas muertas detectadas por transecta. Al respecto, destaca en la transecta T19 en un herbazal de *Schoenoplectus californicus* en Tilopozo, la mayor cobertura de rastrojo, a pesar de que en la misma transecta la cobertura absoluta (activa) es sobre el 100%. Asimismo, en la transecta T29 que se encuentra cercana, en una misma unidad vegetal, registra una cobertura de rastrojo o cobertura muerta menor al 1%.

En cuanto al resto de las formaciones vegetales, en todas las transectas se detectó algún porcentaje de cobertura muerta, variando desde un mínimo de 1,2% y 1,4% en las transectas T22 del herbazal de *D. spicata* y en la transecta T10 del herbazal de *T. concinna*, respectivamente, hasta un máximo de 95,8% en el herbazal de *S. californicus* de Tilopozo (T19) seguido de un 30,0% en un matorral de *T. absinthioides* de Tilopozo (T25). En resumen, se observa que la cobertura de rastrojos por transecta es menor a un 10% de cubrimiento en 11 transectas; en cinco transectas se observa una cobertura entre 10 y 20%; ocho transectas que registran coberturas de rastrojos entre 20% y 30% (T02, T13, T30, T09, T20, T24, T25 y T28); y la transecta T01 que registra una cobertura absoluta de 31,4% de rastrojos y T19 con un 95,8% de cobertura volteada en forma de rastrojos por toda la formación, por probable alteración antrópica y pastoreo en el área, ver **Tabla N° 5-25**.

Por último, en la **Tabla N° 5-25** 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*, que registra únicamente un 0,2% de superficie terrosa en una de las seis transectas (T04). El detalle de las coberturas de los otros recubrimientos por transecta se presenta a continuación.

Tabla N° 5-25. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 9 (invierno 2020).

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
			Absoluta	Promedio	Rastrojos/muerta	Otros recubrimientos	
<i>Herbazal de Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	96,2%	24,1%	31,4%	-	4
		T02	141,0%	35,3%	26,4%	-	4
		T03	130,0%	43,3%	12,0%	-	3
		T04	161,6%	40,4%	1,6%	0,2%	4
	Tilopozo	T19	141,2%	47,1%	95,8%	-	3
		T29	140,0%	46,7%	0,8%	-	3
<i>Herbazal de Juncus balticus</i>	La Punta	T13	28,6%	14,3%	21,2%	59,2%	2
	Tilopozo	T18	11,4%	5,7%	12,4%	78,2%	2
		T30	19,4%	6,5%	22,2%	60,6%	3
		T31	4,6%	1,5%	9,2%	87,0%	3
<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	Peine	T08	30,0%	15,0%	19,0%	51,2%	2
		T09	20,6%	20,6%	22,8%	56,6%	1
	Tilopozo	T20	25,6%	25,6%	29,4%	45,0%	1
		T21	4,4%	2,2%	2,6%	93,0%	2
		T22	17,0%	5,7%	1,2%	84,2%	3
		T26	0,8%	0,8%	16,4%	82,8%	1
		T27	4,6%	4,6%	4,6%	90,8%	1
		T28	9,0%	9,0%	24,0%	67,0%	1
<i>Herbazal de Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	6,0%	3,0%	1,4%	92,8%	2
	La Punta	T11	38,2%	19,1%	7,2%	57,2%	2
<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa*</i>	Quelana	T12	-	-	-	-	-
		T15	-	-	-	-	-
	Quelana	T16	-	-	-	-	-
		T17	-	-	-	-	-

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
			Absoluta	Promedio	Rastrojos/muerta	Otros recubrimientos	
<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	4,4%	4,4%	6,0%	89,6%	1
		T06	18,6%	9,3%	16,0%	68,2%	2
		T07	14,0%	14,0%	7,2%	79,4%	1
	Tilopozo	T23	9,4%	9,4%	9,6%	81,0%	1
		T24	39,8%	19,9%	26,0%	41,0%	2
		T25	11,8%	5,9%	30,0%	59,2%	2

Donde: * Transectas del matorral de *Sarcocornia fruticosa* sin muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2.3 Cobertura de otros recubrimientos en transectas

En la **Tabla N° 5-26** 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, incluida la costra salina saturada o sobresaturada, presente en 12 transectas con valores entre 1,0% a 93,0% de costra salina, entre 18,8% y 60,6% de costra salina saturada y entre 2,0% y 25,4% de costra salina sobresaturada; también destaca la alta cobertura de costra salina terrosa en algunas transectas, en tres transectas del matorral de *T. absinthioides* y en tres transectas de herbazal de *D. spicata* (entre 9% y 82%). Las formaciones vegetales que registran transectas con cobertura de costra salina terrosa, registran también una cobertura de suelo terroso en seis transectas, con un 90% en un herbazal de *D. spicata* (T27), entre un 50 y 90% en las tres transectas del matorral de *T. absinthioides* de Peine y con menor cobertura en dos transectas de esta misma formación en Tilopozo (**Tabla N° 5-26**).

Cabe señalar que las transectas que presentaron agua en superficie corresponden a las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* (T10 y T11) localizadas en bordes o cercanas a sistemas lagunares y en dos transectas de herbazal de *D. spicata* en el subsector de Peine (T08 y T09), ver **Tabla N° 5-26**.

Tabla N° 5-26. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 9 (invierno 2020).

Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M9(%)						
		Agua superficial	Costra Salina (Cs)				Terroso	Total (%)
			Cs	Cs sobresaturada	Cs saturada	Cs terrosa		
<i>Herbazal de Schoenoplectus californicus</i>	T01	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T02	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T03	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T04	-	-	-	-	-	0,2%	0,2%
	T19	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T29	-	-	-	-	-	-	0,0%
<i>Herbazal de Juncus balticus</i>	T13	-	-	-	59,2%	-	-	59,2%
	T18	-	78,2%	-	-	-	-	78,2%
	T30	-	-	-	60,6%	-	-	60,6%
	T31	-	87,0%	-	-	-	-	87,0%
<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	T08	7,0%	-	25,4%	18,8%	-	-	51,2%
	T09	1,6%	1,0%	2,2%	51,8%	-	-	56,6%
	T20	-	-	-	-	45,0%	-	45,0%
	T21	-	93,0%	-	-	-	-	93,0%
	T22	-	84,2%	-	-	-	-	84,2%
	T26	-	-	-	-	82,8%	-	82,8%
	T27	-	-	-	-	-	90,8%	90,8%
	T28	-	-	-	-	67,0%	-	67,0%
<i>Herbazal de Triglochin concinna</i>	T10	46,6%	-	2,0%	44,2%	-	-	92,8%
	T11	9,4%	-	23,0%	24,8%	-	-	57,2%
<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa*</i>	T12	-	-	-	-	-	-	-
	T15	-	-	-	-	-	-	-
	T16	-	-	-	-	-	-	-

Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M9(%)						
		Agua superficial	Costra Salina (Cs)				Terroso	Total (%)
			Cs	Cs sobresaturada	Cs saturada	Cs terrosa		
	T17	-	-	-	-	-	-	-
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T05	-	-	-	-	-	89,6%	89,6%
	T06	-	-	-	-	17,8%	50,4%	68,2%
	T07	-	-	-	-	-	79,4%	79,4%
	T23	-	69,8%	-	-	9,4%	1,8%	81,0%
	T24	-	40,8%	-	-	-	0,2%	41,0%
	T25	-	-	-	-	59,2%	-	59,2%

Donde: * Transectas del matorral de *Sarcocornia fruticosa* sin muestreo estacional en Monitoreo 9 por restricciones de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2.4 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 5-27** se observan los valores promedios de cobertura por subsector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura de vegetación (68,5%).

Los subsectores Aguas de Quelana y Soncor no tuvieron muestreo en monitoreo 9, aunque cabe destacar que Soncor nunca ha presentado cobertura vegetal, ya que se encuentra sobre una costra salina y corresponde a un área desprovista de vegetación. Por otra parte, el sector La Punta y La Brava tiene, entre los sectores con vegetación, el menor valor de cobertura absoluta, con un 24,3%, representando formaciones con vegetación parchosa correspondientes a herbazales de *Triglochin concinna* que se desarrollan en bordes de lagunas (**Tabla N° 5-27**).

Por otro lado, la cobertura promedio de la vegetación muerta registra un valor máximo de 20,3% en el subsector Tilopozo, mientras que Peine y La Punta y La Brava presentan valores de 15% y 10% aproximadamente (**Tabla N° 5-27**).

Finalmente, la riqueza de especies por subsector se observa entre cinco y seis especies de flora vascular (**Tabla N° 5-27**). La **Tabla N° 5-28**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 5-27. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 9 (invierno 2020).

Subsector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por subsector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Punta y La Brava	3	24,3%	9,9%	5
Peine	9	68,5%	15,8%	5
Aguas de Quelana	-	-	-	-
Soncor	-	-	-	-
Tilopozo	14	31,4%	20,3%	6

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5-28. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 9 (invierno 2020).

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

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

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de verano de 2021

5.2.2.2.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 5-29**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de verano 2021.

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° 5-29. 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*

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS
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° 5-30**, se presentan las principales características de las transectas para la campaña de verano 2021, 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° 5-18**, **Fotografía N° 5-19**, **Fotografía N° 5-20**, **Fotografía N° 5-21**, **Fotografía N° 5-22** y **Fotografía N° 5-23**.

Tabla N° 5-30. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 10 (verano 2021), 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	Saturado	>80%	1	2
		T09	H4	dp	Saturado	>80%	1	1
	Tilopozo	T20	H5	dp	No saturado	30-50%	1	1
		T21	H3	dp	No saturado	>80%	1	1
		T22	LB2 H3	dp Lh	No saturado	>80%	1	3
		T26	H2	dp	No saturado	10-30%	1	1
		T27	H3	dp	No saturado	10-30%	1	1
		T28	H3	dp	No saturado	>80%	1	2
Riqueza total en formación vegetal								5
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	LB3 H3	jb Lh	No saturado	>80%	1	2
	Tilopozo	T18	LB2 H3	jb Lh	No saturado	>80%	1	2
		T30	LB2 H4	jb dp Lh	No saturado	>80%	1	3
		T31	LB2 H4	jb dp Lh	No saturado	>80%	1	3
	Riqueza total en formación vegetal							
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus*</i>	Peine	T01	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	4
		T02	H6	sca bj	Saturado	<10%	2	3
		T03	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2	3
		T04	H7	sca bj dp	No saturado	<10%	2	4
	Tilopozo	T19	H7	sca bj dp	No saturado	<10%	2	3
		T29	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	2	4
	Riqueza total en formación vegetal							
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	H2	nia tc	Saturado	>80%	1	2
	La Punta	T11	LB1 H3	tc	Sobresaturado	>80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	La Punta	T12	LB3	Sf	No saturado	>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	Saturado	>80%	1	1
		Riqueza total en formación vegetal						
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1
		T06	LB4 H2	Tb Aa	No saturado	<10%	1	2

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
	Tilopozo	T07	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1
		T23	LB4 H1	Tb	No saturado	>80%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	30-50%	1	2
		T25	LB3 H3	Tb dp	No saturado	>80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							
Área desprovista de vegetación	Soncor**	T14	ADV	-	-	-	-	-

*: Formación vegetal con signos de alteración por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas realizadas por las comunidades atacameñas.

**Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 10 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Donde:

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

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-18. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en verano 2021, en distintas transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-19. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en verano 2021, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-20. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en verano 2021, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-21. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en verano 2021, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-22. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en verano 2021, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

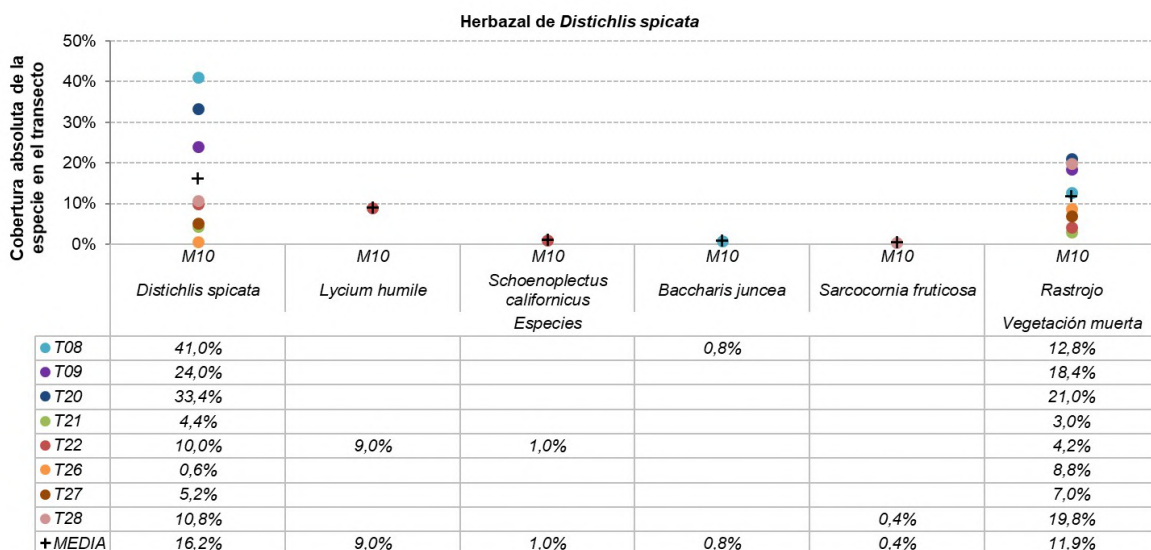
Fotografía N° 5-23. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en verano 2021, en transectas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.2 Composición y cobertura**5.2.2.2.2.1 Cobertura absoluta de especies**

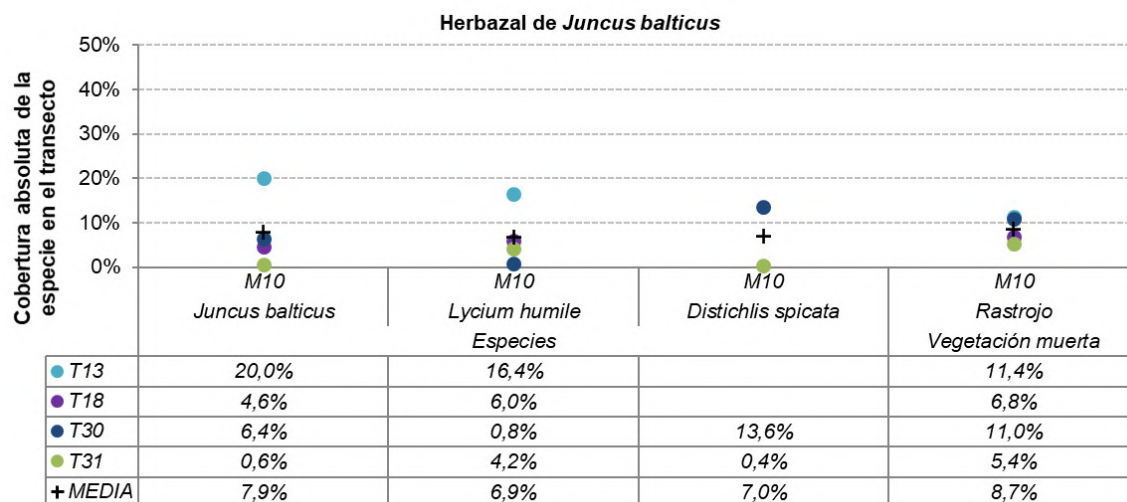
La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 10 (verano 2021), se presenta por transecta en los siguientes seis gráficos, ordenados según las seis formaciones vegetales. En cuanto a las coberturas de los otros recubrimientos por transecta y por formación vegetal, se detallan en 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° 5-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Distichlis spicata*. (Ver 2021)



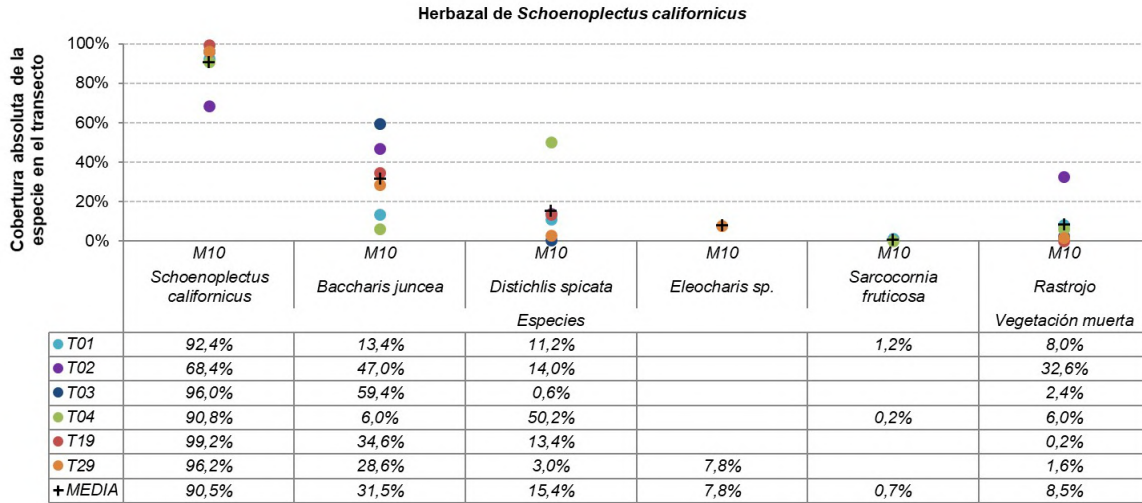
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Juncus balticus*. (Ver 2021)



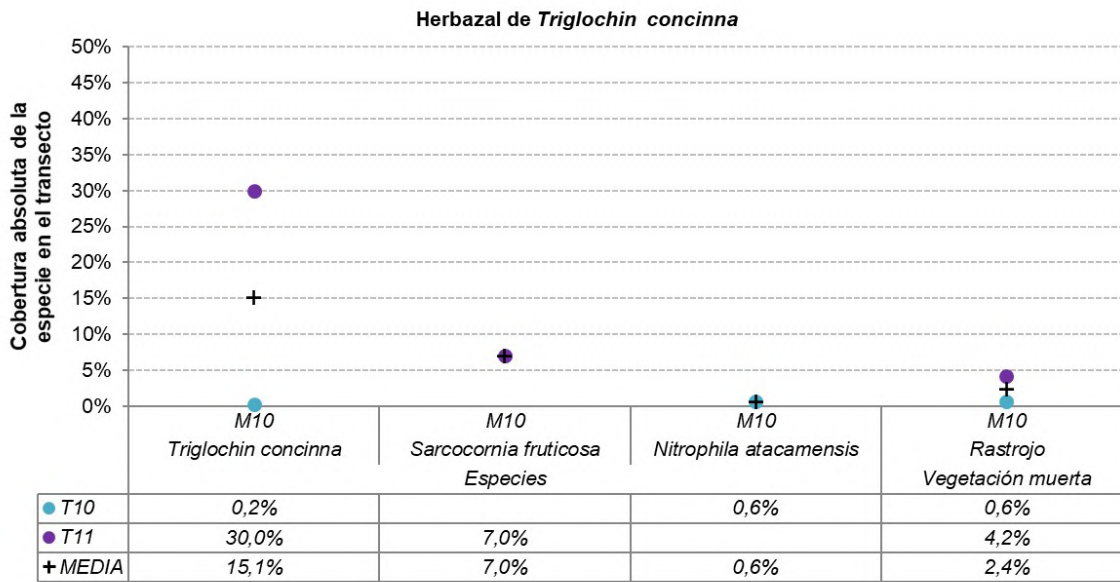
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*. (Ver 2021)



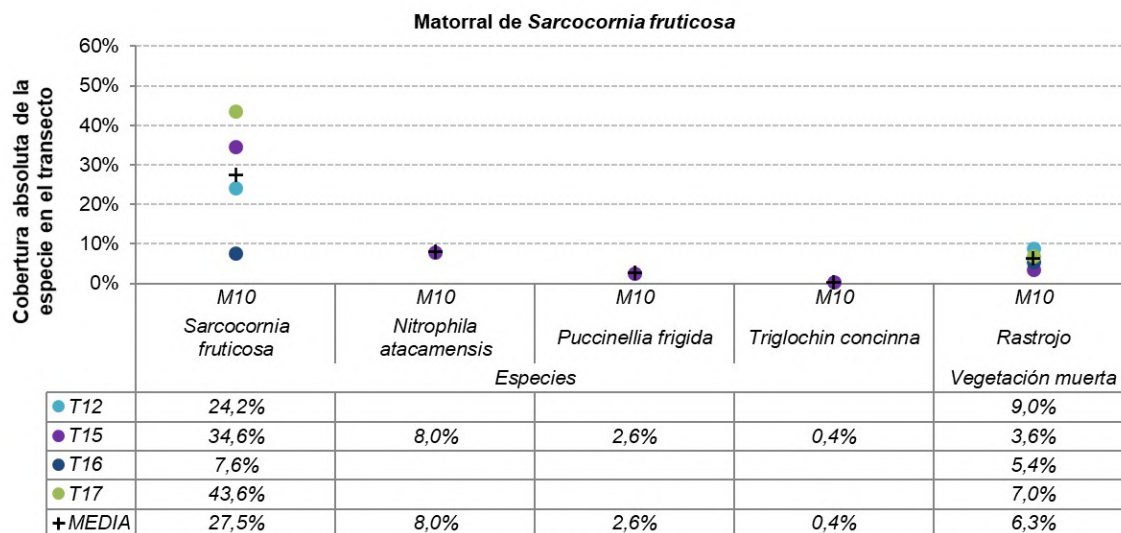
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-24. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de herbazal de *Triglochin concinna*. (Ver 2021)



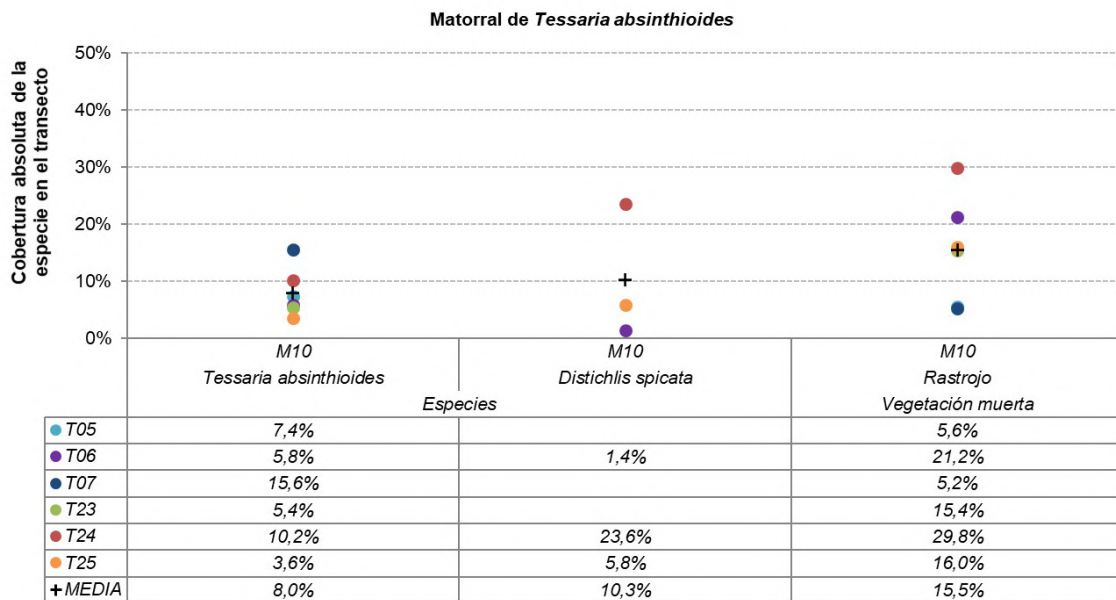
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-25. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa*. (Ver 2021)



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-26. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 10, en la formación de matorral de *Tessaria absinthioides*. (Ver 2021)



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 90% en cinco de las seis transectas (T01, T03, T04, T19 y T29), ver

Figura N° 5-23. Además, esta especie conserva la mayor cobertura promedio de todas las especies registradas, con una media de 90,5% 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 1,0% (**Figura N° 5-21**).

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 20,0% en la transecta T13 y una cobertura (absoluta) mínima de 0,6% en la transecta T31, registrando una cobertura promedio de 7,9% en la formación que domina. Esta especie no se registra en otras transectas de otras formaciones, ver **Figura N° 5-22**.

La arbustiva *T. absinthioides* registra en las transectas T23 y T25 coberturas mínimas de 5,4% y 3,6%, respectivamente, y en la transecta T07 un máximo de cobertura absoluta de 15,6%, presentando una cobertura media de 8,0% en la formación de matorral en que domina (**Figura N° 5-26**). 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* y *Puccinellia frigida*, ambas registradas en una formación del *S. fruticosus* y en menor representatividad en un herbazal de *T. concinna*, se registra *N. atacamensis* con una cobertura absoluta de 0,6% (ver **Figura N° 5-24 a Figura N° 5-25**).

Por su parte, la especie acompañante *Baccharis juncea* destaca al alcanzar una cobertura media de 31,5% en el herbazal de *S. californicus* (**Figura N° 5-23**).

5.2.2.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Tabla N° 5-31**, se presentan las coberturas absolutas y promedio, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de verano 2021 (Monitoreo 10).

En el Monitoreo 10, se observa que todas las transectas correspondientes a la formación dominada por *Schoenoplectus californicus* presentan coberturas absolutas superiores al 100%, destacando la transecta T03 que alcanza la mayor cobertura absoluta para la formación con un 156,0%. Estos valores se explican por la presencia de más de una especie acompañante con coberturas altas en las transectas de la formación (**Tabla N° 5-31, Figura N° 5-18**). En consecuencia, para esta formación los valores de cobertura promedio por transecta se observan altos con respecto a las otras formaciones vegetales, variando entre un 29,6 y 52,0%.

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 0,6% de cobertura absoluta. Las transectas T21 y T27 de esta formación presentan coberturas de 4,4 y 5,2%, mientras que la mayor cobertura absoluta se registró en la

transecta T08 con un 41,8%. En cuanto al herbazal de *Triglochin concinna*, si bien la formación registra una cobertura de 37,0% en el subsector La Punta (T11), en el subsector La Brava registra una cobertura absoluta de 0,8% en T10, ver **Tabla N° 5-31**.

La vegetación del área no se destaca por presentar una alta riqueza de especies vasculares, con una riqueza por transecta variando entre una a cuatro especies. Las transectas que registran una riqueza de cuatro especies corresponden a T01, 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.

Por otra parte, la misma **Tabla N° 5-31** presentan las coberturas muertas detectadas por transecta. Al respecto, todas las transectas presentan alguna cobertura de rastrojo, aunque en T19 (herbazal de *S. californicus*) y T10 (herbazal de *T. concinna*), se registra menos de 1% de esta cobertura. Mientras que en la transecta T02 en Peine (herbazal de *S. californicus*) es donde se registra la mayor cobertura de rastrojos con un 32,6%.

En cuanto al resto de las transectas, los porcentajes de cobertura muerta varían desde un mínimo de 1,6% en un herbazal de *S. californicus* (T29), hasta un máximo de 29,8% en un matorral de *Tessaria absinthioides* (T24). En resumen, se observa que la cobertura de rastrojos por transecta es menor a un 10% de cubrimiento en 19 transectas; en siete transectas se observa una cobertura entre 10 y 20%; en tres transectas se registran coberturas de rastrojos entre 20% y 30% (T20, T06 y T24); y en una transecta de herbazal de *Schoenoplectus californicus* (T02) se registra una cobertura muerta absoluta mayor al 30%, ver **Tabla N° 5-31**.

Por último, en la **Tabla N° 5-31** 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 al recubrimiento vegetal (valores entre 45,6% y 98,8%). El detalle de las coberturas de los otros recubrimientos por transecta se presenta a continuación.

Tabla N° 5-31. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 10 (verano 2021).

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	118,2%	29,6%	8,0%	-	4
			T02	129,4%	43,1%	32,6%	-	3
			T03	156,0%	52,0%	2,4%	-	3
			T04	147,2%	36,8%	6,0%	-	4
		Tilopozo	T19	147,2%	49,1%	0,2%	-	3
			T29	135,6%	33,9%	1,6%	-	4
	<i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	36,4%	18,2%	11,4%	62,8%	2
		Tilopozo	T18	10,6%	5,3%	6,8%	84,0%	2
			T30	20,8%	6,9%	11,0%	70,0%	3
			T31	5,2%	1,7%	5,4%	89,8%	3
	<i>Distichlis spicata</i>	Peine	T08	41,8%	20,9%	12,8%	46,0%	2
			T09	24,0%	24,0%	18,4%	57,4%	1
		Tilopozo	T20	33,4%	33,4%	21,0%	45,6%	1
			T21	4,4%	4,4%	3,0%	92,6%	1
			T22	20,0%	6,7%	4,2%	78,8%	3
			T26	0,6%	0,6%	8,8%	90,6%	1
			T27	5,2%	5,2%	7,0%	87,8%	1
			T28	11,2%	5,6%	19,8%	69,0%	2
	<i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	0,8%	0,4%	0,6%	98,8%	2
La Punta		T11	37,0%	18,5%	4,2%	61,6%	2	
Matorral	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	La Punta	T12	24,2%	24,2%	9,0%	66,8%	1
			Quelana	T15	45,6%	11,4%	3,6%	52,0%
		T16		7,6%	7,6%	5,4%	86,8%	1

Tipo de formación	Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
				Absoluta	Promedio	Rastrojos/ muerta	Otros recubrimientos	
			T17	43,6%	43,6%	7,0%	49,2%	1
	<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	7,4%	7,4%	5,6%	87,0%	1
T06			7,2%	3,6%	21,2%	72,2%	2	
T07			15,6%	15,6%	5,2%	79,2%	1	
		Tilopozo	T23	5,4%	5,4%	15,4%	79,2%	1
			T24	33,8%	16,9%	29,8%	48,4%	2
			T25	9,4%	4,7%	16,0%	75,6%	2

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.3 Cobertura de otros recubrimientos en transectas

En la **Tabla N° 5-32** 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 (>45%), 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 16 transectas con valores entre 4,6% y 92,6%, siendo una cobertura característica en el herbazal de *Juncus balticus* y en el matorral de *S. fruticosa* (entre 40% y 90% aproximadamente); también con valores altos en el herbazal de *D. spicata*, pero esta formación además registra altos valores de costra salina terrosa (T26 y T28) y sustrato terroso (T27). Asimismo, el matorral de *Tessaria absinthioides* registra mayormente sustratos terrosos o de costra salina terrosa (**Tabla N° 5-32**).

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 54,0% de agua superficial en T10, y la transecta T12 en un matorral de *S. fruticosa* en el subsector La Punta (**Tabla N° 5-32**), las tres transectas localizadas en bordes o cercanas a sistemas lagunares de La Punta y La Brava.

Tabla N° 5-32. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 10 (verano 2021).

Tipo de formación	Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M10(%)						
			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	-	62,8%	-	-	-	-	62,8%
		T18	-	-	-	-	84,0%	-	84,0%
		T30	-	70,0%	-	-	-	-	70,0%
		T31	-	89,8%	-	-	-	-	89,8%
	<i>Distichlis spicata</i>	T08	-	46,0%	-	-	-	-	46,0%
		T09	-	57,4%	-	-	-	-	57,4%
		T20	-	45,6%	-	-	-	-	45,6%
		T21	-	92,6%	-	-	-	-	92,6%
		T22	-	77,8%	-	-	-	1,0%	78,8%
		T26	-	-	-	-	90,6%	-	90,6%
		T27	-	4,6%	-	-	-	83,2%	87,8%
		T28	-	-	-	-	69,0%	-	69,0%
	<i>Triglochin concinna</i>	T10	54,0%	44,8%	-	-	-	-	98,8%
		T11	3,4%	28,4%	7,6%	22,2%	-	-	61,6%
Matorral	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	T12	6,0%	59,8%	0,6%	0,4%	-	-	66,8%
		T15	-	52,0%	-	-	-	-	52,0%
		T16	-	86,8%	-	-	-	-	86,8%

Tipo de formación	Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M10(%)						
			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	-	-	-	-	-	87,0%	87,0%
		T06	-	-	-	-	-	72,2%	72,2%
		T07	-	-	-	-	-	79,2%	79,2%
		T23	-	-	-	-	79,2%	-	79,2%
		T24	-	48,4%	-	-	-	-	48,4%
		T25	-	-	-	-	-	75,6%	-

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.4 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 5-33** se observan los valores promedios de cobertura por subsector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura de vegetación (71,9%).

El subsector de Soncor no se muestreó por malos accesos 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 0,8% que representa una formación parchosa de vegetación correspondiente a un herbazal de *Triglochin concinna* que se desarrolla en bordes de lagunas (**Tabla N° 5-33**).

Los subsectores La Punta y Tilopozo presentan valores similares entre ellos, con coberturas vegetales promedio de 32,5% y 31,6%, respectivamente (**Tabla N° 5-33**).

Por otro lado, la cobertura promedio de la vegetación muerta registra un valor máximo de 12,5% en el subsector Peine, seguido de un 10,7% de cobertura muerta registrado en el sector Tilopozo. Los otros subsectores registran menos de un 10% de cobertura promedio de rastrojos (**Tabla N° 5-33**).

Finalmente, la riqueza de especies por subsector se observa entre dos y ocho especies de flora vascular, exceptuando al subsector Soncor que no registra vegetación o individuos de flora (**Tabla N° 5-33**). La **Tabla N° 5-34**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 5-33. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 10 (verano 2021).

Sector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por sector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Brava	1	0,8%	0,6%	2
La Punta	3	32,5%	8,2%	4
Peine	9	71,9%	12,5%	5
Aguas de Quelana	3	32,3%	5,3%	4
Soncor	1	-	-	-
Tilopozo	14	31,6%	10,7%	8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5-34. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 10 (verano 2021).

Especie	Sub-sector 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	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott		x	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	5	4	8

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 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 2021, 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 – Agosto 2019; que como se mencionó anteriormente no influye en la estacionalidad), que representa la vegetación zonal, azonal y otros recubrimientos en cuatro sectores del Salar en la campaña de verano de 2021: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Soncor y (v) Quelana.

Según los valores obtenidos en base a la metodología descrita en la **sección 5.1.3**, los resultados de la superficie de vegetación activa por formación vegetal correspondiente a cada sector se detallan en la **Tabla N° 5-35** y se grafican en los archivos cartográficos presentados en el **Anexo de Vegetación y Flora** de este Informe Anual.

Tabla N° 5-35. Superficie de vegetación activa (NDVI) post – lluvias 2021 en base a la COT de verano 2021, por sector.

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Polígonos con vegetación COT
Peine	532,5	5.925,0
Área desprovista de vegetación	0,0	2.936,0
Zonal	335,4	2.034,1
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	115,2	542,8
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	8,7	60,1
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	1,4	9,3
Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	5,2	148,5
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	186,4	1.193,7
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	18,5	79,6
Azonal	197,1	954,9
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	12,1	28,1
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,7	57,2
Vega de <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,0	5,3
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	11,4	11,6
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,5	6,1
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	118,3	687,4
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Atriplex atacamensis</i> y <i>Distichlis spicata</i>	33,1	146,9
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	0,8	3,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> , y <i>Baccharis juncea</i>	0,2	1,9
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	5,1	6,9
La Punta y La Brava	6,3	118,5
Área desprovista de vegetación	0,0	58,2
Azonal	6,3	60,3
Vega de <i>Distichlis spicata</i> (LPLB)	0,2	2,3
Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	0,3	3,3
Vega de <i>Triglochin concinna</i> (LPLB)	1,0	13,6
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	4,8	41,1
Aguas de Quelana	249,8	4.954,2
Área desprovista de vegetación	0,0	3.435,4
Zonal	33,0	114,8
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	30,8	104,9

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Polígonos con vegetación COT
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	2,2	9,8
Azonal	216,8	1.404,0
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	129,0	637,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	2,8	21,6
Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,5	18,6
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	39,5	522,7
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	43,0	203,9
Soncor	6,6	5.018,2
Área desprovista de vegetación	0,0	4.993,5
Azonal	6,6	24,8
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,1	7,8
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	3,5	16,9
Tilopozo	447,3	17.054,1
Área desprovista de vegetación	0,9	14.408,0
Zonal	34,2	644,1
Matorral de <i>Ephedra breana</i>	12,7	491,1
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	21,5	153,0
Azonal	412,2	2.002,1
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	217,5	745,7
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,4	54,1
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Juncus balticus</i>	4,7	74,8
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	2,5	16,5
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	20,2	129,9
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,7	10,1
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	2,3	14,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	1,3	4,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Distichlis spicata</i>	0,6	13,8
Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i>	3,5	69,0
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	72,0	616,3
Vega de <i>Juncus balticus</i>	13,1	113,5
Vega de <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	10,9	11,1

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Polígonos con vegetación COT
Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	10,4	42,5
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	5,9	19,4
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	40,4	42,2
Vega de <i>Triglochin concinna</i>	0,9	24,5
Total general	1.242,6	33.070,0
Total con áreas con vegetación	1.241,6	7.238,9

Fuente: Elaboración propia.

La vegetación activa calculada a partir del NDVI, corresponde a 1.242,6 ha, superficie que representa un 3,8% de la superficie total de la COT (33.070,0 ha), incluyendo áreas desprovistas de vegetación. En tanto, la superficie con vegetación de la COT es de 7.238,9 ha, tal como se indica en la tabla anterior, donde la vegetación activa representa un 17,2% (1.241,6 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.

5.2.4 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 quinto año de seguimiento, se incluye un análisis de tendencias de los cinco 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.

6 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos semestrales de invierno 2020 y verano 2021 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 08 al 14 de septiembre de 2020, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno, y entre los días 04 al 10 de abril de 2021, correspondiente al monitoreo semestral de verano.

En la campaña de verano 2021, se realizaron 20 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando por primera 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 321/2020 (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 novena y décima 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 2020 y verano de 2021, con resultados de monitoreo y/o línea de base previos, para establecer posibles desviaciones y evolución de éstos.

6.1 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1.1 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° 6-1**). 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.

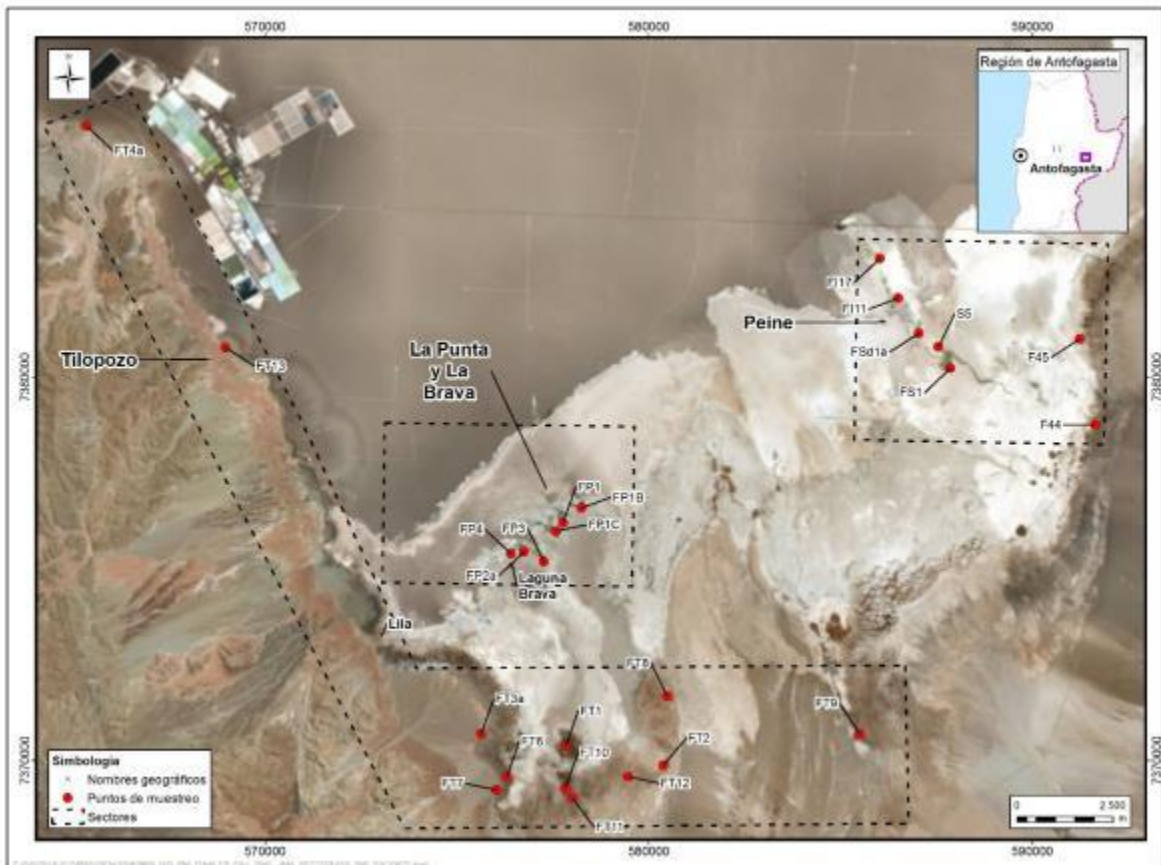
Para el área específica de estudio, y analizando los datos de muestreos de línea base (PMB, 2015), los que se resumen en varias campañas (desde los años 2006 a 2015), se ha registrado una riqueza acumulada de 62 especies de vertebrados, de las cuales 49 corresponden a aves (79%), 10 especies a mamíferos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

catalogadas como de Preocupación menor (*Chroicocephalus serranus*, *Falco peregrinus*, *Liolaemus constanzae*, *Ctenomys fulvus*, *Lycalopex culpaeus* y *L. griseus*). Hay una alta proporción de especies nativas, siendo *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° 6-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).



Fuente: Elaboración Propia.

6.1.2 Ubicación de puntos muestreo

En ambas campañas de monitoreo, se realizaron 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° 6-1** y **Figura N° 6-2** (ver también **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

Cabe mencionar que en la campaña de verano 2021, por inconvenientes de permiso, no se pudo acceder a cinco de los 25 puntos (lagunas de Peine: Salada, Saladita e Interna) por lo que el muestreo se efectuó en 20 de los 25 puntos (detalle en **Tabla N° 6-1**).

En relación al esfuerzo de muestreo, en invierno 2020 se efectuaron 25 transectos (uno en cada punto de muestreo), nueve estaciones de trapeo de micromamíferos, 12 estaciones con trampas cámara, cinco muestreos de aves nocturnas y dos muestreos nocturnos de anfibios. En verano 2021, se efectuaron 20 transectos, nueve estaciones de trapeo 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° 6-1. 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	-

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Voluntario
	Este	Norte	Este	Norte				Anf	Rep	Aves	Mam	
FP1	577.768	7.376.209	577.768	7.376.209	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	-
FP1B	-	-	578.241	7.376.584	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP1C	-	-	577.574	7.375.983	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP2a	576.955	7.375.401	576.748	7.375.448	La Punta y la Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	-
FP3	-	-	577.271	7.375.175	La Punta y La Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP4	-	-	576.403	7.375.395	La Punta y la Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FT10	577.822	7.369.282	577.822	7.369.282	Tilopozo	Tilopozo	Humedal pajonal	Si	Si	Si	Si	-
FT1a	577.841	7.370.458	577.830	7.370.368	Tilopozo	Tilopozo	Humedal pajonal	Si	Si	Si	Si	-

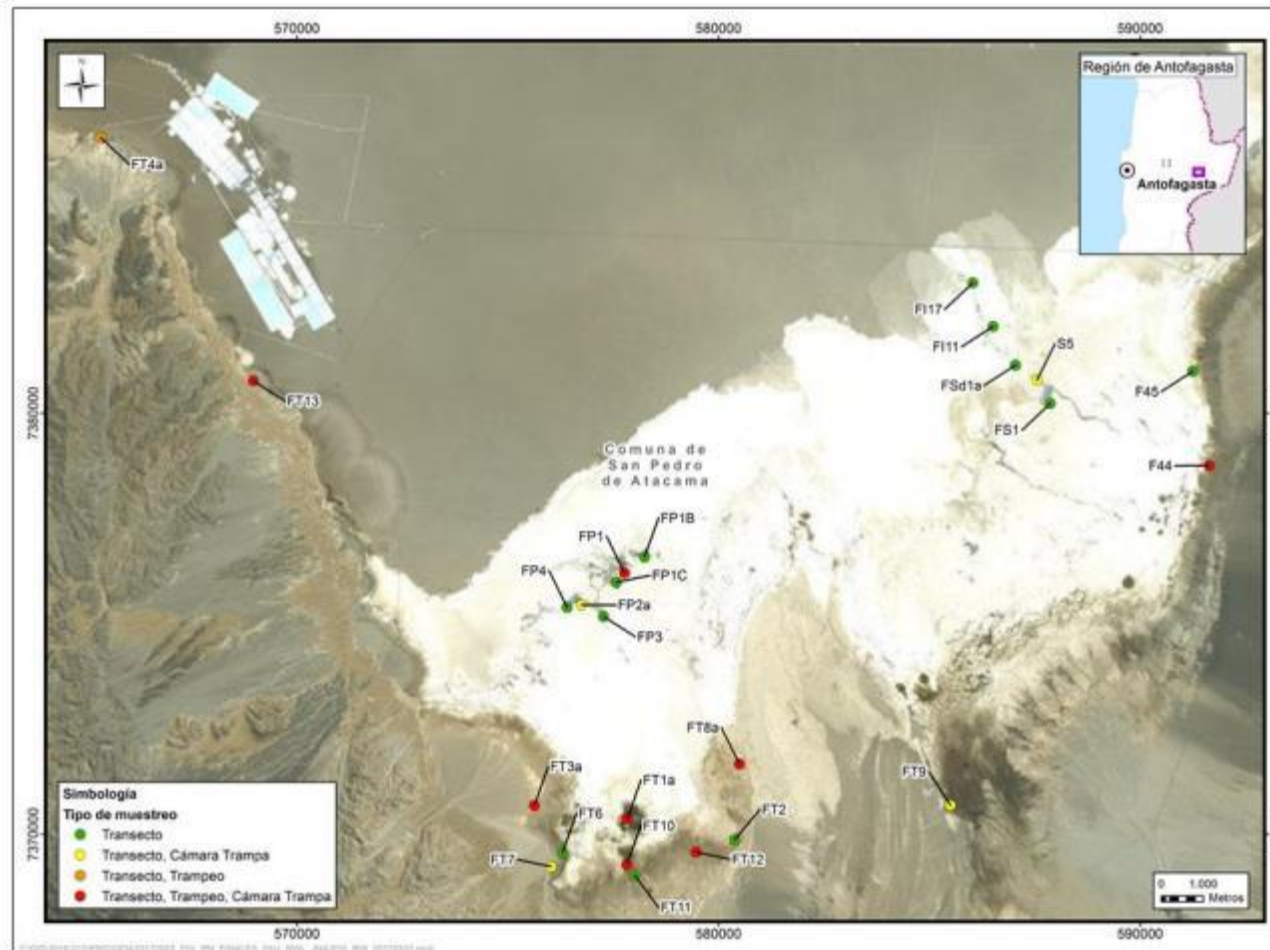
PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Voluntario
	Este	Norte	Este	Norte				Anf	Rep	Aves	Mam	
FT11	578.010	7.369.030	578.010	7.369.030	Tilopozo	Tilopozo	Matorral <i>Tessaria</i>	No	Si	Si	Si	-
FT2	580.379	7.369.871	580.379	7.369.871	Tilopozo	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 2021, 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° 6-1**). 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° 6-1; Fotografía N° 6-1**; 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° 6-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 6-1. 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 (abajo, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

6.1.3 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.

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

6.1.4.1 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° 6-2**). El principal tipo corresponde al transecto, al que se sumaron muestreos complementarios, los cuales están dirigidos a maximizar la detección de determinadas taxa de fauna vertebrada silvestre. Estos muestreos complementarios corresponden a: trampeo de roedores y marsupiales, muestreo nocturno de aves y anfibios, y cámara trampa con atrayente olfativo.

Las definiciones de los tipos de muestreo son las siguientes:

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

6.1.4.2 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).

6.1.4.3 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.

6.1.4.4 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).

6.1.4.4.1 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*).

6.1.4.4.2 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.

6.1.4.4.3 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.

6.1.4.4.4 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, edentados²¹ y a la familia chinchillidae del orden de los roedores como una categoría intermedia (mesomamíferos) y se consideraron como macromamíferos a los carnívoros, artiodáctilos

²¹Si 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° 6-2**).

Para la detección de micromamíferos se realizaron trapeos nocturnos, utilizando trampas de captura viva (Sherman). Éstas fueron cebadas con una mezcla de avena, frutos secos y esencia de vainilla, ubicándolas en las estaciones de muestreos propuestas en el seguimiento (representativa de los distintos ambientes, **Fotografía N° 6-3**). 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°321/2020 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta, que se adjunta en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**.

Fotografía N° 6-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 6-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.



Fuente: Elaboración Propia.

6.1.4.5 Trabajo en gabinete post terreno

6.1.4.5.1 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.

6.1.4.5.2 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.

6.1.4.5.3 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.

6.1.4.5.4 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)²². Esta información fue extraída del listado de fauna potencial realizado previo al terreno y complementada, cuando fuese necesario, mediante la misma metodología.

²² 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).

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:

- **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).

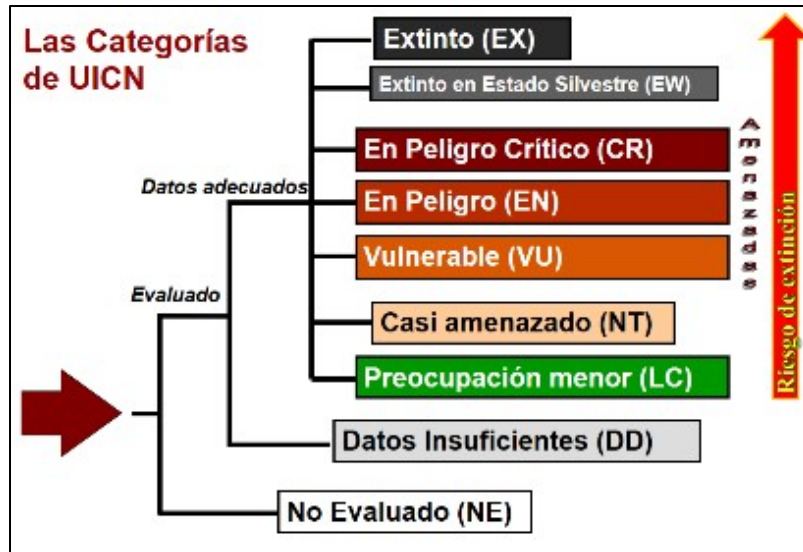
Las categorías de conservación de cada una de las especies, fueron determinadas según los criterios de clasificación definidos en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (2005) y sus decretos supremos asociados posteriores, donde se listan las especies clasificadas y su categoría de conservación: 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 y D.S. N°16/2020 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)²³. El resto de las categorías, se consideran de menor riesgo de extinción o como “*sin amenaza*”.

²³Para 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).

En la **Figura N° 6-3** 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.

Figura N° 6-3. 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 BSE²⁴ (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.

6.1.4.5.5 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, trapeo, 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 trapeo, 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 trapeo (trampas-noche). Cabe destacar, que para este cálculo no se consideraron especies registradas por evidencia indirecta.

²⁴ 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).

6.1.4.5.6 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:

$$F = \frac{PM_{sp}}{PM_{total}}$$

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.

6.1.4.5.7 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 a 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 fórmula:

$$d_{jk} = \frac{\frac{M}{M + N_1} + \frac{M}{M + N_2}}{2}$$

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.

6.1.5 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.

6.1.6 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 2020 en terreno entre los días 08 y 14 de septiembre, mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 02 al 19 de octubre de 2020.

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de verano entre el 04 al 10 de abril de 2021, mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 11 de abril al 4 de mayo de 2021.

6.2 RESULTADOS

6.2.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2020

6.2.1.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

En el área de estudio, en la presente campaña de monitoreo, se registraron 29 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 22 especies de aves y cinco especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 6-2**).

En esta campaña de invierno 2020 se registraron dos nuevas especies que no se habían observado en invierno en campañas anteriores, ambas son aves, y corresponden a *Geranoaetus poecilochrous* (aguilucho de la puna) y *Tringa flavipes* (pitotoy chico). De las 29 especies de fauna detectadas, 11 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: dos especies se encuentran en categoría de conservación listadas en el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI); otras siete especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las dos especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Cofré & Marquet (1999). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, cinco de las especies de aves y cuatro de las especies de mamíferos (ver detalle en **Tabla N° 6-2**).

Del total de 11 especies en categoría de conservación, cinco se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie; un reptil), Vulnerable (tres especies; dos aves y un mamífero) y Casi amenazada (una especie; un ave). Por otra parte, las otras seis especies se catalogan “*sin amenaza*” (precautorias; **Tabla N° 6-2**).

En tanto, bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 25 de las 29 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 6-2**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 6-2**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que tres de las 29 especies registradas en la campaña (10,3%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas y una especie de mamífero); otras 25 especies de las 29 detectadas (86,2%) se clasifican como

nativas (22 especies de aves y tres especies de mamíferos), mientras que una especie es catalogada como introducida, *Equus asinus* (burro; **Tabla N° 6-2**).

Tabla N° 6-2. Lista Sistemática de especies de fauna registradas en la novena campaña de monitoreo (invierno 2020). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.

ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR			
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo	
REPTILIA													
SQUAMATA													
TROPIDURIDAE													
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC ⁵	SE	-	E	N/A	N	B	30,35		X	X	
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ³	SE	-	E	N/A	S	B	83,35	X	X		
TOTAL RIQUEZA REPTILIA											1	2	1
AVES													
ACCIPITRIFORMES													
ACCIPITRIDAE													
<i>Circus cinereus</i>	Vari ceniciento	S/EC	BE	-	N	R	S	A	18,35			X	
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,35			X	
<i>Geranoaetus poecilochrous</i>	Aguilucho de la puna	IC ¹	BE	-	N	R	N	A	11,35			X	
ANSERIFORMES													
ANATIDAE													
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	S/EC	-	-	N	R	S	A	30			X	
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N	R	S	A	15	X			
CHARADRIIFORMES													
CHARADRIIDAE													
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	S/EC	BS	-	N	R	N	A	10,85	X	X		
LARIDAE													
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC ⁶	S	-	N	R	S	A	18,65	X	X	X	

ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
RECURVIROSTRIDAE												
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	S/EC	BS	-	N	R	S	A	25,85	X	X	
SCOLOPACIDAE												
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	S/EC	B	-	N	V	S	A	31,65	X	X	
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	S/EC	BS	-	N	V	S	A	18,35	X	X	
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	S/EC	BS	-	N	V	S	A	25,85		X	
COLUMBIFORMES												
COLUMBIDAE												
<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	S/EC	S	-	N	R	N	A	9,15		X	X
<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	S/EC	-	-	N	R	N	A	7,5			X
PASSERIFORMES												
HIRUNDINIDAE												
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	S/EC	BE	-	N	R	N	A	10,85	X	X	X
MOTACILLIDAE												
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico común	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		X
TYRANNIDAE												
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		
<i>Muscisaxicola cinereus</i>	Dormilona cenicienta	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	S/EC	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ⁴	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	

ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ⁶	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁶	SE	-	N	R	S	A	49,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA AVES										12	11	12
MAMMALIA												
CARNIVORA												
CANIDAE												
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ²	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	X
CTENOMYIDAE												
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	VU ¹	S	-	E	N/A	N	B	73,65		X	X
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA										0	3	5
TOTAL RIQUEZA SECTOR										13	16	18

EC (Estado de conservación): EN: En peligro; LC: Preocupación menor; IC: Inadecuadamente conocida; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; VU: Vulnerable; S/EC.: Sin estado de conservación.

FUENTES EC: (1) D.S. N°5/1998 MINAGRI; (2) D.S. N°33/2011 MMA; (3) D.S. N°52/2014 MMA; (4) D.S. N°38/2015 MMA; (5) D.S. N°16/2016 MMA; (6) D.S. N°23/2019 MMA; (7) 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 a las especies especialistas de hábitat, 12 especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y 11 especies de aves (habitantes de ambientes de humedal, **Tabla N° 6-2**).

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 24 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 6-2**).

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 (dos especies de flamencos, flamenco andino y flamenco de james; y el tuco-tuco de Atacama), otras seis se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil y cinco aves), y por último 18 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (15 aves y tres mamíferos). A la única especie introducida, el burro (*Equus asinus*) no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 6-2**).

En el análisis por sector, se observa que la mayor riqueza se registró en Tilopozo con 18 especies (un reptil, 12 aves y cinco mamíferos); seguido por Peine donde se registró una riqueza de 16 especies (dos reptiles, 11 aves y tres mamíferos), mientras que La Punta y La Brava presenta la riqueza más baja con 13 especies, distribuidas en un reptil y 12 aves. Considerando las especies y su presencia en cada sector, solo dos especies se encuentran en los tres sectores: la golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*) y la gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*), 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° 6-2**).

6.2.1.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

6.2.1.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo en los que se realiza su monitoreo, en los que además, se realizó muestreo nocturno.

6.2.1.2.2 Reptiles

Del total de 29 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (6,9%), ambas del Orden Squamata y de la familia Tropiduridae (**Tabla N° 6-2; Fotografía N° 6-4**).

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° 6-2**).

Las dos especies de reptiles registradas son endémicas de Chile, presentan baja movilidad, se encuentran catalogadas con densidades poblacionales reducidas y benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales, y una es especialista de hábitat (la lagartija de Fabián, asociada a bordes de salares; **Tabla N° 6-2**). 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° 6-2**).

En relación a su presencia en los sectores, es interesante mencionar que ambas especies parecen segregarse: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra en el borde de salares de los ambientes acuáticos de La Punta y La Brava, la lagartija de Constanza se ubica más bien en sectores terrestres de Tilopozo (**Tabla N° 6-2**).

Fotografía N° 6-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (superior) y lagartija de Fabián (inferior).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.2.3 Aves

Del total de 29 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 22 corresponden a aves (75,9%), las que se distribuyen en seis órdenes y 11 familias (**Tabla N° 6-2; Fotografía N° 6-5**).

En esta campaña se registraron dos nuevas especies de aves que no se habían observado en campañas invernales anteriores, y corresponden a *Geranoaetus poecilochrous* (aguilucho de la puna) y *Tringa flavipes* (pitotoy chico).

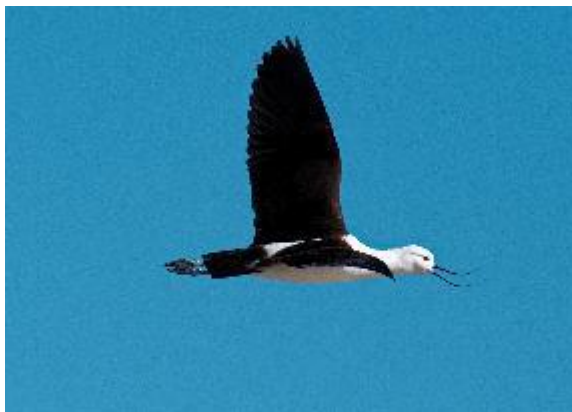
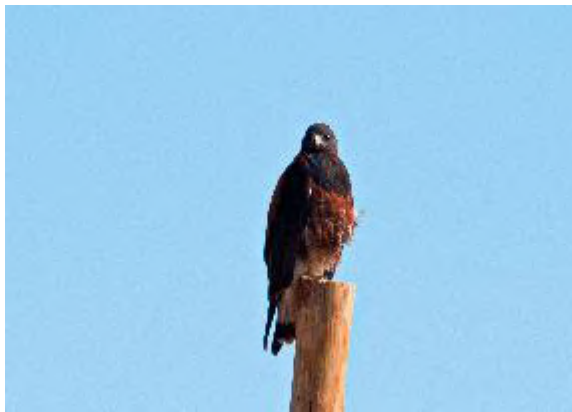
Del total de aves registradas en el área de estudio, cinco (17,2%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes al aguilucho de la puna (clasificada como Inadecuadamente conocida), la gaviota andina (Preocupación menor); flamenco andino y flamenco de James, clasificadas como Vulnerables; y flamenco chileno clasificado como Casi amenazado (**Tabla N° 6-2**).

En relación a la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 22 especies, 19 se encuentran en categoría B, S y/o E; mientras que las tres especies restantes no se clasifican en ninguna categoría. Con mayor detalle podemos señalar que 14 especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), nueve especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y 12 especies son benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de aves se considera Monumento Natural (detalle en **Tabla N° 6-2**).

En relación al origen, todas las especies son nativas, mientras que 11 especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 22 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, dos especies presentan un riesgo alto (flamenco andino y flamenco de james), otras cinco presentan un riesgo medio, y 15 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 6-2**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo presentan una riqueza de 12 especies, mientras que en Peine se registró la menor riqueza de aves, con 11 especies (**Tabla N° 6-2**).

Fotografía N° 6-5. Aves del área de estudio: playero de Baird (arriba, izquierda), aguilucho de la puna (arriba, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y caití (abajo, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.2.4 Mamíferos

Del total de 29 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, cinco corresponden a mamíferos (17,2%), las que se distribuyen en tres órdenes y cuatro familias (**Tabla N° 6-2; Fotografía N° 6-6; Fotografía N° 6-7**).

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*), clasificada Vulnerable, el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), catalogado como Preocupación menor y el ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) junto con el ratón andino (*Abrothrix andina*) considerados Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 6-2**).

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 (detalle en **Tabla N° 6-2**).

En relación al origen de las especies de mamíferos, una de ellas es endémica de Chile (el tuco-tuco de Atacama), tres especies son nativas, y la restante es introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie de mamíferos 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 alto (el tuco-tuco de Atacama), las tres especies restantes presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para la especie introducida no se calcula el índice de riesgo (**Tabla N° 6-2**).

Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, no presentando ninguna especie, en tanto que Tilopozo registró cinco especies y Peine tres especies (**Tabla N° 6-2**).

Fotografía N° 6-6. Macromamíferos del área de estudio: zorro culpeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 6-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejudo amarillo (superior), y ratón andino (inferior).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.3 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*). Además, en los ambientes herbazal, humedal pajonal y quebrada del sector Tilopozo sólo se observó lagartija de Constanza. Mientras que en el humedal salar de La Punta y La Brava y Peine sólo se encuentra la lagartija de Fabián (**Tabla N° 6-3**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en el humedal salar de La Punta y La Brava, con 12 especies registradas durante la campaña (ocho de ellas acuáticas), seguido por el humedal salar de Peine con 10 especies (ocho de ellas acuáticas); el humedal pajonal de Tilopozo, con cinco especies; el matorral de Tilopozo, con tres especies; quebrada de Tilopozo y matorral de Peine con dos especies y finalmente el herbazal de Tilopozo y ADV costra salar con solo una especie (**Tabla N° 6-3**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal pajonal y herbazal de Tilopozo con cinco especies, seguido por el matorral en Tilopozo, con cuatro especies y el matorral en Peine con tres especies. Por otra parte, el ambiente de quebrada en el sector de Tilopozo registró dos especies, mientras que en el humedal salar de Peine solo se observó una especie. Los ambientes de humedal salar (La Punta y La Brava) y ADV costra salar (Tilopozo) no registraron especies para esta clase (**Tabla N° 6-3**).

Agrupando las tres clases de vertebrados, el ambiente con mayor riqueza es el humedal salar de La Punta y La Brava, con 13 especies registradas en total (un reptil y 12 aves), lo que representa un 44,8% de toda la fauna registrada en la campaña; seguido por los ambientes humedal salar de Peine, con 12 especies, y el humedal pajonal de Tilopozo, con 11 especies. El ambiente terrestre de matorral en Tilopozo presentó una riqueza de ocho especies (un reptil, tres aves y cuatro mamíferos), seguido del ambiente de herbazal de Tilopozo, con siete especies (un reptil, un ave y cinco mamíferos); el matorral de Peine con seis especies y quebrada de Tilopozo con cinco especies. Por su parte, el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar), registró solo una especie durante esta campaña (**Tabla N° 6-3**).

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° 6-3. Especies de fauna registradas por ambiente. Novena campaña de monitoreo (invierno 2020). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

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
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								
Vari ceniciento						X		
Aguilucho común							X	
Aguilucho de la puna						X		
Pato jergón chico						X		
Pato juarjual	X							
Chorlo de la puna	X	X						
Gaviota Andina	X	X	X	X				
Caití	X	X						
Playero de Baird	X	X						
Pollito de mar tricolor	X	X						
Pitotoy chico		X						
Tortolita de la puna			X			X		
Tórtola					X			
Golondrina de dorso negro	X	X					X	
Bailarín chico común	X					X		
Mero gaucho								X
Colegial del norte	X							
Dormilona cenicienta						X		
Dormilona chica							X	X
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						
TOTAL RIQUEZA AVES	12	10	2	1	1	5	3	2
MAMMALIA								

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
Zorro culpeo		X	X		X	X	X	X
Burro					X	X	X	
Ratón andino					X	X		
Ratón orejudo amarillo			X		X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	0	1	3	0	5	5	4	2
RIQUEZA POR AMBIENTE	13	12	6	1	7	11	8	5

Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1 – 2.

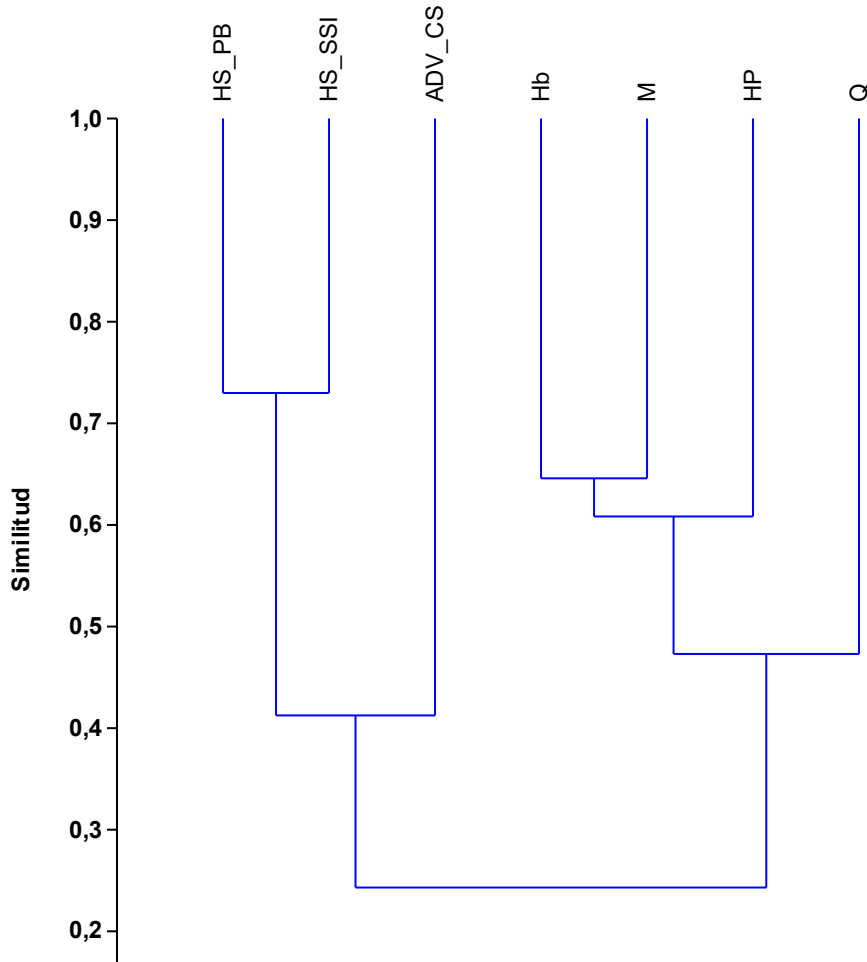
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.4 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 6-3**, se obtiene el fenograma de similitud de fauna (**Figura N° 6-4**).

Según los resultados de similitud, se forman dos agrupaciones. Primero, se agrupan los dos sistemas acuáticos de humedal salar con cerca de un 73% 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 40%. Luego, se agrupa un conjunto de cuatro ambientes (un ambiente acuático y los tres restantes terrestres) a una similitud cercana al 46,7%, dentro de los cuales los más similares son el matorral y el herbazal (con un 64,6% de similitud), seguidos por el humedal pajonal (con cerca de un 60,0% de similitud) y finalmente la quebrada, con una similitud cercana al 46,7% **Figura N° 6-4**).

Figura N° 6-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2020.



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.

6.2.1.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 21 ejemplares avistados, lo que representa un 51,2% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 48,8%, con 20 individuos registrados (**Tabla N° 6-4**). En el caso de la frecuencia, la lagartija de Constanza fue la más frecuente, registrada en ocho de los 25 puntos de muestreo, lo que representa un 32% de frecuencia relativa, mientras que la lagartija de Fabián fue registrada en seis puntos de muestreo, obteniendo un 24% de frecuencia relativa (**Tabla N° 6-4**).

En relación a las aves censadas, las especies más abundantes fueron la parina grande, con 119 ejemplares (30,4% de abundancia relativa), el playero de Baird (71 ejemplares; 18,1% de abundancia relativa), el flamenco chileno (67 individuos, lo que representa un 17,1% de abundancia relativa), el flamenco de James (31 individuos; 7,9%), el pollito de mar tricolor (21 individuos; 5,4%), el chorlo de la puna (19 ejemplares; 4,8%) y la gaviota andina (16 individuos; 4,1%); mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja, variando entre uno a nueve ejemplares (**Tabla N° 6-4**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird (registrado en 10 puntos; con un 40% de frecuencia), el chorlo de la puna (ocho puntos, 32%), la gaviota andina (registrada en siete puntos; 28% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a seis puntos, con un 4% a 24% de frecuencia (**Tabla N° 6-4**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron el chululo, el zorro culpeo y el burro. El primero con siete registros indirectos en siete puntos, por lo que su frecuencia es de 28%. En el caso del burro, hubo registro indirecto en cinco puntos, lo que representa un 20% de frecuencia, mientras que el zorro culpeo se registró con siete ejemplares en seis puntos, además de registros indirectos en otros cuatro puntos de muestreo, con una frecuencia de 40% (**Tabla N° 6-4**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas mediante trampeo.

Tabla N° 6-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Novena campaña de monitoreo (invierno 2020).

CLASE Nombre Común	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	20	48,8	8/25	32,0
Lagartija de Fabián	21	51,2	6/25	24,0
TOTAL REPTILIA	41	100,0	-	-
AVES				
Aguilucho común	1	0,3	1/25	4,0
Aguilucho de la puna	3	0,8	2/25	8,0
Vari ceniciento	2	0,5	1/25	4,0
Pato jergón chico	2	0,5	1/25	4,0
Pato juarjual	5	1,3	3/25	12,0
Chorlo de la puna	19	4,8	8/25	32,0
Gaviota Andina	16	4,1	7/25	28,0
Caití	9	2,3	4/25	16,0
Pitotoy chico	1	0,3	1/25	4,0
Playero de Baird	71	18,1	10/25	40,0
Pollito de mar tricolor	21	5,4	3/25	12,0
Tórtola	1	0,3	1/25	4,0
Tortolita de la puna	8	2,0	2/25	8,0
Golondrina de dorso negro	6	1,5	5/25	20,0
Bailarín chico común	2	0,5	2/25	8,0
Colegial del norte	2	0,5	1/25	4,0
Dormilona cenicienta	2	0,5	1/25	4,0
Dormilona chica	2	0,5	2/25	8,0
Mero gaucho	2	0,5	1/25	4,0
Flamenco andino o Parina grande	119	30,4	6/25	24,0
Flamenco chileno	67	17,1	6/25	24,0
Flamenco de James o Parina chica	31	7,9	4/25	16,0
TOTAL AVES	392	100,0	-	-
MAMMALIA				
Zorro culpeo	7(6)+4x	-	10/25	40,0
Burro	5x	-	5/25	20,0
Ratón andino	4	-	2/25	8,0
Ratón orejudo amarillo	11+1x	-	5/25	20,0
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7x	-	7/25	28,0

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

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

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.6 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 pajonal, con 4,50 individuos/transecto (en dos puntos de muestreo en Tilopozo), seguido por el ambiente quebrada con 3,00 individuos/transecto (en un punto de muestreo en Tilopozo), luego el humedal salar, con 1,91 individuos/transecto (en 11 puntos de muestreo repartidos en los sectores de La Punta y La Brava y Peine) y el ambiente herbazal con 1,00 individuos/transecto (en dos puntos de muestreo en Tilopozo), mientras que el ambiente de matorral presentó una baja abundancia relativa con 0,75 individuos/transecto (en ocho puntos de muestreo entre Peine y Tilopozo). En tanto, en el ambiente de área desprovista de vegetación costra salar, 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 33,18 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el humedal pajonal, con 8,50 ind/transecto, seguido por el ambiente quebrada con 3,00 individuos/transecto, área desprovista de vegetación costra salar con 1,00 individuo/transecto, matorral con 0,63 individuos/transecto y finalmente el herbazal con 0,50 individuos/transecto (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° 6-5**). En relación al ratón andino, fue registrado en dos 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 2,5% (en humedal pajonal), con uno a tres ejemplares capturados, respectivamente. Por último, 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 1,7% (en el ambiente de herbazal), 2,5% (en ambiente humedal pajonal) y 3,9% (en matorral), con uno a siete ejemplares capturados (**Tabla N° 6-5**). En los ambientes de humedal salar, área desprovista de vegetación costra salar y quebrada, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 6-5**). Es importante destacar, que en esta campaña debido a un problema de acceso (por camino imposible de transitar, por barro) a un punto de muestreo (FT12), se realizó un cambio en el trampeo (de FT12 a FT2), por lo que aumentó la cantidad de trampas en el ambiente matorral y disminuyó en el ambiente herbazal, manteniéndose el esfuerzo de muestreo total de trampas noche igual a todas las campañas anteriores.

Tabla N° 6-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Novena campaña de monitoreo (invierno 2020).

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	1 / 60	2,5	3 / 120	0,0	0 / 180	0,0	0 / 60
Ratón orejudo amarillo	0,0	0 / 60	0,0	0 / 60	1,7	1 / 60	2,5	3 / 120	3,9	7 / 180	0,0	0 / 60

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2 Resultados del monitoreo campaña de verano 2021

6.2.2.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

En el área de estudio, en la décima campaña de monitoreo, se registraron 28 especies, siendo éstas: dos especies de reptiles, 21 especies de aves y cinco especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 6-6**).

En la décima campaña de verano 2021 se registraron tres nuevas especies de fauna para los monitoreos de verano, las que corresponden a tres aves: águila, minero cordillerano y golondrina de dorso negro. De ellas, el águila y el minero cordillerano no se habían registrado ni todo el monitoreo ni en las líneas de base históricas.

De las 28 especies de fauna detectadas, 10 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: siete 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 Cofré & Marquet (1999) y Rottmann & López-Calleja (1992). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, cuatro de las especies de aves y cuatro de las especies de mamíferos (Ver detalle en **Tabla N° 6-6**).

Del total de 10 especies en categoría de conservación, tres se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie de reptil), Vulnerable (una especie de

ave y) y Casi Amenazada (una especie de ave). Por su parte, las otras siete especies se catalogan “*sin amenaza*” (precautorias **Tabla N° 6-6**).

Por su parte, bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 26 de las 28 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° 6-6**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 6-6**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que tres de las 28 especies registradas en la campaña (10,7%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas y una especie de mamífero); otras 24 especies de las 28 detectadas (85,7%) se clasifican como nativas (21 especies de aves y tres especies de mamíferos), mientras que una especie es catalogada como introducida, *Equus asinus* (burro; **Tabla N° 6-6**).

Tabla N° 6-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas en la décima campaña de monitoreo (verano 2021). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR			
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo	
REPTILIA												
SQUAMATA												
TROPIDURIDAE												
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC ⁴	SE	-	E	N	B	30,35				X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ²	SE	-	E	S	B	83,35	X			
TOTAL RIQUEZA REPTILIA									1	0	1	
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
<i>Circus cinereus</i>	Vari ceniciento	S/EC	BE	-	N	S	A	18,35		X		
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35		X		
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35				X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N	S	A	15	X			
CHARADRIIFORMES												
CHARADRIIDAE												
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	S/EC	BS	-	N	N	A	10,85	X			
LARIDAE												
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	LC ⁵	S	-	N	S	A	18,65	X			
RECURVIROSTRIDAE												
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	S/EC	BS	-	N	S	A	25,85	X			
SCOLOPACIDAE												
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	S/EC	B	-	N	S	A	31,65	X			
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	S/EC	BS	-	N	S	A	18,35	X			
COLUMBIFORMES												
COLUMBIDAE												
<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	S/EC	S	-	N	N	A	9,15				X
FALCONIFORMES												
FALCONIDAE												
<i>Falco femoralis</i>	Halcón perdiguero	IC ⁷	BE	-	N	N	A	11,35				X
PASSERIFORMES												
FURNARIIDAE												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Geositta punensis</i>	Minero de la Puna	S/EC	B	-	N	N	A	1,65			X
<i>Geositta rufipennis</i>	Minero cordillerano	S/EC	B	-	N	N	A	1,65		X	X
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral común	S/EC	B	-	N	N	A	1,65			X
HIRUNDINIDAE											
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	S/EC	BE	-	N	N	A	10,85	X		
MOTACILLIDAE											
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico común	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35	X		X
THRAUPIDAE											
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	S/EC	S	-	N	N	A	9,15			X
TYRANNIDAE											
<i>Agriornis micropterus</i>	Mero de Tarapacá	S/EC	BSE	-	N	N	A	5		X	
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X
PHOENICOPTERIFORMES											
PHOENICOPTERIDAE											
<i>Phoenicoparus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ³	SE	-	N	S	A	65,35	X		
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ⁴	SE	-	N	S	A	49,35	X		
TOTAL RIQUEZA AVES									10	4	9
MAMMALIA											
CARNIVORA											
CANIDAE											
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ¹	E	-	N	N	A	3,65		X	X
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											
<i>Equus asinus</i>	Burro	N/A	-	-	D	N	A	N/A			X
RODENTIA											
CRICETIDAE											
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ⁶	E	-	N	N	M	11,15			X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP ⁶	S	-	N	N	M	11,15		X	X
CTENOMYIDAE											
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC ⁵	S	-	E	N	B	43,65		X	X
TOTAL RIQUEZA MAMÍFEROS									0	3	5
TOTAL RIQUEZA SECTOR									11	7	15

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

FUENTES EC: (1) D.S. N°33/2011 MMA (2) D.S. N°52/2014 MMA; (3) D.S. N°38/2015 MMA; (4) D.S. N°23/2019 MMA; (5) D.S. N°16/2020 MMA; (6) Cofré & Marquet 1999; (7) Rottmann & López-Calleja (1992).

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 a las especies especialistas de hábitat, nueve especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y ocho especies de aves (habitantes de ambientes de humedal, **Tabla N° 6-6**).

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 23 especies son clasificadas como de alta movilidad; **Tabla N° 6-6**.

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), una se encuentra clasificadas con índice de riesgo alto (una especie de flamenco), otras cinco se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y un mamífero), y por último 20 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (17 aves y tres mamíferos). A la única especie introducida, el burro (*Equus asinus*) no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 6-6**).

En el análisis por sector, se observa una riqueza mayor en Tilopozo, con 15 especies (un reptil, nueve aves y cinco mamíferos), seguido de La Punta y La Brava, con 11 especies (un reptil, 10 aves), mientras que Peine presenta la riqueza más baja, con sólo siete especies, distribuidas en cuatro aves y tres mamíferos (recordando que en esta campaña no se muestrearon cinco puntos de las lagunas de Peine por las restricciones de acceso). Considerando las especies y su presencia en cada sector, ninguna especie se encuentra en los tres sectores, en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la lagartija de Fabián y la mayoría de las aves acuáticas), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 6-6**).

6.2.2.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

6.2.2.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de verano 2021, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo en que se realizó muestreo nocturno, y en los que en la campaña de verano 2018 se registró al sapo espinoso, *Rhinella spinulosa* (**Fotografía N° 6-8**).

Fotografía N° 6-8. Sapo espinoso, única especie de anfibio registrada en el área de estudio, en la campaña de verano 2018.



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.2.2 Reptiles

Del total de 28 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (7,1%), ambas del Orden Squamata y de la familia Tropicuridae (**Tabla N° 6-6; Fotografía N° 6-9**).

Las dos especies de reptiles se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación; sin embargo, solo una se cataloga “*bajo amenaza*”. Esta especie corresponde a la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), la que está clasificada En peligro; mientras que la especie restante, la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se clasifica como “*sin amenaza*”, en categoría Preocupación Menor (**Tabla N° 6-6**). Ninguna de las especies se considera Monumento Natural.

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° 6-6**).

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° 6-6**).

En relación a 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° 6-6**).

Fotografía N° 6-9. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (superior) y lagartija de Fabián (inferior).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.2.3 Aves

Del total de 28 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 21 corresponden a aves (75,0%), las que se distribuyen en siete órdenes y 14 familias (**Tabla N° 6-6; Fotografía N° 6-10**).

En esta campaña se registraron tres nuevas especies de aves que no se habían observado en campañas estivales anteriores, y corresponden a *Geranoaetus melanoleucus* (águila), *Geositta rufipennis* (minero cordillerano) y *Pygochelidon cyanoleuca* (golondrina dorso negro). De ellas, el águila y el minero cordillerano no se habían registrado tampoco en la Línea de Base histórica, del PMB (2015).

Del total de aves registradas en el área de estudio, cuatro (19%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la gaviota andina (Preocupación Menor), el halcón perdiguero (Inadecuadamente conocido), la parina grade (Vulnerable) y el flamenco chileno (Casi amenazado, **Tabla N° 6-6**).

En relación a la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 21 especies, 20 se encuentran en categoría B, S y/o E; mientras que la especie restante no se clasifican en ninguna categoría. Con mayor detalle podemos señalar que 15 especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), nueve especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y 10 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° 6-6**).

En relación al origen, todas las especies son nativas, mientras que ocho especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 21 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, una especie presenta un riesgo alto (la parina grande), otras tres presentan un riesgo medio, y 17 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 6-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de la Punta y La Brava presenta la mayor riqueza, con 10 especies, seguido de Tilopozo, con nueve especies, mientras que en Peine se registró la menor riqueza de aves, con sólo cuatro especies (**Tabla N° 6-6**).

Fotografía N° 6-10. Aves del área de estudio: pollito de mar (superior, izquierda), chorlo de la puna (superior, derecha), caití (abajo, izquierda) y minero cordillerano (inferior, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.2.4 Mamíferos

Del total de 28 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, cinco corresponden a mamíferos (17,9%), las que se distribuyen en tres órdenes y cuatro familias (**Tabla N° 6-6; Fotografía N° 6-11, Fotografía N° 6-12**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, cuatro especies (80%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes 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° 6-6**).

En relación a la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las cinco especies, cuatro se encuentran catalogadas en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que 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° 6-6**).

En relación al origen de las especies de mamíferos, una de ellas es endémica de Chile (el tuco-tuco de Atacama), tres especies son nativas, y la restante es catalogada introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie de mamíferos se considera especialista de hábitat. Dos especies presentan movilidad alta (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, una especie presenta un índice de riesgo medio (el tuco-tuco de Atacama), y el resto de las especies (tres) presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para la especie introducida no se calcula el índice de riesgo (**Tabla N° 6-6**).

Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, sin especies; en tanto que Tilopozo presenta la mayor riqueza con cinco especies, seguida del sector de Peine con tres especies registradas de mamíferos (**Tabla N° 6-6**).

Fotografía N° 6-11. Macromamífero del área de estudio: zorro culpeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 6-12. Micromamíferos del área de estudio: ratón andino (arriba) y ratón orejado amarillento (abajo).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.3 Composición por ambiente

Para los reptiles, la lagartija de Constanza se presentó en cuatro ambientes del sector Tilopozo, mientras que en el humedal salar de La Punta y La Brava sólo se encuentra la lagartija de Fabián (**Tabla N° 6-7**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra mayoritariamente en el humedal salar de La Punta y La Brava, con 10 especies registradas durante la campaña (todas acuáticas), seguido por el humedal pajonal y matorral de Tilopozo, con cinco especies (casi todas terrestres), y el matorral de Peine, con cuatro especies, mientras que en quebrada y herbazal de Tilopozo se registró una especie. Por otra parte, no se registraron especies de aves en ADV costra salar del sector de Tilopozo y no fue evaluado el humedal salar de Peine (**Tabla N° 6-7**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal pajonal y matorral de Tilopozo, con cuatro especies, seguido por el matorral de Peine, con tres especies. Para el único ambiente presente en el sector de La Punta y La Brava (humedal salar) no se observó ninguna especie, al igual que en ADV costra salar (Tilopozo), en tanto que en humedal salar de Peine no se evaluaron los mamíferos (**Tabla N° 6-7**).

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 11 especies registradas en total (un reptil y 10 aves), lo que representa un 39,3% de toda la fauna registrada en la campaña; seguido por los ambientes humedal pajonal y matorral de Tilopozo, con 10 especies (un reptil, cinco aves y cuatro mamíferos) y el matorral de Peine, con siete especies (cuatro aves y tres mamíferos). El ambiente que presentó la menor riqueza corresponde al herbazal y la quebrada del sector de Tilopozo con cuatro especies. Por su parte, en el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar), no registró especies durante esta campaña (**Tabla N° 6-7**).

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° 6-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décima campaña de monitoreo (verano 2021). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE Nombre Común	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar (Salada-Saladita-Interna)	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
REPTILIA								
Lagartija de Constanza					X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X							
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	Ne	0	0	1	1	1	1
AVES								
Vari ceniciento			X					
Águila			X					
Aguilucho común						X		
Pato juarjual	X							
Chorlo de la puna	X							
Gaviota Andina	X							
Caití	X							
Playero de Baird	X							
Pollito de mar tricolor	X							
Tortolita de la puna						X	X	
Halcón perdiguero							X	
Minero de la Puna						X	X	
Minero cordillerano			X				X	
Tijeral común								X
Golondrina de dorso negro	X							
Bailarín chico común	X					X		
Chirihue verdoso					X		X	
Mero de Tarapacá			X					
Mero gaucho						X		
Flamenco andino o Parina grande	X							
Flamenco chileno	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	10	Ne	4	0	1	5	5	1
MAMMALIA								
Zorro culpeo			X		X	X	X	
Burro						X	X	
Ratón andino						X		X
Ratón orejudo amarillo			X		X		X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X			X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	0	Ne	3	0	2	4	4	2

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 6-6. Ne = No evaluado.

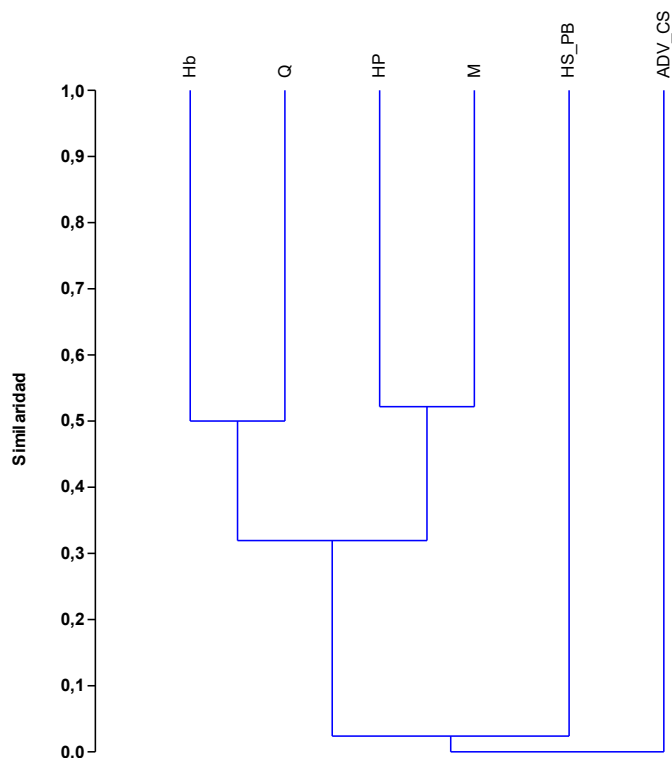
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.4 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 6-7**, se obtiene el fenograma de similitud (**Figura N° 6-5**).

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. Luego, aparece sólo el humedal salar de la Punta y La Brava, a una similitud estimada de menos de 5% del resto. A una similitud de cerca del 30% se agrupa un conjunto de cuatro ambientes (un ambiente acuático y los tres restantes terrestres), dentro de los cuales los más similares son el matorral y el humedal pajonal (con un 52% de similitud), seguidos por el herbazal y la quebrada (con cerca de un 50% de similitud (**Figura N° 6-5**).

Figura N° 6-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 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.

6.2.2.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 25 ejemplares avistados, lo que representa un 65,8% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 34,2%, con 13 individuos registrados (**Tabla N° 6-8**). 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 seis de los 20 puntos muestreados, con un 30% de frecuencia relativa (**Tabla N° 6-8**).

En relación a las aves censadas (y considerando el muestreo de 20 de los 25 puntos, en esta campaña), sobre un total de 199 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron el playero de Baird, con 38 ejemplares (19,1% de abundancia relativa), seguido por el chirihue verdoso y el chorlo de la puna (37 ejemplares; 18,6% de abundancia relativa), y el flamenco chileno (22 individuos, lo que representa un 11,1% de abundancia relativa), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja, variando entre uno a 10 ejemplares (**Tabla N° 6-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la puna (registrado en seis de los 20 puntos; con un 30% de frecuencia), el playero de Baird (cinco puntos, 25%), el pato juarjual, la tortolita de la puna y el flamenco chileno (registradas en cuatro puntos; 20% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a tres puntos, con un 5% a 15% de frecuencia (**Tabla N° 6-8**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron el zorro culpeo y el burro. El primero registrado con siete ejemplares observados en seis puntos de muestreo y registros indirectos en otro punto, por lo que su frecuencia es de 35%. En el caso del burro, hubo registro directo de cinco ejemplares en un punto, y registros indirectos en otro punto, lo que representa un 10% de frecuencia (**Tabla N° 6-8 y Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**). En el caso de la única especie de micromamífero fosorial detectada en la campaña, el tuco-tuco de Atacama, se registraron dos individuos en un punto de muestreo y registros indirectos en otros seis puntos, por lo que su frecuencia es de 35% (**Tabla N° 6-8 y Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas por trampeo, con nueve capturas del ratoncito andino y ocho del lauchón orejudo amarillo.

**Tabla N° 6-8 Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna.
Décima campaña de monitoreo (verano 2021).**

CLASE Nombre común	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA*	FRECUENCIA RELATIVA* (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	13	34,2	6/20	30
Lagartija de Fabián	25	65,8	6/20	30
TOTAL REPTILIA	38	100	-	-
AVES				
Vari ceniciento	1	0,5	1/20	5
Águila	1	0,5	1/20	5
Aguilucho común	1	0,5	1/20	5
Pato juarjual	10	5,0	4/20	20
Chorlo de la puna	37	18,6	6/20	30
Gaviota Andina	1	0,5	1/20	5
Caití	2	1,0	1/20	5
Playero de Baird	38	19,1	5/20	25
Pollito de mar tricolor	10	5,0	3/20	15
Tortolita de la puna	6	3,0	4/20	20
Halcón perdiguero	2	1,0	1/20	5
Minero de la Puna	6	3,0	3/20	15
Minero cordillerano	4	2,0	2/20	10
Tijeral común	3	1,5	1/20	5
Golondrina de dorso negro	1	0,5	1/20	5
Bailarín chico común	4	2,0	3/20	15
Chirihue verdoso	37	18,6	2/20	10
Mero de Tarapacá	1	0,5	1/20	5
Mero gaucho	2	1,0	2/20	10
Flamenco andino o Parina grande	10	5,0	3/20	15
Flamenco chileno	22	11,1	4/20	20
TOTAL AVES	199	100	-	-
MAMMALIA				
Zorro culpeo	7(6)+X	-	7/20	35
Burro	5+X	-	2/20	10
Ratón andino	9	-	3/20	15
Ratón orejudo amarillo	8	-	4/20	20
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	2+6X	-	7/20	35

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° 6-6**

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2.6 Abundancia por ambiente (Densidad)

En cuanto a la abundancia relativa por ambiente (y estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentaron la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal salar, con 4,33 individuos/transecto (pero recordando que sólo en La Punta y La Brava se hizo muestreo), seguido por el herbazal y el humedal pajonal de Tilopozo, con 2,5 individuos/transecto, mientras que el ambiente de quebrada presentó una baja abundancia relativa con 1,0 individuos/transecto (en un punto de muestreo de Tilopozo) y en matorral (de Peine y Tilopozo) se registró la mínima abundancia, con 0,38 ind/ transecto. En tanto, en el ambiente de área desprovista de vegetación costra salar, 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 (con seis puntos de muestreo de La Punta y La Brava y sin muestreo en cinco puntos de Peine), con 22,33 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el matorral, con 6,5 ind/transecto, seguidos por el humedal pajonal (5,00 ind/transecto), la quebrada (3,00 ind/transecto) y el herbazal (0,50 ind/transecto). En el restante ambiente, el área desprovista de vegetación costra salar, no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

Para los macromamíferos, ya se comparó la abundancia y frecuencia relativa por especie, y dado que para esta clase las evidencias son muy diferentes (incluyendo registros indirectos), no es aplicable un análisis grupal.

En el caso de los micromamíferos, fueron registradas dos especies mediante trapeo: el ratón andino y el ratón orejudo amarillo (**Tabla N° 6-9**). El ratón andino fue registrado en dos de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo; con un IDR variando (en los ambientes en que fue capturado) entre 3,3% (en el ambiente de quebrada) a 13,3% (en humedal pajonal), con uno a ocho ejemplares capturados. El ratón orejudo amarillo fue registrado en tres de los seis ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo; y con un IDR variando entre 3,3% (en el ambiente de herbazal) a 13,3% (en quebrada), con uno a cuatro ejemplares capturados en los ambientes mencionados (**Tabla N° 6-9**). En los ambientes de humedal salar y área desprovista de vegetación costra salar, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 6-9**).

Tabla N° 6-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Décima campaña de monitoreo (verano 2021).

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%)												
Nombre común	VERANO 2021											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
Ratón andino	0	0/30	30	30/0	0	0/30	13,3	8/60	0	0/60	3,3	1/30
Ratón orejudo amarillo	0	0/30	30	30/0	3,3	1/30	0	0/60	5	3/60	13,3	4/30

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.3 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”.

7 TAPETES MICROBIANOS

Para esta componente, se presentan las actividades y resultados obtenidos a partir de los monitoreos semestrales de invierno 2020 y verano 2021, 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 2020 y verano 2021 corresponden al noveno y décimo 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 **15, 16 y 17 de septiembre 2020**, invierno, y **06, 07 y 08 de abril 2021**, verano post-lluvias, fechas entre las que se llevó a cabo la campaña en terreno del monitoreo de invierno 2020 y verano 2021 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.

7.1 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1.1 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° 7-1**).

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.

7.1.2 Estaciones de Monitoreo

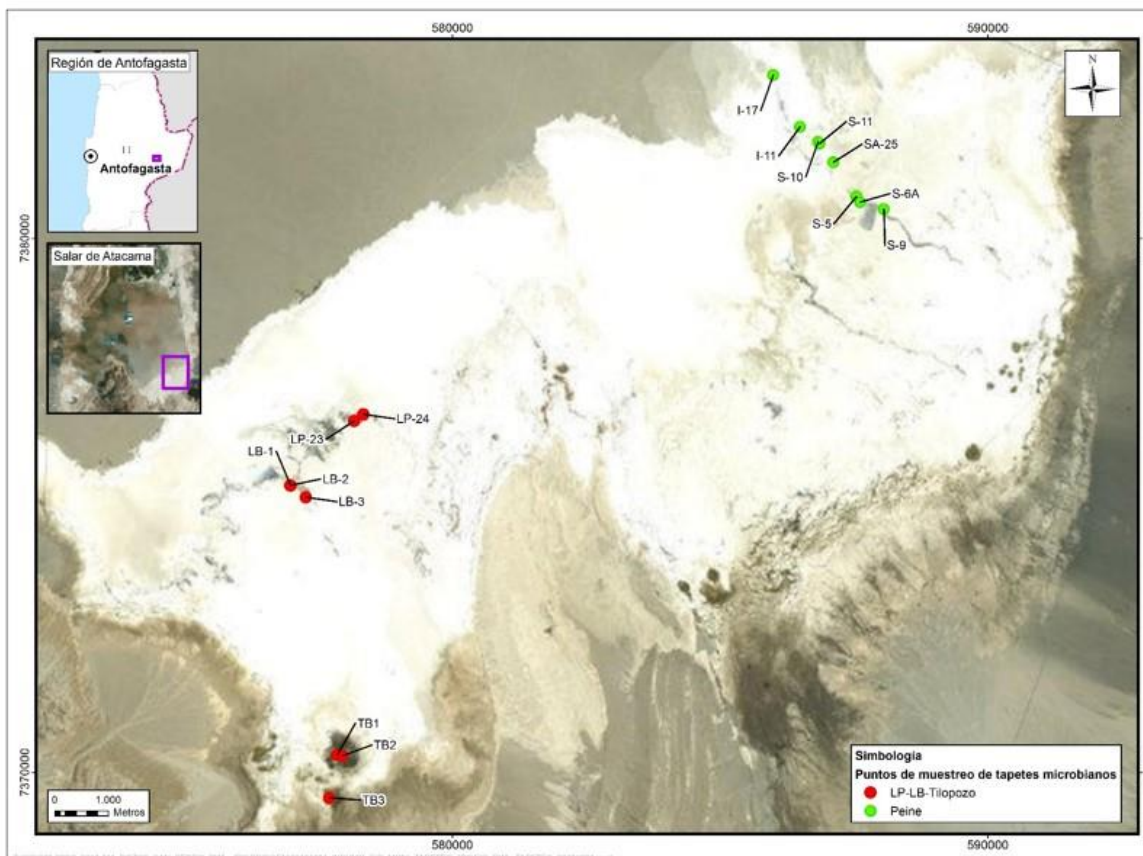
En el área de estudio se emplazó entre los sectores un total de 16 estaciones de monitoreo, cuya codificación asignada corresponde a las lagunas y pozas de referencia en donde se ubican las estaciones. Se presenta además las coordenadas y plano de ubicación de las estaciones de monitoreo (**Tabla N° 7-1; Figura N° 7-1**). 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° 7-1. 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° 7-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos.



Fuente: Elaboración Propia

7.1.3 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.

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

La campaña de monitoreo fue realizada entre los días 15, 16 y 17 de septiembre 2020, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 06, 07 y 08 de abril 2021, 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):

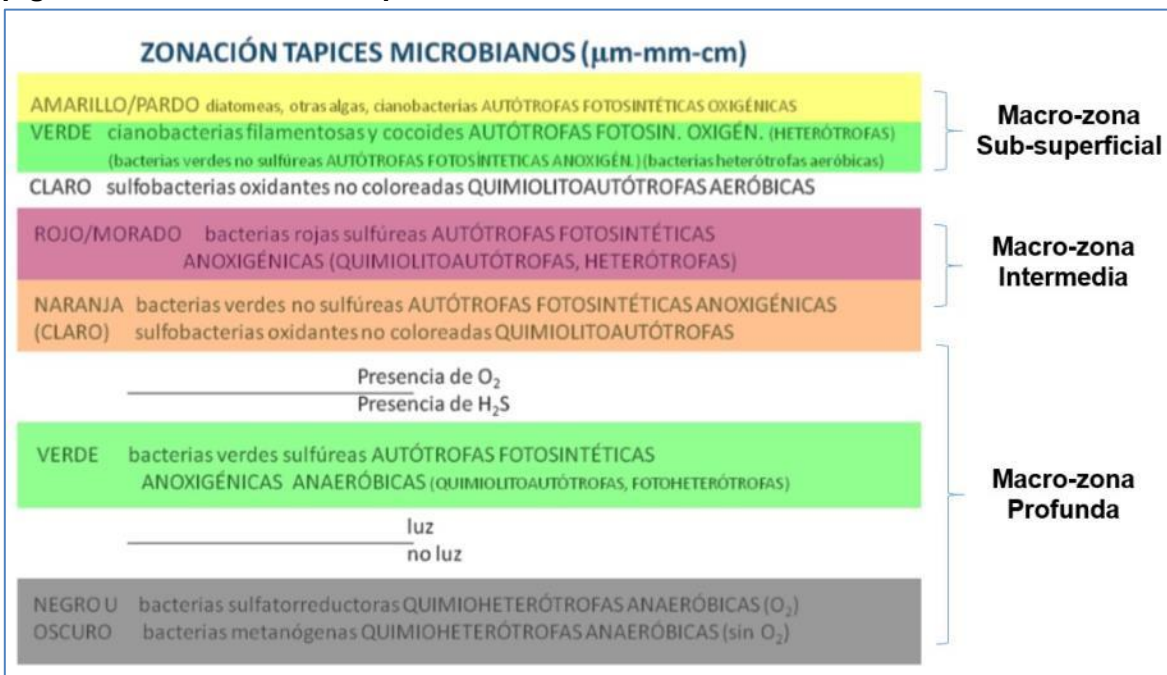
- Macro-zona sub-superficial (capas subsuperficiales), representada por la capa más superficial del tapete hasta la presencia de una capa de coloración verde.
- Macro-zona intermedia (capas intermedias), comprendida desde la subcapa que sigue a la capa verde hasta una subcapa de pigmentación rosada-púrpura.

- 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° 7-2**, elaborada de acuerdo con la zonación teórica de un tapete microbiano según las descripciones en Riding y Awramik (2000) y Konhauser (2007).

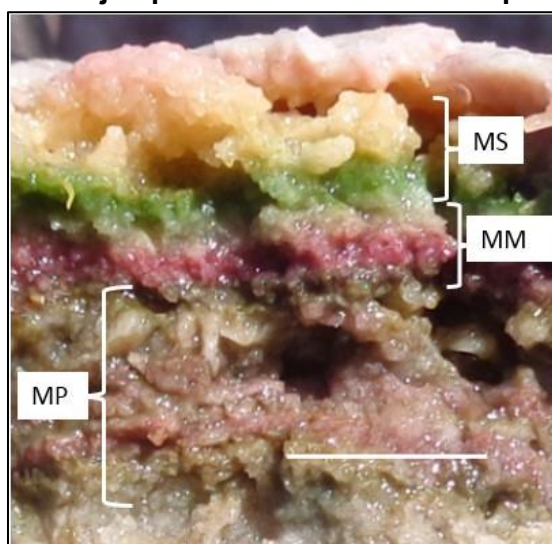
Figura N° 7-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.



Fuente: (Tomado de Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015).

La **Fotografía N° 7-1** 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° 7-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.



(Marca de escala=10 mm)

Fuente: Elaboración propia

7.1.5 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.

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

El muestreo se llevó a cabo los días 15, 16 y 17 de septiembre de 2020 en época invernal y en los días 06, 07 y 08 de abril 2021, 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.

7.2 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de invierno 2020.

7.2.1 Resultados Campaña Invierno 2020

7.2.1.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña invierno 2020, 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, 3 de ellas (27,3%), presentaron tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a las estaciones S-6A, S-9 y LP-23. A su vez, 2 estaciones (S-11 e I-17) con un 18,2% de representatividad, exhibió tapetes en condiciones sumergidas (10,3 cm en promedio), y las 6 estaciones restantes con un 54,5%, presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (0,2 – 9,5 cm), las que correspondieron a las estaciones SA-25, I-11, LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 7-2**).

Tabla N° 7-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. Invierno 2020.

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	3	27,3
Estaciones con Tapetes sumergidos	2	18,2

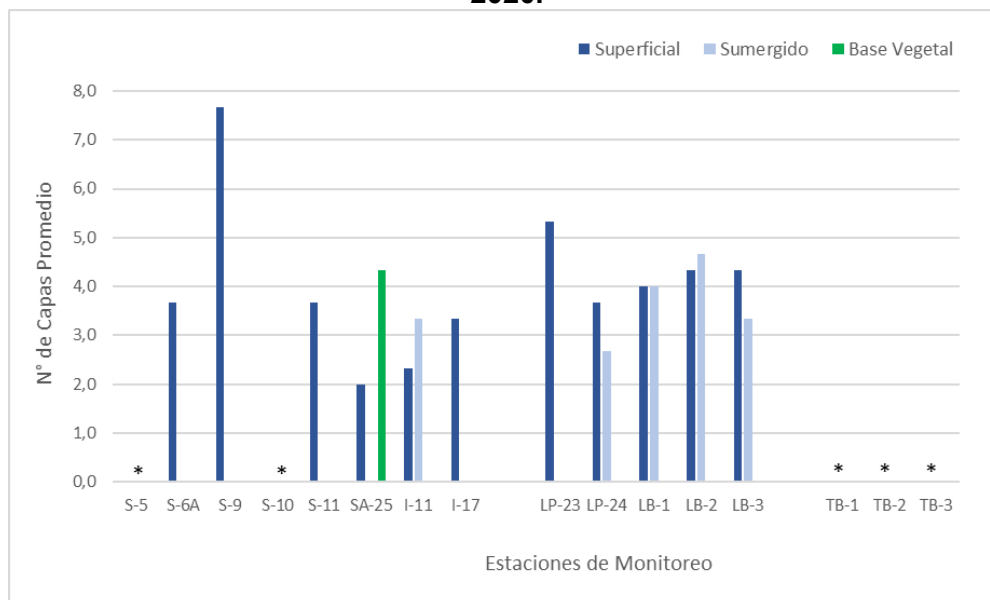
Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	6	54,5
Total Estaciones	11	100

Fuente: Elaboración propia

A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en 2 estaciones de monitoreo (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 7,7 capas, mientras que, el menor valor fue registrado en SA-25 (Laguna Saladita) con un promedio de 2,0 capas (**Figura N° 7-3**). Respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en S-9 (Laguna Salada) con 7,7 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en SA-25 (Laguna Saladita) con 2,0 en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 4,7 y menor en LP-24 (Laguna La Punta) con 2,7. Por último, en los tapetes de base vegetal de textura coriácea, los que se encuentran únicamente en la estación de monitoreo SA-25, se observaron 4,3 capas en promedio (**Figura N° 7-3**).

Figura N° 7-3. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2020.

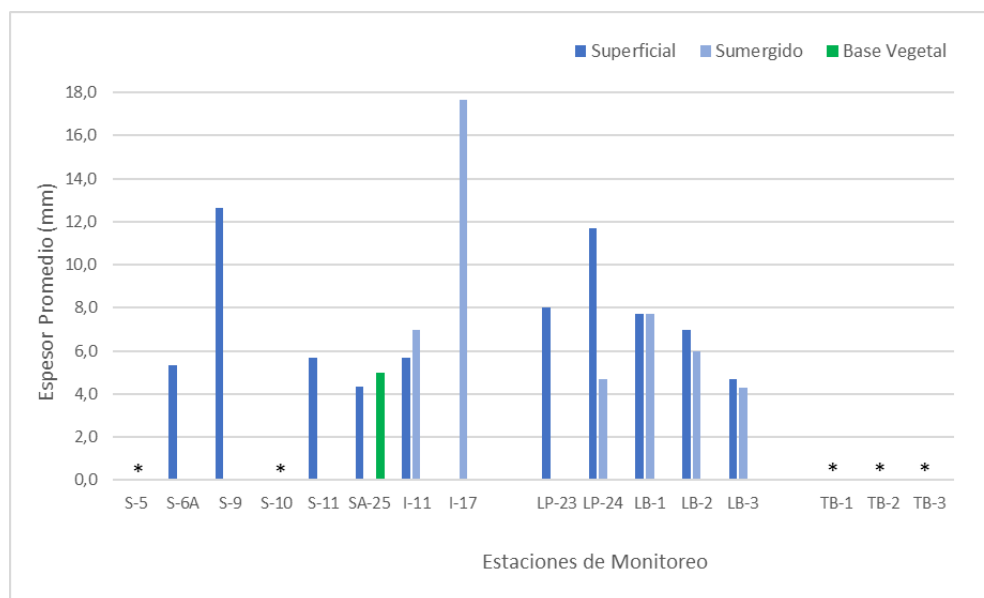


(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en I-17 (Laguna Interna), con 17,7 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en SA-25 (Laguna Saladita) y LB-3 (Laguna La Brava), ambos con 4,3 mm (**Figura N° 7-4**). Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en S-9 (Laguna Salada) con 12,7 mm, mientras que, fue menor en SA-25 (Laguna Saladita) con 4,3 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en I-17 (Laguna Interna) con 17,7 mm y el menor fue en LB-3 (Laguna La Brava) con 4,3 mm. Respecto a los tapetes de base vegetal de textura coriácea en SA-25 (Laguna Saladita), el espesor fue de 5,0 mm promedio (**Figura N° 7-4**).

Figura N° 7-4. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}), Invierno 2020.



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

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el Sector Peine y 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° 7-12 y Tabla N° 7-24**).

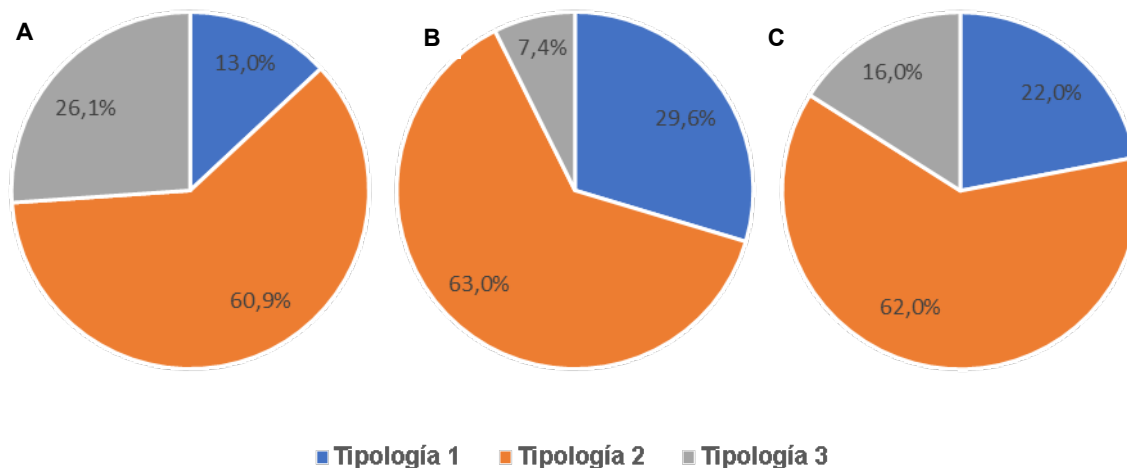
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y fue detectado en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, siendo la tipología más frecuente entre los sectores. Estos tapetes presentaron principalmente macro-zonas Subsuperficiales color verde y/o naranja, seguidas de capas color rosado 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° 7-13 y Tabla N° 7-25**).
- **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° 7-14 y Tabla N° 7-26**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes en los sectores Peine y La Punta-La Brava, se observó que la Tipología 2 presentó los mayores porcentajes con valores de 60,9 y 63,0%, respectivamente (**Figura N° 7-5 A y B**). Seguido de la Tipología 3 con 26,1% y Tipología 1 con 13,0% en el Sector Peine, mientras que, se detectó Tipología 1 con 29,6% y Tipología 3 con 7,4% en el Sector La Punta-La Brava.

En el mismo contexto, al considerar el área total de estudio, se observó que la Tipología 2 fue predominante entre los tapetes con un 62,0%, seguido de Tipología 1 con 22,0% y Tipología 3 con 16,0% (**Figura N° 7-5 C**).

Cabe destacar que en SA-25 (Laguna Saladita), una de las muestras no presentó tapetes microbianos, lo que se traduce en un 4,5% de pérdida de tipología del área total de estudio.

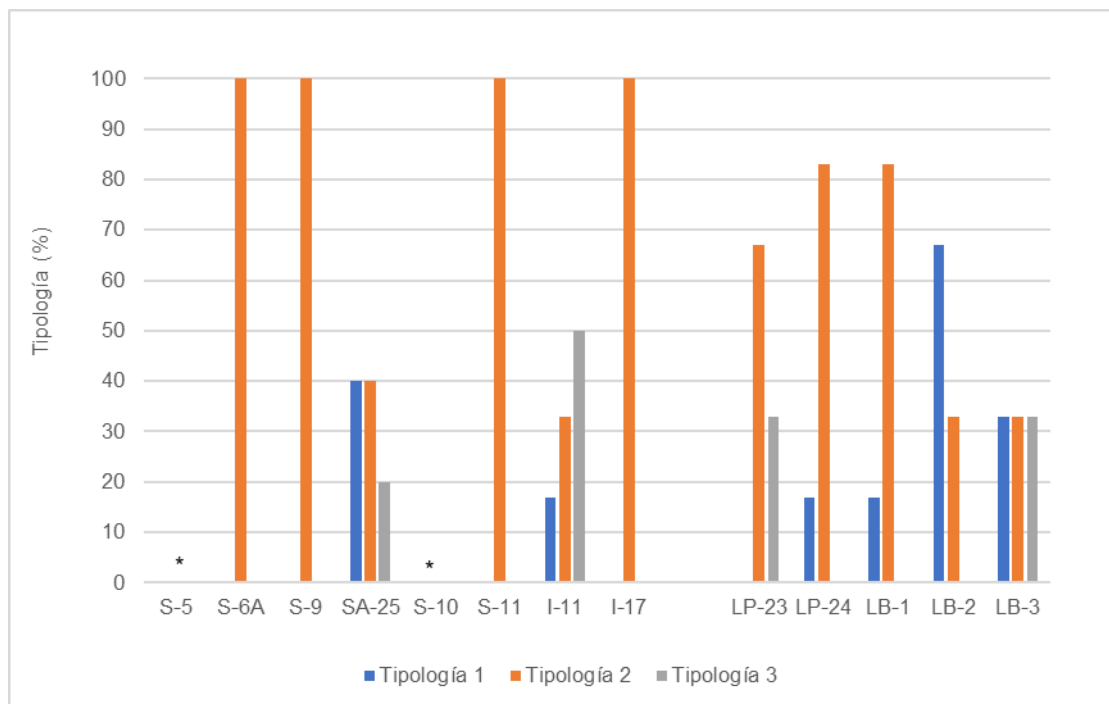
Figura N° 7-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2020.



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° 7-6**). Se destaca la presencia de tapetes de Tipología 2 en el Sector Peine, principalmente en las estaciones S6-A, S-9, S-11 e I-17. En I-11 primó la Tipología 3. Cabe destacar, que la Tipología 1 no predominó en ninguna estación de este Sector. Lo mismo fue observado en el Sector La Punta-La Brava, en el cual se distingue la presencia de tapetes de Tipología 2, principalmente en las estaciones LP-23, LP-24 y LB-1. Por otro lado, la Tipología 1 fue predominante en LB-2, mientras la Tipología 3 sólo se halló en LB-3 y LP-23.

Figura N° 7-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava, Invierno 2020.



(*) 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 2020, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 2. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginoso. El espesor varió entre 4 y 20 mm, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 3 y 11 mm (**Tabla N° 7-3**). Por otra parte, hubo muestras que no presentaron tapetes microbianos, específicamente en una muestra ubicada en la estación SA-25 de Laguna Saladita.

Tabla N° 7-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2020.

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	0	100	0	Plana	7	4	4	3
	S-9	0	100	0	Plana	15	11	11	6
	SA-25	40	40	20	Plana y coriácea	9	4	5	4
	S-10	Sin tapetes							
	S-11	0	100	0	Plana	7	5	4	3
	I-11	17	33	50	Plana y coriácea	9	5	4	3
	I-17	0	100	0	Plana	20	15	4	3
La Punta-La Brava	LP-23	0	67	33	Plana	9	6	6	5
	LP-24	17	83	0	Plana y coriácea	15	10	4	3
	LB-1	17	83	0	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginoso.	14	7	5	4
	LB-2	67	33	0	Plana y coriácea, Consistencia blanda	7	7	5	4
	LB-3	33	33	33	Plana, coriácea y consistencia blanda	6	4	5	4
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes							
	TB-2								
	TB-3								

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.1 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).

7.2.2.1.1 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 Saladita (S-9) presentó tapetes con mayor estratificación en promedio (7,7 capas). Por el contrario, la Laguna Saladita (SA-25) presentó tapetes con el menor número en promedio (2,0 capas) (**Figura N° 7-4**).

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

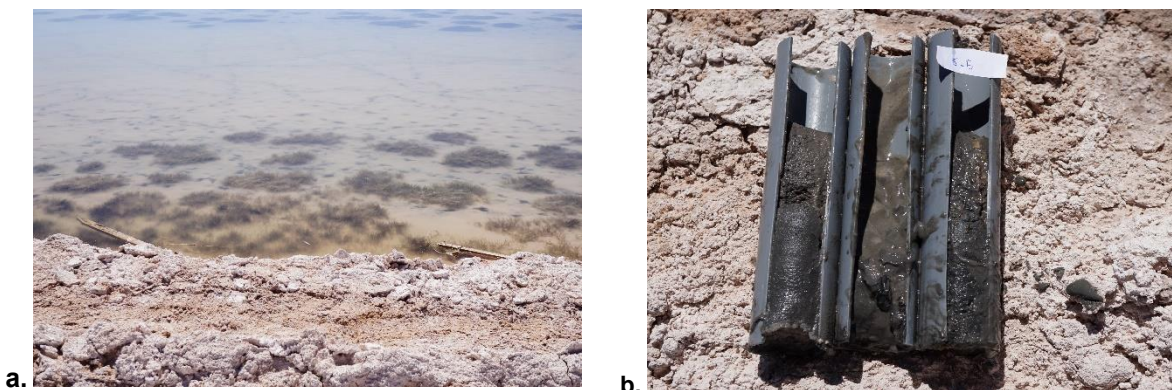
En general, en el Sector Peine, se observó entre las estaciones y lagunas, continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. Excepto por las estaciones SA-25 (Laguna Saladita) e I-11 (Laguna Interna), las que presentaron tapetes con una morfología plana y esferoidal (tapetes coriáceos). En relación a la tipología, se observó que la Tipología 2 fue la más frecuente (84%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad naranja (~43%) en la macro-zona subsuperficial y rosado (~32,0%) en la macro-zona intermedia, la que más predominaron (**Tabla N° 7-13**). Los tapetes mejor estructurados en cuanto a las capas macroscópicas definidas visualmente se detectaron principalmente en la Laguna Salada, en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna Interna.

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

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

La estación de monitoreo se encuentra ubicada a una altura geográfica de 2314 msnm, se caracterizó por presentar un borde lagunar quebradizo, irregular, con presencia de vegetación acuática y una profundidad promedio de 32 cm (**Fotografía N° 7-2 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° 7-2 b**). Además, no se registraron en esta estación de monitoreo ni microbialitos ni evaporitas.

Fotografía N° 7-2. a Estación de monitoreo S-5 y b. Muestra de sedimento, Laguna Salada, invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

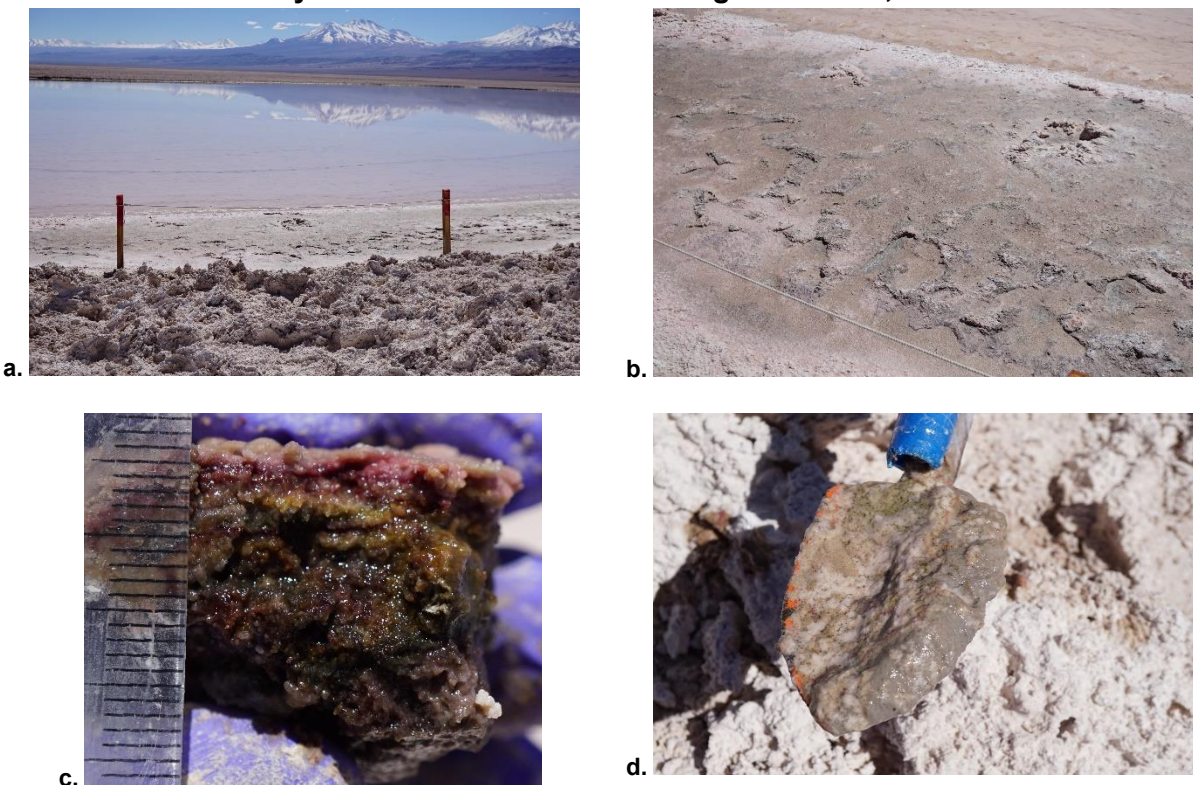
- *Laguna Salada: Estación de monitoreo S-6A*

La estación de monitoreo se encuentra ubicada a una altura geográfica de 2310 msnm, se caracterizó presentar áreas humedecidas y en menor medida sumergidas, de una morfología irregular, con áreas de coloración rosado-gris y tonalidades verde y púrpura (costra salina ~1 mm), y una profundidad promedio de 0 cm (**Fotografía N° 7-3 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° 7-3 b**).

En la planicie expuesta del área se observaron tapetes que exhibieron estratificación de dos macrozonas, continuidad de las capas y consistencia estructural. En general, los tapetes expuestos observados se caracterizan por presentar una textura granulosa por la presencia de sal e hidratada (**Fotografía N° 7-3 c**). Por último, en los sedimentos bajo la

columna de agua (0 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes (**Fotografía N° 7-3 d**).

Fotografía N° 7-3. a. Estación de monitoreo S-6A; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

En relación con los tapetes, estos presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 2, no observándose zona Subsuperficial. Además, se observó continuidad espacial y morfología plana de las capas de los tapetes en la estación de monitoreo. Cabe señalar que en los sedimentos bajo la columna de agua (0 cm de profundidad), no se observó presencia de tapetes (**Fotografía N° 7-3 d**).

Respecto a la pigmentación, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a púrpura principalmente, luego rosado y naranja. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas verdes, seguida de marrón y púrpura (**Tabla N° 7-4**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 7 mm, con un número de capas entre 3 y 4.

Tabla N° 7-4. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	S/C	S/C	S/C
	Intermedia	Púrpura	Púrpura	Púrpura
		Rosado	Naranja	
	Profunda	Marrón claro	Verde claro	Marrón claro
			Verde oscuro	Verde oscuro
			Púrpura	
Total de laminaciones		3	4	4
Espesor (mm)		4	7	5
Profundidad (cm)		0	0	0

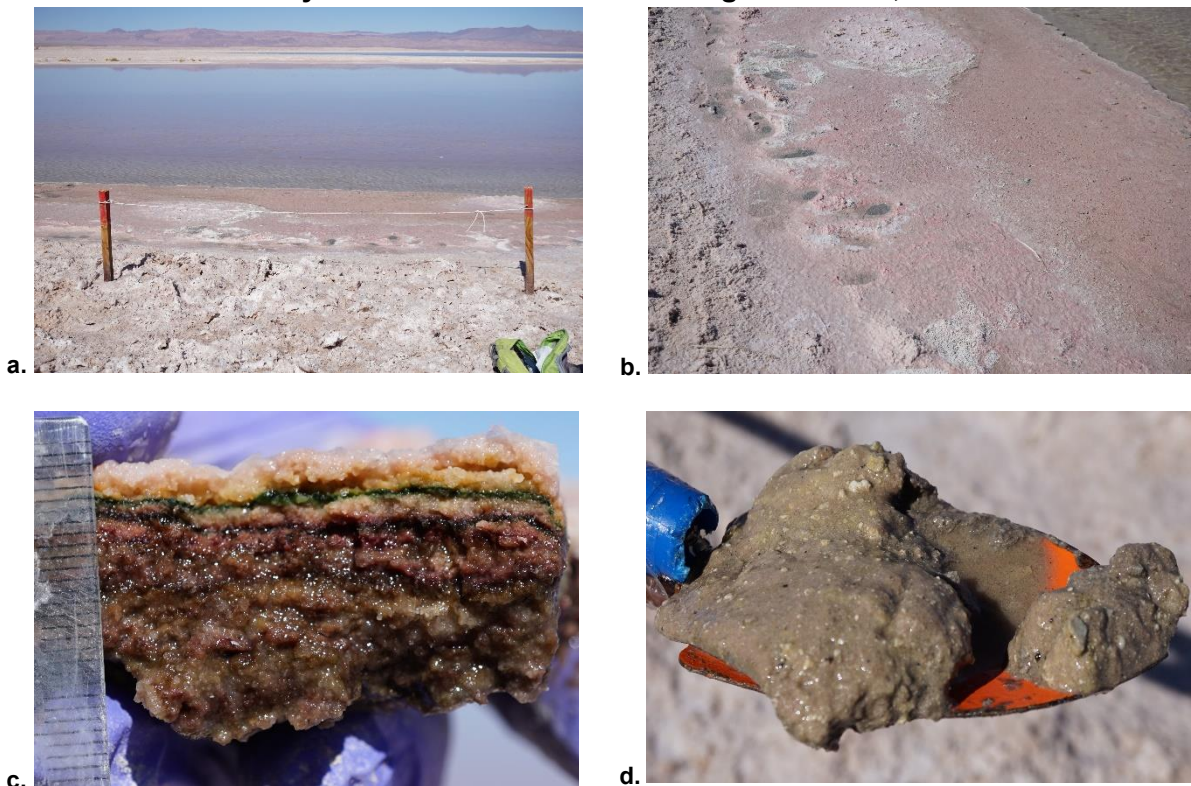
Fuente: Elaboración propia

- *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 2304 msnm, con un flujo bajo y de aguas transparentes, 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 no alterada por huellas humanas, con presencia de zonas de pigmentación gris en el borde inferior de la laguna (**Fotografía N° 7-4 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 y tonalidades verde-gris, con presencia de costra salina (~3 mm) (**Fotografía N° 7-4 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° 7-4 c**). En los sedimentos bajo la columna de agua (9 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes (**Fotografía N° 7-4 d**).

Fotografía N° 7-4. a. Estación de monitoreo S-9; b. Superficie estación; c. Tapete microbiano y d. Muestra de sedimento. Laguna Salada, invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes observados presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 2, no observándose zona Subsuperficial. Respecto a la pigmentación, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a rosado, verde y naranja. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas marrones y púrpura, seguida de amarillo y negro (**Tabla N° 7-5**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 11 y 15 mm, con un número de capas entre 6 y 11.

Tabla N° 7-5. 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	Costra	Costra	
Macro-Zona	Subsuperficial	S/C	S/C	S/C	
	Intermedia	Rosado	Rosado	Rosado	
		Naranja	Naranja	Naranja	
		Verde	Verde	Verde claro	
		Rosado		Verde	
	Profunda	Marrón	Negro	Amarillo	
				Verde claro	
		Púrpura	Marrón	Púrpura	
				Negro	Marrón
			Púrpura	Púrpura	Marrón claro
					Púrpura
Marrón					
Total de laminaciones		6	6	11	
Espesor (mm)		12	11	15	
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 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 acuática, presencia de aves, y con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 7-5 a**). Luego de inspeccionar el área, se tomaron muestras de sedimento (20 cm promedio de profundidad), en las cuales no se observó presencia de tapetes microbianos. En la presente campaña, no se registraron tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

Fotografía N° 7-5. a. Estación de monitoreo S-10; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2020.

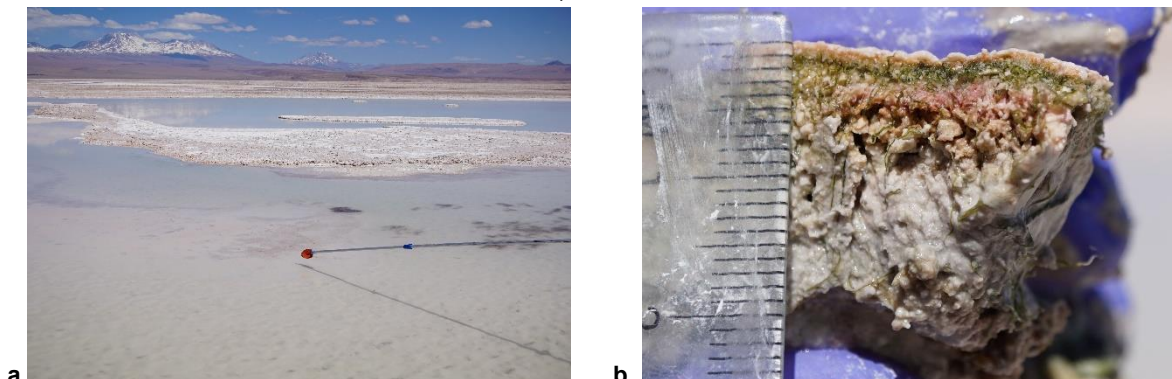


Fuente: Elaboración propia

- *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 acuática, presencia de aves, y con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 7-6 a**). Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el interior de la laguna, la que exhibe una superficie irregular, húmeda y con algunas zonas sumergidas (máximo 2 cm); 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° 7-6 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° 7-6. a. Estación de monitoreo S-11; b. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes observados presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial e 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, no se observaron capas de pigmentación (**Tabla N° 7-6**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 7 mm, con un número de capas entre 3 y 4.

Tabla N° 7-6. 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	Costra	Costra	
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja	
		Verde oscuro	Verde	Verde	
		Amarillo			
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Púrpura	Rosado
					Verde claro
	Profunda	S/C	S/C	S/C	
Total de laminaciones		4	3	4	
Espesor (mm)		5	5	7	
Profundidad (cm)		4	1	1	

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 2308 msnm. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña, sin flujo y con aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 7-7 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 rosado y blanco (**Fotografía N° 7-7 b y c**), y (ii) una superficie coriácea sin costra, en el borde de la laguna, con formaciones esferoidales (tapetes microbianos asociados a una base vegetal), con tonalidades verdes oscuras (**Fotografía N° 7-7 d y e**); 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 (17,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes (**Fotografía N° 7-7 f**).

Fotografía N° 7-7. 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 2020.



a.



b.



c.



d.



Fuente: Elaboración propia

De los tapetes superficiales planos, una muestra presentó dos macro-zonas, una Intermedia y Profunda, correspondiente a Tipología 2 y una muestra presentó solo una macro-zona Subsuperficial correspondiente a Tipología 3. Cabe destacar que, una de las muestras no presentó tapetes microbianos.

Respecto a la pigmentación, la tonalidad predominante en la zona Subsuperficial e Intermedia fue naranja, mientras que, en la zona Profunda, la tonalidad que predominó fue verde. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 9 mm, mientras que, el número de capas fue 3 para cada muestra (Tabla N° 7-7).

Tabla N° 7-7. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	S/C	S/C	Naranja Verde Amarillo
	Intermedia	Rosado Naranja	S/C	S/C
	Profunda	Verde	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	0	3
Espesor (mm)		4	0	9
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes coriáceos (esferoidales y asociados a base vegetal), se detectaron en dos muestras las 3 macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1, en tanto, en la tercera muestra se observaron solo 2 macro-zonas (Subsuperficial y Profunda), con Tipología 2. En la zona Subsuperficial, se observó sólo una tonalidad (verde oscuro), por otro lado, en la zona Intermedia predominó el color rosado y púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón (**Tabla N° 7-8**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 7 mm, con un número de capas entre 4 y 5.

Tabla N° 7-8. 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	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro
		Verde claro	Naranja Verde claro	Verde claro
	Intermedia	Rosado	S/C	Púrpura
	Profunda	Negro	Marrón claro Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	5	4
Espesor (mm)		4	4	7
Profundidad (cm)		0	0	0

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 con 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 (~1 mm) y coloración blanca-beige (**Fotografía N° 7-8 a, b y c**), y (ii) una superficie coriácea sin costra salina, ligeramente humedecida, ubicada en el borde de la laguna y con formaciones levemente esferoidales, con tonalidades verdes oscuras (**Fotografía N° 7-8 d y e**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología

plana y esferoidal, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10 cm de profundidad), en este no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 7-8 f**).

Fotografía N° 7-8. 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 2020.



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 rosado. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 6 mm, con un número entre 2 y 3 capas (**Tabla N° 7-9**).

Tabla N° 7-9. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Rosado	Rosado
		Verde	Verde	Naranja Verde
	Intermedia	S/C	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		2	2	3
Espesor (mm)		6	5	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales coriáceos, presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), y una Tipología 1. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde oscuro y naranja. En la zona Intermedia predominaron las tonalidades rosado y púrpura. En tanto, en la zona Profunda predominó el marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 9 mm, con un número de capas entre 3 y 4 (**Tabla N° 7-10**).

Tabla N° 7-10. 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde oscuro	Naranja	Verde oscuro
		Naranja	Verde	
	Intermedia	S/C	S/C	Rosado Púrpura
	Profunda	Marrón	Verde claro	Marrón claro
Total de laminaciones		3	3	4

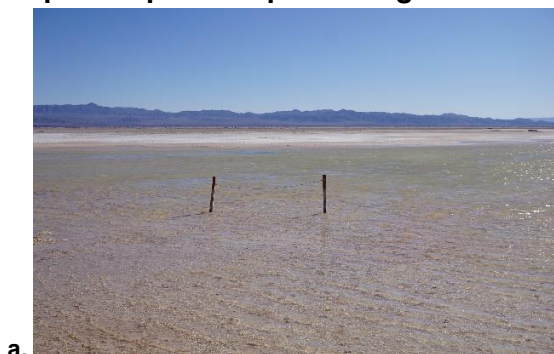
Tapetes Superficiales Húmedos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Espesor (mm)	9	5	7
Profundidad (cm)	0	1,5	7

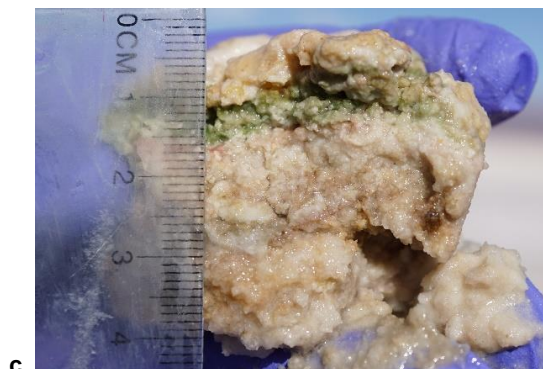
Fuente: Elaboración propia

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

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2305 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 2020, si bien se encontró bajo el agua se observó también con un menor espejo de agua en la laguna respecto de la campaña de monitoreo anterior, estando la estación en esta ocasión cerca de la línea de costa del cuerpo de agua 8 (**Fotografía N° 7-9 a y b**). En este contexto, la muestra fue obtenida desde el sustrato bajo la columna de agua entre 6,5 y 9,5 cm de profundidad. Esta se caracterizó por presentar una superficie rugosa e irregular, con áreas de coloración predominantemente rosado, con costra salina (**Fotografía N° 7-9 b y c**), y sin huellas humanas. 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.

Fotografía N° 7-9. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana inundada; c. Tapete superficial plano. Laguna Interna, invierno 2020.





Fuente: Elaboración propia

Los tapetes observados presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Intermedia y Profunda), de Tipología 2, no observándose la zona Subsuperficial. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

En la zona Intermedia predominaron las tonalidades naranja y verde. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 15 y 20 mm, con un número entre 3 y 4 capas. Las muestras sumergidas fueron tomadas a una profundidad entre 6,5 y 9,5 cm. (Tabla N° 7-11).

Tabla N° 7-11. 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	S/C	S/C	S/C
	Intermedia	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde claro	Verde	
		Verde	Púrpura	Verde
	Púrpura			
Profunda	S/C	S/C	Marrón	
Total de laminaciones		4	3	3
Espesor (mm)		20	15	18
Profundidad (cm)		6,5	9,5	9

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector Peine, en invierno 2020, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna Saladita (SA-25) e Interna (I-11). Presentando, de manera frecuente, en la macrozona 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 púrpura, 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 negro y en menor medida marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos (**Tabla N° 7-12**).

Tabla N° 7-12. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2020.

Estación/Muestra			SA25 BV		I-11 C
			1	3	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde oscuro			
		Verde claro			
	Intermedia	Rosado			
		Púrpura			
	Profunda	Marrón			
		Negro			

C: Tapete coriáceo; BV: Tapete Base Vegetal

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se observaron tapetes con Tipología 2 en las todas lagunas del Sector Peine (**Tabla N° 7-13**).

En Laguna Salada (S-6A y S-9), se observaron tapetes con Tipología 2, sin macro-zona subsuperficial detectándose solo macro-zonas intermedia y profunda. En la macro-zona intermedia predominaron capas rosado y púrpura y en menor medida naranja y verde, y en la macro-zona profunda se observaron capas marrón y en menor medida púrpura y verde.

En Laguna Saladita (S-11 y SA-25), los tapetes presentaron frecuentemente la macro-zona subsuperficial de capas verde y naranja y en la macro-zona intermedia, capas de pigmentación rosada y en menor medida púrpura. Cabe destacar que no fue detectada la macro-zona profunda en la estación S-11 y solo pocas capas de pigmentación de tonalidad marrón y verde en esta macro-zona, en la estación SA-25.

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 profunda presentó capas de tonalidad marrón y verde. Por otro lado, la estación I-17 presentó una macro-zona intermedia con capas de tonalidad verde y naranja. En tanto, en la macro-zona profunda mostró capas de tonalidad marrón. Cabe destacar que en la estación I-11 no fue detectada la macro-zona intermedia y en la estación I-17 la macro-zona subsuperficial.

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 marrón y en menor medida, púrpura, 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° 7-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2020.

Estación/Muestra		S6-A P			S-9 P			S-11 P			SA-25 P	SA-25 BV		I-11 C		I-17 P	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3		
Macrozona	Subsuperficia I	Verde															
		Verde oscuro															
		Naranja															
		Amarillo															
		Verde claro															
	Intermedia	Rosado															
		Púrpura															
		Naranja															
		Verde															
		Verde claro															
	Profunda	Púrpura															
		Marrón															
		Marrón claro															
		Verde															
		Verde claro															
		Verde oscuro															
		Amarillo															
		Negro															

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

Además, se observó la presencia de tapetes de Tipología 3, especialmente en la Laguna Saladita (SA-25) y en la Laguna Interna (I-11 e I-17). En SA-25 solo se observó macro-zona Subsuperficial con tonalidades mayoritariamente verde y rosado, y en menor medida naranja y amarillo. Mientras que, en I-17 las tonalidades predominantes correspondieron a naranja, púrpura y verde (**Tabla N° 7-14**).

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

Tabla N° 7-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2020.

Estación/Muestra			SA-25 P	I-11 P			I-17 P	
			3	1	2	3	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde						
		Verde oscuro						
		Naranja						
		Amarillo						
	Intermedia	Naranja						
		Verde claro						
		Verde						
		Púrpura						

P: Tapete plano
 Fuente: Elaboración propia

7.2.2.1.2 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 microbialitos, mientras que en LP-24 se detectó la presencia de evaporitas (**Fotografía N° 7-18**).

En relación con el número de capas por estación de monitoreo, la Laguna La Punta presentó los tapetes con mayor y menor estratificación en promedio, siendo de 5,3 capas para LP-23 y 3,2 capas para LP-24, respectivamente. Por otro lado, la Laguna La Brava, presentó valores que fluctuaron entre 3,8 y 4,5 capas. Para observar en detalle el número de capas promedio por cada Estación de Monitoreo y su respectivo tipo de tapete (superficial plano y/o sumergido coriáceo) ver **Figura N° 7-3**.

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 11,7 mm (LP-24), seguido de 8,0 mm (LP-23). Por otro lado, el menor espesor observado se registró en la Laguna La Brava (LB-3) con 4,5 mm (**Figura N° 7-4**).

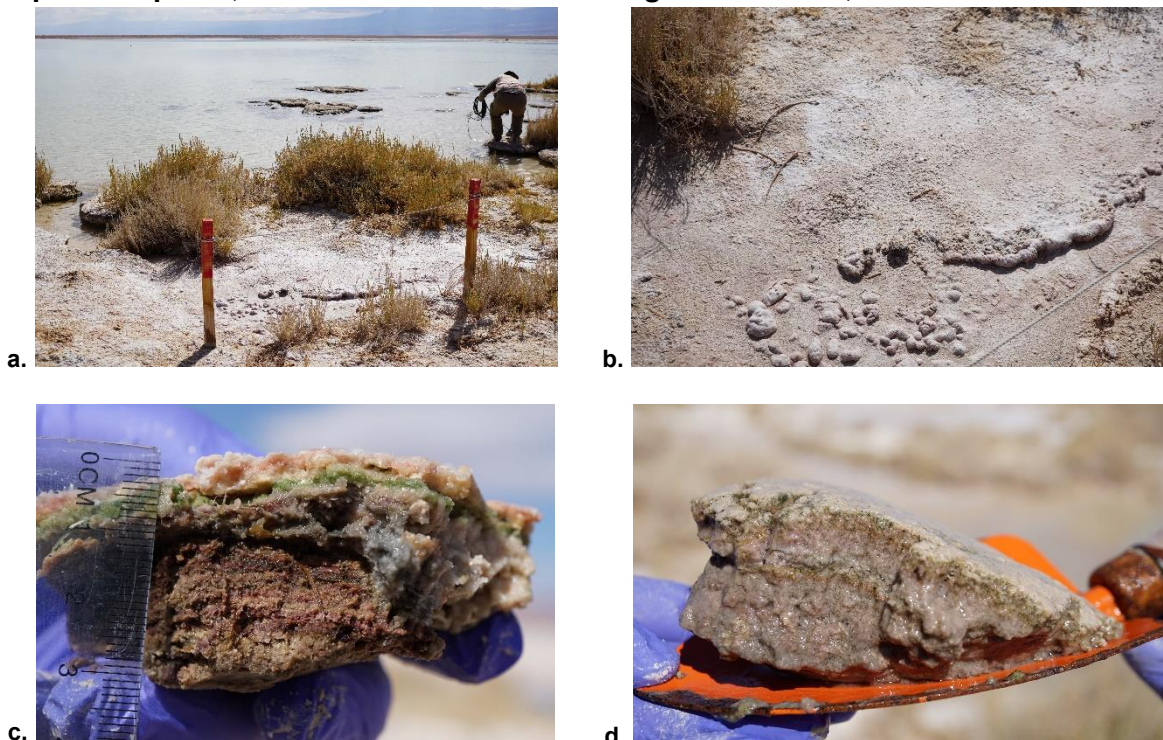
En general, en el Sector La Punta - La Brava, se observó entre las estaciones y lagunas la continuidad espacial de los tapetes con morfología plana en la Laguna La Punta y en la estación LB-1 de la Laguna La Brava. En tanto, en las estaciones LB-2 y LB-3, se observó continuidad espacial y morfología plana y convexa. En relación con la tipología, se observó que la Tipología 2 fue la más frecuente (63,0%) en el sector, siendo el rosado (50,0%) y el púrpura (42,9%), las tonalidades predominantes en esta tipología (**Tabla N° 7-25**). 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 2294 msnm, si bien se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa, se observó un nulo flujo en la laguna, y con 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° 7-10 a y b**). 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 (11 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, aunque se observó una monocapa de color rosado (**Fotografía N° 7-10 c y d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 7-18 a**).

Fotografía N° 7-10. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

Las áreas de coloración fueron predominantemente púrpura, verde y marrón, con presencia de costra salina (~3 mm). Dos tapetes muestreados presentaron macro-zonas de pigmentación Subsuperficial y Profunda y un tapete presentó las macro-zonas Intermedia y Profunda, sin embargo, todos ellos correspondieron a Tipología 2.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue uniforme, mayoritariamente con una fina capa de color púrpura, seguido de una coloración verde. Por otro lado, la zona Intermedia, se evidenció en un solo tapete muestreado, con una coloración púrpura. En tanto, en la zona Profunda predominó la capa marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 6 y 9 mm, con un número de capas entre 5 y 6 (**Tabla N° 7-15**).

Tabla N° 7-15. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Púrpura	Púrpura	S/C
		Amarillo	Naranja	
		Verde	Verde	
		Verde claro		
	Intermedio	S/C	S/C	Púrpura
	Profunda	Marrón claro	Marrón	Marrón
		Marrón	Gris	Verde claro
				Verde
Marrón				
Total de laminaciones		6	5	5
Espesor (mm)		6	9	9
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 2306 msnm, sin flujo y con aguas transparentes. 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° 7-11 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° 7-11 b y c**), y (ii) una superficie coriácea, sumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro (**Fotografía N° 7-11 d y e**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (8,1 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 7-11 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de evaporitas (**Fotografía N° 7-18 c**).

Fotografía N° 7-11. 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 2020.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron las Tipologías 1 y 2 (Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, mientras que en la zona Intermedia predominó sólo la tonalidad rosada o púrpura con naranja. Por otro lado, la zona Profunda, presentó una tonalidad marrón, siendo detectada en dos de las muestras. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 15 mm, con un número entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 7-16**).

Tabla N° 7-16. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Naranja
		Verde		Verde
		Amarillo		Verde
	Intermedio	Rosado	Púrpura Naranja	S/C
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	4	3
Espesor (mm)		15	10	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, presentaron dos combinaciones de macro-zonas (Subsuperficial y Profunda o Subsuperficial e Intermedia), todos correspondientes a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, predominaron los tonos verdes, mientras que en la Intermedia se observaron tonos rosado; por último, en la zona profunda, se observó solo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes fluctuaron entre 4 y 5 mm, y con 2 a 3 capas. Las muestras sumergidas fueron tomadas a una profundidad entre 0,2 y 2,8 cm (**Tabla N° 7-17**).

Tabla N° 7-17. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

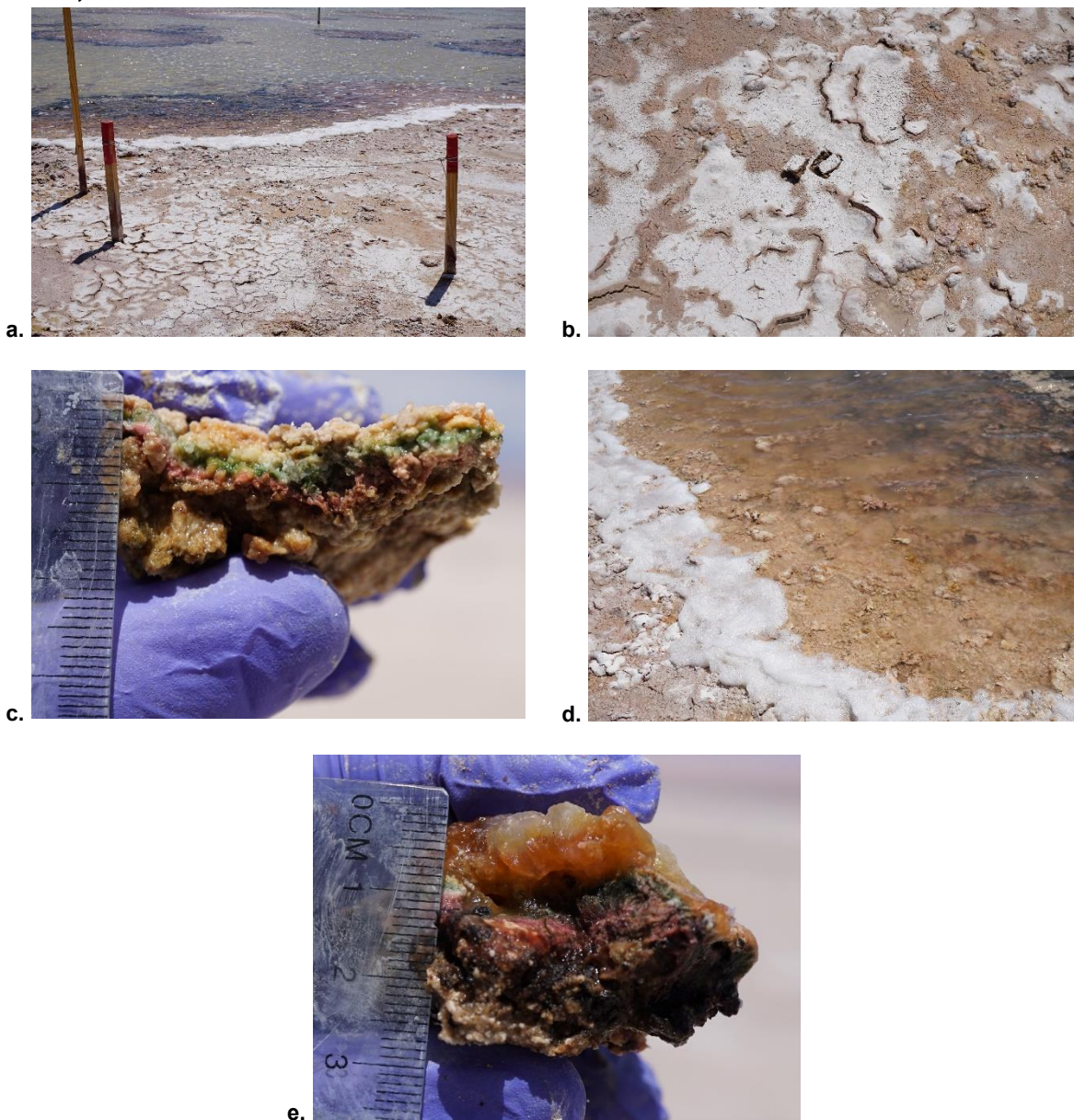
Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Verde	Verde
		Naranja		
	Intermedio	S/C	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	3	2
Espesor (mm)		5	4	5
Profundidad (cm)		0,2	0,4	2,8

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, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 7-12 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 marrón y rosada, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-12 b y c**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosas (~8 mm) de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-12 d y e**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. En la estación se observó la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 7-18 b**).

Fotografía N° 7-12. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, las tres muestras presentaron dos macrozonas (Tipología 2), configurándose en Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó sólo la tonalidad púrpura, mientras que, en la zona

Profunda, predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 7 y 8 mm, con un número de entre 3 y 5 capas (**Tabla N° 7-18**).

Tabla N° 7-18. 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		Sin costra	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Verde	Verde claro
		Naranja		Verde oscuro
		Amarillo		
		Verde		
	Intermedio	Púrpura	S/C	S/C
	Profunda	S/C	Negro	Marrón
		Rosado		
			Marrón	
Total de laminaciones		5	4	3
Espesor (mm)		8	7	8
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, seguido de verde oscuro, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y finalmente, en la zona Profunda, se observó solo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 4 y 14 mm, todas con un número de 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 3 y 5,7 cm (**Tabla N° 7-19**).

Tabla N° 7-19. 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
		Verde oscuro	Verde	Verde oscuro
		Verde claro		
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Rosado

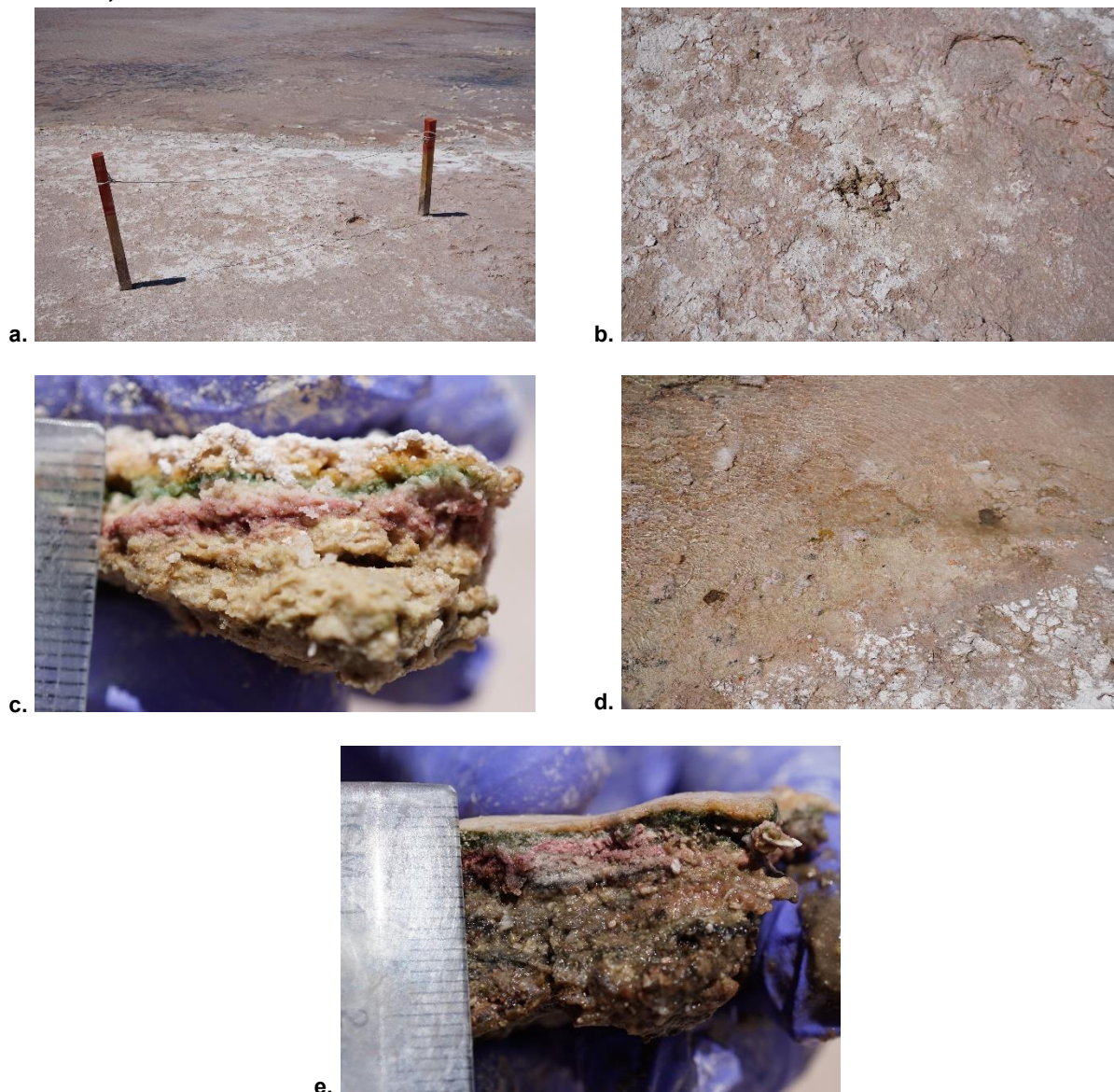
Tapetes Sumergidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
		Rosado	
Profunda	S/C	S/C	Marrón
Total de laminaciones	4	4	4
Espesor (mm)	5	14	4
Profundidad (cm)	4,5	3	5,7

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 2315 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° 7-13 a**). La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación cercana al borde de la laguna y de coloración rosada y marrón, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-13 b y c**). Cabe señalar que la condición de desecación, al parecer es habitual. Aun así, hay presencia de tapetes en la estación de monitoreo. Para resolver si es indicador de alguna condición en particular, se debe seguir evaluando en el tiempo y realizar las relaciones correspondientes con el seguimiento de espejo de agua y nivel hídrico. La estación de monitoreo presenta costra salina (~3 mm), 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 verde oscuro con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-13 d y e**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

Fotografía N° 7-13. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2020.



Los tapetes superficiales planos presentaron, principalmente, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondientes a Tipología 1 y una con dos macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia), que se corresponde con Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde. La zona Intermedia mostró tonalidades principalmente púrpuras, mientras que, en la zona Profunda, predominaron las tonalidades marrón o verde claro. En cuanto al espesor de los tapetes, todos presentaron 7 mm, con un número entre 4 y 5 capas (**Tabla N° 7-20**).

Tabla N° 7-20. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde Amarillo
	Intermedio	Púrpura	Rosado Púrpura	Púrpura
		Profunda	Marrón	Verde claro
Total de laminaciones		4	5	4
Espesor (mm)		7	7	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 naranja, seguido de verde. En la zona Intermedia, predominaron la tonalidad rosada y en menor medida, púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, se observaron las tonalidades marrón o gris y negro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 7 mm, con entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1 y 2,5 cm. (**Tabla N° 7-21**).

Tabla N° 7-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).

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

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 2310 msnm, muy bajo flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas (**Fotografía N° 7-14 a**).

La estación de monitoreo, presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular, sumergida (entre 1,9 y 2,7 cm) y con costra salina (~1 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración beige y áreas rosadas, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-14 b y c**), 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° 7-14 d y e**). 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 (11,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 7-14 f**).

Fotografía N° 7-14. 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 2020.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos planos presentaron, principalmente, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondientes a Tipología 1, mientras que un tapete muestreado, presentó Tipología 2, con macro-zonas Subsuperficial e Intermedia. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, mientras que, en la zona Intermedia, predominó la tonalidad púrpura, seguido de rosado. En la zona

Profunda predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número entre 4 y 5 capas. Estos tapetes se encontraban sumergidos entre 1,9 y 2,7 cm (**Tabla N° 7-22**).

Tabla N° 7-22. 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 rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Verde
		Verde	Verde	
		Amarillo		
	Intermedio	Púrpura	Rosado	Rosado
			Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Total de laminaciones		5	4	4
Espesor (mm)		6	4	4
Profundidad (cm)		2,7	1,9	2

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, dos de las muestras presentaron una macro-zona (Subsuperficial), correspondientes a Tipología 3, mientras que en la segunda muestra, se detectaron dos macro-zonas (Subsuperficial y Profunda), correspondiéndose con Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja, verde y amarillo. En la zona Profunda, sólo se observó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 5 mm, con un número entre 3 y 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1,7 y 5 cm. (**Tabla N° 7-23**).

Tabla N° 7-23. 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
		Amarillo	Amarillo	Amarillo
	Intermedio	S/C	S/C	S/C
	Profunda	S/C	Marrón	S/C
Total de laminaciones		3	4	3
Espesor (mm)		4	5	4
Profundidad (cm)		1,7	5	3

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 2020, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-24) y La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde y naranja y rosado, 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 púrpuras, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitioautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-zona Profunda predominaron las capas marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 7-24**).

Tabla N° 7-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2020.

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

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En laguna La Punta (LP-23 y LP-24), se observaron tapetes de Tipología 2, con macrozona subsuperficial e intermedia o profunda. En la macrozona subsuperficial, predominaron capas verde, seguido de naranja, mientras que, en la macrozona intermedia, predominaron las capas rosada y púrpura, por último, en la macrozona profunda, predominó fuertemente el marrón. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macrozona subsuperficial e intermedia (LB-1, LB-2 y LB-3) o subsuperficial y profunda (LB-1 y LB-3). En la macrozona subsuperficial, predominaron las capas verde y naranja, mientras que en la macrozona intermedia las capas más frecuentes fueron rosado y púrpura. En la macrozona profunda, predominaron las capas marrón (**Tabla N° 7-25**).

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 macrozona 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 macrozona 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° 7-25. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2020.

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

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

La Tipología 3 fue detectada en Laguna La Brava (LB-3), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde, naranja y amarillo. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (**Tabla N° 7-26**).

Tabla N° 7-26. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Invierno 2020.

Estación/Muestra			LB-3 C	
			1	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde		
		Naranja		
		Amarillo		

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

7.2.2.1.3 Sector Vegas de Tilopozo

En la campaña Invierno 2020, 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 7,6 m en promedio, de profundidad de 311 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento grava y arena sin flujo, y con aguas transparentes, de aguas transparentes, y rodeada de vegetación ribereña (**Fotografía N° 7-15 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídas desde la poza (**Fotografía N° 7-15 b**).

Fotografía N° 7-15. a. Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. invierno 2020.

Fuente: Elaboración propia

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

La estación TB-2 corresponde pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2314 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 extraídas desde la poza (**Fotografía N° 7-16**).

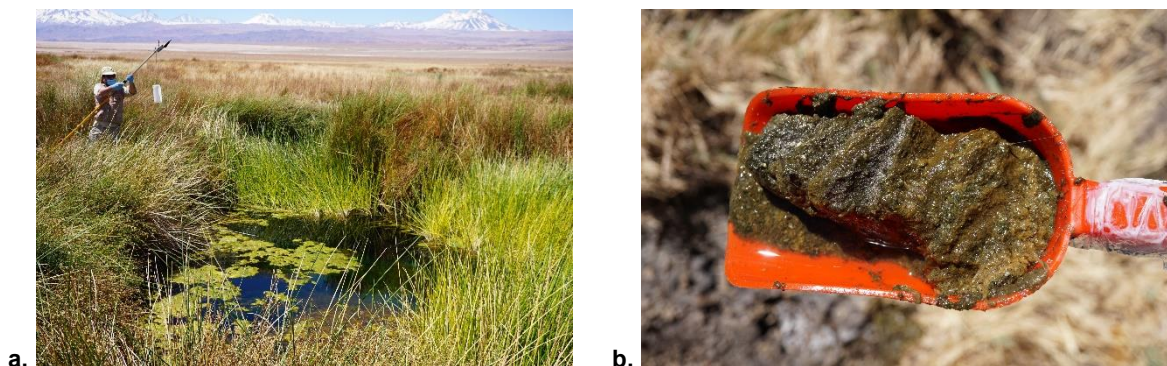
Fotografía N° 7-16. Estación de monitoreo TB-2. invierno 2020.

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 8,2 m, de una profundidad de 202 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° 7-17 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídas desde la poza (**Fotografía N° 7-17 b**).

Fotografía N° 7-17. Estación de monitoreo TB-3; B. Muestra de Sedimentos. invierno 2020.



Fuente: Elaboración propia

7.2.2.1.4 Registro de microbialitos y evaporitas, invierno 2020.

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos solo en 2 estaciones de monitoreo (LP-23 y LB-1) y la presencia de evaporitas en una estación de monitoreo (LP-24) (**Tabla N° 7-27; Fotografía N° 7-18**).

Tabla N° 7-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2020.

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° 7-18. Presencia de microbialitos. a. Estación LP-23; b. Estación LB-1. Presencia de Evaporitas. c. Estación LP-24. invierno 2020.



7.2.2.2 *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 2020, 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 Salada y Saladita. Respecto a la Radiación Solar se presentaron más bien parejas entre sectores. Cabe destacar que la presencia de agua en las estaciones de muestreo y las concentraciones de conductividad-salinidad son de alta importancia para los tapetes microbianos (**Tabla N° 7-28**).

En el Sector Peine las variables conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), presentaron en promedio mayor registro en la Laguna Saladita, con valores que oscilaron entre 33.480 y 36.910 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguido de Laguna Interna, con valores que oscilaron entre 24.160 y 37.430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de Salada la que osciló entre 21.820 y 34.850 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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 69.960 y 86.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Brava y entre 53.430 y 55.090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Punta (**Figura N° 7-7 a y b**). Cabe señalar que, en todas las estaciones de monitoreo y sectores, se observaron valores bajos de conductividad y salinidad respecto de campañas de monitoreo anteriores. En la cual resaltan las menores conductividades presentadas por la Laguna Interna, sobre todo en la estación I-17. Esto resultaría probablemente debido a las intensas precipitaciones registradas entre los días 24 y 25 agosto de 2020, con un total caído de 23,8 mm de precipitación en estos sectores.

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° 7-8 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 similares. Cabe destacar que, en relación con las concentraciones de oxígeno, la diferencia observada en el sector Peine y La Punta-La

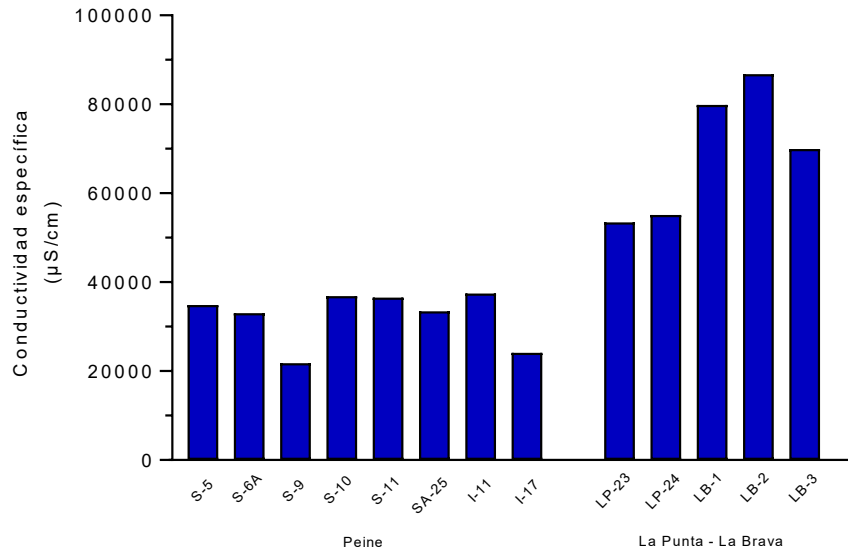
Brava, se relaciona con la mayor salinidad registrada en Interna (I-17) y en La Brava (LB-2), variable que disminuye la solubilidad del oxígeno en estas lagunas (**Figura N° 7-8 b**).

La turbiedad por su parte presenta valores en magnitud similares entre lagunas y estaciones de monitoreo en el sector Peine, presentando valores mayores en Saladita. En tanto, en el sector La Punta-La Brava se registraron valores menores respecto de Peine y entre lagunas en el sector, se observaron menores valores en la Laguna La Punta (**Figura N° 7-9 a**).

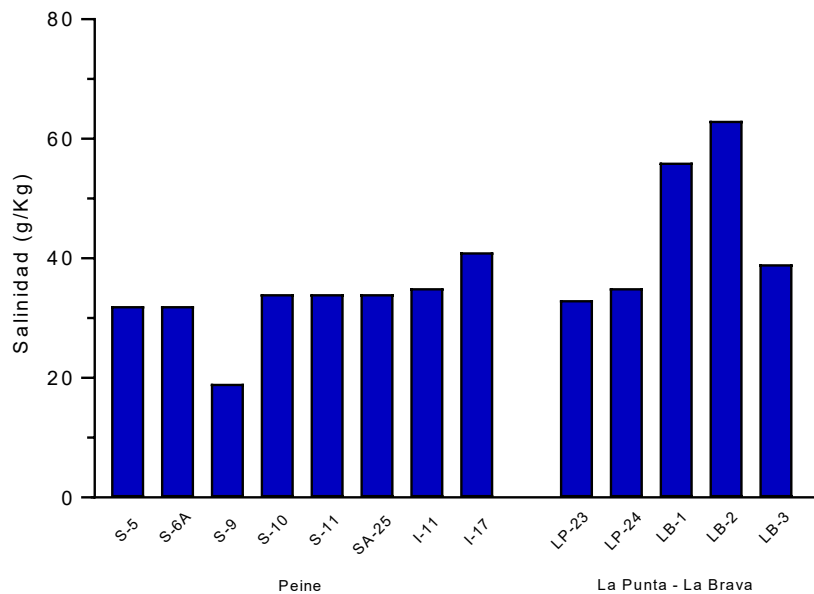
Respecto de la alcalinidad total (CaCO_3), se observaron mayores valores en Salada, seguida de Saladita y menores en Interna. Mientras que, en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron mayores respecto de Peine, y entre lagunas fue mayor en La Brava respecto de la laguna La Punta (**Figura N° 7-9 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 debido a la hora en que fueron obtenidos los datos, observándose valores más altos en Saladita y menores en Interna, en Peine. En tanto, en La Punta-La Brava se registraron mayores valores en la laguna La Brava, respecto de La Punta (**Tabla N° 7-28**).

Figura N° 7-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.



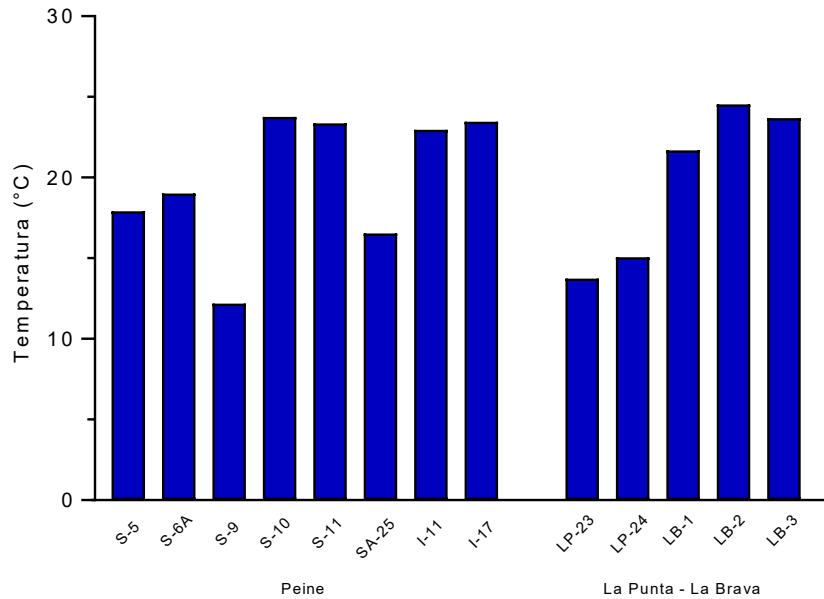
a.



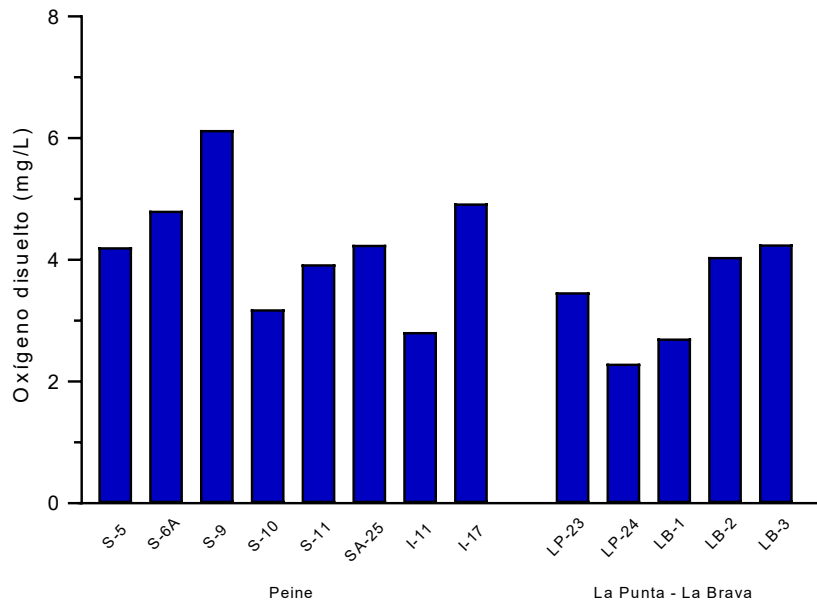
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.



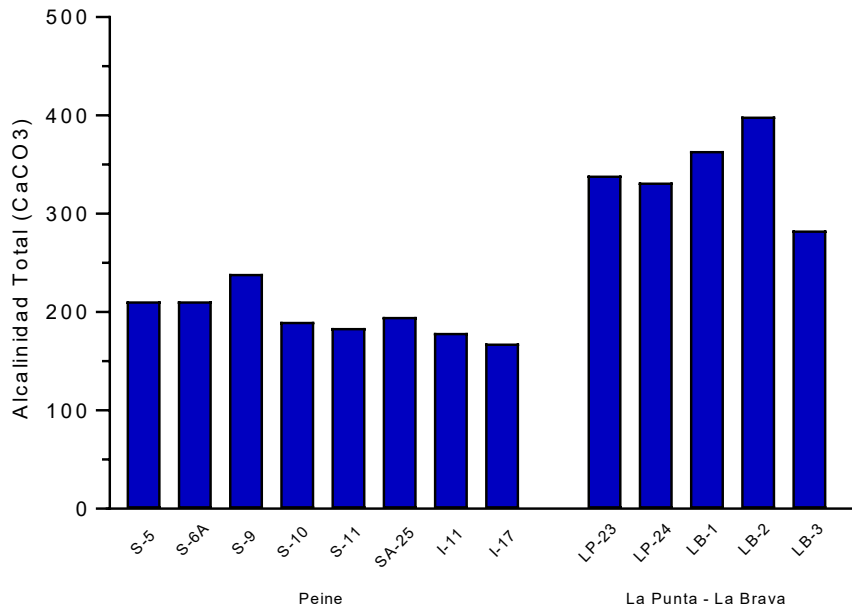
a.



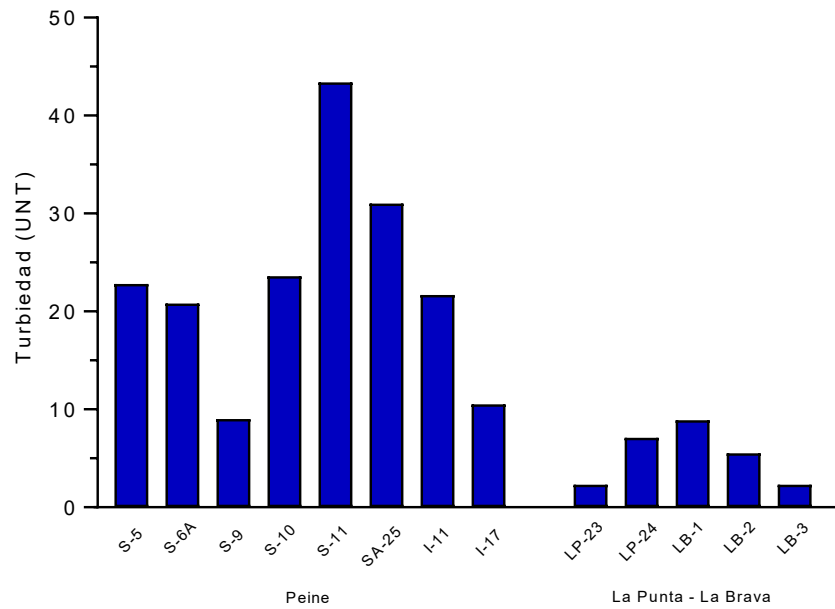
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.



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 2020, se destaca que las variables Fósforo total seguido de Carbono Orgánico Total (COT) presentaron altos valores, en general, en la Laguna Salada, respecto de Saladita e Interna (excepto en S-11), lo que probablemente se esté dando por alta presencia de aves acuáticas en el sector (**Tabla N° 7-29**).

El sector La Punta-La Brava presentó valores ligeramente menores, respecto de Peine, siendo la Laguna La Brava en la estación LB-2, la que presentó los mayores valores de carbono orgánico total. En relación con el fósforo total, en el sector Peine, se observaron mayores concentraciones en la laguna Salada, seguido de Saladita e Interna. En el sector La Punta-La Brava se observaron menores concentraciones respecto de Peine, y entre lagunas se observaron mayores concentraciones en La Brava, específicamente en la estación LB-3.

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó en Peine, rangos de variación entre 3,09 y 12,59 g/Kg en las estaciones S-10 y S-6A respectivamente. Cabe destacar que, la laguna Interna presentó valores bajos para esta variable (3,16 y 4,01 g/Kg en I-17 e I-11 respectivamente) En las lagunas La Punta y La Brava, se registraron valores entre 4,84 y 10,73 g/Kg en las estaciones LB-1 y LB-2 respectivamente. La laguna La Punta presentó valores intermedios de nitrógeno total Kjeldahl.

Por último, los registros de potencial Redox fueron similares en ambos sectores Peine y La Punta-La Brava, todos negativos lo que significa que estamos en ambientes altamente reductores, alcalinos y anaerobios.

Tabla N° 7-28. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.

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	-	12,2	17,92	19,02	16,53	23,75	23,35	22,96	23,46	13,74	15,06	21,7	24,53	23,69
pH	U	-	8,07	8,44	8,3	8,27	8,17	8,16	8,11	8,62	8,24	8,25	8,04	8,06	8,13
Conductividad específica	µS/cm	1	21820	34850	33050	33480	36910	36510	37430	24160	53430	55090	79910	86800	69960
Salinidad	g/kg	1	19	32	32	34	34	34	35	41	33	35	56	63	39
Oxígeno disuelto	mg/L	-	6,14	4,21	4,81	4,25	3,19	3,93	2,82	4,93	3,47	2,3	2,71	4,05	4,26
Turbiedad	UNT	0,07	9,04	22,8	20,8	31	23,6	43,4	21,7	10,5	2,3	7,1	8,9	5,5	2,3
Radiación solar**	MJ/m2	-	2,6304	2,8124	2,8124	3,06	2,6564	2,6564	2,1152	1,4474	2,3343	2,9715	3,062	2,9565	2,3612
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	239	211	211	195	190	184	179	168	339	332	364	399	283

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7-29. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2020.

Parámetro	Unidad	Sector Peine								Sector La Punta-La Brava				
		Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
		S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	64,39	111,14	109,98	71	85,79	116,76	81,9	80,22	68,79	76,91	62,7	140,14	70,94
Fósforo Total (P) M.S.	mg/Kg	235,02	154,92	132,76	<0,5	151,98	<0,5	20,31	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	80,47
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	5,17	6,35	12,59	4,97	3,09	8,15	4,01	3,16	7,6	7,58	4,84	10,73	6,85
Potencial Redox	mV	-404,7	-388,5	-411,9	-414,1	-387,4	-407,5	-369,2	-355	-394,3	-414,7	-411,2	-413,9	-424,6

Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Resultados Campaña Verano 2021

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

7.2.3.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña verano 2021, solo se analizaron *in situ* muestras de 8 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 al sector de Peine, por presentar restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

De este modo, se detectó la presencia de tapetes microbianos en 5 de las 8 estaciones evaluadas (62,5%). No detectándose la presencia de tapetes en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3).

Entre las 5 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, 1 de ellas (20%), presentó tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a la estación LP-23. Ninguna estación exhibió sólo tapetes en condiciones sumergidas, y las 4 estaciones restantes (80%), presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (0 – 3,3 cm), las que correspondieron a las estaciones LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 7-2**).

**Tabla N° 7-30. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos.
Campaña verano 2021.**

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	1	20,0
Estaciones con Tapetes sumergidos	0	0,0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	4	80,0
Total Estaciones*	5	100,0

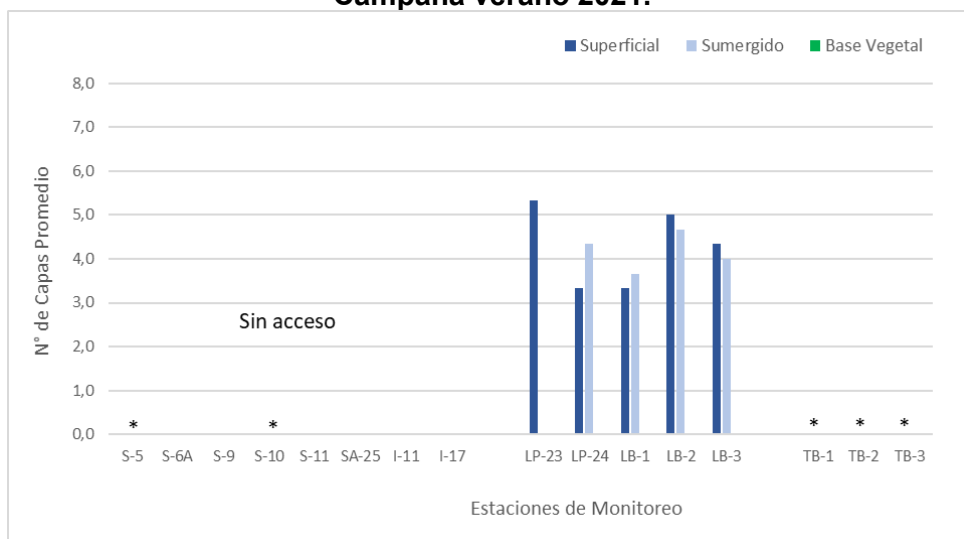
(*) De 16 estaciones se monitorearon solo 5, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine.

Fuente: Elaboración propia

A su vez, a través de la identificación visual desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en 2 estaciones de monitoreo (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 LP-23 (Laguna La Punta) con 5,3 capas, mientras que, el menor valor fue registrado en LB-1 (Laguna La Brava) con un promedio de 3,5 capas (**Figura N° 7-3**). Respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en LP-23 (Laguna La Punta) con 5,3 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 (Laguna La Brava) con 3,3 en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 4,7 y menor en LB-1 (Laguna La Brava) con 3,7 (**Figura N° 7-3**).

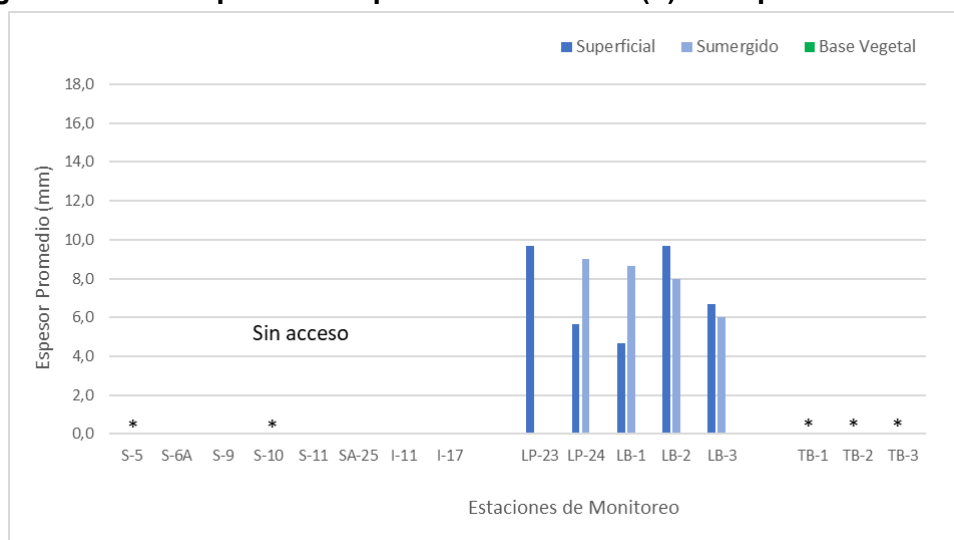
Figura N° 7-10. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos. Campaña verano 2021.



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

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en LP-23 (Laguna La Punta), con 9,7 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en LB-1 (Laguna La Brava), con 4,7 mm (**Figura N° 7-4**). Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en LP-23 (Laguna La Punta) y LB-2 (Laguna La Brava) con 9,7 mm, mientras que, fue menor en LB-1 (Laguna La Brava) con 4,7 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LP-24 (Laguna La Punta) con 9,0 mm y el menor fue en LB-3 (Laguna La Brava) con 6,0 mm (**Figura N° 7-4**).

Figura N° 7-11. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}). Campaña verano 2021.

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

Fuente: Elaboración propia

7.2.3.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

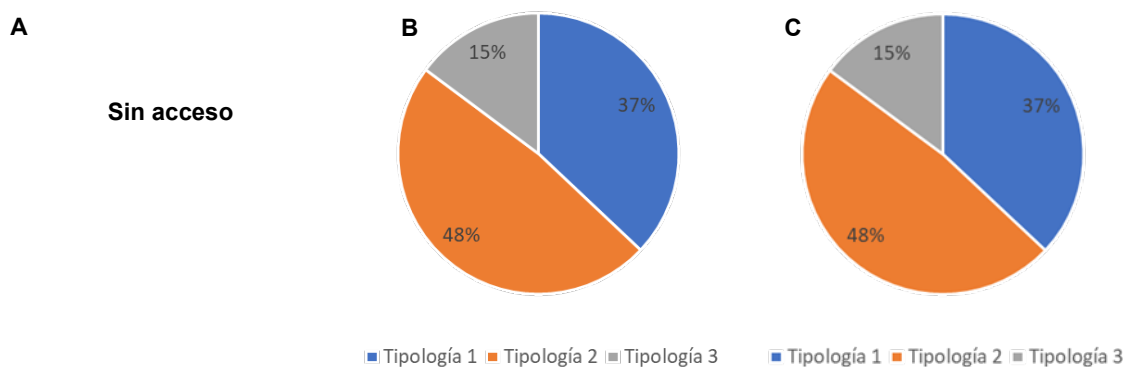
La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el Sector La Punta-La Brava, mostró 3 tipos de tipologías:

- **Tipología 1:** presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en las lagunas La Punta como en La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color púrpura y/o rosado, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 7-3** y **Tabla N° 7-24**).
- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y también fue detectado en el 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. Además, también se observaron tapetes con esta tipología, que exhibieron la macro-zona subsuperficial, seguida de la macro-zona Profunda de color marrón (**Tabla N° 7-3** y **Tabla N° 7-25**).
- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranja, amarillo y rosado, en el Sector La Punta-La Brava (**Tabla N° 7-3** y **Tabla N° 7-26**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes, solo se muestra la del sector La Punta-La Brava, en este se observó que la Tipología 2 presentó los mayores porcentajes

con 48,1%, seguido de la Tipología 1 con 37,0% y finalmente, en menor medida, la Tipología 3 con 14,8% (**Figura N° 7-5 B**), el gráfico de área total de estudio corresponde en este caso a la del sector La Punta-La Brava (**Figura N° 7-5 C**).

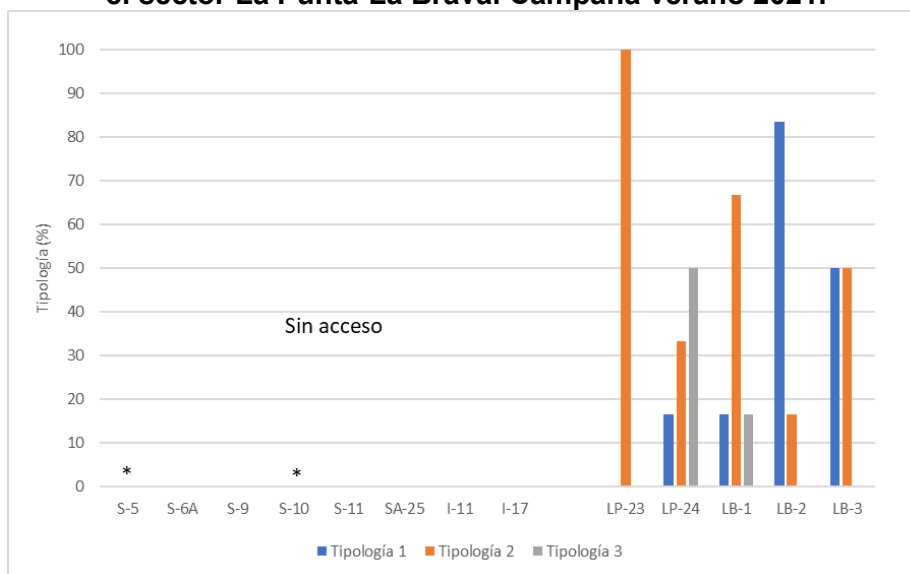
Figura N° 7-12. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Campaña verano 2021.



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° 7-13**). En el Sector La Punta-La Brava, se distingue la presencia de tapetes de Tipología 2, principalmente en las estaciones LP-23, LB-1 y LB-3, y en menor medida, en LP-24 y LB-2. Cabe destacar que, en la actual campaña se observó una mayor representatividad porcentual de la Tipología 1, en varias estaciones de muestreo (*i.e.* LB-2, LB-3).

Figura N° 7-13. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en el sector La Punta-La Brava. Campaña verano 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 La Punta (LP-23).
- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginosa, los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-2).
- Tapetes planos, de consistencia blanda, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2).

Los tapetes microbianos en la campaña de verano 2021, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 2. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginosa. El espesor varió entre 4 y 15 mm, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 3 y 6 (**Tabla N° 7-3**).

**Tabla N° 7-31. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos.
 Campaña verano 2021.**

Sector	Estación de Monitoreo	Tipología (%)			Morfología principal	Espesor (mm)		Número de capas	
		1	2	3		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Peine	S-5	Sin acceso							
	S-6A								
	S-9								
	SA-25								
	S-10								
	S-11								
	I-11								
	I-17								
La Punta-La Brava	LP-23	0	100	0	Plana	11	8	6	5
	LP-24	17	33	50	Plana y coriácea	15	5	6	3
	LB-1	17	67	17	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginosa.	10	4	4	3
	LB-2	83	17	0	Plana y coriácea, Consistencia blanda	12	4	5	4
	LB-3	50	50	0	Plana, coriácea y consistencia blanda	7	4	5	4
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes							
	TB-2								
	TB-3								

Fuente: Elaboración propia

7.2.3.3 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).

7.2.3.3.1 Sector Peine

La comunidad de tapetes microbianos en el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9, S-6A y S-5), laguna Saladita (S-10, S-11 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-

17), en la presente campaña no fue posible realizar el monitoreo en este sector, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

7.2.3.3.2 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 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 5,3 capas para LP-23, por otro lado, la menor estratificación se observó en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 (Laguna La Brava), con 3,3 capas. Además, la mayor cantidad de estratificaciones en la Laguna La Brava, se observó en LP-23 con 5,3 capas (**Figura N° 7-10**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que tanto la Laguna La Punta (LP-23) como La Brava (LB-2), presentaron el valor máximo de espesor, con 9,7 mm, seguido de 9,0 mm (LP-24). Por otro lado, el menor espesor observado se registró en la Laguna La Brava (LB-1) con 4,7 mm. Estos valores fueron calculados considerando la totalidad de las muestras de Tapetes, de manera de representar en un aspecto general la estación de monitoreo. Para observar en detalle el espesor promedio por cada Estación de Monitoreo y respectivo tipo de tapete (superficial plano y/o sumergido coriáceo), ver **Figura N° 7-11**.

En general, en el Sector La Punta - La Brava, se observó entre las estaciones y lagunas la continuidad espacial de los tapetes con morfología plana en la Laguna La Punta y en la estación LB-1 de la Laguna La Brava. En tanto, en las estaciones LB-2 y LB-3, se observó continuidad espacial y morfología plana y convexa. En relación con la tipología, se observó que la Tipología 2 fue la más frecuente (48,1 %) en el sector, siendo el rosado (50,0%) y el púrpura (42,9%), las tonalidades predominantes en esta tipología. 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 2286 msnm, se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa de la laguna, un bajo flujo y aguas transparentes. Las muestras de tapetes 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° 7-19 a**). Las áreas de coloración fueron predominantemente rosadas, con presencia de costra salina (~3 mm). Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo (**Fotografía N° 7-19 b y c**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (4,7 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, aunque se observó una monocapa de color rosado (**Fotografía N° 7-19 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Tabla N° 7-32**).

Fotografía N° 7-19. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2021.



Dos tapetes muestreados presentaron macro-zonas de pigmentación Subsuperficial e Intermedia, y un tapete presentó las macro-zonas Subsuperficial y Profunda, sin embargo, todos ellos correspondieron a Tipología 2.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue uniforme, mayoritariamente con una fina capa de color rosado, seguido de una coloración verde y amarillo. Por otro lado, la zona Intermedia, se evidenció en dos de los tapetes muestreados, con una coloración predominantemente púrpura. En tanto, en la zona Profunda predominó la capa marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuó entre 8 y 11 mm, con un número de capas entre 5 y 6 (**Tabla N° 7-32**).

Tabla N° 7-32. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Rosado	Rosado
		Naranja	Amarillo	Naranja
		Verde	Verde	Verde
		Amarillo	Amarillo	Amarillo
	Intermedio	S/C	Púrpura	Verde oscuro Púrpura
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
	Total de laminaciones		5	5
Espesor (mm)		11	8	10
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° 7-20 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° 7-20 b y c**), y (ii) una superficie coriácea, semisumergida o sumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro (**Fotografía N° 7-20 d y e**). 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 (4,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 7-20 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de evaporitas (**Tabla N° 7-33**).

Fotografía N° 7-20. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna La Punta, verano 2021.



Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron las Tipologías 2 (Subsuperficial e Intermedia o Subsuperficial y Profunda) y 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde, mientras que en la zona Intermedia (detectada en una muestra) predominó sólo la tonalidad rosada. Por otro lado, la zona Profunda, presentó una tonalidad marrón y marrón claro, también siendo detectada en una de las muestras. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 7 mm, con un número entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 7-33**).

Tabla N° 7-33. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja Rosado	Rosado	Verde claro
		Amarillo	Verde	Verde
		Verde		
	Intermedio	S/C	S/C	Rosado
Profunda	S/C	Marrón claro Marrón	S/C	
Total de laminaciones		3	4	3
Espesor (mm)		5	7	5
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, presentaron Tipología 1 y 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, predominaron los tonos naranja, verde y amarillo, mientras que en la Intermedia (muestra con Tipología 1) se observó la tonalidad púrpura; por último, en la zona profunda de la misma muestra, se observaron la tonalidad verde, amarilla y marrón. En cuanto al espesor de los tapetes fluctuaron entre 5 y 15 mm, y con 3 a 6 capas. Las muestras sumergidas fueron tomadas a una profundidad de 0 cm, no obstante, se encontraban completamente humedecidas y embebidas de agua (**Tabla N° 7-34**).

Tabla N° 7-34. 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	Costra	Costra	
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Naranja	Naranja	Rosado
		Naranja	Amarillo		
		Amarillo	Verde claro	Verde	
		Verde			
	Intermedio	S/C	S/C	Púrpura	
	Profunda	S/C	S/C	Verde	
				Amarillo	
Marrón					
Total de laminaciones		4	3	6	
Espesor (mm)		7	5	15	
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 2302 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° 7-21 a**).

La estación de monitoreo 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° 7-21 b y c**), 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° 7-21 d y e**). Esta estación presentó escasa vegetación. Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (18,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 7-21 f**). Por otro lado, el examen visual del área indicó presencia de microbialitos (**Tabla N° 7-35**).

Fotografía N° 7-21. 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 2021.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, dos de las muestras presentaron dos macrozonas (Tipología 2), configurándose en Subsuperficial e Intermedia, mientras que la muestra restante evidenció Tipología 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y en menor medida naranja. Por otra parte, en la zona

Intermedia, se observó predominantemente la tonalidad rosada. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 4 y 5 mm, con un número de entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 7-35**).

Tabla N° 7-35. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Rosado	Verde oscuro
		Verde Amarillo	Naranja Verde	
	Intermedio	Rosado	S/C	Rosado Púrpura
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		4	3	3
Espesor (mm)		5	5	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 o Subsuperficial y Profunda 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 claro, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y finalmente, en la zona Profunda, se observó solo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 8 y 10 mm, con un número de entre 3 y 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 (tapete embebido en agua) y 3,3 cm (**Tabla N° 7-36**).

Tabla N° 7-36. 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		Costra rosada	Costra rosada	Costra rosada	
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Verde	Naranja	
		Amarillo		Verde claro	
		Verde claro		Verde oscuro	
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Rosado	S/C

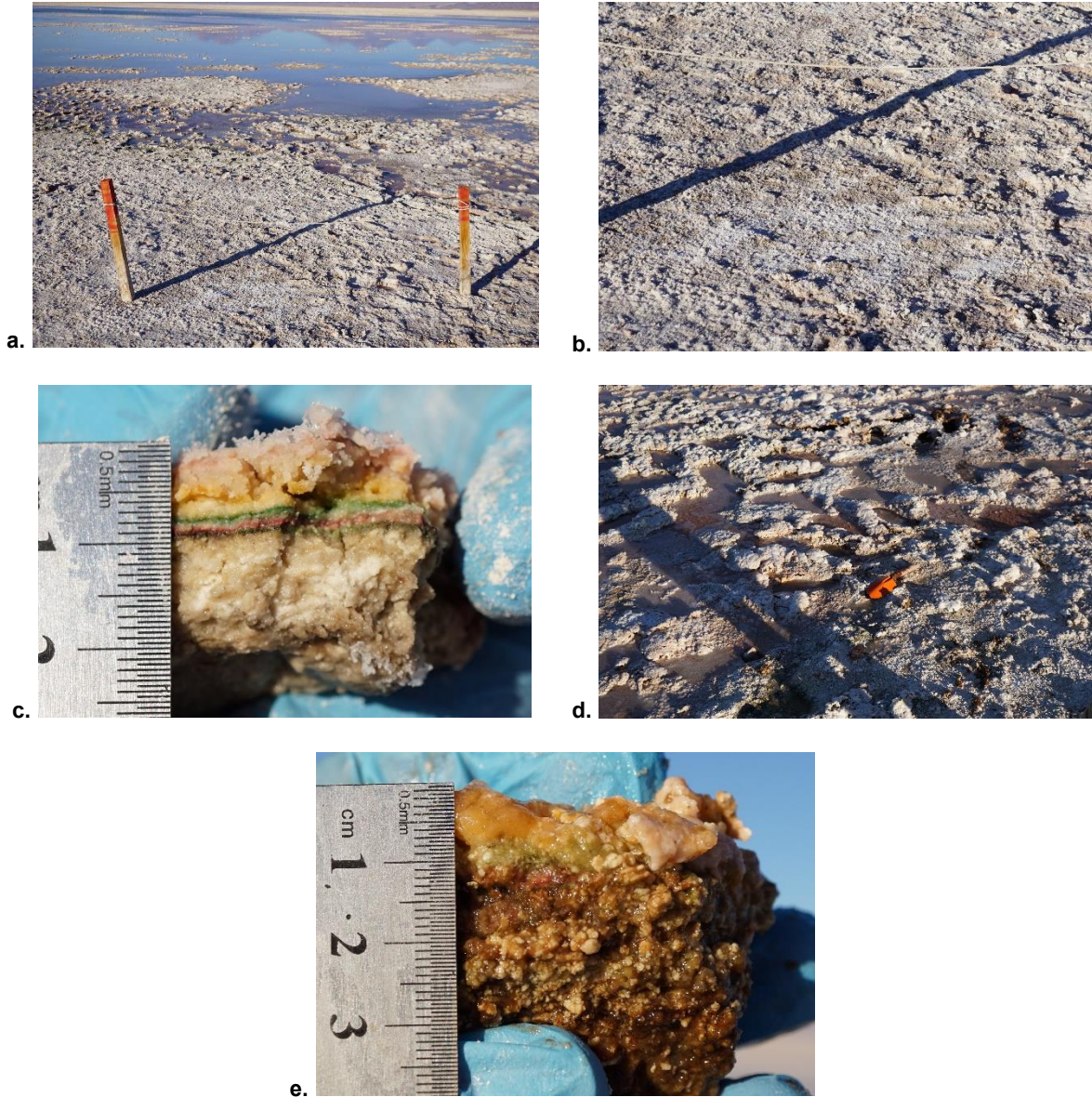
Tapetes Sumergidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones	4	3	4
Espesor (mm)	8	10	8
Profundidad (cm)	0	2	3,3

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 2302 msnm, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas ligeramente turbias y presencia de plantas acuáticas (**Fotografía N° 7-22 a**). La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~3 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanco y rosada, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-22 b y c**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras mucilaginosas, de coloración naranja y otras estructuras coriáceas de coloración verde oscuro con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-22 d y e**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo.

Fotografía N° 7-22. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2021.



f.

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, principalmente, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), todos correspondientes a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron, por igual, naranja, verde y amarillo.

La zona Intermedia mostró únicamente rosada, mientras que, en la zona Profunda, la única tonalidad observada fue marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 8 y 11 mm, todas con un número de 5 capas (**Tabla N° 7-20**).

Tabla N° 7-37. 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	Costra	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Amarillo
		Amarillo	Amarillo	Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
	Total de laminaciones		5	5
Espesor (mm)		11	8	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 e Intermedia). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y amarillo, seguido de naranja, y rosado. En la zona Intermedia, predominaron la tonalidad púrpura y en menor medida, rosado. Finalmente, en la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 12 mm, con entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 (tapete embebido en agua) y 2,7 cm. (**Tabla N° 7-21**).

Tabla N° 7-38. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Naranja	Naranja
		Amarillo		Rosado
		Verde	Verde	Amarillo
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Púrpura

Tapetes Sumergidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Profunda	Marrón	Marrón	S/C
Total de laminaciones	5	4	5
Espesor (mm)	12	4	8
Profundidad (cm)	0	2	2,7

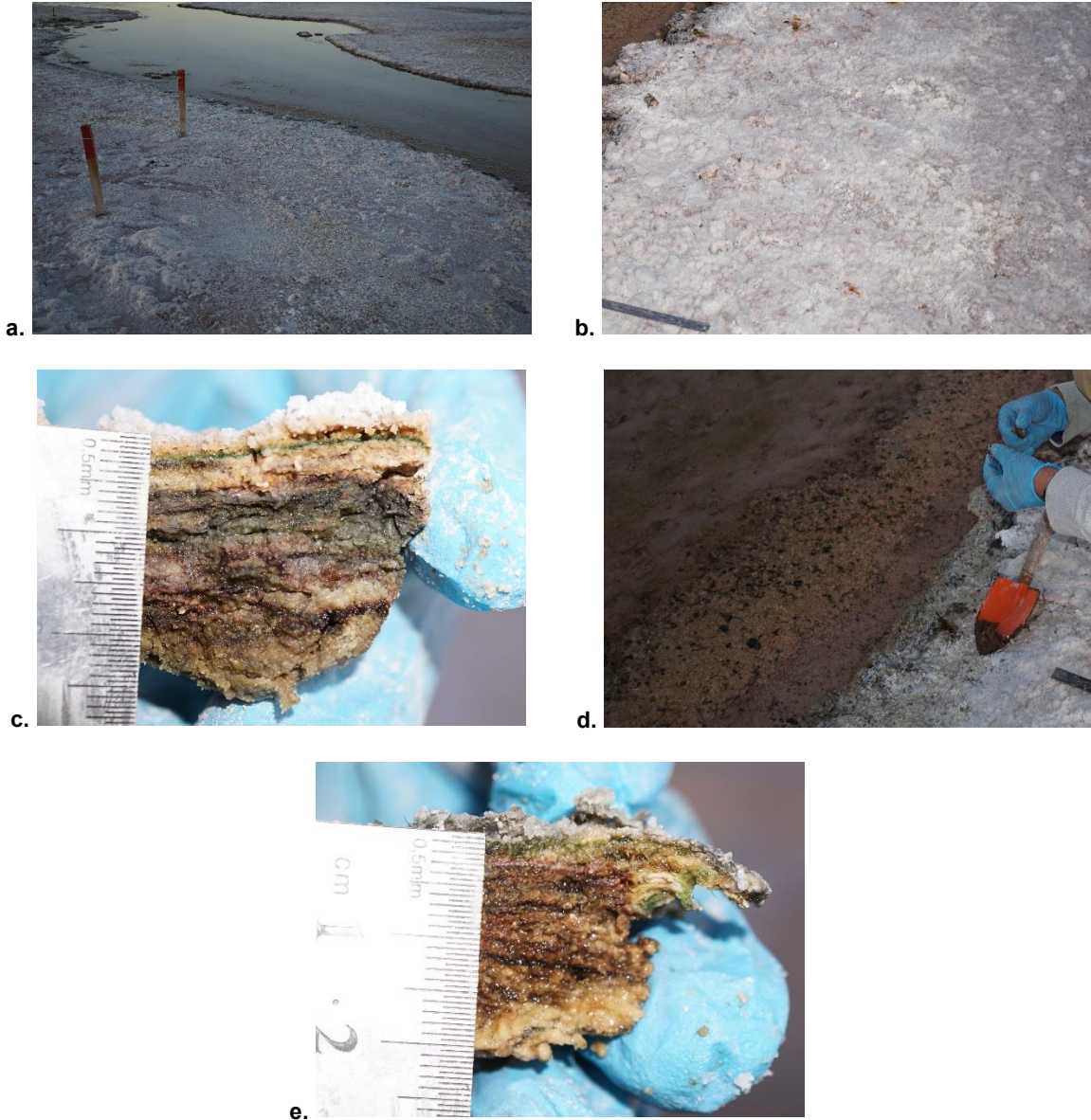
Fuente: Elaboración propia

- *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, de flujo bajo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó escasas plantas acuáticas hidrófitas (**Fotografía N° 7-23 a**).

La estación de monitoreo, presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular, con costra salina (~1 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanco y áreas rosadas, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 7-23 b y c**), 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° 7-23 d y e**). 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.

Fotografía N° 7-23. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2021.



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 o Subsuperficial y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde oscuro, verde claro y amarillo, mientras que, en la zona

Intermedia, predominaron la tonalidad púrpura, seguido de rosado. En la zona Profunda predominó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 7 mm, con un número entre 4 y 5 capas (**Tabla N° 7-39**).

Tabla N° 7-39. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranja	Amarillo	Verde oscuro
		Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro
	Intermedio	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro
		Rosado	Amarillo	Verde claro
	Profunda	Púrpura	S/C	Púrpura
		S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	5	4
Espesor (mm)		6	7	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, dos de las muestras presentaron Tipología 1, observándose las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), mientras que, en una muestra, se detectaron dos macro-zonas (Subsuperficial y Profunda), correspondiéndose con Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde oscuro y amarillo. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció sólo tonalidad rosada. En la zona Profunda, se observó predominantemente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 7 mm, todas con un número de 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue de 0 cm, no obstante, se encontraban completamente humedecidas y embebidas de agua (**Tabla N° 7-23**).

Tabla N° 7-40. 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	Costra rosada	Costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde oscuro	Naranja	Verde oscuro
		Amarillo	Verde oscuro	Amarillo
			Amarillo	Amarillo

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra	Pigmentación			
	1	2	3	
Intermedio	Rosado	S/C	Rosado	
Profunda	Púrpura	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones	4	4	4	
Espesor (mm)	7	4	7	
Profundidad (cm)	0	0	0	

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 2021, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-24) y La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde y naranja y 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 rosadas y púrpuras, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitioautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-zona Profunda predominaron las capas marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 7-24**).

Tabla N° 7-41. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.

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

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En laguna La Punta (LP-23 y LP-24), se observaron tapetes de Tipología 2, con macrozona subsuperficial e intermedia o profunda. En la macrozona subsuperficial, predominaron capas verde, seguido de amarillo, naranja y rosado, mientras que, en la macrozona intermedia, predominaron las capas púrpura y en menor medida rosado, por último, en la macrozona profunda, predominó fuertemente el marrón. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macrozona subsuperficial e intermedia (LB-1, LB-2 y LB-3) o subsuperficial y profunda (LB-1 y LB-3). En la macrozona subsuperficial, predominaron las capas naranja, seguido de verde oscuro, verde claro y amarillo, mientras que en la macrozona intermedia las capas más frecuentes fueron rosado y púrpura. En la macrozona profunda, predominaron las capas marrón (**Tabla N° 7-25**).

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 macrozona 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 macrozona 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° 7-42. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.

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

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 amarillo y rosada. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (Tabla N° 7-26).

Tabla N° 7-43. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2021.

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

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

7.2.3.3.3 Sector vegas de Tilopozo

En la actual campaña verano 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 2316 msnm, con un ancho de sección aproximado de 7,6 m en promedio, de profundidad de 311 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° 7-24 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° 7-24 b**).

Fotografía N° 7-24. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 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 2316 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* y *Schoenoplectus*. Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídas desde la poza (**Fotografía N° 7-25**).

Fotografía N° 7-25. Estación de monitoreo TB-2. verano 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 2314 msnm, con un ancho de sección aproximado de 8,2 m, de una profundidad de 202 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° 7-26 a**). Cabe señalar que, en la estación de monitoreo no se detectó la presencia de tapetes microbianos, luego de la inspección de sedimentos extraídas desde la poza (**Fotografía N° 7-26 b**).

Fotografía N° 7-26. a Estación de monitoreo TB-1; b. Muestra de Sedimentos. verano 2021.



Fuente: Elaboración propia

7.2.3.3.4 Registro de microbialitos y evaporitas

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos solo en 2 estaciones de monitoreo (LP-23 y LB-1) y la presencia de evaporitas en 1 estación de monitoreo (LP-24) (**Tabla N° 7-44**).

Tabla N° 7-44. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2021.

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

+: Presencia; -: Ausencia

Fuente: Elaboración propia

Fotografía N° 7-27. Presencia de microbialitos. a. Estación LP-23; b. Estación LB-1. Presencia de Evaporitas. C. Estación LP-24. verano 2021.



7.2.3.4 *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 solo en el sector 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, S-6A y S-5), laguna Saladita (S-10, S-11 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la presente campaña no fue monitoreado, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

En relación a las variables de calidad de agua registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2021, destacan la Conductividad eléctrica y la Salinidad presentando mayores valores en la laguna La Brava respecto de La Punta. El Oxígeno disuelto fue variable en ambos sectores.

Por otra parte, se observaron altas temperaturas en la columna de agua en las lagunas La Brava y La Punta y la mayor Turbiedad en la laguna La Brava. Respecto a la Radiación Solar se presentaron más bien parejas en el sector La Punta-La Brava. 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 (**Tabla N° 7-28**).

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 31.830 y 131.200 $\mu\text{S/cm}$ en LB-3 (afuente de la laguna) y en LB-2 respectivamente. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 57.110 y 81.510 $\mu\text{S/cm}$ (**Figura N° 7-7 a y b**).

Cabe señalar que, en todas las estaciones de monitoreo, se observaron valores altos de conductividad y salinidad respecto de campañas de monitoreo anteriores.

Respecto a la temperatura de la columna de agua, 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 25,41 y 21,73 °C respectivamente, aunque en la estación LP-23 de la laguna La Punta, también se observó una alta temperatura del agua con 21,74 °C (**Figura N° 7-8 a**).

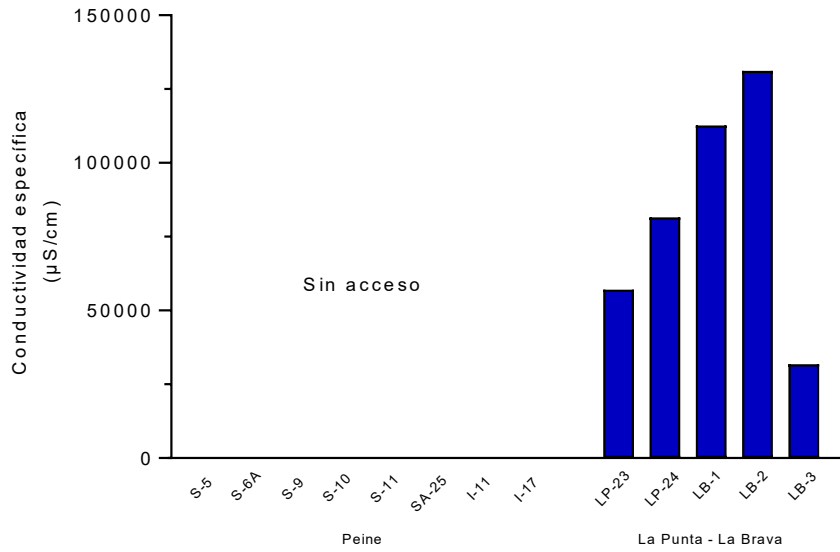
Por otra parte, las concentraciones de oxígeno disuelto detectado en las lagunas La Punta y La Brava fueron más bien similares, excepto en LB-3 que presentó un mayor registro con 6,07 mg/L. Cabe destacar que, en relación con las concentraciones de oxígeno, la

diferencia observada en La Punta-La Brava, se relaciona con la mayor salinidad y menor registro de oxígeno disuelto registrado en La Brava (LB-1 y LB-2), de este modo cuando aumenta la conductividad-salinidad en la columna de agua, disminuye la solubilidad del oxígeno en ellas (**Figura N° 7-8 b**).

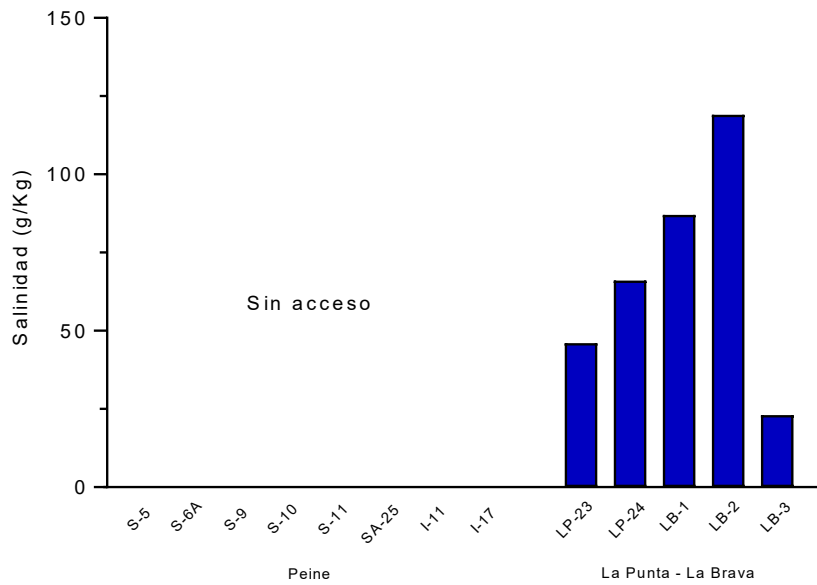
Respecto de la alcalinidad total (CaCO_3), en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron similares (**Figura N° 7-9 a**). La turbiedad por su parte, en el sector La Punta-La Brava se registraron valores con leves diferencias entre estaciones de monitoreo (**Figura N° 7-9 b**).

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 debido a la hora en que fueron obtenidos los datos, observándose valores similares entre estaciones de monitoreo en La Punta-La Brava (**Tabla N° 7-28**).

Figura N° 7-14. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.



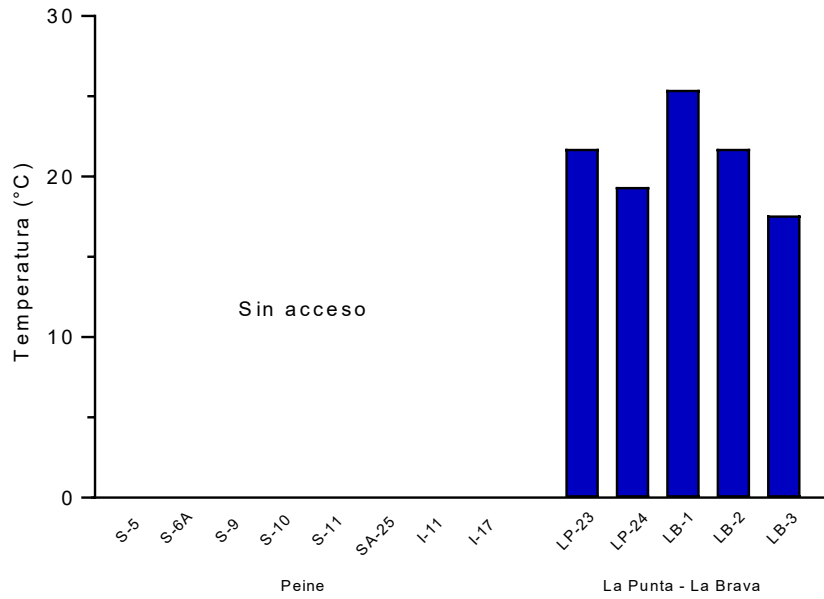
a.



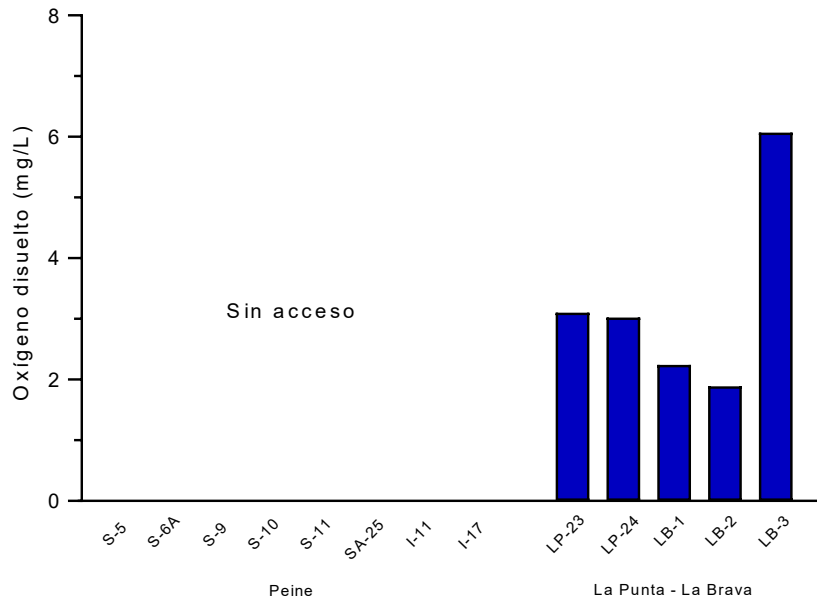
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.



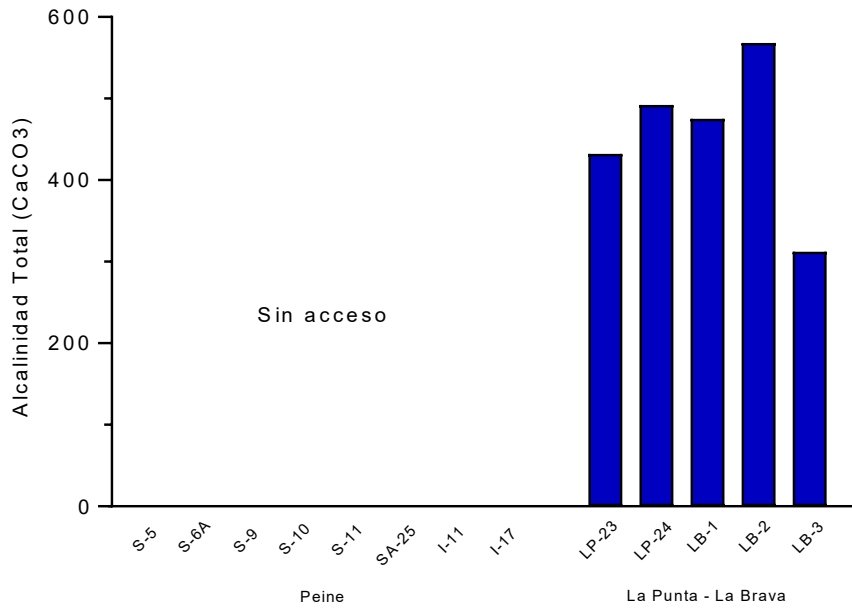
a.



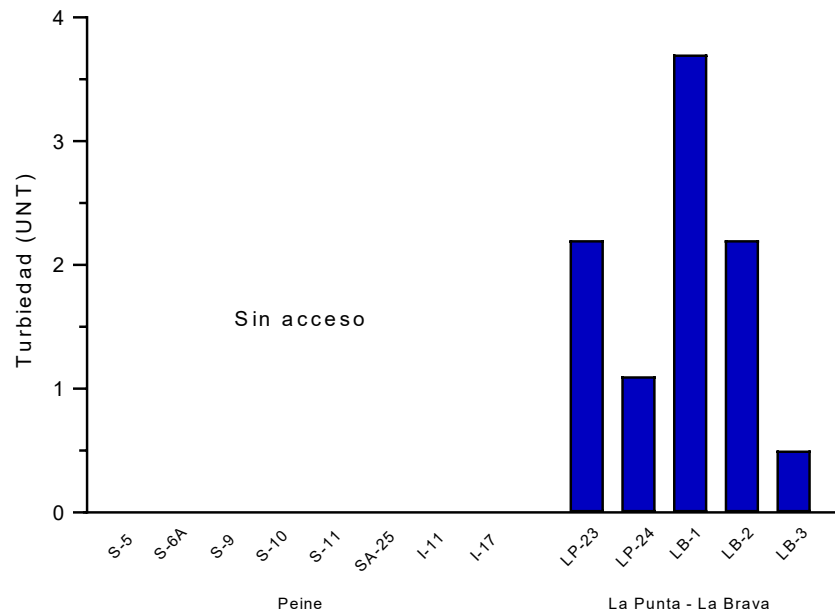
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 2021.



a.



b.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2021, se destaca que para carbono orgánico total los registros son más bien similares, en tanto, para fósforo total no se observaron diferencias entre estaciones de monitoreo, con valores bajo el límite de detección (<1 mg/Kg) (**Tabla N° 7-29**).

El nitrógeno total Kjeldahl y el potencial Redox, presentó en las lagunas La Punta y La Brava, valores similares entre las estaciones de monitoreo de La Punta (LP-23 y LP-24) y de La Brava (LB-1), mientras que, las estaciones LB-2 y LB-3 presentaron valores mayores. Por último, los registros de potencial Redox presenta valores negativos lo que significa que estamos en ambientes altamente reductores, alcalinos y anaerobios.

Tabla N° 7-45. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 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	-	Sin acceso							21,74	19,37	25,41	21,73	17,58	
pH	U	-								8,01	8,12	7,93	7,89	8,34	
Conductividad específica	µS/cm	-								57110	81510	112700	131200	31830	
Salinidad	g/kg	-								46	66	87	119	23	
Oxígeno disuelto	mg/L	-								3,1	3,02	2,24	1,89	6,07	
Turbiedad	UNT	-								2,2	1,1	3,7	2,2	0,5	
Radiación solar**	MJ/m2									772,85	772,2	771,8	771,8	772,2	
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	<1,2								432	492,3	475,3	568,4	312	

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7-46. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña verano 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
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	<1	Sin acceso							18	18	11	12	17	
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<1								<1	<1	<1	<1	<1	
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	<0,0125								2,1709	2,8635	2,9718	3,3912	4,1618	
Potencial Redox	mV	-								-347,6	-307,5	-342,4	-366,8	-386,2	

Fuente: Elaboración propia

7.2.4 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”.

8 SUELO O SUSTRATO

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2020 y verano 2021, para el subcomponente ambiental suelo – sustrato.

Además, se analiza la evolución de los parámetros estudiados para las campañas invernales y estivales de monitoreo entre 2016 y 2021 (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10). Cabe señalar, que la campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para el componente debido a las restricciones por efecto de la situación sanitaria Covid-19 a nivel nacional.

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 invierno realizado entre los días 01 al 08 de septiembre del 2020 llamado en adelante Monitoreo 9 (M9), como también la campaña semestral de verano, realizada entre los días 13 al 19 de abril de 2021, denominada en adelante Monitoreo 10 (M10).

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° 8-3** 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, macronutrientes (NPK), humedad, conductividad hidráulica (permeabilidad), materia orgánica y textura, en el marco de la etapa de operación del proyecto.

8.1 MATERIALES Y MÉTODOS

8.1.1 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.

8.1.2 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° 8-1** 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° 8-1**.

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° 8-1** 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.

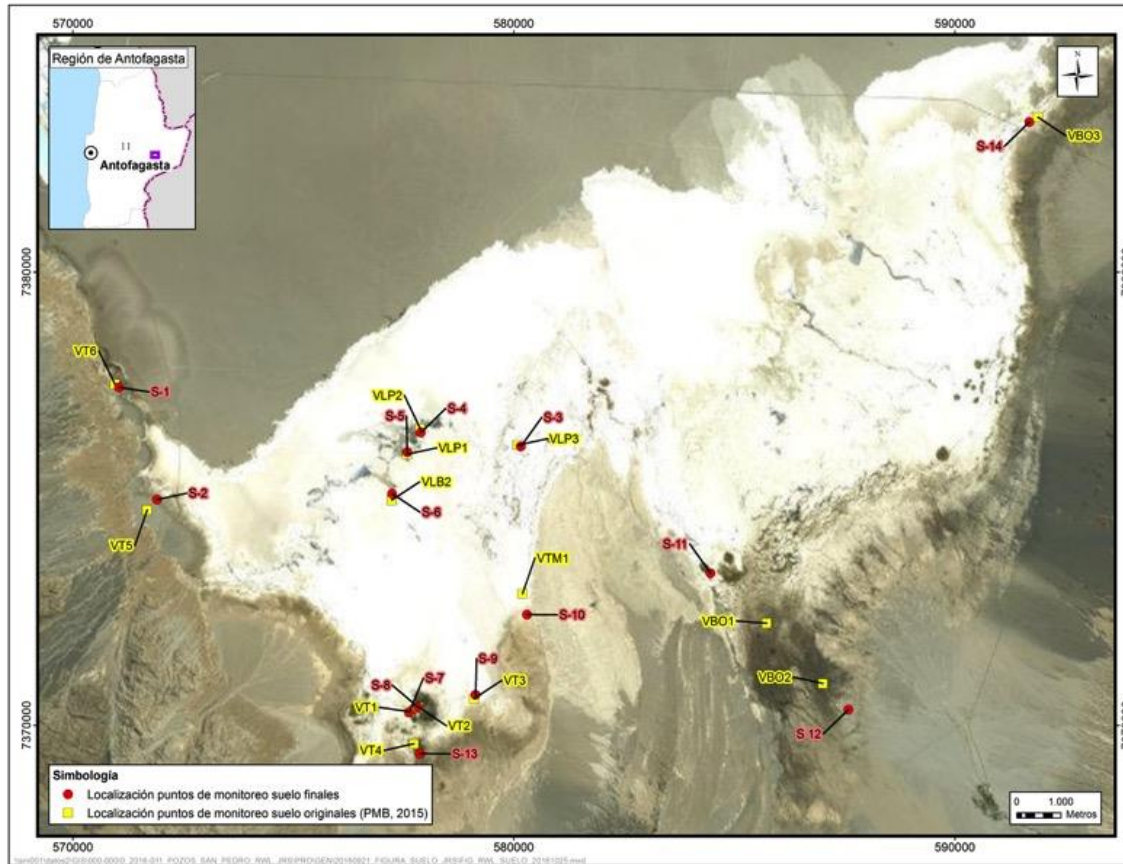
Tabla N° 8-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M10, puntos de muestreo suelo.

Sector	Código Original Punto Muestreo suelos (PMB, 2015)	ID punto de muestreo final suelos PMB ²⁵	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

²⁵ 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° 8-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración Propia

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

En la **Tabla N° 8-2**, se presentan los parámetros a caracterizar para evaluar el estado y evolución del componente suelo, de acuerdo con los compromisos adquiridos.

Tabla N° 8-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo

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

Parámetro	Unidad medida
Conductividad hidráulica (permeabilidad) ²⁶ k	cm/h
Textura	---
Salinidad ²⁶	mg/kg

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

8.1.4.1 Metodología in situ

En terreno, en cada uno de los puntos de muestreo, se realizan calicatas de una profundidad máxima de 70 cm (M9) y 73 cm (M10), 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 (**Fotografía N° 8-1**). 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.

²⁶ Corresponde a las sales solubles (cationes y aniones).

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.

8.1.4.2 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° 8-3**, se indican las metodologías utilizadas por los diferentes laboratorios para determinar los distintos parámetros evaluados en este subcomponente.

Tabla N° 8-3: Parámetros evaluados y método de análisis. Componente Suelo.

Parámetro	Laboratorio	Método de análisis
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ALS (ETFAs)	Soil and Land Survey Handbook, Method 4A 1: Electrical Conductivity, 1992.
pH	ALS (ETFAs)	Soil and Land Survey Handbook, Method 3A 1: Soil pH, 1992.
Materia orgánica (%)	ANAM (ETFAs)	MQC000059 rev. 4 Basado en TMEC

Parámetro	Laboratorio	Método de análisis
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° 8-4: Valores de Materia orgánica (%)

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

Fuente: Sierra y Rojas 1985

Tabla N° 8-5: 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° 8-6: Categorías de Salinidad.

Categoría	Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$
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° 8-7: 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° 8-8: 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° 8-9. 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° 8-10. 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

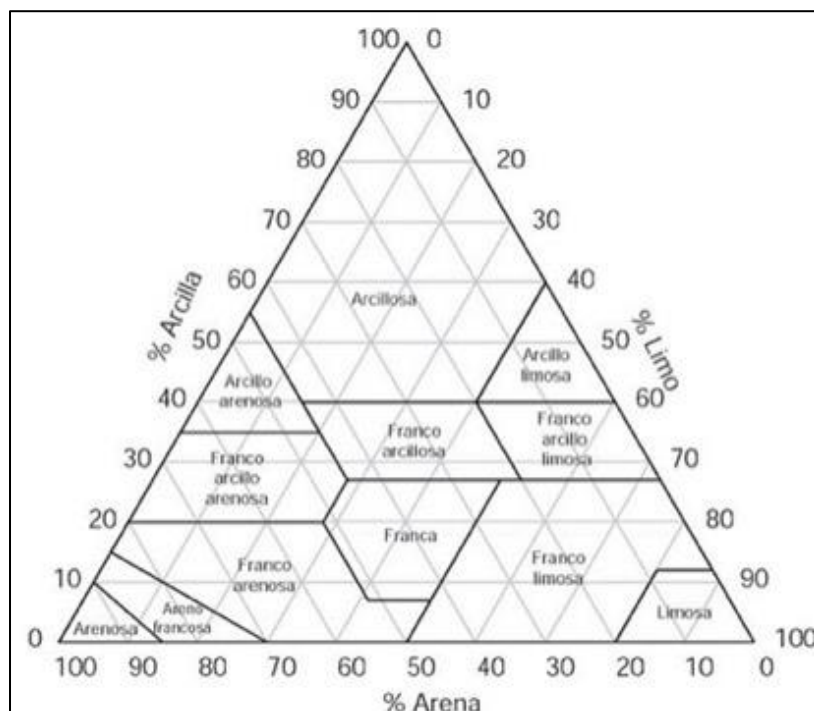
Tabla N° 8-11. Tamaño de partículas que determina la textura del suelo

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° 8-12. Clases texturales del suelo.



Fuente: Soil Survey Staff. 1993.

8.1.5 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° 8-1**)

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° 8-1. 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.

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

La campaña de invierno de suelos (Monitoreo 9), se realizó entre los días 01 al 08 de septiembre del 2020. 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 15 de septiembre del 2020.

La campaña de verano de suelos (Monitoreo 10), se realizó entre los días 13 al 19 de abril de 2021. 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 27 de abril de 2021.

8.2 RESULTADOS

8.2.1 Resultados campaña de invierno 2020

8.2.1.1 Caracterización suelos

La caracterización de los suelos en los diferentes puntos de muestreos se realiza considerando tanto información de terreno, como de los resultados obtenidos a través de los análisis de laboratorios. A continuación, se presenta una descripción de los suelos por sector para cada punto de muestreo.

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

a) Sector de Tilopozo

a-1) *Punto de Muestreo S 1 (VT6)*

Suelo de topografía ligeramente plana, con abundante pedregosidad superficial y vegetación que conforma manchones de *Distichlis spicata*, los que se presentan dispersos en forma heterogénea en el sector (**Fotografía N° 8-2**).

Fotografía N° 8-2. Vista general punto de muestreo S 1. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Este suelo (S1) presenta en superficie un horizonte salino arenoso y duro, cuya potencia es de 2 cm. Bajo éste se presenta otro horizonte (S1-1) de potencia de 10 cm (2 -12), de clase textural areno francosa, con una humedad que asciende a 4,04%, y con valores de NPK de 42, 1 y 253 mg/kg, es decir, categoría alta, muy baja y adecuado, respectivamente, de acuerdo con los rangos indicados previamente. Los datos y resultados se presentan en **Tabla N° 8-13**.

La materia orgánica para este estrato es baja (0,97%), la conductividad eléctrica es de 6.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo a un suelo salino, en este la concentración de sales solubles (salinidad) es de 33.525 mg/kg, el pH es ligeramente alcalino (8,7), presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (45,3 cm/h), ver **Tabla N° 8-13**.

En profundidad (12 - 45 cm) se presenta el estrato S1-2 de textura franco arenosa y con presencia de concreciones de arcilla (**Fotografía N° 8-3**).

), este presenta una humedad de 6,31%, donde el NPK se encuentra en valores de 88, 2 y 999 mg/kg, es decir, categoría muy alta, muy bajo y alto, respectivamente.

Estrato en el cual la materia orgánica es baja (1,07%), con un pH ligeramente alcalino (8,8), corresponde a un suelo muy salino (C.E. 9.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dado una concentración de sales solubles de 76.080 mg/kg (**Tabla N° 8-13**). La conductividad hidráulica (permeabilidad) del horizonte S1-2 es de 20,6 cm/h, lo que determina que la velocidad de infiltración del agua es alta (**Tabla N° 8-13**).

Tabla N° 8-13. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 1	S 1-1	S 1-2
Profundidad (cm)	0 - 2	2 - 12	12 – 45+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	6.830	9.200
MO (%)	---	0,97	1,07
pH	---	8,7	8,8
Salinidad (mg/kg)	---	33.525	76.080
N (mg/kg)	---	42	88
P (mg/kg)	---	1	2
K (mg/kg)	---	253	999
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	45,3	20,6
Humedad (%)	---	4,04	6,31
Textura	Areno salino	Areno francosa	Franco arenosa

Fotografía N° 8-3. Vista general perfil punto de muestreo S 1, Monitoreo invierno 2020.

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 presentando como dominante a la especie *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 8-4**).

Fotografía N° 8-4. Vista general punto de muestreo S 2. Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que presenta en superficie un estrato de textura arenosa con abundante presencia de sales y duro, entre los 0 a 1 cm, bajo este se presenta otro (S 2-1) de una potencia de 17 cm (1 - 18 cm), ver **Fotografía N° 8-5**, de clase textura franca, con una humedad que asciende a 12,19%, y con valores de NPK de 127, 12 y 27.065 mg/kg, es decir, categorías muy alta, media y alta, respectivamente.

Estrato en el cual la materia orgánica es normal (2,11%), extremadamente salino (C.E. 23.400 μ S/cm), con una concentración de sales solubles de 176.618 mg/kg, y pH ligeramente alcalino (8,7), presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 10,4 cm/h., lo que determina que la velocidad de infiltración del agua sea alta (**Tabla N° 8-14**). Bajo este se presenta un tercer estrato entre los 18 a 24 cm (S 2-1a) constituido exclusivamente por sales y extremadamente duro.

En profundidad se presenta un cuarto estrato (S 2-2) entre los 24 y 42 cm (**Fotografía N° 8-5**), de textura franca, con una humedad que asciende a 23,8%. Donde los valores de NPK determinados corresponden a 45, 7 y 3.486 mg/kg, equivalente a las categorías alta, baja y alta, respectivamente. Horizonte con un porcentaje de materia orgánica que alcanza a los 2,5% (normal), el pH es ligeramente alcalino (8,4), siendo un suelo muy salino (C.E. 10.350 μ S/cm) dado la concentración de sales solubles de 50.608 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 35,9 cm/h, correspondiendo a un suelo que presenta una velocidad de infiltración del agua alta.

Tabla N° 8-14. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 2	S 2-1	S 2-1a	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 18	18 - 24	24 - 42+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	23.400	---	10.350
MO (%)	---	2,11	---	2,5
pH	---	8,7	---	8,4
Salinidad (mg/kg)	---	176.618	---	50.608
N (mg/kg)	---	127	---	45
P (mg/kg)	---	12	---	7
K (mg/kg)	---	27.065	---	3.486
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	10,4	---	35,9
Humedad (%)	---	12,19	---	23,80
Textura	Arenoso	Franca	Sal	Franca

Fotografía N° 8-5. Vista general perfil punto de muestreo S 2, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

a-3) Punto de Muestreo S 7 (VT1)

Suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad superficial y la cobertura de la vegetación varía entre 25 y 50%, la cual se encuentra dominada por *Distichlis spicata* (Fotografía N° 8-6).

Fotografía N° 8-6. Vista general punto de muestreo S 7. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

El perfil de este suelo (S 7) está conformado en superficie por un estrato franco areno salino, duro, con abundantes raíces entre los 0 a 3 cm, bajo éste se presenta otro horizonte entre los 3 a 20 cm (S 7-1), ver **Fotografía N° 8-7**, de textura franca, con una humedad de 50,77%, y los macronutrientes (NPK) se presentan en valores de 94, 13 y 3.333 mg/kg., es decir, categorías muy alta, media y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (15,09%), con un pH ligeramente alcalino (8,6), correspondiendo a un suelo extremadamente salino (C.E. 16.720 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 45.198 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 82,8 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-15**).

Entre los 20 y 50 cm se presenta el estrato S 7-2, cuya clase textural es franca arcillosa (**Fotografía N° 8-7**), con una humedad de 46,01%. Los macronutrientes (NPK) presentan valores que ascienden a 137, 4 y 1.001 mg/kg., equivalente a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Mientras que, la materia orgánica es muy alta (5,48%), con un pH ligeramente alcalino (8,7), salino (C.E. 4.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que alcanza a 17.390 mg/kg, el cual se caracteriza por presentar una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta 35,3 (cm/h) (**Tabla N° 8-15**).

Tabla N° 8-15. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 7	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 20	20 – 50+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	16.720	4.350
MO (%)	---	15,09	5,48
pH	---	8,6	8,7
Salinidad (mg/kg)	---	45.198	17.390

Punto muestreo	S 7	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 3	3 - 20	20 – 50+
N (mg/kg)	---	94	137
P (mg/kg)	---	13	4
K (mg/kg)	---	3.333	1.001
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	82,8	26,5
Humedad (%)	---	50,77	46,01
Textura	Franco areno salino	Franca	Franco arcillosa

Fotografía N° 8-7. Vista general perfil punto de muestreo S 7, Monitoreo invierno 2020.



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, con nivel freático a los 19 cm. y una cobertura vegetal muy densa, destacando la presencia de *Juncus balticus*, *Schoenoplectus californicus* y en menor proporción *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 8-8**).

Fotografía N° 8-8. Vista general punto de muestreo S 8. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que entre los 0 a 8 cm presenta un estrato (S 8) conformado exclusivamente por raíces activas, bajo este y entre los 8 y 20 cm (S 8-1), se presenta otro constituido por abundantes raíces y restos vegetales con diversos grados de descomposición (**Fotografía N° 8-9**), de clase textura franco limosa, con una humedad de 60,11%, y el NPK se encuentra en valores que ascienden a 52, 131 y 1.300 mg/kg., es decir, categorías alta, muy alta y alta, respectivamente. El porcentaje de materia orgánica es muy alto (20,74%), determinada por la abundante presencia de restos vegetales como también raíces activas, el pH es moderadamente básico (8,1), correspondiendo a un suelo salino (7.210 $\mu\text{S}/\text{cm}$) determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 17.292 mg/kg., el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (67,7 cm/h), ver **Tabla N° 8-16**.

En profundidad, se presenta un tercer estrato (20 a 50 y más), de clase textura franco arcillosa, con abundante presencia de restos vegetales descompuestos y semi descompuestos de color pardo (**Fotografía N° 8-9**), con una humedad de un 58,47%, los nutrientes (NPK) presentan valores de 56, 55 y 806 mg/kg., es decir, categorías alta, muy alta y alta, respectivamente. Siendo la materia orgánica muy alta (10,1%), con un pH moderadamente básico (8,1), correspondiendo a un suelo no salinos (1.819 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 7.877 mg/kg, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 21,2 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua alta (**Tabla N° 8-16**).

Tabla N° 8-16. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 8	S 8-1	S 8-2
Profundidad (cm)	0 - 8	8 - 20	20 - 50+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	7.210	1.819
MO (%)	---	20,74	10,1
pH	---	8,1	8,1
Salinidad (mg/kg)	---	17.292	7.877
N (mg/kg)	---	52	56
P (mg/kg)	---	131	55
K (mg/kg)	---	1.300	806
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	67,7	21,2
Humedad (%)	---	60,11	58,47
Textura	Raíces	Franco limosa	Franca

Fotografía N° 8-9. Vista general perfil punto de muestreo S 8, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

a-5) Punto de Muestreo S 9 (VT3)

Suelo de topografía plana, que presenta en superficie una costra salina suelta. Sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, la vegetación presenta una cobertura muy escasa, la cual se encuentra dominada exclusivamente por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 8-10**) y con nivel freático a los 32 cm.

Fotografía N° 8-10. Vista general punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 18(24) cm se presenta un horizonte salino y suelto (S 9-0), desde los 18(24) a los 32 cm se presenta otro (S 9-1), de textura franco limosa (**Fotografía N° 8-11**), con una humedad que asciende a 62,41%, los macronutrientes, específicamente NPK se presenta en valores de 58, 19 y 3.715 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, medio y alto, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (3,71%), suelo que presenta un pH ligeramente alcalino (8,8), salino (7.870 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dado la concentración de sales solubles que alcanza a los 30.554 mg/kg. (**Tabla N° 8-17**). Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (22 cm/h).

En profundidad se un tercer horizonte (S 9-2), entre los 32 a 54 cm, cuya textura es franca (**Fotografía N° 8-11**), la humedad es de 42,58%, los macronutrientes (NPK) presentan valores de 61, 17 y 1.670 mg/kg, considerados muy alto, medio y alto, respectivamente. La materia orgánica es muy baja (<0,28%), el pH es ligeramente alcalino (8,9), suelo salino (4.880 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) determinado por una concentración de sales que asciende a 13.502 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 186 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-17**).

Tabla N° 8-17. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 9-0	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 18(24)	18(24) - 32	32 - 54 +
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	7.870	4.880
MO (%)	---	3,71	<0,28
pH	---	8,8	8,9
Salinidad (mg/kg)	---	30.554	13.502
N (mg/kg)	---	58	61

Punto muestreo	S 9-0	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 18(24)	18(24) - 32	32 - 54 +
P (mg/kg)	---	19	17
K (mg/kg)	---	3.715	1.670
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	22	186
Humedad (%)	---	62,41	42,58
Textura	Sal	Franco limosa	Franca

Fotografía N° 8-11. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

a-6) Punto de Muestreo S 13 (VT4)

Suelo de topografía suavemente inclinada, sin pedregosidad superficial y cobertura de la vegetación que varía entre 50 a 75% (poco densa), donde como especies dominantes se presentan *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* y con un nivel freático a los 30 cm.

Fotografía N° 8-12. Vista general punto de muestreo S 13. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta un horizonte salino entre los 0 a 1 cm (S 13-0), y entre los 1 a 19 cm se observa otro (S13-1) de textura franca (**Fotografía N° 8-13**), cuya humedad es de 30,94%, y los valores de NPK, corresponden a 37, 26 y 2.146 mg/kg. siendo medio, alto y alto, respectivamente. La materia orgánica es alta (2,67%), el pH del suelo es moderadamente básico (8,4), salino (C.E. 4.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto dado concentración de sales solubles, las cuales ascienden a 20.450 mg/kg, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta con una velocidad de infiltración del agua de 48,6 cm/h (**Tabla N° 8-18**).

Bajo los 19 cm y hasta los 44 existe un tercer horizonte (S 13-2), de textura franca limosa (**Fotografía N° 8-13**), con una humedad es de 32,85%, y los valores de los nutrientes, específicamente, NPK son 61, 4 y 1.932 mg/kg., considerados muy alto, muy bajo y alto, respectivamente. Suelo en el cual la materia orgánica es normal (2,54%), el pH es moderadamente básico (8,1), suelo salino (C.E. 3.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto dada la concentración de sales solubles que asciende a 8.230 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta, correspondiendo a una velocidad de infiltración del agua de 15,4 cm/h (**Tabla N° 8-18**).

Tabla N° 8-18. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 19	19 - 44+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	4.600	3.800
MO (%)	---	2,67	2,54
pH	---	8,4	8,1
Salinidad (mg/kg)	---	20.450	8.230

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 19	19 - 44+
N (mg/kg)	---	37	61
P (mg/kg)	---	26	4
K (mg/kg)	---	2.146	1.932
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	48,6	15,4
Humedad (%)	---	30,94	32,85
Textura	Sal	Franca	Franco limosa

Fotografía N° 8-13. Vista general perfil punto de muestreo S 13, Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

b) Sector La Punta-La Brava

b-1) *Punto de Muestreo S 3 (VLP3)*

Suelo de topografía plana, en superficie se presenta un horizonte salino y con vegetación asociada principalmente a cursos de agua permanentes, donde destacan *Juncus balticus*,

Distichlis spicata y *Sarcocornia fruticosa* (**Fotografía N° 8-14**). Con nivel freático a los 47 cm (**Fotografía N° 8-15**).

Fotografía N° 8-14. Vista general punto de muestreo S 3. Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

Perfil que en superficie presenta un horizonte (S 3-0) salino y suelo entre los 0 – 10 cm, luego entre los 10 a 30 cm, se presenta un segundo (S 3-1), de textura franca (**Fotografía N° 8-15**), con una humedad que alcanza a 68,03% y los valores de NPK son 40, 5 y 2.673 mg/kg, es decir, categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-19**). La materia orgánica es muy alta (6,73%), suelo muy salino (C.E. 9.610 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), donde la concentración de sales solubles asciende a 31.185 mg/kg, y el pH es medianamente básico (7,4), presentando una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 42,5 cm/h, lo que determina una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-19**).

Bajo el horizonte anterior se presenta otro (S 3-2) localizado entre los 30 a 63 cm y más (**Fotografía N° 8-15**), cuya textura es franca y con una humedad que asciende a 62,43%; en este horizonte el NPK se encuentra en valores de 38, 4 y 990 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-19**). Este horizonte presenta un porcentaje 3,56 de materia orgánica (muy alto), el pH es ligeramente alcalino (8,9), siendo un suelo ligeramente salino (C.E. 3.650 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 16.683 mg/kg y una conductividad hidráulica es de 7,5 cm/h, por lo que la permeabilidad del suelo es alta (**Tabla N° 8-19**).

Tabla N° 8-19. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 3-0	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 10	10 - 30	30 - 63+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	9.610	3.650

Punto muestreo	S 3-0	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 10	10 - 30	30 - 63+
MO (%)	---	6,73	3,56
pH	---	7,4	8,9
Salinidad (mg/kg)	---	31.185	16.683
N (mg/kg)	---	40	38
P (mg/kg)	---	5	4
K (mg/kg)	---	2.673	990
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	42,5	7,5
Humedad (%)	---	68,03	62,43
Textura	Sal	Franca	Franca

Fotografía N° 8-15. Vista general perfil punto de muestreo S 3, Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

b-2) Punto de Muestreo S 4 (VLP2)

Corresponde a un suelo de topografía plana y con escasa presencia de agua superficial, la cual ocupa de preferencia sectores deprimidos. La vegetación es muy escasa y está constituida por poblaciones de *Distichlis spicata*, las cuales se presentan dispersas en el área, con nivel freático a los 10 cm. (**Fotografía N° 8-16**).

Fotografía N° 8-16. Vista general punto de muestreo S 4, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Perfil conformado en superficie por un horizonte entre los 0 a 5 cm (S 4-0) constituido mayoritariamente por sal, suelto en superficie y extremadamente duro en profundidad (**Fotografía N° 8-17**). Entre los 5 a 12 cm se presenta un segundo horizonte (S 4-1) de clase textural franco arenosa con presencia de abundantes sales dispersas heterogéneamente, con una humedad de 34,6%, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 242,7 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta.

Los macronutrientes, específicamente, NPK se presenta en valores de 54, 5 y 1.311 mg/kg, es decir categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. En éste la materia orgánica es muy alta (7,74%), suelo de pH ligeramente alcalino (8,9), ligeramente salino (C.E. 2.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y con una concentración de sales solubles de 11.719 mg/kg (**Tabla N° 8-20**).

Entre los 12 a 22 cm se observa un horizonte (**Fotografía N° 8-17**) de textura franco arenosa (S 4-2), con una humedad que alcanza a 33.15% y con NPK disponible en valores de 46, 4 y 1.473 mg/kg, es decir, categoría alta, muy bajo y alta, respectivamente. Mientras que, la materia orgánica es muy alta (7,73%), suelo cuyo pH es ligeramente alcalino (8,9) y no salino (C.E. 1.993 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 13.307 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (31,3 cm/h) ver, **Tabla N° 8-20**.

Tabla N° 8-20. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 12	12 - 22+
C. E. (μ S/cm)	---	2.760	1.993
MO (%)	---	7,74	7,73
pH	---	8,9	8,9
Salinidad (mg/kg)	---	11.719	13.307
N (mg/kg)	---	54	46
P (mg/kg)	---	5	4
K (mg/kg)	---	1.311	1.473
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	242,7	31,3
Humedad (%)	---	34,60	33,15
Textura	Sal	Franco arenosa	Franco arenosa

Fotografía N° 8-17. Vista general perfil punto de muestreo S 4, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

b-3) Punto de Muestreo S 5 (VLP1)

Suelo de topografía plana, con presencia de abundante agua en superficie, en término vegetacionales corresponde a una zona desnuda, y sólo es posible observar poblaciones de *Distichlis spicata*, dispersas heterogéneamente en el área (**Fotografía N° 8-18**). Punto en el cual el nivel freático se presenta a los 19 cm de profundidad (**Fotografía N° 8-20**).

Fotografía N° 8-18. Vista general punto de muestreo S 5. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por un horizonte superficial de 0 a 7 cm (S 5-0), conformado principalmente por sales duro en superficie y suelto en profundidad (**Fotografía N° 8-19**), bajo este y hasta los 16 cm se presenta otro estrato (S 5-1) de clase textural franco arenoso, con una humedad que alcanza al 44,44%. Los macronutrientes nutrientes (NPK) se presentan en valores de 60, 35 y 3.794 mg/kg, es decir, categoría muy alta, muy alta y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (8,05%), pH ligeramente alcalino (8,5), muy salino (C.E. 9.220 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 32.284 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 109,5 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-21**).

Entre los 15 y 36 cm se presentan un horizonte franco arenoso (S 5-2), con una humedad de 39,79%, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 51,9 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta, el NPK se presenta en valores de 68, 5 y 2.330 mg/kg, es decir, muy alto, muy bajo y alto. Suelo en el cual la materia orgánica es alta (6,49%), con un pH ligeramente alcalino (8,5), salino (C.E. 4.170 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y una concentración de sales solubles de 19.882 mg/kg (**Tabla N° 8-21**).

Tabla N° 8-21. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0 – 7	7 - 16	15 - 36+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	9.220	4.170
MO (%)	---	8,05	6,49
pH	---	8,5	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	32.284	19.882

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0 – 7	7 - 16	15 - 36+
N (mg/kg)	---	60	68
P (mg/kg)	---	35	5
K (mg/kg)	---	3.794	2.330
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	109,5	51,9
Humedad (%)	---	44,44	39,79
Textura	Sal	Franco arenoso	Franco arenoso

Fotografía N° 8-19. Vista general perfil de suelo punto de muestreo S 5, Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N° 8-20. Vista general calicata punto de muestreo S 5, nivel freático a 19 cm. Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

b-4) Punto de Muestreo S 6 (VLB2)

Suelo de topografía plana sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, en términos vegetacionales corresponde a una zona denudada absoluta, el nivel freático se presenta a los 49 cm (**Fotografía N° 8-21**).

Fotografía N° 8-21. Vista general punto de muestreo S 6. Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

Suelo que se caracteriza por presentar en superficie un horizonte (S 6-0) entre los 0 a 12(14) cm, el cual está constituido por sales y limo, extremadamente duro, bajo este y entre los 12(14) a 31(33) cm, se presenta un segundo (S 6-0a) conformado exclusivamente por sales sin cohesión (**Fotografía N° 8-22**).

A partir de los 33 y hasta los 47 cm., se presenta un horizonte de clase textural franca (S 6-1), en este la humedad es de 56,2%, con valores de NPK que ascienden 83, 63 y 8.310 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (5,44%), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,5) y extremadamente salino (C.E. 30.160 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), con una concentración de sales solubles de 99.034 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 17,7 cm/h, es decir, que la velocidad de infiltración del agua es alta (**Tabla N° 8-22**).

Entre los 47 y 64 cm (**Fotografía N° 8-22**), se presenta un horizonte de clase textural franca arenosa (S 6-2) de estructura laminar, dura y con abundantes sales, en éste la humedad es de 70,37%, y los valores de los macronutrientes, específicamente NPK son 115, 13 y 4.595 mg/kg, es decir, categorías muy alta, media y alta, respectivamente.

Suelo con contenido de materia orgánica muy alta (10,21%), pH moderadamente básico (8,2), extremadamente salino (C.E. 19.810 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) y una concentración de sales solubles que asciende a 72.270 mg/kg, donde la conductividad hidráulica (permeabilidad) es alta (16,2 cm/h) ver, **Tabla N° 8-22**.

Tabla N° 8-22. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 6-0	S 6-0a	S 6-1	S 6-2
Profundidad (cm)	0 – 12(14)	12(14) – 31(33)	33 - 47	47 – 64+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---		30.160	19.810
MO (%)	---		5,44	10,21
pH	---		8,5	8,2
Salinidad (mg/kg)	---		99.034	72.270
N (mg/kg)	---		83	115
P (mg/kg)	---		63	13
K (mg/kg)	---		8.310	4.595
Conductividad hidráulica (cm/h)	---		17,7	16,2
Humedad (%)	---		56,20	70,37
Textura	Sal	Sal	Franca	Franco arenosa

Fotografía N° 8-22. Vista general perfil punto de muestreo S 6, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

c) Sector Peine

c-1) Punto de Muestreo S 10 (VTM1)

Suelo que presenta una topografía suavemente inclinada y con vegetación del tipo herbácea de una cobertura muy clara, la cual se encuentra dominada por *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 8-23**).

Fotografía N° 8-23. Vista general punto de muestreo S 10. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta una costra salina con abundante limo (S 10-0) entre los 0 a 14 cm (**Fotografía N° 8-24**) y extremadamente duro. Entre los 14 a 25 cm se observa un

segundo horizonte (S 10-1) de clase textural franco-arenosa con abundante presencia de sales dispersas, el contenido de humedad es de un 24,55%, donde los valores de NPK son 48, 25 y 2.494 mg/kg, es decir, categoría alta para estos tres macronutrientes.

Horizonte donde la materia orgánica es muy alta (3,67%), con pH ligeramente alcalino (8,9), extremadamente salino (C.E. 31.730 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) con una concentración de sales solubles de 60.113 mg/kg y conductividad hidráulica (permeabilidad) de 802,6 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración muy alta (**Tabla N° 8-23**).

Entre los 25 y 30 cm, se presenta un tercer horizonte (S 10-1a), conformado principalmente por sales asociada a arcilla y extremadamente duro.

Bajo el horizonte anterior existe un cuarto (S 10-2) entre los 30 y 56 cm (**Fotografía N° 8-24**), de clase textural arcillosa, en este la humedad es de 34,39%, con valores de los macronutrientes nutrientes, específicamente, NPK de 119, 10 y 4.548 mg/kg, es decir, categorías muy alta, baja y alta, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (3,6%), el pH es ligeramente alcalino (8,5), muy salino (C.E. 11.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 40.600 mg/kg, y con una conductividad hidráulica de 0,4 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua moderadamente alta (**Tabla N° 8-23**).

Tabla N° 8-23. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 10-0	S 10-1	S 10-1a	S 10-2
Profundidad (cm)	0 - 14	14 - 25	25 - 30	30 - 56+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	31.730	---	11.830
MO (%)	---	3,67	---	3,6
pH	---	8,9	---	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	60.113	---	40.600
N (mg/kg)	---	48	---	119
P (mg/kg)	---	25	---	10
K (mg/kg)	---	2.494	---	4.548
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	802,6	---	0,4
Humedad (%)	---	24,55	---	34,39
Textura	Sal	Franco arenosa	Salina	Arcillosa

Fotografía N° 8-24. Vista general perfil punto de muestreo S 10, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

c-2) Punto de Muestreo S 11 (VB01)

Terreno suavemente inclinado, sin pedregosidad superficial, con nivel freático a los 15 cm. y con una cobertura de la vegetación muy densa, correspondiendo ésta a una pradera dominada por *Distichlis spicata* y como acompañantes se presentan *Juncus balticus* y *Schoenoplectus californicus* (**Fotografía N° 8-25**).

Fotografía N° 8-25. Vista general punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por un horizonte superficial entre los 0 a 5 cm (S 11-0) conformado principalmente por raíces activas en matriz arcillosa (**Fotografía N° 8-26**), bajo este se presenta otro (S 11-1) entre los 5 a 25 cm, de clase textural franco limosa, con una humedad que alcanza al 60,1%, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 109,8 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-24**).

Horizonte en el cual los macronutrientes nutrientes (NPK) presentan valores de 34, 12 y 598 mg/kg, es decir, categorías medio, medio y adecuado, respectivamente. Suelo que presenta un porcentaje de materia orgánica muy alto (10,43), pH moderadamente básico (8,1), salino (C.E. 4.740 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), y con una concentración de sales solubles que asciende a 7.532 mg/kg (**Tabla N° 8-24**).

Entre los 25 a 50 cm se presenta un tercer horizonte (S11-2) cuya clase textural franco limosa (**Fotografía N° 8-26**), presentando una humedad de 60,77 %, la conductividad hidráulica (permeabilidad) es muy alta (67 cm/h), los macronutrientes (NPK) presentan valores de 55, 7 y 554 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, baja y adecuada, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (11,3%), el pH es ligeramente alcalino (8,2), suelo ligeramente salino (C.E. 3.240 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), determinada por una concentración de sales solubles de 11.235 mg/kg (**Tabla N° 8-24**).

Tabla N° 8-24. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 11-0	S 11-1	S 11-2
Profundidad (cm)	0 - 5	5 - 25	25 - 50+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	4.740	3.240
MO (%)	---	10,43	11,3
pH	---	8,1	8,2
Salinidad (mg/kg)	---	7.532	11.235
N (mg/kg)	---	34	55
P (mg/kg)	---	12	7
K (mg/kg)	---	598	554
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	109,8	67
Humedad (%)	--	60,01	60,77
Textura	Raíces	Franco limosa	Franco limosa

Fotografía N° 8-26. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2020.

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 es del tipo matorral de cobertura clara (25 a 50%), destacando como especies principal *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides* (**Fotografía N° 8-27**).

Fotografía N° 8-27. Vista general punto de muestreo S 12. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por una sucesión de horizontes de texturas gruesas (arenas), tanto en superficie como en profundidad (**Fotografía N° 8-28**). Entre los 0 -1 cm se presenta el primero de ellos, conformado por gravas y gravillas en matriz arenosa gruesa.

Luego entre los 1 a 35 cm, se presenta el segundo (S 12-1) conformado por sucesivas depositaciones de materiales medios y gruesos de textura dominante franco arenosa media, con una humedad de 8,01%, aquí los macronutrientes disponibles, específicamente, NPK se presentan en valores de 66, 14 y 1.128 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, media y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-25**). Suelos en donde la materia orgánica es muy alta (13,95%), con un pH ligeramente alcalino (8,5) y extremadamente salino (34.940 $\mu\text{S/cm}$.), esto determinado por una concentración de sales solubles de 113.082 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 82,5 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta.

Entre los 35 y 70 cm, se observa un tercer horizonte (S 12-2) de textura dominante franca, con una humedad de 13,35%, el NPK disponible se presenta en valores de 39, 17 y 1.388 mg/kg, equivalente a las categorías media, baja y alta, respectivamente. Suelo con materia orgánica alta (3,46%), pH ligeramente alcalino (8,6), extremadamente salino (C.E. 17.710 $\mu\text{S/cm}$), con una concentración de sales solubles de 79.578 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 120,3 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración muy alta (**Tabla N° 8-25**).

Tabla N° 8-25. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 12-0	S 12 - 1	S 12 - 2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 35	35 – 70+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	34.940	17.710
MO (%)	---	13,95	3,46
pH	---	8,5	8,6
Salinidad (mg/kg)	---	113.082	79.578
N (mg/kg)	---	66	39
P (mg/kg)	---	14	17
K (mg/kg)	---	1.128	1.388
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	82,5	120,3
Humedad (%)	---	8,01	13,35
Textura	Gravilla- arena	Franco arenosa	Franca

Fotografía N° 8-28. Vista general perfil punto de muestreo S 12, Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

c-4) Punto de Muestreo S 14 (VB03)

Terreno de topografía plana, que presenta en superficie un estrato salino, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial, con vegetación del tipo arbustiva herbácea, con un cubrimiento muy escaso y como dominantes se presentan *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata* (Fotografía N° 8-29), y nivel freático a los 23 cm. (Fotografía N° 8-30).

Fotografía N° 8-29. Vista general punto de muestreo S 14. Monitoreo invierno 2020.

Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 3(5) cm, se presenta un horizonte (S 14-0) conformado exclusivamente por sales conformando una costra dura (**Fotografía N° 8-30**). Bajo éste y entre los 3(5) a 24 cm, se presenta un segundo (S 14-1) de textura areno francosa, con una humedad de 33,32%, el NPK se presentan en valores que ascienden a 40, 3 y 381 mg/kg, es decir, categorías media, muy baja y adecuada, respectivamente. Suelo con materia orgánica normal 2,52%), pH ligeramente alcalino (8,9), salino (5.540 $\mu\text{S/cm}$.), determinado por concentración de sales solubles que ascienden a 18.045 mg/kg, la conductividad hidráulica (permeabilidad) es muy alta (452,1 cm/h), es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-26**).

Entre los 24 - 50 cm existe un tercer horizonte (S 14-2) de textura franca (**Fotografía N° 8-30**), donde la humedad es de 58,51%, los macronutrientes (NPK) presentan valores de 45, 3 y 923 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-26**). En este horizonte, la materia orgánica es muy alta (4,79%), el pH es moderadamente básico (8,2), salino (5.690 $\mu\text{S/cm}$) determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 22.166 mg/kg, aquí la conductividad hidráulica es muy alta (187,4 cm/h), es decir, una velocidad de infiltración alta (**Tabla N° 8-26**).

Tabla N° 8-26. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Monitoreo invierno 2020.

Punto muestreo	S 14-0	S 14-1	S 14-2
Profundidad (cm)	0 - 3(5)	3(5) - 24	24 - 50+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	5.540	5.690
MO (%)	---	2,52	4,79
pH	---	8,9	8,2
Salinidad (mg/kg)	---	18.045	22.166
N (mg/kg)	---	40	45
P (mg/kg)	---	3	3
K (mg/kg)	---	381	923
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	452,1	187,4
Humedad (%)	---	33,32	58,51
Textura	Sal	Areno francosa	Franca

Fotografía N° 8-30. Vista general perfil punto de muestreo S 14, Monitoreo invierno 2020.



Fuente: Elaboración Propia

8.2.2 Resultados campaña de verano 2021

8.2.2.1 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° 8-31**).

Fotografía N° 8-31. Vista general punto de muestreo S 1. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Este suelo presenta en superficie un horizonte (S 1-0) salino arenoso, duro y de una potencia de 9 cm.

Bajo el anterior se presenta un segundo (S 1-1) cuya potencia es de 19cm (9 - 28 cm) de textura franco arenosa (**Fotografía N° 8-32**) con una humedad que asciende a 8,45%, donde los valores de NPK son 57, 4 y 1.565 mg/kg, es decir, categorías alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-27**). La materia orgánica es alta (2,64%), con una conductividad eléctrica de 11.970 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo a un suelo muy salino, donde la concentración de sales solubles es de 44.549 mg/kg, el pH es ligeramente alcalino (8,8), con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 48,1 cm/h., lo que determina que la velocidad de infiltración del agua sea muy alta (**Tabla N° 8-27**).

Entre los 28 a 32 cm, se observa un tercer horizonte (S-1a) salino arenoso y extremadamente duro.

En profundidad (32 a 45 cm) se observa un cuarto horizonte (S 1-2), conformado por una sucesión de estratos salinos arenoso de 1 cm de potencia duro, intercalados con otros de textura franco arenosa y de 5 a 6 cm de potencia, la humedad asciende a 15,31%, en el cual el NPK se encuentra en valores de 110, 5 y 1.819 mg/kg, es decir, categorías muy alta, baja y alta, respectivamente. Horizonte que presenta un 28,22% de materia orgánica (muy alta), con un pH ligeramente alcalino (8,7), siendo éste un suelo muy salino (C.E. 11.950 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), y una concentración de 27.496 mg/kg. de sales solubles (**Tabla N° 8-27**).

La conductividad hidráulica (permeabilidad) de este horizonte es de 203 cm/h, lo que determina una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-27**).

Tabla N° 8-27. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Verano 2021.

Punto muestreo	S 1-0	S 1-1	S 1a	S 1-2
Profundidad (cm)	0 - 9	9 - 28	28 - 32	32 - 45+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	11.970	---	11.950
MO (%)	---	2,64	---	28,22
pH	---	8,8	---	8,7
Salinidad (mg/kg)	---	44.549	---	27.496
N (mg/kg)	---	57	---	110
P (mg/kg)	---	4	---	5
K (mg/kg)	---	1.565	---	1.819
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	48,1	---	203
Humedad (%)	---	8,45	---	15,31
Textura	Sal	Franco Arenosa	Arenoso	Franco Arenosa

Fotografía N° 8-32. Vista general perfil punto de muestreo S 1. Verano 2021.

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*, con escasa salinidad en superficie (**Fotografía N° 8-33**).

Fotografía N° 8-33. Vista general punto de muestreo S 2. Verano 2021.

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 1 a 20 cm, S 2-1) de textura franco arenosa, (**Fotografía N° 8-34**), de una humedad de 8,32%, y con valores de NPK de 83, 16 y 2.428 mg/kg, es decir, categorías muy alta, media y alta, respectivamente. Horizonte en el cual la materia orgánica es alta (2,89%), suelo muy salino (C.E. 10.020 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y con una concentración de sales solubles de 58.609 mg/kg, pH ligeramente alcalino (8,7) y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 24,9 cm/h, correspondiendo a una velocidad de infiltración alta (**Tabla N° 8-28**).

Entre los 20 a 29 cm, se presenta un horizonte salino arenoso extremadamente duro (S 2-1a), bajo el cual se presenta otro (S 2-2) entre los 29 a 49 cm, con una humedad que asciende a 17,76%, donde el NPK se encuentra en valores de 45, 4 y 2.251 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. Este horizonte presenta un porcentaje de materia orgánica de 3,37% (muy alto), el pH ligeramente alcalino (8,5), suelo salino (C.E. 7.309 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 39.215 mg/kg. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 17,76 cm/h, equivalente a un suelo que presenta una velocidad de infiltración del agua alta (**Tabla N° 8-28**).

Tabla N° 8-28. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Verano 2021.

Punto muestreo	S 2-0	S 2-1	S 2-1a	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 20	20 - 29	29 - 49+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	10.020	---	7.309
MO (%)	---	2,89	---	3,37
pH	---	8,7	---	8,5
Salinidad (mg/kg)	---	58.609	---	39.215

Punto muestreo	S 2-0	S 2-1	S 2-1a	S 2-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 20	20 - 29	29 – 49+
N (mg/kg)	---	83	---	45
P (mg/kg)	---	16	---	4
K (mg/kg)	---	2.428	---	2.251
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	24,9	---	15,1
Humedad (%)	---	8,32	---	17,76
Textura	Salina arenosa	Franco arenosa	Salina arenosa	Franca

Fotografía N° 8-34. Vista general perfil punto de muestreo S 2. Verano 2021.



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° 8-35**).

Fotografía N° 8-35. Vista general punto de muestreo S 7. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 11 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 11 y 30 cm (**Fotografía N° 8-36**), de textura franca, con una humedad de 47,33%, en el cual los macronutrientes (NPK) se presentan en valores que ascienden a 98, 11 y 3.622 mg/kg, es decir, categorías muy alta, media y alta. La materia orgánica es muy alta (12,1%), el pH es moderadamente básico (8,4), extremadamente salino (C.E. 16.390 μ S/cm), determinado por una concentración de sales que asciende a 86.013 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 144,4 cm/h, lo que determina una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-29**).

Entre los 30 a 48 cm, correspondiendo al horizonte S 7-2, de textura franco limosa (**Fotografía N° 8-36**), cuya humedad asciende a 57,9% y los nutrientes (NPK) presentan valores que ascienden a 73, 9 y 725 mg/kg, equivalente a las categorías muy alta, baja y adecuada, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (8,77%), el pH es ligeramente alcalino (8,8), suelo ligeramente salino (C.E. 2.509 μ S/cm.), y una concentración de sales solubles que alcanza los 9.856 mg/kg, el cual presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 48,9 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración muy alta (**Tabla N° 8-29**).

Tabla N° 8-29. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Verano 2021.

Punto muestreo	S 7-0	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 11	11 - 30	30 - 48+
C. E. (μ S/cm)	---	16.390	2.509
MO (%)	---	12,10	8,77
pH	---	8,4	8,8

Punto muestreo	S 7-0	S 7-1	S 7-2
Profundidad (cm)	0 - 11	11 - 30	30 – 48+
Salinidad (mg/kg)	---	86.013	9.856
N (mg/kg)	---	98	73
P (mg/kg)	---	11	9
K (mg/kg)	---	3.622	725
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	144,4	48,9
Humedad (%)	---	47,33	57,9
Textura	Sal	Franca	Franco limosa

Fotografía N° 8-36. Vista general perfil punto de muestreo S 7. Verano 2021.



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° 8-37**).

Fotografía N° 8-37. Vista general punto de muestreo S 8. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 8 cm., se observa un horizonte (S 8-0) constituidos exclusivamente por tallos, raíces y raicillas estas últimas activas, bajo éste y hasta los 23 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° 8-38**) en matriz franca, con una humedad de 74,19%, y el NPK se encuentran en valores que de 90, 147 y 1.576 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente.

La materia orgánica es muy alta (27,19%), la cual está determinada por una abundante presencia de restos vegetales. El pH es moderadamente básico (7,8), suelo salino (5.647 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), las sales solubles se presentan en una concentración de 20.786 mg/kg, suelo que presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 92,7 cm/h, equivalente a una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-30**).

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 54,29%, los nutrientes (NPK) presentan valores de 68, 23 y 1.003 mg/kg, es decir, categorías muy alta, alta y alta, respectivamente. Mientras que, la materia orgánica es muy alta (13,70%), suelo con un pH moderadamente básico (7,9), ligeramente salino (2.116 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 12.058 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 2,4 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración moderadamente alta (**Tabla N° 8-30**).

Tabla N° 8-30. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Verano 2021.

Punto muestreo	S 8-0	S 8-1	S 8-2
Profundidad (cm)	0 - 10	10 - 23	23 – 39+
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	---	5.647	2.116
MO (%)	---	27,19	13,70
pH	---	7,8	7,9
Salinidad (mg/kg)	---	20.786	12.058
N (mg/kg)	---	90	68
P (mg/kg)	---	147	23
K (mg/kg)	---	1.576	1.003
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	92,7	2,4
Humedad (%)	---	74,19	54,29
Textura	Raíces-Tallos	Franca	Franca

Fotografía N° 8-38. Vista general perfil punto de muestreo S 8. Verano 2021.

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 dominantes se presenta *Distichlis spicata* (**Fotografía N° 8-39**).

Fotografía N° 8-39. Vista general punto de muestreo S 9. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Entre los 0 a 14 cm, se observa un horizonte (S 9-0) conformado por sales, compactado en superficie y suelto en profundidad. Desde los 14 a 32 cm. se presenta otro horizonte (S 9-1) franco limoso (**Fotografía N° 8-40**), cuya humedad es de un 61,6%, y los macronutrientes, específicamente NPK se presentan en valores de 78, 19 y 1.737 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, media y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (7,64%), el pH es moderadamente básico (8,3), suelo ligeramente salino (3.629 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que alcanza a 18.933 mg/kg. (**Tabla N° 8-31**). La permeabilidad es alta, considerando que la velocidad de infiltración del agua es de 35,7cm/h.

En profundidad y entre los 32 y 42 cm, se presenta un tercer horizonte (S 9-2), de textura franca (**Fotografía N° 8-40**), con una humedad de 30%, los nutrientes (NPK) presentan valores de 65, 7 y 1.685 mg/kg, considerados muy alto, bajo y alto, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (4,0%), el pH es moderadamente básico (8,2), suelo ligeramente salino (2.791 $\mu\text{S}/\text{cm}$), las sales solubles se encuentran en una concentración de 13.840 mg/kg, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 324,6 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-31**).

Tabla N° 8-31. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Verano 2021.

Punto muestreo	S 9-0	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 14	14 - 32	32 - 42+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	3.629	2.791
MO (%)	---	7,64	4,00
pH	---	8,3	8,2
Salinidad (mg/kg)	---	18.933	13.840

Punto muestreo	S 9-0	S 9-1	S 9-2
Profundidad (cm)	0 - 14	14 - 32	32 - 42+
N (mg/kg)	---	78	65
P (mg/kg)	---	19	7
K (mg/kg)	---	1.737	1.685
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	35,7	324,6
Humedad (%)	---	61,6	30,0
Textura	Sal	Franco limoso	Franca

Fotografía N° 8-40. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Verano 2021.



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° 8-41**).

Fotografía N° 8-41. Vista general punto de muestreo S 13. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que entre los 0 y 2 cm., presenta un horizonte (S 13-0) arenoso con abundantes sales y duro. A partir de los 2 hasta los 8 cm, existe un segundo (S 13-1) de clase textural franca (**Fotografía N° 8-42**), con una humedad de 27,32%, y los macronutrientes (NPK), se presentan en valores de 49, 26 y 1.493 mg/kg, correspondiendo a la categoría alta para todos. La materia orgánica es alta (4,64%), el pH del suelo es moderadamente básico (8,1), ligeramente salino (C.E. 3.044 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), la concentración de sales solubles presentes asciende a 10.969 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (40 cm/h), ver **Tabla N° 8-32**.

Entre los 8 a 44 cm existe otro horizonte (S 13-2) de textura franco limosa (**Fotografía N° 8-42**), en el cual la humedad es de 29,46%, y los valores de los macronutrientes, específicamente NPK son 45, 8 y 1.214 mg/kg, siendo las categorías alta, baja y alta, respectivamente. Suelo en el cual, la materia orgánica es muy alta (4,87%), el pH es moderadamente básico (8,1), ligeramente salino (C.E. 2.820 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) y con una concentración de sales solubles que alcanza a 4.442 mg/kg.

Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta, dado la velocidad de infiltración del agua, la cual es de 160,5 cm/h (**Tabla N° 8-32**).

Tabla N° 8-32. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Verano 2021.

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 2	2 - 8	8 - 44+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	3.044	2.820
MO (%)	---	4,64	4,87
pH	---	8,2	8,1

Punto muestreo	S 13-0	S 13-1	S 13-2
Profundidad (cm)	0 - 2	2 - 8	8 - 44+
Salinidad (mg/kg)	---	10.969	4.442
N (mg/kg)	---	49	45
P (mg/kg)	---	26	8
K (mg/kg)	---	1.493	1.214
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	40,0	160,5
Humedad (%)	---	27,32	29,46
Textura	Sal	Franca	Franco limosa

Fotografía N° 8-42. Vista general perfil punto de muestreo S 13. Verano 2021.



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° 8-43**). El nivel freático se encuentra a los 30 cm (**Fotografía N° 8-44**).

Fotografía N° 8-43. Vista general punto de muestreo 3 (S 3). Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que entre los 0 a 9 cm., presenta un horizonte (S 3-0) constituido exclusivamente por sales sin cohesión.

Entre los 9 a 30 cm, existe un segundo horizonte (S 3-1), de textura franca con abundante presencia de sales (**Fotografía N° 8-44**), suelos con una humedad que alcanza a 56,19%, en el cual el NPK es de 44, 4 y 1.404 mg/kg, equivalente a las categorías alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-33**). La materia orgánica es alta (7,41%), suelo salino (C.E. 4.082 $\mu\text{S}/\text{cm}$), donde la concentración de sales solubles es de 17.241 mg/kg, con un pH ligeramente alcalino (8,5) y presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) muy alta (44,0 cm/h (**Tabla N° 8-33**)).

Bajo el horizonte anterior se presenta otro (S 3-2) y situado entre los 30 a 65 cm (**Fotografía N° 8-44**), de textura franca, cuya humedad asciende a 44,64%; en este horizonte el NPK se encuentra en valores de 52, 2 y 1.070 mg/kg, correspondiendo a las categorías alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-33**).

Este horizonte presenta un 4,77% de materia orgánica (muy alta), el pH es moderadamente básico (7,9), siendo un suelo salino (C.E. 5.083 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles de 16.796 mg/kg, y presenta una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (7,8 cm/h), ver **Tabla N° 8-33**.

Tabla N° 8-33. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Verano 2021.

Punto muestreo	S 3-0	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 9	9 - 30	30 – 65+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	4.082	5.083
MO (%)	---	7,41	4,77

Punto muestreo	S 3-0	S 3-1	S 3-2
Profundidad (cm)	0 - 9	9 - 30	30 – 65+
pH	---	8,5	7,9
Salinidad (mg/kg)	---	17.241	16.796
N (mg/kg)	---	44	52
P (mg/kg)	---	4	2
K (mg/kg)	---	1.404	1.070
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	44,0	7,8
Humedad (%)	---	56,19	44,64
Textura	Sal	Franca	Franca

Fotografía N° 8-44. Vista general perfil punto de muestreo S 3. Verano 2021.



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 24 cm (**Fotografía N° 8-45**).

Fotografía N° 8-45. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2021.

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° 8-46**).

Entre los 1 a 21 cm se presenta otro (S 4-1), franco arenoso, con una humedad de 26,01%, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 1.188,2 cm/h, es decir, que la velocidad de infiltración del agua es muy alta. El NPK se presenta en valores de 55, 3 y 1.602 mg/kg, es decir, categorías alta, muy baja y alta, respectivamente. En éste, la materia orgánica es muy alta (7,78 %), el pH del suelo es ligeramente alcalino (8,9), ligeramente salino (C.E. 2.930 μ S/cm), y con una concentración de sales solubles de 13.176 mg/kg (**Tabla N° 8-34**).

Entre los 21 cm a 31 cm (**Fotografía N° 8-46**), se observa un tercer horizonte (S 4-2) de clase textural franco arenosa, cuya humedad asciende a 32,27% y el NPK presenta valores de 60, 3 y 2.026 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. Mientras que, la materia orgánica es muy alta (10,19%), con un pH ligeramente alcalino (8,8), suelo ligeramente salino (C.E. 2.830 μ S/cm), la concentración de sales solubles es de 15.566 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 4,6 cm/h., es decir, que la velocidad de infiltración del agua es alta (**Tabla N° 8-34**).

Tabla N° 8-34. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Verano 2021.

Punto muestreo	S 4-0	S 4-1	S 4-2
Profundidad (cm)	0 - 1	1 - 21	21 – 31+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	2.930	2.830
MO (%)	---	7,78	10,19
pH	---	8,9	8,8
Salinidad (mg/kg)	---	13.176	15.566
N (mg/kg)	---	55	60
P (mg/kg)	---	3	3
K (mg/kg)	---	1.602	2.026
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	1.188,2	4,6
Humedad (%)	---	26,01	32,27
Textura	Sal	Franco arenosa	Franco arenosa

Fotografía N° 8-46. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2021.

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° 8-47**) y el nivel freático se presenta a 8 cm de profundidad.

Fotografía N° 8-47. Vista general punto de muestreo S 5. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo constituido por un horizonte superficial (S 5-0) entre los 0 a 1 cm (**Fotografía N° 8-48**), bajo este se presenta un segundo (1 a 8 cm, S 5-1) de textura arenosa y con una humedad que alcanza al 28,19%. Los nutrientes (NPK) se presentan en valores de 65, 5 y 2.506 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (9,63%), con un pH ligeramente alcalino (8,5), correspondiendo a un suelo salino (C.E. 5.294 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 25.488 mg/kg. y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 179,4 cm/h, es decir, muy alta (**Tabla N° 8-35**).

Entre los 8 y 38 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 24,45%. Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 468,3 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración muy alta. El NPK se presenta valores de 68, 7 y 1.772 mg/kg, es decir, categorías muy alta, baja y alta. El porcentaje de materia orgánica es de 1,63, es decir, categoría baja, el pH es alcalino (9,1), suelo no salino (C.E. 1.924 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y con una concentración de sales solubles que asciende a 8.170 mg/kg. (**Tabla N° 8-35**).

Tabla N° 8-35. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Verano 2021.

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0-1	1 - 8	8 - 38
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	5.294	1.924
MO (%)	---	9,63	1,63
pH	---	8,5	9,1
Salinidad (mg/kg)	---	25.488	8.170
N (mg/kg)	---	65	68

Punto muestreo	S 5-0	S 5-1	S 5-2
Profundidad (cm)	0-1	1 - 8	8 - 38
P (mg/kg)	---	5	7
K (mg/kg)	---	2.506	1.772
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	179,4	468,3
Humedad (%)	---	28,19	24,45
Textura	Sal	Arenosa	Areno Francosa

Fotografía N° 8-48. Vista general perfil punto de muestreo S 5. Verano 2021.



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 desnuda) y con nivel freático a los 36(48) cm (**Fotografía N° 8-49**).

Fotografía N° 8-49. Vista general punto de muestreo S 6. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que en superficie presenta una costra salina entre los 0 a 19(24) cm, dura en superficie (0 – 9(14) cm, S 6-0) y suelta (9(14) a 19(24) cm, S 6-0a) en profundidad (**Fotografía N° 8-50**). A partir de los 24 y hasta los 49 cm se presenta un tercer horizonte (S 6-1), de textura franca, extremadamente dura y laminar, en el cual la humedad es de 37,87%, y los valores de NPK, son 114, 298 y 3.571 mg/kg, es decir, categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (6,0%), el pH es ligeramente alcalino (8,5), suelo muy salino (C.E. 12.040 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles es de 64.672 mg/kg y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 236,1 cm/h, es decir, la velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-36**).

Bajo los 49 y hasta los 73 cm (**Fotografía N° 8-50**) se presenta un cuarto horizonte (S 6-2), de textura franca, en el cual la humedad es de 80,1%, y los valores de los macronutrientes, específicamente, NPK son 94, 79 y 3.472 mg/kg, es decir corresponde a las categorías muy alta, muy alta y alta, respectivamente. Suelo en el cual la materia orgánica es muy alta (11,72%), el pH es moderadamente básico (7,8), salino (C.E. 4.041 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una concentración de sales solubles que asciende a 26.957 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 21,6 cm/h, lo que determina que la velocidad de infiltración del agua sea alta (**Tabla N° 8-36**).

Tabla N° 8-36. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Verano 2021.

Punto muestreo	S 6-0	S 6-0a	S 6-1	S 6-2
Profundidad (cm)	0 - 9(14)	9(14) - 19(24)	24 - 49	49 – 73+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	---	12.040	4.041
MO (%)	---	---	6,00	11,72
pH	---	---	8,5	7,8
Salinidad (mg/kg)	---	---	64.672	26.957
N (mg/kg)	---	---	114	94
P (mg/kg)	---	---	298	79
K (mg/kg)	---	---	3.571	3.472
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	---	236,1	21,6
Humedad (%)	---	---	37,87	80,1
Textura	Sal	Salino	Franca	Franca

Fotografía N° 8-50. Vista general perfil punto de muestreo S 6. Verano 2021.

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° 8-51).

Fotografía N° 8-51. Vista general punto de muestreo S 10. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Suelo que presenta como primer horizonte (S 10-0) una costra salina entre los 0 a 14 cm (**Fotografía N° 8-52**), extremadamente dura.

A partir de los 14 a los 26 cm, se presenta otro horizonte (S 10-1) de textura franco arenosa, con presencia de abundantes sales con distintos grados de compactación, éste presenta una humedad de 19,97%, y los valores de NPK son 87, 30 y 2.356 mg/kg, es decir, categorías muy alta, alta y alta, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (4,83%), el pH es ligeramente alcalino (8,9), suelo muy salino (C.E. 10.410 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que alcanza a 92.920 mg/kg. Suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 90,3 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-37**).

Bajo los 26 y hasta los 50 cm (**Fotografía N° 8-52**), se observa un horizonte (S 10-2) de textura franco arcillo limosa, en el cual la humedad es de 32,77%, y los valores de los nutrientes, específicamente, NPK son 128, 11 y 4.353 mg/kg, es decir, categoría muy alta, media y alta, respectivamente. Suelo con materia orgánica muy alta (5,31%), pH ligeramente alcalino (8,6) y muy salino (C.E. 10.220 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dado la concentración de sales solubles que asciende a 40.069 mg/kg, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) alta (18,6 cm/h), ver **Tabla N° 8-37**.

Tabla N° 8-37. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Verano 2021.

Punto muestreo	S 10-0	S 10-1	S 10-2
Profundidad (cm)	0 - 14	14 - 26	26 – 50+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	10.410	10.220
MO (%)	---	4,83	5,31
pH	---	8,9	8,6
Salinidad (mg/kg)	---	92.920	40.069
N (mg/kg)	---	87	128
P (mg/kg)	---	30	11
K (mg/kg)	---	2.356	4.353
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	90,3	18,6
Humedad (%)	---	19,97	32,77
Textura	Sal	Franco arenosa	Franco Arcillo Limosa

Fotografía N° 8-52. Vista general perfil punto de muestreo S 10. Verano 2021.

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 19 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° 8-53**).

Fotografía N° 8-53. Vista general punto de muestreo S 11. Verano 2021.

Fuente: Elaboración Propia

Perfil conformado por un horizonte superficial (S 11-0) entre los 0 a 13 cm (**Fotografía N° 8-54**), conformados exclusivamente por raíces y tallos activos en matriz arcillosa. Bajo éste se presenta otros (S 11-1) de textura franco arcillosa con abundantes raíces, la humedad alcanza el 60,49%, y con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 111,4 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-38**).

Los macronutrientes (NPK) se presentan en valores de 44, 13 y 415 mg/kg, equivalente a las categorías alta, media y adecuada, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (10,73%), con un pH moderadamente básico (7,9), suelo no salino (C.E. 1.255 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y una concentración de sales que asciende a 6.211 mg/kg (**Tabla N° 8-38**).

Entre los 33 y 49 cm (**Fotografía N° 8-54**) se presentan un tercer horizonte (S 11-2) de textura arcillosa, en el cual la humedad es de 57,96%, con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 78,8 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta. Los macronutrientes, principalmente, el NPK se presenta en valores de 45, 7 y 658 mg/kg, equivalente a las categoría alta, baja y adecuada, respectivamente. Suelo donde la materia orgánica es muy alta (10,12%), pH medianamente básico (7,8), no salino (C.E. 1.384 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), dado la concentración de sales solubles que alcanza a los 6.707 mg/kg (**Tabla N° 8-38**).

Tabla N° 8-38. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Verano 2021.

Punto muestreo	S 11-0	S 11-1	S 11-2
Profundidad (cm)	0 - 13	13 - 33	33 - 49+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	1.255	1.384
MO (%)	---	10,73	10,12
pH	---	7,9	7,8
Salinidad (mg/kg)	---	6.211	6.707
N (mg/kg)	---	44	45
P (mg/kg)	---	13	7
K (mg/kg)	---	415	658
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	111,4	78,8
Humedad (%)	---	60,49	57,96
Textura	Raíces-Tallos	Franco arcillosa	Arcillosa

Fotografía N° 8-54. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Verano 2021.

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%), y con *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides* como especies dominantes (**Fotografía N° 8-55**).

Fotografía N° 8-55. Vista general punto de muestreo S 12. Verano 2021.

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° 8-56**).

Entre los 0 a 2 cm, se observa un horizonte (S 12-0) de textura arenosa y compactado en superficie.

Un segundo horizonte (S 12-1) se presenta entre los 2 a 28 cm conformado por sucesivas depositaciones de materiales con dominancia de textura gruesas (franca arenosa), con una humedad de 1,28%, el NPK disponible son 64, 11 y 1.952 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, medio y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-39**). Suelos con materia orgánica muy alta (5,22%), pH moderadamente básico (8,2), suelo extremadamente salino (19.690 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dado por una concentración de 124.862 mg/kg de sales solubles. La conductividad hidráulica (permeabilidad) es de 17,9 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración alta.

Entre los 28 a 55 cm, se observa un tercer horizonte (S 12-2) de textura franco arenosa, en el cual la humedad es de 4,6%, aquí los macronutrientes, específicamente NPK disponible se presentan en valores de 43, 12 y 677 mg/kg, correspondiendo a las categorías alto, media y adecuada, respectivamente. Suelo con materia orgánica alta (2,57%), pH ligeramente alcalino (8,7) y muy salino (C.E. 10.240 $\mu\text{S}/\text{cm}$) determinado por una concentración de sal de 75.817 mg/kg, y una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 28,4 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua alta (**Tabla N° 8-39**).

Tabla N° 8-39. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Verano 2021.

Punto muestreo	S 12-0	S 12-1	S 12-2
Profundidad (cm)	0 - 2	2 - 28	28 – 55+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	19.690	10.240
MO (%)	---	5,22	2,57
pH	---	8,2	8,7
Salinidad (mg/kg)	---	124.862	75.817
N (mg/kg)	---	64	43
P (mg/kg)	---	11	12
K (mg/kg)	---	1.952	677
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	17,9	28,4
Humedad (%)	---	1,28	4,6
Textura	Arenoso	Franco Arenosa	Franco Arenosa

Fotografía N° 8-56. Vista general perfil punto de muestreo S 12. Verano 2021.

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° 8-57**) y con nivel freático a los 40(54) cm (**Fotografía N° 8-58**).

Fotografía N° 8-57. Vista general punto de muestreo S 14. Verano 2021.



Fuente: Elaboración Propia

En superficie se presenta un horizonte (S 14-0) entre los 0 a 2 (14) cm (S 14-1), constituido exclusivamente por sales y extremadamente duro.

Bajo el horizonte anterior y entre 2(14) a 24 (38) cm, se presenta otro (S 14-1) de textura franco arenosa con presencia de abundantes sales y sin cohesión (**Fotografía N° 8-58**), en el cual la humedad es de 26,71%, el NPK se presenta en valores de 38, 1 y 224 mg/kg, correspondiendo a las categorías media, muy baja y adecuada, respectivamente. La materia orgánica es muy alta (4,32%), el pH es ligeramente alcalino (8,5), correspondiendo a un suelo salino (4.542 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto dado la concentración de sales solubles que asciende a 7.886 mg/kg, suelo con una conductividad hidráulica (permeabilidad) de 653,0 cm/h., es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-40**).

Entre los 24(38) a 41(55) cm, se puede definir un tercer horizonte (S 14-2) de textura franco limosa (**Fotografía N° 8-58**), en donde la humedad es de 54,03% y los macronutrientes nutrientes (NPK) presentan valores de 144, 3 y 1.696 mg/kg, correspondiendo a las categorías muy alta, muy baja y alta, respectivamente (**Tabla N° 8-40**).

Suelo donde la materia orgánica es muy alta (6,77%), pH moderadamente básico (8,1), ligeramente salino (3.466 $\mu\text{S}/\text{cm}$), determinado por una concentración de sales solubles que asciende a 18.544 mg/kg, la conductividad hidráulica (permeabilidad) de 58,2 cm/h, es decir, una velocidad de infiltración del agua muy alta (**Tabla N° 8-40**).

Tabla N° 8-40. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Verano 2021.

Punto muestreo	S 14-0	S 14-1	S 14-2
Profundidad (cm)	0 - 2(14)	2(14) - 24(38)	24(38) - 41(55)+
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	---	4.542	3.466
MO (%)	---	4,32	6,77
pH	---	8,5	8,1
Salinidad (mg/kg)	---	7.886	18.544
N (mg/kg)	---	38	144
P (mg/kg)	---	1	3
K (mg/kg)	---	224	1.696
Conductividad hidráulica (cm/h)	---	653,0	58,2
Humedad (%)	---	26,71	54,03
Textura	Sal	Franco Arenosa	Franco Limosa

Fotografía N° 8-58. Vista general perfil punto de muestreo S 14. Verano, 2021.

Fuente: Elaboración Propia

8.2.3 Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato

En la RCA 21/2016 del proyecto, quedaron establecidos dentro del Plan de Seguimiento, como Niveles o Límites comprometidos 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.

9 LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos de invierno 2020 y verano de 2021, 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 2020, el que se desarrolló en terreno entre los días 15 y 17 de septiembre de 2020, como a los resultados del monitoreo semestral de verano, realizado entre el 06 y 08 de abril de 2021. 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.

9.1 MATERIALES Y MÉTODOS

9.1.1 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° 9-1**).

9.1.2 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° 9-1** y su ubicación en **Figura N° 9-1**.

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 y N°3 del PMB.

Tabla N° 9-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2020 y verano 2021.

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

* 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.

** 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 (Ver **Fotografía N° 9-1**).

***Estación Voluntaria.

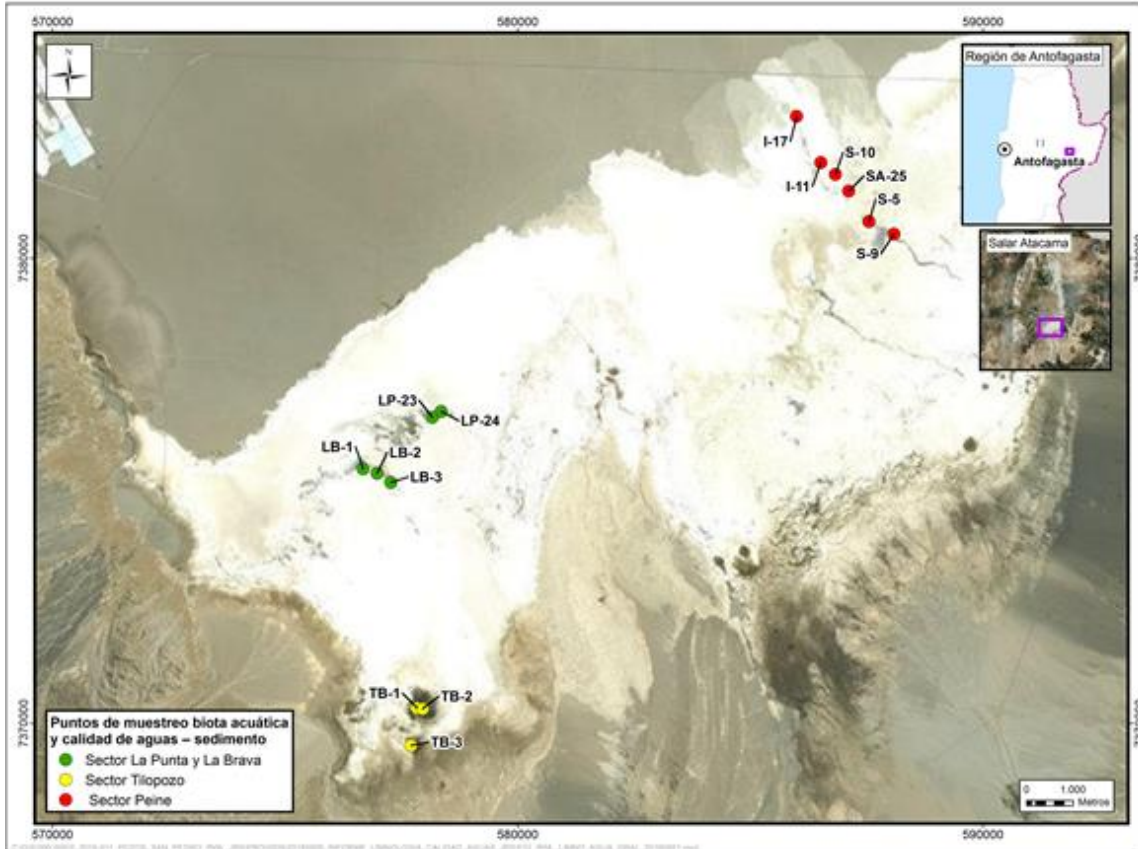
****En la campaña verano 2021, no pudo ser realizado el monitoreo en el Sector Peine (lagunas), ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine. Anexo Cartas Prohibición (ver **Anexo Cartas Prohibición**

Acceso Peine -Verano 2021)

Fuente: Elaboración propia.

Se destacan en negrita en la **Tabla N° 9-1**, 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° 9-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 9-1. 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.

9.1.3 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’).

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

9.1.4.1 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 2020 y verano 2021, 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 en frascos apropiados para su transporte (según serie de normas NCh 411 para el muestreo de aguas crudas y residuales), los cuales son proporcionados por el laboratorio de análisis junto a los fijadores respectivos para las muestras que lo requirieren. 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 sean 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 contenedores específicos para ello en cada una de las estaciones evaluadas, cuidando de no contaminar la muestra con agentes externos. Estas muestras son debidamente etiquetadas, almacenadas y transportadas hasta su posterior análisis en el laboratorio, procurando no realizar contaminación cruzada entre las distintas muestras (según serie de normas NCh 411 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° 9-2**.

Tabla N° 9-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Temperatura	°C	SM 2550 B
pH	pH	ME-029-2007
Conductividad específica	μS/cm	SM 2510B (2005)
Salinidad	gr/Kg	SM 2510B (2012)
Turbiedad	UNT	ME-03-2007
Oxígeno disuelto	mg/L	Potenciométrico
Clorofila "a" (Fitoplancton)	ug/L	SM 10200-H2c (2012)
Clorofila "a" (Perifiton)	mg chl-a/m ²	SM 10300-C7 (2012)
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320B (2012)
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320B (2012)
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320B (2005)
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320B (2005)
Cloruro (Cl)	mg/L	ME-28-2007

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	ME-16-2007
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	ME-17-2007
Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	mg/L	SM 4500-NH3 F (2005)
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	SM 4500-Norg B-C
Fósforo Total	mg/L	SM 4500-P E(2005)
Ortofosfato	mgP/L	SM 4500-P E (2005)
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	EPA 375.4 (1978)
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	SM 5220B (2005)

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° 9-3**.

Tabla N° 9-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	TMECC 05,07
Fosforo Total (P)	mg/Kg	SM3120B
Materia Orgánica	%	TMECC 05,07
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	INIA 2000
Potencial Redox	mV	SM 2580B

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° 9-4** 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° 9-4. 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)

9.1.4.2 Metodología de muestreo flora y fauna acuática

El muestreo de flora y fauna acuática se realiza utilizando como referencia dos documentos internacionales de metodologías, debido a 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” perteneciente al ministerio de Medio Ambiente de España 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° 9-5**.

Tabla N° 9-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.

Componente	Metodología	
	APHA ¹	DMA ²
Fitoplancton	SM10200C / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Fitoplancton
Fitobentos	SM10300B / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Microalgas Bentónicas
Zooplancton	SM10200B / SM10200G	Protocolo de muestreo y análisis para Zooplancton
Zoobentos	SM10500B / SM10500C	Protocolo de muestreo y análisis para macroinvertebrados bentónicos
Macrófitas	SM10400B / SM10400C	Protocolo de muestreo y análisis para plantas vasculares acuáticas

¹ APHA: Standard Methods (2012), ² DMA: Directiva Marco del Agua (2005).

Para llevar a cabo el muestreo de flora y fauna acuática, se contó con la autorización de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura a través RES. EXT. N°159/2018. 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°5.

El muestreo fue realizado por especialistas de **Limnológica Estudios Ambientales EIRL.**, autorizada para llevar a cabo actividades de pesca de investigación de recursos hidrobiológicos en el área de estudio. A continuación, se describen las metodologías particulares usadas para cada una de las comunidades.

- **Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas):** En cada punto de seguimiento (n=3), se identificó visualmente las plantas vasculares y se estimó la abundancia relativa o cobertura (%) de cada especie o grupo de especies utilizando un cuadrante de 50X50 cm. Las plantas que no fue posible identificar *in situ* fueron herborizadas y transportadas a laboratorio, y enviadas a especialistas botánicos para su posterior identificación. Se clasificaron las plantas acuáticas en base a la bibliografía disponible: Pereira & Parra (1984), Ramírez et al (1982), Vila et al. 2006 y Rodríguez & Dellarossa 1998.
- **Fitobentos:** La estimación de la riqueza y abundancia de la flora bentónica (fitobentos), se realizó mediante el recuento bajo microscopio óptico. Se obtuvo 2 muestras representativas, desde los primeros centímetros del sedimento, tomando 1 mm³ por muestra con una jeringa-core de 5 mL. El método de análisis consistió en obtener alícuotas de dichas muestras para preparaciones microscópicas, las cuales fueron analizadas en relación con la riqueza taxonómica y recuento de microalgas presentes (Wetzel&Likens, 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitobentos se realizaron utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).
- **Fitoplancton:** La obtención de muestras fitoplanctónicas se hizo semestralmente en duplicado, colectando directamente 500 mL de agua de los sistemas en botellas plásticas. El agua colectada fue fijada con solución Lugol, para evitar descomposición previa a su análisis en laboratorio. Las muestras fueron preparadas y analizadas al microscopio, determinando la riqueza y abundancia de las microalgas presentes (Wetzel&Likens 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitoplancton se realizó utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra et al. (1982a, 1982b,

1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).

- **Zoobentos:** La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. Esto se midió en muestras en duplicado por punto de monitoreo obtenidas con un core de 0,004 m² las que fueron preservadas en alcohol al 70%. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Merrit & Cummins (1996), Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995-1999), Fernández & Domínguez (2001), Domínguez et al. (2006).
- **Zooplankton:** La estimación de la composición y abundancia de la comunidad zooplantónica 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 zooplantónicos se realizó en base a los trabajos de Araya & Zuñiga (1985) y Pennak (1989).

Para cada componente o ensamble biológico de la biota acuática (fitobentos, fitoplancton fauna bentónica y zooplankton) se realizó un análisis comunitario, estimándose la abundancia, riqueza de *taxa*, diversidad de *taxa* y equidad para cada punto de muestreo: La diversidad biológica de Shannon-Wiener (H') y su cálculo se realizó en base a todos los organismos presentes en las muestras según la expresión:

$$H'(nits) = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$

Donde, S = número de especies y pi = proporción de la especie i en la muestra

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y el logaritmo natural (S), tendiendo a cero en comunidades poco diversas.

También se determinó la homogeneidad de las abundancias de especies en la muestra a través del índice de equidad (J'), de acuerdo a la expresión:

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde, H' = índice de Shannon-Wiener, H'max = valor máximo teórico de H' y S = número de especies.

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y 1, tendiendo a uno en comunidades donde los taxa están representados de forma equitativa.

9.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales, equipos e instrumentos utilizados se indican en la **Tabla N° 9-6** y **Tabla N° 9-7**.

Tabla N° 9-6. Instrumentos de medición *in situ* de parámetros del agua

Análisis	Referencias del Método
Temperatura (°C)	Medidor pH/ORP/t° HANNA 9126
pH	Medidor pH/ORP/t° HANNA 9126
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medidor de Oxígeno Disuelto HANNA 914604
Turbiedad	Turbidímetro HACH

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 9-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.

Componente	Instrumento/fijador
Fitobentos	Cepillo para superficies duras (25 cm ²) y Jeringa-core de 5 mL para superficies blandas. Fijador Lugol
Fitoplancton	Frascos de 500 mL. Fijador Lugol
Zoobentos	Core de 0,004 m ² para sistemas lénticos. Fijador alcohol*.
Zooplancton	Tamiz de 60 micrones. Fijador alcohol*.

*Se utilizó como fijador alcohol, debido a los efectos cancerígenos que se pueden generar con el uso de la formalina. Fuente: Elaboración propia.

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

La campaña de monitoreo correspondiente a invierno de 2020 se realizó entre las fechas 15 y 17 de septiembre de 2020, días en los cuales se visitaron las estaciones y se tomaron tanto las muestras de agua y sedimentos, como aquellas correspondientes a biota. Mientras tanto, la de verano tuvo lugar entre los días 06 y 08 de abril de 2021. En la **Tabla N° 9-8** 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° 9-8. 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	15-09-2020	Sin acceso	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	pH	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Conductividad	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Salinidad	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Turbiedad	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Oxígeno disuelto	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Clorofila "a" en Fitoplancton	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Clorofila en Perifiton	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Alcalinidad Total (CaCO ₃)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Bicarbonato (CaCO ₃)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Carbonatos (CaCO ₃)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Cloruro (Cl)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Nitrato (N-NO ₃ -)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Nitrito (N-NO ₂ -)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Fosforo Total	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Ortofosfato	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
	Sulfato (SO ₄ -2)	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021
Aceites y Grasas (A y G)	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021		
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Fosforo Total (P) M.S.	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Materia Orgánica	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Nitrógeno Total Kjeldahl	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Potencial Redox	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
Biota	Fitobentos	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Fitoplancton	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Zoobentos	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	
	Zooplancton	15-09-2020	16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021	

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector Peine		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
	Macrófitas	15-09-2020		16-09-2020	06-04-2021	17-09-2020	08-04-2021

Fuente: Elaboración propia.

9.2 RESULTADOS

9.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2020 y verano 2021

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 2020 y verano 2021.

9.2.1.1 Sector Peine

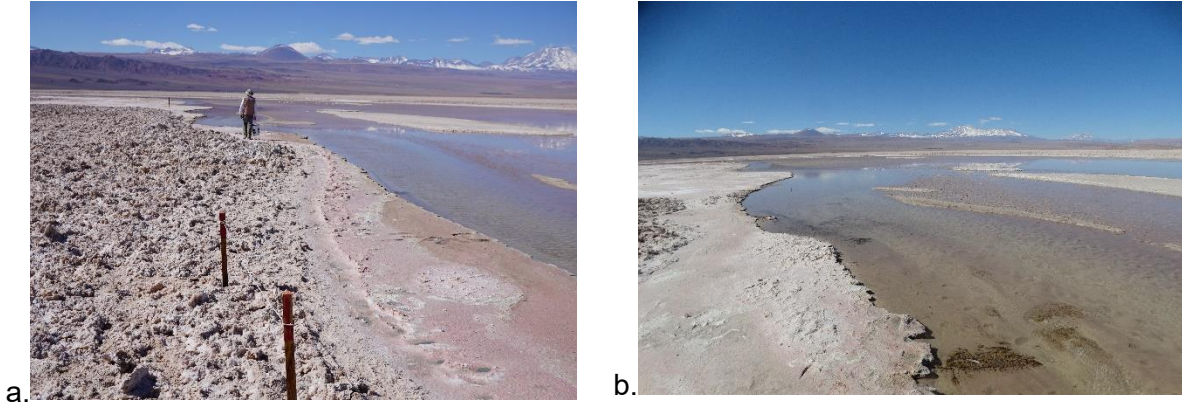
El Sector Peine fue monitoreado en seis estaciones de muestreo, de las cuales dos se encuentran emplazadas en la laguna Salada (S-9 y S-5), dos en la laguna Saladita (S-10 y SA-25) y dos estaciones ubicadas en laguna Interna (I-11 e I-17) (ver **Tabla N° 9-1** y **Figura N° 9-1**). Cabe señalar que en la campaña de verano 2021, no fue posible acceder al Sector Peine, 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 2020.

- Estación S-9

La estación S-9, campaña de invierno, se ubica en un afluente dentro de la laguna Salada, a una altura geográfica de 2304 msnm, con un ancho de sección estimado de 60 m y una profundidad baja observada de 12,0 cm en promedio.

El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con un flujo bajo y de aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas sumergidas, sin helófitas ni vegetación ribereña (ver **Fotografía N° 9-2**).

Fotografía N° 9-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2020 a. Panorámica de la estación y b. Sustrato fino, bajo flujo y profundidad



Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-5

La estación S-5, campaña de invierno, corresponde a un sector somero de laguna Salada, ubicada a una altura geográfica de 2314 msnm, con un ancho de sección estimado de 93 m y una profundidad baja observada de 32,0 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin presencia de vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-3**).

Fotografía N° 9-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2020. a. Panorámica de la estación. b. Hidrófita sumergida.

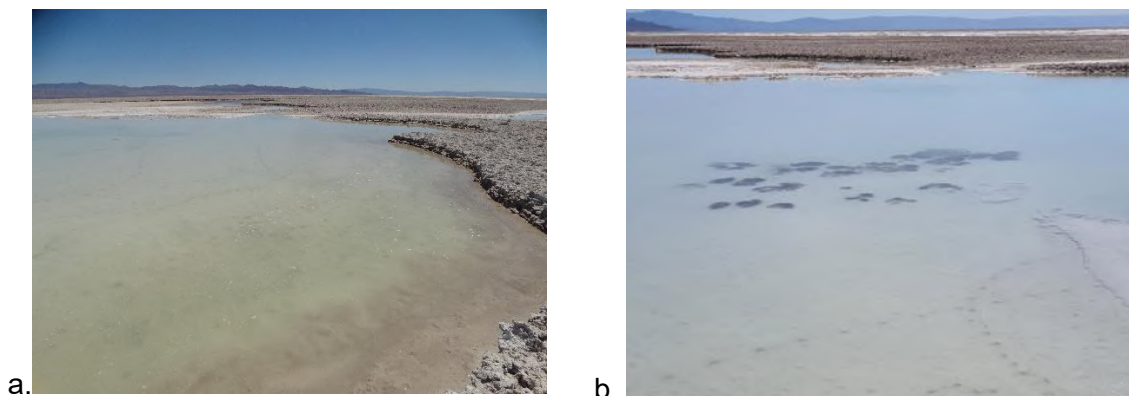


Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-10

La estación S-10 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2308 msnm, con un ancho de sección estimado de 39 m y una profundidad baja de 20,0 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida en el centro de la laguna, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-4**).

Fotografía N° 9-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Parche de hidrófita *Ruppia* y sustrato fino.

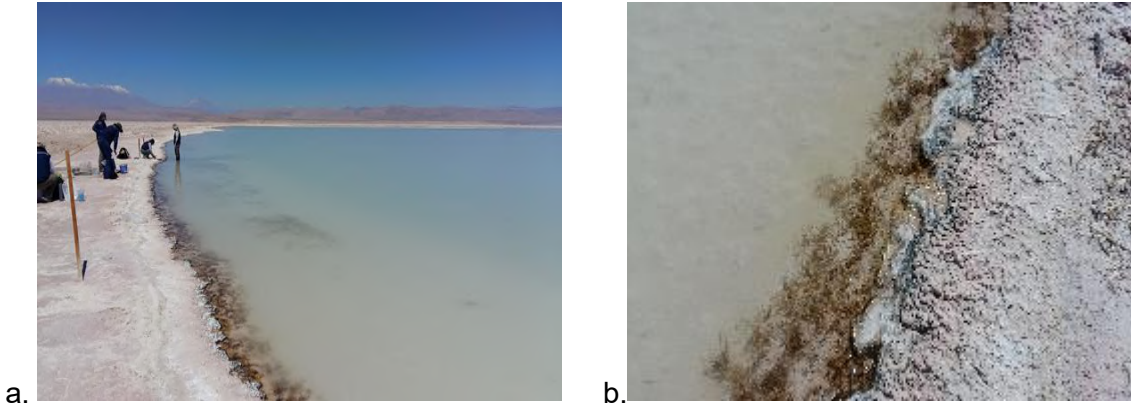


Fuente: Elaboración propia.

- Estación SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2307 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 315 m en invierno y verano, de profundidad baja observada en ambas campañas la que osciló entre 10,5 y 14,7 cm. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, sin flujo y con aguas ligeramente turbias en ambos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-5**).

Fotografía N° 9-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación en invierno. b. Parche de la hidrófita *Ruppia* en línea de costa y sustrato fino.

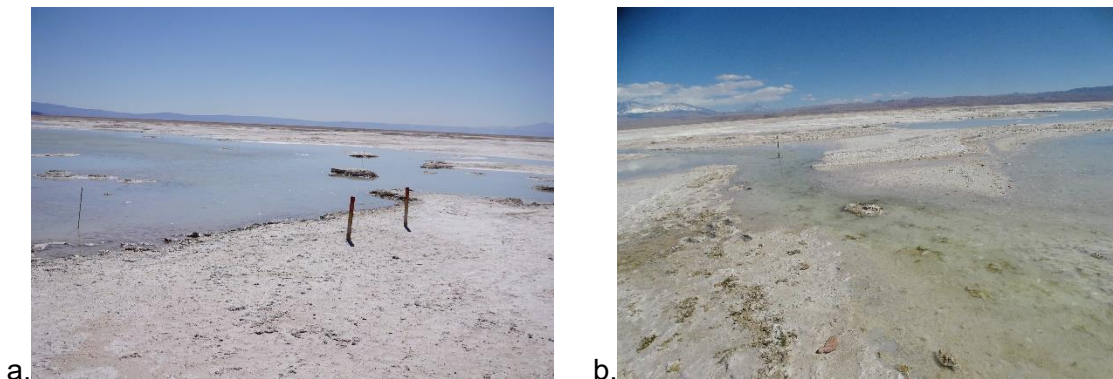


Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-11

La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2307 msnm, con un ancho de sección estimado de 288 m y una profundidad baja de 10,0 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, de bajo flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-6**).

Fotografía N° 9-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2020 a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino.

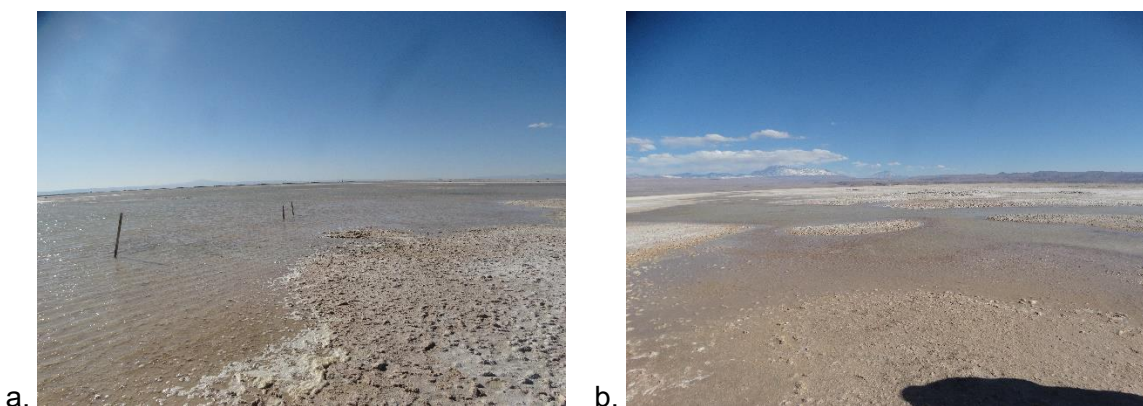


Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-17

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2305 msnm, con un ancho de sección estimado de 430 m y una profundidad baja de 8,0 cm en promedio. 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 se encontró inundada, muy cercana a la línea de costa y a baja profundidad de la columna de agua (**Fotografía N° 9-7**).

Fotografía N° 9-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino.



Fuente: Elaboración propia.

9.2.1.2 Sector La Punta y La Brava

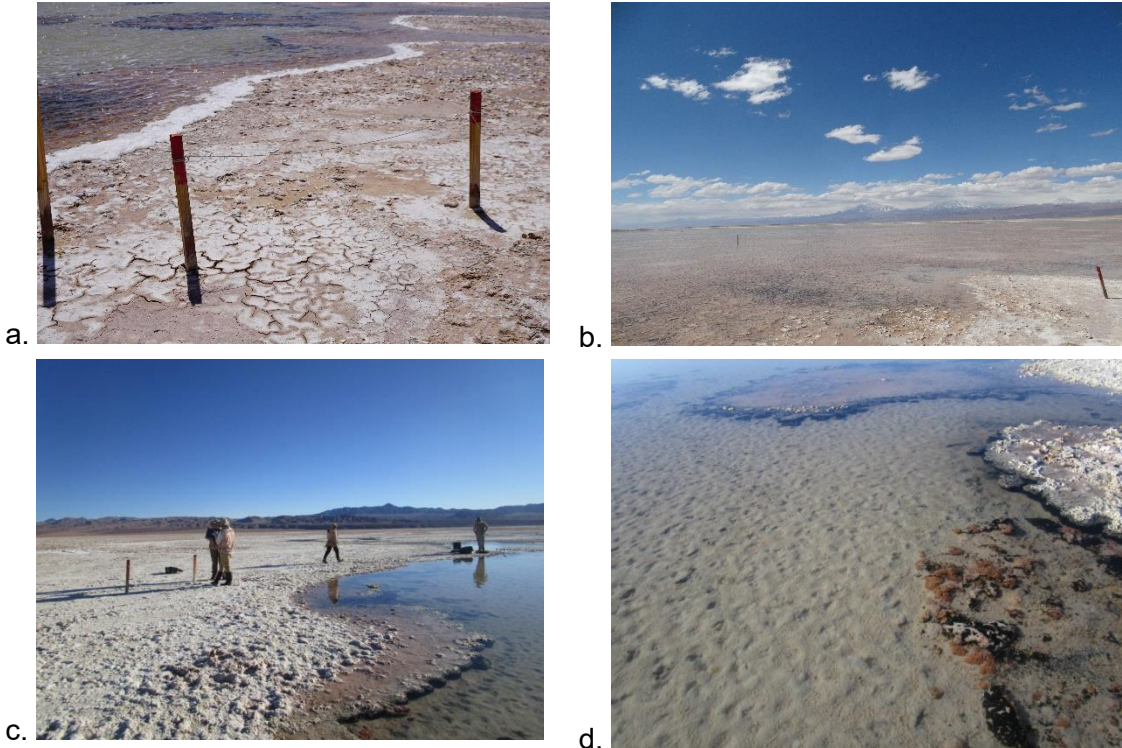
Este sector comprende las lagunas La Punta y La Brava, en este fueron emplazadas cinco estaciones de monitoreo, tres ubicadas en Laguna La Brava (LB-1; LB-2 y LB.3) y dos de ellas en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) (ver **Tabla N° 9-1** y **Figura N° 9-1**).

- Estación LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2312 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 268 m, con una profundidad de 28,0 y 18,2 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, sin 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° 9-8**).

Fotografía N° 9-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2020 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.y Campaña Verano 2021 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.

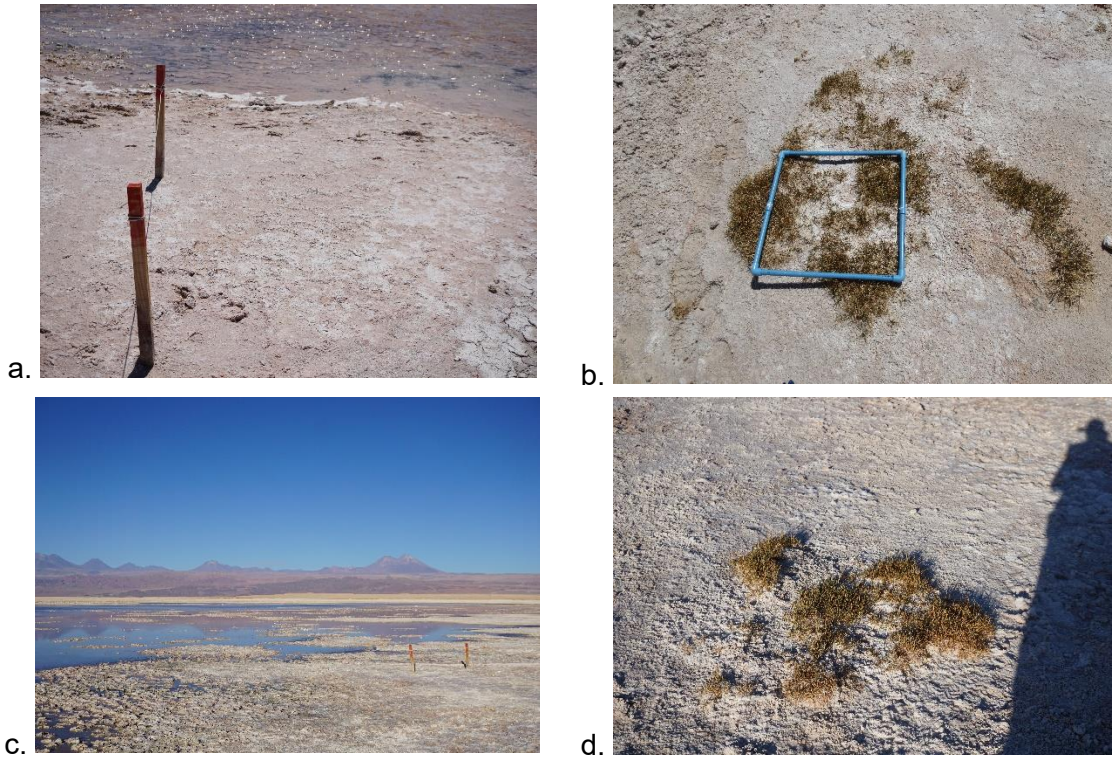


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2315 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 252 m, de profundidad 12,0 y 5,8 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. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófitas en ambos periodos de monitoreo. Se observó visualmente en terreno una disminución en el área del espejo de agua de la laguna respecto de la campaña anterior (**Fotografía N° 9-9**).

Fotografía N° 9-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2020 y Verano 2021. a y c. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófitas: *Triglochin concinna*).

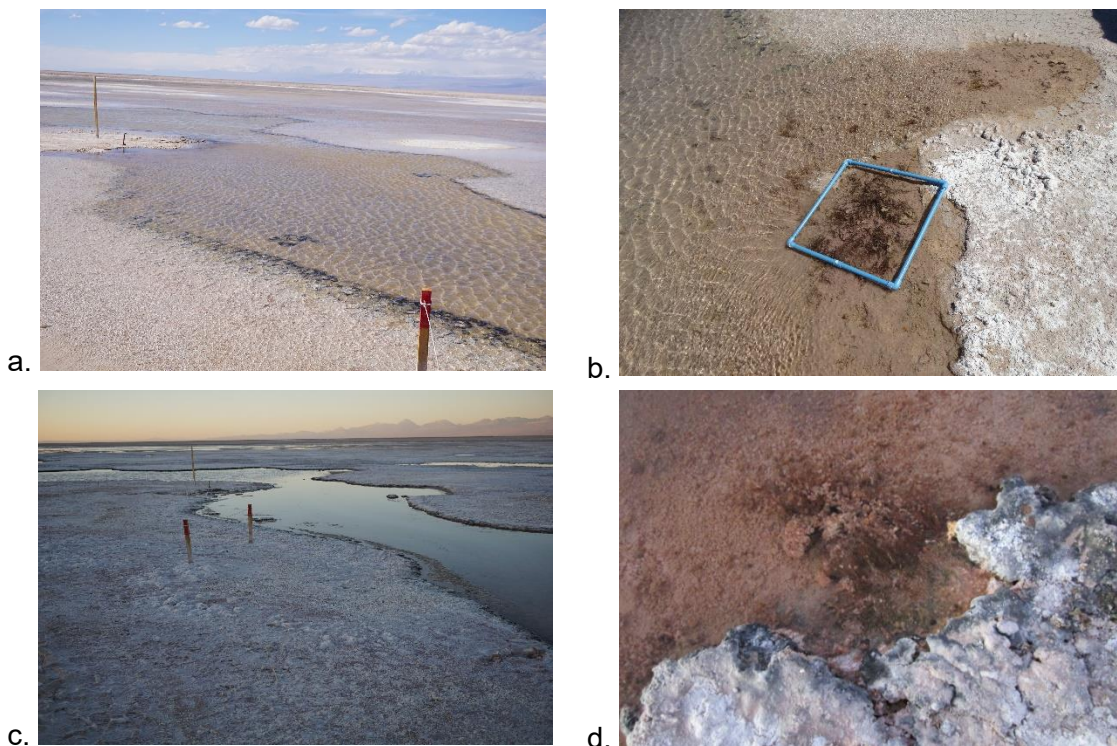


Fuente: Elaboración propia.

- 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 2310 msnm, con un ancho de sección estimado de 16 m, de profundidad baja con 20,0 y 16,3 cm en promedio. El tipo de sustrato corresponde a sedimento fino, sin flujo en invierno y flujo bajo en verano y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas senescentes. Se observó visualmente en terreno una disminución en el espejo de agua de la laguna respecto de la campaña anterior (**Fotografía N° 9-10**).

Fotografía N° 9-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2021. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino, afluente, sin hidrófita.

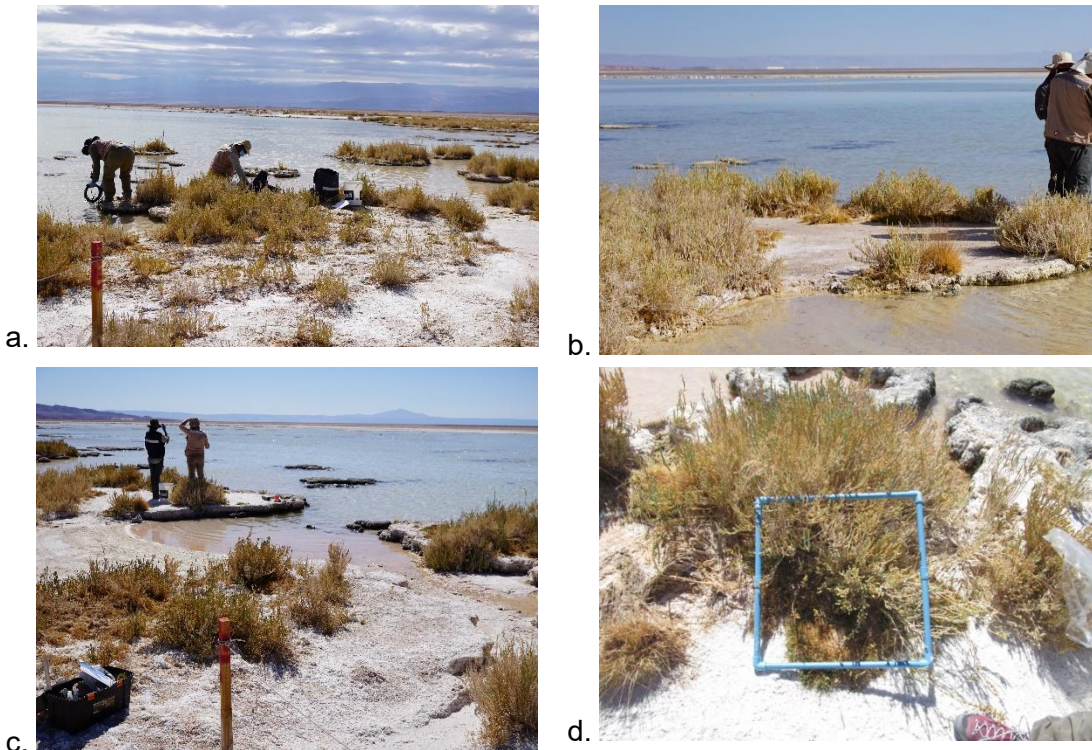


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2308 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 140 m en invierno y verano, y de profundidad baja la que osciló entre 21,0 y 17,3 cm entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, aunque se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa se observó un nulo flujo en la laguna, y con aguas transparentes a ligeramente turbias en ambos periodos de monitoreo. La estación de monitoreo presentó parches de hidrófitas (*Ruppia*) y tres especies de helófitas en ribera. Presencia de microbialitos al interior de la laguna (**Fotografía N° 9-11**).

Fotografía N° 9-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* y *Puccinellia frigida* (helófitas). Campaña Verano 2021. c. Vista panorámica de la estación y d. Parche helófitas *S. fruticosa*, y *T. concinna*.



Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-24

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2306 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 473 m en invierno y verano, y de profundidad baja y variable, la que osciló entre 21,3 y 29,0 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes en ambos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas (*Ruppia*) y helófitas en ribera. Presencia de evaporitas al interior de la laguna (**Fotografía N° 9-12**).

Fotografía N° 9-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2020 y Verano 2021. a y b. Vista panorámica de la estación. c y d. Sustrato fino y evaporitas.

a.



b.

c.



d.

Fuente: Elaboración propia.

9.2.1.3 Sector Tilopozo

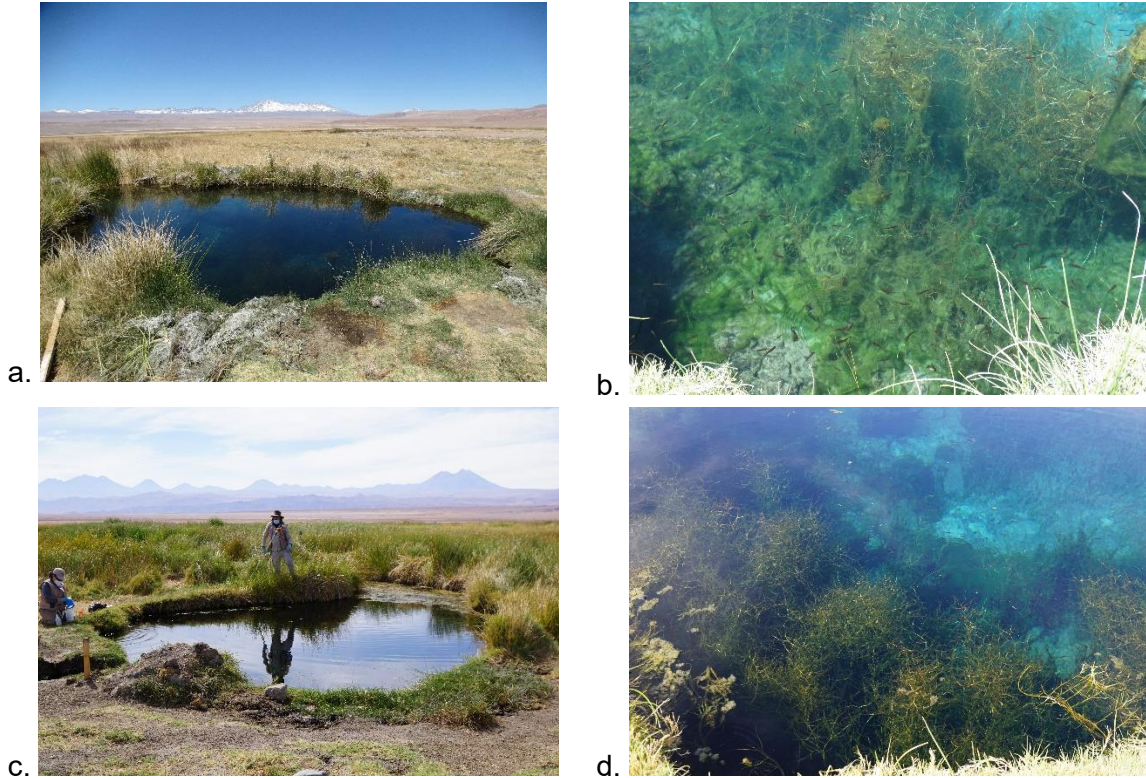
Este Sector corresponde al área denominada vegas de Tilopozo y en ella se ubican tres estaciones de monitoreo, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos con pozas profundas, mientras que TB-2 corresponde a un sistema somero tipo pajonal hídrico (ver **Tabla N° 9-1** y **Figura N° 9-1**).

- Estación TB-1

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2316 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 7,6 m en invierno y verano, y de profundidad de 311 cm en ambos periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, sin flujo, y con aguas transparentes.

Además, en esta estación se observó un canal aledaño de 97 cm de ancho; con especies emergentes (helófitas) principalmente de los géneros *Schoenoplectus* 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 más de un 50% 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° 9-13**).

Fotografía N° 9-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2020 y Verano 2021 a y c. Vista panorámica de la estación c 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 2316 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 2020 y verano 2021, 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° 9-14**).

Fotografía N° 9-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2020. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico y de la helófito *Schoenoplectus californicus*. b. Se observa sin agua superficial. Campaña Verano 2021. c. y d. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y sin disponibilidad de agua superficial.

a.



b.



d.



Fuente: Elaboración propia.

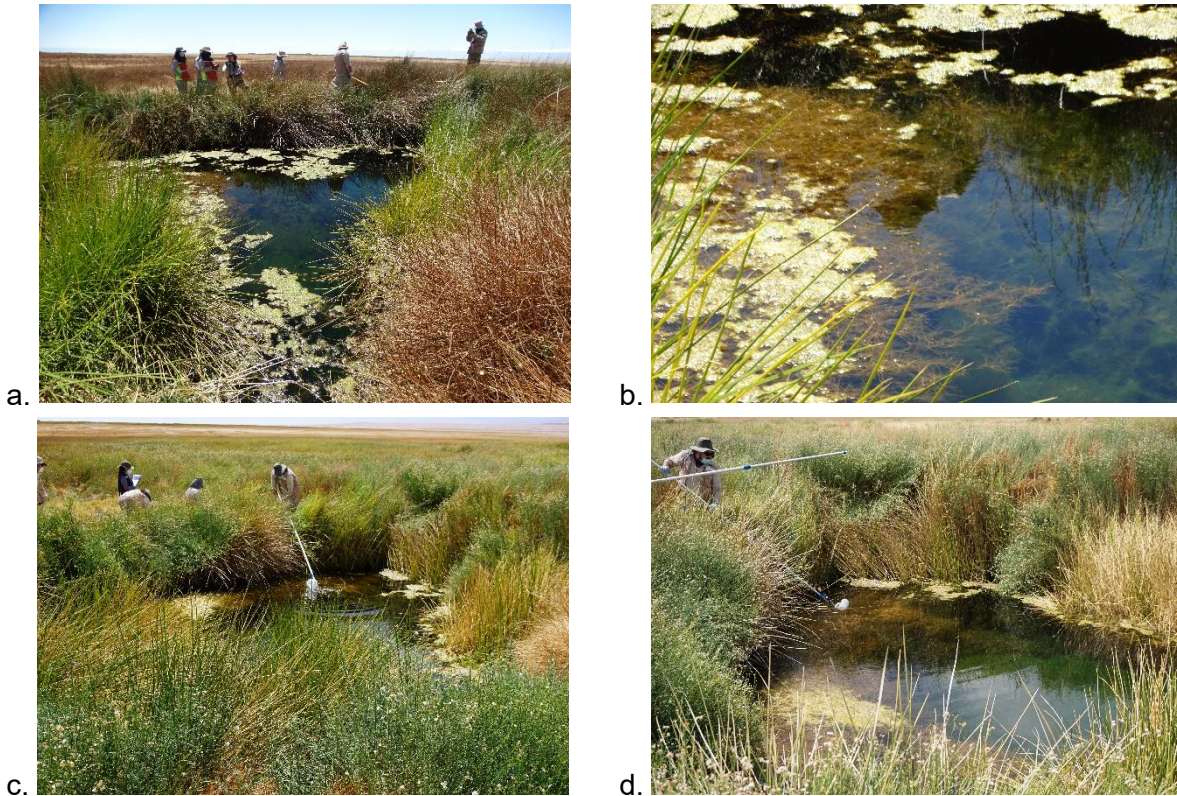
- Estación TB-3

La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2314 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 8,2 m en invierno y verano, y de profundidad de 202 y 282 cm en ambos periodos de muestreo 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° 9-15**). En 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 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 muestreo. En el área aledaña a esta estación se ubica una bomba de agua de Minera Albemarle.

Fotografía N° 9-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2020 a. Vista panorámica de la estación, presencia de lamas microalgales dentro de la poza y helófitas en la línea de costa. b. Presencia de peces del género *Gambusia*.y Campaña Verano 2021 c. Vista panorámica de la estación y d. Presencia de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis* sp. en línea de costa.



Fuente: Elaboración propia.

9.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2020 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

9.2.2.1 Resultados Calidad de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de invierno 2020 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**.

9.2.2.1.1 Resultados Sector Peine

Tabla N° 9-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2020).

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	12,2	17,92	16,53	23,75	22,96	23,46
pH (**)	U pH	-	6,13	8,6	8,07	8,44	8,27	8,17	8,11	8,62
Conductividad (**)	µS/cm	1	25350	235000	21820	34850	33480	36910	37430	24160
Salinidad	g/kg	1	8,7	66,5	19,4	32,2	34	34,3	35,1	41,6
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,34	11,2	6,14	4,21	4,25	3,19	2,82	4,93
Turbiedad	UNT	0,07	3	152	9,4	22,8	31	23,6	21,7	10,5
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	18,2	0,47	1,03	2,12	<0,02	0,51	<0,02
Clorofila en Perifiton	µg/L	-	-	-	0,02	0,04	0,06	<0,02	0,02	<0,02
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1	51	1564,7	239	211	195	190	179	168
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	91,26	1908,07	233	205	189	184	173	162
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	<5	139,54	6	6	6	6	6	6
Cloruro (Cl-)	mg/L	2	8494	194099	13612,8	22120,8	23397	24318,7	23964,2	28643,6
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	0,6	<0,15	21,2	1,009	<0,023	<0,023	<0,023	0,052	0,141
Nitrito (N-NO ₂ -)	mg/L	0,001	0,00036	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,009	0,044	1,31	0,0692	<0,01	<0,01	<0,01	0,2471	0,0779
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	8,66	1	1,2	1,3	2	2,2	1,2
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	<0,05	7,125	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	0,132	<0,127
Ortofosfato	mg/L	-	0,1	6,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ -2)	mg/L	0,39	845	14970	1891	2959	2852	3164	3306	4249
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	619	<4	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (*) 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 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.

En el sector Peine en el invierno 2020 (**Tabla N° 9-9**) los resultados en general se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad (entre 21820 $\mu\text{S/cm}$ y 37430 $\mu\text{S/cm}$) y salinidad elevada (entre 19,4 y 41,6 g/Kg) observándose un incremento espacial desde laguna Salada a laguna Interna, asociada principalmente al contenido de sales como cloruros (entre 13612,8 mg/L y 28643,6 mg/L) y sulfatos (entre 1891 mg/L y 4249 mg/L) que presentaron la misma tendencia. Las temperaturas estuvieron acorde con la baja profundidad de estos cuerpos de agua, oscilando entre 12,2 y 23,75°C. El pH fue alcalino con valores entre 8,07 y 8,62, valores que se corresponden con los obtenidos para los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato.

El oxígeno disuelto registrado, estuvo en un rango de 6,14 a 2,82 mg/L, disminuyendo desde laguna Salada a laguna Interna, excepto en I-17 donde hubo un incremento de la concentración de oxígeno (4,93 mg/L). La turbiedad tuvo valores entre 9,4 y 31 UNT, alcanzando el mayor registro en laguna Saladita (SA-25). La clorofila "a" en fitoplancton presentó valores entre <0,02 y 2,12 $\mu\text{g/L}$, con su valor máximo registrado en SA-25. 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 y 2,2 mg/L. A su vez, el fósforo total y el ortofosfato también mostraron valores en su mayoría bajo el límite de detección (<0,127 mg/L y <0,5 mg/L, respectivamente) y las grasas y aceites bajo el límite de detección (<0,4 mg/L).

9.2.2.1.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

Tabla N° 9-10. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).

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	13,74	15,06	21,7	24,53	23,69
pH (**)	U	-	7,77	8,38	8,24	8,25	8,04	8,06	8,13
Conductividad (**)	$\mu\text{S/cm}$	1	22300	149500	53430	55090	79910	86800	69960
Salinidad	g/kg	1	22,7	36,3	33,2	35	56,3	63,1	39,9
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,69	9,72	3,47	2,3	2,71	4,05	4,26
Turbiedad	UNT	0,07	1,3	31,4	2,3	7,1	8,9	5,5	2,3
Clorofila "a" en Fitoplancton	$\mu\text{g/L}$	0,02	0	31,9	2,02	<0,02	5,25	<0,02	10,54
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	-	-	-	0,07	<0,02	0,16	<0,02	0,43
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	<3	<3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1	268	806	339	332	364	399	283
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	240	311,1	333	326	358	393	277

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	53,86	307,5	6	6	6	6	6
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	2	12071	58199	11060,4	23326,1	19993,8	22333,5	26445,7
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,6	<0,046	0,245	0,255	<0,023	<0,023	<0,023	0,236
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,001	<0,0002	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,009	<0,01	0,268	0,0612	0,0601	0,1436	<0,01	<0,01
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	3,19	1,8	1,4	1,5	1,5	1,9
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<0,05	3,77	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato (PO ₄)	mg/L	-	0,255	3,29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	0,39	1385	7261	3546	3804	5699	7105	6100
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (*) 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 resultados de calidad de agua obtenidos durante el monitoreo de invierno 2020 para el sector La Punta y la Brava (**Tabla N° 9-10**), se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 53430 y 86800 µS/cm) y elevadas salinidades (entre 33,2 y 63,1 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 11060,4 y 26445,7 mg/L) y sulfato (entre 3546 y 7105 mg/L), siendo las estaciones 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 valores menores de conductividad y salinidad con respecto a LB-1 y LB-2, no obstante, en esa estación se registró la mayor concentración de cloruros del sector alcanzando los 26445,7 mg/L. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en La Brava, sin embargo también fueron altos, con valores para LP-23 y LP-24 de 53430 y 55090 µS/cm en conductividad y de 33,2 y 35 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (11060,4 y 23326,1 mg/L) y sulfato (3546 y 3804 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 (13,74 a 24,53 °C), junto con un pH alcalino entre 8,04 y 8,25, cuyos valores se corresponden con los parámetros de alcalinidad total (283 a 399 mg/L) y bicarbonato (277 a 393 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 2,3 y 4,26 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 10,54 µg/L. La turbiedad tuvo un rango de valores entre 2,3 y 8,9 UNT y los compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito y amonio), tuvieron valores bajos o por debajo el límite de detección, a

diferencia del Nitrógeno Total Kjeldhal que presentó valores entre 1,4 mg/L y 1,9 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 las grasas y aceites.

9.2.2.1.3 Resultados Sector Tilopozo

Tabla N° 9-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2020).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Temperatura (**)	C	-	25,52	Sin Agua	25,6
pH (**)	U pH	-	6,89		7,11
Conductividad (**)	μS/cm	-	3966		3336
Salinidad	g/Kg	1	2		2
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	3,13		3
Turbiedad	UNT	0,07	0,1		0,2
Clorofila "a"	μg/L	0,02	<0,02		27,1
Clorofila en Perifiton	μg/L	0,02	<0,02		1,82
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	3	<3		<3
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	2	322		327
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	3	316		321
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	3	6		6
Cloruro (Cl-)	mg/L	8	882,7		733,8
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,023	4,832		3,163
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,023	<0,023		<0,023
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,01	<0,01		0,0632
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,8		0,8
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,127		<0,127
Ortofosfato	mg/L	0,105	<0,5		<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	10	505		459
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

(**) Parámetros registrados *in situ*.

El sector de Tilopozo no posee registros de línea de base dentro del Plan de Monitoreo Biótico, por lo que los resultados no los incluyen. En esta campaña de invierno 2020, la estación TB-2 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de aproximadamente 2 a 3 m de profundidad de afloramiento subsuperficial. En general los valores obtenidos en el sector de Tilopozo (**Tabla N° 9-11**), muestran un sistema mucho menos salino que los otros sectores, con valores más bajos en conductividad (entre 3336 y 3966 μS/cm), salinidad (2 g/Kg) y cloruro (entre 733,8 y 882,7 mg/L). El pH fue neutro (entre 6,89 y 7,11), 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 25,6 y 25,52 °C.

El oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3 y 3,13 mg/L. Por otro lado, la turbiedad mostró un rango de valores bajos entre 0,1 y 0,2 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores desde bajo el límite de detección (<0,02 µg/L) a 27,1 µg/L. Por su parte el nitrato fluctuó entre 3,163 y 4,832 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldhal presentó valores de 0,8 mg/L, tanto en TB-1 como en TB-3. Los otros compuestos nitrogenados (nitrito y amonio) tuvieron valores iguales o menores a 0,0632 mg/L. En el caso del sulfato este varió entre 459 y 505 mg/L, mientras que el fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección en ambas estaciones muestreadas en el sector, al igual que las grasas y aceites.

9.2.2.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados durante la campaña de invierno 2020. Cabe mencionar previamente, 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 R97/2020 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, basado en el método ASTM C136/96-A, la ETFA ANAM informó que las muestras de sedimento obtenidas durante la campaña de invierno de 2020 presentaron dificultades para realizar el análisis de granulometría, ya que se aglomeraron luego de la preparación y no fue posible tamizarlas, imposibilitando la determinación del ensayo de Granulometría.

9.2.2.2.1 Resultados Sector Peine

En la **Tabla N° 9-12**, se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2020 del Sector de Peine.

Tabla N° 9-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2020).

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Máx LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	3	43	64,39	111,14	71	85,79	81,9	80,22
Fósforo Total (P)	mg/Kg	0,5	34	78	235,02	154,92	<0,5	151,98	20,31	<0,5
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	0,14	5,3	5,17	6,35	4,97	3,09	4,01	3,16
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4	11,1	19,16	12,24	14,79	14,12	13,83
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4	-404,7	-388,5	-414,1	-387,4	-369,2	-355

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (*) 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 la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica en los sedimentos variaron de 64,39 a 111,14 g/Kg y de 11,1% a 19,16%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación S-5 (laguna Salada). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió de 3,09 a 6,35 g/Kg, con su máximo registro también en S-5. Respecto al fósforo total, este osciló de <0,5 a 235,02 mg/Kg, observándose las más altas concentraciones en laguna Salada (S-9 y S-5) y las menores principalmente en laguna Interna. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores entre -414,1 y -355,0 mV, siendo el menor valor encontrado en SA-25 (laguna Salada).

9.2.2.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 9-13** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para campaña invierno 2020 del Sector de La Punta – La Brava.

Tabla N° 9-13. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).

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	68,79	76,91	62,7	140,14	70,94
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	8	55	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	80,47

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	1,596	6,351	7,6	7,58	4,84	10,73	6,85
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	11,86	13,26	10,81	24,16	12,23
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-394,3	-414,7	-411,2	-413,9	-424,6

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (*) 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 La Punta y La Brava la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica en los sedimentos variaron de 62,70 a 140,14 g/Kg y de 10,81% a 24,16%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación LB-2 y los más bajos en la estación LB-1 (laguna La Brava). El Nitrógeno Total Kjeldahl, también presentó su valor máximo y mínimo en La Brava, con un máximo de 10,73 g/Kg en LB-2 y un mínimo de 4,84 g/Kg en LB-1. Respecto al fósforo total, este varió entre <0,5 y 80,47 mg/Kg, observándose este valor máximo en LB-3 y el mínimo de detección de este analito en todas las demás estaciones del sector. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron en los sedimentos valores que indican sedimentos de ambiente reductor con valores entre -424,6 y 394,3 mV, con su mínimo valor en LB-3 (laguna La Brava) y el máximo en LP-24 (laguna La Punta).

9.2.2.2.3 Resultados Sector Tilopozo

Tabla N° 9-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2020).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	82,42	Sin agua	101,1
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	528,89		467,49
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	6,53		13,70
Materia Orgánica	%	0,28	14,21		17,43
Potencial Redox	mV	-	-335,4		-321,1

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

Los resultados de calidad en sedimentos de la campaña invierno 2020 en el Sector Tilopozo se presentan en la **Tabla N° 9-14**. Cabe señalar que la estación TB-2, en la campaña de invierno 2020 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de 2 a 3 m de profundidad, respectivamente, de afloramiento subsuperficial. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) entre 82,42 y 101,1 g/Kg y de materia orgánica entre 14,21% y 17,43 %, siendo los más altos los registrados en TB-3. El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 6,53 g/Kg (TB-1) y 13,70 g/Kg

(TB-3). El fósforo total, por su parte, presentó altos registros con valores entre 467,49 mg/Kg (TB-3) y 528,89 mg/Kg (TB-1). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores de -335,4 y -321,1 mV respectivamente, con su mínimo registrado en TB-1.

9.2.2.3 Resultados Biota acuática

9.2.2.3.1 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.

9.2.2.3.1.1 Sector Peine

La comunidad de fitobentos en el Sector Peine, en la campaña de invierno 2020 estuvo compuesta por 22 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 5 géneros en la estación I-17 y 15 géneros en la estación I-11. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 14,29 cel/cm² en I-17 (laguna Interna) y 173,70 cel/cm² en S-5 (laguna Salada) (**Tabla N° 9-15**).

La comunidad que presentó una diversidad mayor correspondió a la estación S-9 con 1,29 nits/ind, ubicada en la laguna Salada, mientras que, en la estación de Saladita (SA-25), se registró el menor valor de diversidad con 0,44 nits/ind (**Tabla N° 9-15**). Respecto de la equidad, se observó que el mayor valor lo presentó la estación I-17 ubicada en la laguna Interna y el menor en la estación S-5 y SA-25.

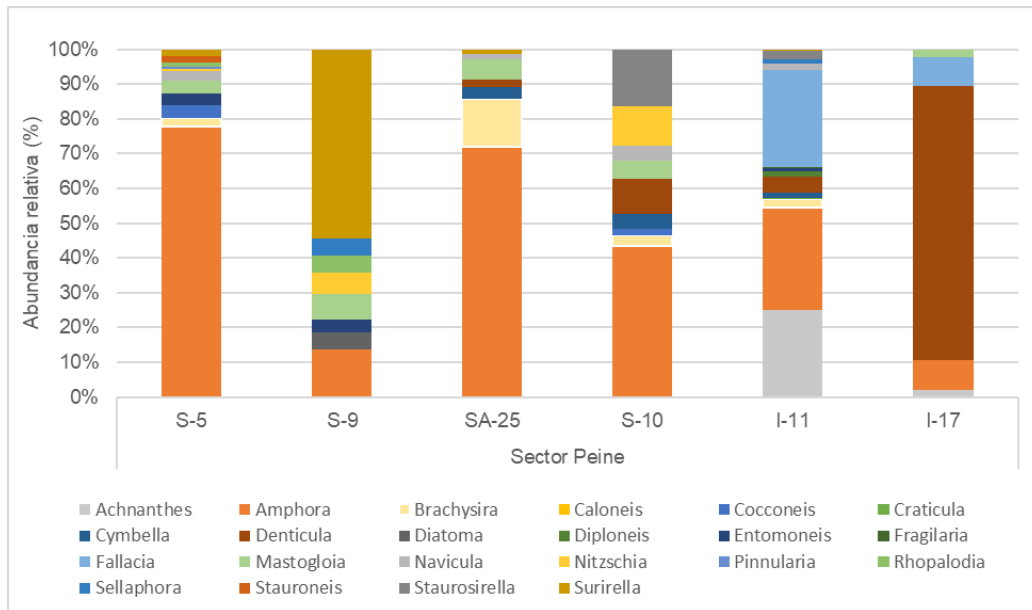
En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2020, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Amphora* y *Fallacia* (**Figura N° 9-2**).

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 2020.

**Tabla N° 9-15. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros.
Sector Peine (invierno 2020).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>					16,09	0,30
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	134,96	2,34	23,42	12,77	18,97	1,22
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	4,26		4,53	0,91	1,50	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i>	0,43					
	Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	5,96			0,61		
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Craticula</i>					0,30	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>			1,09	1,22	0,89	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>			0,67	3,04	3,03	11,25
	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i>		0,85				
	Diploneidinea	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>					0,89	
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	5,96	0,64			0,60	
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>					0,30	
	Naviculales	Sellaphoraceae	<i>Fallacia</i>					17,84	1,22
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	6,39	1,28	1,85	1,52		0,30
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	4,68		0,52	1,22	1,20	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	1,28	1,06		3,34		
	Sellaphorinea	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	1,28					
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	2,13	0,85				
	Naviculales	Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i>		0,85			0,89	
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	2,98				0,00	
Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>				4,87	1,50		
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	3,41	9,37	0,46		0,30		
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2020					
Abundancia total (cel/cm²)		47	6787	173,70	17,24	32,54	29,50	64,31	14,29
Riqueza de géneros (S)		2	14	12	8	7	9	15	5
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,66	1,29	0,44	1,26	1,07	0,87
Equidad (J')		-	-	0,32	0,72	0,32	0,78	0,60	0,79

Fuente: Elaboración propia. LB: Línea base. (*)Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor mínimo de LB corresponde a 46,8 cel/cm² considerando campañas de invierno y verano LB, y no al presentado en el Informe Anual 2, con un valor de 13 cel/cm². Respecto del valor máximo corresponde a 61190,4 cel/cm² y no a 6787 cel/cm². No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Figura N° 9-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2020).

Fuente: Elaboración propia

9.2.2.3.1.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2020 estuvo compuesta por 20 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 8 y 17 géneros en las estaciones LB-2 (La Brava) y en LP-23 (La Punta) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 78,30 cel/cm² en LB-2 (La Brava) y 224,42 cel/cm² en LB-1 (La Brava) (Tabla N° 9-16).

La comunidad presentó una diversidad y equidad mayor en la estación LP-24, ubicada en la laguna La Punta, mientras que en la estación de La Brava (LB-3), se registró la menor diversidad y en La Punta (LP-23) la menor equidad (Tabla N° 9-16).

En relación con los *taxa* dominantes durante la campaña de invierno 2020, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Fragilaria* (Figura N° 9-3).

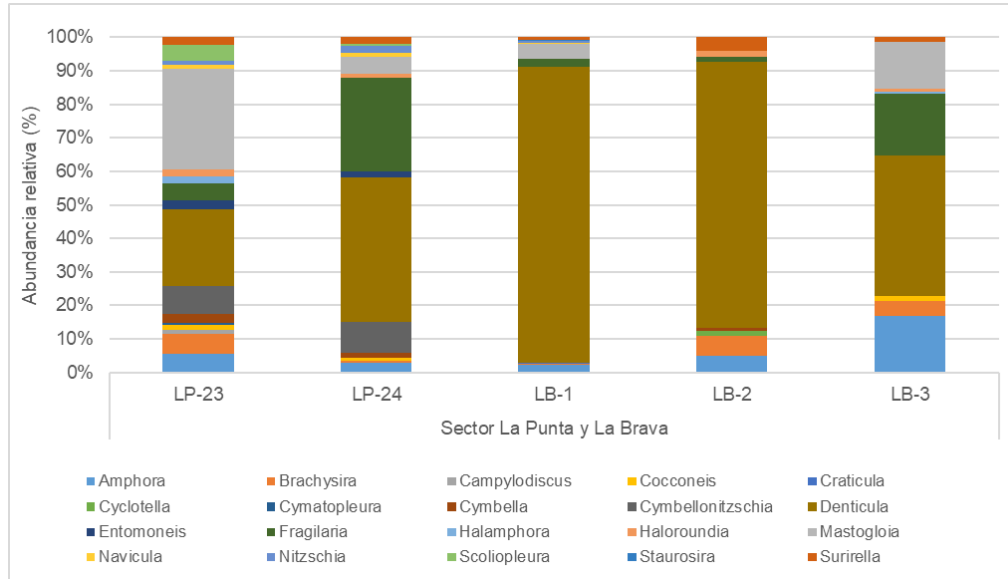
Al observar la abundancia por clase, se observa que la clase ampliamente dominante en el fitobentos en la campaña de invierno 2020 corresponde a Bacillariophyceae.

**Tabla N° 9-16. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros.
Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	6,08	6,08	4,87	3,95	13,99
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	6,69	1,22	1,22	4,56	3,65
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	1,22				
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1,82	1,82			1,22
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Craticula</i>			0,61		
	Stephanodisciales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>				1,22	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Cymatopleura</i>	0,61				
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	3,04	3,04		0,61	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	9,12	18,85			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	25,54	89,40	198,27	62,19	34,67
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	3,04	3,65			
	Fragiliales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	5,47	57,78	4,87	1,22	15,20
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	2,43				0,61
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Haloroundia</i>	2,43	2,43		1,37	0,61
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	33,45	10,34	10,34		11,56
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	1,22	2,43	0,61		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	1,22	4,26	1,22		
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scolioleura</i>	5,47	1,22			
	Fragiliales	Staurosiraceae	<i>Staurosira</i>			0,61		
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	2,43	4,26	1,82	3,19	1,22	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2020				
Abundancia total (cel/cm²)		16	88793	206,78	111,30	224,42	78,30	82,71
Riqueza de géneros (S)		5	17	17	17	10	8	9
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,23	1,76	1,29	1,02	0,93
Equidad (J')		-	-	0,63	0,90	0,72	0,93	0,67

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° 9-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 11 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre 10 géneros en TB-1, y 6 géneros en TB-3. Respecto a las abundancias registradas las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron una abundancia similar, las que oscilaron entre los 273,07 y 186,41 cel/cm², respectivamente (**Tabla N° 9-17**). 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. Cabe destacar que, la estación TB-2 en la actual campaña se encontró sin agua superficial.

En la **Figura N° 9-4**, se puede observar que los *taxa* dominantes, correspondieron a las diatomeas *Fragilaria* y *Nitzschia* presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas.

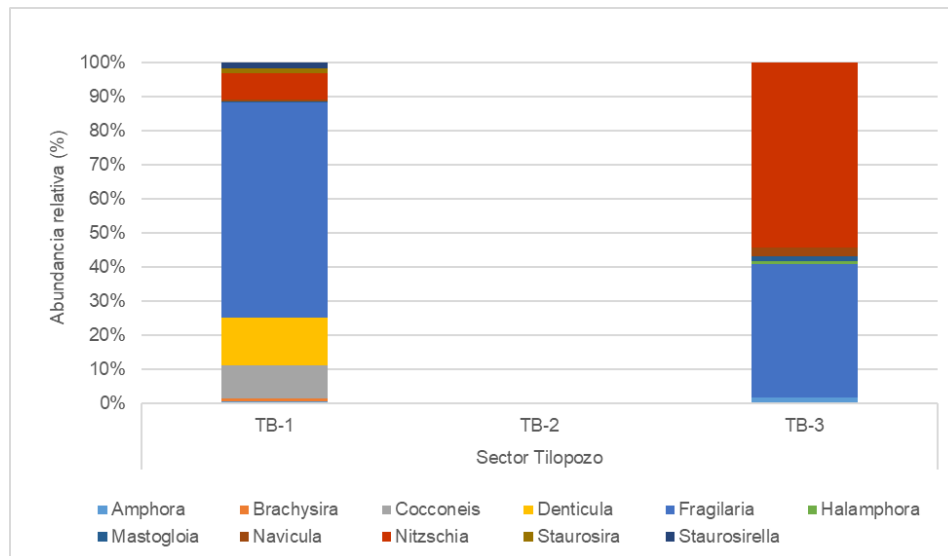
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las vegas de Tilopozo.

Tabla N° 9-17. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Bacillariophyceae	Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	1,82	Sin agua	3,04
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	2,43		
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	26,15		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	38,32		
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	172,11		72,98
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>			1,52
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	1,22		3,04
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	1,22		4,87
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	21,29		100,96
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosira</i>	3,65		
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>	4,87		
Abundancia total (cell/cm²)				273,07	186,41	
Riqueza de géneros (S)				10	6	
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,21	0,43	
Equidad (J')				0,67	0,31	

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.2 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.

9.2.2.3.2.1 Sector Peine

La comunidad de fitoplancton en el Sector Peine, para la campaña de invierno 2020 estuvo compuesta por 17 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 6 y 10 géneros en las estaciones I-17 (laguna Interna) y S-10 (laguna Saladita) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 694,44 cel/mL en S-9 (laguna Salada) y 3407,41 cel/mL en S-10 (laguna Salada) (**Tabla N° 9-18**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación S-9, ubicada en la laguna Salada con 1,52 nits/ind. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación I-17 con 0,89 nits/ind. Para la equidad se observó el mayor registro en la estación S-5, en cambio, la menor fue observada en la estación S-10 (**Tabla N° 9-18**).

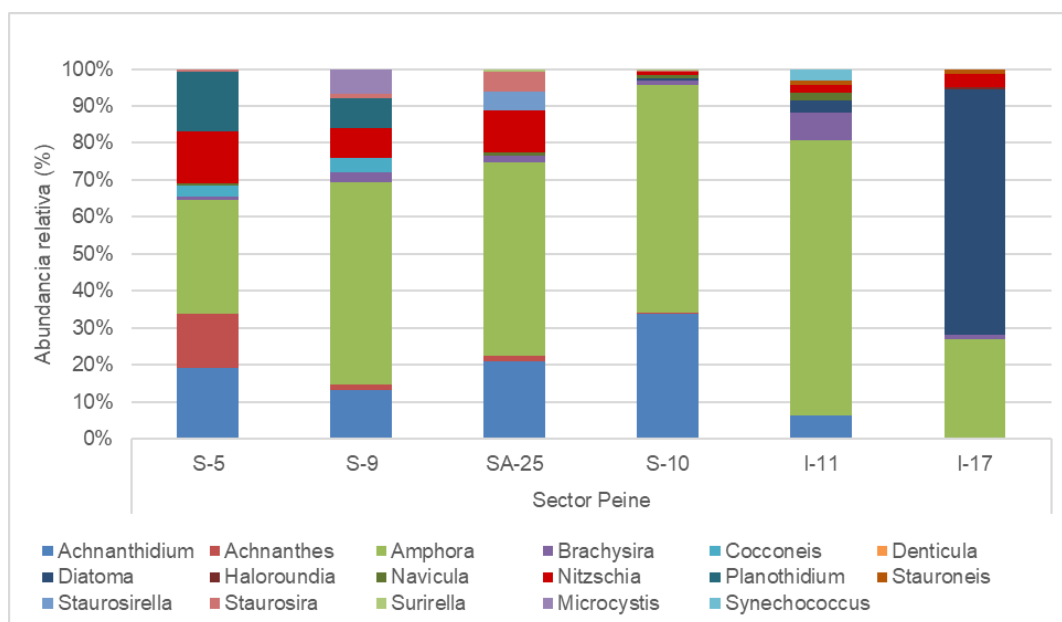
Respecto de la abundancia relativa (**Figura N° 9-5**), se observó que los *taxa* dominantes o con mayores representatividades registradas durante la campaña de invierno 2020, correspondieron a las diatomeas *Amphora* y *Achnanthydium*.

En este sector la clase Bacillariophyceae es ampliamente dominante, respecto de la clase Cyanophyceae en la campaña de invierno 2020 para el fitoplancton.

Tabla N° 9-18. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnanthidium</i>	231,48	92,59	222,22	1148,15	55,56	
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	175,93	9,26	18,52	18,52		
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	370,37	379,63	555,56	2092,59	638,89	398,15
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	9,26	18,52	18,52	37,04	64,81	18,52
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	37,04	27,78		9,26		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>						
	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i>				18,52	27,78	981,48
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>						9,26
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	9,26		9,26	27,78	18,52	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	166,67	55,56	120,37	27,78	18,52	55,56
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Planothidium</i>	194,44	55,56				
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>					9,26	18,52
	Fragilariales	Stausiraceae	<i>Stausirilla</i>			55,56			
	Fragilariales	Stausiraceae	<i>Stausira</i>	9,26	9,26	55,56	9,26		
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>			9,26	18,52		
Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>		46,30				
	Synechococcales	Synechococcaceae	<i>Synechococcus</i>					27,78	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2020					
Abundancia total (cel/mL)		29	8121	1203,70	694,44	1064,81	3407,41	861,11	1481,48
Riqueza de géneros (S)		4	14	9	9	9	10	8	6
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,48	1,52	1,44	0,91	1,03	0,89
Equidad (J')		-	-	0,83	0,69	0,66	0,40	0,49	0,50

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° 9-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2020).

Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.2.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2020 presentó 9 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 1 y 7 géneros, observado en las estaciones LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 120,37 cel/mL en LP-23 (La Punta) y 574,07 cel/mL en LP-24 (La Punta) (**Tabla N° 9-19**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-3 con 1,38 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LB-1 con 0,21 nits/ind ubicadas en la laguna La Brava. Cabe destacar que la estación LP-23 presentó solo una especie por lo que no fue posible calcular el índice de diversidad ni la equidad (**Tabla N° 9-19**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,71 en la estación LB-3 y 0,30 en la estación LB-1.

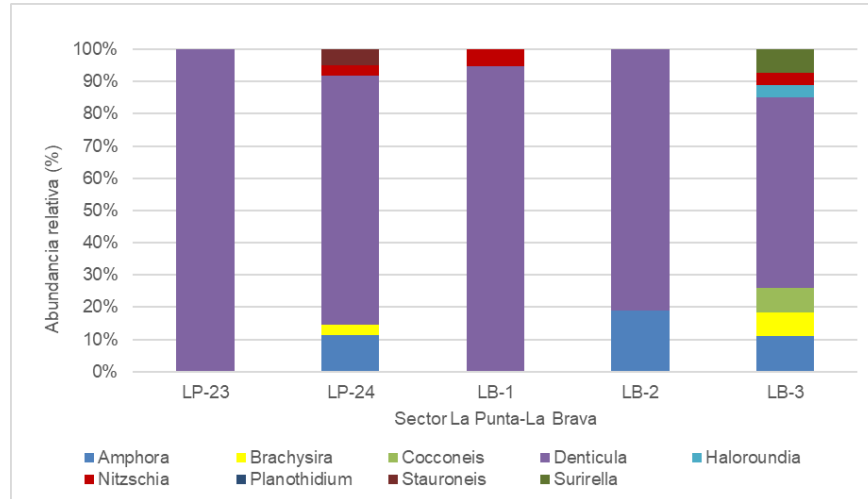
El gráfico de abundancia relativa (**Figura N° 9-6**), permite observar que los *taxa* dominantes o mayores representatividades registrados durante la campaña de invierno 2020, correspondieron a las diatomeas *Denticula* y *Amphora*.

En este sector la clase Bacillariophyceae fue ampliamente dominante, no observándose otras clases microalgales en la campaña de invierno 2020 para el fitoplancton.

Tabla N° 9-19. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>		64,81		37,04	27,78
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>		18,52			18,52
	Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>					18,52
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	120,37	444,44	166,67	157,41	148,15
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Haloroundia</i>					9,26
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>		18,52	9,26		9,26
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Planothidium</i>					
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>		27,78			
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					18,52	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2020				
Abundancia total (cel/mL)		24	10110	120,37	574,07	175,93	194,44	250,00
Riqueza de géneros (S)		6	14	1	5	2	2	7
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	-	0,81	0,21	0,49	1,38
Equidad (J')		-	-	-	0,50	0,30	0,70	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:** 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° 9-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).

Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 2 géneros. Cabe destacar que, la estación TB-2 se encontró sin agua en esta campaña. La riqueza por estación presentó solo un género para TB-1 y TB-3 respectivamente. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron valores entre 15,43 y 64,81 cel/mL (**Tabla N° 9-20**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad no se pueden calcular por presentar solo un género.

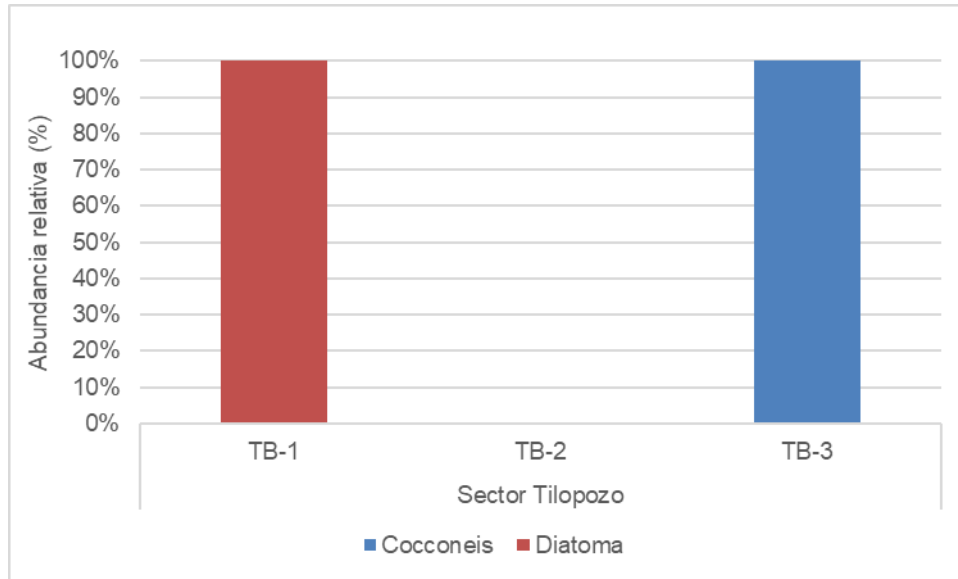
Respecto de los *taxa* dominantes, *Diatoma* (Bacillariophyceae) presentó la mayor abundancia relativa entre las estaciones de vegas de Tilopozo (**Figura N° 9-7**). En relación a la representatividad por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, se detectó que la Clase Bacillariophyceae fue la dominante.

Tabla N° 9-20. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2*	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		Sin agua	15,43
	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Diatoma</i>	64,81		
Abundancia total (cel/mL)				64,81		
Riqueza de géneros (S)				1		1
Diversidad Shannon (nits/ind)				-		-
Equidad (J')				-		-

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

Figura N° 9-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.3 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 zooplanctones en estado larvario (De los Ríos-Escalante, 2010). A continuación, se presentan los resultados del zooplancton obtenidos en la campaña de invierno 2020.

9.2.2.3.3.1 Sector Peine

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en invierno 2020, se observaron riquezas entre 2 y 3 *taxa* en las estaciones de muestreo. Se registraron 2 *taxa* en las estaciones S-5, SA-25, S-10 e I-11, mientras que 3 *taxa* se registraron en las estaciones S-9, S-10 e I-17. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida principalmente de la familia Canthocamptidae, por el branquiópodo *Artemia franciscana* (en estado larvario *Metanauplius* y adultos), crustáceos Ostrácodos y también por larvas de insectos dípteros de la familia Ephydriidae (**Tabla N° 9-21**).

Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton fueron bajos y variaron entre 0,47 ind/L en I-11 (laguna Interna) y 1,35 ind/L en S-10 (laguna Saladita). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en Peine fueron los copépodos Canthocamptidae, obteniendo su máximo registro en S-9 (0,82 ind/L), además de ser los más abundantes en las estaciones de las lagunas Salada e Interna. Por su parte *A. franciscana* mayoritariamente se encontró en S-10 (0,72 ind/L) siendo encontrado solo en laguna Saladita. En aquella estación se registraron también Ostracodos en una abundancia de 0,58 ind/L. El resto de los *taxa* encontrados mostraron muy bajas abundancias (entre 0,02 y 0,4 ind/L) (**Tabla N° 9-21** y **Figura N° 9-8**).

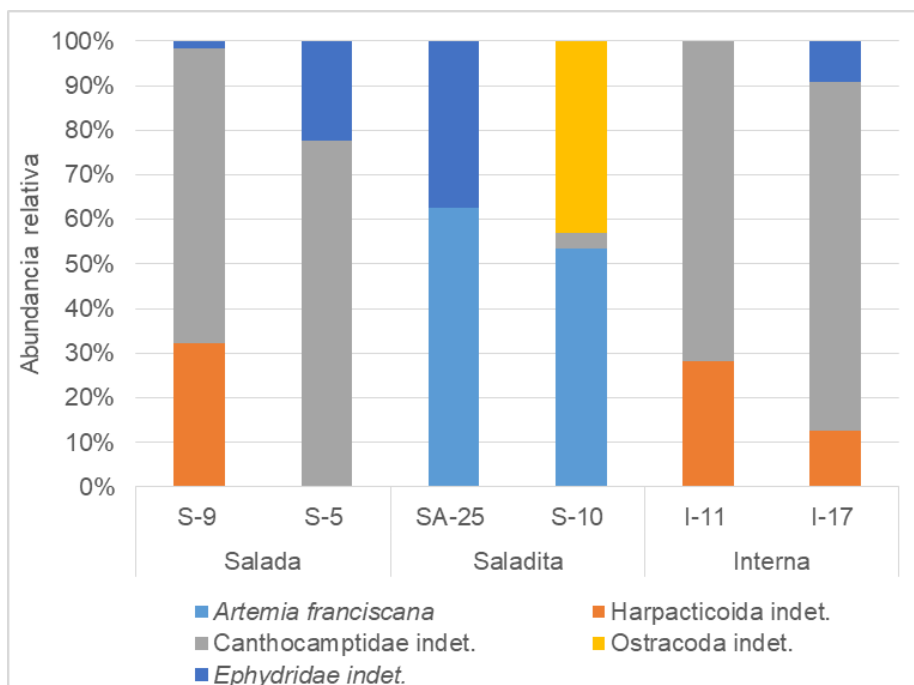
Respecto a los índices comunitarios, la diversidad (H) en todas las estaciones fue baja (entre 0,53 y 0,82 nits/ind) y la equidad (J') solo en las estaciones SA-25 e I-11 fue alta, estimándose para el resto de las estaciones índices bajos (entre 0,6 y 0,76), dado por las bajas riquezas y a que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 9-21**).

Tabla N° 9-21. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>			0,45	0,72		
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	-	Harpacticoida indet.	0,40				0,13	0,07
		Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.	0,82	0,42		0,05	0,33	0,43
Ostracoda	-	-	Ostracoda indet.				0,58		
Insecta	Diptera	Ephydriidae	Ephydriidae indet.	0,02	0,12	0,27			0,05
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2020					
Abundancia total (Ind/L)		0,0	137,3	1,23	0,53	0,72	1,35	0,47	0,55
Riqueza de taxa (S)		0	5	3	2	2	3	2	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,70	0,53	0,66	0,82	0,60	0,66
Equidad (J')		-	-	0,63	0,76	0,95	0,75	0,86	0,60

Fuente: Elaboración propia. Las muestras incluyen larvas Nauplius de Copepoda, Metanauplius de *Artemia franciscana* y pupas del Diptero Ephydriidae. 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° 9-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta (LP) y La Brava (LB), se registraron riquezas entre 2 y 6 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos en invierno de 2020, siendo la mínima la obtenida en la estación LB-3 (La Brava) y la máxima en LP-24 (La Punta). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida principalmente de la familia Canthocamptidae, por copépodos *Boeckella* (mayoritariamente *B. bergi*), por el branquiópodo *Artemia franciscana* (en estado larvario *Metanauplius* y adultos) y también por larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae, Dolichopodidae y Ephydriidae. El taxón con mayor frecuencia fue el de los copépodos Canthocamptidae, que se encontró en todas las estaciones de este sector. (**Tabla N° 9-22**).

Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron en un rango de 0,92 a 9,43 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-3 y un máximo en LP-24. El organismo más abundante por estación fue *B. bergi*, alcanzando 5,82 ind/L en LP-24, seguidos por Canthocamptidae con 2,78 ind/L en LB-1 y luego por *A. franciscana* que obtuvo un máximo de 2,38 ind/L en LB-2. La estructura comunitaria del zooplancton en el sector La Punta y La Brava, muestra que el grupo dominante fue Canthocamptidae seguido por *B. bergi* y luego por *A. franciscana*, mientras que las larvas de dípteros fueron pobremente representadas. (**Tabla N° 9-22**).

Ahora bien, la estructura comunitaria del zooplancton en el sector muestra que los grupos dominantes en laguna La Punta (LP-23 y LP-24) fueron los copépodos Canthocamptidae y *Boeckella bergi*, observándose una mayor proporción de los copépodos Canthocamptidae en LP-23 y una mayor proporción de *B. bergi* en LP-24. Las estaciones de laguna La Brava, fueron mayormente representadas por copépodos Canthocamptidae y secundariamente por *A. franciscana*, observándose un incremento en LB-2 en la proporción de *A. franciscana* respecto a los estos copépodos. En LB-3 dominó ampliamente Canthocamptidae (**Figura N° 9-9**).

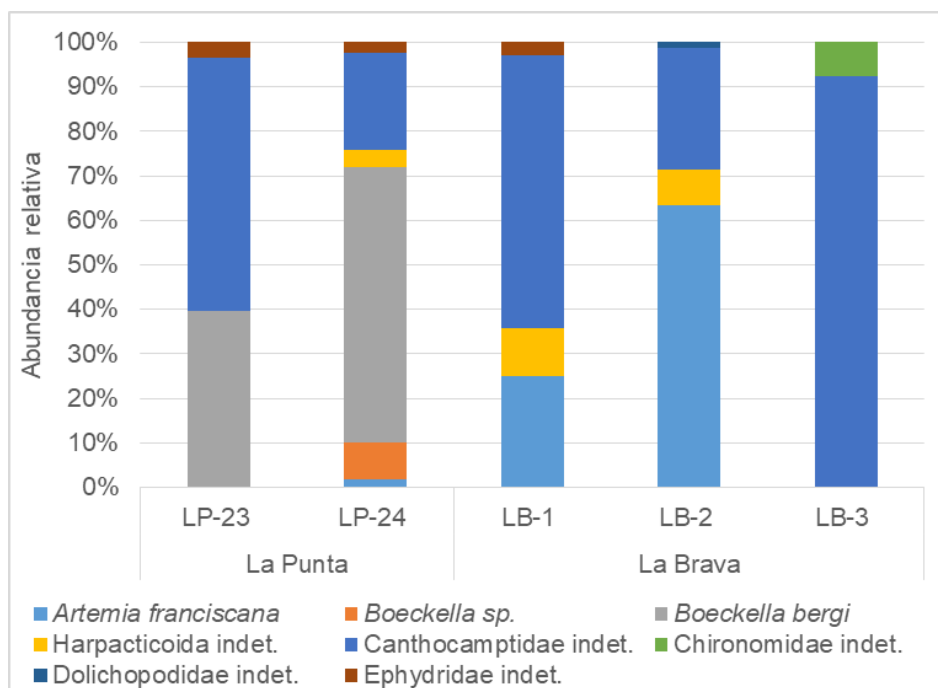
Respecto a las diversidades estimadas, estas oscilaron entre 0,26 y 1,13 nits/ind, con la más baja obtenida en LB-3, mientras que en el resto de las estaciones estuvieron por sobre 0,8 nits/ind. La equidad fue baja en las estaciones del sector (valores entre 0,38 y 0,73), debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 9-22**).

Tabla N° 9-22. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>		0,18	1,13	2,38	
Hexanauplia (SC Copepoda)	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella sp.</i>		0,78			
			<i>Boeckella bergi</i>	1,50	5,82			
	Harpacticoida	-	Harpacticoida indet.		0,37	0,50	0,30	
		Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.	2,15	2,07	2,78	1,02	0,85
Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomidae indet.					0,07
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.				0,05	
		Ephyridae	Ephyridae indet.	0,13	0,22	0,13		
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2020				
Abundancia total (Ind/L)		0,0	239,1	3,78	9,43	4,55	3,75	0,92
Riqueza de taxa (S)		0	4	3	6	4	4	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,81	1,13	0,99	0,90	0,26
Equidad (J')		-	-	0,73	0,63	0,72	0,65	0,38

Fuente: Elaboración propia. Las muestras incluyen larvas Nauplius de Copepoda, Metanauplius de *Artemia franciscana* y pupas del Diptero Ephyridae. 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° 9-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia.

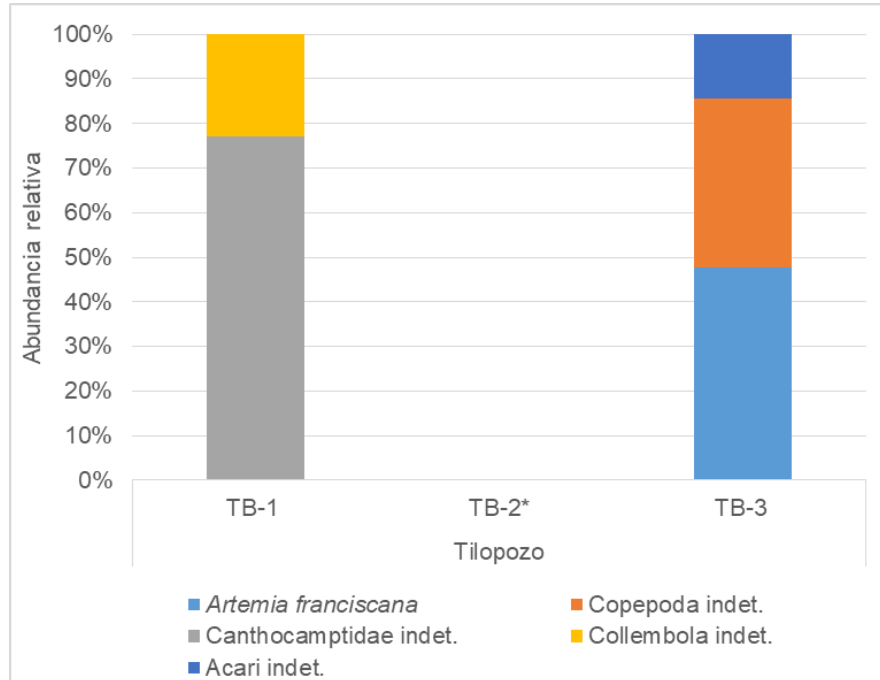
9.2.2.3.3.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2020, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zooplanctónicos. Por su parte la estación TB-2, en campañas anteriores correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, sin embargo, en la campaña de invierno 2020 esta estación se encontró sin agua superficial. En TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde solo se encontró copépodos Canthocamptidae y artrópodos Collembola. Estos últimos corresponden a hexápodos primitivos no alados que no pertenecen a la clase Insecta, principalmente son de hábitat terrestre y son escasamente mencionados debido a que son parte de categorías no planctónicas y que aparecen ocasionalmente. En esa estación la abundancia total fue de 1,88 ind/L, siendo el de los copépodos Canthocamptidae el grupo dominante con 1,45 ind/L. En la estación TB-3, ocurrieron 3 *taxa*, *Artemia franciscana*, Copepoda y Acari, con una abundancia total en esa estación de 0,22 ind/L. Si bien fueron bajas las abundancias, *A. franciscana* fue la más representativa, con 0,1 ind/L. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad fue baja en TB-1 (0,54 nits/ind) y media en TB-3 (1,01 nits/ind). Mientras que la equidad tendió a ser alta (0,79 en TB-1 y 0,92 en TB-3), debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron similares (**Tabla N° 9-23 y Figura N° 9-10**).

Tabla N° 9-23. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>			0,10
Hexanauplia (SC Copepoda)	Copepoda (Subclase)	-	Copepoda indet.			0,08
	Harpacticoida	Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.	1,45		
Collembola	Collembola	-	Collembola indet.	0,43		
Arachnida	Acari (Subclase)	-	Acari indet.			0,03
Abundancia total (Ind/L)				1,88	Sin agua	0,22
Riqueza de <i>taxa</i> (S)				2		3
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,54		1,01
Equidad (J')				0,78		0,92

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9-10. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Tilopozo (invierno 2020).

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

9.2.2.3.4 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 2020.

9.2.2.3.4.1 Sector Peine

En el sector Peine el zoobentos registró una riqueza entre 2 y 6 *taxa*, encontrándose el máximo en la estación S-5 (laguna Salada) y de 2 a 3 *taxa* en las demás estaciones. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta principalmente por copépodos Harpacticoida, junto con larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae,

Ephydridae y Chironomidae (entre otras), crustáceos ostrácodos *Eucypris* sp. y *Herpetocypris* sp., además de moluscos de la familia Cochliopidae. (Tabla N° 9-24).

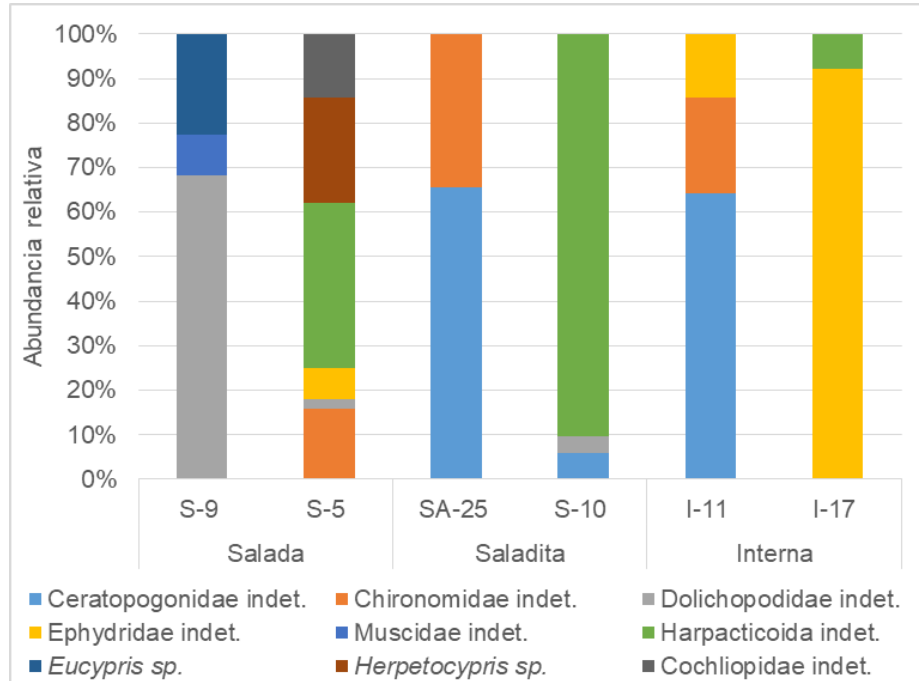
Las abundancias en general fueron altas, con valores totales por estación entre 2858 ind/m² en S-9 a 18189 ind/m² en S-5. Los organismos más abundantes fueron los copépodos Harpacticoida, alcanzando los 9744 ind/m² en S-10. Respecto a los índices comunitarios, las estimaciones de diversidad variaron entre 0,27 nits/ind (I-17) y 1,55 nits/ind (S-5) y la equidad entre 0,35 (S-10) y 0,93 (SA-25), esta última dada por la mayor riqueza y que las abundancias por *taxa* tendieron a ser similares en esa estación (Tabla N° 9-24).

Tabla N° 9-24. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.			4937	650	3508	
		Chironomidae	Chironomidae indet.		2858	2598		1169	
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.	1949	390		390		
		Ephydridae	Ephydridae indet.		1299			780	6106
		Muscidae	Muscidae indet.	260					
Hexanauplia	Harpacticoida	-	Harpacticoida indet.		6756		9744		520
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	<i>Eucypris</i> sp.	650					
			<i>Herpetocypris</i> sp.		4287				
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	Cochliopidae indet.		2598				
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2020					
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	2858	18189	7535	10784	5457	6626
Riqueza de taxa (S)		0	5	3	6	2	3	3	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,82	1,55	0,64	0,38	0,89	0,27
Equidad (J')		-	-	0,74	0,86	0,93	0,35	0,81	0,40

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° 9-11**, muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar los *taxa* dominante en cada estación, con dominancia de insectos dípteros en las estaciones S-9 (Dolichopodidae), SA-25, I-11 (Ceratopogonidae) e I-17 (Ephydridae), mientras que los copépodos Harpacticoida fueron dominantes en las estaciones S-5 y S-10.

Figura N° 9-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2020).

Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.4.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 3 y 4, ocurriendo el máximo en la estación LP-23 y tres *taxa* en las demás estaciones del sector. La fauna zoobentónica estuvo compuesta por larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Chironomidae, Dolichopodidae, Ephydriidae y Stratiomyidae, por copépodos Harpacticoida, por moluscos gasterópodos Cochliopidae y por gusanos Oligochaeta. (**Tabla N° 9-25**).

Los valores de abundancia total por estación fueron altos y estuvieron en el rango de 4547 ind/m² en LB-2 a 11303 ind/m² en LB-1. Los organismos más abundantes fueron los copépodos Harpacticoida encontrados solo en LB-1 (9484 ind/m²), seguidos por larvas de insectos Ceratopogonidae (los más frecuentes en el sector) y luego por los gasterópodos Cochliopidae encontrados en LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava), respectivamente. Las estimaciones de diversidad variaron entre 0,48 nits/ind (LB-1) y 1,32 nits/ind (LP-23). En el caso de la equidad las estimaciones estuvieron en el rango de 0,44 (LB-1) y 0,95 (LP-23), considerando que en la mayoría de las estaciones se obtuvieron valores sobre 0,8, lo cual está dado por las abundancias similares de los *taxa* obtenidas para cada estación (**Tabla N° 9-25**).

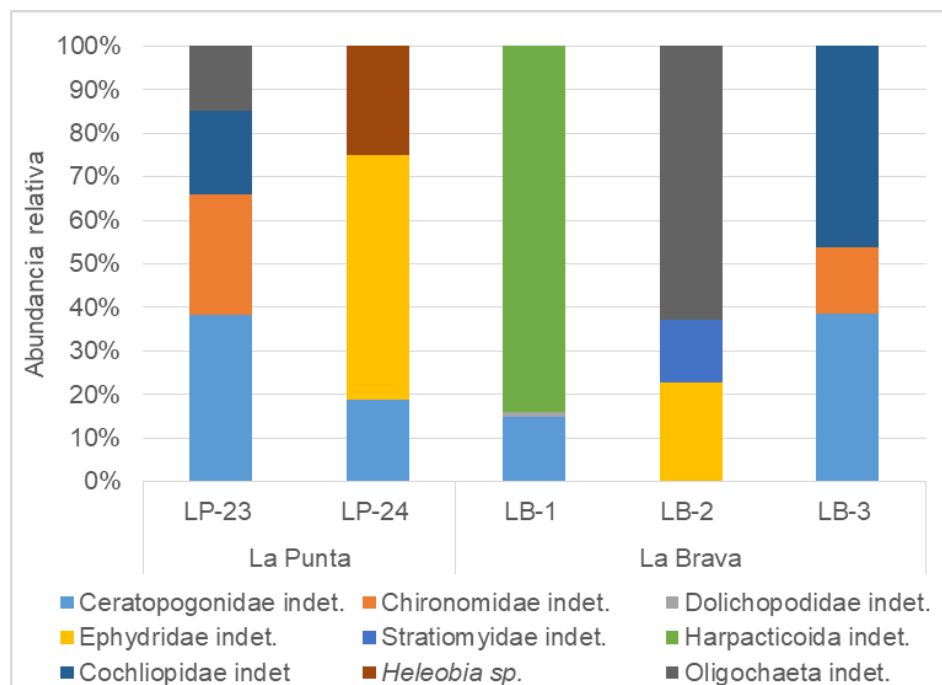
Tabla N° 9-25. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	2339	1169	1689		3898
		Chironomidae	Chironomidae indet.	1689				1559
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.			130		
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.		3508		1039	
		Stratiomyidae	Stratiomyidae indet.				650	
Hexanauplia	Harpacticoida	-	Harpacticoida indet.			9484		
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	Cochliopidae indet	1169				4677
			<i>Heleobia sp.</i>		1559			
Oligochaeta	-	-	Oligochaeta indet.	909			2858	
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2020				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	6106	6236	11303	4547	10134
Riqueza de taxa (S)		0	6	4	3	3	3	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,32	0,98	0,48	0,91	1,01
Equidad (J')		-	-	0,95	0,90	0,44	0,83	0,92

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 los dípteros Ceratopogonidae y Ephydriidae en LP-23 y LP-24 (respectivamente), los copépodos Harpacticoida como dominantes en LB-1, gusanos Oligochaeta en LB-2 y las larvas de insectos Ceratopogonidae y gasterópodos Cochliopidae en la estación LB-3 (**Figura N° 9-12**).

Figura N° 9-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.3.4.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2020, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zoobentónicos. Respecto a la estación TB-2, en campañas anteriores correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, sin embargo, en la campaña de invierno 2020 esta estación se encontró sin agua. En TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde se encontró mayoritariamente el crustáceo ostrácodo *Herpetocypris* sp. (12213 ind/m²), además del gasterópodo Cochliopidae *Heleobia* sp. (260 ind/m²). En la estación TB-3, solo ocurrió el taxón *Heleobia* sp. en alta abundancia (16630 ind/m²), siendo el mayor registro para este sector durante esta campaña (**Tabla N° 9-26**).

Respecto a los índices comunitarios, solo se pudieron estimar en TB-1, correspondiendo a una diversidad de 0,1 nits/ind y una baja equidad de 0,15, esto debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron muy disímiles. En el caso de TB-3, no se pudieron estimar estos índices debido a que solo se registró un taxón (**Tabla N° 9-26**).

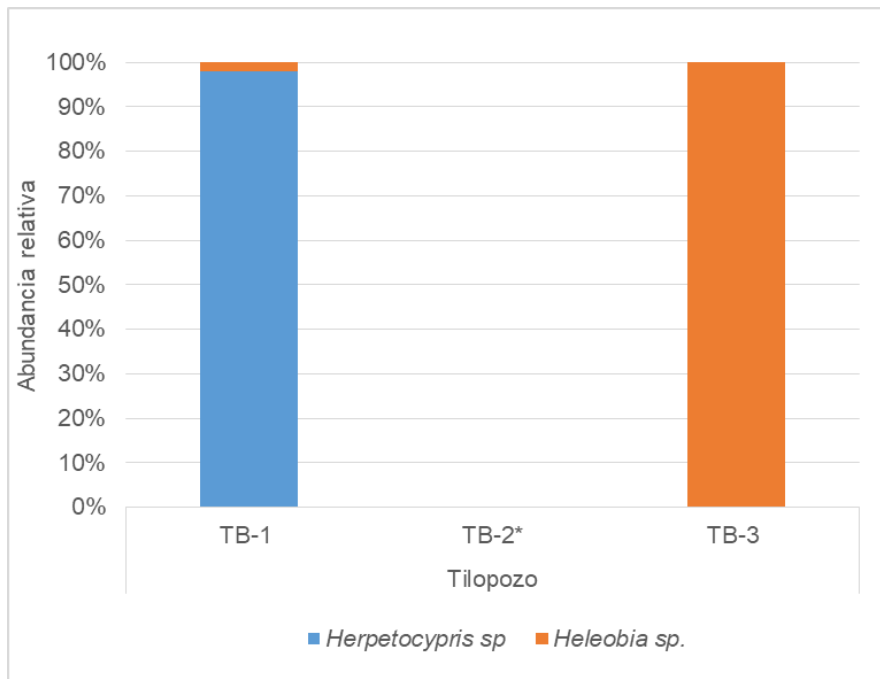
Tabla N° 9-26. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2020).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	<i>Herpetocypris sp</i>	12213	Sin Agua	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	260		16630
Abundancia total (Ind/m²)				12473	-	16630
Riqueza de taxa (S)				2	-	1
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,10	-	-
Equidad (J')				0,15	-	-

Fuente: Elaboración propia.

La estructura comunitaria del zoobentos en el sector muestra una dominancia absoluta de *Heleobia sp.* en la estación TB-3, mientras que en la estación TB-1 dominaron en gran medida el ostrácodo *Herpetocypris sp.* (Figura N° 9-13).

Figura N° 9-13. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2020).



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

9.2.2.3.5 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 2020, fueron detectadas 9 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis* sp. En relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 9-28**).

Tabla N° 9-27. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2020).

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
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Grama 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° 9-28**), las que presentó una especie en el sector Peine, 4 especies en el sector La Punta – La Brava y de 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 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 10 y 47% en el sector Peine y entre 3 y 13% de cobertura en La Punta, mientras que, en La Brava fue detectada solo en la estación LB-3 con 25%. 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* (3%), *Triglochin concinna* (7%) y *Sarcocornia fruticosa* (53%). 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. Además de la presencia de las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus* observada en TB-1 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. En TB-2 fue detectada un 100% de cobertura de *Juncus balticus* (Junco) (**Tabla N° 9-28**).

Tabla N° 9-28. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2020).

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 (10%)		X (47%)	X			X (3%)	X (13%)			X (25%)			
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>												X	X (100%)	X (47%)
<i>Juncus balticus</i>												X (17%)		
<i>Triglochin concinna</i>							X (7%)			X (17%)				
<i>Puccinellia frigida</i>							X (3%)							
<i>Distichlis spicata</i>												X (52%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X (53%)	X						
<i>Baccharis sp.</i>												X (8%)		X (20%)
Riqueza Total	1	0	1	1	0	0	4	2	0	1	1	5	1	3

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

9.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2021 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

9.2.3.1 Resultados Calidad de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de verano 2021 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**.

9.2.3.1.1 Resultados Sector Peine

Los parámetros de calidad de agua del 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), durante la campaña de verano 2021 no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a las restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

9.2.3.1.2 Resultados Sector La Punta y la Brava

Tabla N° 9-29. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Máx. LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (**)	C	-	6,8	26,3	21,74	19,37	25,41	21,73	17,58
pH (**)	U pH	-	7,77	8,38	8,01	8,12	7,93	7,89	8,34
Conductividad eléctrica (**)	µS/cm	1	22300	149500	57110	81510	112700	131200	31830
Salinidad	g/Kg	1	22,7	36,3	46	66	87	119	23
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,69	9,72	3,1	3,02	2,24	1,89	6,07
Turbiedad	UNT	0,07	1,3	31,4	2,2	1,1	3,7	2,2	0,5
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	31,9	8,79	<0,02	0,42	<0,02	0,37
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	-	-	-	17,52	<0,02	27,7	<0,02	17,81
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	3	-	-	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	4,3
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	268	806	432	492,3	475,3	568,4	312
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	240	311,1	432	492,3	475,3	568,4	303,4
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	53,86	307,5	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	9
Cloruro (Cl-)	mg/L	2	12071	58199	26445,7	22191,7	60123,2	62533,8	13045,6
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,6	<0,046	0,245	0,24	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,001	<0,0002	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrógeno amoniacal (NH4+)	mg/L	0,009	<0,01	0,268	0,027	0,027	0,396	0,134	<0,01
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	3,19	1,3	1,4	1,5	1,2	1,1
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<0,05	3,77	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127	<0,127
Ortofosfato (PO4)	mg/L	0,5	0,255	3,29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,39	1385	7261	1918	3368	4694	6705	1411
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (*) 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 las estaciones del Sector La Punta y La Brava en verano de 2021 (Tabla N° 9-29) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 31830 y 131200 µS/cm) y elevadas salinidades (entre 23 y 119 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 13045,6 y 62533,8 mg/L) y sulfato (entre 1411 y 6705 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 La Brava, sin embargo, también fueron altos, con valores para LP-23 y LP-24 de 57110 y 81510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en conductividad y de 46 y 66 g/Kg en salinidad. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (26445,7 y 22191,7 mg/L) y sulfato (1918 y 3368 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 (17,58 a 25,41 °C), junto con un pH alcalino de 7,89 a 8,34, cuyos valores se corresponden con los parámetros de alcalinidad total (312 a 568,4 mg/L) y bicarbonato (303,4 a 568,4 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 1,89 y 6,07 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). Por su parte, la clorofila en Perifiton mostró un rango entre <0,02 y 27,7 mg/m² (máximo en LB-1), mientras que la clorofila "a", presentó una variación entre <0,02 y 8,79 $\mu\text{g}/\text{L}$, con su máximo registro en LP-23 (La Punta). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 0,5 y 3,7 UNT y los compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito y amonio), tuvieron valores bajos o por debajo el límite de detección. En el caso del Nitrógeno Total Kjeldhal, presentó valores entre 1,1 y 1,5 mg/L. Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector, al igual que el parámetro de aceites y grasas (**Tabla N° 9-29**).

9.2.3.1.3 Resultados Sector Tilopozo

Tabla N° 9-30. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (verano 2021).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Temperatura (**)	C	-	25,55	Sin agua	25,2
pH (**)	U pH	-	6,97		6,97
Conductividad eléctrica (**)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1	4317		4320
Salinidad	g/Kg	1	2		2
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	3,46		3,92
Turbiedad	UNT	0,07	0,5		0,5
Clorofila "a"	$\mu\text{g}/\text{L}$	0,02	0,48		0,46
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m ²	-	2,82		7,81
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	<1,2		<1,2
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	1	347,5		351,6
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	1	347,5		351,6
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	1	<1,2		<1,2
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	2	914,6		925,2

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	0,6	4,2		4,1
Nitrito (N-NO ₂ -)	mg/L	0,001	<0,023		<0,023
Nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,009	<0,01		0,011
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	2		1,3
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<0,127		<0,127
Ortofosfato (PO ₄)	mg/L	0,5	<0,5		<0,5
Sulfato (SO ₄ -2)	mg/L	0,39	288		393
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4		<4

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

(**) Parámetros registrados *in situ*.

En la campaña de verano 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de 2 a 3 m de profundidad de afloramiento subsuperficial.

En general los valores obtenidos en el sector de Tilopozo (**Tabla N° 9-30**), muestran un sistema mucho menos salino que los otros sectores, con valores más bajos en conductividad (entre 4317 y 4320 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2 g/Kg) y cloruro (entre 914,6 y 925,2 mg/L). El pH fue neutro de 6,97 para ambas estaciones, con valores correspondientes con los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato. Las temperaturas registradas en general fueron altas en estos cuerpos de agua, las cuales oscilaron entre 25,2 y 25,55 °C. El oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3,46 y 3,92 mg/L. Por otro lado, la turbiedad mostró un valor de 0,5 UNT y la clorofila “a” presentó valores entre 0,46 y 0,48 $\mu\text{g}/\text{L}$ y la clorofila en Perifiton entre 2,82 y 7,81 mg/m². Por su parte el nitrato fluctuó entre 4,1 y 4,2 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldhal presentó valores entre 1,3 y 2 mg/L. Los otros compuestos nitrogenados (nitrito y amonio) tuvieron valores iguales cercanos o bajo el límite de detección. En el caso del fósforo total y el ortofosfato, tuvieron valores bajo el límite de detección en ambas estaciones muestreadas en Tilopozo, mientras que el sulfato varió entre 288 y 393 mg/L. Por su parte, el parámetro de aceites y grasas tuvo valores bajo el límite de detección.

9.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados durante la campaña de verano 2021, en las diferentes estaciones por cada sector de estudio. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

9.2.3.2.1 Resultados Sector Peine

Los parámetros de calidad de sedimentos del 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), durante la campaña de verano 2021 no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a las restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

9.2.3.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 9-31** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2021 del Sector de La Punta –La Brava.

Tabla N° 9-31. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).

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	10	22	48	180	180	110	120	170
Fósforo Total (P)	mg/Kg	1000	8	55	<1000	<1000	<1000	<1000	<1000
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	1,596	6,351	2,171	2,864	2,972	3,391	4,162
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	7,83	6,32	10,98	16,98	9,41
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-347,6	-307,5	-342,4	-366,8	-386,2

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (*) 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.

La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 110 a 180 g/Kg y de 6,32% a 16,98%, respectivamente, registrándose los valores mayores para el carbono orgánico total en laguna La Punta y los más altos de materia orgánica en la laguna La Brava. El Nitrógeno Total Kjeldahl, varió entre 2,171 y 4,162 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). Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron en los sedimentos valores que indican sedimentos de ambiente reductor con valores entre -386,2 y -307,5 mV, con su mínimo valor en LB-3 (laguna La Brava) y el máximo en LP-24 (laguna La Punta).

Respecto a la granulometría, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, correspondieron a *Arena fina* (0,160 mm) y *Arena media* (0,494 mm), respectivamente, con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado* y *Pobremente seleccionado*, en cada estación. En laguna La Brava, en las estaciones LB-2 y LB-3 el

diámetro medio de grano correspondió a *Arena gruesa* (entre 0,866 y 0,872 mm), con un grado de selección obtenido de *Muy pobremente seleccionado* y *Pobremente seleccionado* (Tabla N° 9-32).

Cabe mencionar que el ensayo de granulometría para la estación LB-1 no se pudo ejecutar. La ETFA ANAM informó que la muestra de sedimento obtenida durante la campaña de verano 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 esa estación en particular. **Ver carta en Anexo Limnología – Sedimentos.**

Tabla N° 9-32: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2021.

Laguna	Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
		(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
La Punta	LP-23	0,160	Arena Fina	0,0045	Muy pobremente seleccionado
	LP-24	0,494	Arena Media	0,0032	Pobremente seleccionado
La Brava	LB-2	0,866	Arena Gruesa	0,0047	Muy pobremente seleccionado
	LB-3	0,872	Arena Gruesa	0,0029	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

9.2.3.2.3 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 9-33** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2021 del Sector de Tilopozo.

Tabla N° 9-33. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2021.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	10	90	Sin agua	70
Fósforo Total (P)	mg/Kg	1000	1600		1800
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,0125	6,9667		5,4064
Materia Orgánica	%	0,28	8,76		15,34
Potencial Redox	mV	-	-343		-270,3

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

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) entre 70 y 90 g/Kg y de materia orgánica entre 8,76% y 15,34%, siendo el mayor registro de materia orgánica en TB-3. El nitrógeno total Kjeldahl varió entre 6,97 g/Kg (TB-1) y 5,41 g/Kg (TB-3). El fósforo total, por su parte, presentó registros con valores entre 1600 mg/Kg (TB-1) y 1800 mg/Kg (TB-3). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores de -343,0 y -270,3 mV respectivamente, con su mínimo registrado en TB-1.

Los resultados granulométricos para el sector de **Tilopozo**, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones, correspondieron a *Arena media* tanto en TB-1 (0,271 mm) como en TB-3 (0,367 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* en ambas estaciones (**Tabla N° 9-34**).

Tabla N° 9-34: Resultados granulométricos de los Sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2021.

Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
TB-1	0,271	Arena Media	0,0054	Muy pobremente seleccionado
TB-3	0,367	Arena Media	0,0066	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

9.2.3.3 Resultados Biota acuática

9.2.3.3.1 Fitobentos

9.2.3.3.1.1 Sector Peine

Para la comunidad de fitobentos 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), en la campaña verano 2021, no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

9.2.3.3.1.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2021 estuvo compuesta por 25 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 12 y 20 géneros en las estaciones LB-2 y LB-3 (La Brava) y en LP-23 (La Punta) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 1,00 cel/cm² en LB-3 (La Brava) y 200,50 cel/cm² en LP-23 (La Punta) (**Tabla N° 9-35**).

La comunidad presentó una diversidad y equidad mayor en la estación LB-2, ubicada en la laguna La Brava, mientras que en la estación de La punta (LP-24), se registró la menor diversidad y equidad (**Tabla N° 9-35**).

En relación a los *taxa* dominantes durante la campaña de verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Amphora* (**Figura N° 9-14**).

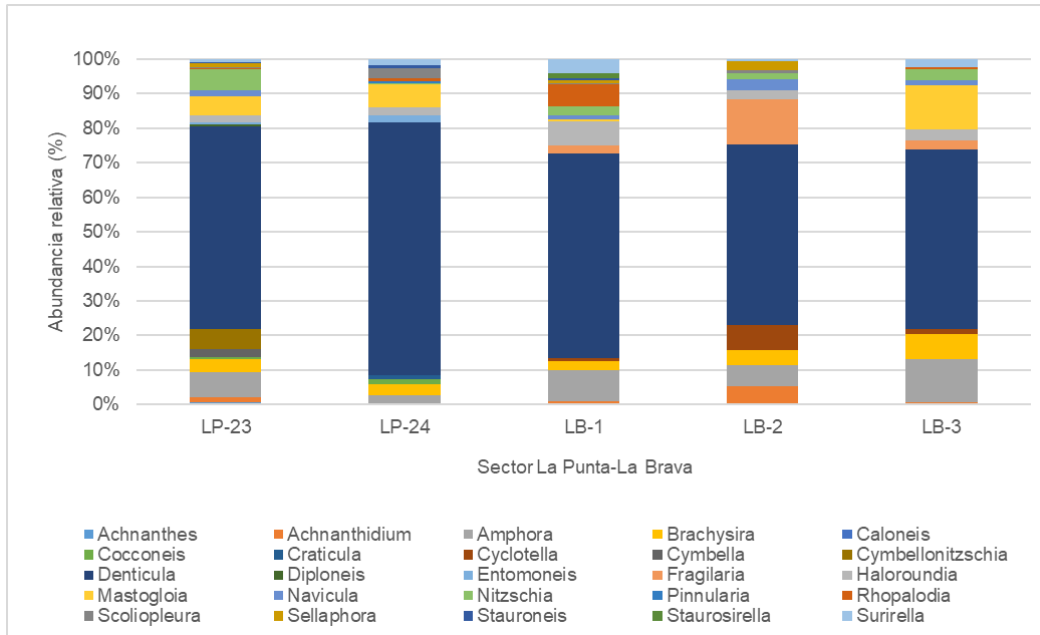
Respecto de las dominancias por clase, se observó que la clase ampliamente dominante correspondió a Bacillariophyceae.

Tabla N° 9-35. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 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>	1,49				
	Cocconeoidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnantheidium</i>	2,55		1,06	4,26	0,01
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	14,47	1,70	11,07	5,11	0,12
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	7,88	2,13	3,19	3,41	0,07
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i>	0,21				
	Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	0,85	0,85			
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Craticula</i>		0,85			
	Stephanodiscales	Stephanodisceae	<i>Cyclotella</i>			0,85	5,96	0,01
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	4,90				
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	11,28				
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	117,92	47,25	72,16	42,57	0,52
	Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	1,06				
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	1,28	1,28			
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>			2,77	10,64	0,03
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Haloroundia</i>	4,26	1,49	8,73	2,13	0,03
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	10,86	4,26	0,43		0,13
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	3,41		1,49	2,55	0,01
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	12,56	0,21	3,19	1,28	0,03
	Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>		0,43			
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	0,43	0,43	7,88		0,01
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	0,21	1,92	0,43	0,85	
	Naviculales	Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i>	2,55		0,85	2,13	
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	0,64	0,64	0,64		
Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>			1,92			
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	1,70	1,06	4,90	0,43	0,02	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Verano 2021				
Abundancia total (cel/cm²)		16	88793	200,50	64,49	121,54	81,31	1,00
Riqueza de géneros (S)		5	17	20	14	16	12	12
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,68	1,20	1,60	1,70	1,66
Equidad (J')		-	-	0,56	0,45	0,58	0,68	0,65

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° 9-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2021).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 10 géneros. La riqueza por estación en TB-1 y TB-2 presentaron 8 géneros cada una. Respecto a las abundancias registradas las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron una abundancia similar, las que oscilaron entre los 1,54 y 0,58 cel/cm², respectivamente (**Tabla N° 9-36**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fueron mayores para la estación TB-3 y menores para TB-1. Cabe destacar que, la estación TB-2 en la actual campaña se encontró sin agua superficial.

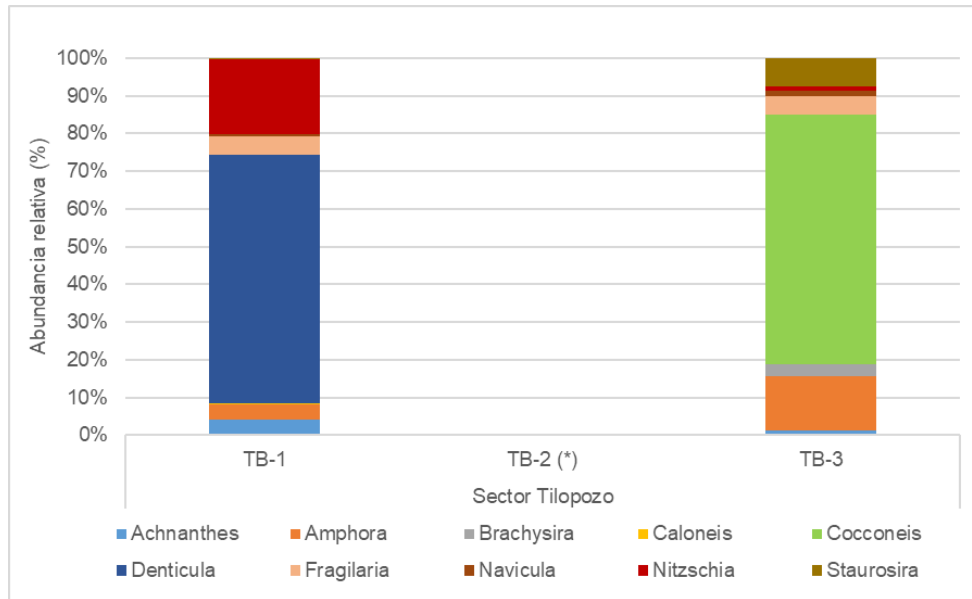
Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis* presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas (**Figura N° 9-15**). Respecto de las dominancias por clase, se puede ver la amplia dominancia del grupo Bacilliarophyceae.

Tabla N° 9-36. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	0,07	Sin agua	0,01
	Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	0,06		0,08
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			0,02
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i>	0,01		
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			0,38
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	1,01		
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	0,08		0,03
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	0,01		0,01
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	0,30		0,01
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosira</i>	0,01		0,04
Abundancia total (cel/cm²)				1,54	0,58	
Riqueza de géneros (S)				8	8	
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,12	1,20	
Equidad (J')				0,48	0,55	

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9-15. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (verano 2021).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.2 Fitoplancton

9.2.3.3.2.1 Sector Peine

Para la comunidad de fitoplancton 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), en la campaña verano 2021, no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

9.2.3.3.2.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2021 presentó 17 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 8 y 14 géneros, observado en las estaciones LP-24 (La Punta), LB-2 (La Brava) y LP-23 (La Punta) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 474,27 cel/mL en LP-24 (La Punta) y 1472,22 cel/mL en LB-2 (La Brava) (**Tabla N° 9-37**). La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LP-23 (La Punta) con 1,92 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LB-1 con 1,31 nits/ind ubicada en la laguna La Brava (**Tabla N° 9-37**).

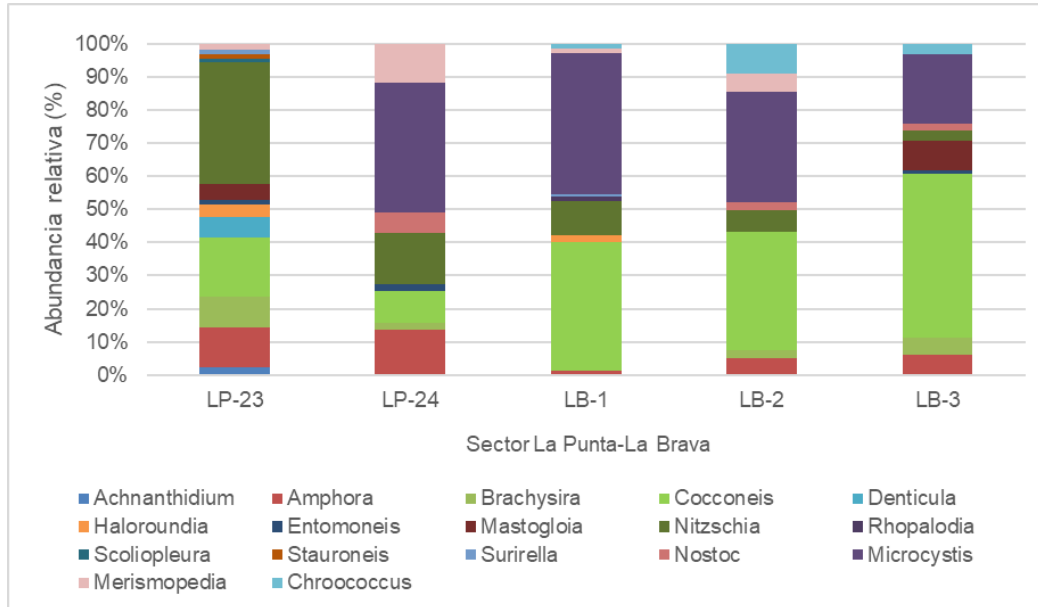
Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron observadas para la diatomea *Cocconeis* y la cianófito *Microcystis* (**Figura N° 9-16**).

El análisis de la abundancia relativa por clase muestra que el sector estuvo dominado ampliamente por la clase Bacillariophyceae, seguida de Cyanophyceae.

**Tabla N° 9-37. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros.
Sector La Punta y La Brava (verano 2021).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnanthidium</i>	27,78				
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	148,15	64,81	18,52	74,07	55,56
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	111,11	9,26		37,04	46,30
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	222,22	46,30	546,30	527,78	458,33
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	74,07				
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>	46,30		27,78		
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	18,52	9,26			9,26
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	55,56				83,33
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	453,70	74,07	148,15	92,59	27,78
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			18,52		
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	9,26				
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	18,52				
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	18,52		9,26		
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Nostoc</i>		29,82		37,04	18,52
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	0,09	185,19	601,85	490,74	194,44
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	18,52	55,56	18,52	83,33	
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>			18,52	129,63	27,78
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Verano 2021				
Abundancia total (cel/mL)		24	10110	1222,31	474,27	1407,41	1472,22	921,30
Riqueza de géneros (S)		6	14	14	8	9	8	9
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,92	1,74	1,31	1,62	1,55
Equidad (J')		-	-	0,73	0,83	0,59	0,78	0,70

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° 9-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2021).

Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 7 géneros. Cabe destacar que, la estación TB-2 se encontró sin agua en esta campaña. La riqueza por estación presentó 6 géneros en TB-1 y 4 géneros en TB-3 respectivamente. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron valores entre 111,11 y 402,78 cel/mL (**Tabla N° 9-38**). Los valores de diversidad oscilaron entre 1,57 nits/ind y 1,20 nits/ind, en las estaciones TB-1 y TB-3 respectivamente. Por otro lado, la equidad presentó valores similares entre las estaciones TB-1 y TB-3 con valores de 0,88 y 0,86 respectivamente.

Respecto de los *taxa* dominantes, *Nitzschia* (Bacillariophyceae) y *Microcystis* (Cyanophyceae) presentaron la mayor abundancia relativa entre las estaciones de vegas de Tilopozo (**Figura N° 9-17**).

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.

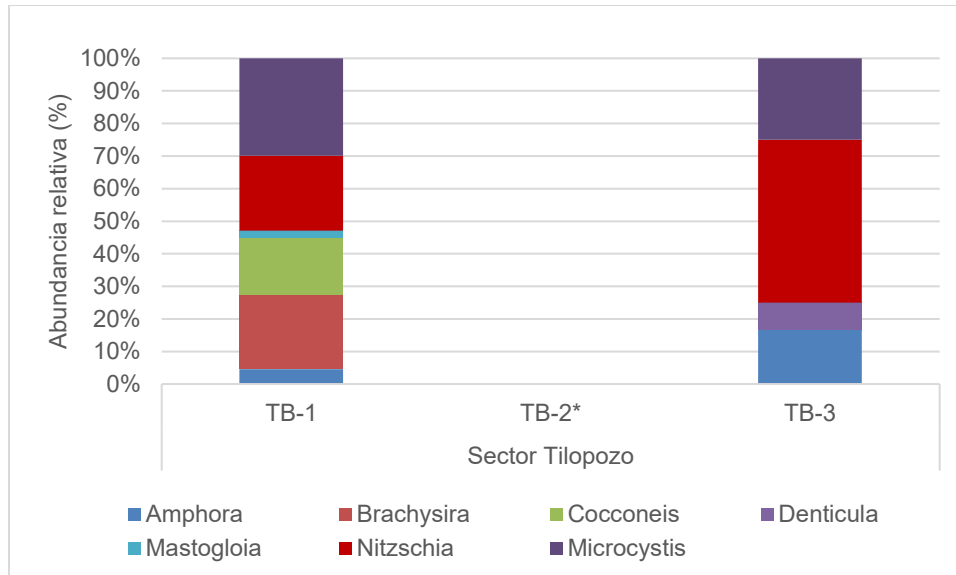
Tabla N° 9-38. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2021).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2*	TB-3
Bacillariophyceae	Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	18,52	Sin agua	18,52
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>	92,59		
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	69,44		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>			9,26
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	9,26		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	92,59		55,56
Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	120,37		27,78
Abundancia total (cel/mL)				402,78		111,11
Riqueza de géneros (S)				6		4
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,57		1,20
Equidad (J')				0,88		0,86

(*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2021).



(*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.3 Zooplancton

9.2.3.3.3.1 Sector Peine

Para la comunidad de zooplancton en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), durante la campaña de verano 2021 no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

9.2.3.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta (LP) y La Brava (LB), se registró un total de 5 *taxa* de organismos zooplanctónicos en verano de 2021, con riquezas entre 2 y 3 *taxa* por estación, siendo la mínima la obtenida en la estación LP-23 (La Punta) y la máxima en el resto de las estaciones. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana* (mayoritariamente en estado adulto y Metanauplius), por copépodos Harpacticoida del género *Tigriopus* e insectos dípteros de la subfamilia Orthocladiinae y de las familias Ephydriidae y Muscidae. El taxón con mayor frecuencia fue Muscidae indet., que se encontró en todas las estaciones de este sector (**Tabla N° 9-39**).

Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron en un rango de 0,20 y 6,70 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-3 y un máximo en LB-2. Los organismos más abundantes fueron *A. franciscana*, alcanzando 4,72 ind/L en LB-1, seguidos por insectos Muscidae que obtuvo un máximo de 6,55 ind/L en LB-2 (**Tabla N° 9-39**).

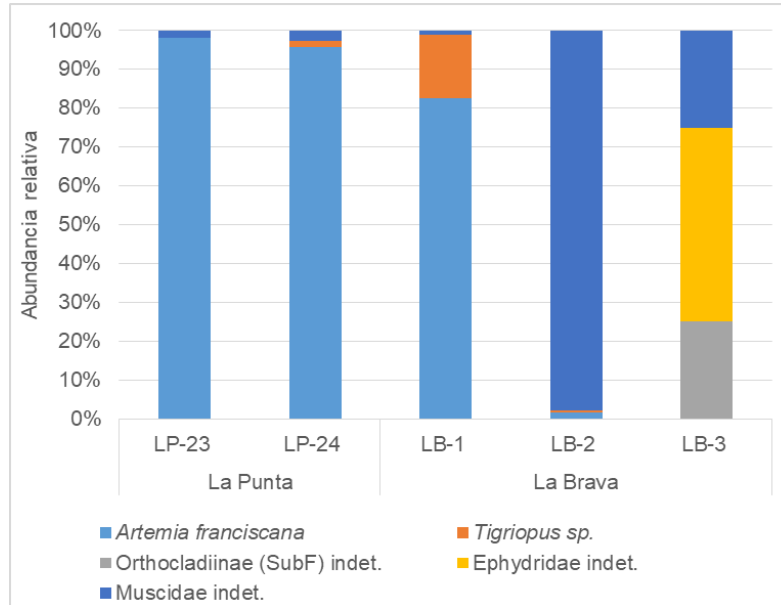
Referente a las diversidades estimadas, estas fueron bajas tanto para las estaciones de la laguna La Brava como para la laguna La Punta (entre 0,08 y 1,04 nits/ind). Por su parte, la equidad tendió a ser baja en la mayoría de las estaciones (menores a 0,46), excepto en la estación LB-3 donde fue alta (0,95), en este último caso debido a que las abundancias de sus *taxa* fueron similares (**Tabla N° 9-39**).

Tabla N° 9-39. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i>	1,05	1,75	4,72	0,10	
Hexanauplia	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.		0,03	0,93	0,05	
Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthoclaadiinae (SubF) indet.					0,05
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.					0,10
		Muscidae	Muscidae indet.	0,02	0,05	0,06	6,55	0,05
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2021				
Abundancia total (Ind/L)		0,0	239,1	1,07	1,83	5,71	6,70	0,20
Riqueza de taxa (S)		0	4	2	3	3	3	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,08	0,22	0,50	0,12	1,04
Equidad (J')		-	-	0,12	0,20	0,46	0,11	0,95

Fuente: Elaboración propia. (*) Incluye larvas Nauplius, Metanauplius y Adultos 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.

La estructura comunitaria del zooplancton en el sector muestra que el grupo dominante en laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y en la estación LB-1 (La Brava) fue *A. franciscana*, mientras que la estación LB-2 fueron los insectos Muscidae y en la estación LB-3 los dípteros Ephydriidae (**Figura N° 9-18 y Tabla N° 9-39**).

Figura N° 9-18. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2021).

Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2021, solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zooplanctónicos. Cabe mencionar que la estación TB-2 en campañas anteriores correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, sin embargo, en la actual campaña esta estación se encontró sin agua. En TB-1 la riqueza total fue de 4 *taxa*, donde se encontraron organismos que son parte de categorías relacionadas con el zoobentos y que aparecen ocasionalmente como parte del zooplancton. Entre los *taxa* encontrados están los dípteros Orthoclaadiinae (Chironomidae), el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Cyprididae y Ácaros (Acari). La abundancia total fue de 0,95 ind/L, siendo *H. atacamensis* el taxón dominante con 0,85 ind/L. En la estación TB-3 no se registraron organismos zooplanctónicos. Respecto a los índices comunitarios en TB-1, tanto la diversidad (0,44 nits/ind) como la equidad (0,32) fueron bajas, debido a la baja riqueza encontrada y que las abundancias de los *taxa* fueron disimiles (**Tabla N° 9-40**).

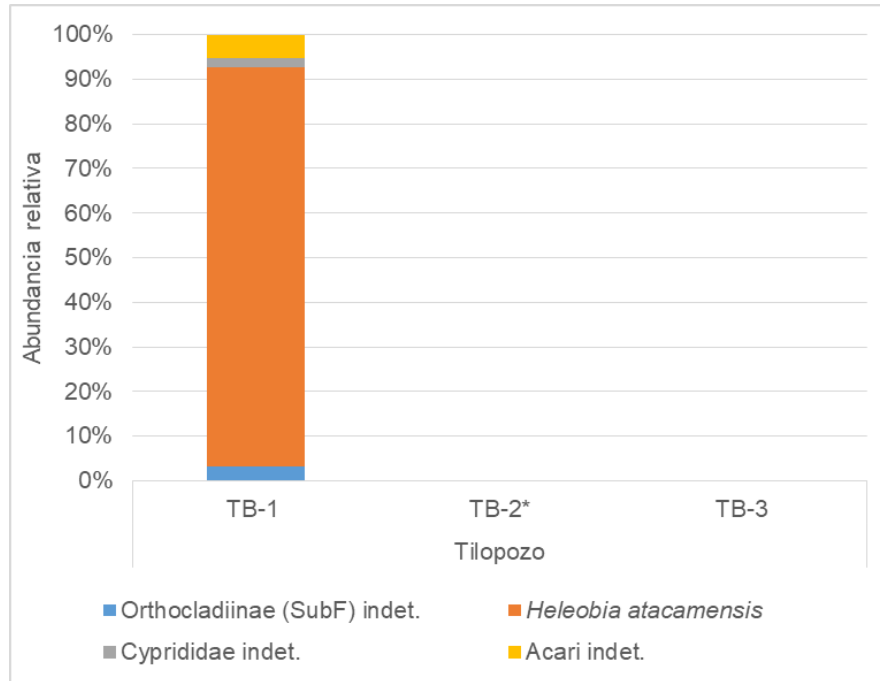
Tabla N° 9-40. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2021.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2*	TB-3
Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthoclaadiinae (SubF) indet.	0,03	Sin agua	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	0,85		
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.	0,02		
Arachnida	Acari (SC)	-	Acari indet.	0,05		
Abundancia total (Ind/L)				0,95	-	0,00
Riqueza de taxa (S)				4	-	0
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,44	-	-
Equidad (J')				0,32	-	-

Fuente: Elaboración propia. * La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

La estructura comunitaria del zooplancton en el sector muestra que el grupo dominante en TB-1 fue el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, mientras que de las otras estaciones no se obtuvieron organismos zooplanctónicos (Tabla N° 9-40 y Figura N° 9-19).

Figura N° 9-19. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector Tilopozo (verano 2021).



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua superficial al momento del monitoreo.

9.2.3.3.4 Zoobentos

9.2.3.3.4.1 Sector Peine

Para la comunidad de zoobentos en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), durante la campaña de verano 2021 no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido a restricciones de acceso a este sector impuestas por la comunidad de Peine.

9.2.3.3.4.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 1 y 4, ocurriendo el máximo en la estación LB-3 y solo un *taxón* en LB-2 y dos *taxa* en las demás estaciones del sector. La fauna zoobentónica estuvo compuesta por larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae (Subfamilia Orthoclaadiinae), Muscidae y Stratiomyidae, por copépodos Harpacticoidea del género *Tigriopus*, por ostrácodos Cyprididae y moluscos gasterópodos del género *Heleobia*. (Tabla N° 9-41).

Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 250 ind/m² en LP-23 a 875 ind/m² en LB-3. Los organismos más abundantes fueron las larvas de dípteros Orthoclaadiinae (Chironomidae) y Muscidae, registrándose máximos de 375 ind/m² en LP-24 y LB-2, respectivamente. El taxón con mayor frecuencia fue el de los dípteros Muscidae (moscas), que se encontraron en la mayoría de las estaciones de este sector. Los copépodos *Tigriopus* sp. se encontraron solo en LB-1 (250 ind/m²), los ostrácodos Cyprididae solo en la estación LB-3 (250 ind/m²) y los gasterópodos *Heleobia* sp. solo se registraron en LP-23 (125 ind/m²). (Tabla N° 9-41).

Las estimaciones de diversidad variaron entre 0,56 nits/ind (LP-24) y 1,35 nits/ind (LB-3). En el caso de la equidad las estimaciones estuvieron en el rango de 0,81 (LP-24) y 1;00 (LP-23), tales valores altos, están dados por las abundancias similares de los *taxa* obtenidas para cada estación (Tabla N° 9-41).

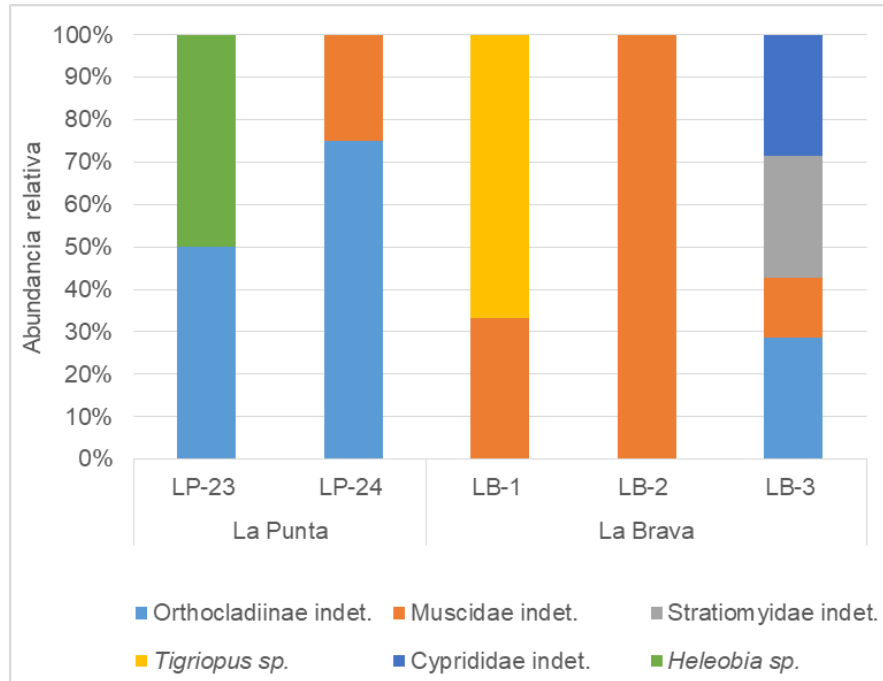
Tabla N° 9-41. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (verano 2021).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Chironimidae	Orthoclaadiinae (SubF) indet.	125	375			250
		Muscidae	Muscidae indet.		125	125	375	125
		Stratiomyidae	Stratiomyidae indet.					250
Copepoda	Harpactocoidea	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.			250		
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.					250
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	125				
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Verano 2021				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	250	500	375	375	875
Riqueza de taxa (S)		0	6	2	2	2	1	4
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,69	0,56	0,64	-	1,35
Equidad (J')		-	-	1,00	0,81	0,92	-	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° 9-20** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar los *taxa* dominante en cada estación, con dominancia de *Heleobia* sp. y Orthoclaadiinae en LP-23, Orthoclaadiinae en LP-24, *Tigriopus* sp. en LB-1, Muscidae en LB-2 y Orthoclaadiinae, Stratiomyidae y Cyprididae en LB-3.

Figura N° 9-20. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2021).



Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.4.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2021, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zoobentónicos. Respecto a la estación TB-2, en campañas anteriores correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, sin embargo, en la campaña de verano 2021 esta estación se encontró sin agua superficial. En TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde se encontró en gran abundancia el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (386.375 ind/m²) con el mayor registro para este sector, seguido por el ostrácodo Cyprididae (125 ind/m²). En la estación TB-3, solo ocurrió el taxón *Heleobia atacamensis* también en alta abundancia (277.875 ind/m²) (**Tabla N° 9-42**). Cabe mencionar que las altas abundancias de *H. atacamensis* resultantes de los análisis de laboratorio, se debió al hecho de que las muestras contenían grandes cantidades de individuos juveniles de muy pequeño tamaño, mientras que los individuos adultos se encontraron en menor número (**Fotografía N° 9-16**).

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 extremadamente disímiles. En el caso de TB-3, no se pudieron estimar estos índices debido a que solo se registró un taxón (Tabla N° 9-42).

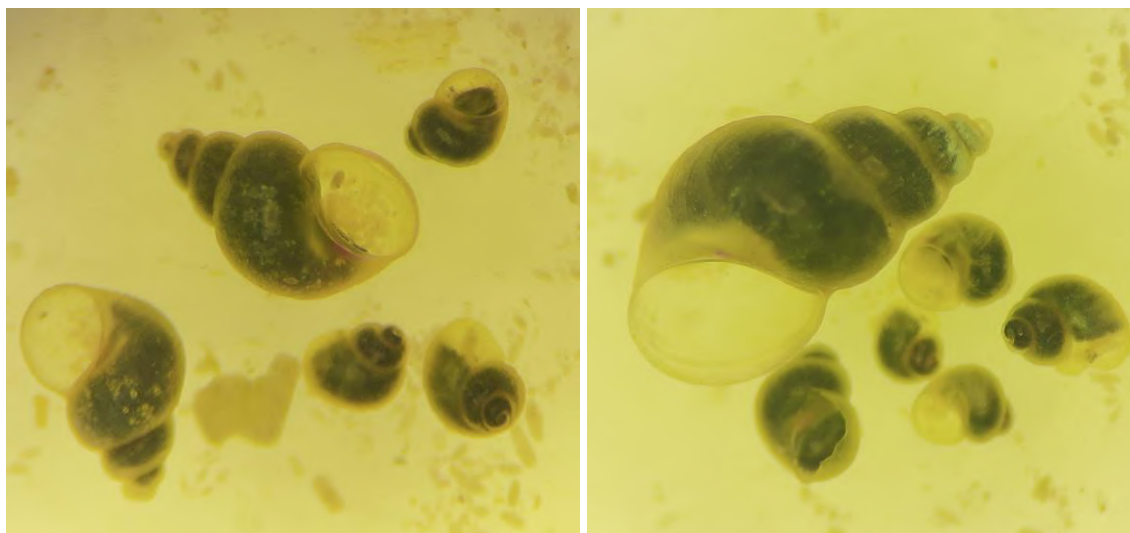
La estructura comunitaria del zoobentos en el sector, muestra una dominancia casi absoluta de *Heleobia atacamensis* en la estación TB-1 y absoluta en TB-3 (Figura N° 9-21).

Tabla N° 9-42. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (verano 2021).

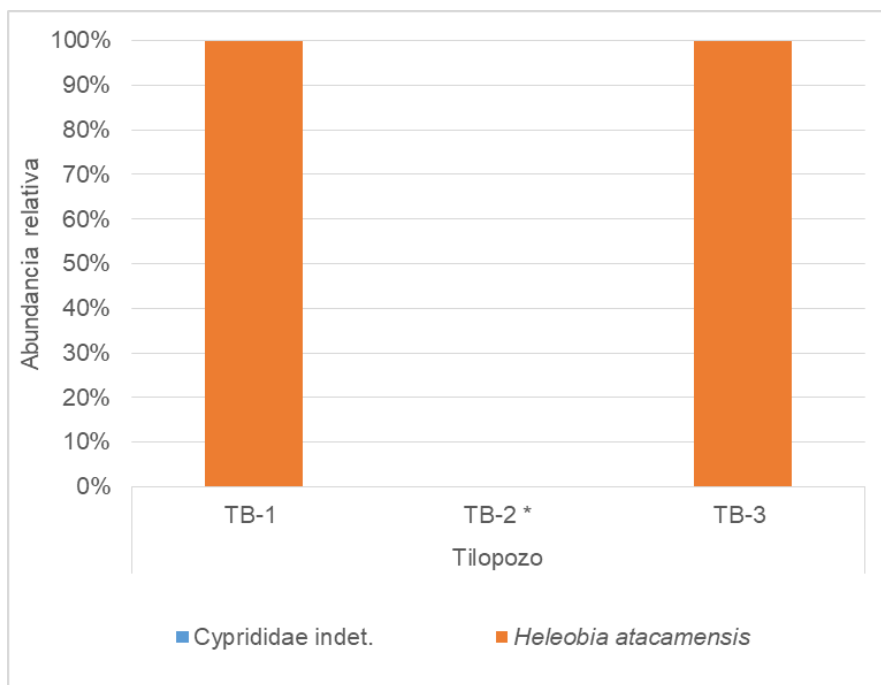
Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae indet.	125	Sin Agua	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	386375		277875
Abundancia total (Ind/m²)				386500	-	277875
Riqueza de taxa (S)				2	-	1
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,003	-	-
Equidad (J')				0,004	-	-

Fuente: Elaboración propia. La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

Fotografía N° 9-16. Registro fotográfico de laboratorio de *Heleobia atacamensis* (verano 2021).



Fuente: Laboratorio AquaExpert

Figura N° 9-21. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2021).

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

9.2.3.3.5 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 2021, en los sectores 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 (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis* sp. En relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 9-43**).

**Tabla N° 9-43. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio
(verano 2021).**

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Ruppiales	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Tatora	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	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 La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 9-44**), con 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 La Punta - La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en porcentajes que oscilaron entre 2 y 8% de cobertura en La Punta, mientras que, en La Brava fue detectada solo en la estación LB-3 con 5%. Cabe destacar que, esta especie fue detectada siempre sumergida. Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta en la estación LP-23 se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Puccinellia frigida* (2%), *Triglochin concinna* (6%) y *Sarcocornia fruticosa* (57%). 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 32% 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 entre 28% y 33% en las estaciones TB-1 y TB-3. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas que oscilaron entre 33% y 52% en TB-3 y TB-1, *Distichlis spicata* con 5% en TB-1 y 52% en TB-2 y *Baccharis* sp. con 10% en TB-1 y 30% en TB-3. Como ya ha sido mencionado, la estación TB-2 no presentó agua superficial (**Tabla N° 9-44**).

Cabe destacar que, la comunidad de plantas acuáticas 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), en la presente campaña no fue posible monitorearla, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

La **Tabla N° 9-44** presenta los registros de macrófitas para los dos sectores de estudio en sus distintas estaciones y su porcentaje de cobertura total.

Tabla N° 9-44. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (verano 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>	Sin acceso						X (2%)	X (8%)			X (5%)								
<i>Zannichellia palustris</i>																	X (28%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>																	X (52%)	X (48%)	X (33%)
<i>Juncus balticus</i>																	X		X
<i>Triglochin concinna</i>												X (6%)			X (32%)				
<i>Puccinellia frigida</i>												X (2%)							
<i>Distichlis spicata</i>																	X (5%)	X (52%)	
<i>Sarcocornia fruticosa</i>												X (57%)	X						
<i>Baccharis sp.</i>																	X (10%)		X (30%)
Riqueza Total												4	2	0	1	1	5	2	4

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

9.2.4 Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)

Para las variables físicas y químicas del agua y sedimentos, en la RCA 21/2016 del proyecto, queda establecido como niveles o límites comprometidos para esta componente, la “Mantención dentro de su variación histórica”. De esta manera se puede comparar lo observado durante la etapa previa a la etapa de construcción del proyecto (LB- PMB), con los resultados obtenidos en los monitoreos realizados posteriormente hasta la fecha. Para las comunidades biológicas se aplicó el mismo criterio.

Cabe destacar que el sector Tilopozo no cuenta con antecedentes de Línea de Base dentro del PMB, por lo que sólo se pueden realizar comparaciones entre monitoreos y lo adecuado es que sea entre los mismos periodos estacionales, esto es inviernos (2016, 2017, 2018, 2019 y 2020) y veranos (2017, 2018, 2019 y 2021).

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 a 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 2020 y verano 2021.

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 a 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 2020 y verano 2021, 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 períodos de verano, períodos donde hubo capturas y registros de organismos zooplanctónicos.

Para la comunidad zoobentónica, si bien se cuenta con registros en la Línea Base de abundancias por *taxa*, estos no son comparables con las abundancias registradas en el monitoreo del PMB, debido a que se encuentran en unidades distintas no transformables (individuos/litro) respecto a lo obtenido en las campañas de monitoreo del PMB (individuos/ m^2). Tal información se encuentra disponible de esta forma en el documento *Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas Base. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales* (PMB, 2015).

10 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 2020**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “superficies cubiertas por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2020, 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)²⁷”, 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°10-1 se presenta un resumen del

²⁷ 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°10-1. 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 mismas²⁸ 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°10-2.

²⁸ 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°10-2. 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> Validación estacional de puntos en terreno y levantamiento de puntos de posicionamiento en tiempo real de alta precisión.	<u>Especialistas en terreno:</u> Tomás Lizama Michael Venegas Pedro Pablo Barahona David Avaca
	<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> Tomás Lizama Jessica Labarca
Apogeos	<u>Trabajo en gabinete:</u> Correcciones y adquisición de imágenes satelitales.	Lorena Bustamante (Especialista)

Fuente: Elaboración Propia

En síntesis, en este informe se describen los alcances metodológicos, los resultados y discusión del seguimiento señalado, comenzando con el procesamiento de datos a partir de imágenes de alta, Pleiades-1A, y media resolución, Landsat 8, y de datos obtenidos en las campañas de terreno y/ fotointerpretación de agosto y diciembre de 2020. 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, con resultados de campañas anteriores y con la superficie determinada a partir de Landsat 8, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los monitoreos de invierno 2020 y verano 2020, y con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016).

Durante las campañas 2020, se presentaron restricciones de acceso a los subsectores de estudio, tanto por las medidas sanitarias en el marco de la Pandemia COVID – 19; como también, parte de las medidas de acceso limitado a áreas con poblaciones de flamenco en fase reproductiva informado por las comunidades atacameñas.

En la campaña verano 2020 solo fue posible realizar validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava, dada la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine). En **Anexo Área de Lagunas** se adjunta Carta N°78/2020 de la Comunidad de Peine.

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, lo cual determina modificaciones en su capacidad de carga, calidad de agua y también cambios estructurales y funcionales de los ecosistemas acuáticos (Ref. 4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico; Adenda 5 RWL, 2015).

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, para el quinto informe consolidado anual se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Presentar las coberturas de cuerpos de agua calculadas en agosto y diciembre de 2020 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 fotointerpretativas²⁹) 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).
- Contrastar las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de construcción con las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de operación, obtenidas desde imágenes satelitales de alta y media resolución.

10.1 MATERIALES Y MÉTODOS

10.1.1 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

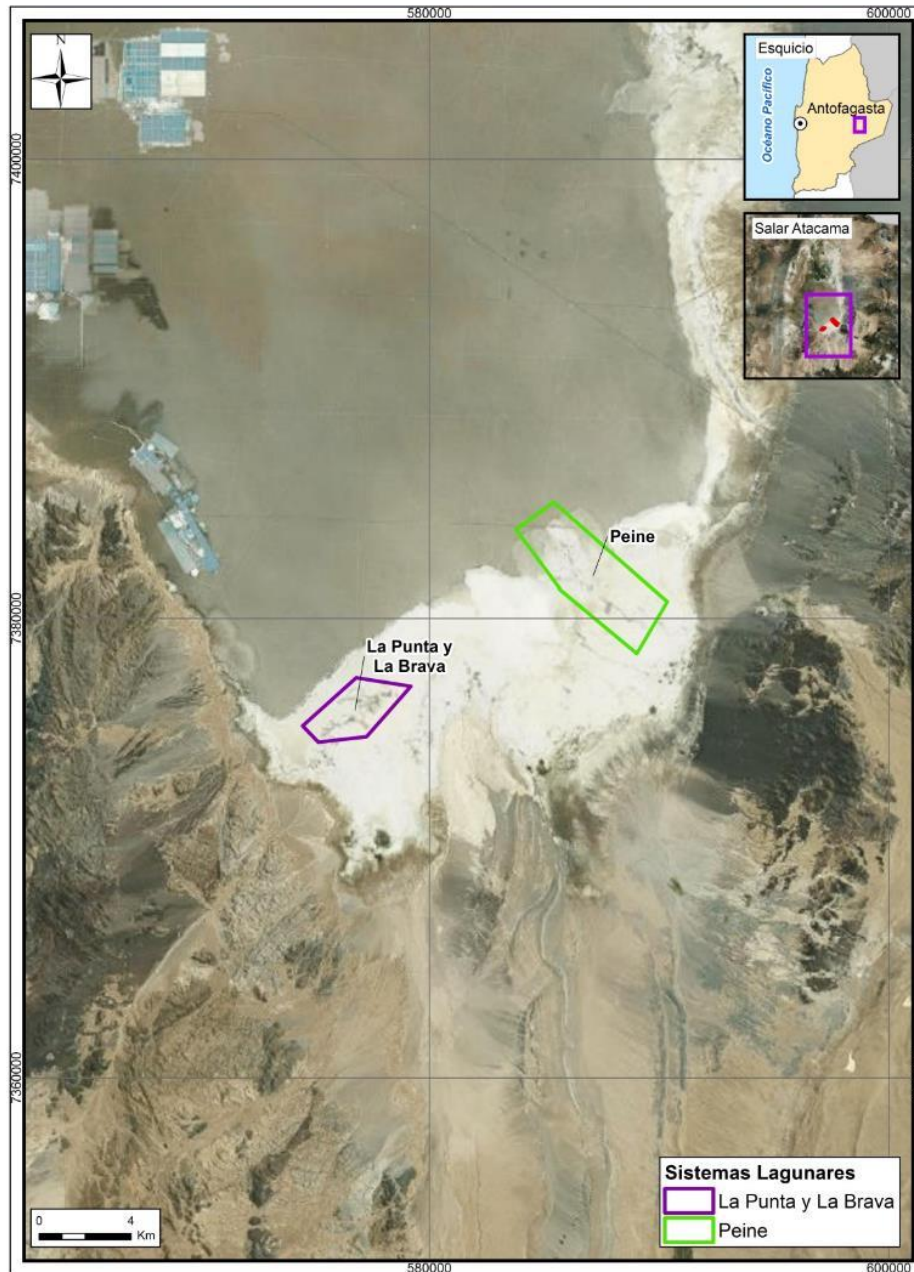
Esta área corresponde a los Sistemas Lagunares establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH), que para efecto del PMB corresponden a dos sistemas lagunares del Salar de Atacama (**Figura N°10-1**), conformando un área de estudio total de 2.495,1 ha (fuente datos Anexo 3- Adenda 5), donde:

²⁹ Según condiciones de acceso a los subsectores de estudio, que incluyen permisos y condiciones de seguridad.

-
- 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°10-1. 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).

10.1.2 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua

El parámetro de seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a la “superficie o área (m²)” calculada por sistema lagunar a través de imágenes satelitales de alta resolución, multispectrales, con un píxel máximo de 4 metros, en base a la metodología de Índice Normalizado de Diferencias de Agua (NDWI) indicada en Adenda 5 RWL, (2015).

De forma complementaria, en los resultados por sector, y siendo consistente con lo analizado en el documento Adenda 5, Anexo 3 (PSA), en relación a que “...se realizará una correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite LANDSAT 8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición, de menor resolución”; en el presente estudio se realiza una comparación entre las superficies determinadas en base a las imágenes de alta resolución Pleiades-1A y Landsat 8.

10.1.3 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 es validar el recubrimiento de suelo, mediante réplicas de los puntos levantados desde el primer año de monitoreo, en agosto y diciembre de 2016, 2017, 2018 y 2019, en zonas representativas de cuerpos de agua permanentes y zonas que presentan diferencias intra e interanuales, a lo que se suma el criterio de accesibilidad.

La colección de datos en **invierno 2020** se realizó en una campaña, la que se llevó a cabo entre el **19 y el 22 de agosto de 2020**. En forma paralela, se realizó la captura de las imágenes satelitales de alta resolución para todos los sectores (Pleiades-1A) y se descargó la imagen de media resolución (Landsat 8). Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles.

La colección de datos para **verano 2020** se realizó en una campaña con visita sólo al sector La Punta y La Brava, la que se llevó a cabo el día **19 de diciembre de 2020**. En forma paralela, se realizó la captura de las imágenes satelitales de alta resolución para todos los sectores (Pleiades-1A) y ocho días antes de la campaña se descargó la imagen de media resolución (Landsat 8). Además se utilizaron imágenes de dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles en el sector de La Punta y La Brava. Para el sector Peine, las medidas de restricción, producto de la limitación en el acceso a las áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (Lagunas Salada, Saladita e Interna), no permitieron el acceso a esta área de estudio, como tampoco la toma de la imagen complementaria dron - UVA; por lo tanto, los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación).

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°10-3 y **Tabla N°10-4** 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°10-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2020, 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			
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8	
		Terreno - <i>in situ</i> **	Fotointerpretación*	Terreno - <i>in situ</i> **	Fotointerpretación*
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	170	-	55	-
	Cuerpos de agua	135	-	42	-
	Total sistema lagunar	305	-	97	-
Peine	Otros recubrimientos	59	-	58	-
	Cuerpos de agua	132	-	124	-
	Total sistema lagunar	191	-	182	-

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°10-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2020, 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			
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8	
		Terreno - <i>in situ</i> **	Fotointerpretación*	Terreno - <i>in situ</i> **	Fotointerpretación*
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	204	-	75	-
	Cuerpos de agua	101	-	22	-
	Total sistema lagunar	305	-	97	-
Peine	Otros recubrimientos	-	50	-	73
	Cuerpos de agua	-	141	-	109
	Total sistema lagunar	-	191	-	182

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.

10.1.4 Materiales y equipos utilizados

El equipo utilizado en las campañas de agosto y diciembre de 2020 para el levantamiento de puntos de información de sistemas lagunares, corresponden a receptores Full GNSS/GPS de doble frecuencia, tecnología geostacionaria de posicionamiento en tiempo real al decímetro (10 cm), con señal de corrección *Starfire*, un receptor GPS de alta sensibilidad con compatibilidad para HotFix® y GLONASS, marca Garmin serie eTrex® 20x,

y a un receptor Full GNSS/GPS, diferencial, con precisión 0,25 m + 1 ppm RMS. Todos entregan información en coordenadas UTM 19S WGS84.

Además, se utilizó en aquellos sectores con permiso de acceso, y en ambas campañas, un dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles, con vuelo programado a 200m de altura.

10.1.5 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.

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 2020, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016, 2017, 2018 y 2019, en zonas representativas de lagunas permanentes 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**).

10.1.5.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio, provienen del sensor Pleiades-1A, y conforma un mosaico correspondiente a los sistemas de Peine y La Punta y La Brava (Figura N°10-2; Figura N°10-3). La fecha de captura de invierno es 18 de agosto de 2020 y de verano es 25 de diciembre de 2020. 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.

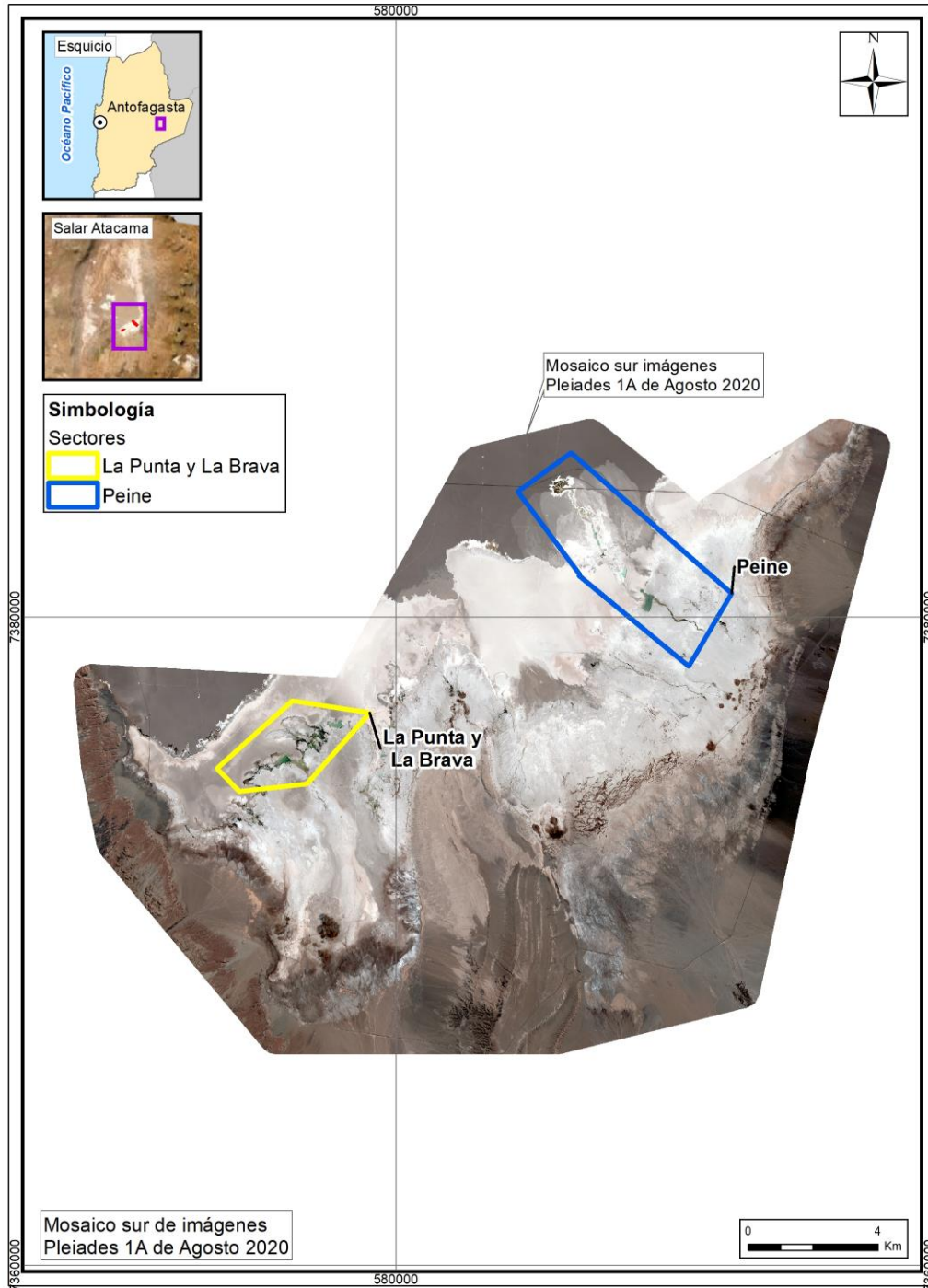
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente.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

Tabla N°10-5. 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	

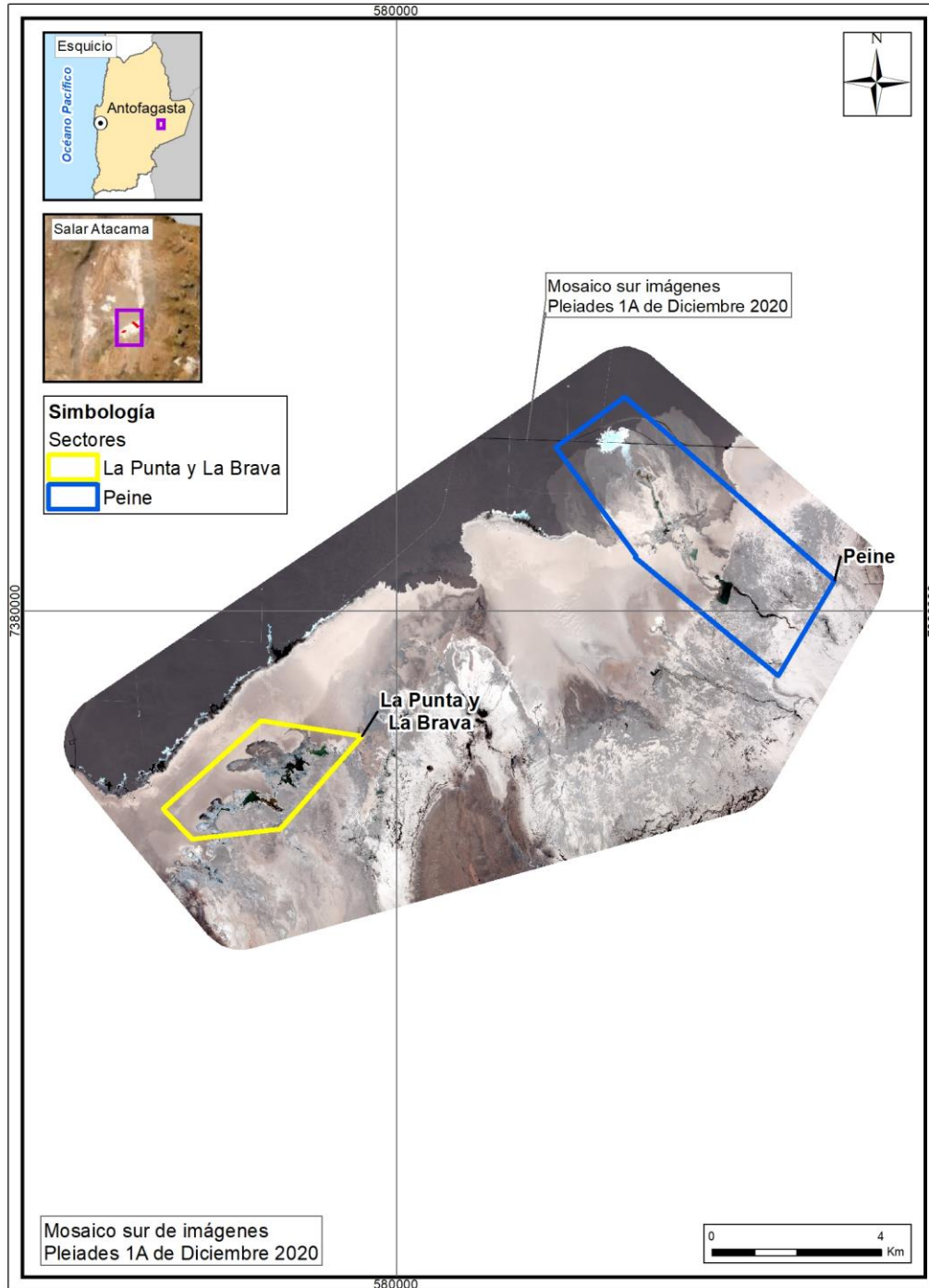
Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>.
Visitada en agosto y diciembre 2020.

Figura N°10-2. 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 2020.



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (invierno 2020).

Figura N°10-3. 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 2020.

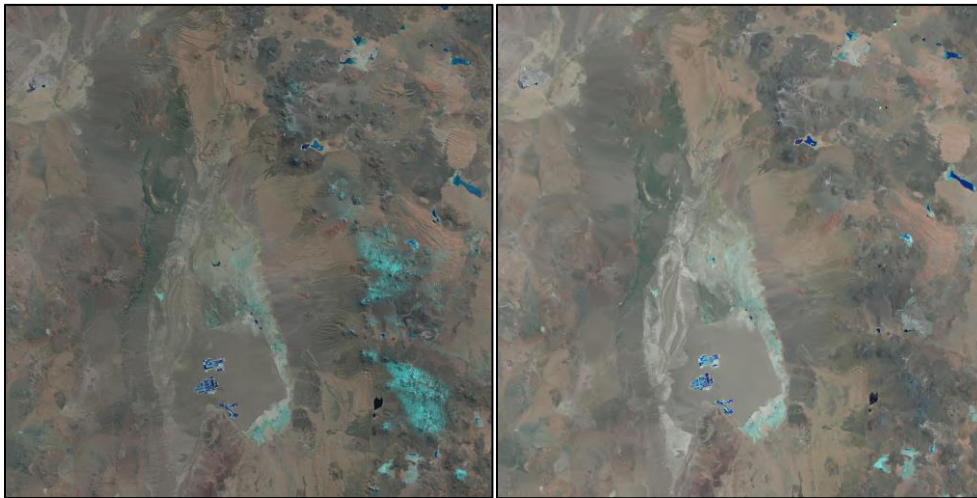


Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (verano 2020).

10.1.5.2 Imagen de resolución media – LANDSAT 8

Las imágenes usadas cubren por completo el área de estudio y las fechas de captura corresponden al 21 de agosto y 11 de diciembre de 2020³⁰. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio web de *United States Geological Survey* (USGS; Figura N°10-4). El sensor Landsat 8 dispone de 11 bandas espectrales, con una resolución (tamaño del pixel) 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°10-6 y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

Figura N°10-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2020 (izquierda – RGB) y verano 2020 (derecha - RGB).



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre de 2020.

Tabla N°10-6. 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

³⁰ Las Imágenes Landsat 8 en fechas paralelas al terreno (**semana del 14 de diciembre – 20 de diciembre**) presentan alta nubosidad (18,64% de cobertura de nubes) lo que dificulta el análisis de imágenes; por lo tanto, se opta por captura anterior (11 de diciembre) con mejor cobertura (0,43% cobertura de nubes).

Banda	Ancho (μm)	Resolución (m)
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 2020.

10.1.5.3 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 ($W / (m^2 *sr * \mu\text{m})$)³¹. 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.

³¹ Dónde: W: Watts; m²: metro cuadrado; sr: estereorradián; μm : micrómetro.

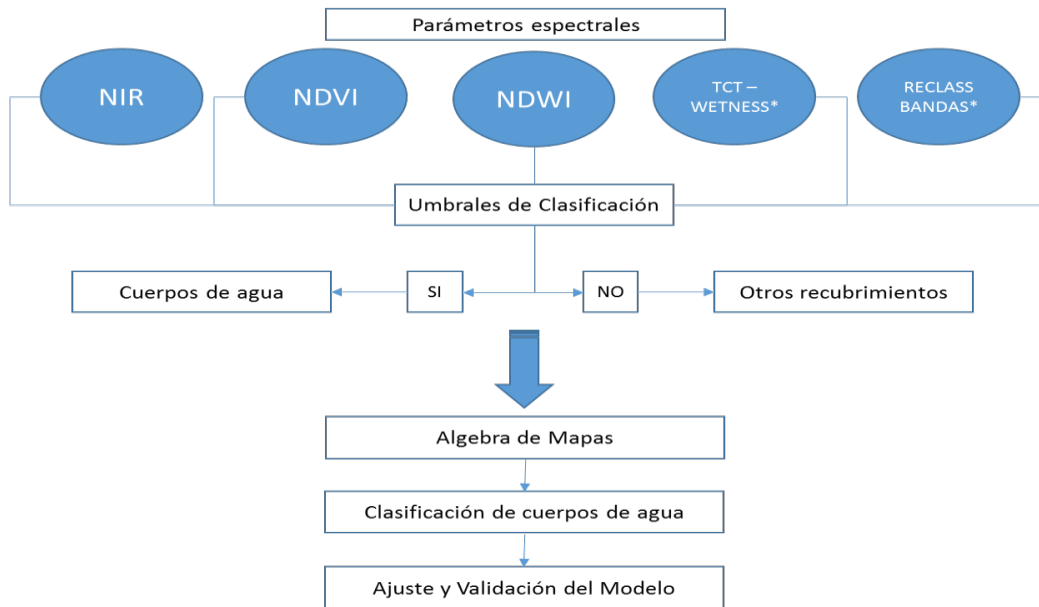
Es importante mencionar que este método en comparación al método IARR (por su sigla en inglés, y que corresponde al promedio interno de reflectancia relativa; aplicado en la línea de base), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento en el proceso de remoción del error atmosférico 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** 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°10-2 y Figura N°10-3).

10.1.5.4 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°10-5. 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 (**Figura N°10-5**).

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. El acápite 10.1.5.5 describe en detalle cada uno de estos parámetros.

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.

10.1.5.5 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**). Dónde 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).

10.1.5.6 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 obtenidos en terreno en las campañas de agosto y diciembre de 2020. Los umbrales obtenidos se presentan en la

Tabla N°10-7. 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°10-7. 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 2020.

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA - LA BRAVA	PEINE
<i>Agosto 2020</i>			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	R 10/32 >= -0,078836	NB 3/9 >= -0,055967
	NDVI	R 21/32 <= 0,011472	P5 <= 0,030008
	NIR - B4	P10 <= 0,278431	NB 10/25 <= 0,341176
	(B1<B2) Y (B3> B4)	SI	SI
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P90 >= -0,161954	P90 >= -0,159548

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA - LA BRAVA	PEINE
	NDVI NIR - B5 WETNESS	P10 <= 0,041983 R8/15 <= 0,321609 R10/15 >= 0,201144	P10 <= 0,04598 P15 <= 0,356094 R 8/20 >= 0,146443
Diciembre 2020			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI NDVI NIR - B4 (B1<B2) Y (B3> B4)	R 5/15 >= -0,010288 R 14/20 <= 0,033258 P5 <= 0,403922 SI	P95 >= -0,076503 P5 <= 0,032258 NB 2/9 <= 0,298039 SI
Parámetros LANDSAT 8	NDWI NDVI NIR - B5 WETNESS	P95 >= -0,124599 P5 <= 0,051088 R 10/15 <= 0,45733 NO	R 3/20 >= -0,128903 P5 <= 0,052355 P10 <= 0,428633 R 11/20 >= 0,237264

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 píxeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les asignó el tipo de recubrimiento de suelo que representaban (cuerpos de agua u otros recubrimientos).

El cálculo final del modelo por sector se 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 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*³², 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:

$$\kappa = \frac{[(\Sigma \text{ concordancias observadas}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{total de observaciones}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}$$

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).

³² 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).

10.1.5.7 Depuración cartográfica de cuerpos de agua

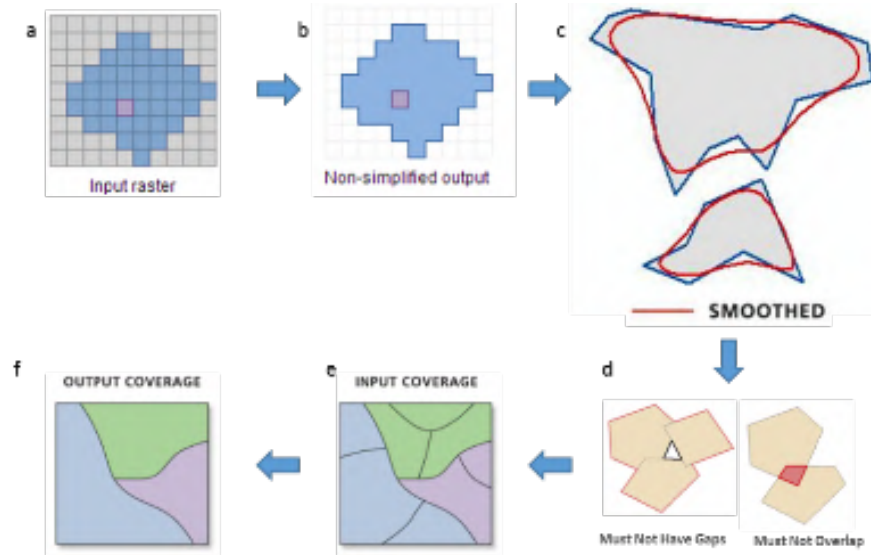
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades-1A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato raster a 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°10-6).

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 pixel (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 2020, 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°10-6. 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.

10.1.6 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua

De acuerdo a lo expresado en la **sección 10.1.2 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 2020, 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 2020 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 2020, con respecto a los resultados de los monitoreos 2016, 2017, 2018 y 2019.

Cabe destacar que el actual monitoreo, describe los cuerpos de agua en condiciones de operación del proyecto.

10.1.7 Fechas de medición

La campaña de invierno de 2020 se realizó entre el 19 y el 22 de agosto de 2020, en tanto las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 18 de agosto de 2019 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 21 de agosto de 2020. Respecto a la campaña de verano 2020, ésta se realizó el 19 de diciembre de 2020, y las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 25 de diciembre de 2020 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 11 de diciembre de 2020. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis se presentan en el **Anexo Área de Lagunas**.

10.2 RESULTADOS

10.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

La clasificación supervisada de cuerpos de agua, basada en datos de terreno, se llevó a cabo para imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares Peine y La Punta - La Brava, para el periodo de agosto de 2020, en tanto para el periodo de diciembre de 2020, esta condición se cumplió sólo en el sistema lagunar de La Punta y La Brava. Sin embargo, se procedió con la fotointerpretación en base a imágenes de alta resolución, cuando la condición de terreno se vio restringida o limitada por condiciones sanitarias (Pandemia Covid-19) o afectación a la fauna local (limitación en el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva en el sector lagunas de Peine).

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, en relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, se realizó mediante el índice *Kappa*. Este índice tuvo valores de 0,64 (La Punta y La Brava) y 0,96 (Peine) para imágenes de alta resolución y de 0,56 (LPLB) y 0,77 (PE) para imágenes de resolución media en agosto de 2020. Respecto de diciembre de 2020, este índice tuvo una variación entre 0,62 (La Punta y La Brava) y 0,73 (Peine) para imágenes de alta resolución y desde 0,44 a 0,73 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*³³. (Tabla N°10-8, Tabla N°10-9, Tabla N°10-10, Tabla N°10-11).

Tabla N°10-8. 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, 2020.

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	83	52	135	61,5	38,5	
	Otros Recubrimientos	0	170	170	100,0	0,0	
	Total	83	222	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	76,6	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	23,4	-	-	Índice Kappa: 0,64	
						Precisión global (OA): 83%	
Peine	Cuerpos de agua	129	3	132	97,7	2,3	
	Otros Recubrimientos	0	59	59	100,0	0,0	
	Total	129	62	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	95,2	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,0	4,8	-	-	Índice Kappa: 0,96	
						Precisión global (OA): 98%	

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°10-9. 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, 2020.

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	25	17	42	59,5	40,5	
	Otros Recubrimientos	3	52	55	94,5	5,5	
	Total	28	69	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	89,3	75,4	-	-	-	
	***Error omisión (%)	10,7	24,6	-	-	Índice Kappa: 0,56	
						Precisión global (OA): 79%	
Peine	Cuerpos de agua	117	7	124	94,4	5,6	
	Otros Recubrimientos	11	47	58	81,0	19,0	
	Total	128	54	182	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	91,4	13,0	-	-	-	
	**Error omisión (%)	8,6	87,0	-	-	Índice Kappa: 0,77	
						Precisión global (OA): 90%	

³³ 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).

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°10-10. 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, 2020.

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	56	45	101	55,4	44,6	
	Otros Recubrimientos	0	204	204	100,0	0,0	
	Total	56	249	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	81,9	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	18,1	-	-	-	
						Índice Kappa:	0,62
						Precisión global (OA):	85%
Peine	Cuerpos de agua	122	19	141	86,5	13,5	
	Otros Recubrimientos	3	47	50	94,0	6,0	
	Total	125	66	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	97,6	71,2	-	-	-	
	**Error omisión (%)	2,4	28,8	-	-	-	
						Índice Kappa:	0,73
						Precisión global (OA):	88%

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud 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°10-11. 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, 2020.

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	12	22	45,5	54,5	
	Otros Recubrimientos	5	70	75	93,3	6,7	
	Total	15	82	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	66,7	85,4	-	-	-	
	***Error omisión (%)	33,3	14,6	-	-	-	
						Índice Kappa:	0,44
						Precisión global (OA):	82%
Peine	Cuerpos de agua	96	13	109	88,1	11,9	
	Otros Recubrimientos	11	62	73	84,9	15,1	
	Total	107	75	182	-	-	

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			
	Exactitud de Campo (%)	89,7	17,3	-	-		-
	**Error omisión (%)	10,3	82,7	-	-	Índice Kappa:	0,73
						Precisión global (OA):	87%

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud 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

El mayor ajuste se produjo en agosto 2020 en el sector Peine con 0,96 y el menor ajuste en el sector La Punta y la Brava en diciembre 2020 con 0,44. 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. Los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua, esto ocurre especialmente en invierno o en aumentos de las superficies inundadas, periodos en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies combinándose con otros recubrimientos.

Para el índice de *precisión global*, los valores tuvieron una variación entre 83% y 98% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y desde 79% y 90% para imágenes de resolución media en agosto de 2020, para la Punta – La Brava y Peine, respectivamente. Respecto de diciembre de 2020, la precisión global del modelo obtuvo valores entre 85% y 88% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y desde 82% a 87% para imágenes de resolución media Landsat 8 en La Punta - La Brava y Peine, respectivamente. Valores promedio sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado con el resultado del método de clasificación supervisada, en todos los sectores y para ambas temporadas (agosto 2020, diciembre 2020).

10.2.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

En la **Tabla N° 10-12** y **Tabla N° 10-13**, 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° 10-8** y **Figura N° 10-10** muestran la representación gráfica de las superficies lagunares por sistema lagunar.

Tabla N° 10-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2020 (invierno y verano).

Sistema Lagunar	Superficies desde alta resolución (Pleiades 1A)					
	Invierno 2020		Verano 2020		Promedio anual (2020)	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	51,4	514.417,6	28,4	284.172,6	39,9	399.295,1
Peine	54,2	542.094,0	73,5	734.637,7	63,8	638.365,9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 10-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2020 (invierno y verano).

Sistema Lagunar	Superficies desde alta resolución (Landsat 8)					
	Invierno 2020		Verano 2020		Promedio anual (2020)	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	60,0	600.191,3	36,1	360.957,7	48,1	480.574,5
Peine	105,4	1.054.402,8	83,0	830.121,6	94,2	942.262,2

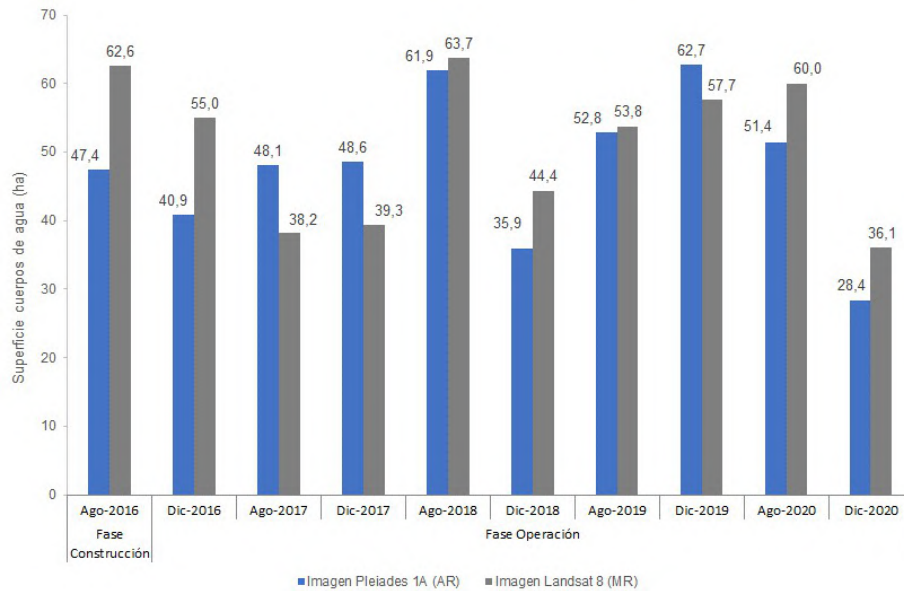
Fuente: Elaboración Propia

En el **sistema lagunar La Punta y La Brava**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2020 es de 51,4 ha y en diciembre 2020 abarca una superficie de 28,4 ha (**Tabla N° 10-12** y **Figura N° 10-7**). Desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 60,0 ha en agosto de 2020 y en diciembre 2020 de 36,1 ha (Tabla N° 10-13 y **Figura N° 10-7**). Los valores de Landsat 8 en agosto 2020 en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1-A de un +14,3% (+8,6 ha); esta diferencia en diciembre 2020 es de +21,3% (+7,7 ha) de Landsat sobre Pleiades. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial (tamaño pixel), 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 2020 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 0,635³⁴ lo que indica una relación *positiva moderada* entre variables; mientras que el valor *p* es de 0,05. Puesto que el valor *p* es igual que el nivel de significancia de 0,05, la correlación es estadísticamente significativa aunque *no concluyente*.

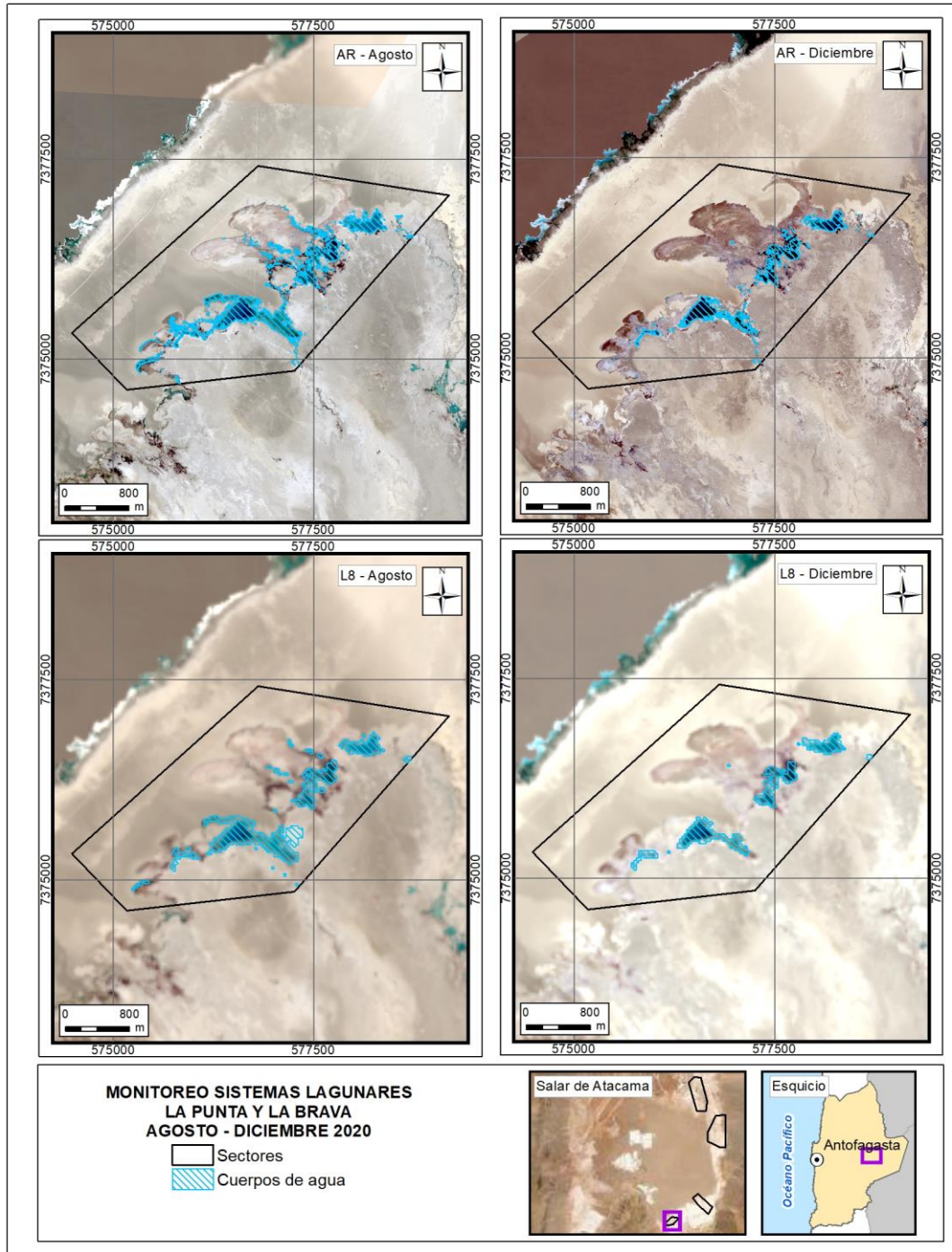
Figura N° 10-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



Dónde; **MR:** Imagen de Mediana Resolución (pixel 30m); **AR:** Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

³⁴ 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° 10-8. 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 – diciembre 2020.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre de 2020.

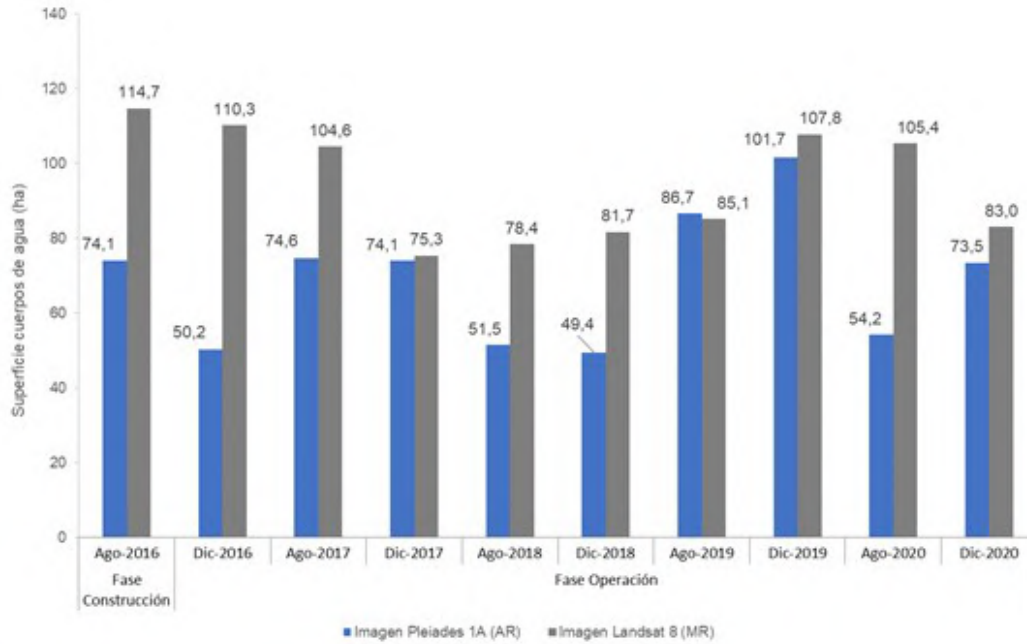
En el **sistema lagunar Peine**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2020 es de 54,2 ha y en diciembre 2020 abarca una superficie de 73,5 ha (**Figura N° 10-9**).

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 105,4 ha en agosto de 2020; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1-A de un +48,6% (+51,2 ha) para este periodo. Para las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 83,0 ha en diciembre de 2020, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +11,5% (+9,5 ha) para este periodo. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno del recubrimiento agua, por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución. Estas diferencias marcan las superficies de zonas de transición, como canales de conexión o zonas ribereñas; pero principalmente el sector de la Laguna Interna.

La correlación entre las superficies del sector Peine desde 2016 a 2020, 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 0,150³⁵ lo que indica una relación positiva baja entre variables; mientras que el valor p es de 0,680 lo que indica que existe *evidencia no concluyente* sobre la significancia estadística de la asociación entre las variables AR y Landsat.

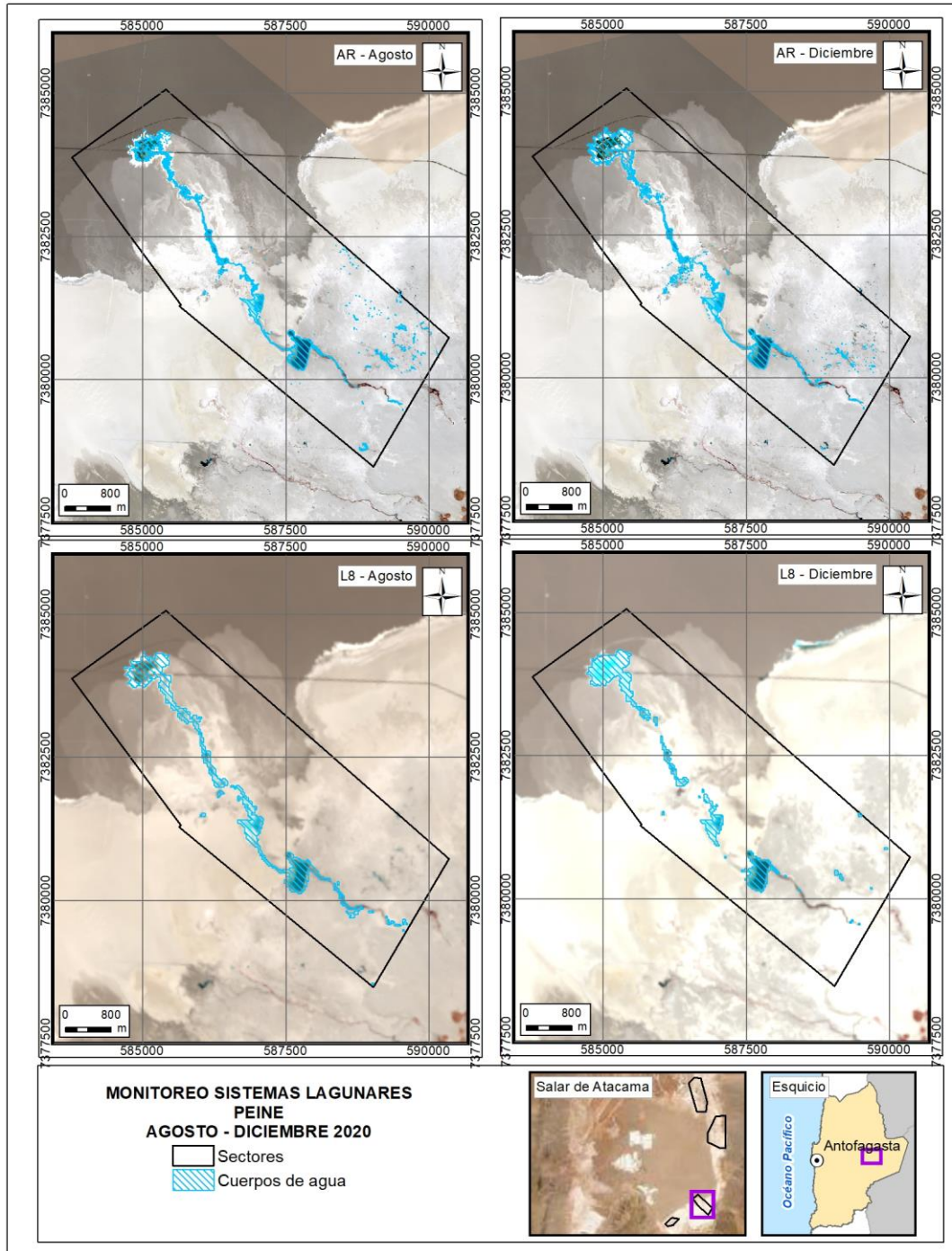
³⁵ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N° 10-9. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (pixel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m).
 Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

Figura N° 10-10. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2020.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2020.

10.2.3 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 - 2020.

11 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 2020 a marzo de 2021**.

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.

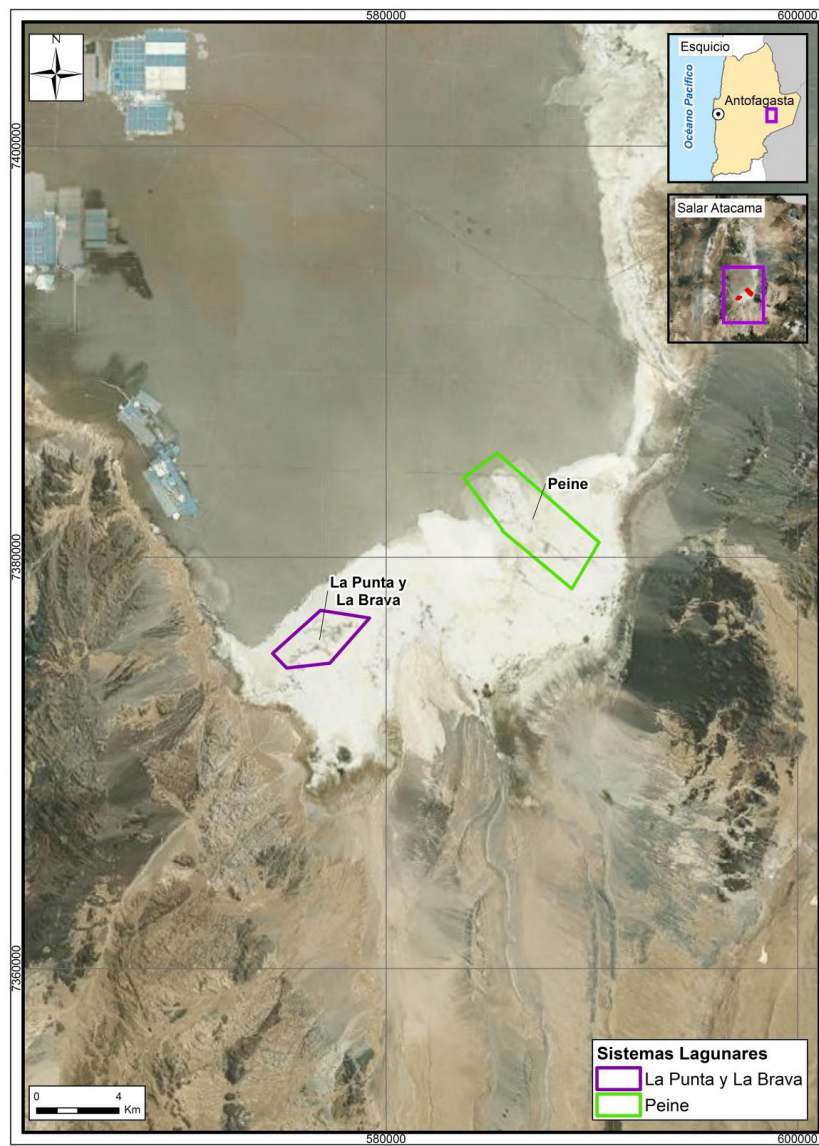
El objetivo de este capítulo, es presentar el monitoreo comprometido para la medición de niveles piezométricos se realizan en 5 puntos de niveles freáticos de Lagunas: 3 puntos en La Punta - La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16), y 2 en Peine (BA-21 y BA-22). Estos puntos de medición presentan códigos del 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.

11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

11.1.1 Área de Estudio

En la **Figura N° 11-1**, 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.

Figura N° 11-1. Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

11.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo.

En la **Tabla N° 11-1**, 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 2020 - marzo 2021 como históricas para estos piezómetros.

Tabla N° 11-1: Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas

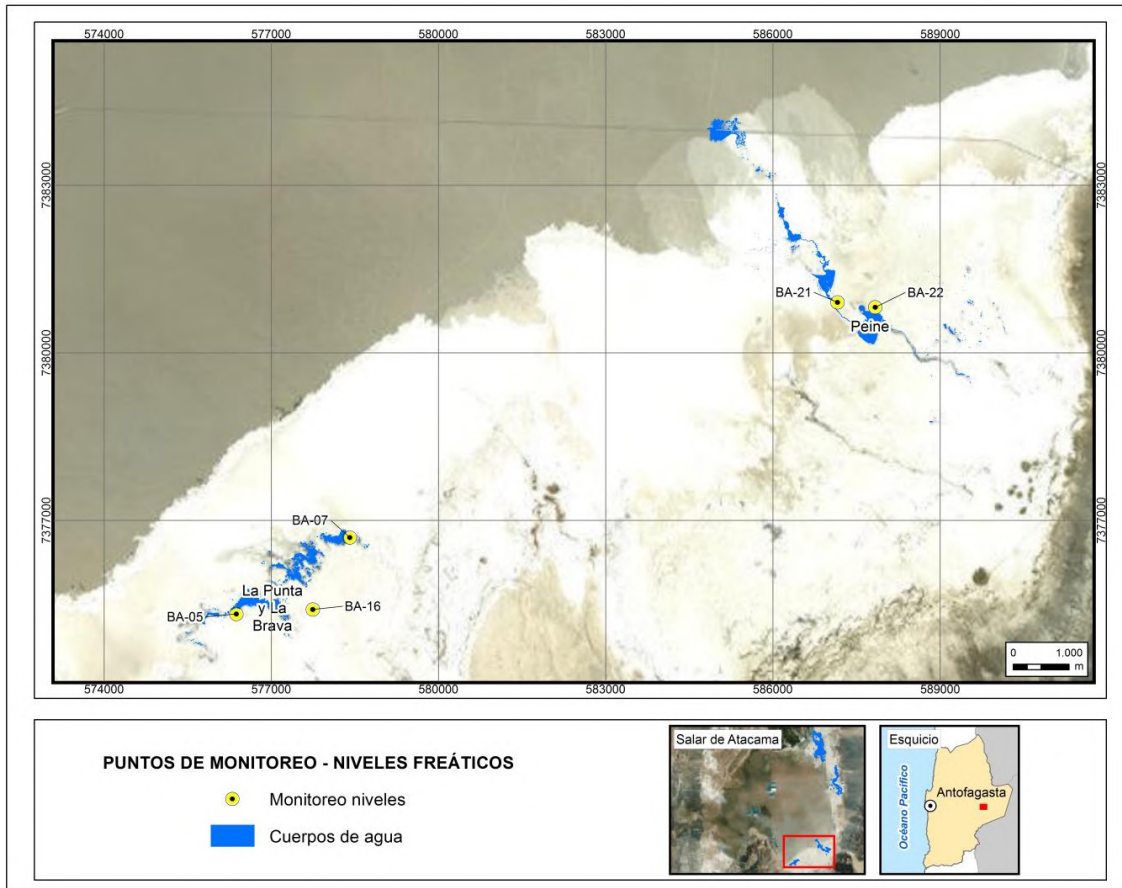
Punto	Coordenadas WGS 84		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	(HUSO 19S)			
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta - La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta - La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta - La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine	2.301,393
BA-22	587.837	7.380.817	Peine	2.301,124

(*): Cota collar es información de la cota de referencia del piezómetro, desde la cual se hace la medida, necesaria para determinar el nivel sobre la base de la medición del parámetro profundidad.

Fuente: Coordenadas establecidas durante la evaluación ambiental, Tabla 4.2-4 y Tabla 4.2-5 del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto. Pozos construidos durante la evaluación ambiental. Se utiliza y presenta la misma información que en el PSAH Plan de seguimiento hídrico de Albemarle, para estos 5 puntos.

En la **Figura N° 11-2**, se presenta la ubicación de los puntos antes mencionados en los Sistemas Lagunares.

Figura N° 11-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine



Fuente: Elaboración propia.

11.1.3 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.

11.1.4 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.

$$\text{Cota Nivel de agua (m s.n.m.)} = \text{Cota Collar (m s.n.m.)} - \text{profundidad (m)}$$

11.1.5 Materiales y Equipos utilizados

Para llevar a cabo las mediciones se utilizan los materiales y/o equipos indicados en la **Tabla N° 11-2**.

Tabla N° 11-2: 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

11.1.6 Fechas de medición, muestro y/o análisis.

El período informado en este documento se indica en la **Tabla N° 11-3** 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, en el caso del Sector La Punta - La Brava, los pozos fueron monitoreados con una frecuencia quincenal dada la activación del PAT Sector Alerta Norte (el cual se activó en agosto de 2020 y enero de 2021), y por lo tanto, se presentan una mayoría de meses con 2 mediciones de nivel para dicho Sector.

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, en ellos se mantuvo una medición quincenal de niveles por el mismo periodo de activación del PAT, sin embargo, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en enero, febrero y marzo del 2021 en BA-21, y desde noviembre 2020 a marzo 2021 en BA-22. La no autorización del ingreso antes referida es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar.

Tabla N° 11-3: Fechas de Medición del Año

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2020
		Mayo 2020
		Junio 2020
		Julio 2020
		Agosto 2020
		Septiembre 2020
		Octubre 2020
		Noviembre 2020
		Diciembre 2020
		Enero 2021
		Febrero 2021
		Marzo 2021

Fuente: Elaboración Propia

11.2 RESULTADOS

11.2.1 Resultados de los registros abril 2020 a marzo 2021

A continuación se presentan los resultados de medición de los niveles en los puntos señalados, para el período informado abril 2020 – marzo 2021 (**Tabla N° 11-4** y **Tabla N° 11-5**). 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.

Cabe mencionar que en las Tablas siguientes se incorporan mediciones de mayor frecuencia para los niveles de los pozos correspondientes al sector La Punta - La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16) para todo el periodo en cuestión. Lo anterior dice relación con lo comprometido **para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**, específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH). En el caso, de los puntos del sistema Peine (BA-21 y BA-22) la Comunidad de Peine, restringió el acceso desde noviembre de 2020 para BA-22 y desde diciembre 2020 para BA-21, lo que abarca gran parte del periodo de análisis de este reporte (ver Ref. Carta Comunidad de Peine Doc. N°78/2020 en Anexo de Niveles de este Informe).

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 PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente al estar bajo el umbral en el/los puntos de alerta de SQM.

En agosto de 2020 se notificó a Albemarle de una nueva activación del PAT Fase I para SQM (Resolución Exenta Afta N°110/2020, ver en Anexo Nivel Freático en Lagunas), por la excedencia del umbral Fase 2 de SQM, del punto de monitoreo L1-5 ubicado en el sector del sistema Soncor, lo que conllevó a la activación del PATH de Albemarle en esa misma zona (Alerta Norte). Esta activación se extendió formalmente hasta noviembre de 2020. Luego, en enero de 2021 (Ref. ALB-GMA-2021-SMA-002) volvió a activarse el PAT en el mismo sector, por lo que Albemarle mantuvo de manera constante la medición de 2 niveles mensuales para prácticamente todos los meses (exceptuando diciembre) en los puntos de su Plan de Seguimiento Hídrico.

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°5), ya que son parte del Plan de Seguimiento Ambiental de Albemarle, PSAH y PMB.

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, como se señaló anteriormente, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en enero,

febrero y marzo del 2021 en BA-21, y desde noviembre 2020 a marzo 2021 en BA-22 (Ver Ref. Carta Comunidad de Peine Doc. N°78/2020 en Anexo de Niveles de este Informe).

Tabla N° 11-4: Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta - La Brava

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-05	05-04-2020	0,918	2.300,167
BA-05	03-05-2020	0,908	2.300,177
BA-05	01-06-2020	Sin autorización de la Comunidad de Peine para ingresar a los puntos. ¹	
BA-05	01-07-2020		
BA-05	02-08-2020	0,870	2.300,215
BA-05	17-08-2020	0,885	2.300,200
BA-05	02-09-2020	0,856	2.300,229
BA-05	16-09-2020	0,907	2.300,178
BA-05	02-10-2020	0,936	2.300,149
BA-05	17-10-2020	0,952	2.300,133
BA-05	09-11-2020	0,952	2.300,133
BA-05	17-11-2020	0,960	2.300,125
BA-05	06-12-2020	0,956	2.300,129
BA-05	02-01-2021	0,960	2.300,125
BA-05	16-01-2021	0,963	2.300,122
BA-05	02-02-2021	0,960	2.300,125
BA-05	27-02-2021	0,957	2.300,128
BA-05	02-03-2021	0,954	2.300,131
BA-05	28-03-2021	0,937	2.300,148
BA-07	05-04-2020	0,857	2.300,024
BA-07	03-05-2020	0,851	2.300,030
BA-07	01-06-2020	Sin autorización de la Comunidad de Peine para ingresar a los puntos. ¹	
BA-07	01-07-2020		
BA-07	02-08-2020	0,822	2.300,059
BA-07	17-08-2020	0,839	2.300,042
BA-07 (*)	29-08-2020	0,730	2.300,151
BA-07	02-09-2020	Comunidad de Peine no permite el ingreso por presencia de flamencos. ¹	
BA-07	16-09-2020	0,836	2.300,045
BA-07	26-09-2020	0,859	2.300,022
BA-07	02-10-2020	0,868	2.300,013
BA-07	17-10-2020	0,886	2.299,995
BA-07	08-11-2020	0,896	2.299,985
BA-07 (**)	17-11-2020	0,896	2.299,985
BA-07	06-12-2020	0,907	2.299,974
BA-07	02-01-2021	0,914	2.299,967
BA-07	16-01-2021	0,919	2.299,962
BA-07	02-02-2021	0,926	2.299,955
BA-07	27-02-2021	0,917	2.299,964
BA-07	02-03-2021	0,913	2.299,968
BA-07	28-03-2021	0,894	2.299,987
BA-16	05-04-2020	0,920	2.300,857
BA-16	03-05-2020	0,911	2.300,866
BA-16	01-06-2020	Sin autorización de la Comunidad de Peine para ingresar a los puntos. ¹	
BA-16	01-07-2020		

Tabla N° 11-4: Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta - La Brava

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-16	02-08-2020	0,882	2.300,895
BA-16	17-08-2020	0,891	2.300,886
BA-16	02-09-2020	0,838	2.300,939
BA-16	16-09-2020	0,927	2.300,850
BA-16 (*)	26-09-2020	0,944	2.300,833
BA-16	02-10-2020	0,948	2.300,829
BA-16	17-10-2020	0,958	2.300,819
BA-16	08-11-2020	0,952	2.300,825
BA-16 (**)	17-11-2020	0,953	2.300,824
BA-16	06-12-2020	0,952	2.300,825
BA-16	02-01-2021	0,953	2.300,824
BA-16	16-01-2021	0,955	2.300,822
BA-16	02-02-2021	0,953	2.300,824
BA-16	27-02-2021	0,951	2.300,826
BA-16	02-03-2021	0,945	2.300,832
BA-16	28-03-2021	0,935	2.300,842

(*): Se mide tercera vez, por que coincidió que se acudió con la ETFA a punto cercano.

(**): Se mide por segunda vez por que se acude nuevamente al lugar.

1: Carta Comunidad de Peine Doc. N°41/2020

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 11-5: Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine

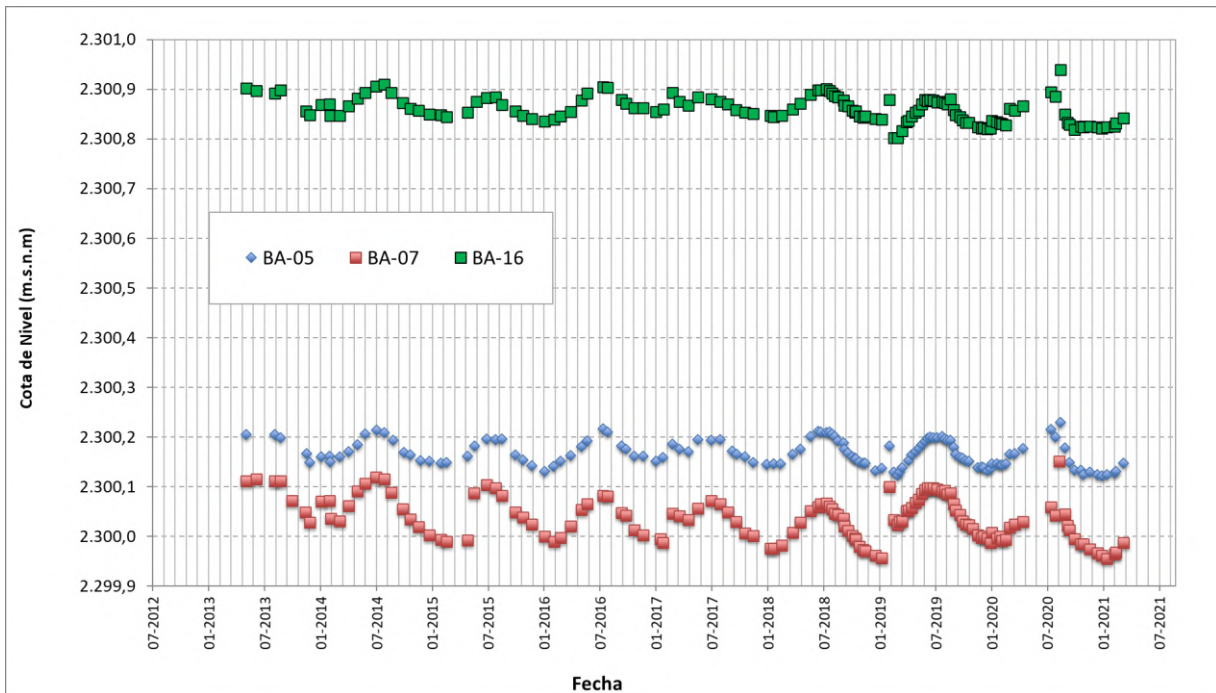
Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-21	02-04-2020	1,303	2.300,090
BA-21	01-05-2020	1,305	2.300,088
BA-21	01-06-2020	Sin autorización de la Comunidad de Peine para ingresar a los puntos. ¹	
BA-21	01-07-2020		
BA-21	01-08-2020	1,305	2.300,088
BA-21	16-08-2020	1,306	2.300,087
BA-21	01-09-2020	1,237	2.300,156
BA-21	15-09-2020	1,256	2.300,137
BA-21	01-10-2020	1,264	2.300,129
BA-21	16-10-2020	1,272	2.300,121
BA-21	06-11-2020	1,282	2.300,111
BA-21	01-12-2020	1,292	2.300,101
BA-21	01-01-2021	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos. ²	
BA-21	01-02-2021		
BA-21	01-03-2021		
BA-22	02-04-2020	0,852	2.300,272
BA-22	01-05-2020	0,843	2.300,281
BA-22	01-06-2020	Sin autorización de la Comunidad de Peine para ingresar a los puntos. ¹	
BA-22	01-07-2020		
BA-22	01-08-2020	0,832	2.300,292
BA-22	16-08-2020	0,835	2.300,289
BA-22	01-09-2020	0,792	2.300,332
BA-22	15-09-2020	0,825	2.300,299
BA-22	01-10-2020	0,838	2.300,286

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-22	16-10-2020	0,848	2.300,276
BA-22	06-11-2020	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos. ²	
BA-22	01-12-2020		
BA-22	01-01-2021		
BA-22	01-02-2021		
BA-22	01-03-2021		
BA-22	01-03-2021		

1: Carta Comunidad de Peine Doc. N°41/2020; 2: Carta Comunidad de Peine Doc. N°78/2020
 Fuente: Elaboración propia.

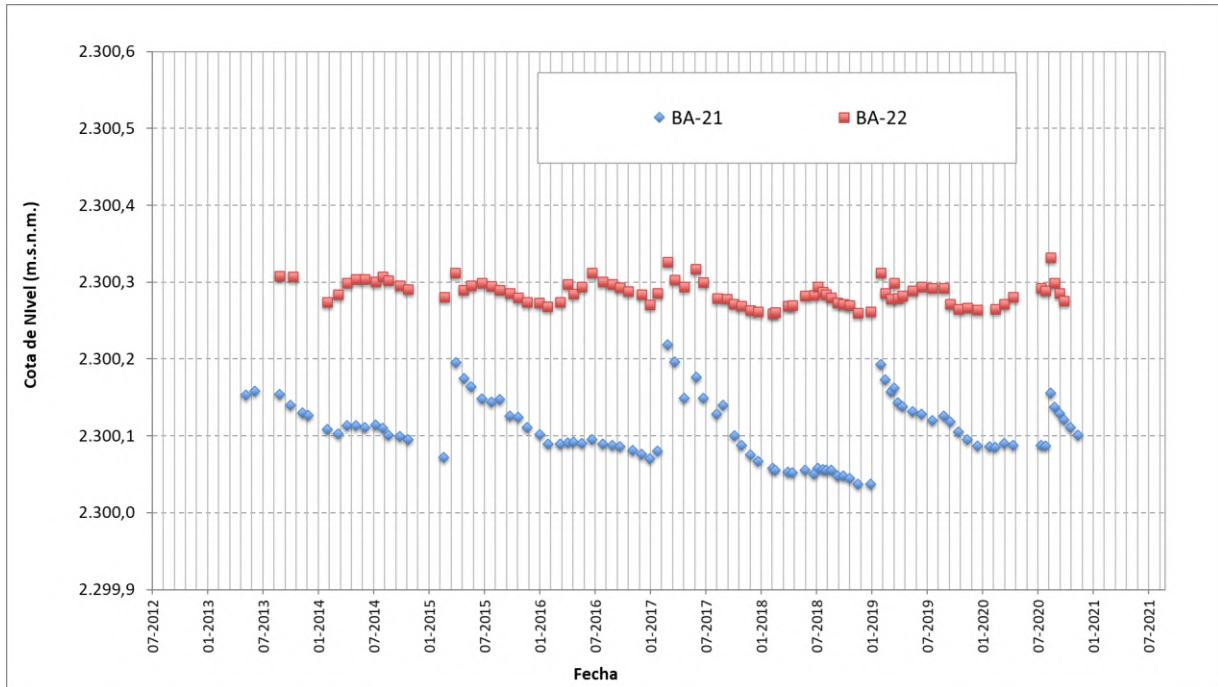
En las Figuras que se muestran a continuación se presenta gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha, incluido el último año de monitoreo 2020-2021, para los pozos de cada Sector.

Figura N° 11-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 11-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine



Fuente: Elaboración propia

11.2.2 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 la detección de cambio 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).

12 DISCUSIÓN

12.1 En relación con Flora y Vegetación

12.1.1 Análisis Vegetación (COT)

12.1.2 Comparación monitoreo invierno 2020 y verano 2021

La validación en terreno de las unidades cartográficas de vegetación, durante la campaña de verano de 2021, permitió confirmar las formaciones vegetales descritas en la campaña de invierno 2020, en términos de su composición (especies dominantes), estructura (cobertura y fisonomía) y representatividad (superficies).

Los resultados por recubrimiento del suelo, según sectores, se presentan en la **Tabla N° 12-1**. En dicha tabla se observa que las principales diferencias entre el monitoreo de invierno 2020 y los resultados del monitoreo de verano 2021, según recubrimientos, son las siguientes:

- En el sector de Tilopozo, se presentan algunas diferencias de superficie por formación vegetal al cambiar la composición que define la formación, por ejemplo el matorral de *Tessaria absinthioides* con 91,8 ha en invierno 2020 aumenta a 152,9 ha en verano 2021 ya que parte de la superficie de matorral-vega de *T. absinthioides* con *Distichlis spicata* se definió como matorral, y algo similar con la formación de matorral hídrico-vega de *Lycium humile* con *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*, que aumenta su superficie en verano 2021, ya que parte de la superficie de vega de *J. balticus* y *D. spicata* y vega de *J. balticus* definida en invierno 2020 en este verano aumentó la cobertura de *L. humile* quedando como formación mixta de matorral-vega.
- El sector Peine presenta, igualmente, variaciones de superficie por cambios en la composición de las formaciones vegetales. El matorral de *T. absinthioides* con *Atriplex atacamensis* disminuye su cobertura en verano 2021, ya que parte de la superficie se define como matorral-vega por el aumento de cobertura de *D. spicata* en la formación, y otros cambios menores ocurren en las vegas de *D. spicata* y de *Baccharis juncea*, donde comparten ambas especies mayor superficie en verano 2021.
- El sector Aguas de Quelana, presenta el mismo tipo de variaciones que Tilopozo y Peine, donde en invierno 2020 se diferenciaba la superficie del matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa* (522,7 ha en verano 2021) en matorral (209,1 ha) y matorral-vega (313,6 ha).
- En cuanto a los sectores Soncor y La Punta y La Brava, no se observan variaciones durante este periodo.

Tabla N° 12-1. Comparación de superficies por recubrimiento de suelo y formaciones vegetales en el monitoreo de verano 2021 respecto al monitoreo de invierno 2020.

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2020	MONITOREO VERANO 2021	SUPERFICIE (ha)	
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2020	Verano 2021
Tilopozo	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	13.088,5	13.088,6
	Áreas industriales	Áreas industriales	1.245,2	1.245,2
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	74,2	74,2
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	806,8	745,7
	Matorral de Eb	Matorral de Eb	491,1	491,1
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	91,8	152,9
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	8,6	8,6
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	16,5	16,5
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	95,9	95,9
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	10,1	84,9
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	14,3	14,3
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	4,4	4,4
	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	Matorral hídrico - Vega de Sf tc dp	13,8	13,8
	Matorral hídrico de Lh	Matorral hídrico de Lh	49,6	69,0
	Vega de dp	Vega de dp	661,8	661,8
	Vega de jb	Vega de jb	166,8	147,5
	Vega de jb dp	Vega de jb dp	74,8	11,1
	Vega de ph dp sca	Vega de ph dp sca	42,5	42,5
	Vega de sca	Vega de sca	22,5	19,4
	Vega de sca bj	Vega de sca bj dp	20,2	42,2
Vega de sca bj dp	30,0			
Vega de tc	Vega de tc	24,5	24,5	
Total Tilopozo			17.054,1	17.054,10
La Punta y La Brava	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	18,4	18,4
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	39,8	39,8
	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf	41,1	41,1
	Vega de dp	Vega de dp	2,3	2,3
	Vega de nia tc	Vega de nia tc	3,3	3,3
	Vega de tc	Vega de tc	13,6	13,6
Total La Punta y La Brava			118,5	118,5
Peine	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	2.832,60	2.832,60
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	103,40	103,4

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2020	MONITOREO VERANO 2021	SUPERFICIE (ha)	
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2020	Verano 2021
	Matorral - Vega de Tb Aa dp		-	146,9
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	687,4	687,4
	Matorral de Aa	Matorral de Aa	542,8	542,8
	Matorral de Ad Aa	Matorral de Ad Aa	60,1	60,1
	Matorral de Ad Ai	Matorral de Ad Ai	9,3	9,3
	Matorral de Ai	Matorral de Ai	148,5	148,5
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	1.193,7	1.193,7
	Matorral de Tb Aa	Matorral de Tb Aa	226,5	79,6
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	3,4	3,4
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp	Matorral hídrico - Vega de Sf dp	6,9	6,9
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	1,9	1,9
	Vega de dp	Vega de dp	31,6	28,1
	Vega de dp bj	Vega de dp bj	57,2	62,5
	Vega de sca bj	Vega de sca bj	11,6	11,6
	Vega de sca bj dp	Vega de sca dp	11,4	6,1
Total Peine			5.925,0	5.925,0
Aguas de Quelana	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	3.410,1	3.410,1
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	25,4	25,4
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	637,3	637,3
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	104,9	104,9
	Matorral de Tb Lh	Matorral de Tb Lh	9,8	9,8
	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	18,6	18,6
	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	21,6	21,6
	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico de Sf	313,6	522,7
	Matorral hídrico de Sf		209,1	
Vega de dp	Vega de dp	203,9	203,9	
Total Aguas de Quelana			4.954,2	4.954,2
Soncor	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	4.749,3	4.749,3
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	244,2	244,2
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	7,8	7,8
	Vega de dp	Vega de dp	16,9	16,9
Total Soncor			5.018,2	5.018,2
Total general			33.070,1	33.070,1

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*, nia: *Nitrophila atacamensis*, ph: *Phragmites australis*, pu: *Puccinellia frigida*, sca: *Schoenoplectus californicus*, tc: *Triglochin concinna*.

Fuente: Elaboración propia.

12.1.2.1 Evolución respecto a valores históricos

En términos generales, al realizar una comparación entre los monitoreos del seguimiento (PMB) y éstos con la línea de base (2015), es necesario indicar que el uso de una escala menor en el PMB desde el primer monitoreo (M1) hasta el actual (M10), 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 zonales y Vegas. Ver detalle de las formaciones y resultados evolución en la **Tabla N° 12-2**.

La

Tabla N° 12-3 describe la superficie relativa del tipo de vegetación desde la línea de base en relación con los monitoreos de invierno realizados hasta la fecha, ya que la fisonomía 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° 12-2. 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	
		Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Invierno 2020	Verano 2021
Matorral zonal	14	3	8	9	8	8	8	8	8	9
Humedal	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Herbazal / Vega	18	6	10	10	10	10	10	10	10	10
Matorral mixto azonales	-	2	13	14	15	16	16	16	15	14
TOTAL	33	11	31	33	33	34	34	34	33	33

*Monitoreo verano 2020 (M8) no se realizó producto de las condiciones excepcionales establecidas durante ese año en el marco de la Pandemia Covid-19.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 12-3. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de verano de 2021.

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%
Rango variación		0,2%	9,4%	9,5%

*Monitoreo verano 2020 (M8) no se realizó producto de las condiciones excepcionales establecidas durante ese año en el marco de la Pandemia Covid-19.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor variación corresponde al tipo “vegetación azonal” (9,5%) en relación a la línea de base del EIA del Proyecto, sin embargo, entre los monitoreos de invierno 2017 a 2021 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 para los distintos tipos de recubrimiento.

En síntesis, éstos 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 a la composición de las especies dominantes.

12.1.3 Análisis Flora y Vegetación (Transectas)

La vegetación del área de estudio es característica de sistemas azonales, dependientes de un suministro hídrico temporal o constante, con vegetación característica de humedales andinos y/o formaciones vegetales resistentes a una alta salinidad con especies de carácter halófito.

En el presente acápite se realiza el análisis comparativo del monitoreo de invierno (M9) realizado en septiembre 2020 y monitoreo de verano (M10) realizado en abril 2021, 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 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) y M10 (verano 2021), 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 no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19.

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*.

12.1.3.1 Comparación entre invierno 2020 y verano 2021

En este acápite se analiza la información levantada en los monitoreos estacionales realizados en el quinto año del plan de seguimiento, correspondientes al monitoreo de invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10), para un análisis de la variación anual. El muestreo fue realizado en las transectas fijas localizadas en seis subsectores del área de estudio del proyecto, correspondientes a los subsectores de: La Punta y La Brava, Peine, Tilopozo, Soncor y Aguas de Quelana.

Como se ha señalado anteriormente en este documento, por accesibilidad en ambas campañas de monitoreo, no fue posible registrar una de las transectas (T14), que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros); aunque, no obstante, ésta se incluyó dentro de la caracterización, ya que se reconoció el ambiente como tal, y solo no se logró llegar directamente al punto de origen de la transecta. Del mismo modo, cabe señalar que el subsector Aguas de Quelana no fue muestreado en M9 por restricciones de acceso al área por parte de CONAF (**Ver Carta CONAF en Anexo I Vegetación y Flora**). y la transecta T12 en La Punta por restricciones de acercamiento por nidificación de aves, y el monitoreo M8 correspondiente al verano del año 2020 no se realizó por restricciones sanitarias en el marco de la Pandemia Covid-19.

En cuanto a las formaciones vegetales, en ambos monitoreos se observan, en general, las mismas características de estructura, de composición de especies dominantes y de fisonomía de las formaciones (ver **Tabla N° 5-24** y **Tabla N° 5-30**). No obstante, se observaron algunas diferencias entre monitoreos en varias transectas, las cuales son:

(1) por una parte, se observaron diferencias en la cobertura total de la formación (T08, T21, T26, T28, T13, T18, T31 y T02) o en uno de los dos estratos dominantes en la formación de acuerdo a los rangos de cobertura COT (T30, T11, T12, T17, T06, T23 y T25) en dichas transectas (**Tabla N° 12-4**). Las diferencias observadas están relacionadas principalmente a un aumento de cobertura en la formación, destacando la suma del estrato leñoso en la transecta T30 de *Juncus balticus* a una cobertura entre un 5 y 10%, mientras que el resto representa un aumento de un rango de cobertura correspondiente a una variación mínima en la estructura o fisonomía de ésta.

Tabla N° 12-4. Variaciones en los rangos de cobertura COT en transectas, entre invierno 2020 y verano 2021.

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Formación COT	Especie(s) dominante(s)
			Invierno 2020		Verano 2021	
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	Peine	T08	H3	dp bj	H4	dp
	Tilopozo	T21	H2	dp	H3	dp
		T26	H3	dp	H2	dp
		T28	H4	dp	H3	dp
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	LB2 H4	jb Lh	LB3 H3	jb Lh
	Tilopozo	T18	LB1 H4	jb	LB2 H3	jb Lh
		T30	H4	jb dp	LB2 H4	jb dp Lh
		T31	LB1 H3	jb dp	LB2 H4	jb dp Lh
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T02	H7	sca bj	H6	sca bj
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Punta	T11	LB1 H4	tc	LB1 H3	tc
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> *	La Punta	T12	LB3 H2	Sf pu	LB3	Sf
	Aguas de Quelana	T17	LB4 H2	Sf pu	LB4	Sf
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Peine	T06	LB4	Tb Aa	LB4 H2	Tb Aa
	Tilopozo	T23	LB4	Tb	LB4 H1	Tb
		T25	LB4 H3	Tb dp	LB3 H3	Tb dp

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras		
Cobertura vegetal (%)	Códigos de especies	Herbáceas (H):
1 muy escasa (1-5)	Arbustivas (LB):	dp <i>Distichlis spicata</i>
2 escasa (5-10)	Aa <i>Atriplex atacamensis</i>	jb <i>Juncus balticus</i>
3 muy clara (10-25)	Tb <i>Tessaria absinthioides</i>	nia <i>Nitrophila atacamensis</i>
4 clara (25-50)		tc <i>Triglochin concinna</i>

* Recordar que transectas en matorral de *Sarcocornia fruticosa* en sector Aguas de Quelana no se realizaron en M9, por lo tanto esta COT corresponde a la última registrada en invierno de 2019 (M7), a diferencia de T12 en La Punta que no se realizó la transecta por restricciones de acercamiento por la nidificación de aves pero se levantó igualmente la COT en monitoreo M9.

Fuente: Elaboración propia.

- (2) algunas diferencias con respecto a las características físicas del suelo sobre el que se desarrollan estas formaciones vegetales, observando algunas diferencias en la humedad del suelo con menor saturación en M10–T04 y T08 en Peine, T20, T26, T28, T25, T19, T29 y T30 Tilopozo, y T13 en La Punta–; y, diferencias en el recubrimiento de afloramientos salinos, que aumenta en algunos casos en M10 (T27, T28, T30, T23 y T25 en Tilopozo) y disminuye en otros (T26 en Tilopozo y T06 en Peine), ver **Tabla N° 1-1 en Anexo I Vegetación y Flora**.
- (3) algunas diferencias en la riqueza registrada entre monitoreos, donde en verano (M10) se registra una especie adicional en dos transectas (T28 y T29 en Tilopozo); y en el caso de la transecta T02 (Peine) y T21 (Tilopozo) en invierno (M9) se registra una especie adicional con respecto al monitoreo de verano. Estas diferencias en la riqueza por transecta generan un cambio en la riqueza de la formación vegetal de herbazal de *D. spicata*, con una especie adicional en verano (5 especies), ver **Tabla N° 1-2 Anexo I Vegetación y Flora**.
- (4) en relación al grado de alteración, se observa una diferencia en las transectas T20 y T30 de Tilopozo, de un grado 2 registrado en invierno (M9) a grado 1 en verano. No obstante, puede deberse a la falta de observación de señales directas de alteraciones antrópicas en verano, ya que igualmente son formaciones que tienen algún grado de intervención como huellas de camino y se encuentran en la zona de pastoreo asociada al manejo tradicional con quemas controladas por parte de las comunidades, aunque aparentemente la vegetación no presenta alteraciones.

Referente a la composición y coberturas absolutas registradas en las campañas de invierno (M9) y verano (M10), se observa lo siguiente:

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* localizado en el sector de Tilopozo y Peine, presenta en ambos monitoreos la mayor cobertura absoluta de toda el área de estudio, tanto en su especie dominante como en las transectas (seis) definidas en esta formación. La especie *S. californicus*, obtuvo valores altos de cobertura absoluta en sus transectas de muestreo, presentando en M9 una cobertura superior al 95% en tres transectas y una media en la formación de 89,2%; mientras que en M10 la media es de 90,5%, aumentando la cobertura en dos transectas con respecto a M9 (T01 y T03 en Peine) y registrando una cobertura absoluta mayor al 90% en cinco de las seis transectas en M10 (**Figura N°1-2 en Anexo I de Vegetación y Flora**). La especie se registra igualmente como acompañante en el herbazal de *D. spicata*, con una cobertura baja de 1,2% en M9 y 1,0% en M10 (**Figura N°1-1 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

La especie *Distichlis spicata* presenta poca variabilidad en sus coberturas, con un rango de 0,8% a 29,4% de cobertura absoluta en las transectas del herbazal de *D. spicata*, y una media de 13,0% en M9; mientras que en M10 el rango de cobertura absoluta de las mismas transectas va de 0,6% a 41,0%, con una media de 16,2% (**Figura N°1-1 en Anexo I de Vegetación y Flora**). La especie está presente como acompañante en otras tres

formaciones vegetales: en el herbazal de *Juncus balticus* aumentó la cobertura media de 4,3% (M9) a 7,0% (M10), en el herbazal de *S. californicus* disminuyó levemente la cobertura media de 16,9% (M9) a 15,4% (M10), y en el matorral de *T. absinthioides* aumentó de 8,9% (M9) a 10,3% (M10).

La especie ***Juncus balticus***, en ambos monitoreos solo se registra en las cuatro transectas donde domina esta especie (una en La Punta y tres en Tilopozo), correspondiente al herbazal de *J. balticus*, donde se observa con coberturas absolutas entre 1,6% y 12,4% entre transectas y una cobertura media de 8,2% en M9, mientras que en M10, el rango se observa entre 0,6% y 20,0%, alcanzando una cobertura media similar de 7,9%, ver **Figura N°1-3 en Anexo I de Vegetación y Flora**.

La especie ***Triglochin concinna*** se observa en dos transectas en un herbazal dominado por esta especie (**Figura N°1-4 en Anexo I de Vegetación y Flora**), donde la cobertura de T10 (La Brava) disminuye considerablemente de M9 con 5,8% a 0,2% en M10, mientras que T11 (La Punta) las coberturas en ambos monitoreos son similares, registrando una media de 18,8% en M9 y de 15,1% en M10 en la formación. La especie también se registra como acompañante en otra transecta, en un matorral de *S. fruticosa* del sector Aguas de Quelana (**Figura N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**), con una cobertura absoluta de 0,4% en M10 (T15), la que no pudo ser muestreada en M9 por restricciones de acceso. La especie ***Sarcocornia fruticosa***, se observa como especie dominante en cuatro transectas (**Figura N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**) y como especie acompañante en otras dos formaciones vegetales (**Figura N°1-2 y Figura N°1-4 en Anexo I de Vegetación y Flora**). Sin embargo, como no se realizaron las transectas de esta formación en el monitoreo de invierno (M9) no hay comparación con verano (M10).

En cuanto a la especie ***Tessaria absinthioides***, ésta se registra solo en el matorral dominado por esta especie, con tres transectas en Peine y tres en Tilopozo (**Figura N°1-6 en Anexo I de Vegetación y Flora**), registrándose en M9 en un rango entre 4,4% y 25,2% de cobertura absoluta entre transectas, con una media de 11,9%, mientras que en M10 la cobertura disminuye, con un rango observado entre 3,6% y 15,6%, alcanzando una media de 8,0% de cobertura en la formación.

Por otra parte, las especies acompañantes ***Baccharis juncea*, *Lycium humile*, *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida*** presentan algunas variaciones en sus coberturas entre M9 y M10. Para *B. juncea* se observa un leve aumento de la cobertura media en verano en el herbazal de *S. californicus* con respecto a M9 (28,4%) a una cobertura media de 31,5% en M10, probablemente influenciado por el aumento de la cobertura de esta especie en algunas transectas de Peine (T01 y T03). La especie *N. atacamensis* presente en la transecta T10 en un herbazal de *T. concinna* (La Brava), aumenta levemente su cobertura absoluta de 0,2% en M9 a 0,6% en M10; y en una transecta (T15 Norte y borde Este) de matorral de *S. fruticosa*, donde se registra con una cobertura absoluta de 8,0% en M10, no se obtiene registro en M9 por restricciones de acceso al sector Aguas de Quelana. Lo mismo ocurre con *P. frigida*, la que registra una

cobertura de 2,6% en M10 y en M9 no se tiene registro (T15; Aguas de Quelana). Por otra parte, la especie *L. humile* aumenta sus coberturas medias de M9 a M10 en las dos formaciones vegetales en que se registra, en herbazales de *J. balticus* y de *D. spicata*, no obstante, en M10 no se registra en la transecta T21 (Tilopozo) aunque ésta presentaba baja cobertura en M9 de un 0,2% (**Figura N°1-1 a Figura N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Al analizar la cobertura absoluta por transecta, en M9 y M10 los mayores valores se observan en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*. De las seis transectas en esta formación, en M9, cinco transectas presentan una cobertura absoluta superior al 100% y las seis en M10, con coberturas mayores en tres transectas en M10. Se alcanza un máximo de 161,6% en T04 en M9 y de 156,0% en la transecta T03 en M10, ambas en el sector Peine. Con respecto a la cobertura muerta en esta formación, en M9 se registra la mayor cobertura de rastrojo en la transecta T19 en Tilopozo (95,8%), no obstante, en M10 esta cobertura disminuye abruptamente a un 0,2%, asimismo, en la transecta T01 en Peine, también se observa un descenso importante del rastrojo, con un 31,4% en M9 a un 8,0% en M10. Cabe destacar, que esta formación es la que presenta una mayor dinámica de cambio en sus coberturas, la cual presenta una mayor presión antrópica (quemadas y pastoreo), aunque siempre presentado altas coberturas absolutas, ver **Tabla N°1-2 en Anexo I de Vegetación y Flora**.

En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M9 hay ocho y en M10 son 10 transectas con coberturas absolutas inferiores al 10%. Entre éstas, en el herbazal de *Distichlis spicata* destaca para ambos monitoreos la transecta T26 en Tilopozo con la cobertura más baja de todas, con un 0,8% en M9 y 0,6% en M10; y en el herbazal de *Triglochin concinna* destaca una transecta, T10 (La Brava) por la disminución de la cobertura absoluta de un 6,0% en M9 a un 0,8% en M10; similar disminución en un matorral de *T. absinthioides* (T06 en Peine), que registra un 18,6% en M9 y disminuye a un 7,2% en M10. El resto de las transectas disminuye o aumenta con una menor variación entre ambos monitoreos, ver **Tabla N°1-2 en Anexo I de Vegetación y Flora**.

En general, se registra para todas las formaciones estudiadas cobertura muerta (absoluta), presentando algunas diferencias entre monitoreos y entre transectas. El rango de cobertura muerta es variable, estando en M9 entre 0,8% (T29) y un máximo de 95,8% (T19), ambas en herbazales de *S. californicus* en el sector de Tilopozo, mientras que en M10 el mínimo se registra en la transecta T19 (0,2%) y el máximo en la transecta T02 (32,6%) también en un herbazal de *S. californicus*, pero en el sector de Peine. Mayoritariamente, las coberturas de rastrojos en M9 se encuentran bajo un 25% (20 transectas³⁶), mientras que en M10 la mayor proporción de cobertura muerta está bajo un 20% (26 transectas). Por otra parte, destacan también dos transectas (T24 y T25) en el matorral de *T. absinthioides* del sector

³⁶ Considerando que cuatro de las transectas correspondientes al matorral de *Sarcocornia fruticosa* no fueron muestreadas en M9 (T12 en La Punta y T15, T16 y T17 en Aguas de Quelana).

Tilopozo con mayor cobertura muerta y una transecta (T20 en Tilopozo) en el herbazal de *D. spicata*, ver (**Tabla N°1-2 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Con respecto a la riqueza de especies, en general se mantienen los registros desde M9 a M10, presentando algunas diferencias en pocas transectas. En M9 se registra una especie más en las transectas T02 (Peine) y T21 (Tilopozo), con respecto a M10; y, al contrario, en M10 se registra una especie adicional en T29 y T28 (Tilopozo), destacando el registro adicional en T29 en un herbazal de *S. californicus* que corresponde a una especie no registrada en monitoreos anteriores (*Eleocharis* sp.). Para el resto de las transectas se mantiene constante la riqueza y varía entre una a cuatro especies vasculares registradas por transecta. A nivel de formación vegetal, dadas estas variaciones de riqueza por transecta, se observa un aumento de una especie en las formaciones de herbazal de *D. spicata* y herbazal de *S. californicus*, ambas con una riqueza de cinco especies en dicha formación en M10 (**Tabla N°1-2 y Tabla N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Con respecto a la cobertura absoluta de otros recubrimientos, en general no se observan mayores diferencias de coberturas al comparar los resultados entre M9 y M10. En la formación de herbazal de *Triglochin concinna*, que presenta más saturación en la humedad del suelo, es donde se registró la principal cobertura de agua superficial (sectores La Punta y La Brava) mostrando una mayor cobertura en M10 para T10 y menor cobertura en M10 para T11, en el herbazal de *D. spicata* se registra agua superficial en baja cobertura solo en M9 para las transectas T08 y T09 (Peine) y en el matorral de *Sarcocornia fruticosa* se registra para T12 (La Punta) en M10 aunque esta transecta no fue muestreada en M9. Por otra parte, la cobertura de costra salina es la principal en ambos monitoreos, observándose, principalmente, diferencias en la saturación de la costra salina: por ejemplo M9 registró mayor saturación que en M10 en la costra salina, ya sea saturada o sobresaturada en las transectas T10, T11 y T13 (La Brava y La Punta), T08 y T09 (Peine) y T30 (Tilopozo), y a su vez, desde costra salina en M9 se registró como costra salina terrosa en otras tres transectas en M10 (T18, T20 y T23 en Tilopozo). En relación al sustrato terroso, éste no presenta mayores variaciones entre monitoreos, registrándose en las transectas de matorral de *T. absinthioides* de Peine (T05, T06 y T07) y en la transecta T27 de Tilopozo en un herbazal de *D. spicata* (**Tabla N°1-2 y Tabla N°1-3 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

El herbazal de *Schoenoplectus californicus* es el único que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de 1% en la transecta T04 de Peine en M9 y nula en M10. Distinto es para el resto de las formaciones, donde el herbazal de *Juncus balticus* presenta altas coberturas sin vegetación, todas correspondiente a costra salina, con más de un 59% en M9 y de 62% en M10, los valores manteniéndose cercanos entre ambos monitoreos, alcanzando un máximo de 89,8% en la transecta T31 (Tilopozo) en M10 y 87,0% en M9. Las otras formaciones registran un rango de cobertura sin vegetación, principalmente entre 40 y 90% en ambos monitoreos, sin mayores diferencias en la cobertura total en ambas estaciones y solo se observan algunas diferencias por transecta, asociado al tipo de recubrimiento entre M9 y M10. Entre estas diferencias destaca el

aumento de la cobertura de otros recubrimientos en la transecta T25 de Tilopozo en un matorral de *T. absinthioides*, de un 59,2% en M9 a un 75,6% en M10, el resto de las transectas presentan diferencias menores en el total de la cobertura (**Tabla N°1-3 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Seguidamente, al analizar los valores de cobertura promedio por sector, se observa una diferencia en la cobertura vegetal de un 68,5% registrado en M9 a 71,9% en M10 en Peine, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio, disminuyendo también el porcentaje de cobertura de rastrojo entre ambos monitoreos (de 15,8% en M9 a 12,5% en M10). El sector de Tilopozo, presenta variación estable en su cobertura vegetal, dado entre 31,4% en M9 y 31,6% en M10 y también una disminución de la cobertura de rastrojo con un 20,3% registrado en M9 a un 10,7% en M10 (**Tabla N°1-4 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

En el sector La Punta y La Brava, también se observa una cobertura promedio estable entre ambos monitoreos, con un 24,3% en M9 y un 24,6% en M10, asimismo, la cobertura de rastrojos también disminuye en M10, de un 9,9% en M9 a un 6,3% en M10 (**Tabla N°1-4 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Para Aguas de Quelana, sector localizado al Norte, no es posible analizar M9, ya que no fue posible realizar el monitoreo por restricciones de accesibilidad al área. En el caso de Soncor, tampoco hay muestreo en M9 y M10, no obstante, se conoce que en este sector no hay vegetación o elementos de flora aislados que pudieran monitorearse en el tiempo, ya que se trata de un área completamente cubierta por costra salina localizado al Noroeste de Quelana.

12.1.3.2 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 utiliza esta información en la cual se desarrollaron las transectas del plan de seguimiento en las formaciones azonales del área. Igualmente, se comparan las coberturas de los monitoreos semestrales (M1 a M10) 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 1.5 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) y monitoreos M9 y M10 correspondientes a invierno y verano del quinto año de seguimiento (2020-2021).

De esta forma, se relacionaron los siguientes puntos de línea base (2014) con las transectas de monitoreo, ordenados por sector (**sección 1.5 del Anexo I Vegetación y Flora**):

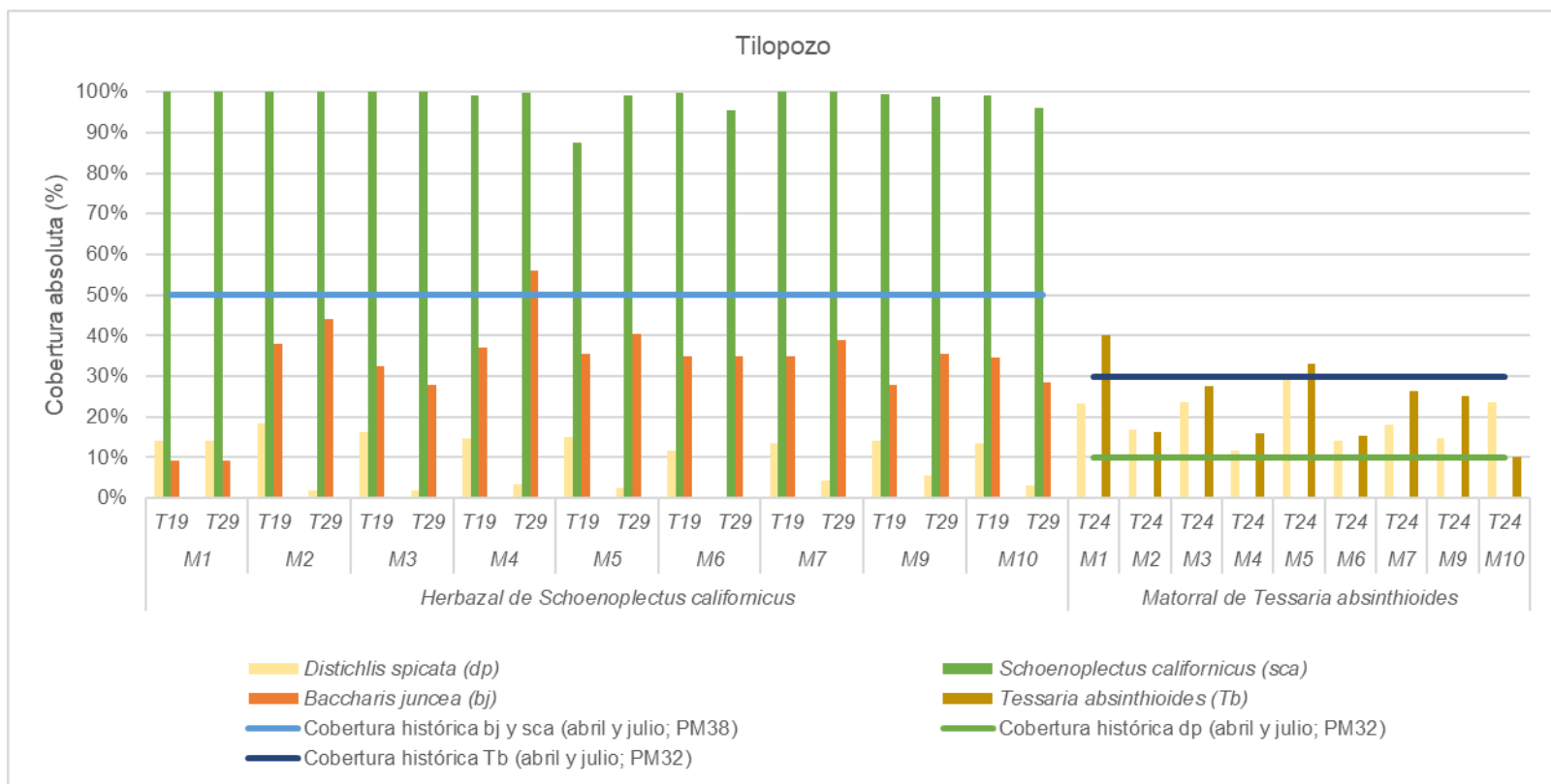
- Peine: en herbazal de *Distichlis spicata* el punto de línea base PM49 con la transecta T08 y en matorral de *Tessaria absinthioides* el punto PM5 con las transectas T05, T06 y T07.
- Tilopozo: en herbazal de *Distichlis spicata* el punto PM25 con la transecta T26, en el herbazal de *Schoenoplectus 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 M10), de este análisis se observa lo siguiente:

(1) En el sector Tilopozo (**Figura N° 12-1**), 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-M10), 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) y 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. En relación a la formación de matorral, el PM38 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 cinco 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 (PM38; 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.

Figura N° 12-1. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M10) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en sector Tilopozo.

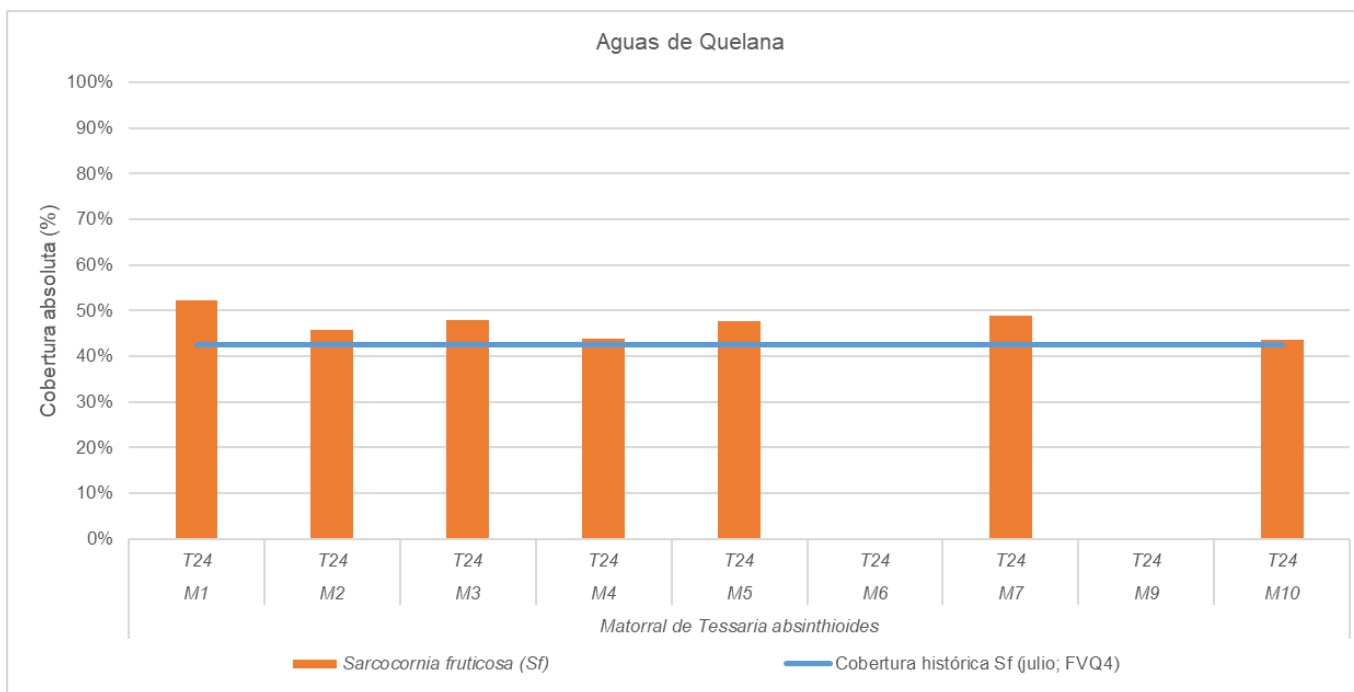


Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2019; Monitoreo verano 2020 (M8) no se realizó por restricciones en el marco de la pandemia Covid-19; Coberturas históricas corresponden a muestreos de línea de base en abril y julio de 2014.
 Fuente: Elaboración propia.

(2) 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° 12-2**). La cobertura histórica registrada en línea base (42,5%; FVQ4) se ajusta a las coberturas absolutas en los monitoreos, entre un mínimo de 43,6% registrado en M10 a un máximo de 52,2% registrado en M1, estando cercano o sobre al rango del valor histórico para la especie *S. fruticosa*, en todos los monitoreos evaluados.

(3) 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, donde se diferencia este tipo de cobertura, además de los otros recubrimientos relacionados a coberturas del sustrato sin vegetación.

Figura N° 12-2. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M10) 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; 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, y el quinto año de seguimiento (M9 y M10) 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) e invierno (M1-M3-M5-M7-M9), además de ver la variación o evolución histórica de estos monitoreos con la condición inicial (MB0).

Un primer análisis en términos generales se puede observar a través de la evolución de las coberturas por sector. En la **Figura N° 12-3** se observa la **cobertura promedio de vegetación** 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%) y M10 (71,9%), ver detalle en **Tabla N°1-4 en Anexo I Flora y Vegetación**.
- El sector de **Tilopozo**, presenta una leve variación entre monitoreos, principalmente desde MB0 a M5 con rango de promedios entre 33,8 y 39,9%. 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.
- En **La Punta y La Brava**, se observan variaciones leves de cobertura, aunque con tendencia a la baja, en un rango desde 39,1% (en MB0) a 24,5% (en M6). En M7 se registra un aumento leve (26,4%) y con valores estables entre M9 y M10, de 24% aproximadamente.
- Para **Aguas de Quelana**, se observa una leve variación en la cobertura de la vegetación, 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. No se presenta M6 y M9 ya que no se realizó el monitoreo correspondiente por restricciones de acceso.
- El sector **Soncor** no tiene registros, además que este sector no presenta vegetación o elementos de flora aislados que se pudieran monitorearse 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 aumentos de la cobertura promedio desde MB0 en todos los sectores, aunque en el último monitoreo muestra una disminución generalizada (**Figura N° 12-3**). 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, 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%) recordando que las fluctuaciones de cobertura muerta en estas formaciones han sido las más fluctuantes, pero sin perder una alta cobertura vegetal en todos los monitoreos. La cobertura de rastrojo en La Punta y La Brava y Aguas de Quelana presentan variaciones menores, también registrando un máximo en M9 (9,9%) para el caso de La Punta y La Brava, aunque disminuyendo a 6,3% en 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°1-2 de Anexo I Vegetación y Flora**). El sector Soncor no cuenta con registros de monitoreo.

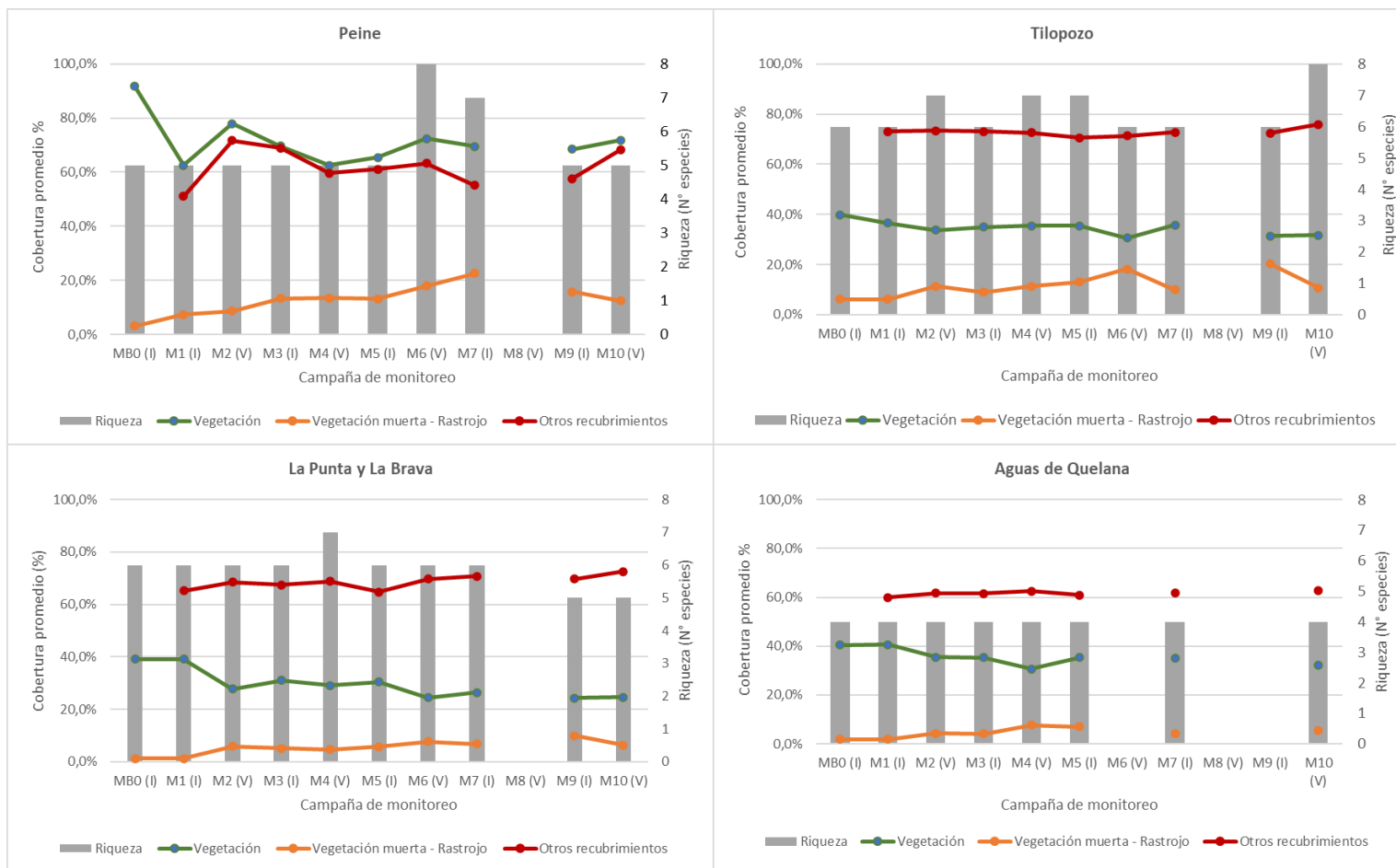
Respecto a la **riqueza registrada por sector**, indica algunas diferencias leves entre monitoreos (**Figura N° 12-3**), destacando que para M6 aumentó en **Peine**, el cual se debe al registro de tres especies adicionales en un matorral de *T. absinthioides*, las cuales no habían sido registradas en los monitoreos anteriores, posteriormente disminuye la riqueza, pero en M9 y M10 se mantiene mayor a la registrada en los primeros monitoreos (MB0-M5). 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). 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 y M10 (cinco especies) en La Punta y La Brava, mientras que Aguas de Quelana presenta la misma riqueza desde M1 a M10 (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%. 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° 12-3**).

Figura N° 12-3. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza por sector.



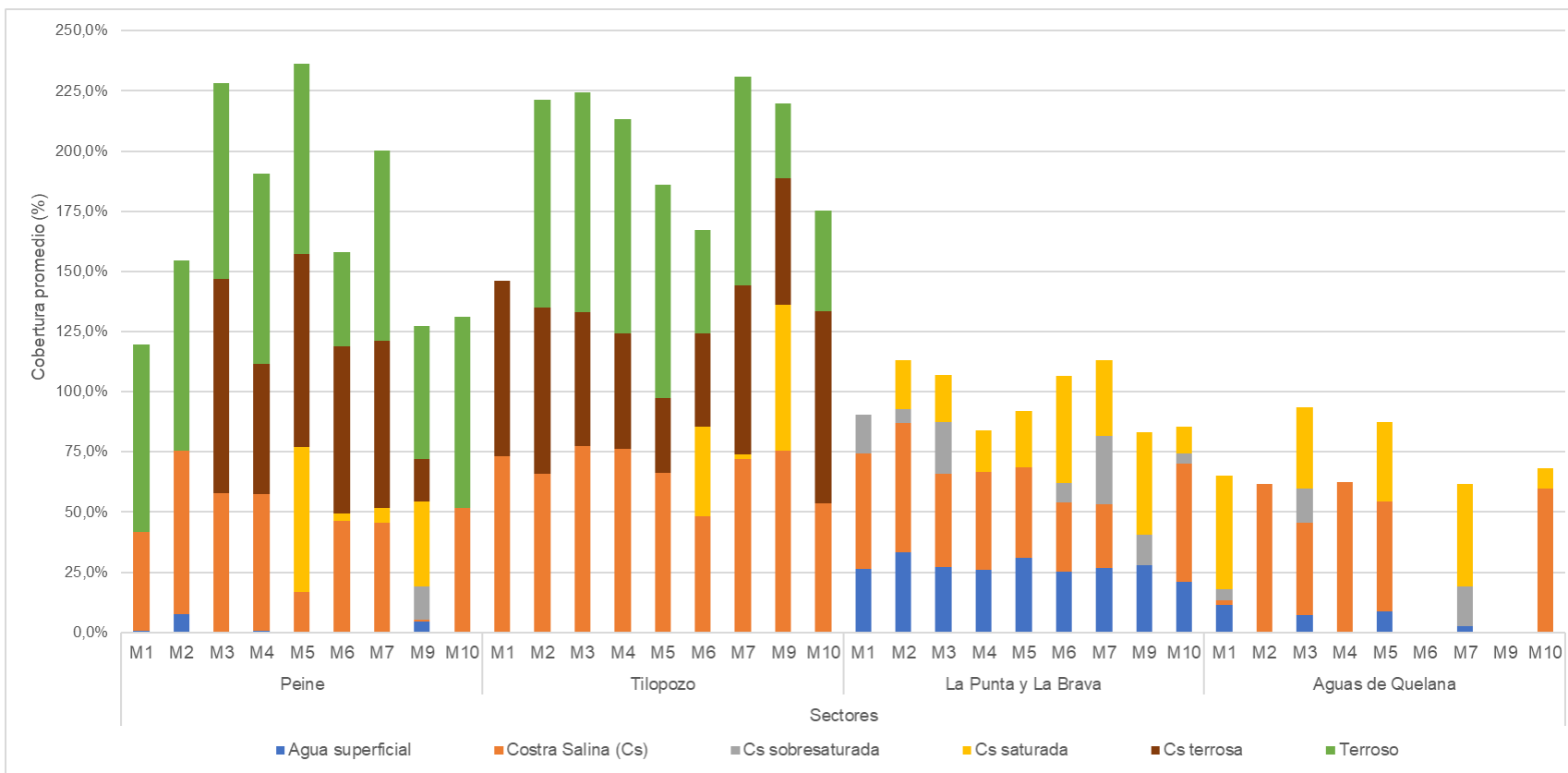
Donde: MBO monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M9 monitoreo invierno 2020, M10 monitoreo verano 2019; En M6 y M9 no hay registros 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.

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 MB0), 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° 12-4** 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°1-3 y Figura N°1-7 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Como se muestra en la **Figura N° 12-4**, 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, en M7 no se registra costra salina observándose en ésta como costra salina saturada y sobresaturada. 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° 12-4. Cobertura promedio de otros recubrimientos por sector en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10.



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.

Fuente: Elaboración propia.

12.1.4 Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI

12.1.4.1 Comparación con valores históricos

La superficie con vegetación a partir de la COT en el área de estudio es de 7.238,9 hectáreas en el último monitoreo de verano de 2021, y en base al método NDVI el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 17,2% (1.241,6 hectáreas), ver **Tabla N° 12-5**.

De esta superficie, en relación a las formaciones vegetales consideradas para el seguimiento del Plan de Manejo Biótico (**Tabla N° 12-6**), la superficie total para el área de estudio es de 5.876 hectáreas, de las cuales 1.055 hectáreas (18,5%) representan una cobertura activa según análisis NDVI-2021.

De acuerdo a 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 cinco años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido, superando incluso los valores máximos (**Tabla N° 12-5**). Cabe recordar, que para el sector de Peine, se había observado una disminución de la cobertura activa entre el monitoreo de 2017 al 2018, sin embargo, en el verano de 2019 la cobertura activa aumentó a una superficie similar a la registrada en 2017. Los últimos registros (2020-2021) consideran una disminución con respecto al año anterior, pero igualmente superan los valores mínimos registrados durante 2018.

Las formaciones de seguimiento del PMB para el sector Peine alcanzan una superficie total de 2.228,2 hectáreas de las cuales el 18,0% (402,1 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 95,3% de actividad (16,9 hectáreas), seguida por la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* que presenta 60,2% de actividad (**Tabla N° 12-6**).

En el Sector de La Punta y La Brava las formaciones de seguimiento alcanzan 60,3 hectáreas, siendo la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* la que presenta mejor relación cobertura total/actividad con 11,7% de vegetación activa en 41,1 hectáreas totales, por otra parte, la formación de vega de *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna* presenta una relación cobertura total/actividad del 9,1% pero en una menor superficie (3,3 hectáreas). Finalmente, el sector Tilopozo presenta 2.043,5 hectáreas de formaciones sujetas a seguimiento de las cuales 419,8 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 75,1% de actividad en 61,6 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 es el que posee mayor porcentaje de vegetación activa por superficie de vegetación con 26,7%, aunque es el sector que presenta menor cobertura de vegetación, dado la predominancia de áreas desprovistas de vegetación (salar), se reconoce la presencia de vegetación activa 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 26,7% 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 3,1 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 cinco períodos (2017-2021). Esto se debe al aumento de la superficie del área de muestreo para el monitoreo. Con respecto a las formaciones de seguimiento, para el sector Aguas de Quelana, **Tabla N° 12-6**, se reportan 1.518,2 hectáreas de formaciones zonales y azonales, de las cuales 249,8 hectáreas (16,4%) corresponden a vegetación activa. Las formaciones de matorral de *Tessaria absinthioides* y matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* son las que presentan mayor actividad con 28,7% (33,0 hectáreas) y 20,2% (129,0 hectáreas) respectivamente.

Tabla N° 12-5. 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		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN	
	Superficie con vegetación (ha)										Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI	COT	NDVI		
Tilopozo - La Punta y La Brava	2.727,90	613,2	2.706,40	422,8	2.706,40	603,5	2.727,90	533,4	2.706,40	453,7	113,6	343,3
Peine	2.990,90	677,1	2.989,00	496,1	2.989,00	660,5	2.989,00	506,6	2.989,00	532,5	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	21,2	37,7
Quelana	1.518,80	393,8	1.518,80	291,5	1.518,80	248,5	1.518,80	274,3	1.518,80	249,8	20,8	32,4
TOTAL	7.262,40	1.691,80	7.238,90	1.216,40	7.238,90	1.518,60	7.260,40	1.320,10	7.238,90	1.242,60		

* 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 Verano 2020 en base a COT invierno 2019, última cobertura validada de referencia para la actualización de vegetación activa verano 2020.

. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 12-6. 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>	118,3	687,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	0,8	3,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	5,3	8,8
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	22,8	90,6
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	16,9	17,7
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	238,0	1420,2
<i>Peine</i>			402,1	2.228,2
La Punta y La Brava	Azonal	Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	4,8	41,1
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	0,2	2,3
		Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	1,0	13,6
		Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	0,3	3,3
<i>La Punta y La Brava</i>			6,3	60,3
Aguas de Quelana	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	129,0	637,3
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	2,8	21,6
		Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i>	2,5	18,6
		Matorral hídrico con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	39,5	522,7
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	43,0	203,9
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	33,0	114,8
<i>Aguas de Quelana</i>			249,8	1.518,8
Soncor	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,1	7,8
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	3,5	16,9
<i>Soncor</i>			6,6	24,8
Tilopozo	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	217,5	745,7
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	35,7	299,6
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	1,9	18,2
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	82,9	627,4
		Vega con dominancia de <i>Juncus balticus</i>	13,1	113,5

SECTOR	TIPO VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL (DOMINANCIA)	SUPERFICIE VEGETACIÓN ACTIVA (ha)	SUPERFICIE TOTAL FORMACIÓN VEGETAL (ha)
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	46,3	61,6
		Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	0,9	24,5
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	21,5	153,0
<i>Tilopozo</i>			419,8	2.043,5
			1.085	5.876

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 al 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° 12-7 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 detenimiento 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 2021 se supera la superficie mínima en los cinco 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 (2017-2020). En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico en los cinco períodos y en orden decreciente desde el 2017 al 2019, con un leve aumento en 2020 y un mayor aumento en el último monitoreo de 2021 (**Tabla N° 12-7**).

Tabla N° 12-7. 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		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)	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	22,6	23
			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		
Total Peine		20,3		11,9		6,6		7,9		16,9		
Tilopozo - La Punta y La Brava	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	28,0	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8,0	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	9,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	5,9	26	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> , <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						
Total Tilopozo - La Punta y La Brava		33,1		38,1		27,2		31,0		46,3		

*Valores históricos obtenidos a partir de alta resolución correspondientes a la Tabla 5.3 del Apéndice B, Anexo 2 (2015).
Datos Verano 2020 en base a COT invierno 2019, última cobertura validada de referencia para la actualización de vegetación activa verano 2020.

Fuente: Elaboración propia.

12.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

12.2.1 Representatividad del muestreo

Los muestreos correspondientes a las 10 campañas semestrales (invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, 2020 y verano 2021) 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 al 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, y 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, ya que no hubo autorización de la comunidad) por lo que algunas generalizaciones excluyen estas campañas.

En total, la riqueza acumulada de 57 especies en las 10 campañas realizadas representa un 91,9% 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), 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 12.2.8.1 Riqueza y Composición*).

12.2.2 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres

En el área de estudio, y en relación a la riqueza acumulada, considerando las 10 campañas semestrales de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, ésta asciende a un total de 57 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 44 especies de aves y 10 especies de mamíferos (**Tabla N° 12-8**). En la décima campaña de verano 2021 se incorporan dos especies nuevas para el monitoreo (águila y minero cordillerano). Además, ambas son especies nuevas comparando con los datos históricos del PMB (2015), presentados en el Anexo 2, Adenda 5.

De las 57 especies de fauna detectadas, 21 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 18 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, 10 de las especies de aves y ocho especies de mamíferos (**Tabla N° 12-8**).

Del total de 21 especies en categoría de conservación, siete se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro (una especie, un reptil), Vulnerable (tres especies; dos aves y un mamífero) y Casi amenazada (tres especies, dos aves y un mamífero). Por su parte, 14 especies se catalogan sin amenaza (precautorias; detalle en **Tabla N° 12-8**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 52 de las 57 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° 12-8**).

Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 12-8**).

De acuerdo a su origen geográfico, tres de las especies registradas son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles y una especie de mamífero), en tanto que otras 53 especies son nativas (una especie de anfibio, 44 especies de aves y ocho especies de mamíferos), y finalmente, una especie es catalogada como introducida (un mamífero, *Equus asinus*; **Tabla N° 12-8**).

En relación a 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° 12-8**).

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 49 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 12-8**).

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 tres se encuentran clasificadas con un riesgo alto, nueve se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 43 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A la única especie introducida (el burro), no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 12-8**).

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 30 especies registradas (dos reptiles, 21 aves y siete mamíferos) y finalmente el sector con la menor riqueza es La Punta y La Brava con 22 especies (un reptil, 19 aves y dos mamíferos; **Tabla N° 12-8**).

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° 12-8**).

Tabla N° 12-8. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las 10 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2021). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
AMPHIBIA											
ANURA											
BUFONIDAE											
<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo Espinoso	LC ³	BE	-	N	S	B	50,35			X
TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA									0	0	1
REPTILIA											
SQUAMATA											
TROPIDURIDAE											
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC ⁸	SE	-	E	N	B	30,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ⁶	SE	-	E	S	B	83,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA REPTILIA									1	2	1
AVES											
ACCIPITRIFORMES											
ACCIPITRIDAE											
<i>Circus cinereus</i>	Vari ceniciento	-	BE	-	N	S	A	18,35		X	X
<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>Geranoaetus poecilochrous</i>	Aguilucho de la puna	DD ¹¹	BE	-	N	N	A	3,35			X
ANSERIFORMES											
ANATIDAE											
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	-	-	-	N	S	A	30		X	X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	-	-	-	N	S	A	15	X	X	X
<i>Oressochen melanopterus</i>	Piuquén	LC ¹¹	-	-	N	S	A	24,5	X		
CHARADRIIFORMES											
CHARADRIIDAE											
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE											
<i>Chroicocephallus serranus</i>	Gaviota Andina	LC ¹⁰	S	-	N	S	A	18,65	X	X	X
RECURVIROSTRIDAE											
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	-	BS	-	N	S	A	25,85	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	-	BS	-	N	S	A	25,85	X	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 ⁹	BSE	-	N	N	A	7			X
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
GRUIFORMES											
RALLIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Fulica ardesiaca</i>	Tagua andina	-	S	-	N	S	A	24,15		X	
<i>Fulica cornuta</i>	Tagua cornuda	NT ⁷	S	-	N	S	A	32,65	X		
<i>Fulica gigantea</i>	Tagua gigante	LC ¹⁰	S	-	N	S	A	18,65	X		
PASSERIFORMES											
FURNARIIDAE											
<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete acanelado	-	B	-	N	S	A	16,65			X
<i>Geositta cunicularia</i>	Minero común	-	B	-	N	N	A	1,65			X
<i>Geositta isabellina</i>	Minero grande	-	BS	-	N	N	A	3,35			X
<i>Geositta maritima</i>	Minero chico	-	B	-	N	N	A	1,65			X
<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>Hirundo rustica</i>	Golondrina bermeja	-	BSE	-	N	N	A	5	X		X
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	N	A	10,85	X	X	X
MOTACILLIDAE											
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico común	-	BE	-	N	N	A	3,35	X		X
THRAUPIDAE											
<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	-	S	-	N	N	A	9,15			X
TYRANNIDAE											
<i>Agriornis micropterus</i>	Mero de Tarapacá	-	BSE	-	N	N	A	5		X	X
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	-	BE	-	N	N	A	3,35			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

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de nuca rojiza	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
PELECANIFORMES											
ARDEIDAE											
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	-	B	-	N	S	A	16,65	X		
<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	-	BS	-	N	S	A	18,35		X	X
PHOENICOPTERIFORMES											
PHOENICOPTERIDAE											
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ⁷	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ¹⁰	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT ¹⁰	SE	-	N	S	A	49,35	X	X	
PODICIPEDIFORMES											
PODICIPEDIDAE											
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	-	E	-	N	S	A	24,15	X		
TOTAL RIQUEZA AVES									19	21	30
MAMMALIA											
ARTIODACTYLA											
CAMELIDAE											
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU ²	S	-	N	N	A	48,65			X
CARNIVORA											
CANIDAE											
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ²	E	-	N	N	A	3,65	X	X	X
<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro chilla	LC ²	E	-	N	N	A	3,65			X
FELIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Puma concolor</i>	Puma	NT ⁴	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	-	-	-	D	N	A	N/A		X	X
RODENTIA											
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 ⁵	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 ¹¹	S	-	E	N	B	33,65		X	X
TOTAL RIQUEZA AVES									2	7	8
TOTAL RIQUEZA SECTOR									22	30	40

ESTADOS DE CONSERVACIÓN: EN: En Peligro; I: Insuficientemente conocida; LC: Preocupación menor; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; R: Rara; VU: Vulnerable; S/EC: sin estado de conservación.

FUENTES ESTADOS DE CONSERVACIÓN: (1) D.S. N°5/1998 MINAGRI; (2) D.S. N°33/2011 MMA; (3) D.S. N°41/2011 MMA; (4) D.S. N°42/2011 MMA; (5) D.S. N°13/2013 MMA; (6) D.S. N°52/2014 MMA; (7) D.S. N°38/2015 MMA; (8) D.S. N°16/2016 MMA; (9) D.S. N°6/2017 MMA; (10) D.S. N°23/2019 MMA; (11) D.S. N°16/2020 MMA; (12) Rottman & 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: 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.

12.2.3 Análisis por clase

12.2.3.1 Anfibios

Del total de 57 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 clasifica en Preocupación menor (**Tabla N° 12-8**). 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° 12-8**).

12.2.3.2 Reptiles

Del total de 57 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, dos de ellas corresponden a reptiles (3,5%), ambas pertenecientes al Orden Squamata y a la familia Tropiduridae (**Tabla N° 12-8**).

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° 12-8**).

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° 12-8**). 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° 12-8**).

En relación a 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° 12-9**).

12.2.3.3 Aves

Del total de 57 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las 10 campañas, 44 de ellas corresponden a aves (72,2%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 12-8**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 10 especies (22,7%) se encuentran en categoría de conservación. De ellas, cuatro especies son consideradas “*bajo amenaza*”, y corresponden a dos especies de parinas (chica y grande), clasificadas en categoría Vulnerable, además de la tagua cornuda y el flamenco chileno, consideradas Casi amenazada. Las seis especies restantes, en tanto, están catalogadas “*sin amenaza*”, clasificadas en categoría Insuficientemente conocida (una especie), de Preocupación menor (cuatro especies) y con datos deficientes (una especie, detalles en **Tabla N° 12-8**).

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° 12-8**).

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 21 especies registradas, y La Punta y La Brava, con 19 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 12-9**).

12.2.3.4 Mamíferos

Del total de 57 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 10 de ellas corresponden a mamíferos (17,5%), las que se distribuyen en cinco órdenes y siete familias (**Tabla N° 12-8**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, ocho (80,0%) se encuentran en categoría de conservación. Las dos especies consideradas “*bajo amenaza*” corresponden al guanaco (*Lama guanicoe*), clasificado 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° 12-8**).

En cuanto a su origen, una de las especies es endémica de Chile (el tuco-tuco de Atacama), otras ocho especies son nativas, y la especie restante es introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie se considera especialista de hábitat. De las 10 especies de mamíferos registradas, cinco 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, dos especies presentan un riesgo medio (el tuco-tuco de Atacama y el guanaco), 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° 12-8**).

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 dos especies registradas (**Tabla N° 12-8**).

12.2.4 Composición por ambiente

En el caso de los anfibios, la única especie de la clase que fue registrada durante la realización de las 10 campañas de monitoreo (el sapo espinoso), se detectó en el ambiente humedal pajonal del sector de Tilopozo, sólo en la campaña de verano 2018 (**Tabla N° 12-9**).

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° 12-9**).

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 22 especies detectadas (con sólo seis especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por los registros de 19 especies en humedal salar de La Punta y La Brava (en su mayoría especies asociadas a ambientes acuáticos), 15 especies en el humedal salar de Peine (casi todas especies asociadas a ambientes acuáticos) y 14 especies en el matorral de Tilopozo. A estos registros de riqueza, le siguen el ambiente de quebrada de Tilopozo con ocho especies detectadas (todas terrestres), y los matorrales de Peine, con siete especies registradas (todas terrestres). Por otra parte, se registraron muy pocas especies de aves en el ambiente de herbazal de Tilopozo, con sólo dos especies, y una en área desprovista de vegetación costra salar (**Tabla N° 12-9**).

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, seguidos por el registro de seis especies en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo, cinco especies en el herbazal de Tilopozo y cuatro especies en la quebrada de Tilopozo. La menor riqueza, en tanto, se encuentra en los ambientes de humedal salar de La Punta y La Brava, con dos especies, y área desprovista

de vegetación costra salar de Tilopozo y humedal salar de Peine, registrándose en ellos sólo una especie (**Tabla N° 12-9**).

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 30 especies registradas en total (un anfibio, un reptil, 22 aves y seis mamíferos), lo que representa un 52,6% 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, con 22 especies (un reptil, 19 aves y dos mamíferos) y el humedal salar de Peine, con 17 especies. A continuación, se encuentran los ambientes de matorral de Peine (15 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° 12-9**).

En general, los ambientes de menor riqueza son en su mayoría, 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° 12-9. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.

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								
Vari ceniciento			X			X	X	
Águila			X					
Aguilucho común			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				
Caití	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
Playero de Baird	X	X						
Pollito de mar tricolor	X	X						
Pitotoy chico	X	X				X		
Tortolita de la puna			X			X	X	
Tórtola					X	X	X	
Halcón perdiguero						X	X	
Halcón peregrino						X		
Cernícalo						X		
Tagua andina		X						
Tagua cornuda	X							
Tagua gigante	X							
Churrete acanelado						X		
Minero común							X	
Minero grande								X
Minero chico							X	X
Minero de la Puna						X	X	X
Minero cordillerano			X				X	
Tijeral común								X
Golondrina bermeja	X					X		
Golondrina de dorso negro	X	X				X	X	
Bailarín chico común	X					X	X	
Chirihue verdoso					X		X	
Mero de Tarapacá			X			X		
Mero gaucho						X	X	X
Colegial del norte	X	X				X		
Dormilona cenicienta						X		X
Dormilona chica						X	X	X
Dormilona de nuca rojiza								X
Garza grande	X							
Garza azul		X				X		
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						
Blanquillo	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	19	15	7	1	2	22	14	8
MAMMALIA								
Guanaco						X	X	
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	X
Zorro chilla							X	
Puma			X					
Yaca del norte			X					
Burro			X		X	X	X	
Ratón andino			X		X	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
Lauchita de pie sedoso							X	
Ratón orejudo amarillo	X		X	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	2	1	7	1	5	6	8	4
TOTAL POR AMBIENTE	22	17	15	2	8	30	23	12

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-10.

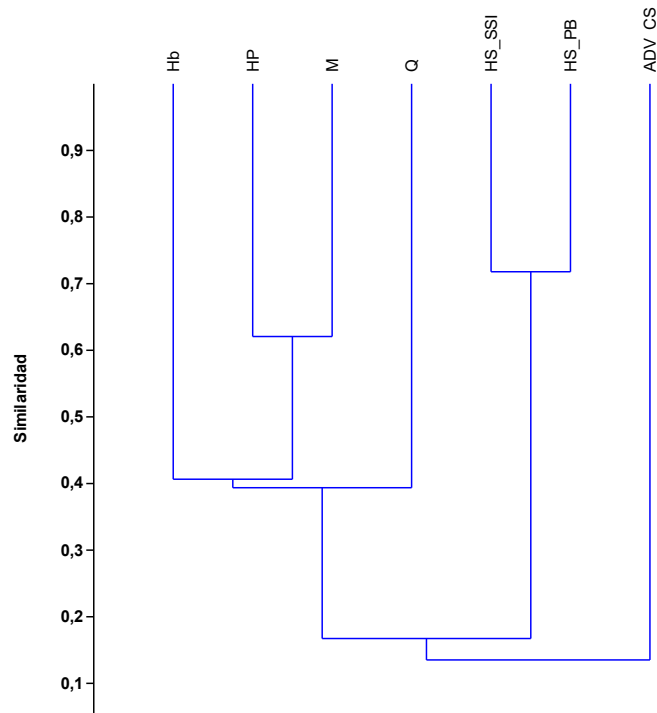
Fuente: Elaboración Propia.

12.2.5 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 12-9** (el que agrupa las diez campañas de monitoreo), se obtiene el fenograma de similitud de fauna (**Figura N° 12-5**).

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%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada se asocia al resto de los ambientes con una similitud cercana al 41%. Finalmente, el área desprovista de vegetación costra salar, claramente es el más diferente a todo el resto, asociándose a ellos a una similitud estimada menor al 15% (**Figura N° 12-5**).

Figura N° 12-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 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.

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.

12.2.6 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° 12-10** y **Tabla N° 12-11**). 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° 12-10**). En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre nueve a 28 ejemplares avistados (51,2% a 82,4% de abundancia relativa), mientras que la lagartija de Constanza representó entre 17,6% a un 48,8%, con cuatro a 20 individuos (**Tabla N° 12-10**). 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 40% de frecuencia relativa), mientras que la lagartija de Constanza tuvo entre un 4% a un 32% de frecuencia (variando en su registro entre uno a ocho puntos de muestreo; **Tabla N° 12-11**). En este último año (invierno 2020 y verano 2021) no se mantiene el patrón de los años anteriores, en que las abundancias de invierno son menores a las de verano (recordar que en verano 2021 no se muestreo las lagunas de Peine, donde es frecuente la lagartija de Fabián).

En relación a las aves registradas, la abundancia absoluta total fue mayor en verano 2018 (con 520 ejemplares), y menor en verano 2021 (con 200 individuos), por lo que estos dos periodos de monitoreo de verano 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), destaca la parina grande, con la mayor abundancia absoluta y relativa en las campañas, con un máximo de 262 ejemplares (59,8% en invierno 2016) 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 2107; **Tabla N° 12-10**). Otras especies abundantes en el total de campañas son: el chorlo de la Puna (15 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 68 ejemplares en verano 2018 y 126 individuos en invierno 2018), 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 21 ejemplares (**Tabla N° 12-10**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la Puna (entre seis a 10 puntos, variando entre un 28% a un 40% de frecuencia), el flamenco chileno (12% a 32%), la parina grande (12% a 28%), 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° 12-11**). En general, las abundancias totales de las aves en este último año (en particular, invierno 2020) están dentro del rango de todo el monitoreo. En verano 2021, 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 varió 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. 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 32%. En el caso del puma, se registró sólo una evidencia indirecta en un punto de muestreo en verano 2018 (4% de frecuencia; **Tabla N° 12-10** y **Tabla N° 12-11**). En general, los valores de abundancia y frecuencia de los macromamíferos de este último año (invierno 2020 y verano 2021), están dentro del rango de todo el monitoreo.

Tabla N° 12-10. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.

CLASE	AA										AR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
AMPHIBIA																				
Sapo Espinoso	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
TOTAL AMPHIBIA	-	-	-	1	-	-	-	Ne	-	-	-	-	-	100	-	-	-	Ne	-	-
REPTILIA																				
Lagartija de Constanza	7	10	4	6	5	9	12	-	20	14	43,8	47,6	21,1	17,6	29,4	25,7	34,3	-	48,8	35,0
Lagartija de Fabián	9	11	15	28	12	26	23	-	21	26	56,3	52,4	78,9	82,4	70,6	74,3	65,7	-	51,2	65,0
TOTAL REPTILIA	16	21	19	34	17	35	35	Ne	41	40	100	100	100	100	100	100	100	Ne	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	-	-	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3	-	0,3	0,5
Aguilucho de la puna	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-
Pato jergón chico	-	-	-	3	-	-	2	-	2	-	-	-	-	0,6	-	-	0,3	-	0,5	-
Pato juarjual	7	4	6	11	6	4	6	-	5	10	1,6	1,4	1,6	2,1	1,2	0,9	1,0	-	1,3	5,0
Piuquén	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Chorlo de la puna	20	26	15	50	28	31	45	-	19	37	4,6	8,9	4,0	9,6	5,4	6,7	7,8	-	4,8	18,5
Gaviota Andina	6	3	11	1	12	5	32	-	16	1	1,4	1,0	2,9	0,2	2,3	1,1	5,5	-	4,1	0,5
Caití	15	14	19	33	14	40	14	-	9	2	3,4	4,8	5,1	6,3	2,7	8,6	2,4	-	2,3	1,0

CLASE	AA										AR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
Playero de Baird	5	23	18	19	13	28	42	-	71	38	1,1	7,9	4,8	3,7	2,5	6,0	7,3	-	18,1	19,0
Pollito de mar tricolor	4	44	2	42	-	-	11	-	21	10	0,9	15,1	0,5	8,1	-	-	1,9	-	5,4	5,0
Pitotoy chico	-	-	-	6	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	0,3	-
Tortolita de la puna	-	-	-	1	-	-	33	-	8	6	-	-	-	0,2	-	-	5,7	-	2,0	3,0
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	-	-	-	-	-	4,1	-	5,6	1,0	0,4	-	-	-	-
Minero de la Puna	-	-	2	21	11	5	2	-	-	6	-	-	0,5	4,0	2,1	1,1	0,3	-	-	3,0
Minero cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0
Tijeral común	1	2	-	2	-	-	-	-	-	3	0,2	0,7	-	0,4	-	-	-	-	-	1,5
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-
Golondrina de dorso negro	3	-	4	-	3	-	8	-	6	1	0,7	-	1,1	-	0,6	-	1,4	-	1,5	0,5
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	-	-	-	13,1	24,5	-	4,9	-	-	19,0

CLASE	AA										AR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
Mero de Tarapacá	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,5
Mero gaucho	-	2	-	-	2	5	-	-	2	2	-	0,7	-	-	0,4	1,1	-	-	0,5	1,0
Colegial del norte	-	2	2	2	1	5	-	-	2	-	-	0,7	0,5	0,4	0,2	1,1	-	-	0,5	-
Dormilona cenicienta	-	-	1	1	-	-	-	-	2	-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	-	0,5	-
Dormilona chica	-	1	-	4	3	2	-	-	2	-	-	0,3	-	0,8	0,6	0,4	-	-	0,5	-
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	59,8	31,5	41,5	21,7	33,5	43,5	36,7	-	30,4	5,0
Flamenco de James o Parina chica	39	11	6	17	51	50	50	-	31	-	8,9	3,8	1,6	3,3	9,9	10,8	8,7	-	7,9	-
Flamenco chileno	63	46	125	67	53	69	67	-	67	22	14,4	15,8	33,2	12,9	10,3	14,9	11,6	-	17,1	11,0
Blanquillo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-
TOTAL AVES	438	292	376	520	514	464	577	Ne	392	200	100	100	100	100	100	100	100	Ne	100	100
MAMMALIA																				
Guanaco	-	2X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro culpeo	6+3x	3	3+4x	11+1x	6+7x	5+6x	2+6X	-	7+4X	6+X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro chilla	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puma	-	-	-	1X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Burro	8+5x	8+5x	4x	8+5x	5+5x	5+7x	5+4X	-	5X	5+X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7x	4+6x	6+6x	8+4x	7+4x	2+4x	5+7X	-	7X	2+6X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) 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 20 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 1-10.

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.

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 12-11. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR, por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.

CLASE	FA										FR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
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	20	12	4	20	8	20	20	-	32	30
Lagartija de Fabián	4/25	7/25	5/25	10/25	4/25	6/25	7/25	-	6/25	6/20	16	28	20	40	16	24	28	-	24	30
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	-	-	4	12	4	4	4	-	4	5
Aguilucho de la puna	-	-	-	-	-	-	-	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-
Pato jergón chico	-	-	-	1/25	-	-	1/25	-	1/25	-	-	-	-	4	-	-	4	-	4	-
Pato juarjual	3/25	3/25	3/25	4/25	3/25	2/25	3/25	-	3/25	4/20	12	12	12	16	12	8	12	-	12	20
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	32	40	28	36	32	40	32	-	32	30
Gaviota Andina	3/25	2/25	6/25	1/25	2/25	3/25	6/25	-	7/25	1/20	12	8	24	4	8	12	24	-	28	5
Caití	6/25	4/25	6/25	3/25	5/25	2/25	7/25	-	4/25	1/20	24	16	24	12	20	8	28	-	16	5

CLASE	FA										FR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
Playero de Baird	2/25	9/25	3/25	5/25	6/25	8/25	9/25	-	10/25	5/20	8	36	12	20	24	32	36	-	40	25
Pollito de mar tricolor	2/25	7/25	1/25	2/25	-	-	2/25	-	3/25	3/20	8	28	4	8	-	-	8	-	12	15
Pitotoy chico	-	-	-	2/25	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	8	-	-	-	-	4	-
Tortolita de la puna	-	-	-	1/25	-	-	5/25	-	2/25	4/20	-	-	-	4	-	-	20	-	8	20
Tórtola	2/25	1/25	-	-	1/25	1/25	3/25	-	1/25	-	8	4	-	-	4	4	12	-	4	-
Halcón perdiguero	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	4	-	-	-	-	-	5
Halcón peregrino	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Cernícalo	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	4	-	8	4	4	-	-	-	-
Minero de la Puna	-	-	1/25	4/25	3/25	2/25	1/25	-	-	3/20	-	-	4	16	12	4	4	-	-	15
Minero cordillerano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2/20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Tijeral común	1/25	1/25	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	4	4	-	4	-	-	-	-	-	5
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-
Golondrina de dorso negro	2/25	-	4/25	-	1/25	-	3/25	-	5/25	1/20	8	-	16	-	4	-	12	-	20	5

CLASE	FA										FR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
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	-	-	-	8	8	-	8	-	-	15
Mero de Tarapacá	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	1/20	-	-	-	4	-	-	-	-	-	5
Mero gaucho	-	2/25	-	-	2/25	4/25	-	-	1/25	2/20	-	8	-	-	8	16	-	-	4	10
Colegial del norte	-	2/25	1/25	1/25	1/25	4/25	-	-	1/25	-	-	8	4	4	4	16	-	-	4	-
Dormilona cenicienta	-	-	1/25	1/25	-	-	-	-	1/25	-	-	-	4	4	-	-	-	-	4	-
Dormilona chica	-	1/25	-	2/25	1/25	1/25	-	-	2/25	-	-	4	-	8	4	4	-	-	8	-
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	20	24	24	12	12	12	28	-	24	15
Flamenco de James o Parina chica	3/25	2/25	1/25	1/25	3/25	3/25	4/25	-	4/25	-	12	8	4	4	12	12	16	-	16	-
Flamenco chileno	7/25	8/25	8/25	5/25	5/25	3/25	7/25	-	6/25	4/20	28	32	32	20	20	12	28	-	24	20
Blanquillo	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAMMALIA																				
Guanaco	-	2/25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro culpeo	9/25	3/25	7/25	9/25	11/25	10/25	8/25	-	10/25	7/20	36	12	28	36	44	40	32	-	40	35
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	24	24	16	24	24	32	20	-	20	10

CLASE	FA										FR (%)									
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20*	I 20	V 21**
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7/25	7/25	7/25	7/25	6/25	6/25	8/25	-	7/25	7/20	28	28	28	28	24	24	32	-	28	35

(*) 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 20 de los 25 puntos de muestreo.

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

Nota 2: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-10.

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.

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

12.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)

En un análisis global, comparando las 10 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, variando entre 0,5 a 4,0 individuos/transecto (invierno 2016 y verano 2017, respectivamente), seguido por el humedal salar (con 0,5 a 2,5 individuos/transecto, en invierno 2020 y verano 2018, respectivamente), la quebrada (máximo de 2,0 ind/transecto, sólo en verano 2021), el herbazal (0,5 ind/transecto, en varias campañas) y el matorral (con máximo de 0,5 individuos/transecto, en invierno 2020), mientras que el ambiente de ADV costra salar no ha registrado ejemplares (**Tabla N° 12-12**).

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 5,0 individuos/transecto en verano 2021 a 39,6 ind/transecto en verano 2019; seguido por el matorral (máximo de 18,0 ind/transecto, en invierno 2018), la quebrada (máximo de 15,0 ind/transecto, en verano 2017), el humedal pajonal, variando entre 0,5 ind/transecto (en invierno 2016) a 13,0 ind/transecto (verano 2018). 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 (**Tabla N° 12-12**).

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.

Tabla N° 12-12. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 10 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2021).

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*	I20	V21**	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21
REPTILIA	0,8	1,0	1,4	2,5	1,1	2,4	0,6	-	0,5	1,2	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	-	0,5	0,5
AVES	38,7	24,5	33,6	34,2	32,9	39,6	5,1	-	5,1	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	1,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	-	0,5	0,5

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*	I20	V21	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V20*	I20	V21
REPTILIA	0,5	4,0	2,0	1,0	2,5	2,5	1,0	-	1,0	1,0	0,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,4	0,4	-	0,5	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	1,0	2,0
AVES	0,5	3,0	3,0	13,0	3,5	6,0	5,0	-	3,5	3,5	0,1	0,1	0,0	13,5	18,0	1,4	1,0	-	0,6	1,5	1,0	15,0	0,0	10,0	1,0	6,0	0,0	-	2,0	1,0

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en la campaña de 2021 se efectuaron 6 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.

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió (en las campañas en que se encontró, con uno a 12 ejemplares), entre 0,8% (en 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° 12-13**). 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° 12-13**).

Comparando la abundancia relativa total de las dos especies de micromamíferos más abundantes entre las campañas, prácticamente no hay diferencia de abundancia en verano que en invierno, ya que ambas especies presentan alta variación. Lo anterior se verifica comparando los rangos, sobre todo para el ratón orejudo 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° 12-13**).

Tabla N° 12-13. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2021.

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPANA												
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
INVIERNO 2016												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0	0/120	1,7	2/120	0,8	1/120	3,3	2/60
Ratón orejudo amarillo	3,3	2/60	0	0/60	0	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 orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	3,3	4/120	9,2	11/120	6,7	4/60
INVIERNO 2017												
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	2,5	3/120	1,7	2/120	3,3	2/60
VERANO 2018												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0,8	1/120	0	0/120	0	0/120	5,0	3/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	6,7	4/60	0,8	1/120	0,8	1/120	2,5	3/120	6,7	4/60
INVIERNO 2018												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	2,5	3/120	1,7	2/120	0,8	1/120	5	3/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	1,7	2/120	0,8	1/120	1,7	1/60
VERANO 2019												
Yaca del norte	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	13,3	16/120	10,0	12/120	1,7	1/60
Lauchita de pie sedoso	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	1,7	2/120	10,0	12/120	1,7	1/60
INVIERNO 2019												
Yaca del norte	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0	0/120	21,7	26/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	2,5	3/120	1,7	2/120	3,3	2/60
VERANO 2020*												

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPAÑA												
Nombre común	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

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

12.2.8 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.

12.2.8.1 Riqueza y composición

En una primera escala gruesa de comparación, las 57 especies registradas en estas 10 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° 12-14**). 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 2021 se incluyen dentro de las 62 especies del total acumulado. Del total de 57 especies observadas en el periodo de monitoreo de estos últimos cinco 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*). De ellas, el águila y el minero cordillerano se registraron en la última campaña de verano 2021.
- 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 es 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° 12-14**), la composición de especies de estas 10 campañas de agosto 2016 a abril 2021 es mayor (45 a 57, 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 por otro lado, 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° 12-14. 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 y verano 2021.

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	ago-19	ago-20	abr-21	Ago 2016-Abr 2021
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	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
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	19	17	27	21	21	18	22	21	44
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	6	4	6	5	8	6	5	5	10
TOTAL	18	12	26	21	17	17	45	62	22	27	23	36	28	31	26	29	28	57

* = 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 10 campañas de invierno 2016 a verano 2021 se han observado 22 especies (19 aves, un reptil y dos mamíferos; **Tabla N° 12-9**).

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 10 campañas de invierno 2016 a verano 2021 se registraron 17 especies (un reptil, un mamífero y 15 aves; **Tabla N° 12-9**). A pesar 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 2021 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 2020, 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). Los valores son: invierno de 2016 (22 especies, de las cuales dos son reptiles, 15 son aves y cinco son mamíferos); invierno 2017 (23 especies: dos reptiles, 17 aves y cuatro mamíferos); invierno 2018 (28 especies: dos reptiles, 21 aves y cinco mamíferos); invierno 2019 (26 especies: dos reptiles, 18 aves y seis mamíferos) e invierno 2020 (29 especies: dos reptiles, 22 aves y cinco mamíferos; **Tabla N° 12-14**). 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.

En la otra estación, comparando el registro de las campañas de verano 2017 a verano 2021, 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 estivales son: verano de 2017 (27 especies, de las cuales dos son reptiles, 19 son aves y seis son mamíferos); verano 2018 (36 especies: un anfibio, dos reptiles, 27 aves y seis mamíferos); verano 2019 (31 especies: dos reptiles, 21 aves y ocho mamíferos) y verano 2021 (28 especies: dos reptiles, 21 aves y cinco mamíferos; **Tabla N° 12-14**). 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) e invierno 2020 (12 especies; **Tabla N° 12-15**). 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 cinco inviernos de monitoreo (**Tabla N° 12-15**). 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 2020, 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° 12-15**).

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 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) y verano 2021 (10 especies; **Tabla N° 12-15**). Cabe recordar que en verano 2020 no se efectuó muestreo, por la pandemia. En 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 2019, 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° 12-15**).

Tabla N° 12-15. 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 2021).

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 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**
Pato colorado													X					
Pato jergón chico															X			
Pato juarjual	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
Gaviota andina		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
Playero de Baird	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
Pitotoy chico												X			X			
Tagua andina									X									
Tagua cornuda				X														
Tagua gigante			X															
Golondrina bermeja																	X	
Golondrina de dorso negro			X		X	X		X	X	X	X	X						X
Bailarín chico común		X	X	X	X	X								X	X			X

Nombre común	Humedal Salar																		
	La Punta-La Brava						Peine (Salada, Saladita e Interna)						La Punta-La Brava y Peine						
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020*	Verano 2021**	
Colegial del norte			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	
Flamenco de James o Parina chica	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	
Blanquillo				X															
TOTAL POR AMBIENTE	6	9	13	12	11	12	6	9	9	9	9	10	7	12	14	11	Ne	10	

(*) 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.

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 y 2021), 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, 2017, 2018, 2019 y 2020 (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° 12-16**).

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. Para los veranos, existen algunas leves diferencias entre verano de 2015 (LB) con el monitoreo, como la presencia de guanaco (*Lama guanicoe*, verano 2017), puma (*Puma concolor*, verano 2018) y lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), junto con la yaca de la puna (*Thylamys pallidior*) en verano 2019. En invierno, hay algunas leves diferencias, como la presencia de la yaca del norte y la ausencia de burros, en las campañas de 2014 (**Tabla N° 12-16**).

Tabla N° 12-16. 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 2021).

CLASE Nombre Común	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
REPTILES												
Lagartija de Constanza	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X
Lagartija de Fabián	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Subtotal reptiles	2	1	2	2	2	2	2	2	2	Ne	2	2
MAMÍFEROS												
Guanaco				X								
Zorro chilla								X				
Zorro culpeo	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
Lauchita de pie sedoso								X				
Ratón andino	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X
Ratón orejudo amarillo	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
Subtotal mamíferos	5	5	5	6	4	6	5	8	6		5	5
RIQUEZA TOTAL	7	6	7	8	6	8	7	10	8	Ne	7	7

El asterisco (*) indica que se incluyen dos campañas (abril y julio). (**) En verano de 2020 no se efectuó muestreo, por la pandemia. Ne = No evaluado

Fuente: Elaboración Propia.

12.2.8.2 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 10 campañas de monitoreo como las dos campañas de Línea de Base, se han registrado 23 especies en total (**Tabla N° 12-17**). De ellas, sólo una especie (el pato colorado) se ha registrado en la Línea de Base y no en el monitoreo (aunque con dos ejemplares solamente, en verano 2015; **Tabla N° 12-17**). 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 (dos a 14 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (uno a cuatro individuos; **Tabla N° 12-17**). 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° 12-17**).

Tabla N° 12-17. 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**
Pato colorado	0	2	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Pato jergón chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0		0	0
Pato juarjual	8	0	0	4	0	11	6	4	4		5	10
Piuquén	0	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0
Chorlo de la puna	5	9	20	26	15	50	28	31	45		19	37
Gaviota andina	0	0	6	3	11	1	12	5	32		14	1
Caití	16	2	15	14	19	33	14	40	14		9	2
Playero de Baird	1	22	5	23	18	19	13	28	42		71	38
Pollito de mar tricolor	0	0	4	44	2	42	0	0	11		21	10
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0		1	0
Tagua andina	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)												
Nombre Común	Línea Base		Monitoreos									
	Invierno 2014	Verano 2015	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020*	Invierno 2020	Verano 2021**
Tagua gigante	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	3	0	3	0	3	0	5		5	1
Bailarín chico común	0	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3
Colegial del norte	0	2	0	2	2	2	1	4	0		2	0
Garza azul	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0
Garza grande	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0
Parina grande	135	32	262	92	156	113	172	202	212		119	10
Parina chica	79	0	39	11	6	17	51	50	50		31	0
Flamenco chileno	32	15	63	46	125	67	53	69	67		67	22
Blanquillo	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0
TOTAL	276	84	419	270	363	376	362	435	486	Ne	365	134

(*) 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.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, 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 amenazadas, como vulnerables.

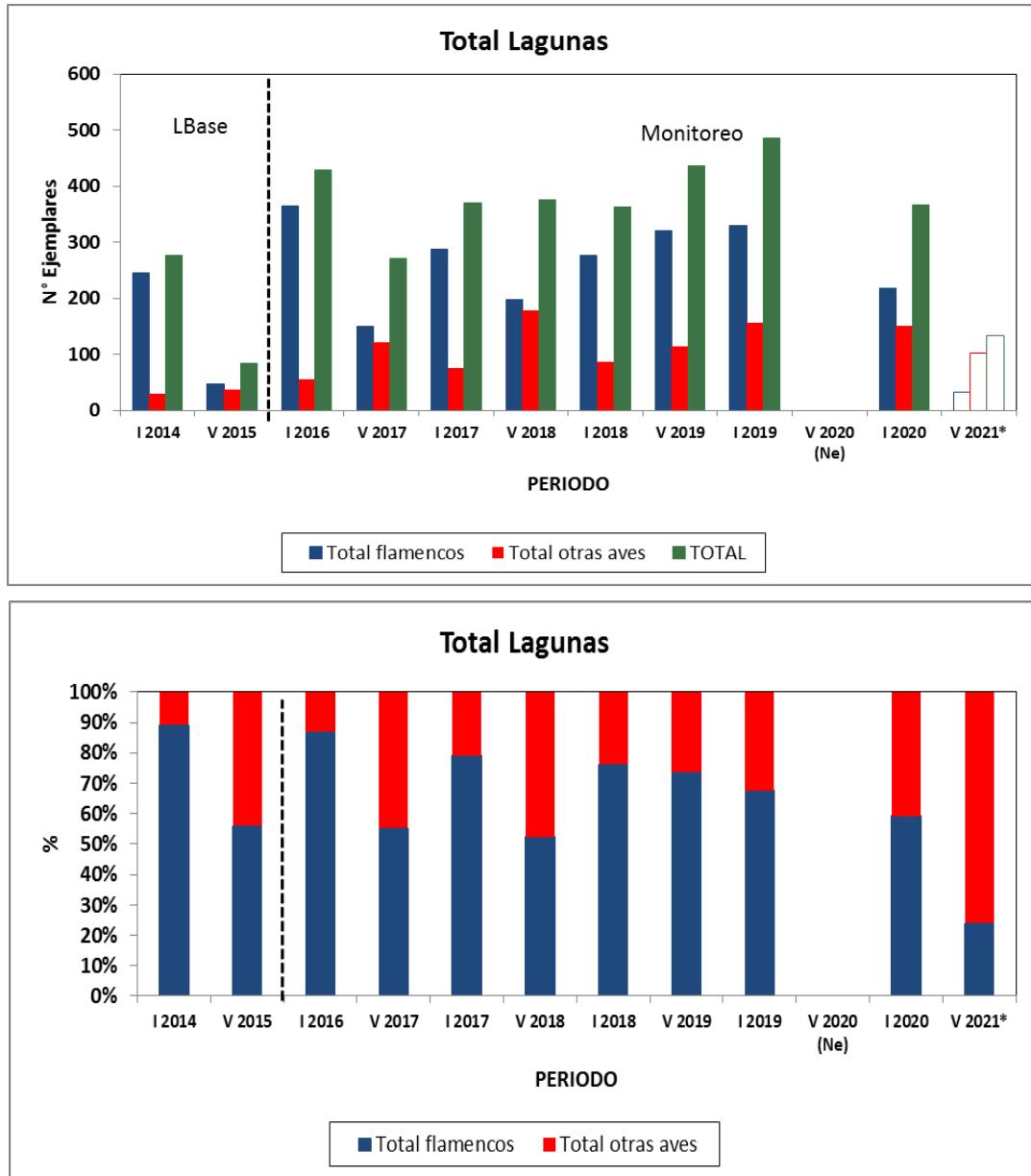
En relación a la abundancia absoluta, se observa una variación estacional irregular: en la Línea de Base como en el primer año de monitoreo (invierno 2016 y verano 2017), las abundancias totales son mayores en invierno que en verano, mientras que en el segundo periodo anual de monitoreo (invierno 2017 y verano 2018), dichas abundancias totales son similares. En el tercer periodo anual de monitoreo (invierno 2018 y verano 2019), las abundancias totales se invierten, siendo mayor en verano que en invierno, y 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; **(Figura N° 12-6)**).

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° 12-6)**. 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 486 ejemplares, mientras que en Línea de Base los valores oscilaron entre 84 y 276 ejemplares. En particular, para los flamencos (y excluyendo los 32 ejemplares en verano 2021, sin muestreo en las lagunas de Peine), también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (149 a 364) 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° 12-6**).

Por lo tanto, y 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° 12-6. 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 los periodos en Línea de Base y Monitoreo.



Ne = No evaluado. (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.
 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 hidrológico Peine** (lagunas Salada, Saladita e Interna), se han registrado 15 especies en total (**Tabla N° 12-18**). 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° 12-18**). 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° 12-18**). En general, en las lagunas de Peine, la abundancia de aves es mayor en el monitoreo (194 a 380 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).

Tabla N° 12-18. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.

SISTEMA HIDROLÓGICO 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**
Pato jergón chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0	
Pato juarjual	4	1	2	3	4	2	4	2		0	
Chorlo de la puna	3	6	14	7	14	5	7	27		4	
Gaviota andina	0	2	0	3	0	1	2	5		4	
Caití	14	6	12	6	33	7	38	9		1	
Playero de Baird	0	0	12	17	9	3	12	29		24	
Pollito de mar tricolor	0	4	24	0	42	0	0	0		15	
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	0	0	0		1	
Tagua andina	0	0	0	1	0	0	0	0		0	
Golondrina de dorso negro	0	3	0	3	0	3	0	3		1	
Colegial del norte	0	0	0	0	0	0	1	0		0	
Garza azul	0	0	0	0	0	0	1	0		0	
Parina grande	135	219	85	145	112	160	200	163		105	
Parina chica	40	11	11	0	17	35	49	48		29	
Flamenco chileno	14	47	34	104	58	39	66	38		41	
TOTAL	210	299	194	289	292	255	380	324	Ne	225	Ne

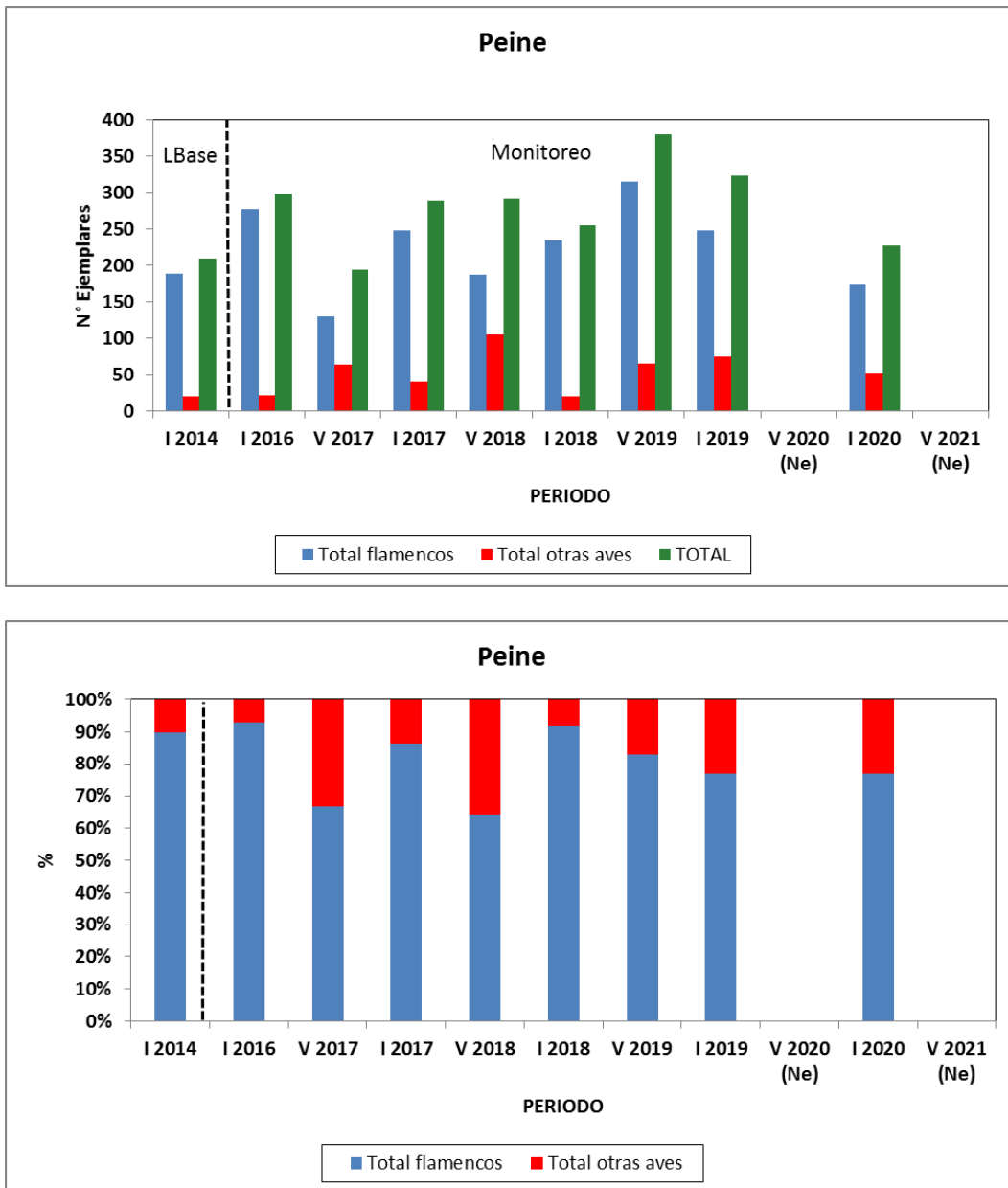
Ne = No evaluado. (*) la campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en la campaña de 2021 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava (no de las lagunas de Peine).

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), iguales (invierno 2017 y verano 2018) o menores (invierno 2018 y verano 2019) (**Figura N° 12-7**). 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° 12-7**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo (salvo verano 2017) que la campaña de Línea de Base. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 194 a 380 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 315) que en la Línea de Base (189). En abundancia relativa, los flamencos varían entre un rango de cerca de 64% (en verano 2018), a un máximo de más de un 92% (en invierno 2016; **Figura N° 12-7**).

Por lo tanto, analizando al sistema hidrológico de Peine (lagunas de Peine), la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo en relación a la Línea de Base.

Figura N° 12-7. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



Ne = No evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

Para el **sistema hidrológico 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° 12-19**). 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 49 ejemplares), el pollito de mar tricolor (entre cero a 20 individuos), el bailarín chico (uno a 14 ejemplares) y la gaviota andina (entre uno a 27 individuos), mientras que el resto son muy escasas (uno a cuatro individuos; **Tabla N° 12-19**). 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° 12-19**). En general, en las lagunas de La Punta y La Brava, la abundancia de aves es mayor en el monitoreo (55 a 162 individuos) que en la Línea Base (66 individuos; **Tabla N° 12-19**).

Tabla N° 12-19. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.

SISTEMA HIDROLÓGICO 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
Pato juarjual	4	6	2	3	7	4	0	2		5	10
Piuquén	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0
Chorlo de la puna	2	14	13	8	36	23	24	18		15	37
Gaviota andina	0	4	3	8	1	11	3	27		10	1
Caití	2	9	2	13	0	7	2	5		8	2
Playero de Baird	1	5	11	1	10	10	16	13		47	38
Pollito de mar tricolor	0	0	20	2	0	0	0	11		6	10
Pitotoy chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0
Tagua gigante	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	0	1	0	0	0	2		4	1
Bailarín chico común	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3
Colegial del norte	0	0	2	2	2	1	3	0		2	0
Garza grande	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0
Parina grande	0	43	7	11	1	12	2	49		14	10
Parina chica	39	28	0	6	0	16	1	2		2	0
Flamenco chileno	18	16	12	21	9	14	3	29		26	22
Blanquillo	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0
TOTAL	66	127	77	81	84	107	55	162	Ne	140	134

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado.

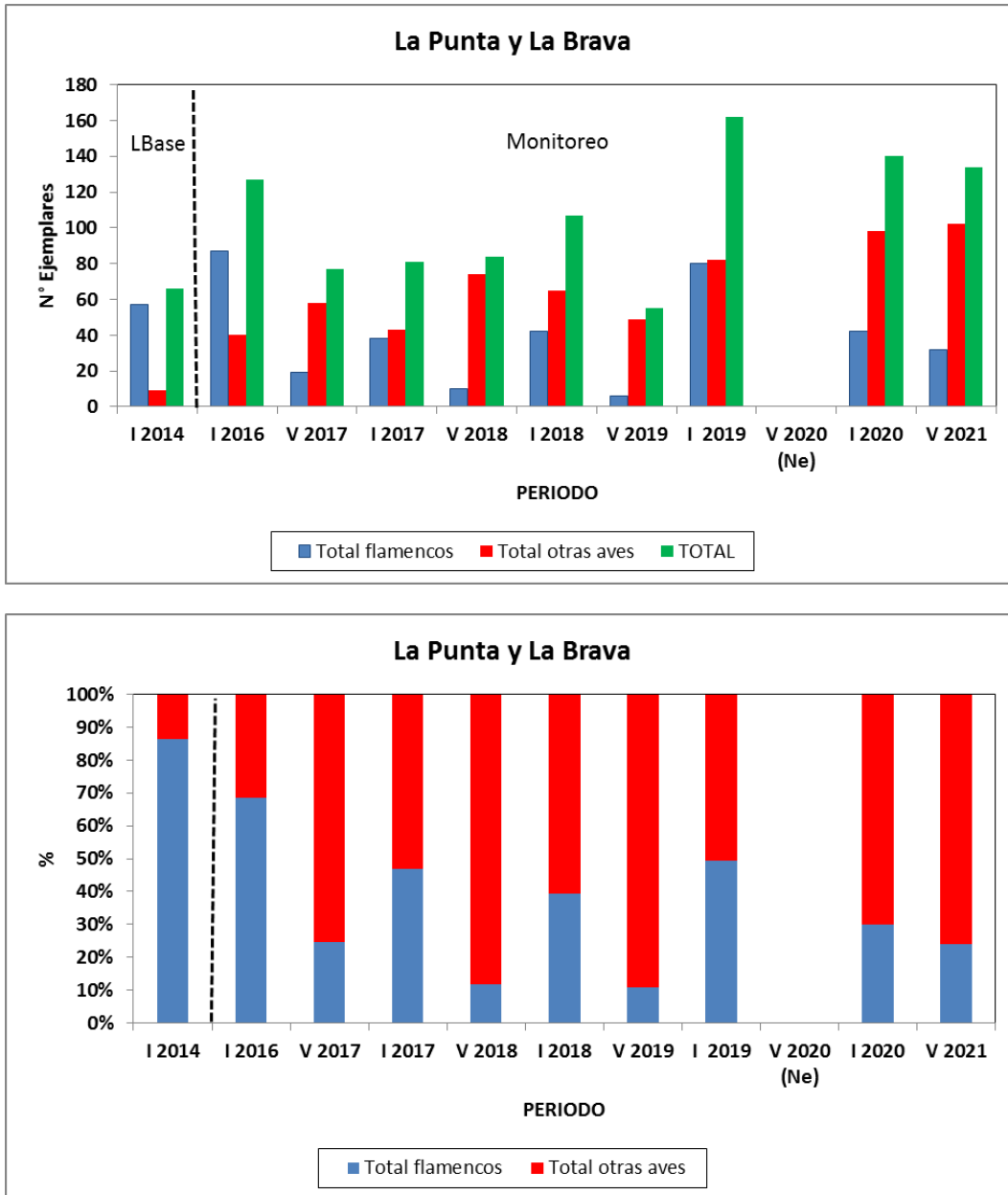
Fuente: Elaboración propia.

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° 12-8**). Por otra parte, los flamencos son dominantes sólo en la Línea de Base y en la primera campaña de monitoreo (invierno 2016), lo que se revierte en las otras nueve campañas de monitoreo (**Figura N° 12-8**). 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 162 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) y en invierno 2019 (80 ejemplares) que en la Línea de Base (57 ejemplares), mientras que en las otras siete campañas de monitoreo los valores son menores a la Línea de Base (seis a 42 ejemplares; **Figura N° 12-8**). 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° 12-8**).

Por lo tanto, analizando al sistema hidrológico 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 y 2019).

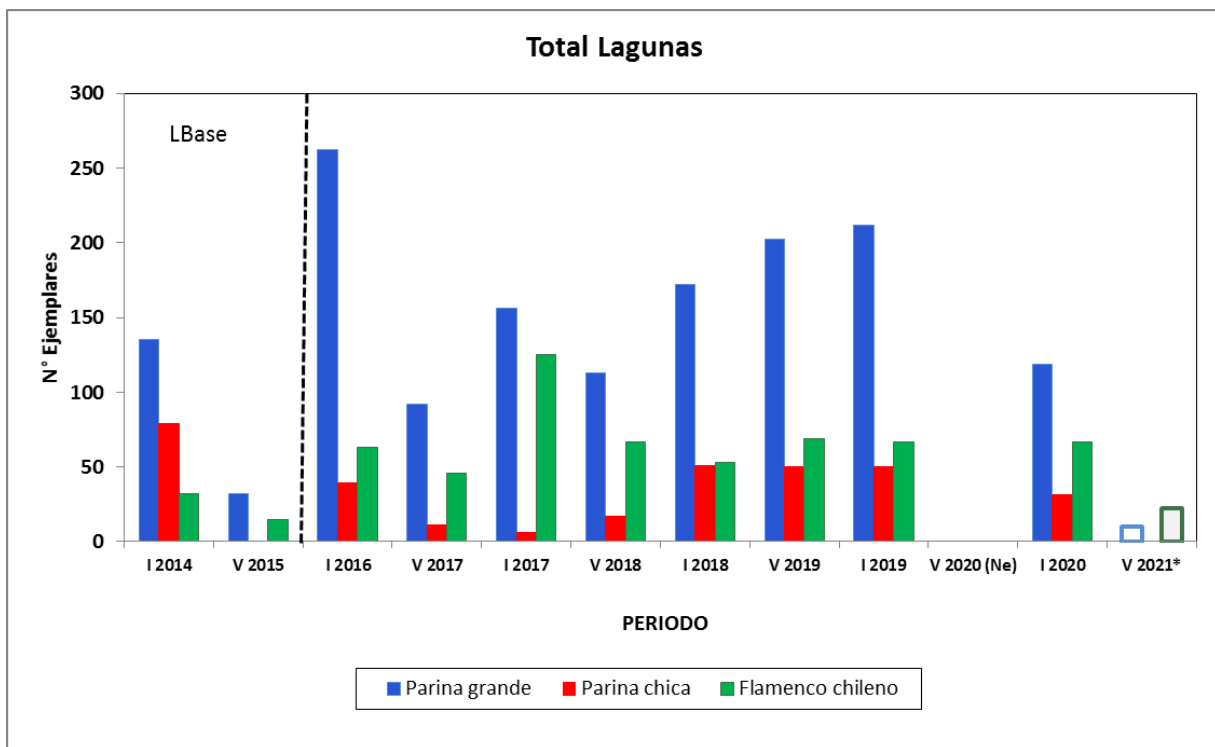
Figura N° 12-8. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



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 262 ejemplares, excluyendo verano 2021, sin muestreo en las lagunas de Peine) que en la Línea de base (32 a 135 ejemplares; **Figura N° 12-9**). El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (46 a 125 ejemplares, excluyendo verano 2021) que en la Línea de base (15 a 32 ejemplares; **Figura N° 12-9**). 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° 12-9**).

Figura N° 12-9. 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.



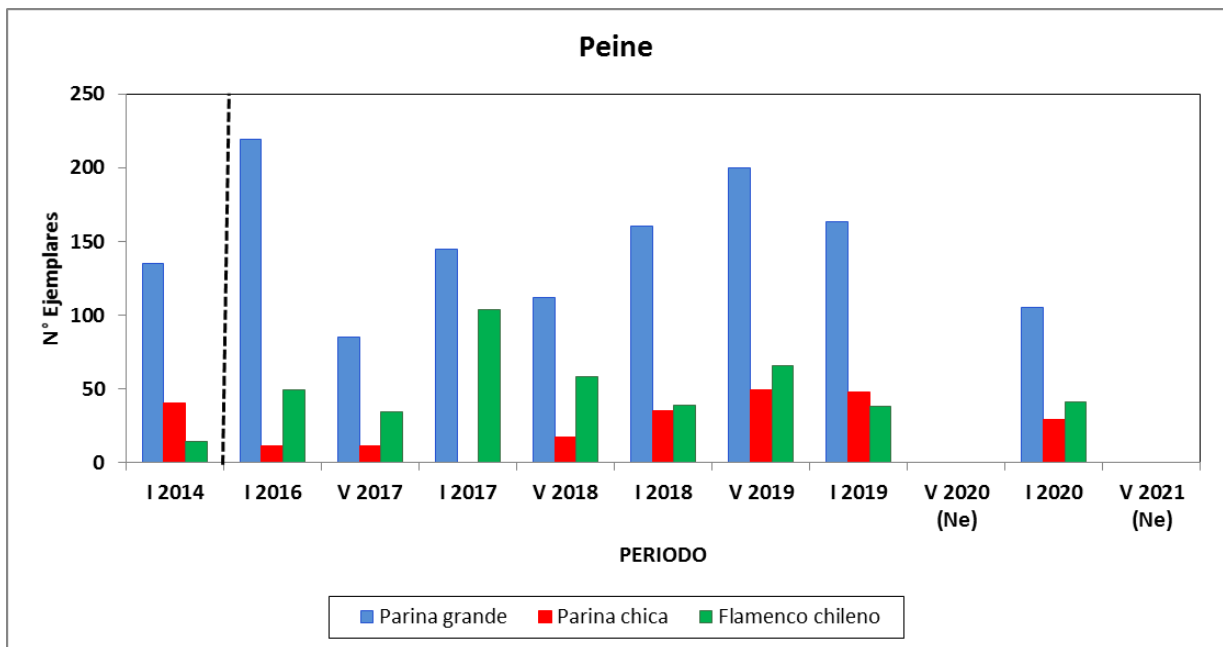
Ne = No evaluado (por pandemia); * en verano 2021, no se muestreo las lagunas de Peine.

Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema hidrológico Peine, comparando las tres especies de flamencos, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (85 a 219 ejemplares) que en la Línea de base (135 individuos; **Figura N° 12-10**), sobre todo considerando los inviernos. El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también

muestra mayores valores en el monitoreo (34 a 104 ejemplares) que en la Línea de base (14 individuos; **Figura N° 12-10**). 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 e invierno 2019, con 49 y 48 individuos, respectivamente; **Figura N° 12-10**).

Figura N° 12-10. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.

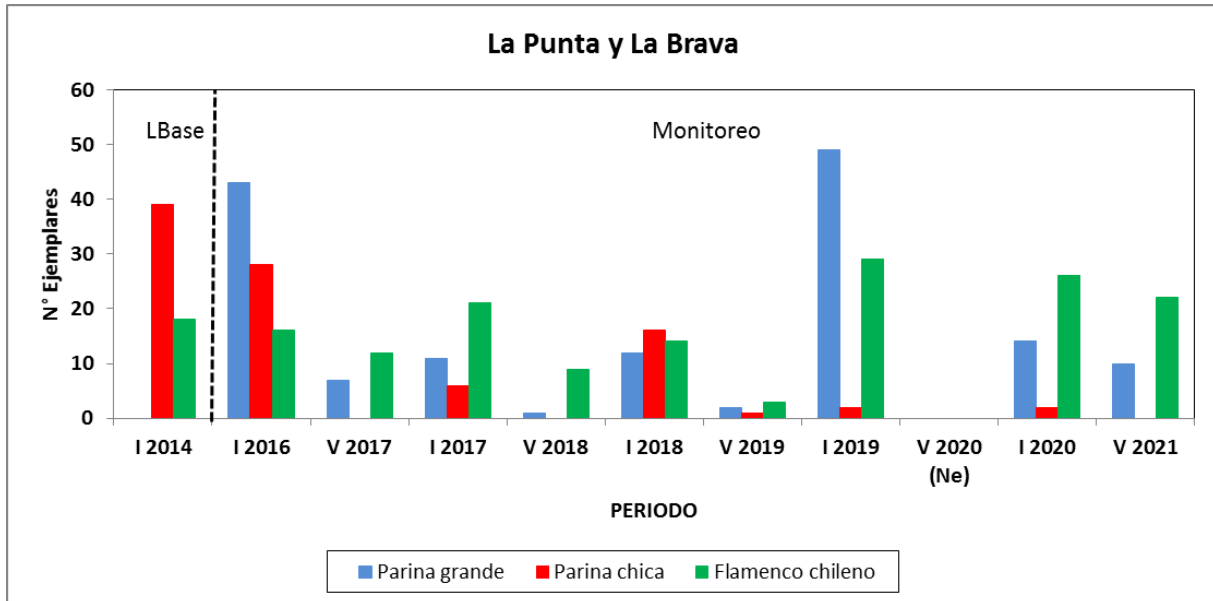


Ne = No evaluado (pandemia en verano 2020, sin muestreo en verano 2021).

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el sistema hidrológico 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 49 ejemplares) que en la Línea de base (sin registro; **Figura N° 12-11**). El flamenco chileno muestra valores disímiles en la mayor parte de los monitoreos (tres a 29 ejemplares) que en la Línea de base (18 individuos; **Figura N° 12-11**). 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° 12-11**).

Figura N° 12-11. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



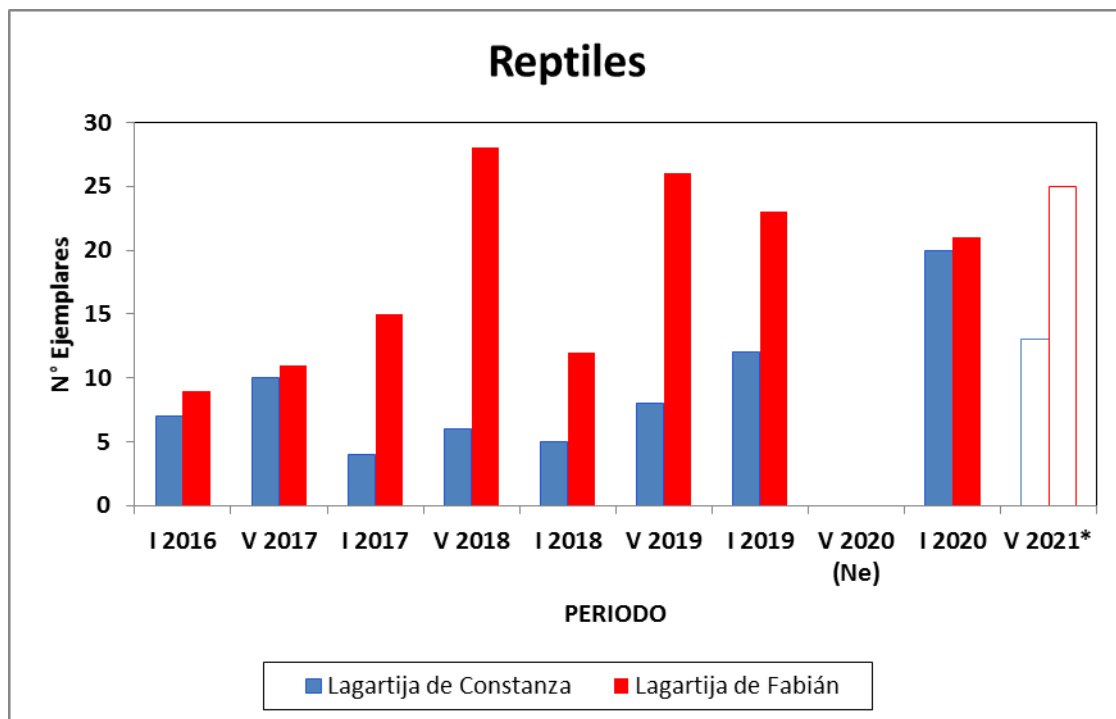
Por lo tanto, las variaciones de abundancia de las tres especies de flamencos muestran que la parina chica es la especie que podría estar disminuyendo sus abundancias, pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con valores absolutos de pocos ejemplares, mientras que en Peine, las abundancias son 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 disminuyen (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. Cabe destacar que a pesar de incluir 10 campañas, hay que considerar que las comparaciones estacionales no son rigurosamente equivalentes, ya que hay dos veranos irregulares (2020 por pandemia, y 2021 sin muestreo 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° 12-12**). Cabe recordar que en verano 2021 no se muestrearon cinco puntos de las lagunas de Peine, lo que hace a esa campaña menos comparable a las otras (sobre todo, en relación a la abundancia de la lagartija de Fabián).

Figura N° 12-12. 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.



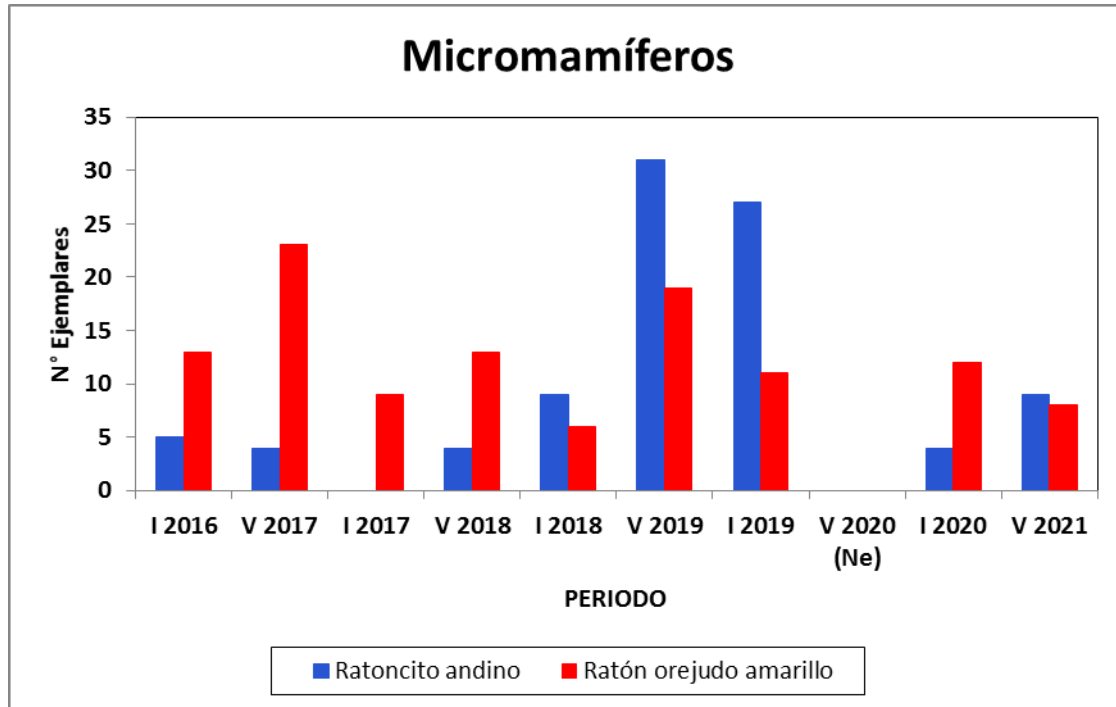
Ne = No evaluado. (*) en verano 2021 no se muestrearon 5 puntos de las lagunas de Peine.

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° 12-13**).

Figura N° 12-13. 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).



Si bien en las campañas de monitoreo se agregaron más estaciones de muestreo (nueve a las 16 propuestas por la RCA), las comparaciones son igualmente válidas y representativas, sobre todo para las aves en los sectores de las lagunas de La Punta y La Brava, y Peine (Salada, Saladita e Interna), ya que en ellas (por ser lugares abiertos, planos y con baja cobertura vegetal), se realizó más bien un censo que un muestreo, lo que lo hace relativamente independiente del número de puntos (y por lo tanto, las comparaciones son válidas). Por otra parte, en los ambientes terrestres, efectivamente el aumentar el tamaño muestral podría implicar un aumento de la probabilidad de registros nuevos, haciéndolo más representativo del área de estudio.

12.3 En relación con Tapetes Microbianos

12.3.1 Análisis Año 5: Monitoreo invierno 2020 y verano 2021

Los resultados del monitoreo de invierno 2020, 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 y 2019. Por otro lado, el monitoreo de 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 presentaron tapetes microbianos, no obstante, lo observado en estos sectores (La Punta-La Brava, Vegas de Tilopozo), es concordante con lo detectado entre las campañas de verano 2017 y 2019.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno 2020 y verano 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

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 2020 y verano 2021.

12.3.1.1 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), solo se realizó la campaña de monitoreo de invierno 2021. Cabe destacar que, la campaña verano 2021, no fue posible de realizar, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine (**Ver Anexo Carta**

Prohibición Acceso Peine), por lo que no se realizará la comparación invierno - verano para este sector.

12.3.1.2 Sector La Punta – La Brava

En relación con la comparación de los periodos de invierno 2020 y verano 2021, en el sector La Punta-La Brava, se observó que durante la campaña de invierno 2020, la estructura más prevalente fue de Tipología 2 (63,3%), siendo también la más prevalente en verano 2021 (48%), aunque con una caída de 15%. Esta disminución, se ve reflejada en el aumento de la prevalencia de las otras dos Tipologías, tanto la 1 (7,4%) como la 3 (7,6%), respecto de invierno 2020.

En cuanto a la tonalidad de las capas, tanto invierno 2020 como verano 2021, los tapetes de Tipología 1 en la macrozona Subsuperficial exhibieron verde y naranja, no obstante, en verano 2021 se observó predominancia de la tonalidad amarilla y un incipiente aumento del verde opaco, mostrando posibles reconfiguraciones del tapete microbiano. Las restantes dos macrozonas fueron similares, con tonalidades predominantemente rosada y púrpura (Intermedia) y marrón (Profunda). La variación de tonalidades que son frecuentes, aunque no predominantes (i.e. verde opaco, verde claro) 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 2020 y verano 2021, 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 y en menor medida, amarillo (Subsuperficial), rosado y púrpura (Intermedia) y finalmente, marrón (Profunda).

Finalmente, los tapetes de Tipología 3 exhibieron sólo la macrozona Subsuperficial, tanto en invierno 2020 como en verano 2021, en la cual predominaron las tonalidades verdes, naranja y amarillo, sin embargo, en verano 2021, también se observó la presencia de la tonalidad rosada (en la parte superior de los tapetes). Cabe destacar, que en invierno 2020, la Tipología 3 fue hallada exclusivamente en la estación LB-3, mientras que en verano 2021, fueron hallados principalmente en LP-24.

En la **Tabla N° 12-20** se muestran las principales capas pigmentadas en tapetes respecto del total de muestras según tipo de tapetes.

Tabla N° 12-20. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2020 y verano 2021.

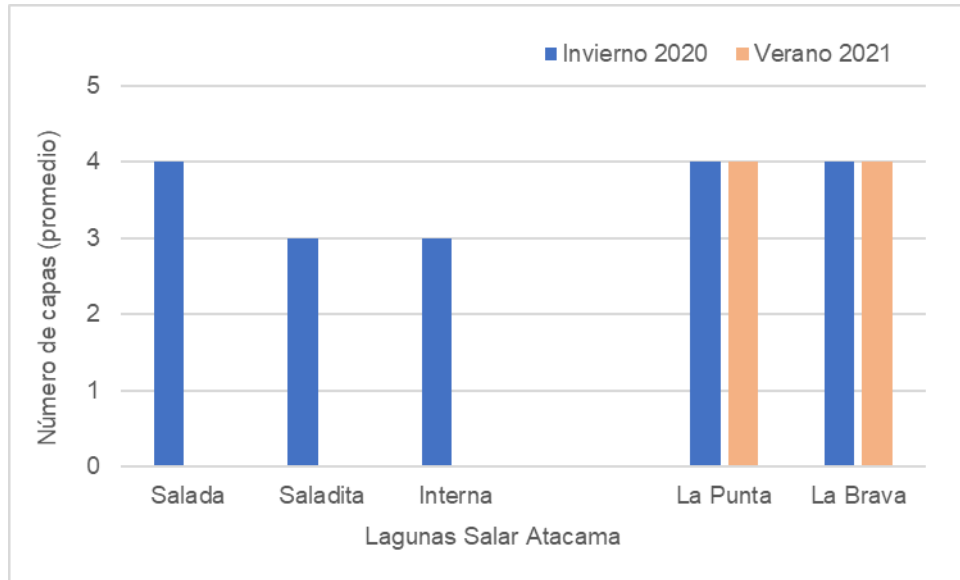
Macrozona	Sector La Punta-La Brava	
	Invierno 2020	Verano 2021
Tipología 1		
Subsuperficial	Verde, naranja	Verde, naranja, amarillo
Intermedia	Rosado, púrpura	
Profunda	Marrón	
Tipología 2		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja, amarillo, rosado, verde (claro, y opaco)
Intermedia	Rosado, púrpura	
Profunda	Marrón	
Tipología 3		
Subsuperficial	Verde, naranja, amarillo	Verde, naranja, amarillo, rosado

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al número de capas promedio, no se observó variaciones entre invierno 2020 y verano 2021, resultando tanto la Laguna La Punta como La Brava con 4 capas promedio (**Figura N° 12-14**). Inclusive, al observar este parámetro por estación de monitoreo, todos permanecieron sin variación, excepto por LP-24 que en verano 2021 aumentó 1 capa (**Figura N° 12-15**). Lo cual muestra que entre ambos períodos no hubo mayores modificaciones a nivel de estratificación en los tapetes, no obstante, esto no implica que no puedan cambiar su Tipología (como se mencionó anteriormente).

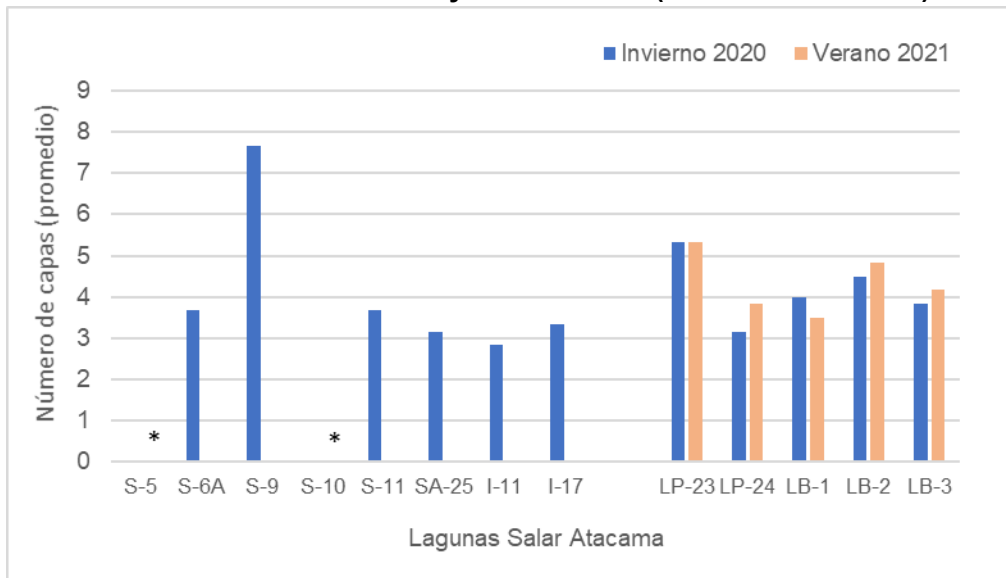
Respecto al espesor de los tapetes, se observó que la Laguna La Punta, mantuvo en promedio 8 mm de espesor (invierno 2020 y verano 2021), por otro lado, Laguna La Brava mostró 1 mm de aumento de espesor promedio (**Figura N° 12-16**). Esto se ve reflejado en el leve aumento de espesor promedio registrado en LB-2 (2 mm) desde invierno 2020 a verano 2021. Las restantes estaciones de monitoreo registraron variaciones (aumento o disminución) de 1 mm de espesor promedio, por lo que no se observó un mayor cambio en este parámetro (**Figura N° 12-17**).

Figura N° 12-14. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).



Fuente: Elaboración propia

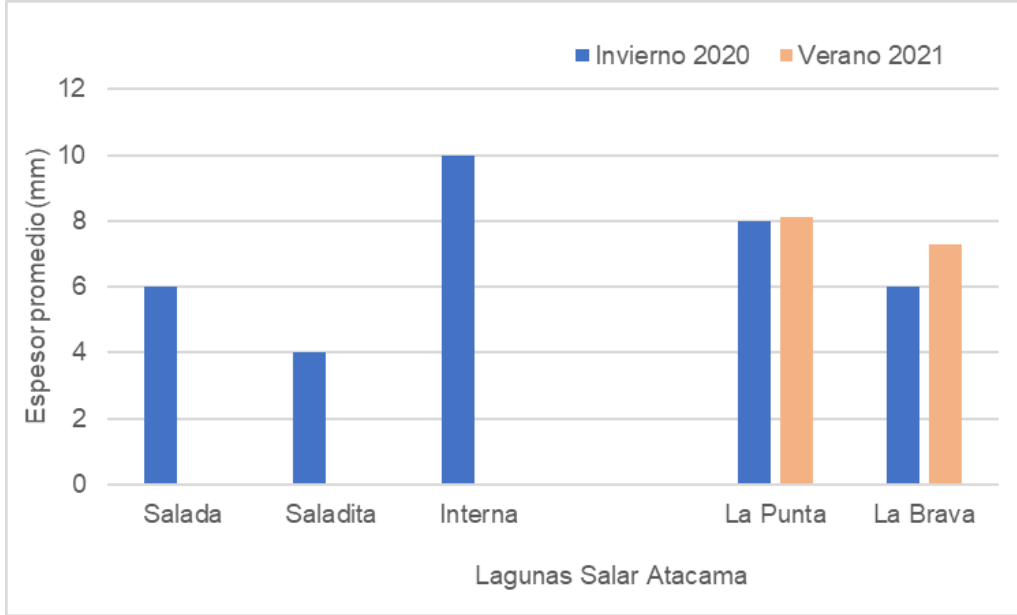
Figura N° 12-15. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).



Donde: (*) = sin presencia de tapetes microbianos.

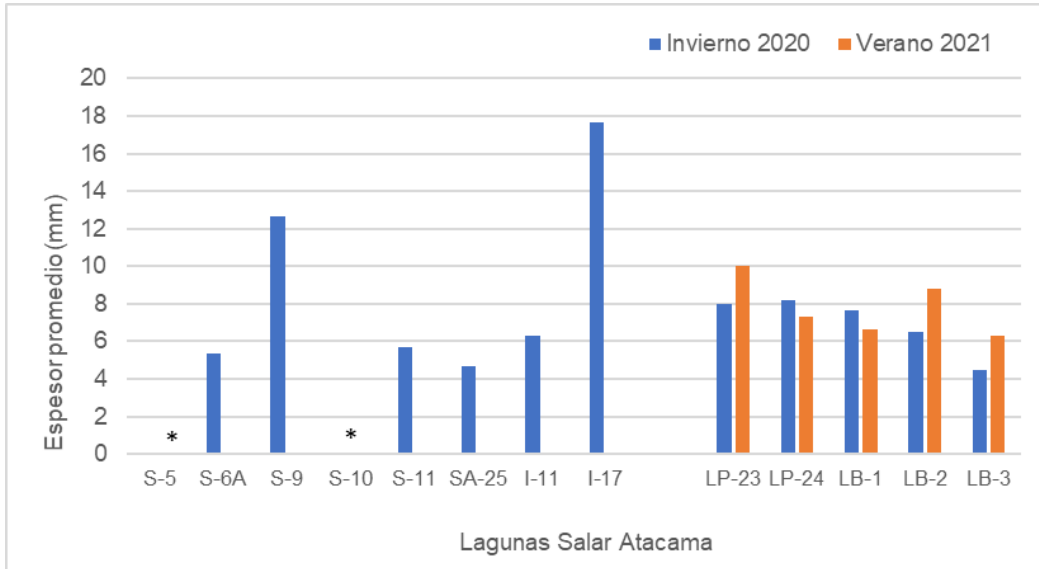
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-16. Espesor (\bar{x}) de tapetes microbianos. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-17. Espesor (\bar{x}) de tapetes microbianos por estación de monitoreo. Invierno 2020 y Verano 2021 (La Punta-La Brava).



Donde: (*) = sin presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración propia

12.3.1.3 Sector vegas de Tilopozo

No se detectó la presencia de tapetes microbianos en invierno 2020 y verano 2021, al igual que en reportes anteriores (invierno 2017-2019, verano 2017-2019). Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en la estación de monitoreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016.

12.3.2 Análisis evolución inviernos 2016 a 2020

12.3.2.1 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 y 2020) 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 2020, 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 invierno (2016, 2017, 2018, 2019 y 2020), en tapetes microbianos se observó la presencia de las tres tipologías. En la campaña invierno 2020, nuevamente, se registró una disminución en la proporción de tapetes de Tipología 1, respecto a las anteriores campañas de invierno

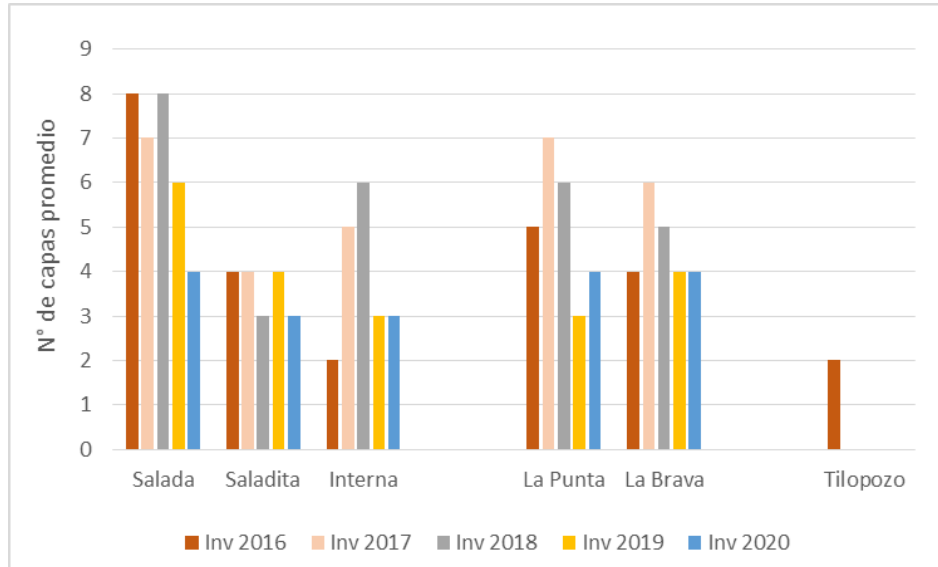
(2016, 2017, 2018 y 2019). Esto debido a la pérdida de capas en distintos tapetes evaluados tanto en el sector Peine como La Punta-La Brava. Dentro de las estaciones de monitoreo que más cambiaron, respecto de la última campaña invierno 2019, destacan S-11 (Laguna Saladita), I-11 e I-17 (Laguna Interna), LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1, LB-2 y LB-3 (La Brava), donde la detección de tapetes fue principalmente de Tipología 2 y en menor medida, Tipologías 1 y 3 (**Tabla N° 7-13** y **Tabla N° 7-25**), a diferencia de campañas anteriores (invierno 2016 a 2019) en las cuales se registraron, principalmente, tapetes Tipología 1 o 2 (**Tabla N° 12-21** y **Tabla N° 12-22**, respectivamente).

El número de capas promedio de los tapetes observados por sistema lagunar, disminuyó en invierno 2020 en Laguna Salada y Laguna Saladita, mientras que se mantuvo constante en Laguna Interna y Laguna La Brava y aumentó en Laguna La Punta, respecto de la campaña de invierno 2019 (**Figura N° 12-18**). En específico, en el sector Peine, Laguna Salada mostró una disminución en el número de capas promedio (4) en invierno de 2020, respecto a invierno 2019 (6), así como en Laguna Saladita, pasando de 4 capas (invierno 2019) a 3 capas (invierno 2020). En Laguna Interna, el número promedio de capas se mantuvo constante en invierno de 2020, respecto de invierno de 2019. Así, Laguna Salada y Laguna Saladita no han mostrado aumento en el número de capas promedio desde 2018.

Por otro lado, si bien, la Laguna Saladita mostró una disminución en las capas promedio, se ha mantenido en el rango de las 3 a 4 capas promedio durante todos los inviernos (2016 a 2020). En el Sector La Punta-La Brava, se observa que las capas promedio, a lo menos, se mantuvieron en valores similares respecto de invierno de 2019 y luego de haber registrado un progresivo aumento hasta invierno de 2018. Específicamente, Laguna La Punta, registró un aumento en el número de capas promedio en invierno de 2020 (4), respecto a invierno de 2019 (3). Por otro lado, La Brava, se mantuvo constante respecto a invierno de 2019, con 4 capas promedio (**Figura N° 12-18**).

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° 12-18**).

Figura N° 12-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2020.



Fuente: Elaboración propia

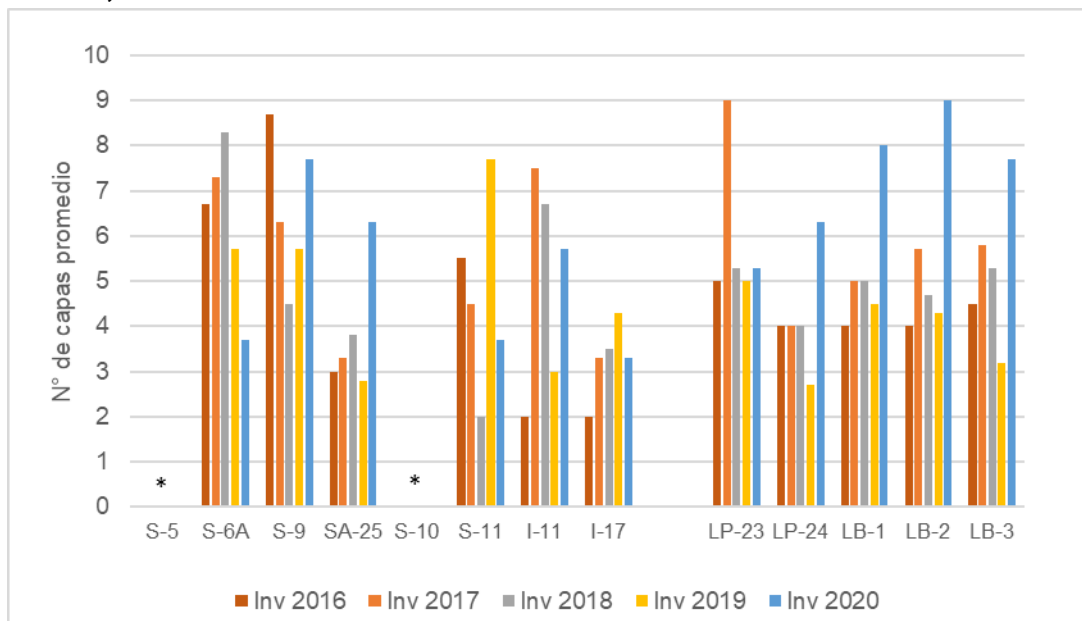
Al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno 2020), se observa que, en Laguna Salada, la estación S-6A, nuevamente mostró una disminución respecto de invierno 2019, pasando de 5,7 a 3,7 capas, lo cual representa una caída sostenida desde invierno 2018. Por el contrario, la estación S-9, volvió a anotar un aumento en este parámetro, pasando de 5,7 (invierno 2019) a 7,7 capas (invierno 2020), mostrando un sostenido aumento desde invierno 2018. Por otro lado, en Laguna Saladita, se pudo apreciar una drástica disminución en el número de capas promedio en la estación de monitoreo S-11, variando de 7,7 (invierno 2019) a 3,7 capas (invierno de 2020), esto sumado a la disminución progresiva en el número de capas promedio que venía mostrando dicha estación, entre invierno de 2016 a invierno de 2018.

No obstante, en la estación SA-25 se registró una leve recuperación del número de capas promedio, cuyo valor fue de 3,2 capas en invierno de 2020 respecto de las 2,8 capas observadas en invierno de 2019, destacando que el rango de capas observado ha fluctuado entre 2,8 y 3,8 capas promedio en todos los inviernos (2016 a 2020). Finalmente, en Laguna Interna, se pudo observar que en la estación I-11, el número de capas promedio disminuyó levemente, pasando de 3 capas en invierno 2019 a 2,8 capas en invierno 2020, mostrando una tendencia que se observa desde invierno de 2017; por otro lado, en la estación I-17, se registró una disminución en el número de capas, la cual fue de 3,3 capas en invierno 2020, respecto de las 4,3 capas registradas en invierno 2019, destacando, sin embargo, que es similar al número de capas observados en los inviernos de 2017 y 2018 (**Figura N° 12-19**).

En los tapetes microbianos de la Laguna La Punta se observó un sutil aumento en el número de capas, mientras que en Laguna La Brava, aumentó este parámetro, 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 (invierno 2019) a 5,3 capas (invierno 2020), lo que representa valores similares a los observados en invierno de 2016 y 2018. Respecto a la estación LP-24, se observó una leve recuperación en el número de capas respecto de invierno 2019, pasando de 2,7 a 3,2 capas. En LB-1 se registró una disminución en el número de capas promedio, que varió de 4,5 (invierno 2019) a 8,0 capas (invierno 2020), lo cual denota una disminución sostenida, desde invierno 2018. Por el contrario, las estaciones LB-2 y LB-3 evidenciaron un aumento en el número de capas, así LB-2 pasó de 4,3 (invierno 2019) 4,5 capas (invierno 2020), mientras que LB-3 pasó de 3,2 (invierno 2019) a 3,8 capas (invierno 2020) (**Figura N° 12-19**). De este modo, las mayores variaciones en el número de capas, respecto de invierno 2019, se observaron en S-6A y S-11, disminuyendo 2,0 y 4,0 capas en promedio, respectivamente y en S-9 que aumentó 2,0 capas en promedio.

Figura N° 12-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2020.



(*) 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 cinco 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 mucilaginoso, de consistencia blanda y granular, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-2), observados en invierno de 2017, 2018, 2019 y 2020.

12.3.3 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 y 2020.

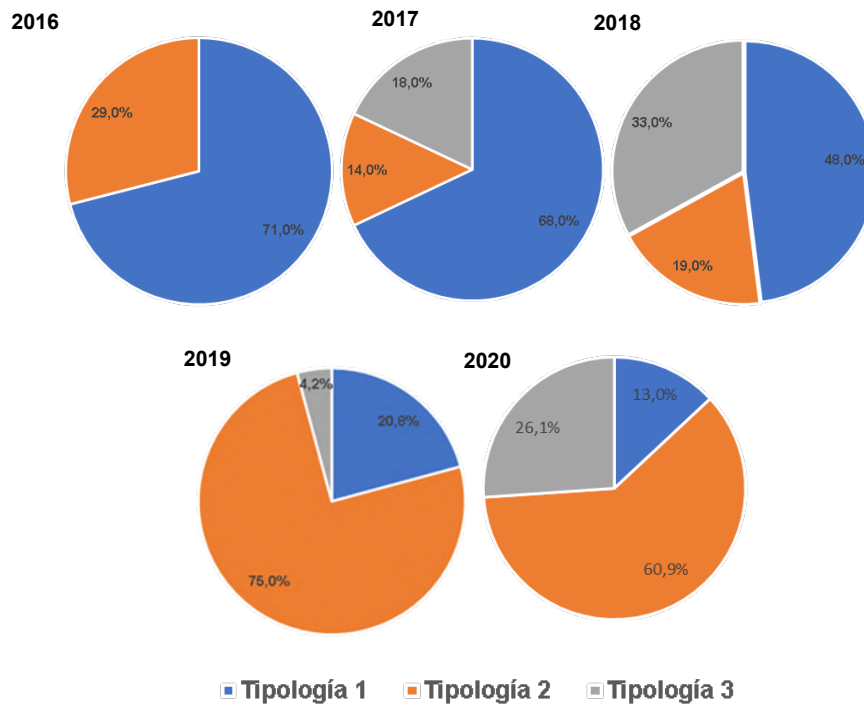
12.3.3.1 Sector Peine

La Laguna Salada, presentó durante las cinco campañas de invierno (2016, 2017, 2018, 2019 y 2020) tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 12-21**), sin embargo, la detección de este tipo de tapetes disminuye de manera sucesiva comparado a las anteriores campañas de invierno. Por otro lado, los tapetes de Tipología 2, que habían aumentado sucesivamente entre 2017 y 2019, muestran una leve disminución (~14%), respecto de invierno 2020. Por el contrario, los tapetes de Tipología 3, aumentaron (~22%) respecto al invierno 2019. Lo anterior, se explicaría dado lo observado en la estación de monitoreo S-11 donde los tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 12-21**) pasaron a Tipología 2 (**Tabla N° 7-13**) y en I-11 e I-17, donde estas pasaron de mostrar Tipología 2 (**Tabla N° 12-21**) a Tipología 3 (**Tabla N° 7-14**).

Así, el sector Peine, se registró una estabilidad en la presencia de tapetes de Tipología 1 entre los inviernos 2016 y 2018, sin embargo, se ve una disminución de ~70% en invierno de 2019, respecto a invierno de 2016, lo cual aumentó a ~72% (2% más) dicha disminución en invierno 2020. En cuanto a Tipología 2, invierno 2020 mostró una leve disminución respecto a invierno 2019, cayendo 14,1%, sin embargo, su prevalencia siguió siendo elevada, respecto a invierno 2016. 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 volvió a mostrar un aumento en su prevalencia, representando un 26,1% de los tapetes evaluados (**Figura N° 12-20**).

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° 12-21**), sin embargo, en invierno de 2020, al igual que en invierno 2019, no se evidenció esta tipología. Por otro lado, predominó la Tipología 2, 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, esta vez, púrpura, en la macro-zona profunda. 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° 12-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		Laguna Salada*																				
		2016						2017						2018								
		S-6A			S-9			S-6A			S-9			S-6A			S-9					
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3	3	1	3			
Macrozona	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																				
	Profunda	Purpura																				
		Naranja claro																				
		Naranja																				
		Verde opaco																				
		Verde opaco claro																				
		Verde oscuro																				
		Verde opaco oscuro																				
		Blanco																				
		Marrón																				
Marrón claro																						
Marrón oscuro																						
Marrón opaco																						
Marrón morado																						
Marrón oscuro																						

Año/Muestra	Laguna Salada*																	
	2016						2017						2018					
	S-6A			S-9			S-6A			S-9			S-6A			S-9		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3	3	1	3
Púrpura																		
Rosado gris																		
Gris																		
Gris claro																		
Verde amarillo																		
Marrón naranja																		
Rosado																		
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 fueron observados sólo en SA-25 (tapetes coriáceos). 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 migró completamente a Tipología 2, perdiendo, principalmente, la capa de tonalidad marrón y amarilla de la macro-zona profunda. Por otro lado, los tapetes de la estación SA-25 (coriáceos), mantuvieron su característica tonalidad verde oscuro de la macro-zona subsuperficial, variando levemente en las tonalidades de las macro-zonas intermedia y profunda con ausencia o presencia de tonalidades rosada, púrpura o marrón (**Tabla N° 12-22**).

Este cambio en la proporción de tipologías en la Laguna Saladita, particularmente en la estación S-11, 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 (SA-25) o completa (S-11) pérdida de esta tipología (**Tabla N° 12-22**). Por otro lado, si bien hubo una restitución de los tapetes en invierno 2019, particularmente en S-11, y en la presente campaña (invierno 2020) nuevamente 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 ha mantenido la Tipología 1 desde que se restituyeron en invierno 2019.

Respecto a Laguna Interna, se mantuvo la proporción de Tipología 1 observada en la única estación de monitoreo (I-11) donde fueron detectadas en la presente campaña, no obstante, estas pertenecen a tapetes coriáceos y no a tapetes planos superficiales. 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) migraron a Tipología 3, perdiendo la macro-zona intermedia. Por otro lado, I-17, no evidenció tapetes de Tipología 1, lo que es concordante con los anteriores inviernos, donde han predominado las Tipologías 2 y 3 (**Tabla N° 12-22**). Cabe destacar que, en invierno de 2016 no se detectó la Tipología 1 en estas estaciones de monitoreo.

Tabla N° 12-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		Laguna Saladita												Laguna Interna*													
		2016			2017			2018	2019			2020		2017		2018			2019	2020							
		S-11			SA-25		S-11		SA-25	SA-25 C		S-11		SA-25 C		I-11	I-17	I-11			I-17	I-11 P	I-11 C				
		1	2	3	4	5	1	3	4	3	2	3	2	3	1	3	1	2	2	1	2	3	3	2	3		
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																									
Rosado claro																											
Amarillo claro																											
Negro																											

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes de Tipología 2, presentaron una disminución respecto a invierno 2019. En Laguna Salada, la presencia de esta tipología, al igual que en invierno 2019, nuevamente, fue de 100% para ambas estaciones de monitoreo (S-6A y S-9), en las que antes (inviernos 2016, 2017 y 2018) predominaba la Tipología 1, desapareciendo principalmente las capas de tonalidad verde y naranja de la macro-zona subsuperficial, y esta vez, 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° 12-23**).

Sobre Laguna Saladita, se pudo observar una variabilidad en la presencia de la Tipología 2 en las estaciones. Por un lado, se aprecia un aumento de esta tipología en la estación S-11, encontrándose en el 100% de las muestras, a diferencia de inviernos anteriores donde sólo se hallaba un representante (33% de las muestras), mientras que las otras muestras se hallaban en Tipología 1. Este cambio en la tipología se representa en la pérdida de las tonalidades marrón y amarillo en la macro-zona profunda de los tapetes. Por otro lado, en la estación SA-25, se halló un representante de tapetes coriáceos, lo cual se mantuvo constante con respecto al monitoreo de invierno 2019, sin embargo, en dicho monitoreo también se hallaron tapetes planos superficiales que manifestaban la Tipología 2, pero que en la actual campaña (invierno 2020), se han reducido a una muestra (33%). Esta disminución se debe a que una de las muestras presentó Tipología 3, perdiendo su macro-zona intermedia (capas de tonalidad rosada) y macro-zona profunda (tonalidad verde o verde claro), siendo reemplazada por una macro-zona subsuperficial. Mas aún, una tercera muestra no evidenció tapetes microbianos. 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, luego a 3, e incluso, llegando a no estructurarse como tapetes microbianos (**Tabla N° 12-24 (Cont.)**).

En Laguna Interna, se mantiene la prevalencia de Tipología 2 en los tapetes coriáceos de la estación de monitoreo I-11, respecto a invierno 2019, sin embargo, la presencia de esta tipología en los tapetes superficiales planos (registrada en la campaña pasada de invierno) ya no se observa, ya 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 una disminución del 66% de esta Tipología en la estación I-17, los cuales cambiaron también a Tipología 3, perdiendo la macro-zona profunda, particularmente, la tonalidad amarilla, seguido del púrpura. Cabe mencionar, que la estación I-17, clásicamente había reportado la Tipología 2 en las anteriores campañas de invierno, en al menos, un 66% (100% en invierno 2019), por lo que entre esa campaña y la actual campaña, puede que hayan ocurrido alteraciones en el ambiente que provocaran esta masiva pérdida de macro-zonas en estos tapetes (**Tabla N° 12-24 (Cont.)**).

Tabla N° 12-23. 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 y 2017 en Laguna Salada

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-24 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020

Año/Muestra		Saladita												Interna*												
		2016	2017	2018	2019					2020			2017	2018	2019			2020								
		SA-25	S-11	S-11	S-11	SA-25 C	SA-25 P			S-11			SA-25 C	SA-25 P	I-17	I-17	I-11 C		I-11 P		I-17					
		3	2	3	3	1	1	2	3	1	2	3	2	1	1	3	2	1	3	1	3	1	2	3	1	2
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																								

*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 3, se observó un aumento en la prevalencia de esta, principalmente, en las estaciones I-11, donde los tapetes superficiales planos, manifestaron en un 100% esta tipología, a diferencia de inviernos anteriores, donde siempre mostraban Tipología 2. Respecto a la estación I-17, se observa que dos muestras de tapetes (66%) presentaron esta tipología, en donde la principal constante, fue la pérdida la macro-zona profunda. Al igual que en I-11, en I-17, clásicamente los tapetes manifestaban Tipología 2 en los anteriores inviernos (**Tabla N° 12-25**).

Tabla N° 12-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra			Saladita											Interna*																			
			2016		2017				2018				2020	2016				2018	2019	2020													
			SA-25		SA-25				SA-25				S-11	SA-25 P	I-11		I-17				I-17	I-11 C	I-11 P			I-17							
			1	2	1	2	3	6	1	2	4	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	1	2						
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																															
		Blanco																															
		Rosado claro																															
		Naranja																															
		Amarillo																															
		Verde																															
		Verde claro																															
		Naranja claro																															
		Marrón claro																															
		Amarillo claro																															
	Intermedia	Blanco																															
		Amarillo																															
		Naranja																															
		Verde																															
		Verde claro																															
		Púrpura																															

*Tipología 3 no fue reportada en invierno 2017 en Laguna Interna

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

12.3.3.2 Sector La Punta-La Brava

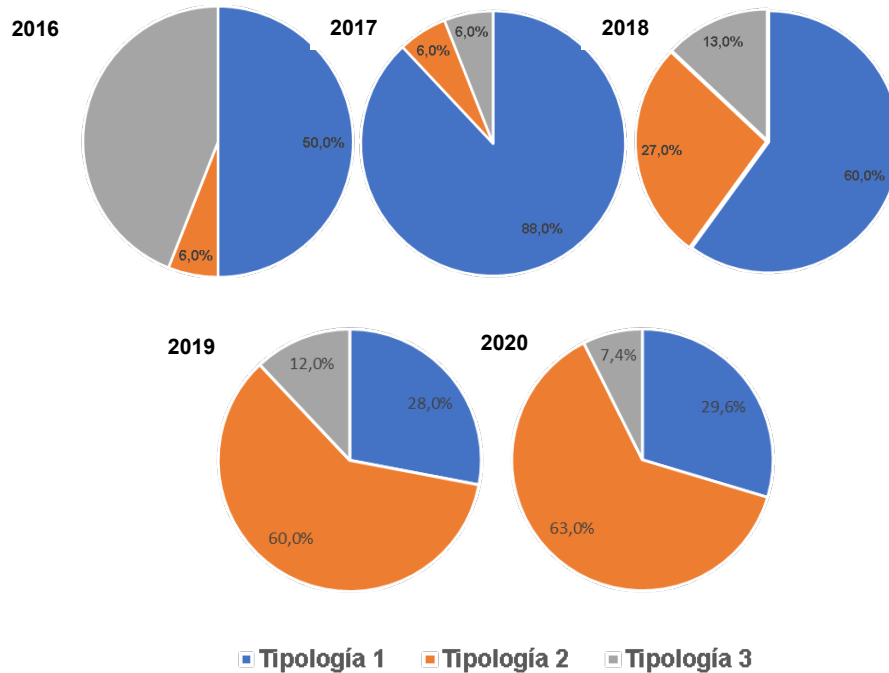
El Sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1, 2 y 3 durante las campañas de invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020. Durante invierno 2020, no hubo variación en la Tipología 1 respecto de invierno 2019. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 aumentaron levemente (~3%) en comparación a invierno 2019. Sin embargo, la mayor variación, se observó en Tipología 3, donde hubo una disminución (~38%) en la prevalencia de esta tipología respecto a invierno 2019.

Si bien, el Sector (La Punta-La Brava) no presentó diferencias generales en la prevalencia de Tipología 1, si hubo diferencias a nivel específico entre las lagunas. En el caso de la Laguna La Punta, hubo una disminución de un 66% en los tapetes que presentaron Tipología 1, respecto a invierno 2019; por otro lado, en la Laguna La Brava, se observó un aumento de 75% en los tapetes que presentaron esta tipología. Similar situación, ocurre con la Tipología 2, donde los tapetes que presentaron esta conformación en la Laguna La Punta, duplicaron los registros en invierno 2019, por el contrario, en la Laguna La Brava, hubo un 20% de disminución en los tapetes que mostraban esta tipología. Respecto a la Tipología 3, no fue registrada en la Laguna La Punta, a diferencia de invierno 2019 donde se observó un solo tapete con esta conformación.

Por otro lado, en la Laguna La Brava, se mantuvo la misma proporción de tapetes con esta tipología. Las variaciones en las Tipologías 1, 2 y 3, se deberían principalmente a la disminución de Tipología 1 en la estación LP-23 (**Tabla N° 12-26**), las cuales pasaron a poseer Tipología 2 (**Tabla N° 7-25**), mientras que en LB-2, aumentaron los tapetes con Tipología 1, incluyendo una muestra representante de LB-1 (**Tabla N° 12-27**).

De este modo, en el Sector La Punta-La Brava, se mantiene la disminución de Tipología 1 observada en invierno 2019, en comparación a los valores obtenidos en los anteriores inviernos (2016 a 2018). Esto, representa una disminución cercana a un 50% en la prevalencia de Tipología 1 en invierno 2020 respecto a invierno 2016. De manera similar, la Tipología 2, mantuvo los registros obtenidos en invierno de 2019, de este modo, se puede observar que la prevalencia de esta tipología ha aumentado 10 veces, respecto de invierno 2016. Finalmente, hay que destacar que la Tipología 3, si bien, mostraba un aumento sostenido en su prevalencia entre invierno 2016 y 2018, se observa una disminución desde invierno 2019, disminuyendo un 38% en invierno 2020, respecto a la última campaña. (**Figura N° 12-21**).

Figura N° 12-21. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 disminuyeron, siendo detectados sólo en la estación de monitoreo LP-24 (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-23, la cual, en todas las campañas anteriores (invierno 2016 a 2019), había exhibido esta conformación tipológica. Los tapetes de esta estación perdieron la macrozona intermedia (tonalidad rosado y púrpura) y cambiaron en un 100% (los tres tapetes muestreados) a Tipología 2 (**Tabla N° 12-26**).

Tabla N° 12-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		La Punta													
		2016			2017				2018		2019			2020	
		LP-23		LP-24	LP- 23		LP-24		LP-23	LP-24	LP-23		LP-24		
		2	3	1	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja													
		Verde													
		Verde claro													
		Verde oscuro													
		Verde opaco claro													
		Amarillo claro													
	Intermedia	Blanco													
		Rosado													
		Rosado claro													
		Verde opaco claro													
		Naranja													
		Café claro													
	Profunda	Purpura													
		Verde opaco													
		Verde oscuro													
		Verde opaco oscuro													
		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, al contrario de lo visto en invierno 2019, se registró un aumento en la prevalencia de Tipología 1, observándose un tapete de la estación de monitoreo LB-1 (33%) que no se había registrado en invierno 2019. No obstante, LB-1 es una estación, que se caracteriza por exhibir tapetes con Tipología 1. Por otro lado, se duplicaron los tapetes con esta tipología en la estación LB-2, en relación con invierno 2019. 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 invierno anteriores (2016 a 2019). En ambos casos, los tapetes recuperaron la macro-zona profunda (tonalidad marrón o verde claro) (**Tabla N° 12-27**). Este fenómeno, podría estar indicando un evento de recuperación 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. Respecto a LB-3, no se observaron cambios en comparación a invierno 2019, ni con los anteriores monitoreos (inviernos 2016 a 2018), lo cual reflejaría estabilidad en los tapetes de esta estación (**Tabla N° 12-28 (Cont.)**).

Tabla N° 12-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		La Brava																			
		2016			2017			2018			2019			2020							
		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		
		2	3	1	2	3	1	2	1	3	1	3	1	3	1	1	3	1	2	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																			
		Verde																			
		Verde claro																			
		Verde oscuro																			
		Rosado																			
		Naranja claro																			
		Amarillo claro																			
	Intermed	Blanco																			
		Rosado																			
		Purpura																			
	Profunda	Naranja claro																			
		Naranja																			
		Verde opaco																			
		Verde oscuro																			
		Verde opaco oscuro																			
		Blanco																			
		Marrón																			
		Marrón claro																			
		Marrón oscuro																			
		Púrpura																			
Verde																					
Verde claro																					
Gris																					
Negro																					

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-28 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		La Brava																		
		2016					2017					2018		2019		2020				
		LB-3					LB-3					LB-3		LB-3		LB-3 P				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	3	1	2	1	3			
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																		
		Verde opaco																		
		Naranja																		
		Verde																		
		Verde claro																		
		Verde oscuro																		
		Marrón claro																		
		Amarillo																		
		Amarillo claro																		
		Profunda	Blanco																	
	Rosado																			
	Purpura																			
	Verde opaco claro																			
	Verde opaco oscuro																			
	Marrón																			
	Marrón claro																			
	Marrón morado																			
	Marrón oscuro																			
	Púrpura																			
	Rosado gris																			
Verde																				
Café naranja																				
Amarillo claro																				
Negro																				

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, exhibió este tipo de tapetes en las estaciones LP-23 (100% de las muestras) y LP-24 tanto en tapetes superficiales planos (66%) como coriáceos (100%). El hallazgo de esta tipología en estos tapetes coincide con lo registrado en invierno 2019, donde también se exhibió esta estructura tipológica. Principalmente, se observa que la estación más prevalente es LP-24, la cual triplicó la presencia de Tipología 2, respecto a invierno 2019 para los tapetes superficiales planos, mientras que, en los tapetes coriáceos, esta estructura estuvo presente en el 100% de las muestras, aumentando en un 33% la presencia de esta tipología, respecto a invierno 2019.

Por otro lado, la estación LP-23 también presentó en un 100% la Tipología 2 en los tapetes muestreados. 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° 12-29**).

Respecto a Laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se observaron en las tres estaciones estudiadas (LB-1, LB-2 y LB-3), sin embargo, no mostraron grandes variaciones, respecto a invierno 2019. No obstante, se ha observado cierta dinámica en esta Laguna, dado que en LB-1, se aprecia un aumento de tapetes superficiales planos con Tipología 2 (33%), mientras que disminuye (33%) en tapetes coriáceos. Un efecto similar se observa 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 2019. 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° 12-30 (Cont.)**).

Tabla N° 12-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra			La Punta																		
			2016	2018	2019				2020												
			LP-23	LP-23	LP-23	LP-24 P	LP-24 C		LP-23			LP-24 P		LP-24 C							
			1	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3					
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																			
		Naranja	■		■	■				■	■	■									
		Amarillo							■			■									
		Verde	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Verde claro							■												
		Verde oscuro																			
		Rosado																			
		Púrpura								■	■										
		Intermedia	Blanco	■																	
	Rosado		■	■	■	■						■						■	■		
	Rosado claro																				
	Purpura				■		■	■			■										
	Rojo																			■	
	Profunda	Verde										■									
		Verde claro		■								■									
		Amarillo claro		■																	
		Rosado																			
		Púrpura																			
		Marrón								■	■	■		■	■						
		Marrón claro								■											
Gris										■											
Negro																					

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-30 (Cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2020.

Año/Muestra		La Brava																										
		2016		2017		2018		2019						2020														
		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		
		1	4	2	2	2	2	4	1	3	1	2	3	2	3	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																										
		Naranja																										
		Amarillo																										
		Verde																										
		Verde claro																										
		Verde oscuro																										
		Rosado																										
		Púrpura																										
	Intermedia	Blanco																										
		Rosado																										
		Rosado claro																										
		Purpura																										
	Profunda	Rojo																										
		Verde																										
		Verde claro																										
		Amarillo claro																										
		Rosado																										
		Púrpura																										
Marrón																												
Marrón claro																												
Gris																												
Negro																												

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, Laguna La Punta no exhibió esta tipología en invierno 2020. Sin embargo, LP-24 se caracteriza por presentar esta tipología, sin embargo, es posible que haya ocurrido un evento de recuperación de las capas, reconstituyéndose en, al menos, Tipología 2.

Por otra parte, en Laguna La Brava, dos muestras de tapetes coriáceos de la estación LB-3 exhibieron Tipología 3, aumentando en una muestra la prevalencia de esta estructura en esta estación. 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 en la presente campaña (**Tabla N° 12-31**). 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° 12-31. 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	2018	2019		2020	
		LP-24	LP-24	LP-24 P	LB-1	LB-1 P	LB-3 C	LB-3 C	
		2	2	3	3	2	1	1	3
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.

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

12.3.3.3 Sector Tilopozo

Este sector solo presentó tapetes microbianos en la campaña de invierno 2016 (Tabla N° 12-32). Se ha observado, que el sector, específicamente en la estación TB-2, presenta cambios temporales respecto a la disponibilidad de agua. Entre la campaña invierno 2019 e invierno 2020, la estación TB-2, presentó ausencia de agua superficial respecto a campañas de monitoreo anteriores.

Tabla N° 12-32. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2020. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra			Tilopozo				
			2016	2017	2018	2019	2020
			TB-2	-	-	-	-
			1	-	-	-	-
Macrozona	Subsuperficial	Blanco		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), ha provocado el anegamiento de las lagunas provocando variación en las salinidades. Las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, producto del aumento o disminución de las precipitaciones 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.

12.3.4 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 (**Tabla N° 12-33**) en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector La Punta - La Brava, en la estación LB-1 y la estación LP-23. 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) en 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° 12-33. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.

Estación de Monitoreo	Registro visual									
	Microbialito					Evaporita				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
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

12.3.5 Análisis evolución veranos 2017 a 2021

12.3.5.1 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. No obstante, 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 presentaron tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña verano 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

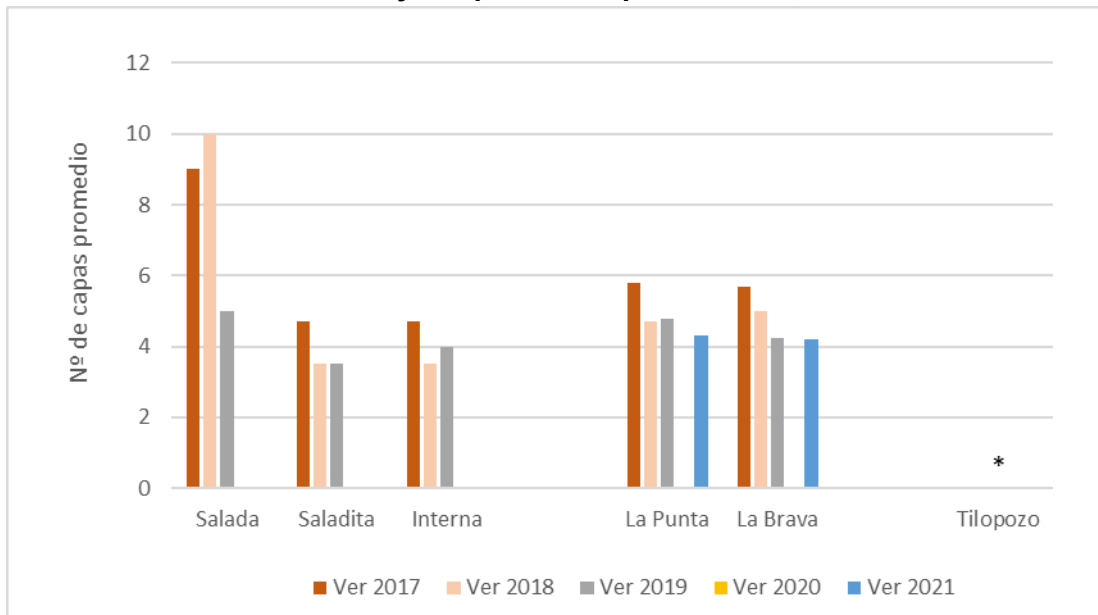
En relación con la estructura de pigmentación, en las 4 campañas de monitoreo de verano (2017, 2018, 2019 y 2021), en tapetes microbianos, se observó la presencia de las tres tipologías. Cabe destacar que, la campaña de verano 2020, no fue posible realizarla producto de la pandemia COVID-19.

En la campaña verano 2021, se registró una disminución en la proporción de tapetes de Tipología 1, respecto a las anteriores campañas de verano (2017, 2018 y 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, destacan LP-23 y LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1, LB-2 y LB-3 (La Brava), donde la detección de tapetes fue principalmente de Tipología 2 y en menor medida, Tipologías 1 y 3, a diferencia de campañas anteriores (verano 2017 a 2019) en las cuales se registraron, principalmente, tapetes Tipología 1.

En el sector La Punta-La Brava, se observa que las capas promedio, a lo menos, se mantuvieron en valores similares respecto de verano 2019, luego de haber registrado un

progresivo descenso hasta verano de 2018. Específicamente, laguna La Punta, disminuyó el número de capas promedio en verano 2021 (4,3 capas), respecto a verano 2019 (4,8 capas). Por otro lado, La Brava, mantuvo constante el número de capas promedio en verano 2021, respecto a verano 2019, con 4,2 capas en promedio (**Figura N° 12-18**). Por último, del Sector vegas de Tilopozo, no reportó tapetes microbianos en la actual campaña, ni en las campañas de verano anteriores (**Figura N° 12-18**).

Figura N° 12-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores La Punta-La Brava y Tilopozo. Campaña verano, 2017 a 2021.



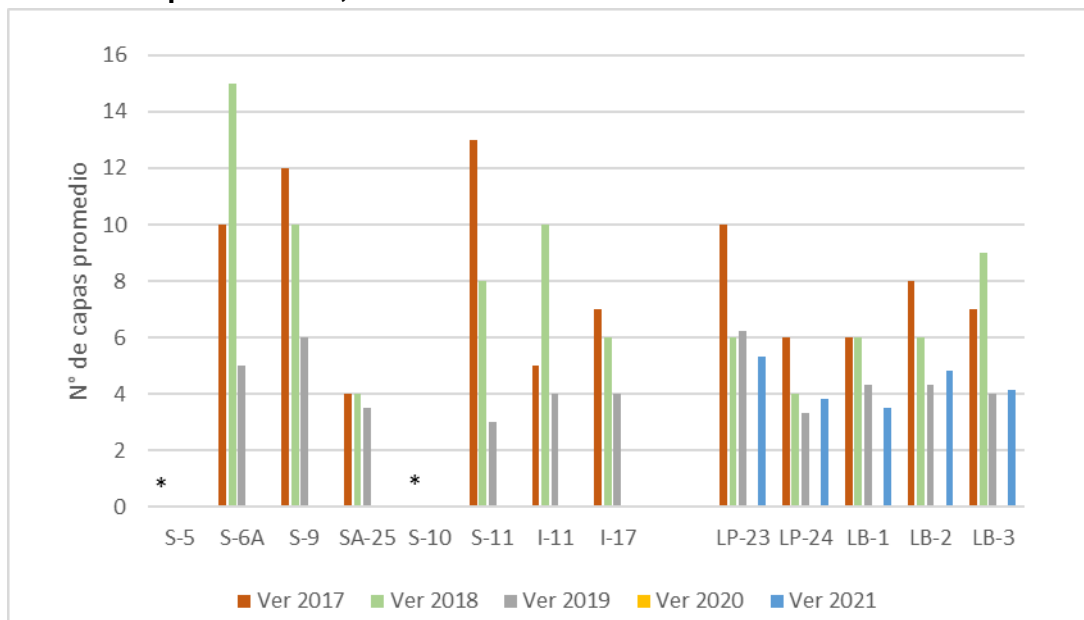
(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en el sector.

Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el número de capas por estación de monitoreo, se observó en Laguna La Punta una disminución de 0,6 capas promedio, mientras que en Laguna La Brava, este parámetro se mantuvo constante. Así, en la estación LP-23, se observó una leve disminución en el número de capas, la cual pasó de 6 (verano 2019) a 5 capas (verano 2021), lo que representa valores similares a los observados en verano de 2018, pero menor a lo registrado en verano 2017. Respecto a la estación LP-24, se observó una leve recuperación en el número de capas respecto de verano 2019, pasando de 3 a 4 capas. En LB-1 y LB-3, el número de capas promedio se mantuvo constante (con 4 capas), mientras que LB-2 pasó de 4 capas (verano 2019) a 5 capas (verano 2021) (**Figura N° 12-19**). De este modo, las mayores variaciones en el número de capas, respecto de verano 2019, se observaron en LP-23 disminuyendo y en LP-24 y LB-2 aumentando, 1 capa en promedio, respectivamente.

Figura N° 12-23. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Campaña verano, 2017 a 2021.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en el sector.

Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las cuatro 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 y 2021.

12.3.6 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 y 2021.

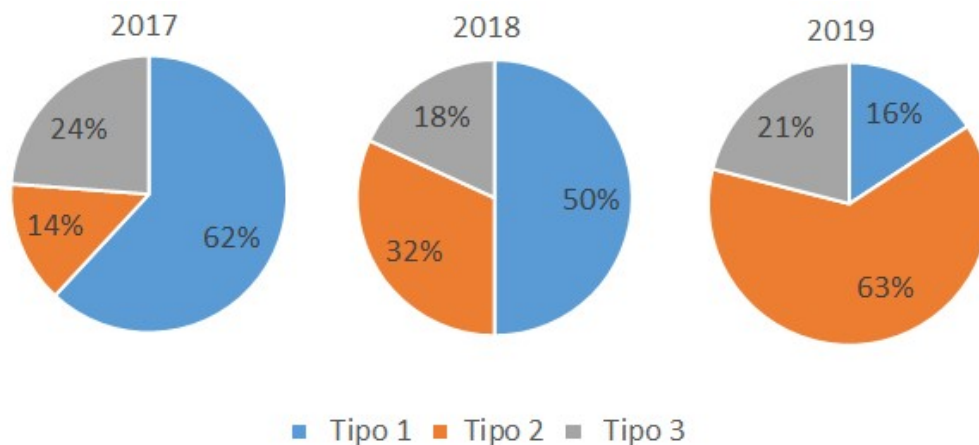
12.3.6.1 Sector Peine

Respecto al Sector Peine, cabe destacar que no se llevó a cabo la campaña de monitoreo verano 2020 debido a la actual Pandemia COVID-19, así como la de verano 2021 debido a la restricción de la comunidad de Peine para acceder al sitio (**Ver Anexo Carta Prohibición Acceso Peine**), por lo que los análisis que se presentan son los mismos que hasta el presentado en informe semestral de verano 2019.

No obstante, 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 han ido disminuyendo de manera sucesiva al comparar las campañas de verano, mientras que la Tipología 2, ha aumentado progresivamente. No obstante, cabe destacar que la Tipología 3 ha sufrido variaciones (aumento o disminución) a lo largo de los veranos muestreados (**Figura N° 12-24**).

Figura N° 12-24. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine. Campaña verano, 2017, 2018 y 2019.



En general, la laguna Salada, presentó durante las campañas de verano 2017 y 2018, tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 12-34**), 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° 12-34. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, estaciones S-6 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° 12-35**). Se destaca, que en verano 2019, sólo se observó esta tipología en estación SA-25.

Tabla N° 12-35. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita, estaciones SA-25 y S-11. Campaña verano, 2017 a 2019.

Año/Muestra			Saladita*						
			2017				2018		2019
			SA-25	S-11			SA-25		SA-25
			5	1	2	3	4	4	5
Macrozona	Subsuperficial	Verde							
		Rosado							
	Intermedia	Púrpura							
		Marrón							
	Profunda	Marrón							
		Marrón oscuro							

*Para mayor detalle, ver Informe campaña verano 2019.

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, no obstante, también se observó una predominancia de la tonalidad naranja en la macro-zona subsuperficial (Tabla N° 12-36). Sumado a ello, en verano 2019, se observó una disminución de esta Tipología en la estación I-11, respecto a verano 2018.

Tabla N° 12-36. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Interna, estaciones I-11 e I-17. Campaña verano, 2017 a 2019.

Año/Muestra			Interna*					
			2017		2018			2019
			I-11		I-11		I-17	I-11
			2	3	1	2	3	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja						
		Verde						
	Intermedia	Rosado						
		Púrpura						
	Profunda	Marrón						
		Marrón oscuro						

*Para mayor detalle, ver Informe campaña verano 2019.

Respecto a Tipología 2, esta conformación fue observada en Laguna Salada 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. Por otro lado, en Laguna Interna, se observó la misma tendencia en la estación I-17, la cual ha presentado en todos los veranos esta conformación, sin embargo, en verano 2019, una muestra, correspondiente a I-11 también presentó esta tipología (**Tabla N° 12-37**).

Tabla N° 12-37. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2019.

Año/Muestra			Saladita*						Interna*									
			2018			2019			2017			2018			2019			
			S-11			SA-25	S-11		I-17			I-17			I-11	I-17		
			1	2	3	1	1	2	1	2	3	1	2	3	1	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja	■	■		■	■					■	■	■	■	■	■	■
		Verde		■		■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	
	Intermedia	Rosado	■	■	■		■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	

*Para mayor detalle, ver Informe campaña verano 2019.

Respecto a Tipología 3, en Laguna Saladita se observó el mismo patrón de esta conformación, presente a lo largo de los veranos en SA-25. Por otro lado, en I-11 (Laguna Interna), reaparición esta tipología la cual fue detectada en Verano de 2017. En esta tipología, se registró la macrozona subsuperficial con tonalidades predominantemente rosado, naranja y verde (Tabla N° 12-38).

Tabla N° 12-38. Caracterización general de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas Saladita e Interna. Campaña verano, 2017 a 2019.

Año/Muestra			Saladita*										Interna*		
			2017				2018				2019		2017	2019	
			SA-25				SA-25				SA-25		I-11	I-11	
			1	2	3	4	1	2	3	6	1	2	3	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Rosado	■	■	■						■	■	■		
		Naranja	■		■		■	■	■						■
		Verde	■		■	■		■	■	■	■	■	■		■

*Para mayor detalle, ver Informe campaña verano 2019.

Cabe destacar, que lo descrito en verano 2019, podría no ser representativo de la evolución que pudieron haber presentado los tapetes microbianos en los veranos siguientes (2020 y 2021). Por ello, es urgentemente necesario, realizar 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, mientras aumentaban los tapetes de Tipología 2. Ante esa tendencia, es necesario evaluar el estado de dichos tapetes microbianos.

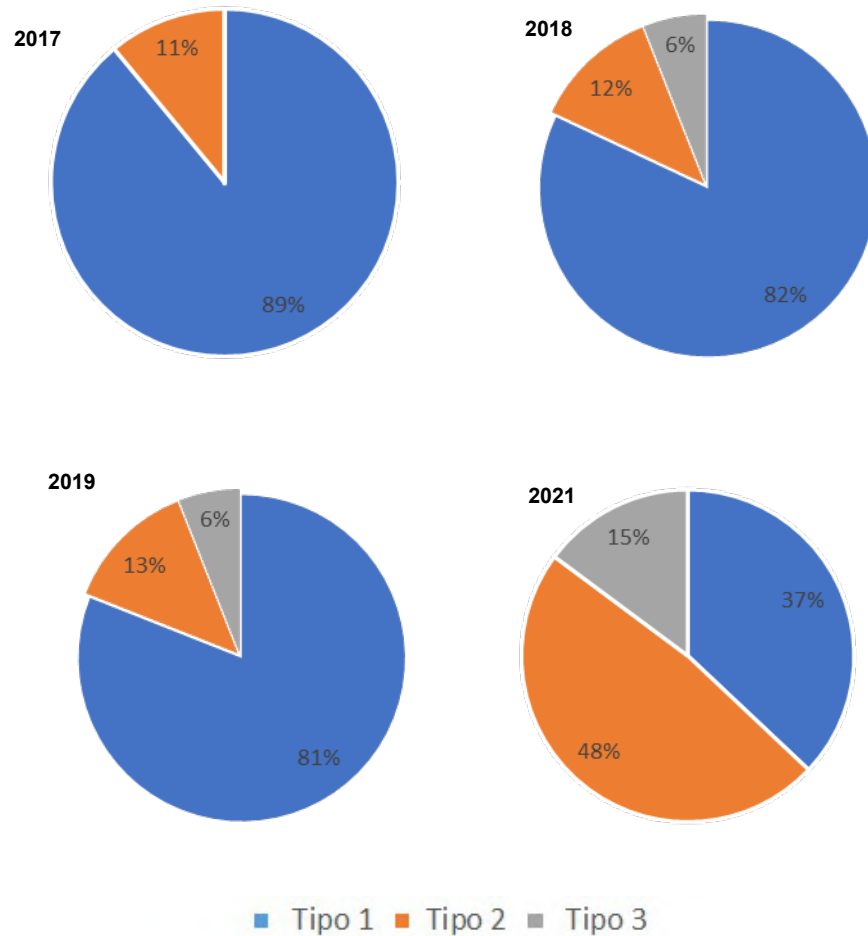
12.3.6.2 Sector La Punta-La Brava

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 2021, hubo una disminución de 44% en la Tipología 1, respecto de verano 2019. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 aumentaron (~35%) en comparación a verano 2019. Sumado a lo anterior, se observó que la Tipología 3, también aumentó (15%) respecto a verano 2019. 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 una disminución de un 83,3% en los tapetes que presentaron Tipología 1, respecto a verano 2019; por otro lado, en la Laguna La Brava, se observó un aumento de 29% en los tapetes que presentaron esta tipología. Similar situación, ocurre con la Tipología 2, donde los tapetes que presentaron esta conformación en la Laguna La Punta, quintuplicaron los registros de verano 2019, asimismo, en la Laguna La Brava, aumentó ocho veces la prevalencia de esta tipología. Respecto a la Tipología 3, se observó la presencia de esta tipología en tres de los tapetes evaluados, a diferencia de verano 2019 donde no se observaron tapetes con esta conformación. Por otro lado, en la Laguna La Brava, se mantuvo la misma proporción de tapetes con esta tipología. Las variaciones en las Tipologías 1, 2 y 3, se deberían principalmente a la disminución de Tipología 1 en la estación LP-23 (**Tabla N° 12-26**), las cuales pasaron a poseer Tipología 2 (**Tabla N° 7-25**), mientras que en LB-2, aumentaron los tapetes con Tipología 1. Por otro lado, también se observó una disminución de tapetes de Tipología 1 en LB-1, los cuales pasaron a Tipología 2 (**Tabla N° 12-41**).

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), se ve fuertemente marcada en verano 2021. Esto, representa una disminución cercana a un 52% en la prevalencia de Tipología 1 en verano 2021 respecto a verano 2017 y un 44% respecto a verano 2019. La Tipología 2, aumentó fuertemente su prevalencia respecto a 2019, lo que a su vez, representa un aumento de 37% respecto a verano 2017. Finalmente, destacar que la Tipología 3, si bien, mostraba una estabilización en su prevalencia entre verano 2018 y 2019, se observa un aumento de 2,5 veces, aumentando un 9% en verano 2021, respecto a la última campaña. (**Figura N° 12-21**).

Figura N° 12-25. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava. Campaña verano, 2017, 2018, 2019 y 2021.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 disminuyeron, registrándose la ausencia de esta tipología en la estación LP-23 en la actual campaña verano 2021, la cual, en todas las campañas anteriores (verano 2017 a 2019), había exhibido esta conformación tipológica (**Tabla N° 12-39**). Los tapetes de esta estación perdieron la macro-zona intermedia (tonalidad rosado y púrpura) o profunda (tonalidad marrón) y cambiaron en un 100% (los tres tapetes muestreados) a Tipología 2. La tipología 1 fue detectada sólo en una muestra (33%) de la estación de monitoreo LP-24 lo cual concuerda con lo observado en campañas de verano anteriores (2017 a 2019). (**Tabla N° 12-39**).

Tabla N° 12-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra		LP-23												
		2017				2018			2019					
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4		
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 2021 en Laguna La Punta

Tabla N° 12-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra			LP-24					
			2017		2018	2019		2021
			1	2	1	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja						
		Verde						
		Verde claro						
		Verde oscuro						
		Verde opaco						
		Verde opaco claro						
		Naranja claro						
		Rosado						
		Rosado claro						
		Blanco						
	Intermedia	Rosado						
		Rosado claro						
		Marrón oscuro						
		Purpura						
		Verde						
	Profunda	Verde claro						
		Verde oscuro						
		Verde opaco						
		Verde opaco claro						
		Verde opaco oscuro						
		Blanco						
		Marrón						
		Marrón oscuro						
		Marrón verde						
		Marrón morado						
		Rosado						
		Purpura						
		Amarillo						
Naranja								
Naranja claro								

Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Brava, si bien hubo un incremento en la prevalencia neta de Tipología 1, debido a un aumento de esta tipología en LB-2, hubo una disminución en la presencia de esta tipología en LB-1, exhibiendo sólo una muestra dicha conformación. Cabe destacar, que LB-1 es una estación, que se caracteriza por exhibir tapetes con Tipología 1 (**Tabla N° 12-41**). Por otro lado, como se señaló anteriormente, casi se duplicaron los tapetes con esta tipología en la estación LB-2, en relación con verano 2019. 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 2019) (**Tabla N° 12-42**). En el caso de LB-1, los tapetes perdieron la macro-zona profunda (tonalidad marrón o verde claro). Este fenómeno, podría estar indicando un evento de disminución de la Tipología 1 y, por consiguiente, de las capas de microorganismos observadas en 2019, por lo que es de relevancia, mantener este sitio bajo seguimiento. Respecto a LB-3, se observó una recuperación de la tipología 1 que se había

perdido en verano 2019, representándose en la reaparición 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° 12-43).

Tabla N° 12-41. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra		LB-1											
		2017			2018				2019			2021	
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	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					■								

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-42. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra		LB-2														
		2017			2018			2019			2021					
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	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																

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-43. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra			LB-3									
			2017			2018			2019	2021		
			1	2	3	1	2	3	1	3-P	1-C	3-C
Macrozona	Subsuperficial	Naranja										
		Verde										
		Verde claro										
		Verde oscuro										
		Verde amarillo										
		Verde opaco claro										
		Amarillo										
		Amarillo claro										
		Rosado										
		Marrón claro										
	Intermedia	Blanco										
		Rosado										
		Rosado claro										
		Púrpura										
	Profunda	Verde claro										
		Verde opaco										
		Verde oscuro										
		Verde opaco oscuro										
		Blanco										
		Marrón										
Marrón claro												
Marrón oscuro												
Marrón naranja												
Marrón naranja oscuro												
Amarillo												
Negro												

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, exhibió este tipo de tapetes en las estaciones LP-23 (100% de las muestras) y LP-24 tanto en tapetes superficiales planos (66%), mientras que no se observaron tapetes coriáceos con esta tipología. El hallazgo de esta tipología en estos tapetes es casi completamente diferente a lo registrado en verano 2019, donde sólo una muestra exhibió esta estructura tipológica (**Tabla N° 12-44**).

Principalmente, se observa que la estación más prevalente es LP-23, la cual triplicó la presencia de Tipología 2, respecto a verano 2019 para los tapetes superficiales planos, por otro lado, en LP-24, respecto a estos mismos tapetes, se observó un aumento respecto a verano 2019, no obstante, la mayoría de los tapetes observados en esta estación, registraron otra tipología. Esto muestra un cambio respecto a los veranos anteriores (2016 a 2019), dado que estas estaciones, clásicamente, exhiben tapetes de Tipología 1, en un 66 a 100%. 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, se sugiere mantener la atención en los tapetes de estas estaciones para seguir su evolución (**Tabla N° 12-44**).

Respecto a Laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se observaron en las tres estaciones estudiadas, tanto para tapetes superficiales planos (LB-1, LB-2y LB-3), como coriáceos (LB-1 y LB-3), mostrando notables variaciones, no sólo respecto a verano 2019, donde sólo fue detectada una muestra (LB-3), sino que también en los años anteriores, donde sólo se había detectado, también, una muestra (LB-1) en verano 2017. Esto representa un aumento de 8 veces en prevalencia de esta tipología, al considerar las tres estaciones. Cabe destacar, que, salvo LB-3 en verano 2019, 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° 12-45**). 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° 12-44. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra			2017	2018		2019	2021				
			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										

Año/Muestra		2017	2018		2019	2021				
		LP-24	LP-23	LP-24	LP-24	LP-23			LP-24 P	
		3	3	2	3	1	2	3	2	3
Intermedia	Verde opaco claro									
	Amarillo									
	Rosado									
	Rosado									
	Púrpura									
	Verde oscuro									
	Verde oscuro									
Profunda	Verde opaco claro									
	Verde opaco oscuro									
	Marrón									
	Marrón claro									
	Púrpura									

Fuente: Elaboración propia

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Tabla N° 12-45. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Brava. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra		2017	2019	2021								
		LB-1	LB-3	LB-1 P		LB-1 C		LB-2 C	LB-3 P		LB-3 C	
		2	3	1	3	1	3	3	1	2	2	
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										

Año/Muestra		2017	2019	2021							
		LB-1	LB-3	LB-1 P		LB-1 C		LB-2 C	LB-3 P		LB-3 C
		2	3	1	3	1	3	3	1	2	2
	Marrón										
	Marrón claro										
	Púrpura										

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

En cuanto a Tipología 3, Laguna La Punta exhibió esta tipología en una muestra de tapetes superficiales planos, mientras que se detectó en dos muestras de tapetes coriáceos, en ambos casos (planos y coriáceos) correspondientes a la estación LP-24. 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 profundas (tonalidad marrón) de tapetes que en veranos anteriores (207-2019) habían presentado tipología 1. Dado este drástico cambio, se sugiere mantener la atención en este sitio. Por otra parte, en Laguna La Brava, sólo una muestra de tapetes coriáceos de la estación LB-1 exhibió Tipología 3, la cual, de manera similar a LP-24, nunca se había detectado esta tipología, la cual se ve reflejada en la pérdida de las macro-zonas intermedia y profunda (Tabla N° 12-46). 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° 12-46. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2021.

Año/Muestra			2021			
			LP-24 P	LP-24 C		LB-1 P
			1	1	2	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
 P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo
 Fuente: Elaboración propia

12.3.6.3 Sector vegas de Tilopozo

En este sector no se detectó la presencia de tapetes microbianos, al igual que en reportes anteriores (verano 2017 y 2019). Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en la estación de monitoreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016, motivo por el cual fueron ingresadas como estaciones voluntarias al monitoreo.

12.3.6.4 Caracterización morfológica pigmentaria, posibles grupos funcionales y comunidades microbianas

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 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 y el potencial redox. 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.

12.3.7 Presencia de Microbialitos y Evaporitas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para verano 2017, 2018, 2019 y 2021 (Tabla N° 12-47) en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector La Punta - La Brava, en la estación LP-23 y la estación LB-1. Respecto a las evaporitas en este sector, se sugiere la presencia de evaporitas en LP-24. 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° 12-47. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017, 2018, 2019 y 2021.

Punto de Monitoreo	Registro visual										
	Microbialito					Evaporita					
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021	
S-5	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	
S-6A	-	-	-			-	-	-			
S-9	-	-	-			-	-	-			
SA-25	-	-	-			-	-	-			
S-10	-	-	-			-	-	-			
S-11	-	-	-			-	-	-			
I-11	+	-	-			-	+	-			
I-17	-	-	-			-	-	-			
LP-23	+	+	+			+	-	-			-
LP-24	+	-	-			-	-	+			+
LB-1	+	+	+			+	-	-			-
LB-2	-	-	-			-	-	-			-

Punto de Monitoreo	Registro visual										
	Microbialito					Evaporita					
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021	
LB-3	-	-	-		-	-	-	-		-	
TB-1	-	-	-		-	-	-	-		-	-
TB-2	-	-	-		-	-	-	-		-	-
TB-3	-	-	-		-	-	-	-		-	-

(+) Presencia, (-) No detección

Fuente: Elaboración propia

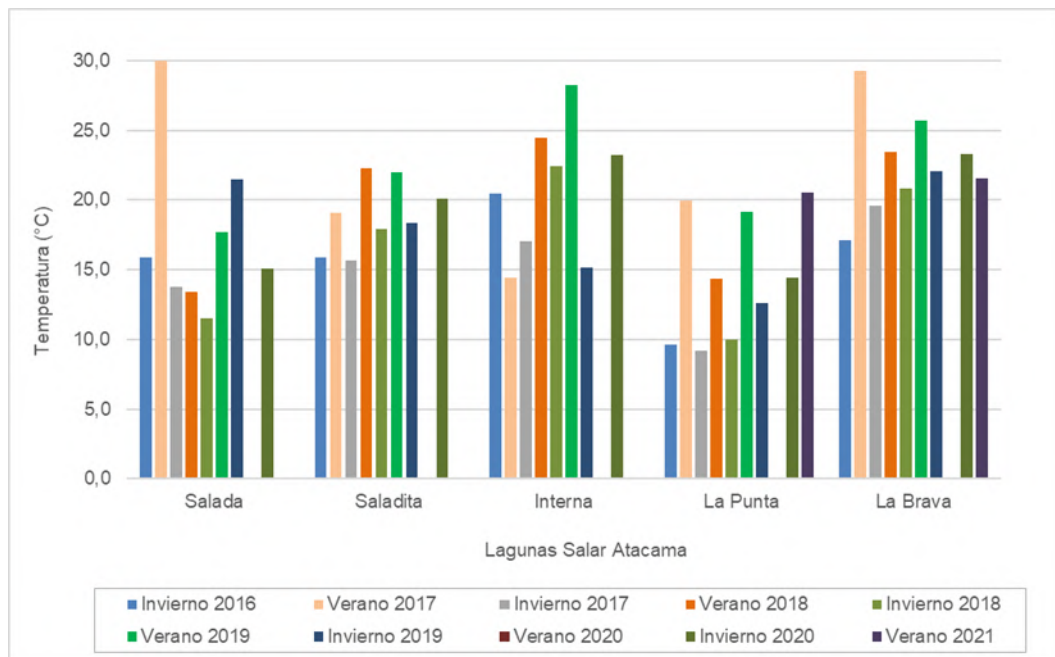
12.3.8 Evolución de Parámetros Físicos y Químicos

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.

- *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° 12-26**). 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° 12-26. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2021.

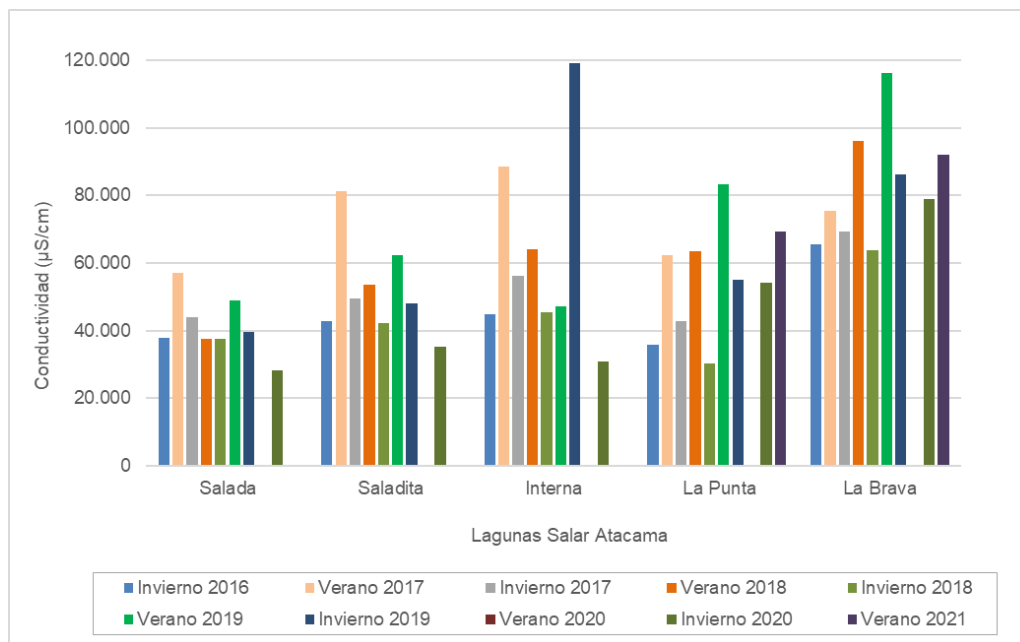


Fuente: Elaboración propia

• **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 2017 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° 12-27**).

Figura N° 12-27. Variación promedio de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.

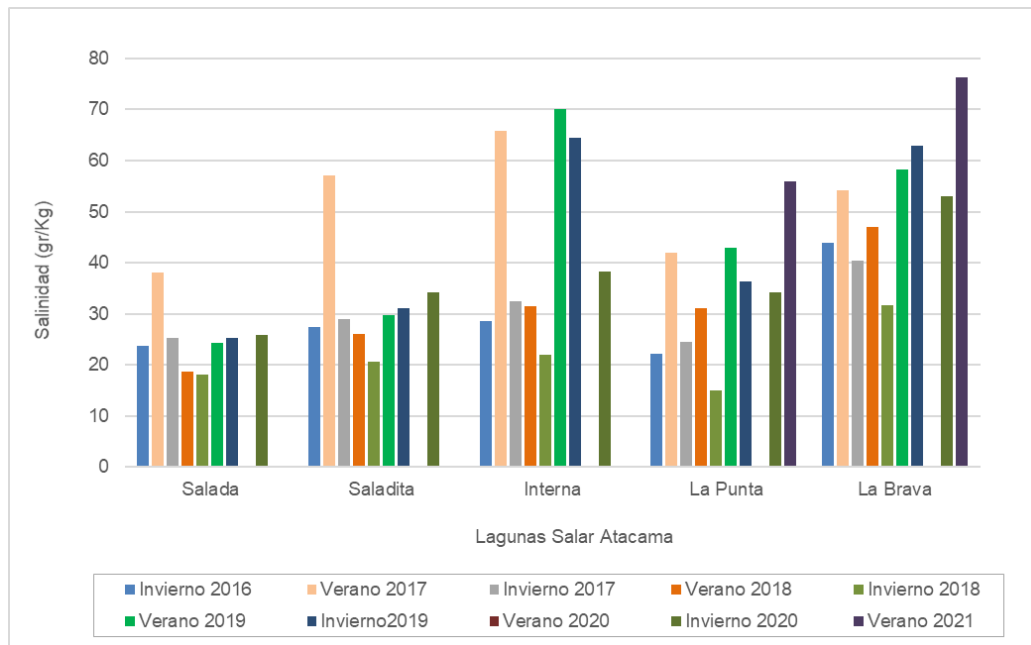


Fuente: Elaboración propia

• **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° 12-28**). 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).

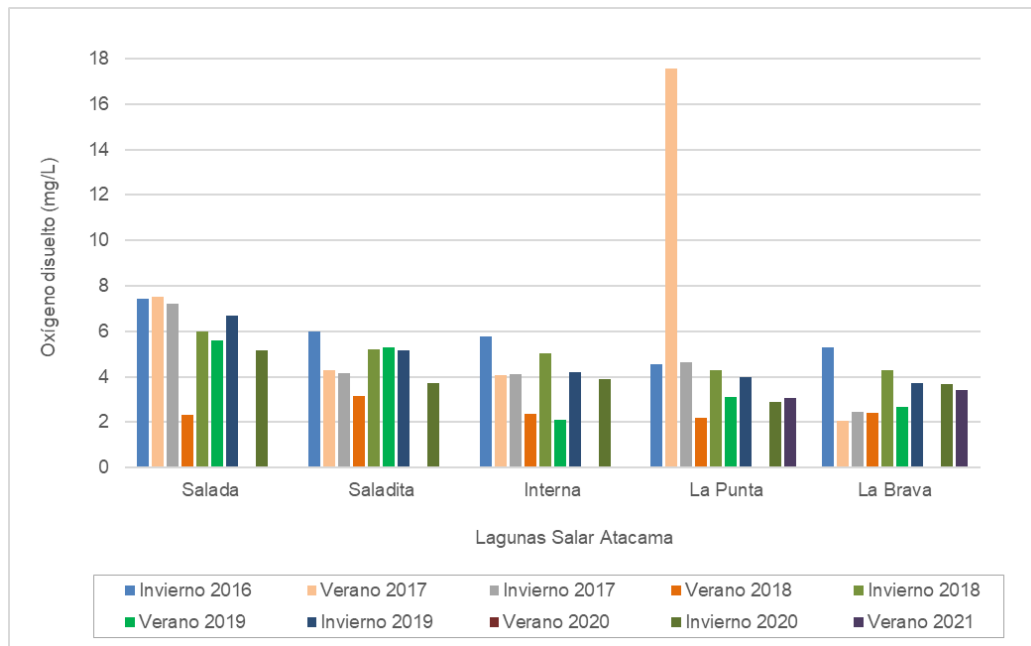
Figura N° 12-28. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.



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 un valor de 2,1 mg/L en 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° 12-29**). 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.

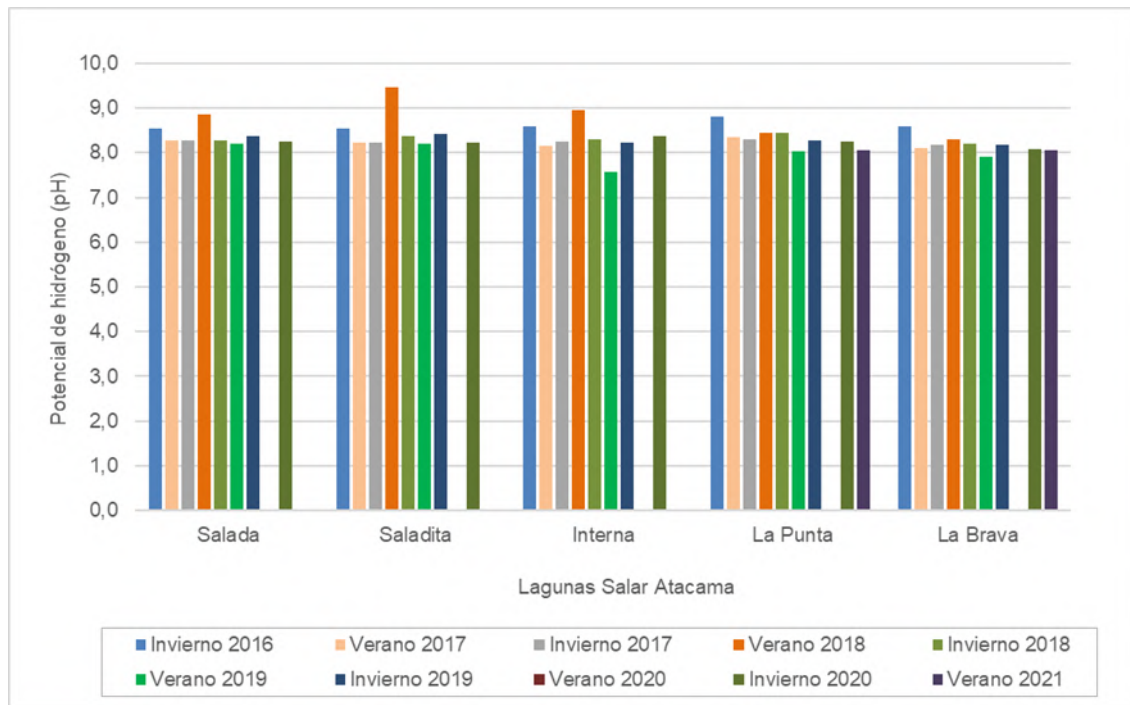
Figura N° 12-29. Variación promedio de oxígeno disuelto (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.

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° 12-30**). 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° 12-30. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.

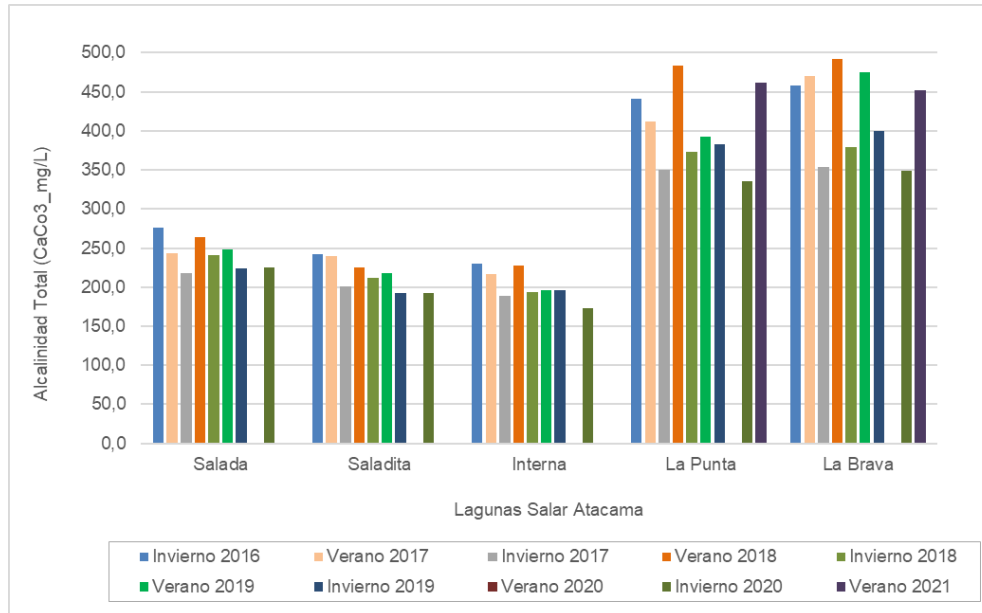


Fuente: Elaboración propia.

- *Alcalinidad Total*

Para la alcalinidad registrada en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en verano 2018, con un valor de 492 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° 12-31**). 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).

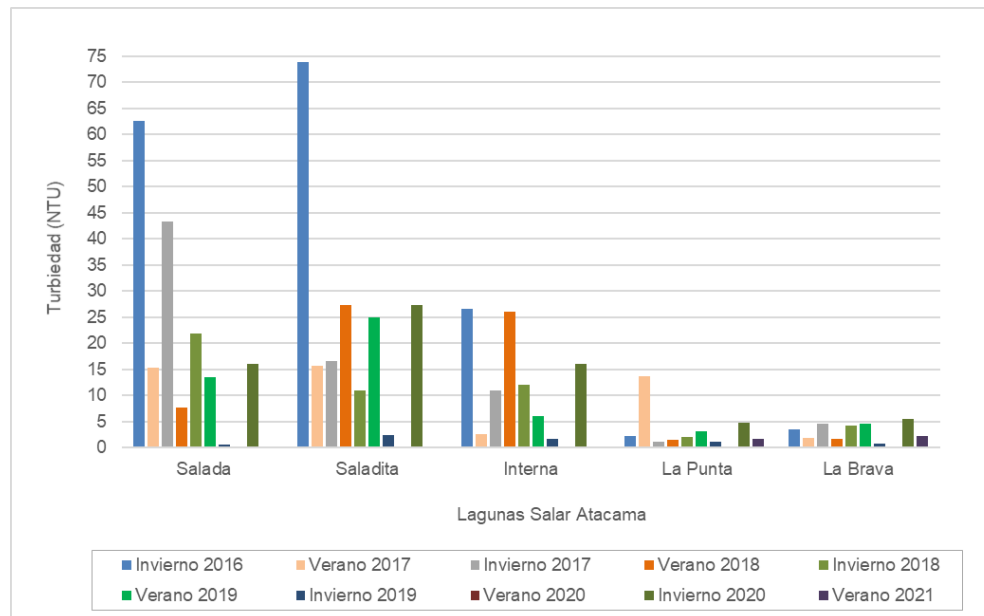
Figura N° 12-31. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO_3 _mg/L) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.



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° 12-32**). 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).

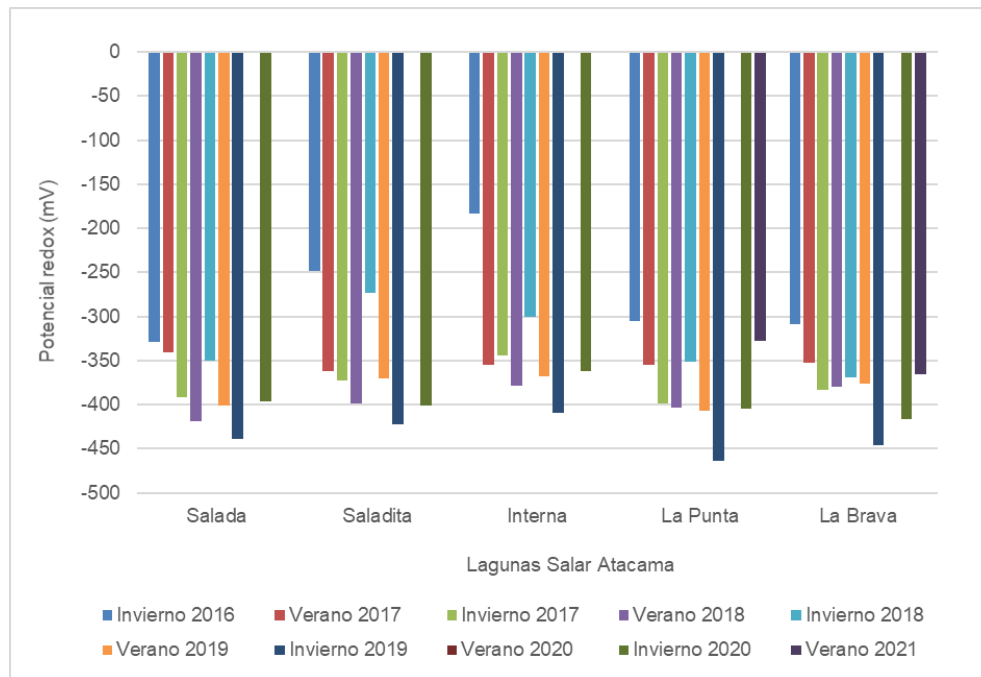
Figura N° 12-32. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.

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° 12-33**). 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° 12-33. Variación promedio de potencial redox (ORP) en lagunas del Salar de Atacama, 2016-2021.



12.4 En relación con Suelo o Sustrato

En el siguiente acápite se presenta el análisis comparativo de los resultados de laboratorio para los monitoreos invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10), como también la comparación entre todos los monitoreos del PMB que se han realizado a la fecha, estos son: invierno 2016 (M1), verano 2017 (M2), invierno 2017 (M3), verano 2018 (M4), invierno 2018 (M5), verano 2019 (M6), invierno 2019 (M7), verano 2020 (M8), invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10), además del nivel freático observado en terreno.

Cabe señalar que el nivel freático observado es un indicador de la profundidad a la cual se encuentra el agua, aun cuando no necesariamente esta provenga de la napa freática, ya que en algunas condiciones ésta tiene su origen en escurrimientos superficiales y que por un impedimento del suelo (hardpan, duripan, entre otros) no permite que infiltre. Además, la no detección de este no es un indicador de que no exista, ya que se puede encontrar a mayor profundidad.

12.4.1 Análisis comparativo campañas M9 (invierno 2020) y M10 (verano 2021).

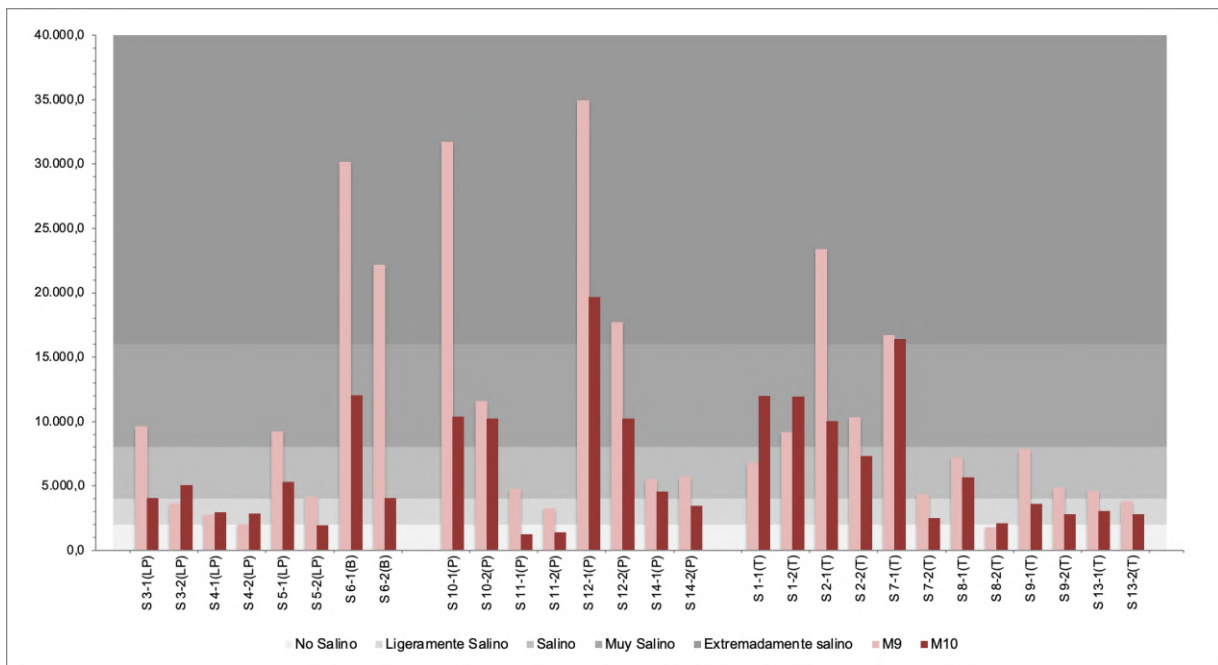
En **Anexo 1 Suelos o Sustrato**, se presenta el detalle de los resultados de los análisis de laboratorio, de las muestras de suelo tomadas durante los monitoreos M9 y M10, como también los formularios de terreno de ambas campañas.

12.4.1.1 Conductividad Eléctrica

Para el área de estudio, los suelos **no salinos** (C.E. < 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$), están representados por 2 puntos de muestreo en M9 y por 3 en M10. Los **ligeramente salinos** (C.E. entre 2.000 a 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) corresponden a 4 puntos en M9 aumentando a 9 en M10. En M9 los suelos **salinos** (C.E. entre 4.000 a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) están presentes con 10 puntos disminuyendo a 7 para M10. En cambio, los suelos **muy salinos** (C.E. entre 8.000 - 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) se observan en 5 puntos en M9 y en 7 en M10. Finalmente, los suelos **extremadamente salinos** (C.E. > 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}.$) se presentan en 7 puntos para M9 y en 2 para M10 (**Figura N° 12-34**).

Del total de puntos de muestreos (28) sólo en 8 de ellos (S 1-2, S 4-1, S 7-1, S 8-1, S 10-2, S 12-1, S 13-2 y S 14-1), la categoría de conductividad eléctrica se mantiene en ambas campañas y se observa una importante variación numérica en los resultados, lo que implica la variabilidad de este parámetro en función de la diversidad de los suelos.

**Figura N° 12-34: Resultados análisis laboratorio Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).**



Fuente: Elaboración Propia

Para el área de estudio, en la mayoría de los puntos de muestreo (78,6%) la conductividad eléctrica disminuye en M10 respecto a M9, la que se caracteriza por presentarse en un amplio rango (330 a 21.320 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y en un bajo número de puntos (21,4%) la conductividad aumenta en M10 respecto a M9 (**Figura N° 12-34**).

En el sector de **La Punta-La Brava** en 5 puntos (62,5%) la conductividad eléctrica presenta una disminución en M10, respecto a M9 en un rango variable (2.246 a 18.159 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y en los restantes se observa un aumento de la conductividad eléctrica en valores relativamente bajo (170 a 1.433 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Respecto a las categorías en sólo un punto ésta se mantiene (S 4-1) y en las restantes existe un cambio tanto en aumento como en disminución, y en general este cambio es en sólo una categoría, excepto el punto S 6-2 que de **extremadamente salino** disminuye a **salino**.

Por su parte, en el sector de **Peine**, en la totalidad de los puntos de muestreo la conductividad eléctrica disminuye en M10 respecto a M9, y en 3 la categoría se mantiene (S 10-2, S 12-1 y S 14-1), y en las restantes baja a la categoría inferior, excepto en S 11-1, donde la salinidad baja en 2 categorías (**salino** a **no salino**).

En el sector de **Tilopozo**, sólo en 3 puntos (S 1-1, S 1-2 y S 8-2) la conductividad eléctrica es mayor en M10 respecto a M9 variación entre 297 y 5.140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cambio, la disminución de la conductividad eléctrica en M10 presenta un rango más amplio (330 a 13.380 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A pesar de esta variación numérica, los cambios de categoría son inferiores (5) a aquellos que

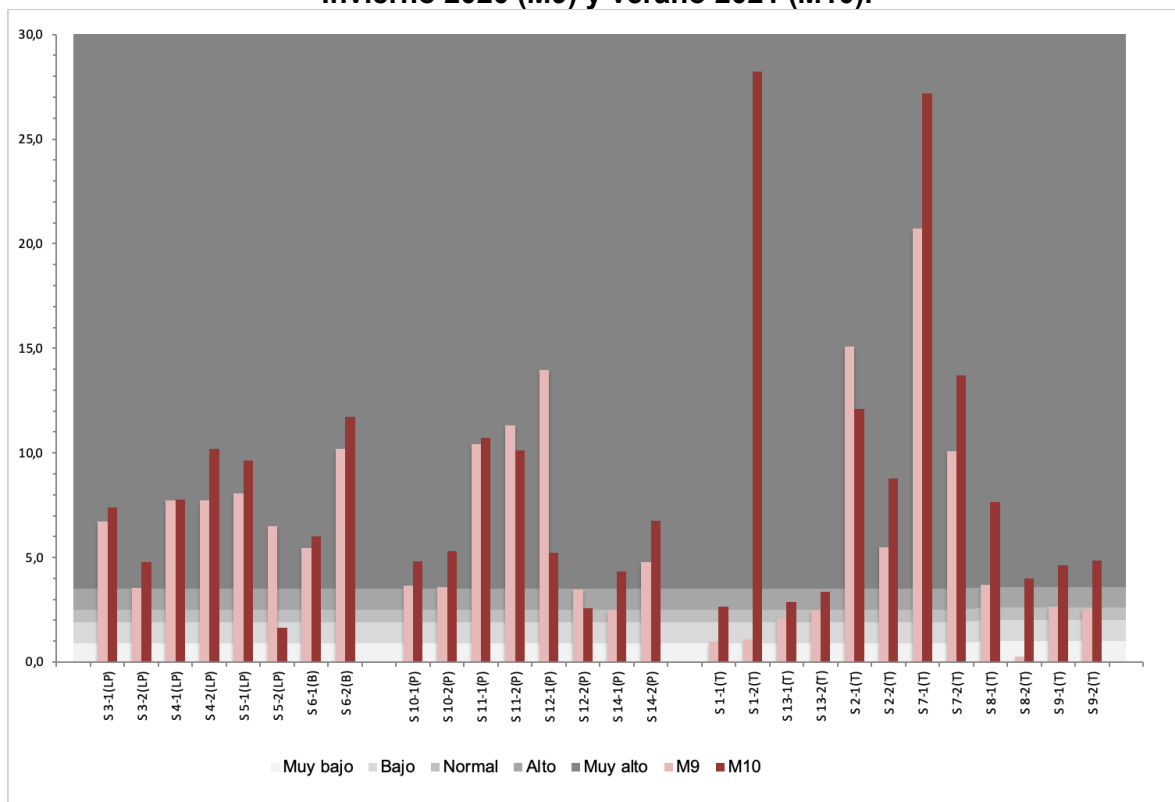
la mantienen (7). Observándose en general una disminución en la conductividad eléctrica en M10 respecto a M9 en la mayoría de los puntos.

12.4.1.2 Materia Orgánica

En relación con la materia orgánica, tanto para M9 como M10 la mayoría de los puntos presenta un porcentaje superior a 3,6%, es decir categoría alta. En M9 se determinaron 9 puntos donde ésta varía de **muy baja** a **alta** con un rango de 0,28 a 3,46%, y en M10 en 5 punto el cambio es de **baja** a **alta** en el rango de 1,63 a 3,37%, ver **Figura N° 12-35**.

Basados en los resultados de laboratorio, se observa que el sector **La Punta La Brava**, la mayoría de los puntos de muestreo presenta un aumento en la materia orgánica en M10 respecto a M9 y sólo en uno se observa una disminución (S 5-2) incluso baja de la categoría **muy alta** a **baja**, otro cambio de presenta en el punto S 3-2 que de categoría **alta** pasa a **muy alta**, ver **Figura N° 12-35**.

Figura N° 12-35: Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).



Fuente: Elaboración Propia

En **Peine**, se observa que la materia orgánica aumenta en la mayoría en un 62,5% de los puntos de muestreo (5) en M10 respecto a M9 en un rango de 0,3 a 1,98% y en los restantes (37,5%) se determina una disminución en M10, la cual varía entre 0,89 y 8,73%. Sector en el cual la mayoría de los puntos de muestreo mantiene la categoría (**muy alta**), y sólo en 2 se observa un cambio de esta, en el punto S 12-2 de **alta** a **baja** y en S 14-1 de **normal** a **muy alta**.

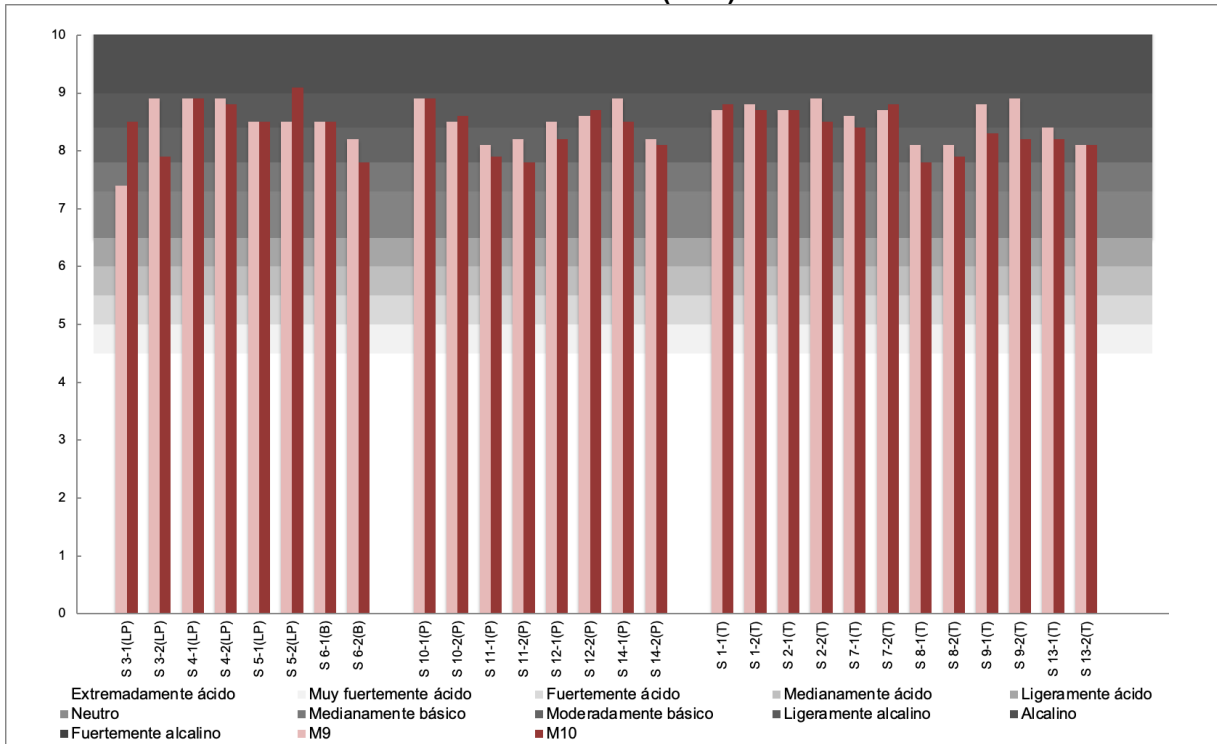
En el sector de **Tilopozo**, en un 91,7% de los puntos de muestreo (11) en el monitoreo M10 la materia orgánica es mayor que en M9, excepto en S 2-1. Para M9 se determinaron las 5 categorías de materia orgánica, siendo mayoritaria la **muy alta**. En cambio, en M10 sólo se observan las categorías **alta** y **muy alta**, siendo la de mayor frecuencia la segunda.

En este sector la variación numérica entre ambas campañas varía entre 0,78 a 27,15%, lo que determina que en 7 puntos, se genere un cambio en la categoría, la cual se presenta en todos ellos en M10 respecto a M9.

12.4.1.3 pH

Para el área de estudio y considerando la totalidad de puntos de muestreo se observa una acidificación (disminución pH) del suelo en un total de 16 puntos en M10 respecto a M9, en 6 los suelos se alcalinizan y en igual número de puntos no hay variación numérica, ver **Figura N° 12-36**.

Figura N° 12-36: Resultados análisis laboratorio pH. Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos de muestreo (5), se determina una variación numérica (0,4 a 1,1) y en los restantes puntos (3) no existen cambio en los valores del pH en M10, respecto a M9. Considerando estas variaciones en 4 punto se presenta un cambio de categoría (S 3-1, S 3-2, S 5-2 y S 6-2)

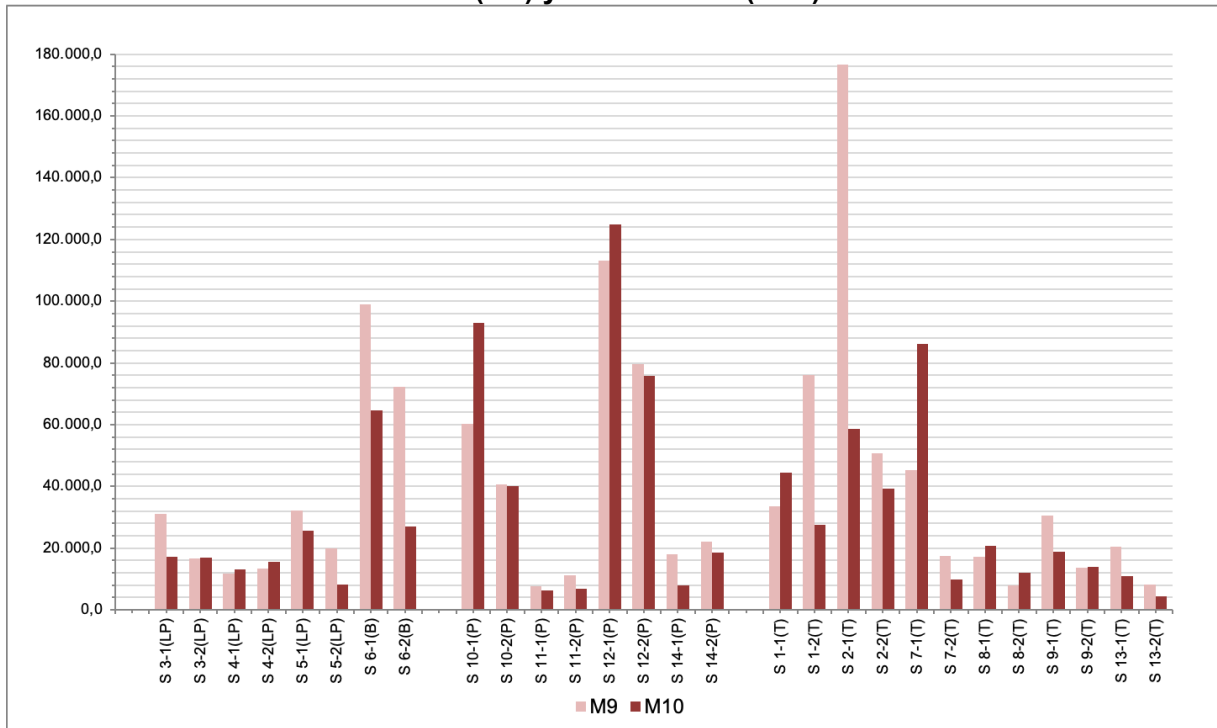
En **Peine**, en la mayoría de los puntos se determinó una disminución del pH en M10 respecto a M9 (**Figura N° 12-36**), implicando un cambio a una categoría inferior en 3 puntos (S 11-1, S 11-2 y S 12-1).

En el sector de **Tilopozo**, la mayoría de los puntos de muestreo el pH disminuye en M10 respecto a M9, a pesar de esto sólo en 4 punto se observa un cambio de categoría, en 3 el pH disminuye y en una aumenta. En este sector destacan 2 puntos en donde el pH no presenta variación en el valor.

12.4.1.4 Salinidad (Sales Solubles)

Para el área de estudio, en M9 el valor mínimo de sales solubles es **7.532 mg/kg** el cual disminuye a **4.442 mg/kg** para M10, siendo la concentración máxima en M9 de **176.618 mg/kg** disminuyendo a **124.862 mg/kg** en M10 (**Figura N° 12-37**).

Figura N° 12-37: Resultados análisis laboratorio Salinidad (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).



Fuente: Elaboración Propia

Para el área de estudio, se observa una disminución de los puntos de la concentración de sales solubles en el 64,3% de los puntos en M10 respecto a M9 (**Figura N° 12-37**), principalmente, en el sector de Peine siendo menor en La Punta-La Brava y Tilopozo, lo cual es un comportamiento normal en los suelos, dado que corresponde a la época de mayor evapotranspiración.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en un 62,5% de los puntos de muestreo se observa una disminución en la concentración de sales en M10, respecto a M9, disminución que varía entre **6.796** y **45.313 mg/kg**. En los puntos restantes el aumento en la concentración en M10, varía entre **113** y **2.259 mg/kg**, manteniéndose las mayores concentraciones de sales en el sector de La Brava.

En el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos (6) de muestreo se observa una disminución en las concentraciones de sales solubles en M10 respecto a M9, la cual varía entre **531** a **10.159 mg/kg**, y en los restantes puntos (2) se observa un aumento en M10, variación que

fluctúa entre **11.780** y **32.807** mg/kg. Destaca en este sector el punto S 10-1 y S 21-1 los cuales presentan los mayores valores para ambas campañas.

Para el sector de **Tilopozo**, en un 58,3% de los puntos de muestreo la concentración de sales solubles disminuye en M10 en comparación a M9, variación entre **3.788** y **118.009** mg/kg y en los restantes puntos la concentración de sales aumenta en M10 en el rango entre **338** y **40.815** mg/kg. En este sector destacan los puntos S 2-1, S 1-2 y S 7-1, donde se presentan las mayores variaciones entre ambas campañas.

12.4.1.5 Conductividad Hidráulica o Permeabilidad

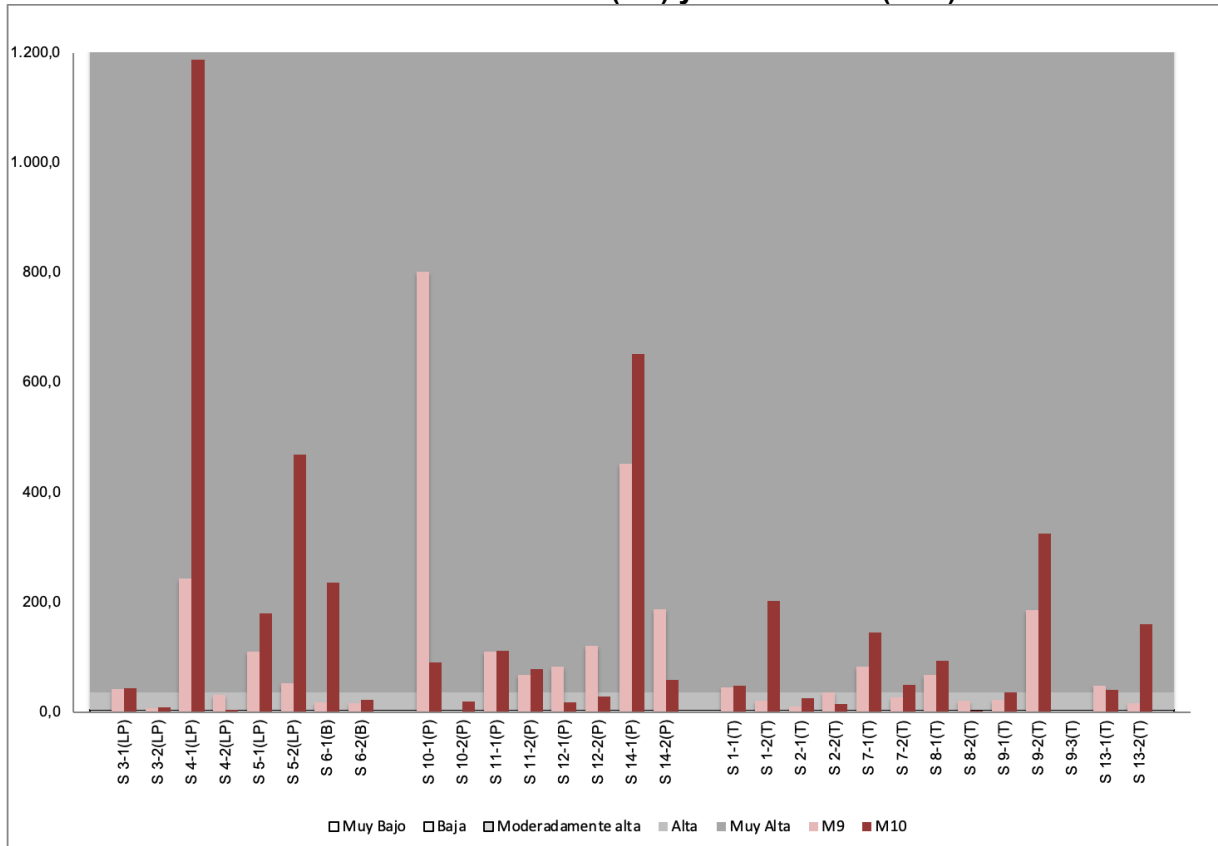
En relación con la conductividad hidráulica (permeabilidad) de los suelos del área de estudio, para el monitoreo M10, se determinó que en la mayoría de los puntos (20) se observa un aumento en la velocidad de infiltración del agua en el horizonte, respecto a los valores obtenidos en M9, variación entre 0,3 y 945,5 cm/h. En los restantes (8) la disminución de la velocidad en M10 varía entre 8,6 y 712,3 cm/h.

Para M9 se determinó en sólo un punto donde la permeabilidad es **moderadamente alta**, en 11 puntos es **alta** y en los restantes (16) la velocidad de infiltración es **muy alta**. En cambio, en M10 la velocidad **alta** se determinó en 10 puntos de muestreo y en los restantes (18) esta es **muy alta** (**Figura N° 12-38**).

Sin embargo, a pesar de la variación numérica entre ambos monitoreos los cambios de categorías sólo se presentan en 7 puntos de muestreos, de los cuales en 2 la categoría disminuye de **muy alta** a **alta** (S 12-1 y S 12-2), en los otros 5 la velocidad aumenta en M10 respecto a M9.

En 21 puntos de muestreo se mantiene la categoría, a pesar de la variación numérica que se produce en la totalidad de los puntos, lo cual es normal dado los cambios en el suelo, entre un punto y otro, como también en el perfil, no implicando una intervención antrópica.

**Figura N° 12-38: Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica (cm/hr).
Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).**



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos de muestreo la velocidad de infiltración aumenta en M10 respecto a M9, excepto en S 4-2 donde ésta disminuye. En la mayoría de los puntos, aun cuando existe una variación numérica, ésta no genera un cambio de la categoría de permeabilidad del horizonte y sólo en el punto S 6-1 de **alta** (M9) pasa a **muy alta** (M10), ver **Figura N° 12-38**.

En el sector de **Peine (Figura N° 12-38)**, en la mitad de los puntos de muestreo se determinó un aumento de la velocidad de infiltración en M10 respecto a M9, de los cuales sólo en uno se observó cambio de la categoría, correspondiendo a S 10-2 en el cual ésta aumenta de **moderadamente alta** a **alta**. En aquellos puntos donde la velocidad de infiltración disminuye en M10, sólo en 2 puntos (S 12-1 y S 12-2) existe cambio de categoría de **muy alta** a **alta**.

Aun cuando en este sector, se observa una variación numérica amplia (1,6 a 712,3 cm/h) la mayoría de los puntos mantiene la categoría para ambos monitoreos.

En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos de muestreo, la velocidad de infiltración aumenta en M10 respecto a M9, esto determina que en 3 puntos (S 1-2, S 7-2 y S 13-2) se presente un cambio en la categoría de permeabilidad de **alta** a **muy alta**, en los otros puntos

del sector la categoría permanece constante, aun cuando se observa una variación numérica entre 2,8 a 182,4 cm/h (**Figura N° 12-38**).

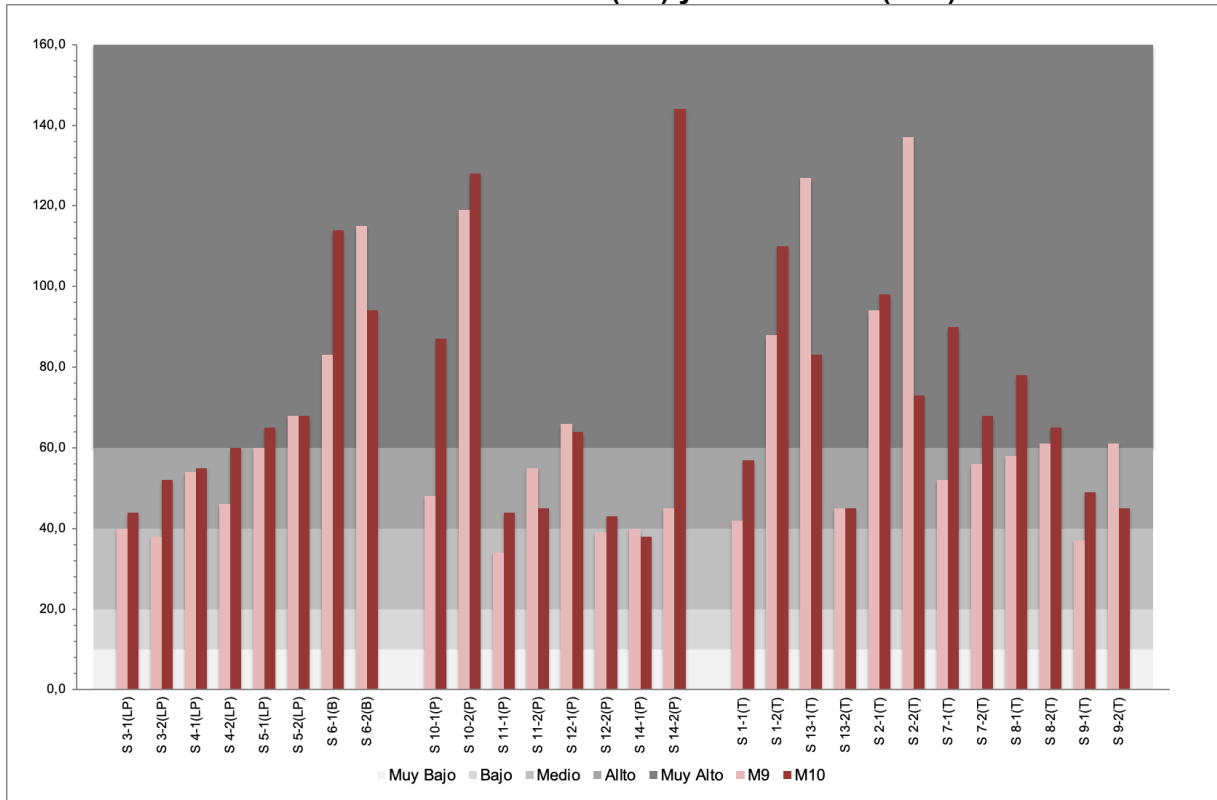
12.4.1.6 Nutrientes

a) Nitrógeno

En el área de estudio en la mayoría de los puntos de muestreo se determinó un aumento en la concentración de nitrógeno disponible en M10 respecto a M9, en un rango de 1 a 99 mg/kg, y en general esto corresponde al comportamiento normal de este macroelemento en el suelo, lo cual está relacionado con la época de mayor disponibilidad por condiciones ambientales. También para el área, se determinó una menor disponibilidad de nitrógeno en algunos puntos (6) de M10, respecto a M9, en esto la disminución se presenta en un rango que varía 2 y 64 mg/kg, además existen 2 puntos (S 5-2 y S 2-2) donde no hay variación en el resultado.

Para el área la disponibilidad **media** se presenta en 6 puntos en M9 para disminuir a 1 en M10, la categoría **alta** se determinó en 11 puntos tanto para M9, como M10, y el nitrógeno disponible **muy alto**, se observó en 11 puntos en M9 y en 16 en M10 (**Figura N° 12-39**).

**Figura N° 12-39: Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible (mg/kg).
 Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).**



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **La Punta-La Brava**, se observa que en la mayoría de los puntos de muestreo aumenta la concentración de nitrógeno en M10 respecto a M9 (**Figura N° 12-39**), excepto en S 5-2 donde no hay cambio en el valor. La mitad de los puntos de muestreo mantiene la categoría en M10 y en tres el cambio se produce hacia la categoría superior, de esto en 2 aumenta de **medio** a **alto** (S 3-1 y S 3-2) y en uno de **alto** a **muy alto** (S 5-1).

En **Peine** se observa el mismo comportamiento que en **La Punta-La Brava**, donde la mayoría de los puntos (6) presentan una mayor disponibilidad de nitrógeno en verano respecto a invierno no existiendo cambio de categoría en estos puntos, y en los restantes (4) se observa un aumento en la categoría de **medio** a **alto** (S 11-1 y S 12-2) y de **alto** a **muy alto** (S 10-1 y S 14-2).

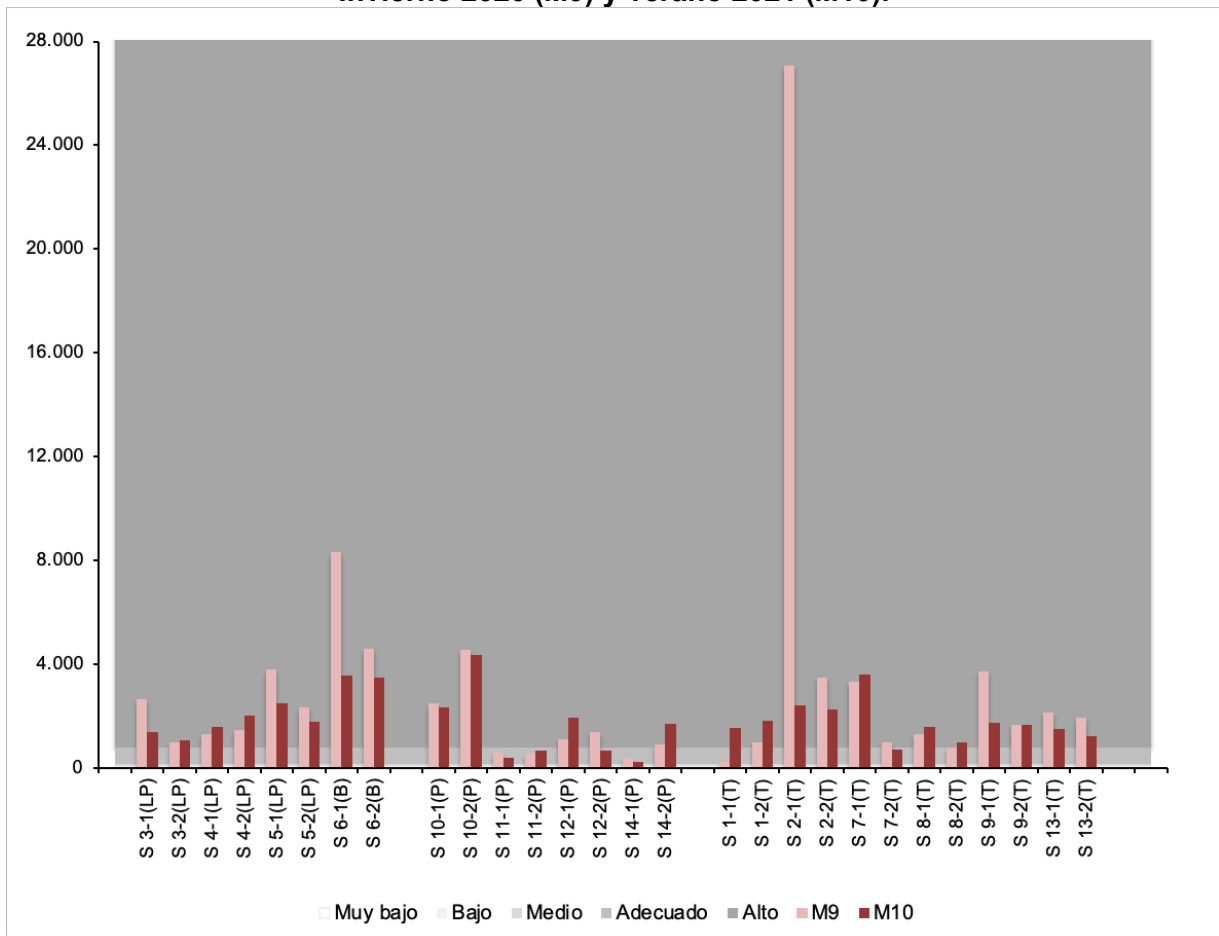
Para el sector de **Tilopozo**, al igual que en los sectores anteriores se observa un aumento de la concentración de nitrógeno disponible (8 puntos) en M10 respecto a M9, esta variación se presenta en el rango de 4 y 38 mg/kg, y en 5 de este total existe un cambio de categoría, de las cuales en 3 aumenta la disponibilidad de **alta** a **muy alta**, en uno es de **medio** a **alto** y en igual número baja la disponibilidad de **muy alta** a **alta**.

En 6 puntos de muestreo de este sector, aun cuando existe una variación numérica en la disponibilidad, no se presenta un cambio de categoría.

b) Potasio

Para el área de estudio, en un 57,1% de los puntos muestreados se determinó una disminución en la concentración de potasio disponible en M10, respecto a M9, y aumentando en los puntos restantes. La disponibilidad de este nutriente es **adecuada** en 4 puntos para M9, la cual aumenta a 5 en M10, y en los restantes puntos de cada monitoreo ésta es **alta**, lo que implica que independiente de la estacionalidad la disponibilidad de potasio en el área es mayoritariamente **alta** (Figura N° 12-40).

Figura N° 12-40: Resultados análisis laboratorio Potasio disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).



Fuente: Elaboración Propia

Solo en 3 puntos del total y al comparar ambos monitoreos, se observa un cambio de categoría, correspondiendo a S 12-2 y S 7-2, bajando de **alta** a **adecuada**, y en S 1-1 cambia de **adecuada** a **alta**, ver **Figura N° 12-40**.

Este comportamiento es esperable, considerando la heterogeneidad de los materiales parentales y la disponibilidad de este elemento en los suelos chilenos, del cual se indica que no es un nutriente limitante para el desarrollo de los cultivos.

Para el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos del monitoreo M10 se observa una disminución en la concentración, respecto a M9, en un rango que varía entre 558 y 4,739 mg/kg, y en algunos existe un aumento, pero inferior (80 a 553 mg/kg). Sin embargo, el potasio en ambas evaluaciones mantiene la categoría **alta**.

En el sector de **Peine**, y al igual que en el sector anterior se observa que la mayoría de los puntos presenta una disminución de la concentración de potasio en M10 respecto a M9, variación que fluctúa entre 138 y 711 mg/kg, valores similares a los presentados a los puntos que aumenta en M10 (104 a 824 mg/kg). Sin embargo, a pesar de la variación numérica entre ambos monitoreos, el cambio de categoría se presenta en un solo punto (S 12-2), ver **Figura N° 12-40**.

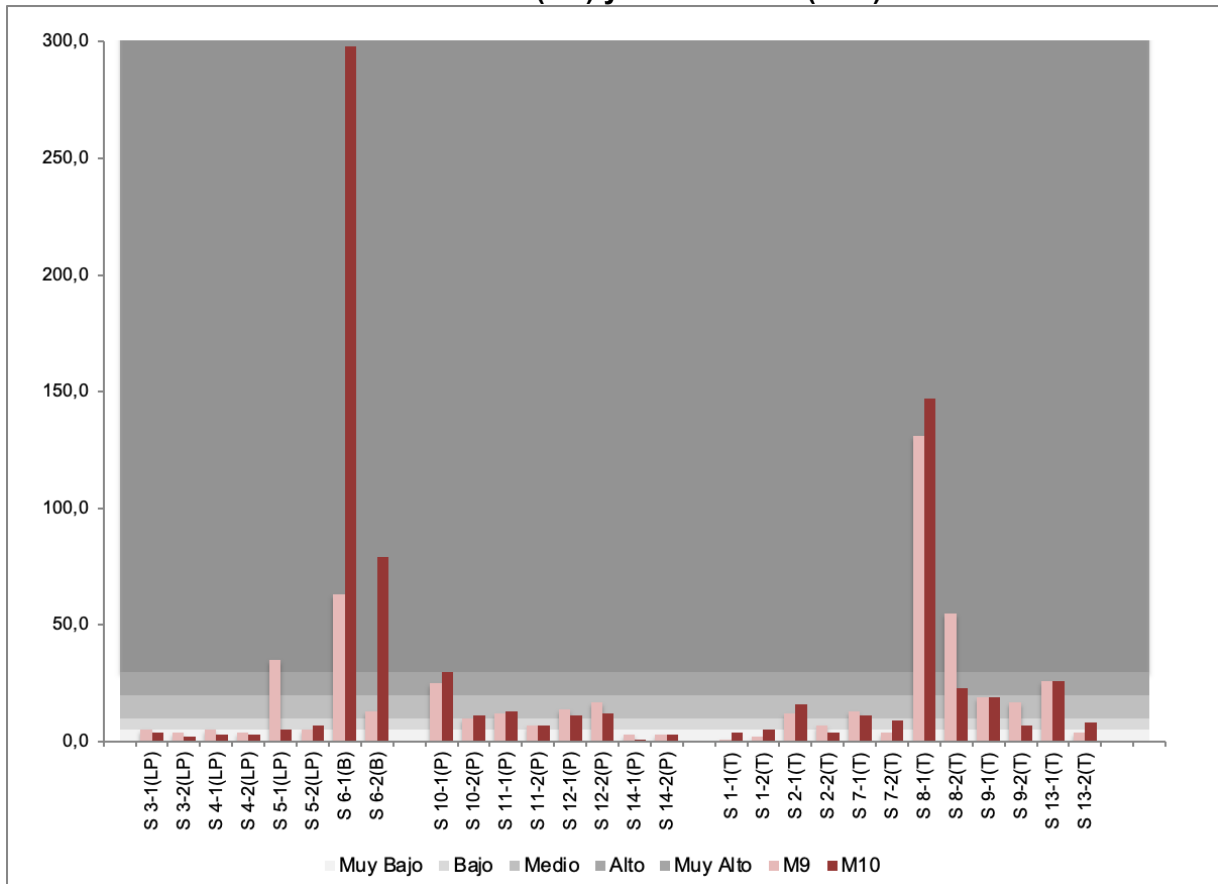
En **Tilopozo**, la mayoría de los puntos para ambos monitoreos presentan una disponibilidad **alta** de potasio, y sólo en un punto de cada monitoreo esta es **adecuada**. En la mitad de los puntos el potasio aumenta en M10 respecto a M9 y en la otra disminuye, con un amplio rango de variación (15 a 24.637 mg/kg), destaca el punto S 2-1, el cual de una concentración de 27.065 en M9 disminuye a 2.428 mg/kg en M10.

Los cambios de categorías se verifican en S 1-1 de disponibilidad **adecuada** a **alta** y en S 7-2 de **alta** a **adecuada**.

c) Fósforo

Respecto al fósforo el área de estudio se caracteriza por presentar valores que incluye las cinco categorías definidas. Sin embargo, las categorías con mayor frecuencia para ambos monitoreos son **muy baja** y **media**, siendo menos frecuentes **baja**, **alta** y **muy alta**, ver **Figura N° 12-41**.

Respecto a la variación numérica estacional en 12 puntos de muestreo la concentración aumenta en M10 respecto a M9, en igual número de puntos ésta disminuye y en 4 no existe variación (S 9-1, S 11-2, S 13-1 y S 14-2).

Figura N° 12-41: Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).

Fuente: Elaboración Propia

Aun cuando la variación numérica se presenta en un amplio rango (0 a 235 mg/kg), sólo en 9 puntos se observa un cambio de categoría, tanto hacia las superiores (S 5-2, S 6-2, S 7-2, S 10-2 y S 13-2), como inferiores (S 2-2, S 5-1, S 9-2 y S 8-2) ver (**Figura N° 12-41**)

En **La Punta-La Brava**, en 3 puntos se observa un aumento en la concentración de fósforo en M10 respecto a M9 (2 a 235 mg/kg), y en los restantes disminuye, pero en un menor rango (1 a 30 mg/kg). En 3 puntos del total se observa un cambio de categoría, aumentando la disponibilidad en S 5-2 y S 6-2, y disminuyendo en S 5-1.

En el sector de **Peine**, en 3 puntos la concentración de potasio disminuye en M10 respecto a M9 y en igual número de muestreo aumenta en el monitoreo estival en relación al invernial, permaneciendo constante en 2 puntos. A pesar de esta variación numérica sólo en un punto (S 10-2) existe un cambio de categoría de **baja a media** (**Figura N° 12-41**).

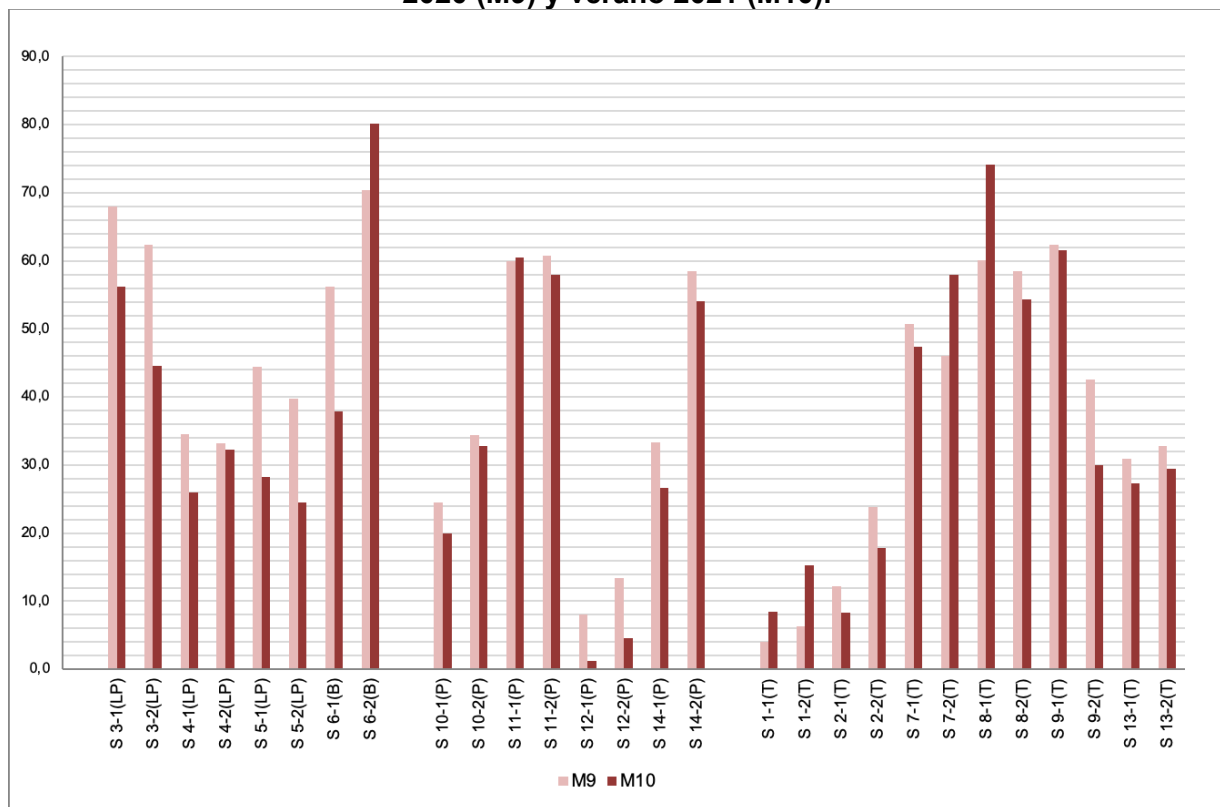
En **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos se presenta un aumento en la concentración de fósforo en M10 respecto a M9, en 4 de estos la concentración baja en el monitoreo estival 2021 y en 2 no existe variación en el contenido de este nutriente. En 5 de los puntos

muestreados (S 2-2, S 7-2, S 8-2, S 9-2 y S 13-2) se determinó un cambio de categoría entre ambos monitoreos.

12.4.1.7 Humedad

Para el área de estudio, y en general existe un disminución en la mayoría de los puntos de muestreo del contenido de humedad en M10 respecto a M9, aumentando sólo en 5 (**Figura N° 12-42**), esto no concuerda con lo normal para este sector, es decir, un mayor contenido de humedad en el suelo en verano por efecto de las lluvias estivales, las cuales fueron menores durante la estación 2021, esto explicaría un menor porcentaje de humedad en la mayoría de los puntos de muestreo.

Figura N° 12-42: Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos el contenido de humedad disminuye en M10 en comparación a M9, cuya variación se encuentra entre un 0,88 y 18,33%, y en un punto (S 6-2) ésta aumenta en M10, en un 9,73%, ver **Figura N° 12-42**.

Igual condición se presenta en **Peine**, donde la mayoría de los puntos presentan una disminución en el contenido de humedad en M10 respecto a M9, variación entre 1,62 y 8,75%, en el punto S 11-1, la humedad aumenta en M10 en un 0,48% (**Figura N° 12-42**).

En **Tilopozo (Figura N° 12-42)** en 8 puntos de muestreo, la humedad disminuye en M10 en comparación a M9, en estos la variación es entre 0,81 y 12,58%, y en 4 ésta disminuye en M10 respecto al monitoreo invernal 2020 M5, siendo el rango de variación entre 4,41 a 14,08%.

12.4.1.8 Textura

Para los suelos del área de estudio, se determinaron 5 clases texturales para M9 y un total de 7 para M10.

Para el Monitoreo M9, las clases texturales determinadas para el área de estudio corresponden a **arcillosa** (muy fina) **franco limoso** (fina), **franca** (media), **franco arenoso** y **Areno francosa** (gruesas), ver **Tabla N° 12-48**, siendo dominantes las clases texturales *franca arenosa*, *franca* y *franco limosa*, las menos frecuentes corresponden a las clases texturales *areno francosa* y *arcillosa*.

En cambio, para M10 las clases texturales presentes corresponden a **arcillosa** (muy fina), **areno francosa** (gruesas), **arenosa** (muy gruesa), **franca** (media), **franco arcillo limosa** (moderadamente fina), **franca arenosa** (gruesa) y **franca limosa** (media), para este monitoreo las clases texturales más frecuentes son *franca*, *franca arenosa* y *franca limosa*, y las de menor participación son *arenosa*, *arcillosa*, *Areno francosa* y *franco arcillo limosa* (**Tabla N° 12-48**).

Tabla N° 12-48: Resultados análisis de laboratorio textura. Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).

Punto de muestreo	Monitoreo		Sector
	M9	M10	
S 3-1	Franca	Franca	La Punta
S 3-2	Franca	Franca	La Punta
S 4-1	Franca Arenosa	Franca Arenosa	La Punta
S 4-2	Franca Arenosa	Franca Arenosa	La Punta
S 5-1	Franca Arenosa	Arenosa	La Punta
S 5-2	Franca Arenosa	Areno Francosa	La Punta
S 6-1	Franca	Franca	La Brava
S 6-2	Franca Arenosa	Franca	La Brava
S 10-1	Franca Arenosa	Franca Arenosa	Peine
S 10-2	Arcillosa	Franco Arcillo Limosa	Peine
S 11-1	Franco Limosa	Franca Arenosa	Peine
S 11-2	Franco Limosa	Arcillosa	Peine
S 12-1	Franca Arenosa	Franca Arenosa	Peine
S 12-2	Franca	Franca Arenosa	Peine
S 14-1	Areno Francosa	Franca Arenosa	Peine
S 14-2	Franca	Franco Limosa	Peine
S 1-1	Areno Francosa	Franca Arenosa	Tilopozo
S 1-2	Franca Arenosa	Franca Arenosa	Tilopozo
S 2-1	Franca	Franca Arenosa	Tilopozo
S 2-2	Franca	Franca	Tilopozo
S 7-1	Franca	Franca	Tilopozo
S 7-2	Franca Arenosa	Franco Limosa	Tilopozo
S 8-1	Franco Limosa	Franca	Tilopozo
S 8-2	Franca	Franca	Tilopozo
S 9-1	Franco Limosa	Franco Limosa	Tilopozo
S 9-2	Franca Arenosa	Franca	Tilopozo
S 13-1	Franco Limosa	Franca	Tilopozo
S 13-2	Franco Limosa	Franco Limosa	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a los cambios en la textura de los suelos, para los mismos puntos entre ambos monitoreos, se debe principalmente a la heterogeneidad de los materiales que originan los suelos del área de estudio, dado que corresponde principalmente a un sustrato heterogéneo proveniente de aportes de material del entorno del salar y que ha sido movilizado hacia el interior de la cuenca tanto por el viento como por el agua.

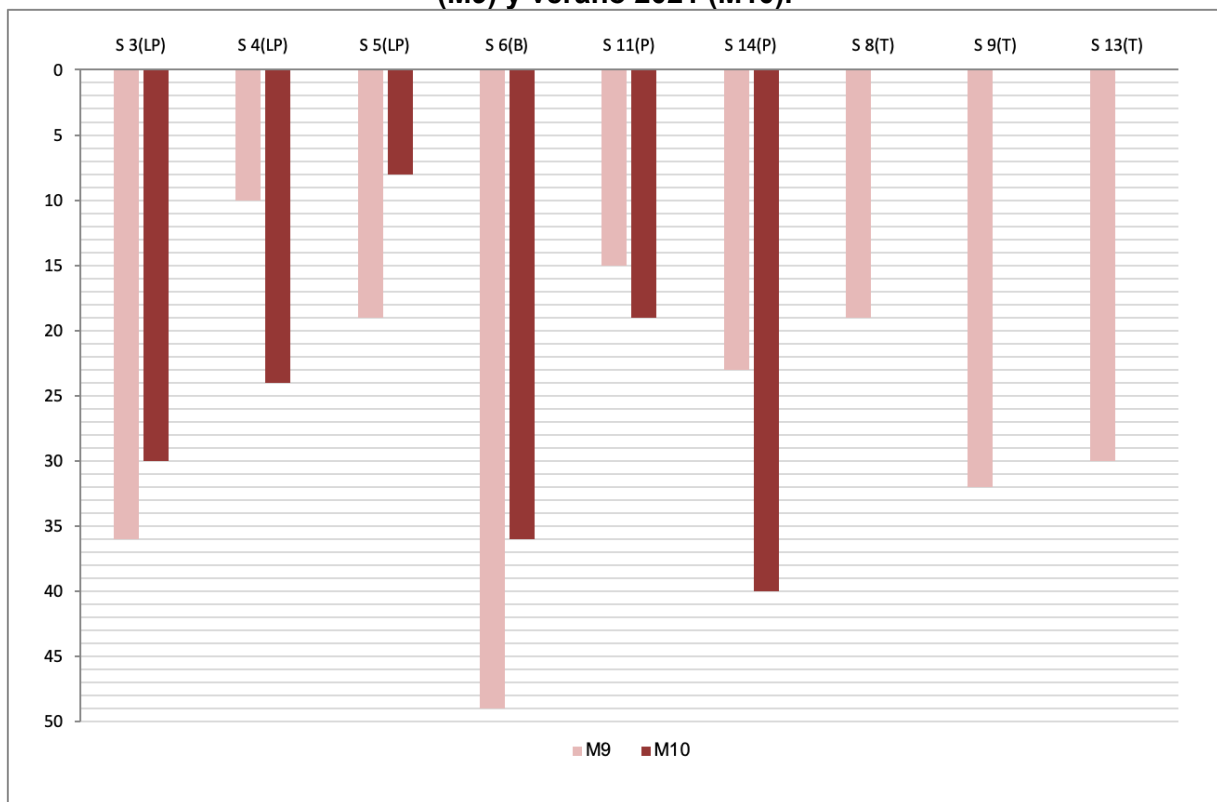
12.4.1.9 Nivel freático

Para el área de estudio, se detectó nivel freático a profundidad de trabajo en 9 puntos durante el monitoreo M9 y en 6 muestreos para M6 (**Figura N° 12-43**) equivalente a un 64,3 y 42,9%, respectivamente, respecto al total de puntos de muestreos (14).

Del total de puntos detectados en M9, 3 puntos (S 8, S 9 y S 13) no lo fueron en el monitoreo M10, esto no implica que no exista nivel freático sólo que se podría encontrar a mayor profundidad que la alcanzada durante la campaña estival 2021.

De los 6 puntos observados en ambos monitoreos, 3 se encuentran más superficiales en M10 (S 3, S 5 y S 6) respecto a M9 y los restantes (S 4, S 11 y S 14) el nivel freático se detectó a una mayor profundidad en M10 respecto a M9 (**Figura N° 12-43**).

Figura N° 12-43: Resultados profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreo Invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10).



Fuente: Elaboración Propia

En la totalidad de los puntos de muestreo definidos para el sector de **La Punta-La Brava**, se observó nivel freático a profundidad de trabajo. De estos sólo en S 4 el agua se detectó a mayor profundidad en M10, respecto a M9

En el sector de **Peine**, sólo en 2 calicatas se observó nivel freático a profundidad de trabajo (S 14 y S 11) y en ambos puntos el agua se presentó a mayor profundidad en M10, respecto a M9.

Para el sector de **Tilopozo** en 3 puntos de muestreo se detectó nivel freático a profundidad de trabajo para M9, y no siendo observado para ningún punto del sector para M10.

Respecto a estos resultados, es necesario indicar que debido a las escasas precipitaciones ocurridas en el verano 2021, esto incidió de manera importante en la presencia y/o ausencia de nivel freático a profundidad de trabajo, esto considerando que el principal aporte de agua al perfil de suelo proviene de las lluvias y en aquellos sectores donde la textura del suelo es gruesa y la estrata impermeable se encuentra a mayor profundidad y no existe un aporte de agua proveniente de cuerpos naturales el nivel freático se encuentra más allá de la profundidad de trabajo y no fue detectado en esta campaña.

Esto queda en evidencia por cuanto los puntos con nivel freático a profundidad de trabajo se asocian a lagunas (S 3, S 4, S 5 y S 6), terreno con presencia de agua superficial (S 14) o terrenos deprimidos (S 11).

12.4.2 Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 - 2018 – 2019 - 2020 y 2021

Los valores detallados de cada variable a lo largo de los monitoreos (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8³⁷, M9 y M10) 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.

12.4.2.1 Conductividad Eléctrica

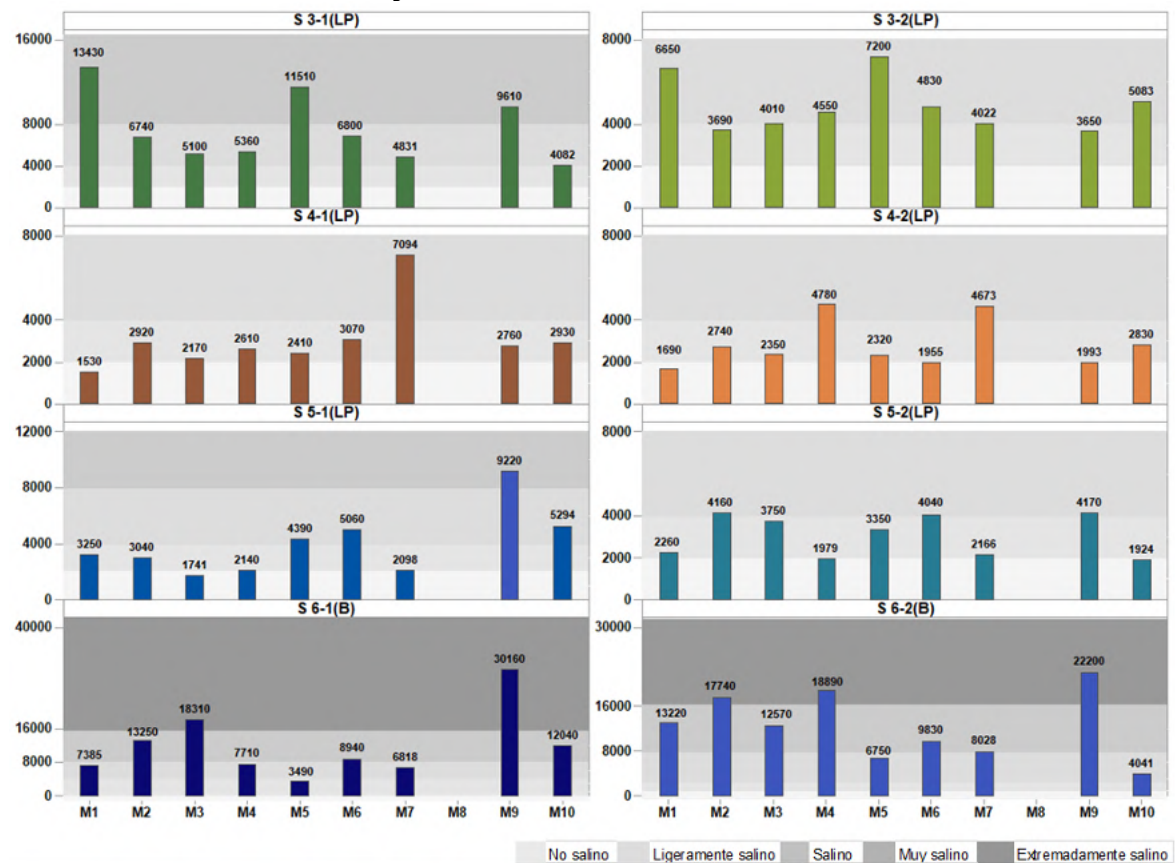
En general para el área de estudio los resultados de la conductividad eléctrica muestran una gran variación numérica y de categoría de salinidad de los suelos, tanto estacional como por punto de muestreo. Esta condición está determinada principalmente por las características intrínsecas de los suelos, 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**.

³⁷ 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.

En el sector **La Punta-La Brava**, en los puntos S 3, S 4 y S 5 la conductividad eléctrica es menor a 8.000 $\mu\text{S/cm}$, excepto para S-3-1 en M1, M5 y M9, como también para S 5-1 en M9, situándose la mayoría de ellos en el rango de 2.000 a 8.000 $\mu\text{S/cm}$ (**ligeramente salino** y **salino**). Mientras que, en el punto S 6, los valores inferiores a 8.000 son escasos (S 6-1 en M1, M4, M5 y M7, y S 6-2 en M5 y M10), incluso alcanzando valores superiores a 30.000 $\mu\text{S/cm}$, dominando las categorías **muy salino** y **extremadamente salino**. Esta variación determina que todos los puntos cambien de categoría de salinidad en algunos de los monitoreos y ninguno de ellos permanezca constante en el tiempo, ver **Figura N° 12-44**.

Figura N° 12-44: Resultados C.E ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



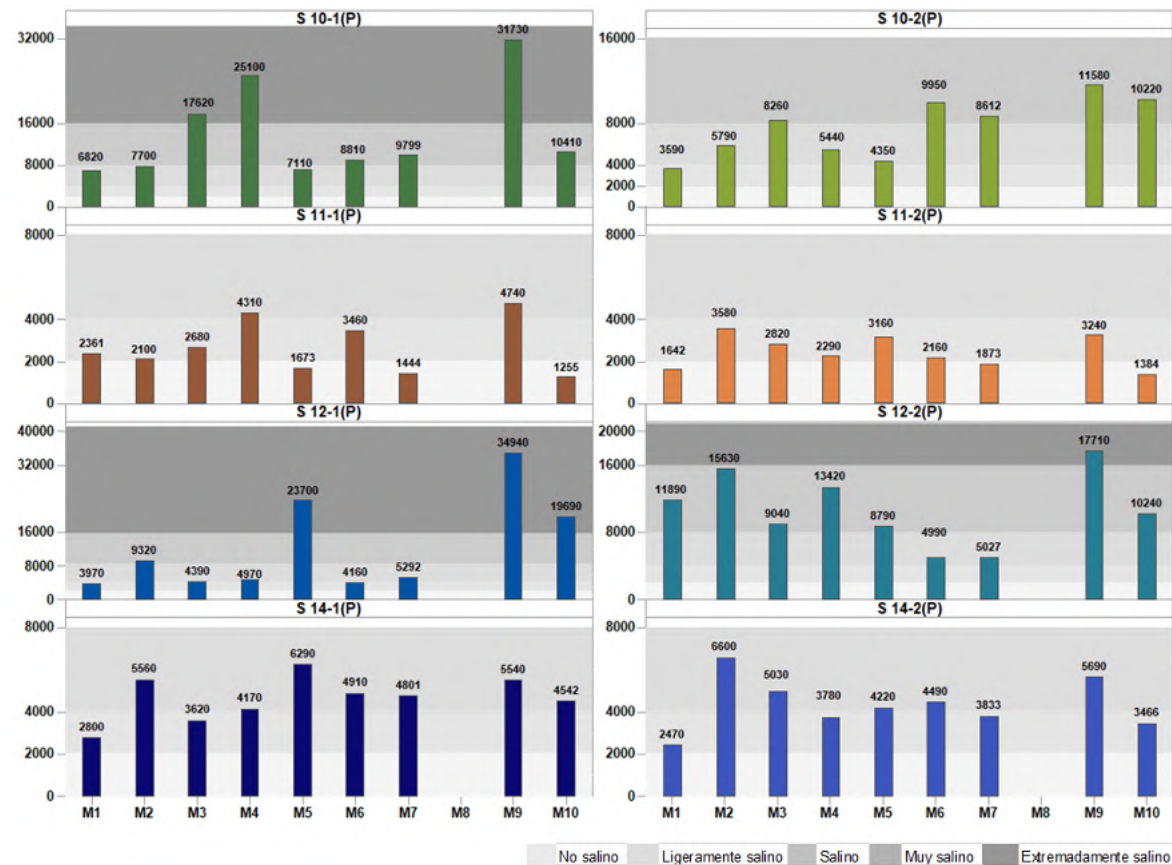
Fuente: elaboración propia

En el sector de **Peine**, en los puntos S 11 y S 14 la conductividad eléctrica es inferior a 8.000 $\mu\text{S/cm}$ y sólo en el primero de ellos se observan algunos puntos donde ésta es menor a 2.000 $\mu\text{S/cm}$, correspondiendo a los puntos S 11-1 (M5, M7 y M10) y S 11-2 (M1, M7 y M10) con una variación entre 1.255 y 6.600 $\mu\text{S/cm}$, 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 $\mu\text{S/cm}$.

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 den 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 M10 (Figura N° 12-45).

Figura N° 12-45: Resultados C.E. (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.



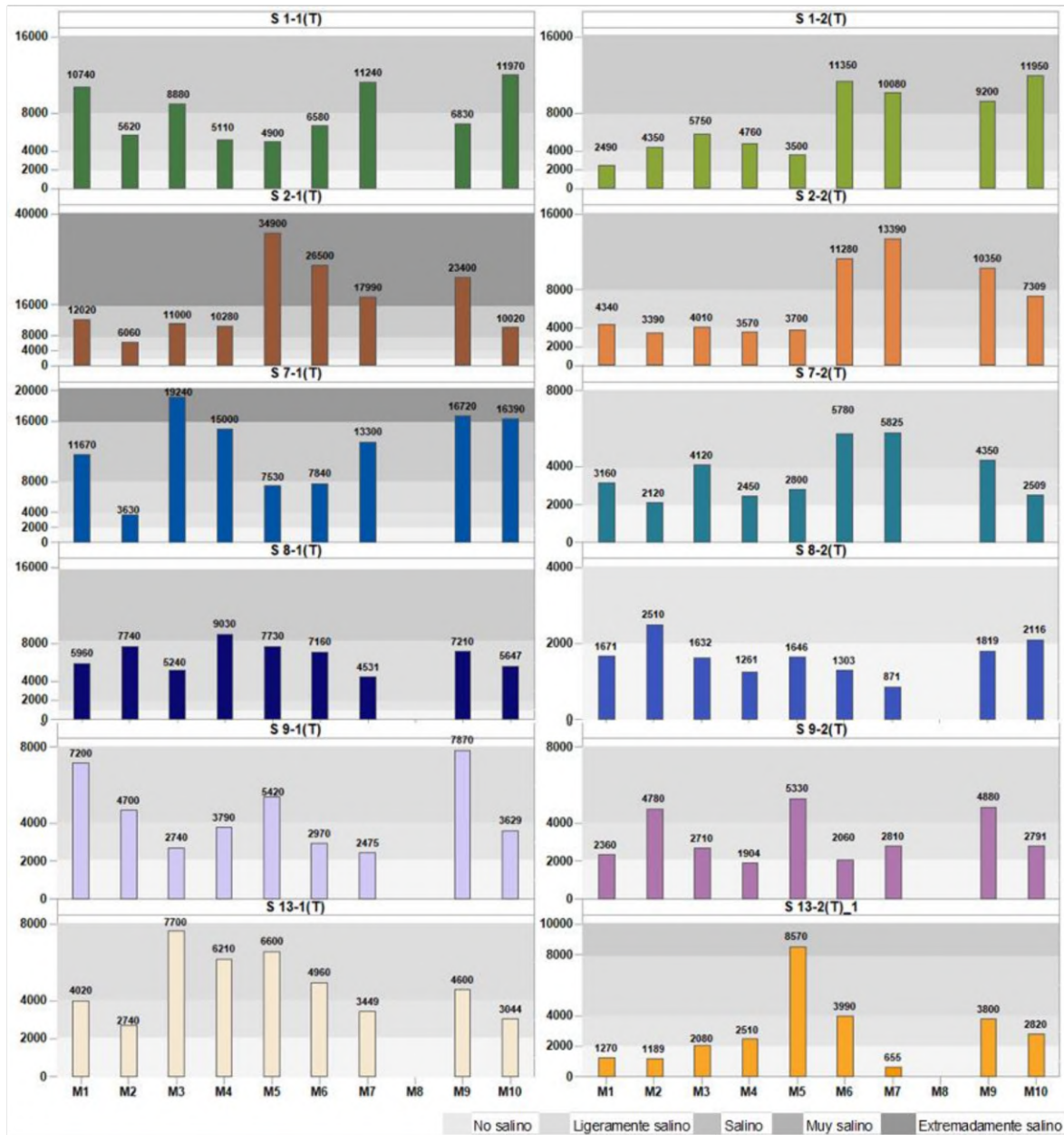
Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Tilopozo**, y tal como se aprecia en la **Figura N° 12-46**, no existe una diferencia significativa 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.

El monitoreo M2, es el que presenta una menor variación numérica de la conductividad eléctrica para todos los puntos (**Figura N° 12-46**) 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° 12-46: Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6 M7, M8, M9 y M10. 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.

12.4.2.2 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**, y a partir de M7 a M10 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 a cambios en la condiciones ambientales y/o antrópicas del área de estudio.

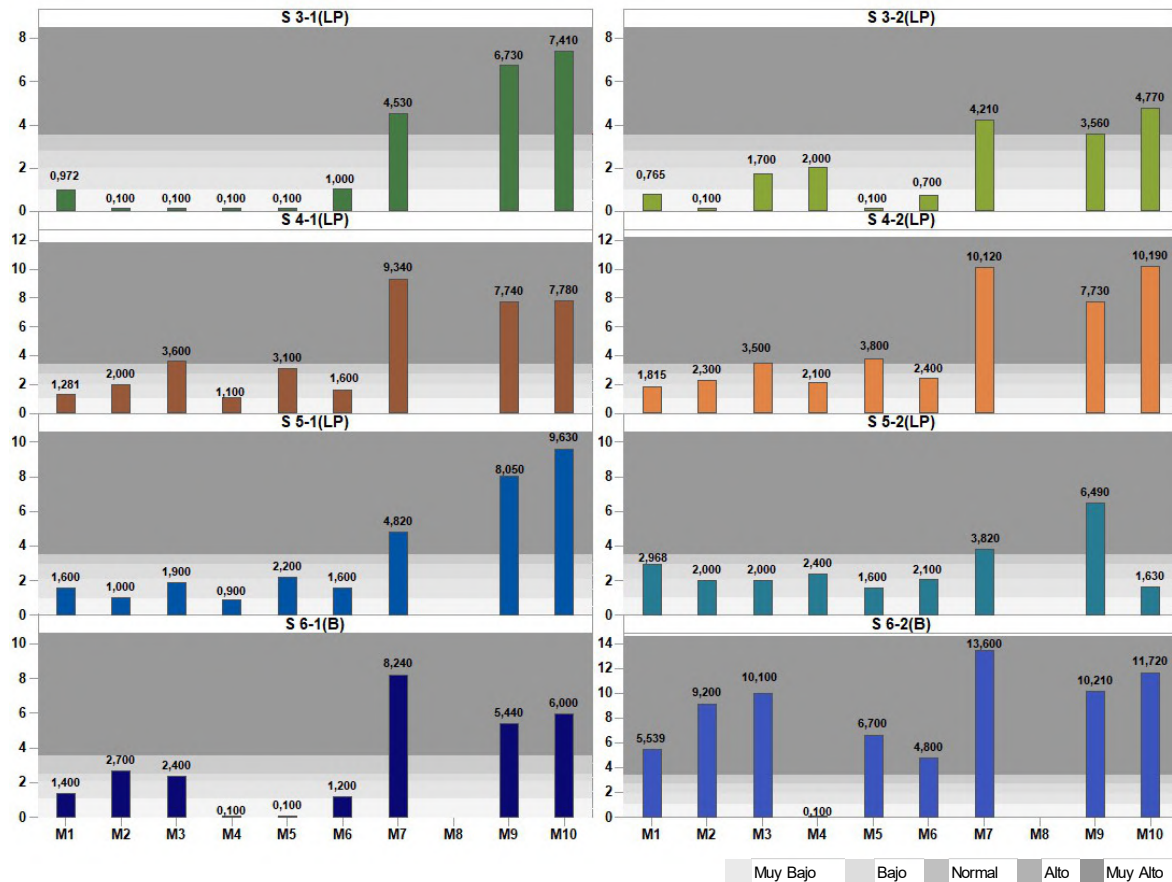
Considerando esto último, se hace pertinente comparar por separado los resultados de M1 a M6 y M7 a M10.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-47**, 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 observa un comportamiento similar estacional, es así que existe similitud entre los resultados de M1 y M6 como también M7, M9 y M10. 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° 12-47**.

Para este sector, aquellos puntos que presentan el mayor porcentaje de materia orgánica por monitoreo corresponden en general a los mismos.

Las variaciones estacionales como la diferencia entre los puntos, se puede atribuir principalmente a las características propias de los suelos que conforman el sector, esto referido exclusivamente a los materiales parentales que lo originaron, los cuales son de muy diversa procedencia como también a las variadas condiciones ambientales entre las estaciones, por lo tanto, la variación en el contenido de materia orgánica no está relacionada con las actividades antrópicas desarrolladas en el área.

Figura N° 12-47: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



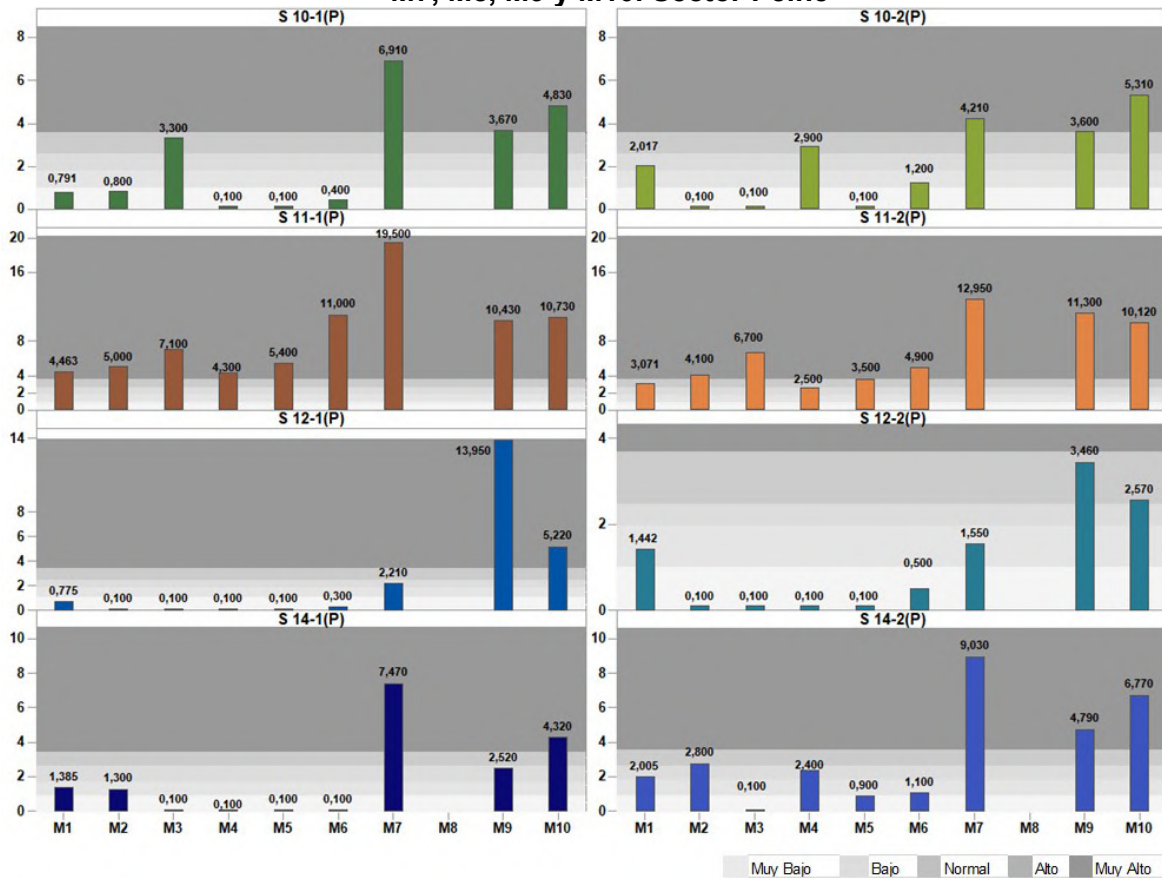
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se aprecia en la **Figura N° 12-48**, 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 frecuencia la categoría **muy alta**, excepto en M1, M4 y M5 donde ésta es **alta**, punto asociado a un sector con vegetación azonal (humedal).

En los monitoreos M7 a M10 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° 12-48**). Sin embargo y tal como se indicó anteriormente, este aumento en los valores es coincidente con el cambio de laboratorio y se ha mantenido, esto implica que no necesariamente corresponde a cambios en las condiciones del sustrato, si no al manejo de las muestras en laboratorio, por lo que se esperan los resultados de las siguientes campañas.

Figura N° 12-48: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine

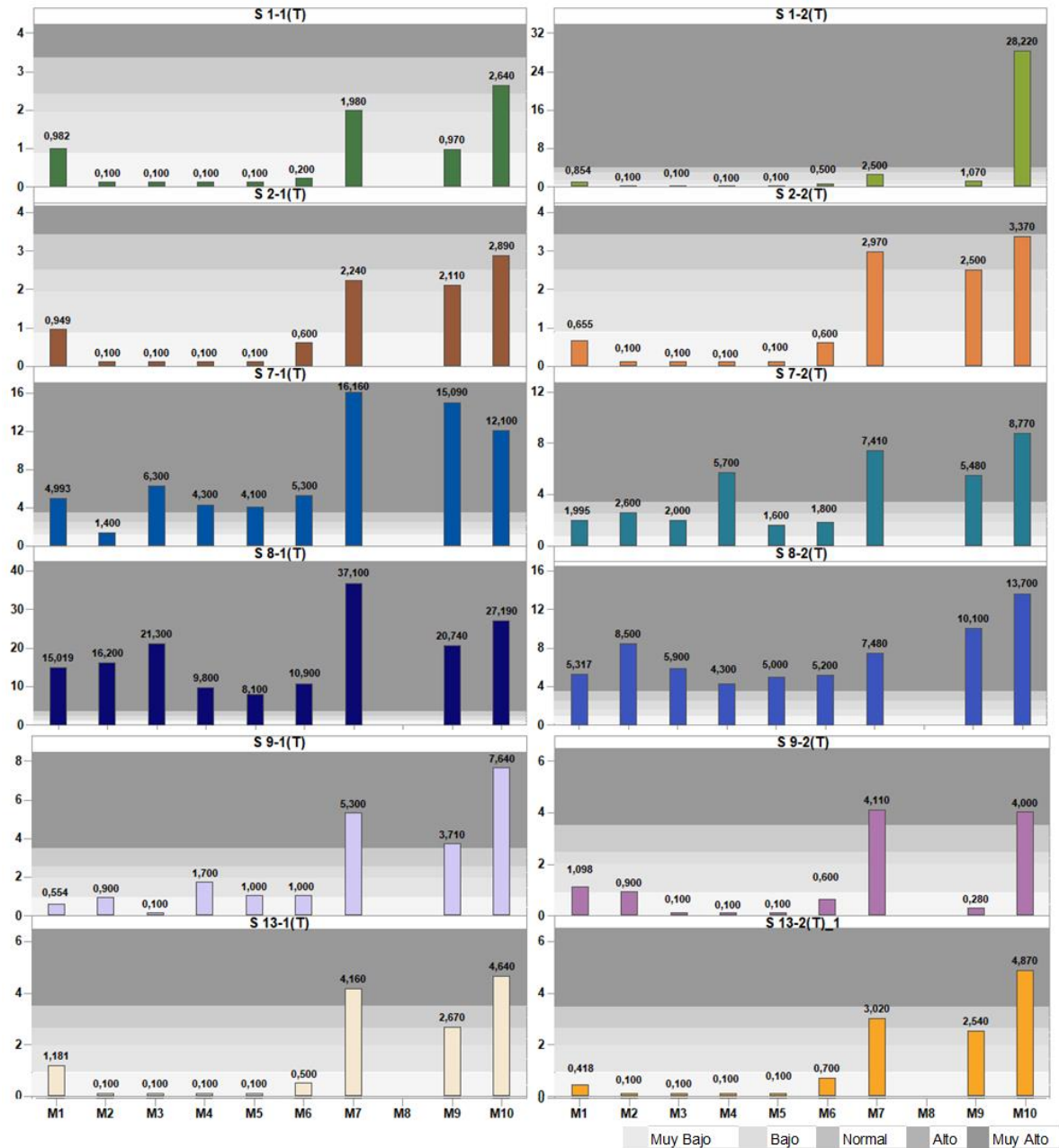


Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Tilopozo**, y tal como se observa en la **Figura N° 12-49**, en los monitoreos M1 a M6 los puntos S 1, S 2, S 9 y S 13 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 M10 (**muy baja a muy alta**).

Mientras que, en los puntos S 7-1, S 8-1 y S 8-2 para M7, M9 y M10, la materia orgánica es **muy alta**, 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 y M10 (**Figura N° 12-49**), siendo estos los puntos más estables de los monitoreos para el sector, tanto en su estrato superficial como en profundidad.

Figura N° 12-49: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

En general para los monitoreos M1 a M6, en el sector de **La Punta-La Brava**, se observa amplia variación numérica, y por lo tanto, en las categorías de todos los puntos excepto en S 6-2 que es más estable respecto a la categoría. Mientras que, en **Peine** aun cuando existe una variación numérica no es muy amplia por lo cual los cambios de categoría son menores que en el sector anterior, en este último destaca el punto S 11 donde se presentan principalmente valores **alto** y **muy alto** de materia orgánica, y en Tilopozo se observa una

mayor estabilidad en las categorías y en los valores de materia orgánica, destacando los puntos S 7 y S 8, con lo mayores porcentaje.

Respecto a los monitoreos M7 a M10, los cuales presentan un aumento en la materia orgánica en relación a los monitoreos anteriores y en la mayoría de ellos corresponde a la categoría **muy alta**, esto último coincide con el cambio de laboratorio, por lo que es necesario verificar el comportamiento en los próximos monitoreos.

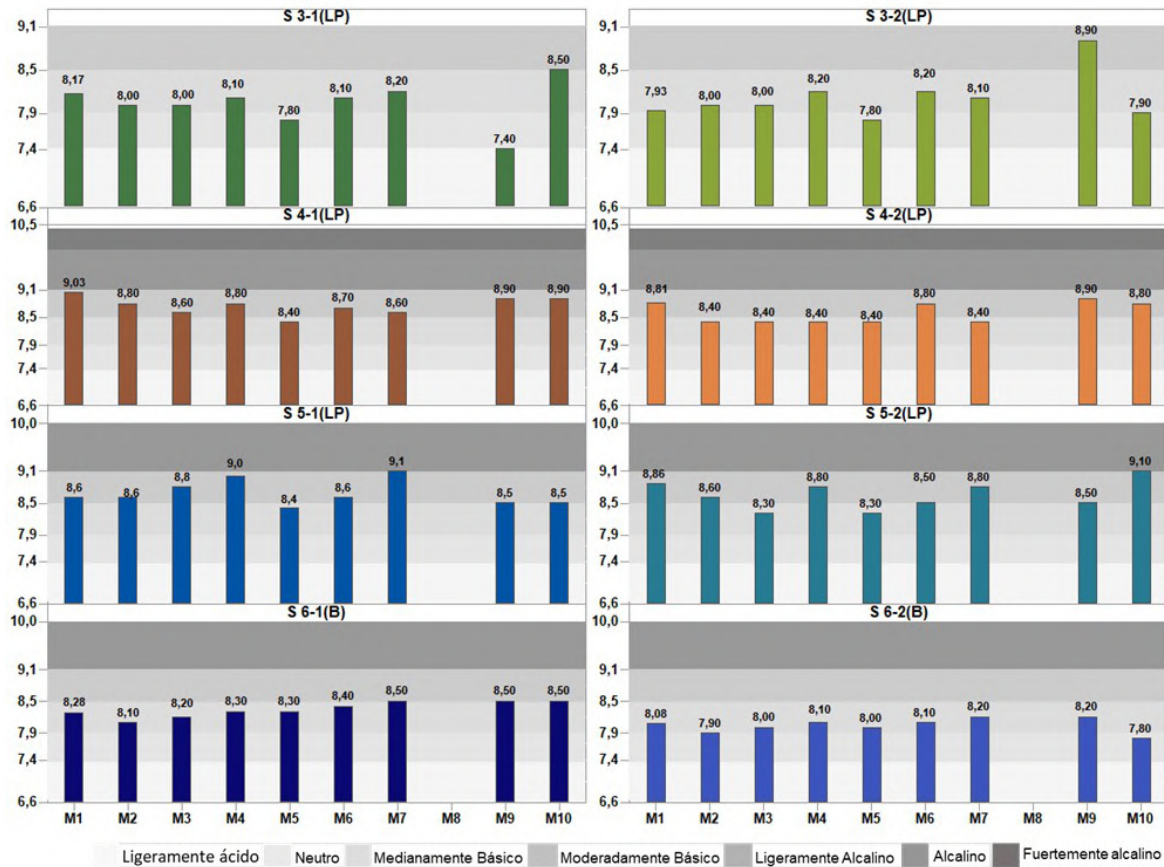
En general para el área de estudio los mayores valores para todos los monitoreos se presentan en puntos asociados a vegetación del tipo azonal (humedal), excepto el punto S 6-2 el cual se asocia a una zona denudada y con una estrata salina en superficie, pero se podría deber a la presencia de abundantes restos vegetales provenientes de antiguas vegas que fueron cubiertas por aluviones.

12.4.2.3 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 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 los monitoreos M1, M2, M3, M4, M6, M7, M9 y M10, aun cuando presentan una variación numérica en el pH mantienen las mismas categorías (**moderadamente básico o ligeramente alcalino**). En cambio, en M5 se observa una leve acidificación del suelo, lo que implica 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° 12-50: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



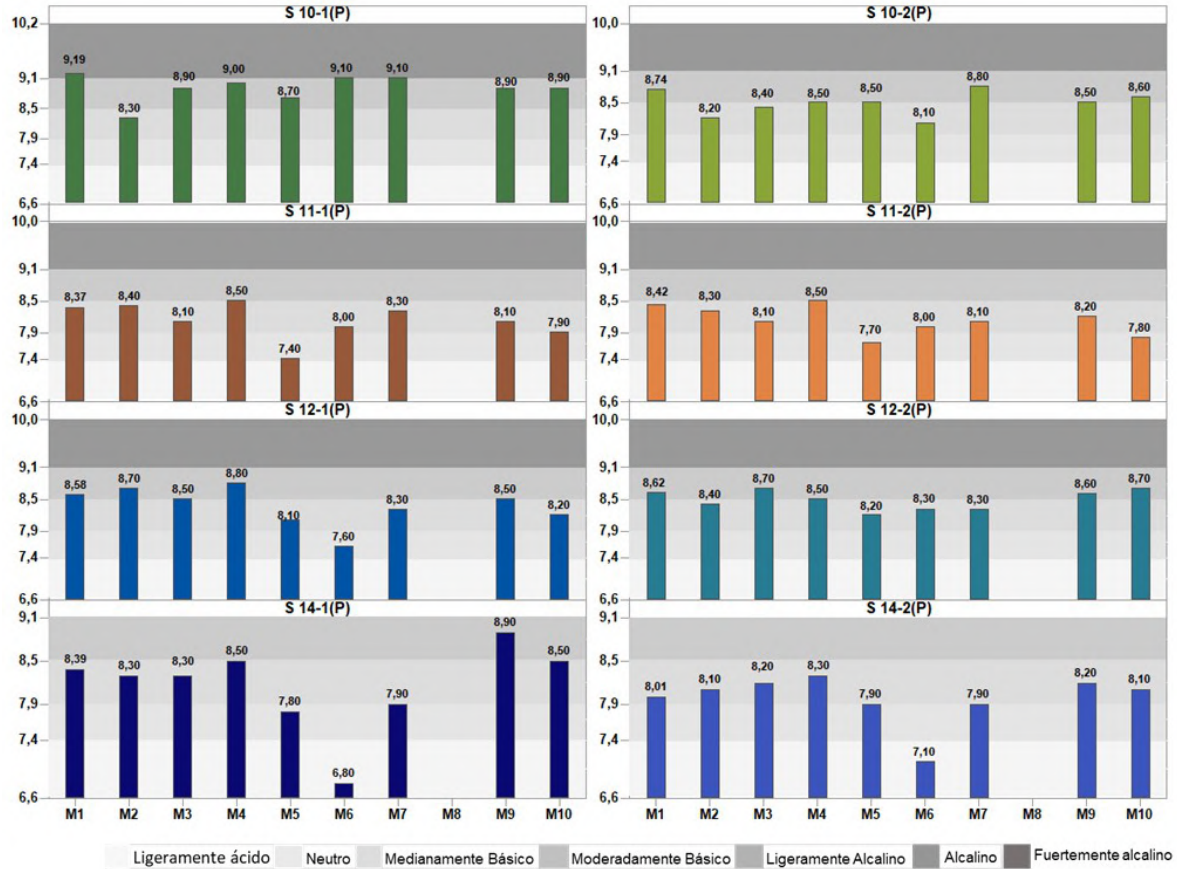
Fuente: Elaboración Propia

Para este sector se observa una estabilidad del pH de los suelos respecto a la categoría, aun cuando existe una variación numérica.

En el sector de **Peine**, en los monitoreos M1 a M4 y M7 a M10, 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° 12-51**), 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 alcalino** y **alcalinos**.

Figura N° 12-51: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.

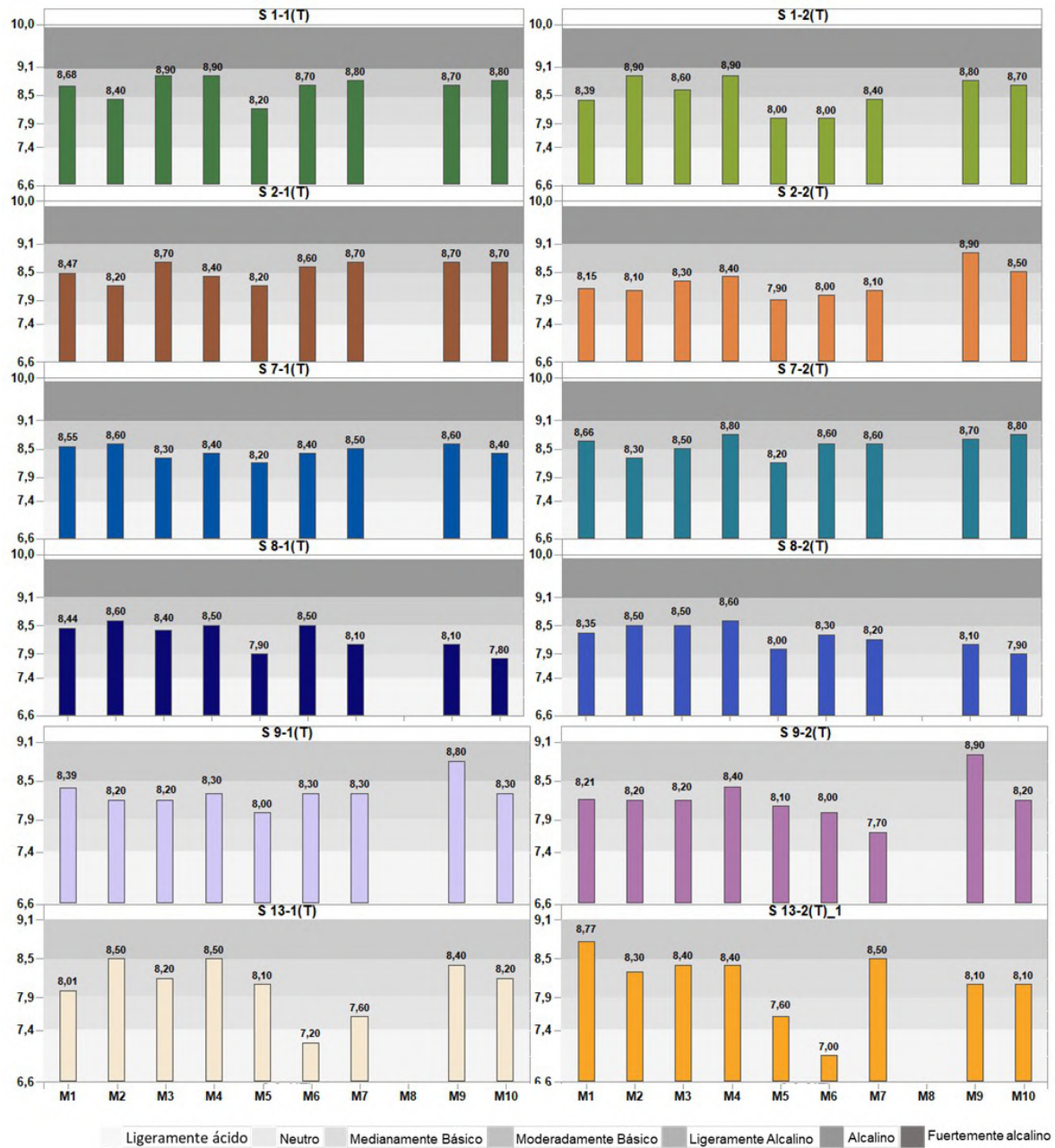


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Tilopozo**, los monitoreos M1 a M4 y M6 a M10 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 donde es **neutro** (Figura N° 12-52).

Figura N° 12-52: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia

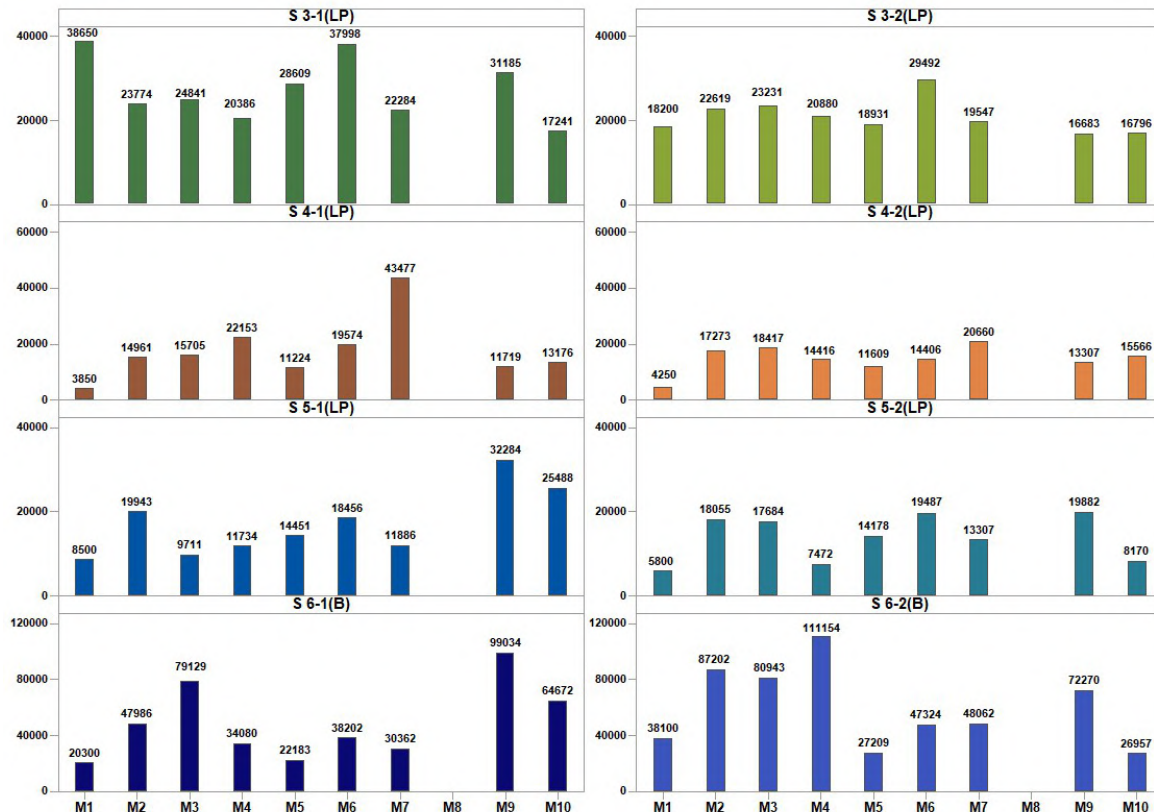
Tal como se observa en la **Figura N° 12-52**, en el sector de **Tilopozo** se observan variaciones numéricas en el pH entre monitoreos para un mismo punto, y en general este cambio ocasiona cambios en la categoría, manteniéndose. En general en dos categorías y muy escasos los puntos donde éste involucre tres categorías, por lo que, esto indica que el sector presenta una relativa estabilidad, y los cambio 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. Sin embargo, no se puede atribuir a actividades antrópicas esta condición, 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.

12.4.2.4 Salinidad

Para el sector **La Punta-La Brava**, tal como se observa en la **Figura N° 12-53**, 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 y S 3-2, los cuales disminuyen desde M2 a M5. Posteriormente, se produce un aumento alcanzando valores similares a los monitoreos anteriores en M6 y volviendo a disminuir en M7, M9 y M10, pero siempre superior a M1.

Figura N° 12-53: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



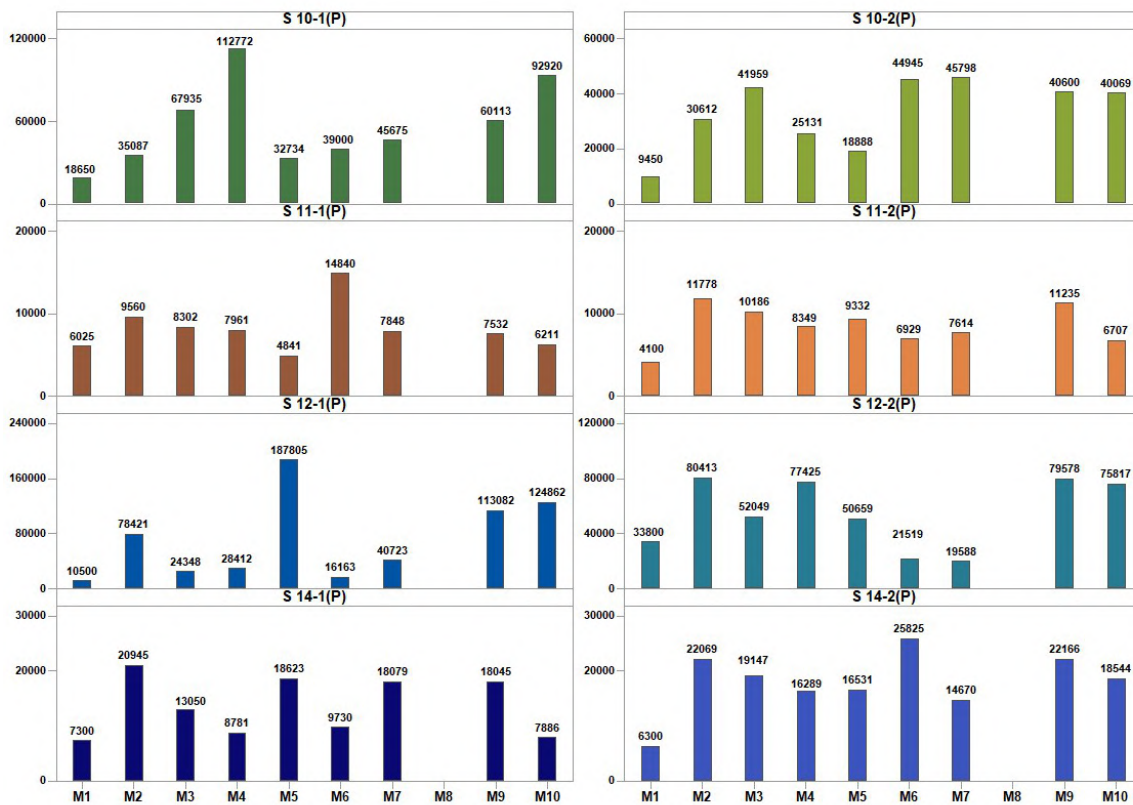
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 12-53**, para este sector en general los puntos donde se determinaron las mayores concentración son siempre los mismos (S 6-1, S 6-2, S 3-1 y S 3-2), aun cuando se presentan variaciones numéricas entre los diferentes monitoreos para estos

puntos. Situación que también se presenta para el punto S 5-1 en los monitoreos M9 y M10, 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 en los restantes se observa una gran variabilidad. No se observan una diferencia o similitudes entre los monitoreos invernales y estivales (**Figura N° 12-54**).

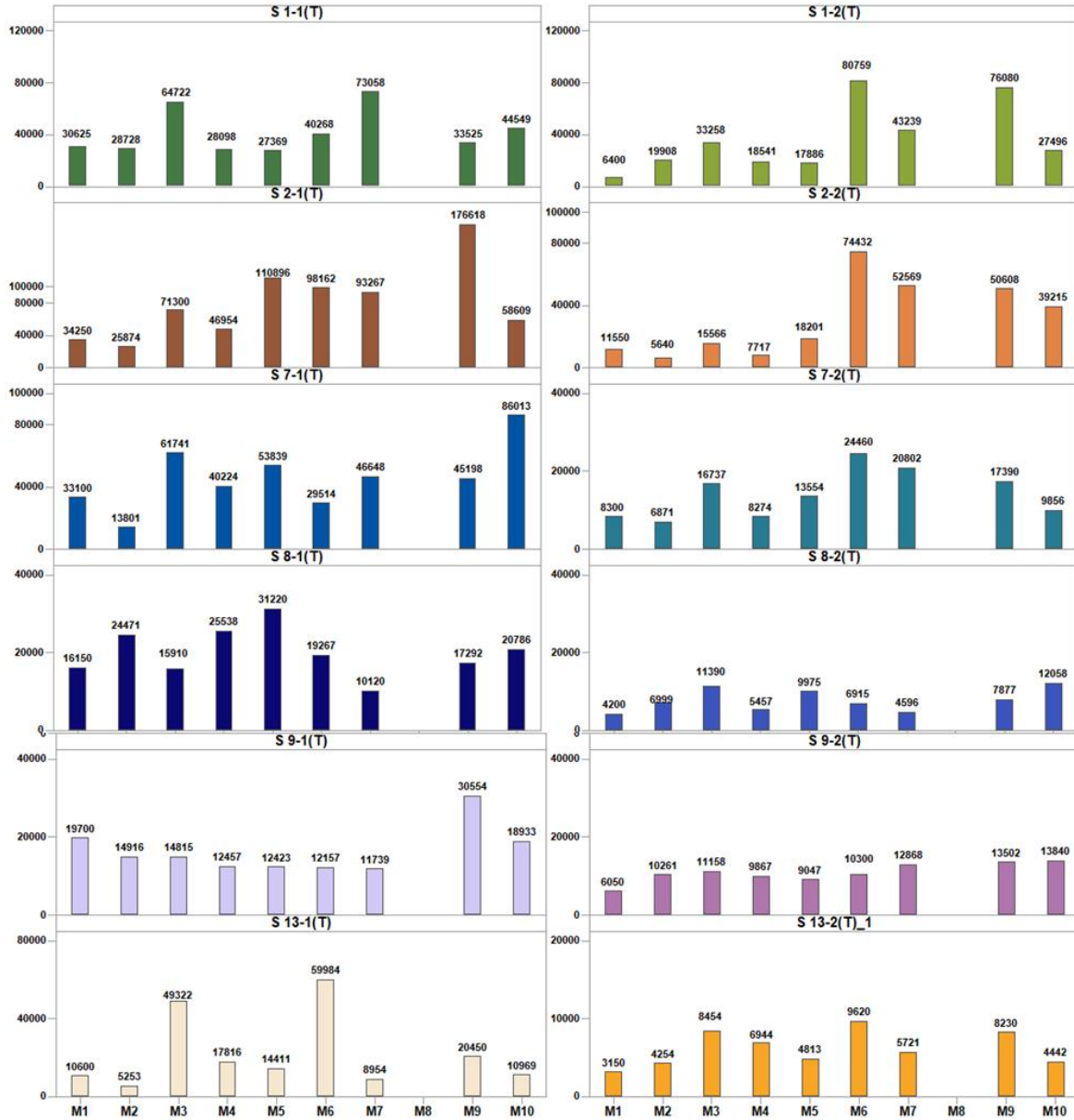
Figura N° 12-54: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.



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 entre monitoreos. Sin embargo, destaca el punto S 2-1 como el de mayor concentración en todos los monitoreos, excepto en M2 y M10 donde ocupa el segundo lugar (**Figura N° 12-55**).

Figura N° 12-55: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. 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, clima, 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

12.4.2.5 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.

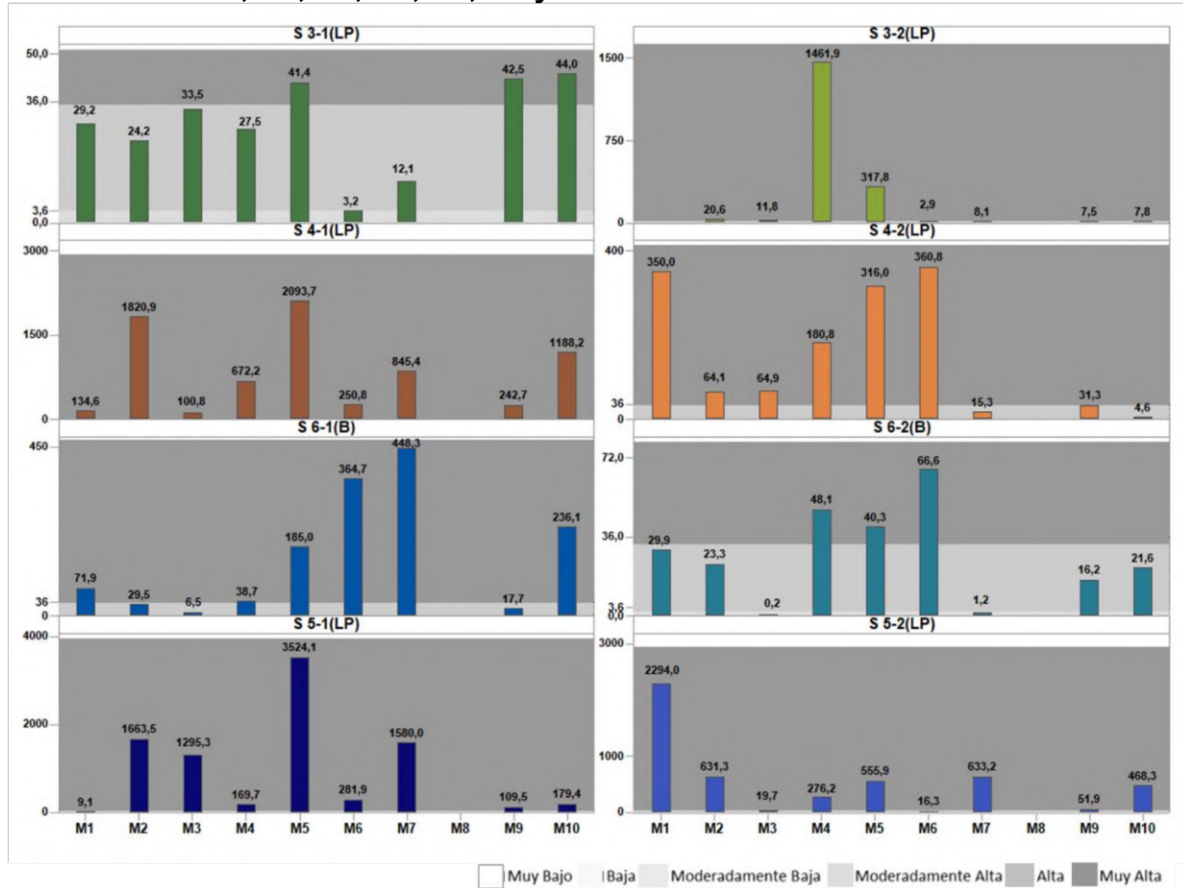
Este sector se caracteriza por presentar una gran variabilidad en la velocidad de infiltración del agua entre puntos para los diferentes monitoreos. Tanto para M1 como M2 y M9, en la mitad de los puntos la permeabilidad es **muy alta**, y en los restantes puntos es **alta**. Mientras que, en M3 y M7, en la mitad de los puntos la velocidad de infiltración es **alta**, en otros (3) **muy alta** y en uno **moderadamente alta (Figura N° 12-56)**.

En la mayoría de los puntos de M4 y en la totalidad de M5 y M10, 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 puntos esta es **moderadamente alta** y **alta**, ver **Figura N° 12-56**.

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° 12-56)**.

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 variación en los suelos se debe a la heterogeneidad de los materiales parentales, que conforman el sustrato del sector.

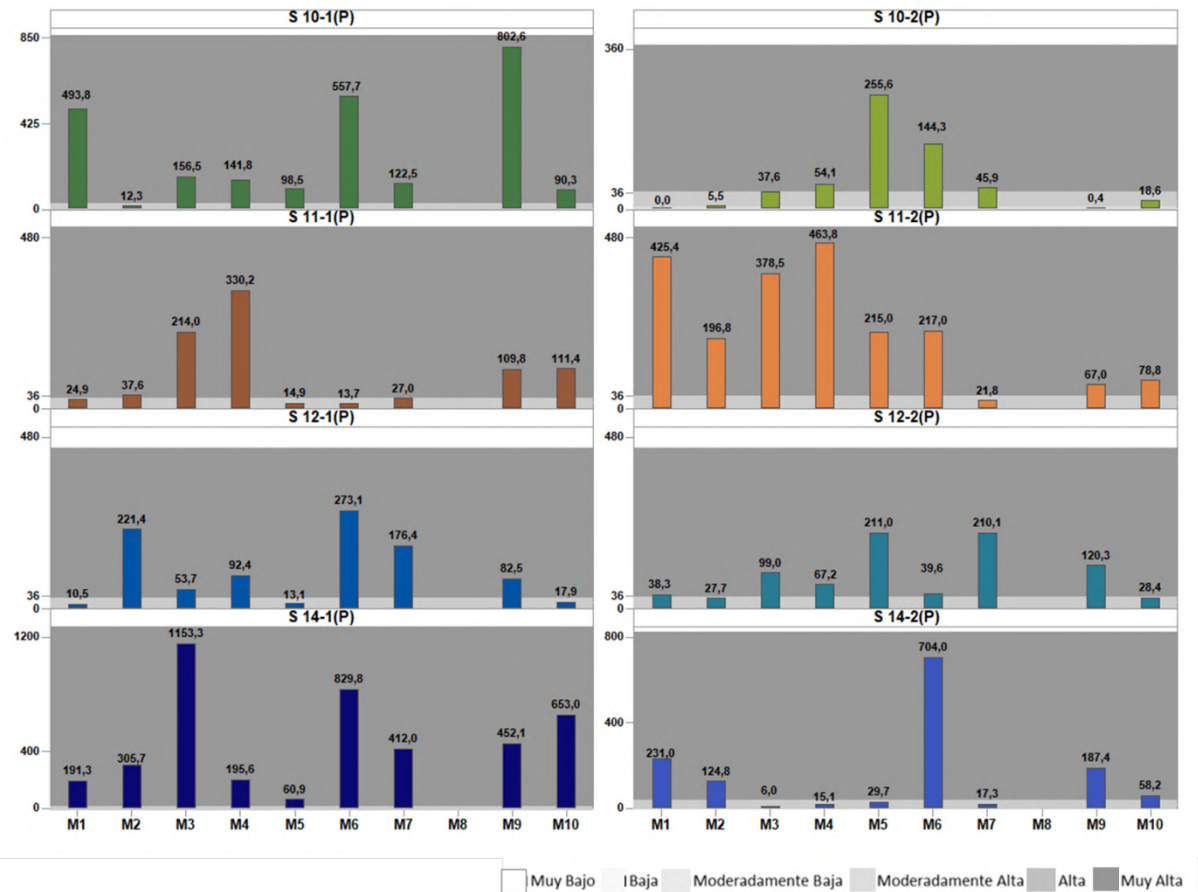
Figura N° 12-56: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



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 y M10, la mayoría de los puntos presenta una permeabilidad **muy alta** y en los menos es **alta** (Figura N° 12-57). Mientras que, en M9 la permeabilidad de la mayoría de los puntos es **muy alta**, y solo en un es moderadamente **alta**.

Figura N° 12-57: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

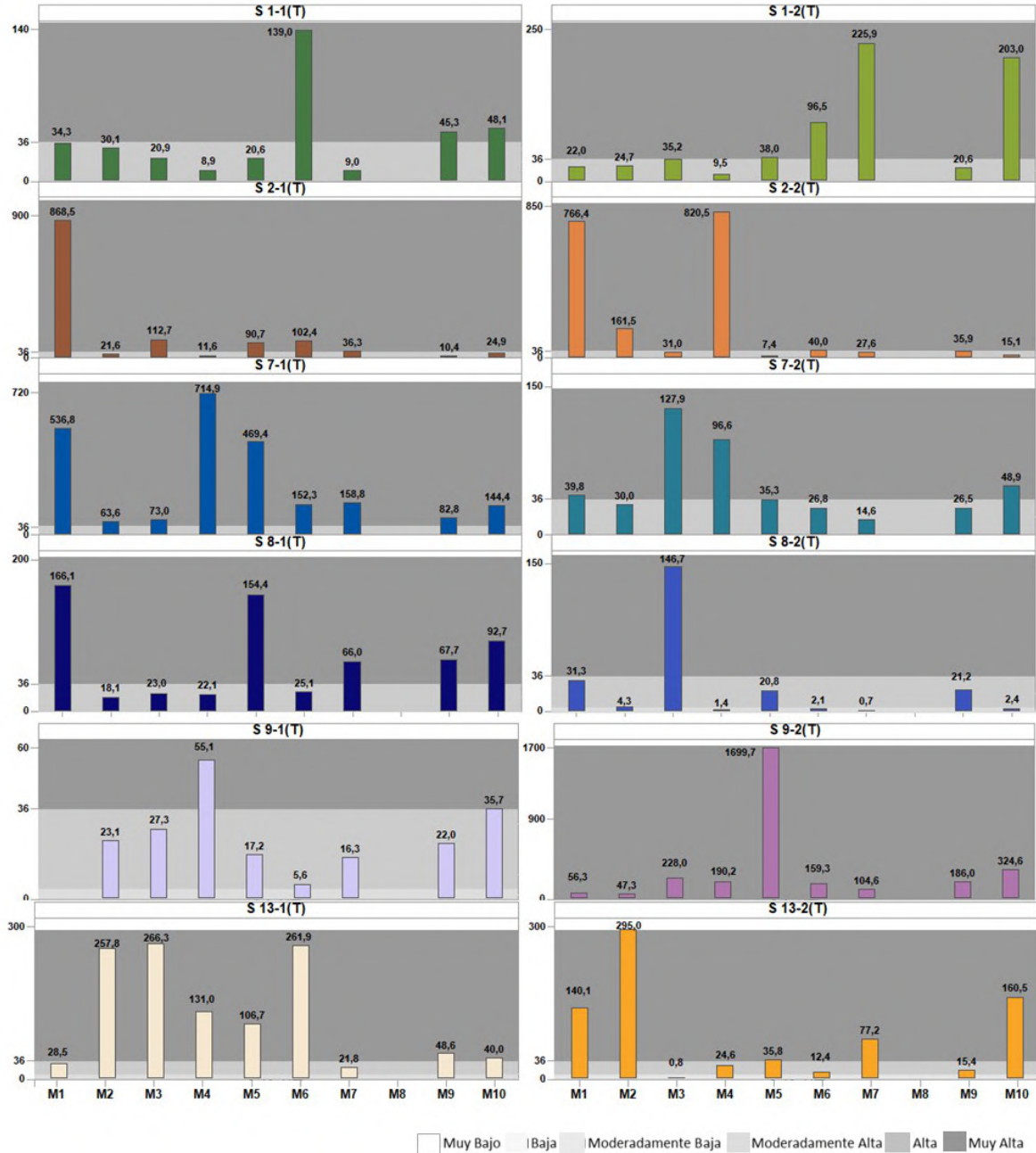
Aun cuando, se observa una gran variabilidad en los resultados de la velocidad de infiltración del agua en el sector de **Peine**, solo el punto S 14-1 mantiene la categoría (**muy alta**) en todos los monitoreos (**Figura N° 12-57**). Esta variabilidad en la velocidad es la condición esperable, la cual 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 y M9 la velocidad que predomina en los suelos es **alta** (**Figura N° 12-58**).

Sector en el cual destacan también los puntos S 13-2 (M3) y S 8-2 (M4, M6 y M7), cuya permeabilidad es **moderadamente alta** (Figura N° 12-58).

Figura N° 12-58: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10. 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 paso de maquinaria pesada, que afecte la compactación de los suelos u otro tipo de actividad que la altere.

12.4.2.6 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 M10. 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 la de mayor frecuencia y sólo en un punto (S 4-1, M4) el nitrógeno es **muy bajo (Figura N° 12-59)**.

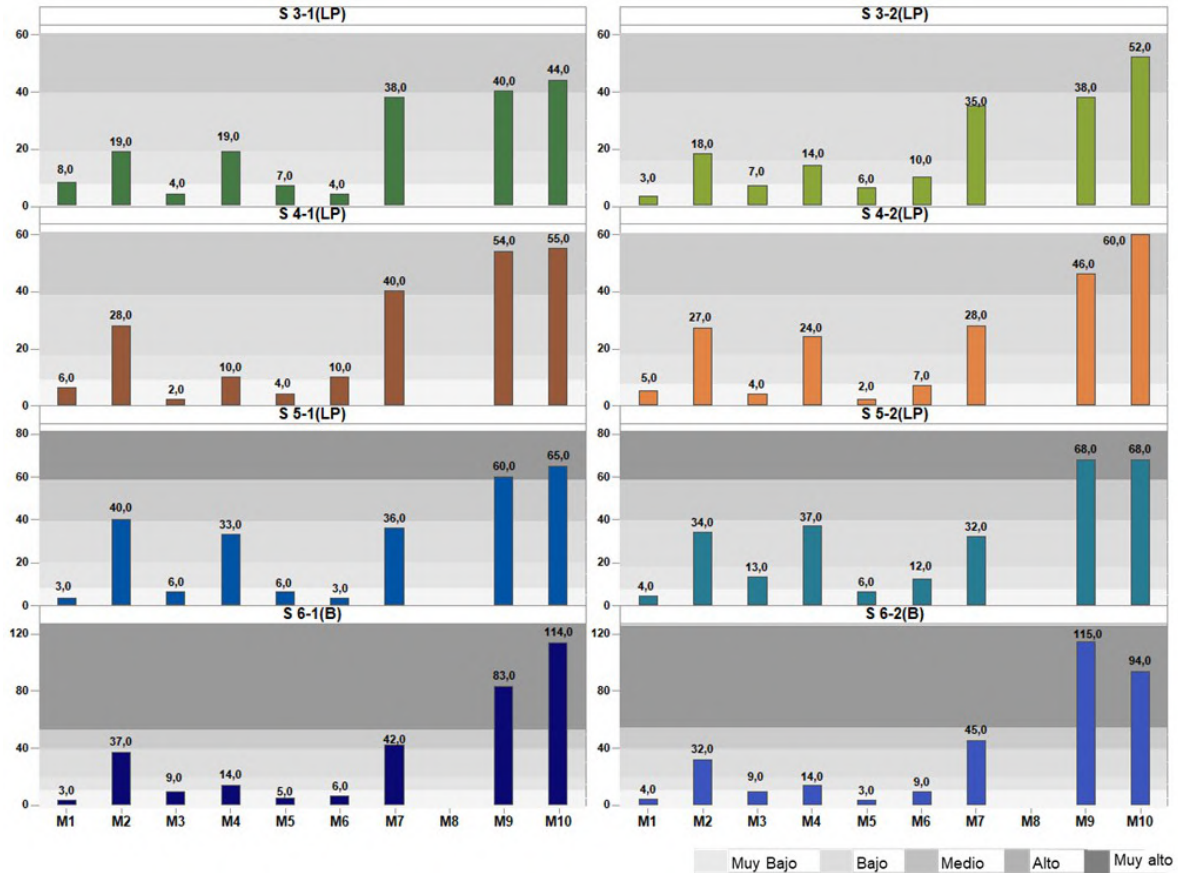
En cambio, a partir de M7 se observa un aumento en la disponibilidad de nitrógeno para todos los puntos, siendo **media** (S 3, S 4 y S5) y **alta** (S 6) para M7, **media** (S 3), **alta** (S 4 y S 5-1) y **muy alta** (S 5-2 y S 6) para M9, y **alta** (S 3 y S 4) y **muy alta** (S 5 y S 6) para M10, y tal como se señaló anteriormente, aún no se puede obtener una conclusión antes este cambio, ya que se podría deber sólo a esto último y no a cambios en las condiciones del nutriente en el suelo.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-59**, 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 3 últimos monitoreos, se observa que M10 (estival) y M9 (invernal) presentan valores similares en cuanto a disponibilidad de nitrógeno, mientras que, M7 (invernal) presenta la totalidad de valores inferiores a M9 y M10.

Por lo tanto, la disponibilidad de nitrógeno está 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° 12-59: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

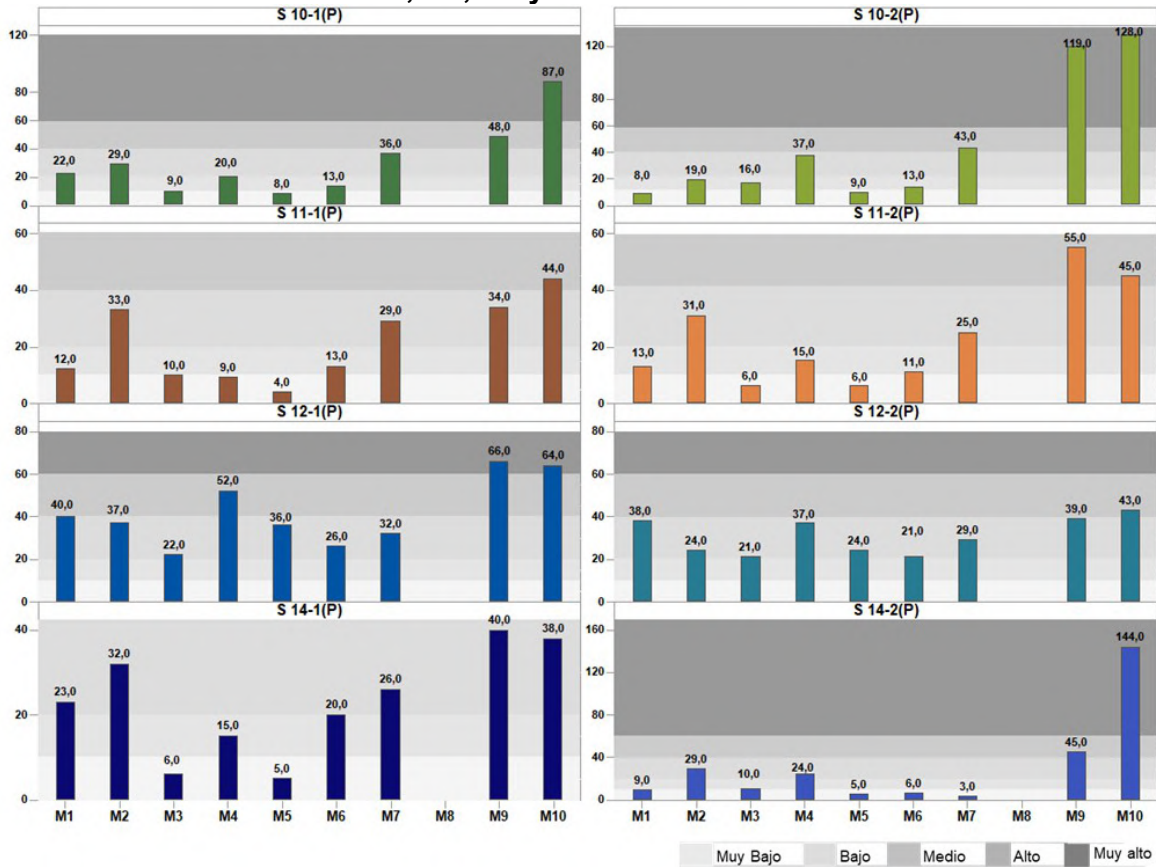
En el sector de **Peine**, destaca el punto S 12, en el cual en la totalidad de los monitoreos la disponibilidad varía de **media** a **muy alta** y en los restantes la variación tanto numérica como en categoría es amplia. Es así como en M5 la mayoría de los puntos (6) presenta una disponibilidad **muy 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 y M10 varía de **media** a **alta** (Figura N° 12-60).

Estos resultados son un indicador de que no existe una relación entre la estación de monitoreo y los valores de disponibilidad del nitrógeno.

Figura N° 12-60: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

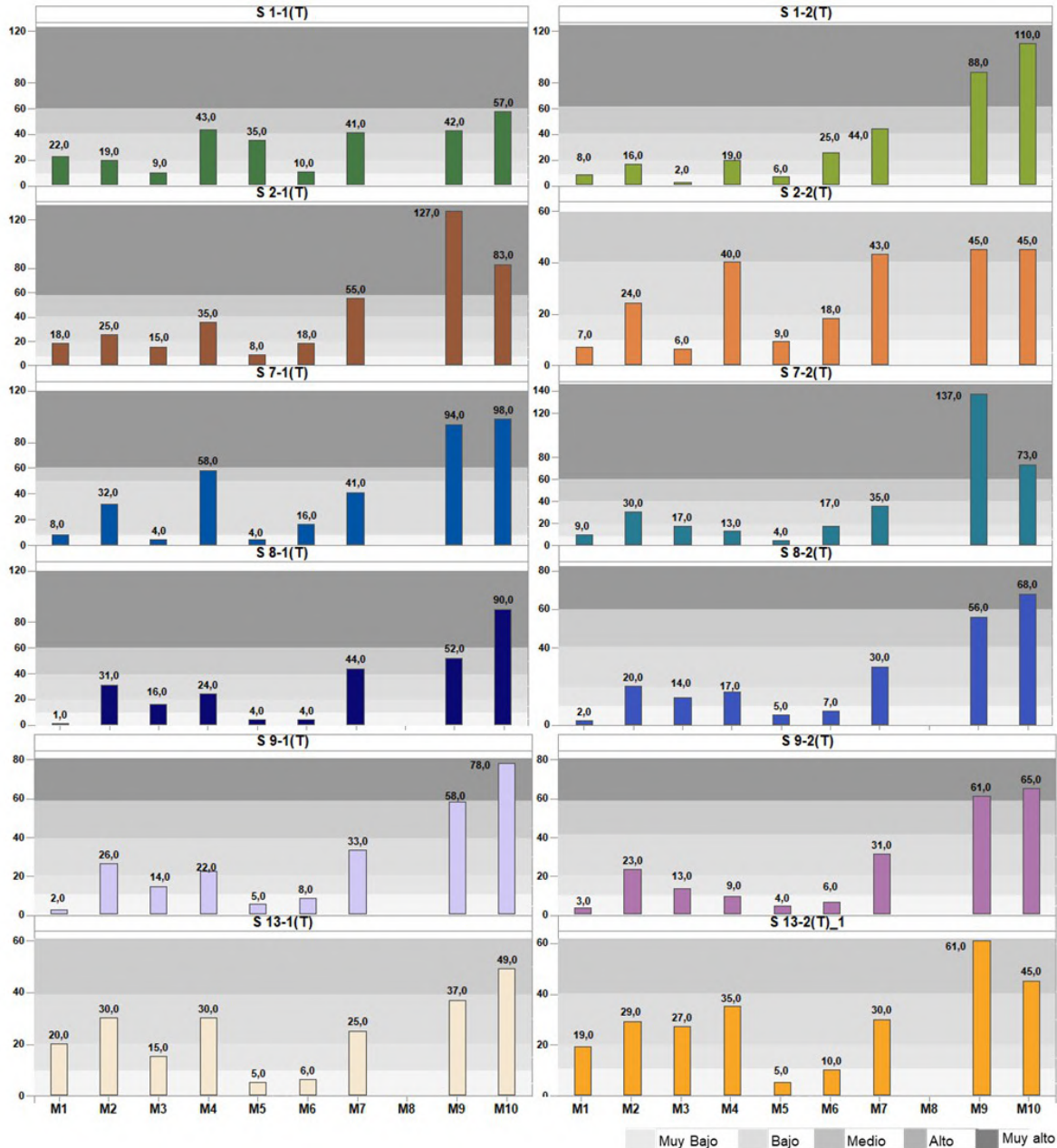
En el sector de **Peine**, considerando la variabilidad en la concentración de nitrógeno de los puntos para los diferentes monitoreos realizados, indica que este es el comportamiento normal de los suelos y que los cambios entre una evaluación y otra se deberían exclusivamente a las condiciones naturales 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 la concentración de nitrógeno en los suelos 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**, ver **Figura N° 12-61**, 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° 12-61**.

Figura N° 12-61: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. 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 M10, 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 M10, son similares los resultados determinados para M9 y M10 respecto a valores más altos y M7 presenta valores inferiores pero siempre sobre 25 mg/kg (disponibilidad **media**), excepto S 14-2 para M7 donde el nitrógeno es **muy bajo**.

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.

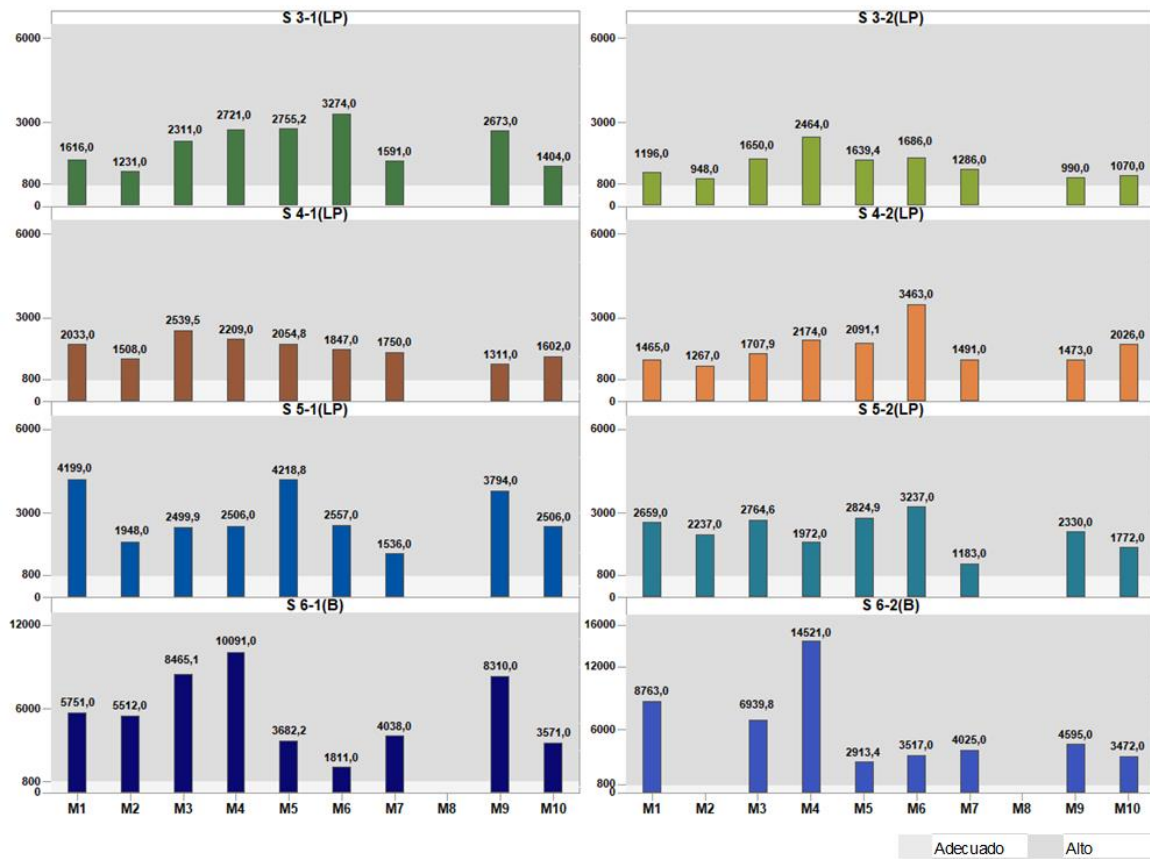
b) Potasio

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° 12-62**).

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 y M6, ver **Figura N° 12-62**. Valores que se encuentran mayoritariamente bajo los 4.000 mg/kg, siendo muy escasos los puntos donde éste es superior.

Figura N° 12-62. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2³⁸, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.



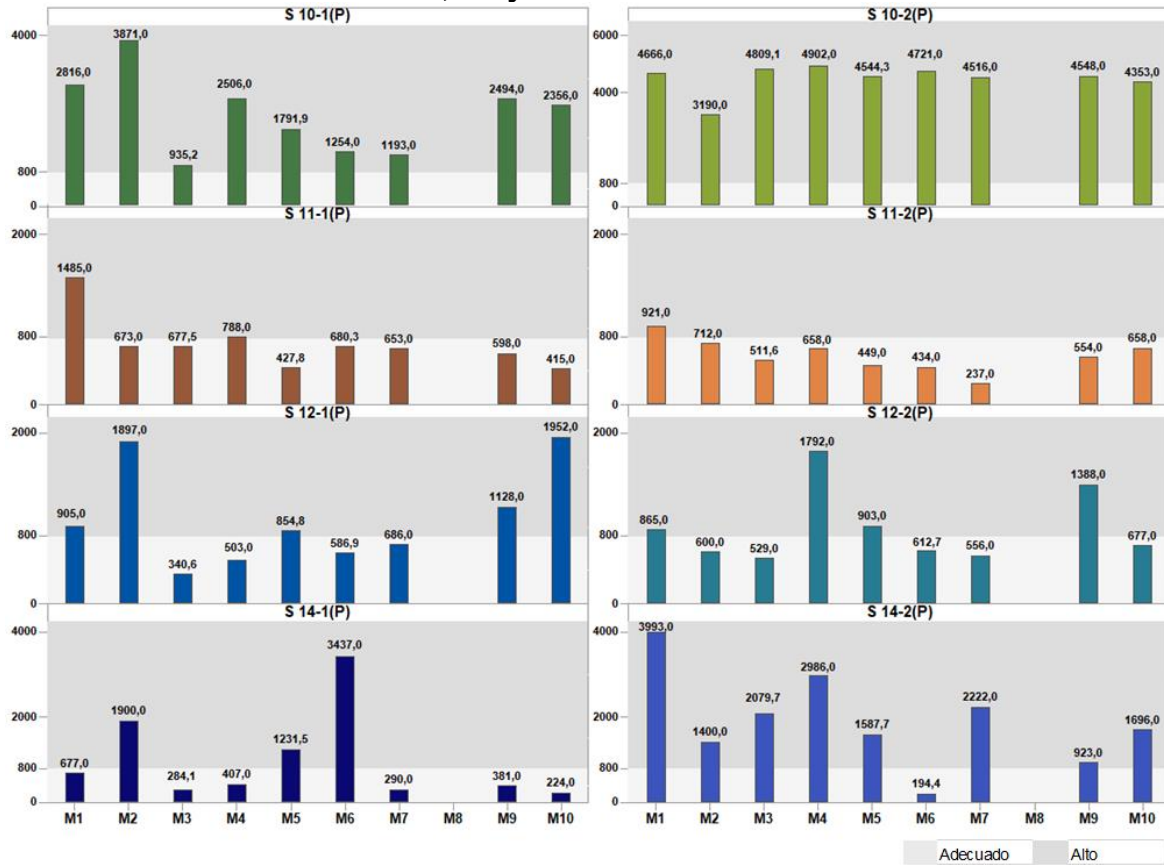
Fuente: Elaboración Propia

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 M10) 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° 12-63).

³⁸ 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° 12-63: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.

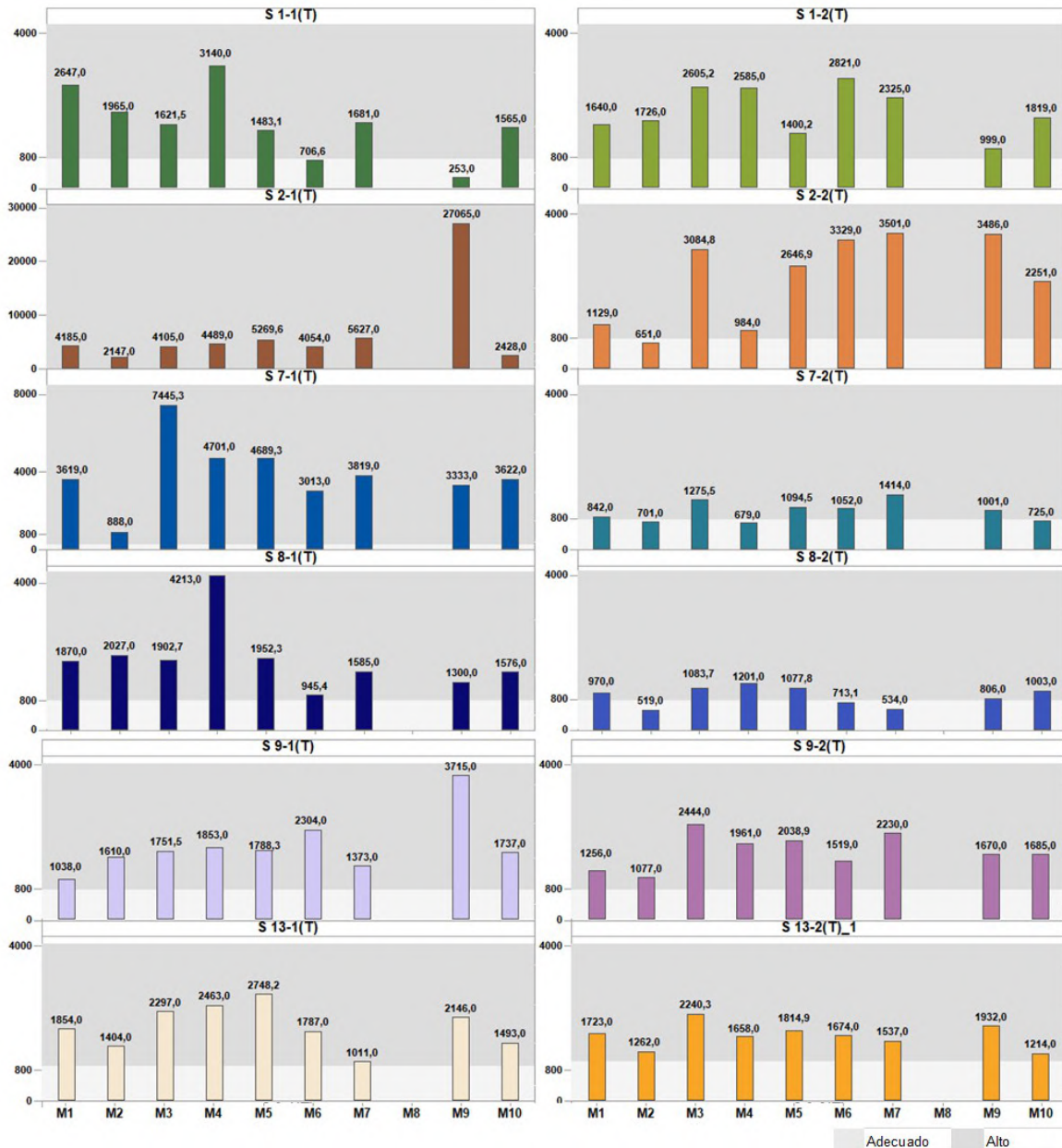


Fuente: Elaboración Propia

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° 12-64), observándose fluctuaciones en la concentración de los mismos puntos, para las diferentes evaluaciones.

Figura N° 12-64: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10. 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° 12-64**). 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

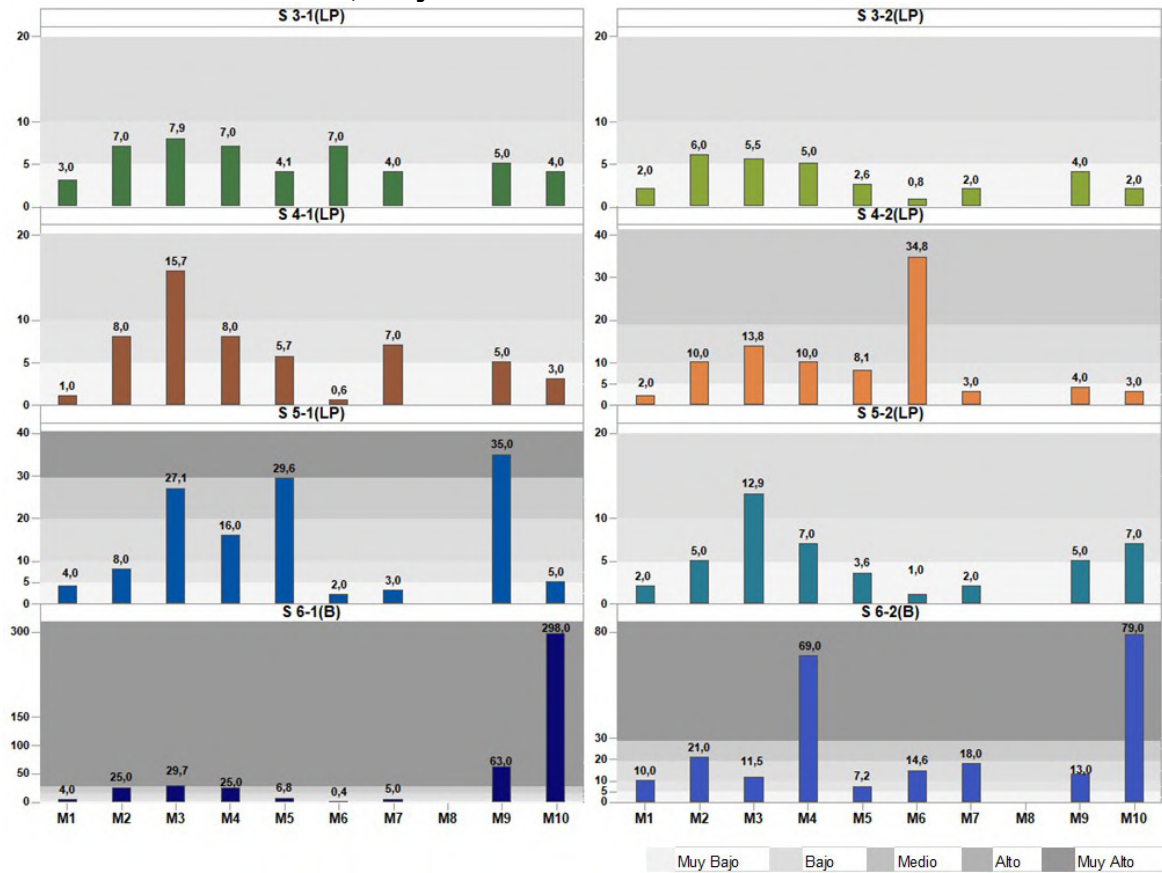
Para el área de estudio y considerando la totalidad de los monitoreos se observa que los suelos de disponibilidad **muy baja** son los de mayor frecuencia, posteriormente los **bajo** y **medio**, y los suelos de disponibilidad **alta** y **muy alta** son los menos frecuentes.

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° 12-65**), luego iniciar nuevamente un aumento a partir de M7 y en esto 3 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 y M10 en la mayoría de los puntos, el potasio disponible de 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° 12-65**).

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° 12-65**). 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° 12-65: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.

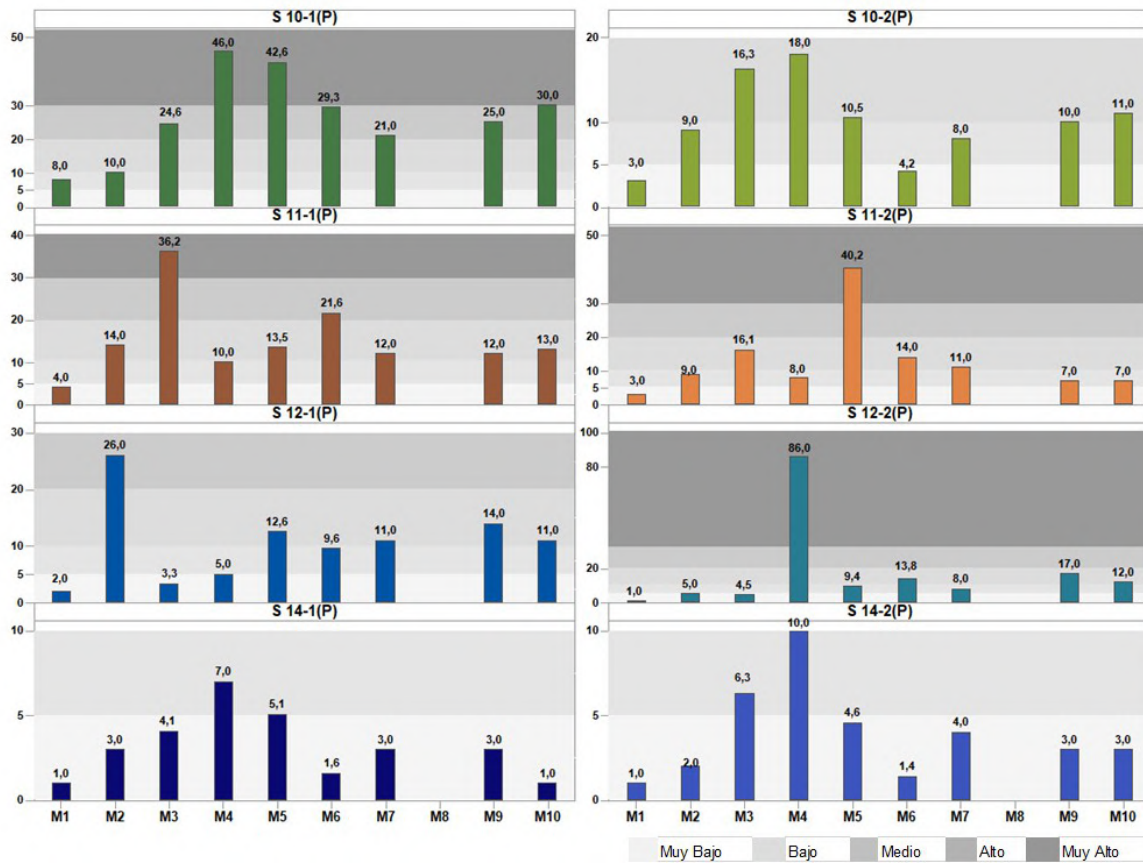


Fuente: Elaboración Propia

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° 12-66**). 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 M10) 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° 12-66: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

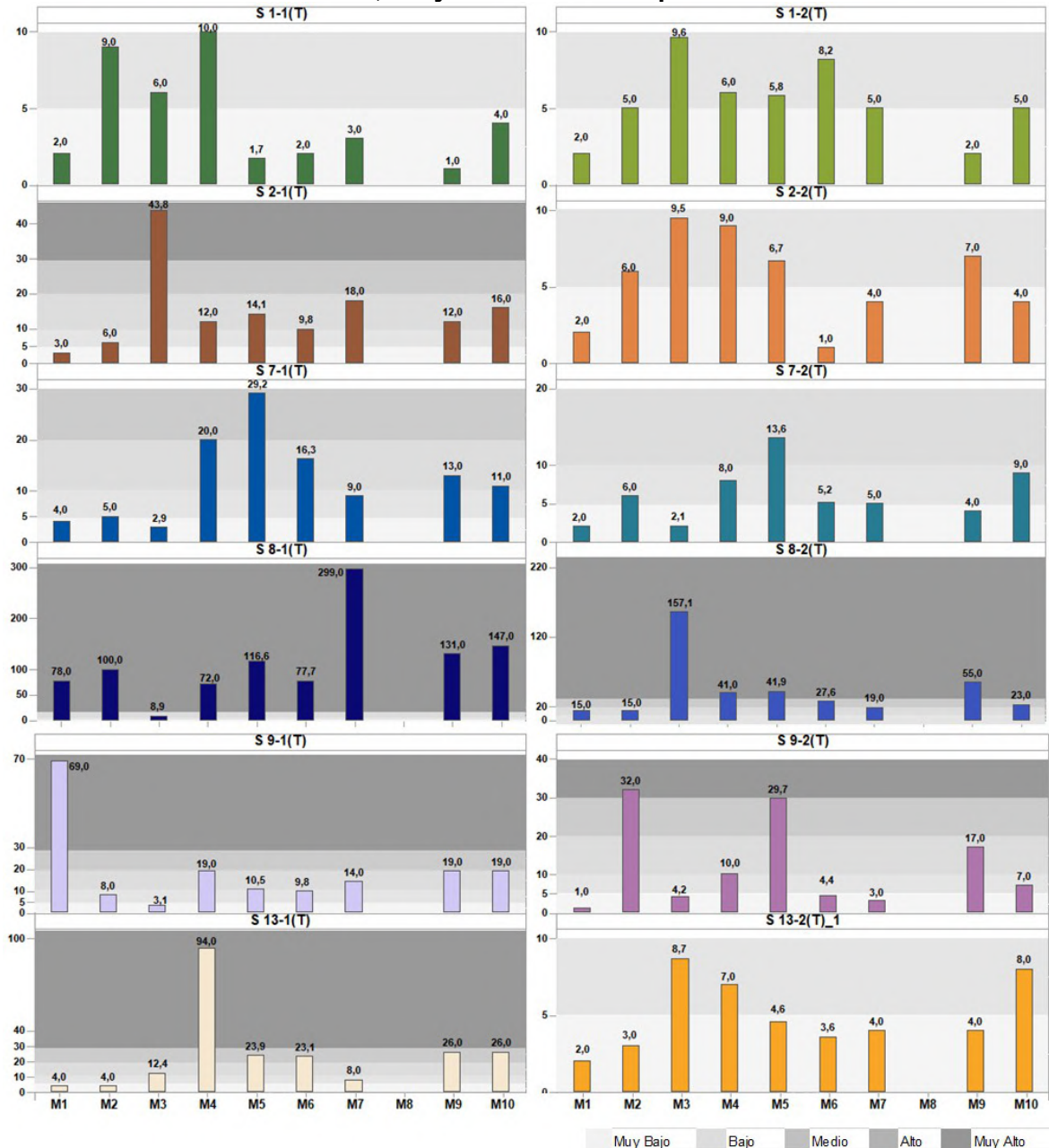
En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la concentración de fósforo a partir de M2 a M10, en estos las concentraciones son casi siempre mayores a los determinados para M1 (**Figura N° 12-67**) excepto para los puntos S 8-1 y S 9-1 y en general, los valores de fósforo disponible son más similares para los monitoreos M4, M5, M9 y M10, 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 M10, y la **muy alta** está presente en todos los monitoreos, pero en un reducido número de puntos, ver **Figura N° 12-67**.

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° 12-67**). 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° 12-67: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Tilpozo.



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.

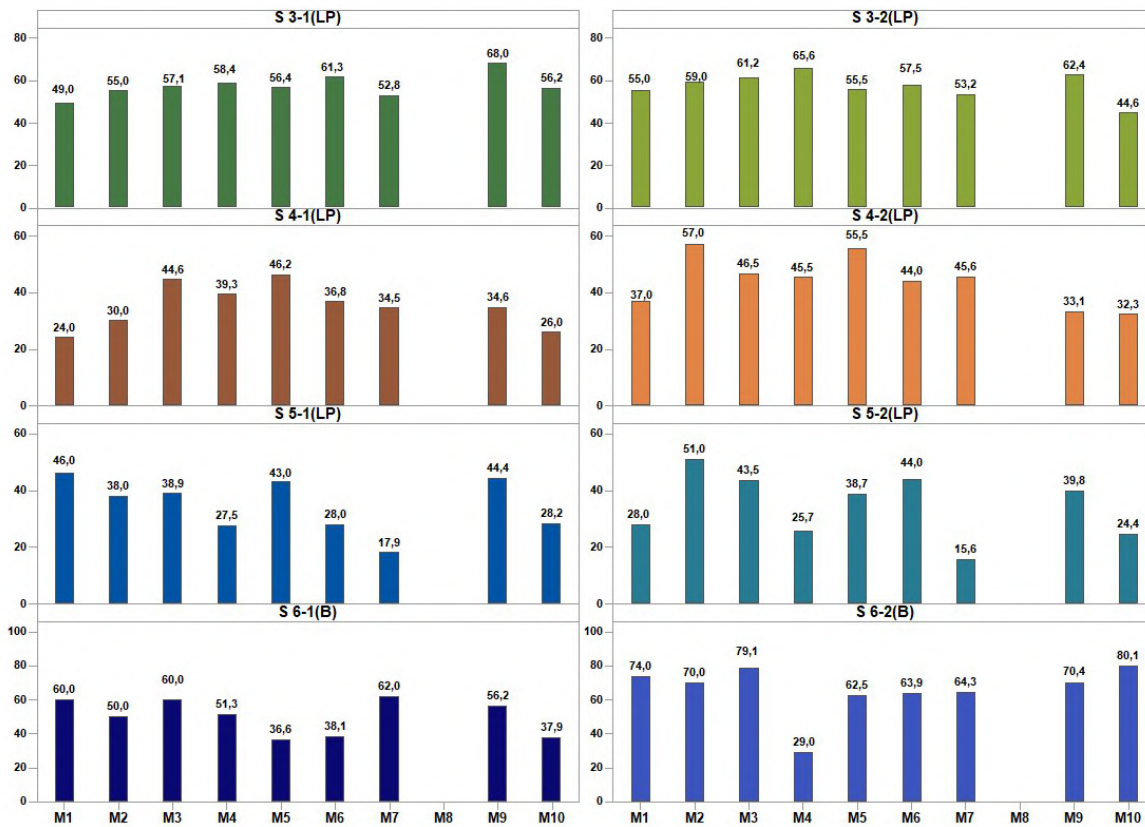
La condición heterogénea de los materiales que constituyen los suelos y su accionar sobre los otros factores, explicaría las variaciones en la concentración de los mismos puntos para los diferentes monitoreos, indicando además que no existen actividades antrópicas locales, que afecten la concentración del fósforo.

12.4.2.7 Humedad

En general y considerando todos los monitoreos (M1 a M10) 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° 12-68**.

Figura N° 12-68: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector La Punta-La Brava.

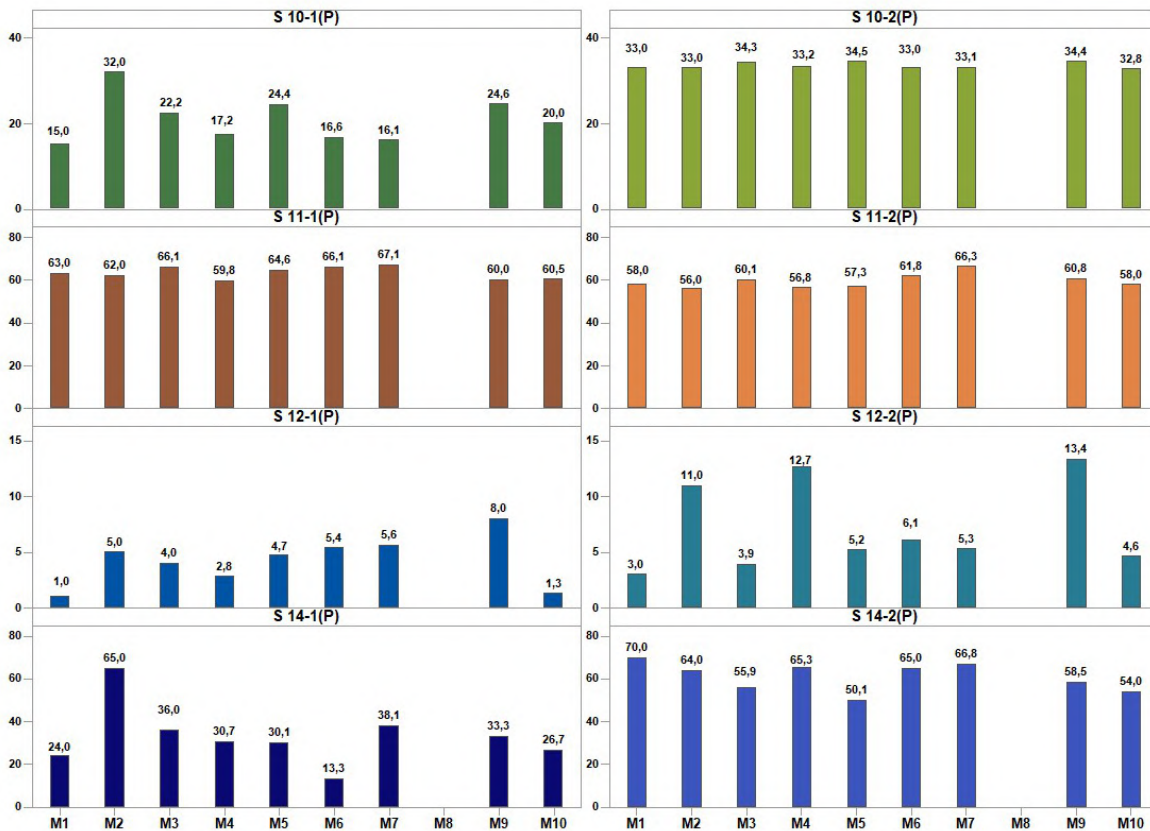


Fuente: Elaboración Propia

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° 12-69**), no existiendo una relación entre la estacionalidad y el contenido de humedad.

Figura N° 12-69: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

Para el área 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 y S 11).

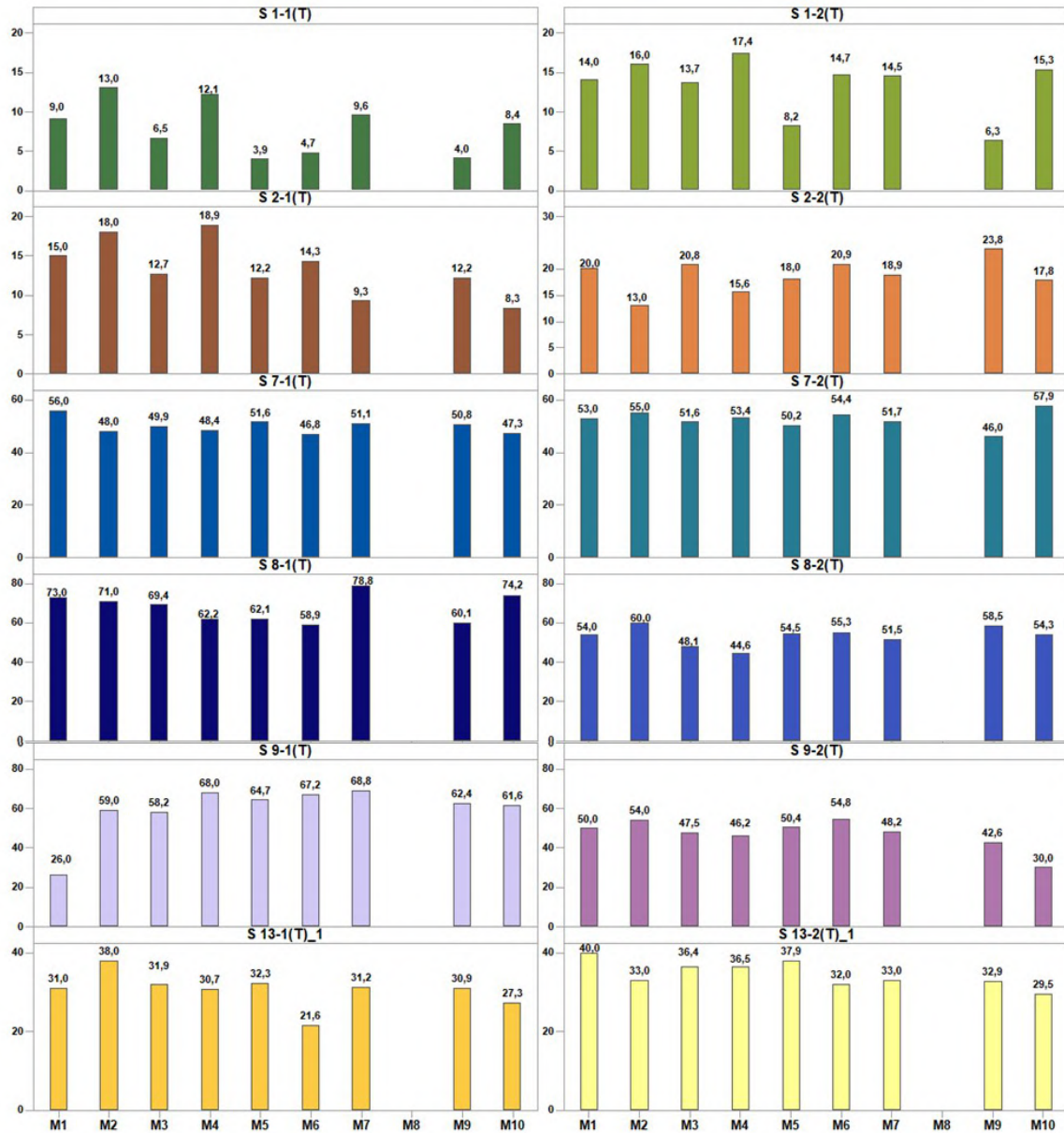
En el sector de **Tilopozo**, para todos los monitoreos, los puntos S 1 y S 2 son los que presentan el menor porcentaje de humedad (**Figura N° 12-70**), condición que se presenta tanto en superficie como en profundidad. Estos puntos se encuentran asociados a suelos de textura gruesas y en la base de 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° 12-70**, 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° 12-70: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10. 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.

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.

12.4.2.8 Textura

En el sector de **La Punta-La Brava**, se definieron 4 texturas 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 (**franco arcilloso**, **franco arcillo arenoso** y **franco arcillo limoso**), media (**franca** y **franco limoso**), moderadamente gruesa (**franco arenoso**), gruesa (**areno francosa**) y muy gruesa (**arenosa**), ver detalle en **Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

12.4.2.9 Nivel Freático

En la **Figura N° 12-71**, 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° 12-49: Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 y M10.

Sector	ID punto de muestreo final de suelo	Nivel freático (cm)									
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Tilopozo	S 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
La Punta	S 3	20	44	38	38	47	55	48	---	36	30

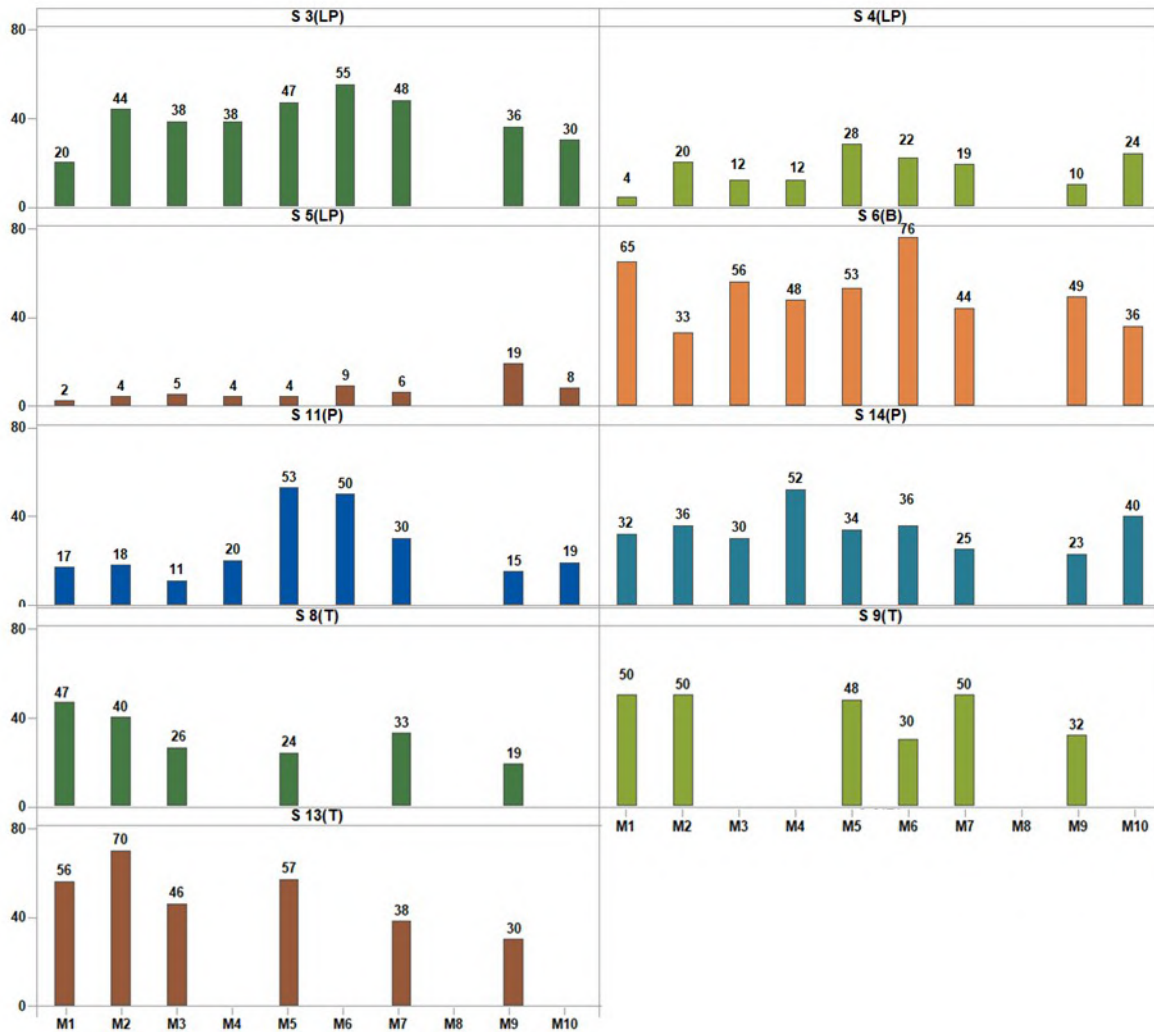
Sector	ID punto de muestreo final de suelo	Nivel freático (cm)									
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
La Punta	S 4	4	20	12	12	28	22	19	---	10	24
La Punta	S 5	2	4	5	4	4	9	6	---	19	8
La Brava	S 6	65	33	56	48	53	76	44	---	49	36
Tilopozo	S 7	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 8	47	40	26	---	24	---	33	---	19	---
Tilopozo	S 9	50	50	---	---	48	30	50	---	32	---
Peine	S 10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Peine	S 11	17	18	11	20	53	50	30	---	15	19
Peine	S 12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 13	56	70	46	---	57	---	38	---	30	---
Peine	S 14	32	36	30	52	34	36	25	---	23	40

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 y a 6 para M4 y M10 (ver, **Figura N° 12-71** y **Tabla N° 12-49**).

Respecto a la profundidad del nivel freático en el área de estudio, y tal como se aprecia en la **Figura N° 12-71**, 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° 12-71: 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 y M10) 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.

12.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2020 como para el monitoreo de verano 2021, 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 2021, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible monitorearlo, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine.

El sistema de lagunas del Sector Peine en invierno de 2020 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 131.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LB-2, correspondiente a una salinidad de 119 g/kg en verano de 2021. En La Brava, las mayores diferencias se distinguen en la estación LB-3, 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 por sobre un valor de 7,89, esto en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. En este sistema, el oxígeno disuelto también presentó concentraciones bajas, principalmente en las estaciones LB-1 y LB-2 de La Brava en verano 2021, lo cual se relaciona con las altas 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, salinidad y cloruro que los otros sectores de estudio y un pH entre neutro y alcalino, 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 a 3 m de profundidad y TB-2 a un pajonal hídrico. Esta última estación en invierno 2020 y verano 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 mayor de tamaño de

grano medio a lo encontrado en los sectores estudiados en verano 2021, los que se encontraron entre *arena fina* y *arena media*.

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, sin embargo, en la mayoría de los sectores estuvieron dentro del rango de variación de la LB o de monitoreos anteriores, específicamente en vegas de Tilopozo.

Para los invertebrados, zoobentos y zooplancton, los valores tanto de abundancia como de riqueza, en su mayoría 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 abundancias tendieron a ser altas principalmente en verano 2021 en el sector de Tilopozo.

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 a 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 (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 Sector Tilopozo, en las estaciones TB-1 y TB-3 durante invierno y en TB-1 y TB-2 durante 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 a la legislación vigente.

12.5.1 Comparación Invierno 2020 y Verano 2021

12.5.1.1 Calidad de agua

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2020 y verano 2021 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 2021, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible monitorearlo, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine, por lo que no se realizará la comparación para este sector.

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 62.533 mg/L en La Brava (LB-2) en verano 2021. Se observó un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava, alcanzando los máximos para estos parámetros en La Brava (LB-2) en verano 2021 con 131.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 119 g/Kg, respectivamente. 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, registrando un mínimo de 31.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano 2021) (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-29**). Según el sistema de Venecia de 1959, los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto en invierno 2020 como en verano 2021, 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 2020 los cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 25,4°C en LB-1 en verano 2021 y mínimo de 13,7°C en LP-23 en invierno 2020) (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-29**).

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° 9-10** y **Tabla N° 9-29**).

En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones más variables en verano 2021 respecto de invierno 2020 (mínimo 1,89 mg/L en LB-2 y máximo 6,7 mg/L en LB-3 ambos en verano 2021), lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en verano que también fueron variables y 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° 9-10** y **Tabla N° 9-29**).

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 2020 y verano 2021, corresponden a las estaciones TB-1 y TB-3, las cuales son pozas de 2 a 3 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 sin agua superficial en las campañas mencionadas. Este sector muestra un sistema notablemente menos salino que La Punta y La Brava, lo que es esperable al ser una zona de vegas y de su lejanía del núcleo del salar, registrándose valores menores de conductividad (entre 3.336 y 4320 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2 g/Kg) y un pH neutro, con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 316 y 351 mg/L (**Tabla N° 9-11** y **Tabla N° 9-30**).

Se observa que los resultados obtenidos en TB-1 y TB-3 son similares en la mayoría de los parámetros y en ambas campañas, como las temperaturas que en general fueron altas (entre 25,06 y 25,55 °C) y un oxígeno disuelto que presentó concentraciones entre 3 y 3,9 mg/L. Cabe destacar los valores de nitrato (> 3,1 mg/L), clorofila-a (máx. 27,01 $\mu\text{g}/\text{L}$ en TB-3, invierno 2020) y clorofila-a en Perifiton (máx. 7,81 mg/m² en TB-3, verano 2021). Tales valores podrían estar indicando algún grado de eutrofización en estas pozas, considerando la Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la DGA, que establece un sistema eutrófico con valores de nitrógeno total entre 0,65 - 1,2 mg/L y de clorofila-a entre 9 y 25 $\mu\text{g}/\text{L}$ (MOP,

2016), considerando además lo observado en terreno por la presencia de una abundante biomasa de macrófitas y una lama superficial de color amarillo sobre ella.

12.5.1.2 Calidad de sedimentos

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2020 y verano 2021 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 2021, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible monitorearlo, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine, por lo que no se realizará la comparación para este sector.

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 2020 y verano 2021, con registros entre 6,32% en LP-24 (verano 2021) y 24,16% en LB-2 (invierno 2020), observándose mayor variabilidad en laguna La Brava. Respecto al carbono orgánico total (COT) en La Brava también se observó una mayor variabilidad en este parámetro respecto a La Punta, tanto en invierno 2020 como en verano 2021. Por su parte, los valores de nitrógeno total Kjeldahl fueron más altos en invierno 2020 (4,84 a 10,73 g/Kg) respecto al verano 2021 (2,17 a 4,16 g/Kg), observándose también una variabilidad mayor en La Brava. Respecto al fósforo total, en todas las estaciones de este sector se registraron mayores valores en la campaña de monitoreo de verano 2021 (<1000 mg/Kg) respecto de la de invierno 2020 (<0,5 a 80,47 mg/Kg). Sin embargo, tales resultados de verano 2021 deben observarse con cautela, ya que los límites de detección del analito entre una campaña y otra, son notablemente disímiles haciendo complejo su contraste. Al respecto se solicitó la revisión de estos resultados a la ETFA ANAM y a través de la Carta R 102/ 2021 respondió que para el *“Fósforo total, la variación en el límite a 1 g/Kg, para las muestras 210028643, 210028644, 210028645, 210028646, 210028647, 210028648, 210028649, se debió a que se cambió la técnica de determinación del analito, ya que, por requerimientos de la SMA, los análisis informados deben estar autorizados para la ETFA, lo que fue indicado en la cotización enviada. Se analizaba por ICP-OES perteneciente al área de Espectroscopia y actualmente se analizó el método MQC000057 basado en el Standard Methods, capítulo 4500-P, sección B y C, dependiente del área de Residuos”* (**Ver carta en Anexo Limnología – Sedimentos**). Respecto el potencial redox, en todas las estaciones de ambas campañas se registraron características reductoras con valores negativos, con un mínimo de -424,6 mV en LB-3 (invierno 2020) y un máximo de -307,5 mV en LP-24 (verano 2021), 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° 9-13 y Tabla N° 9-31**).

Respecto a la granulometría obtenida en verano 2021 (**Tabla N° 9-32**), en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, correspondieron a *Arena fina* (0,160

mm) y *Arena media* (0,494 mm), respectivamente, con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado* y *Pobremente seleccionado*, en cada estación. En laguna La Brava, en las estaciones LB-2 y LB-3 el diámetro medio de grano correspondió a *Arena gruesa* (entre 0,866 y 0,872 mm), con un grado de selección obtenido de *Muy pobremente seleccionado* y *Pobremente seleccionado*. Cabe mencionar que el ensayo de granulometría para la estación LB-1 no se pudo ejecutar. La ETFA ANAM informó que la muestra de sedimento obtenida durante la campaña de verano 2021 en esa estación, presentó dificultades para realizar el análisis granulométrico imposibilitando la determinación del ensayo de granulometría para esa estación en particular. **Ver carta en Anexo Limnología – Sedimentos.**

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total, este último alcanzando los 1800 mg/Kg en la estación TB-3 en verano 2021, además de concentraciones elevadas de nitrógeno total Kjeldahl en el sector, tanto en invierno 2020 como en verano 2021 (entre 5,4 y 13,7 g/Kg). Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en ambos periodos y en ambas estaciones (-343 a -270,3 mV). Cabe mencionar que las estaciones TB-1 y TB-3 como corresponden a pozas de 2 y 3 m de profundidad, se favorece la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos (**Tabla N° 9-14** y **Tabla N° 9-33**).

Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo en verano 2021 (**Tabla N° 9-34**), muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones, correspondieron a *Arena media* tanto en TB-1 (0,271 mm) como en TB-3 (0,367 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* en ambas estaciones.

Los valores registrados en los dos sectores del sistema corresponden a ambientes acuáticos alcalinos, con altas concentraciones de sales (para el caso de las lagunas más cercanas al núcleo del salar) y en general un sedimento con materia orgánica recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica (potencial redox negativo). Los altos contenidos de fósforo pueden deberse a la misma razón, sumado a la capacidad particular de los sedimentos para retener el fósforo, cuyos valores más altos fueron registrados en las pozas de Tilopozo.

12.5.1.3 Biota acuática

A continuación, se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2020 y verano 2021 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 2021, el Sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible monitorearlo, debido a restricciones de acceso impuestas por la comunidad de Peine, por lo que no se realizará la comparación para este sector.

- Fitobentos

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2020 y verano 2021 considerando el sector **La Punta** y **La Brava**, presentó un registro con diferencias entre el periodo de invierno y verano con 9 y 25 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2020 y verano 2021 para el sector **La Punta** y **La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 9-16** y **Tabla N° 9-35**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna La Brava en invierno 2020 y en La Punta en verano 2021. En invierno la estación LB-3 presentó la mayor riqueza con 7 géneros, mientras que, en verano la estación LP-23 registró 20 géneros. Por otra parte, en ambas lagunas específicamente en las estaciones LP-23 en invierno y LB-2 y LB-3 en verano se observaron las menores riquezas, oscilando entre 1 y 12 géneros en invierno y verano respectivamente.

La abundancia total detectada en La Punta y La Brava, fue mayor en el periodo de invierno 2020 respecto de verano 2021, con 703 cel/cm² y 468 cel/cm² respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2020 y verano 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación LB-1 ubicada en la laguna La Brava con valores entre 224 cel/cm² en invierno y en LP-23 con 200 cel/cm² en verano. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LB-2 (laguna La Brava) en invierno con 78 cel/cm² y en la estación LB-3 (laguna La Brava) en verano con 1 cel/cm².

Por otra parte, durante invierno 2020 y verano 2021 el fitobentos presentó en este sector, una diversidad mayor en la estación LP-24 (laguna La Punta) y en LB-2 (laguna La Brava). En tanto, la equidad fue mayor en LB-2 en invierno y verano. En cambio, la menor diversidad y equidad durante invierno y verano fue observada en la estación LB-2 (laguna La Brava) en invierno y LP-24 (laguna La Punta) en verano.

En relación con los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2020 y verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-3** y **Figura N° 9-14**). En invierno 2020, dominaron las diatomeas *Denticula* y *Fragilaria*, en cambio, en verano 2021 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Denticula* y *Nitzschia*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2020 y verano 2021.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2020 y verano 2021 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro similar entre el periodo de invierno y verano con 11 y 10 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2020 y verano 2021 para el sector vegas de Tilopozo son mostradas en la **Tabla N° 9-17** y **Tabla N° 9-36**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo en invierno, lo presentó la estación TB-1 con 10 géneros, mientras que, en verano la estación TB-1 y TB-3 registraron 8 géneros.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue mayor en el periodo de invierno 2020 respecto de verano 2021, con 460 cel/cm² y 2 cel/cm² respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2020 y verano 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación TB-1 con valores entre 273 cel/cm² y 1,54 cel/cm² respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-3 en invierno con 186 cel/cm² y en verano con 0,58 cel/cm².

En la campaña de invierno 2020 y verano 2021, los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-1 y TB-3.

En relación con los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2020 y verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-4** y **Figura N° 9-15**). En invierno, dominaron las diatomeas *Fragilaria* y *Nitzschia*, en cambio, en verano las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, 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 2020 y verano 2021.

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 2020 y verano 2021, 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).

Dentro de los sistemas estudiados, el ensamble de microalgas bentónicas muestra una estructura y composición variable temporal y espacialmente. Tales variaciones estarían moduladas principalmente por la alta heterogeneidad resultante de las tasas diferenciales de evaporación y las precipitaciones entre verano e invierno, lo que resulta en cambios en salinidad, contenido de oxígeno, temperatura, radiación solar (entre otros) en el subsistema acuático, variaciones en los niveles del agua los cuales son variables relevantes para el desarrollo de este grupo (Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004). Su importancia ecológica, al igual que el fitoplancton, 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 fitobentos y el fitoplancton (Wetzel, 2001).

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), estarían en estrecha relación con las diferencias entre evaporación y precipitación entre periodos estacionales y los cambios asociados al hábitat principalmente relativos a la salinidad en los sistemas y la temperatura (Cepeda-Pizarro 2013). Cabe destacar que en ambas campañas se observó disminuciones en la abundancia, en tanto las riquezas presentaron registros más bien similares. Esto podría responder a las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, producto del aumento de las precipitaciones en el salar (2018, 2019 y 2020), lo que podría estar afectando la diversidad microalgal, repercutiendo en las abundancias de estos componentes.

- Fitoplancton

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2020 y verano 2021 considerando el **Sector La Punta y La Brava**, presentó un registro diferente entre periodos siendo menor en invierno, el periodo de invierno y verano registraron valores de 9 y 17 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2020 y verano 2021 para el sector **La Punta y La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 9-19 y Tabla N° 9-37**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna La Brava en invierno y en La Punta en verano. En invierno la estación LB-3 presentó la mayor riqueza con 7 y en verano LP-23 con 14 géneros. Por otra parte, en la laguna La Brava específicamente en la estación LP-23 se observaron las menores riquezas con 1 género en invierno y en verano LP-23 y LB-2 de la laguna La Punta y La Brava con 8 géneros.

La abundancia total detectada en La Punta y La Brava, fue mayor en La Punta en el periodo de invierno 2020 con 347 cel/mL y mayor en La Brava en verano 2021 con 1266 cel/mL. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2020 y verano 2021 se detectó la mayor abundancia en la estación LP-24 (La Punta) con 574 cel/mL y en LB-2 (La Brava) con 1472 cel/mL. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LB-1 (laguna La Brava) en invierno con 175 cel/mL y en verano en LP-24 (La Punta) con 474 cel/mL.

Por otra parte, durante invierno 2020 y verano 2021, el fitoplancton presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en invierno en la estación LB-3 (La Brava) y la mayor diversidad en verano la presentó LP-23 y la mayor equidad en la estación LP-24, ambas estaciones de la laguna La Punta. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación LB-1 (La Brava) en invierno y verano.

En la campaña de invierno 2020 y verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-6** y **Figura N° 9-16**). En invierno 2020, dominaron las diatomeas *Denticula* y *Amphora*, en cambio, en verano 2021 las mayores representatividades la presentaron la diatomea *Cocconeis* y de la cianófita *Microcystis*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2020 y verano 2021.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2020 y verano 2021 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro diferente entre el periodo de invierno y verano con 2 y 7 géneros en total respectivamente. La estación TB-2 se presentó sin agua superficial en invierno y verano.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2020 y verano 2021 para el sector **vegas de Tilopozo** son mostradas en la **Tabla N° 9-20** y **Tabla N° 9-38**.

En invierno se registraron riquezas similares con 1 género en TB-1 y TB-3, mientras que, en verano la estación TB-1 registró 6 géneros.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue menor en el periodo de invierno 2020 respecto de verano 2021, con 80 cel/mL y 513 cel/mL respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno y verano se detectó la mayor abundancia en la estación TB-1 con valores entre 65 cel/mL y 402 cel/mL respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-3 en invierno y verano con 15 cel/mL y 111 cel/mL respectivamente.

En la campaña de invierno 2020, los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitoplancton no se pudieron calcular debido a que cada estación presentó 1 género. En cambio, en verano 2021 fueron mayores en TB-1 diversidad como equidad.

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2020 y verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-7** y **Figura N° 9-17**). En invierno 2020, dominó la diatomea *Diatoma* y *Cocconeis*, en cambio, en verano 2021 las mayores representatividades la presentaron la diatomea *Nitzschia* y *Microcystis*.

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 2020 y verano 2021.

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. Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2020 y verano 2021, estos correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos como *Haloroundia* (que se distribuye a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009). Cabe mencionar la presencia de cianófitas del género *Microcystis* el cual es cosmopolita, determinado para el Salar de Atacama, puede colonizar variados ambientes entre ellos los halófilos, además de estar en estrecha relación con los denominados tapetes microbianos (Mirande & Tracanna 2015).

En relación a las variaciones obtenidas para el fitoplancton en riqueza de géneros y abundancia total en los sistemas estudiados, 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 y los cambios

asociados al hábitat principalmente relativos a la salinidad en los sistemas y la temperatura (Cepeda-Pizarro 2013).

- Zooplancton

La comparación entre invierno 2020 y verano 2021 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 6 *taxa* en LP-24 en invierno 2020 y un mínimo de 2 *taxa* en LB-3 (invierno 2020) y LP-23 (verano 2021) (**Tabla N° 9-22 y Tabla N° 9-39**).

Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron bajas tanto en invierno 2020 como en verano 2021. El registro menor correspondió a 0,2 ind/L en LB-3 (verano 2021) y el mayor a 9,43 ind/L en LP-24 (invierno 2020). Al comparar por estación y período, las abundancias totales fueron mayores en invierno 2020 en laguna La Punta y mayores en verano 2021 en laguna La Brava (excepto LB-3). Las diversidades y equidades estimadas en general fueron bajas debido a las bajas riquezas y disimiles abundancias. Aun así, se ve una tendencia a ser mayores las diversidades en invierno 2020 (**Tabla N° 9-22 y Tabla N° 9-39**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, durante la campaña de invierno 2020 y verano 2021, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna. En invierno 2020, los grupos dominantes en laguna La Punta fueron los copépodos Canthocamptidae y *Boeckella bergi*. Las estaciones de laguna La Brava, fueron mayormente representadas por copépodos Canthocamptidae y secundariamente por el branquiópodo *Artemia franciscana*, observándose un incremento en LB-2 en la proporción de *A. franciscana* respecto a los copépodos. Para el verano 2021, la fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta principalmente por *A. franciscana*, por copépodos Harpacticoida del género *Tigriopus* y por insectos dípteros de la familia Muscidae. El taxón con mayor frecuencia en esa campaña fue Muscidae que se encontró en todas las estaciones de ese sector (**Tabla N° 9-22 y Tabla N° 9-39**).

El zooplancton del **Sector de Tilopozo**, en invierno de 2020, solo en las estaciones TB-1 y TB-3 se encontraron organismos zooplanctónicos. Por su parte la estación TB-2, en campañas anteriores correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, sin embargo, en las campañas analizadas, esta estación se encontró sin agua superficial. En invierno 2020 en la estación TB-1 la riqueza total fue de 2 *taxa*, donde solo se encontró copépodos Canthocamptidae y artrópodos Collembola. Estos últimos corresponden a hexápodos primitivos no alados que no pertenecen a la clase Insecta, principalmente son de hábitat terrestre y son escasamente mencionados debido a que son parte de categorías no planctónicas y que aparecen ocasionalmente. En la estación TB-3, ocurrieron 3 *taxa*, *Artemia franciscana*, Copepoda y Acari, con una abundancia total en esa estación de 0,22 ind/L. Si bien fueron bajas las abundancias, *A. franciscana* fue la más representativa, con 0,1 ind/L.

Respecto a los índices comunitarios, la diversidad fue baja, mientras que la equidad tendió a ser alta, debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron similares. (**Tabla N° 9-23**). En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2021, solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zooplanctónicos, donde se encontraron organismos que son parte de categorías relacionadas con el zoobentos y que aparecen ocasionalmente como parte del zooplancton. Entre los *taxa* encontrados están los dípteros Orthoclaadiinae (Chironomidae), el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, ostrácodos Cyprididae y Ácaros (Acari). La abundancia total fue de 0,95 ind/L, siendo *H. atacamensis* el taxón dominante con 0,85 ind/L (**Tabla N° 9-40**).

- Zoobentos

Las abundancias totales en el sector **La Punta y La Brava** fueron mayores en invierno 2020 respecto a verano 2021. El menor registro fue de 250 ind/m² en LP-23 (verano 2021) y el mayor de 11303 ind/m² en LB-1 (en invierno 2020). Las diversidades estimadas, en general fueron bajas debido a las bajas riquezas, sin embargo tendieron a ser mayores en invierno 2020 (máx. de 1,32 nits/ind en LP-23). Las equidades más altas fueron estimadas en LP-23 (0,95), LP-24 (0,9) y en LB-3 (0,92) todas en invierno 2020, lo cual está dado por la similitud de sus abundancias (**Tabla N° 9-25 y Tabla N° 9-41**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2020 y verano 2021 en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y campaña. En invierno 2020 los *taxa* dominantes por cada estación fueron los dípteros Ceratopogonidae y Ephydriidae en LP-23 y LP-24 (respectivamente), los copépodos Harpacticoida como dominantes en LB-1, gusanos Oligochaeta en LB-2 y las larvas de insectos Ceratopogonidae y gasterópodos Cochliopidae en la estación LB-3. En verano 2021, los *taxa* dominante fueron *Heleobia* sp. y Orthoclaadiinae en LP-23, Orthoclaadiinae en LP-24, *Tigriopus* sp. en LB-1, Muscidae en LB-2 y Orthoclaadiinae, Stratiomyidae y Cyprididae en LB-3. (**Tabla N° 9-25 y Tabla N° 9-41**).

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, tanto en invierno 2020 como en verano 2021, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 1 y 2 *taxa* por estación). Durante invierno 2020, en TB-1 se encontró mayoritariamente el crustáceo ostrácodo *Herpetocypris* sp. (12213 ind/m²), además del gasterópodo Cochliopidae *Heleobia* sp. (260 ind/m²). En la estación TB-3, solo ocurrió el taxón *Heleobia* sp. en alta abundancia (16630 ind/m²), siendo el mayor registro para este sector durante esa campaña. Durante verano 2021, en TB-1 se encontró en gran abundancia el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (386.375 ind/m²) con el mayor registro histórico para este sector, seguido por el ostrácodo Cyprididae (125 ind/m²). En la estación TB-3, solo ocurrió el taxón *H. atacamensis* también en alta abundancia (277.875 ind/m²). 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 extremadamente disímiles. (**Tabla N° 9-26** y **Tabla N° 9-42**).

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 asume 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 2020 y verano 2021, fue de 9 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis* sp. Como se mencionó, el sector Peine solo fue evaluado en la campaña de invierno 2020, 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 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 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 los ojos de agua de las estaciones TB-1 y TB-3. En relación a 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, TB-2 y TB-3, *Distichlis spicata* en TB-1 y TB-2 y *Baccharis* sp. en TB-1 y TB-3. En la estación TB-2 fue detectada solo *S. californicus* (Totorá) y *Distichlis spicata*, cabe mencionar que la estación no presentó agua superficial ni en invierno 2020 y ni en verano 2021.

Respecto de las coberturas en el sector **Peine**, en invierno 2020 se detectaron parches de *R. filifolia* en porcentajes que oscilaron entre 10% en la estación S-5 (laguna Salada) y 47% en la estación SA-25 (laguna Saladita) y se detectó la presencia del taxon en la estación S-10 (laguna Saladita) y en la campaña de verano 2021 no se pudo acceder a monitorear el sector.

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 esta especie fue detectada en las estaciones LP-23 con 3%, LP-24 con 13% y LB-3 con 25% y en verano entre 2% en la estación LP-23 y 8% en la estación LP-24 y 5% en la estación LB-3. Respecto de las helófitas en invierno *Triglochin concinna* presentó coberturas que oscilaron entre 7% en LP-23 y 17% en LB-2 y en verano entre 6% y 32% en LP-23 y LB-2 respectivamente. *Sarcocornia fruticosa* presentó coberturas entre 53% 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 un 3% en la estación LP-23 en invierno 2020 y 2% en verano 2021.

Finalmente, en el sector vegas de Tilopozo, *Z. palustris* presentó coberturas de un 33% en TB-1 y TB-3 en invierno y de 28% y 33% verano en TB-1 y Tb-3 respectivamente. En invierno *S. californicus* osciló entre 100% y 47% en TB-2 y TB-3, mientras que, en verano osciló entre 52% en TB-1, con 100% en TB-2 y 48% en TB-3. La especie *J. balticus* fue detectada en invierno con coberturas entre 17% en TB-1 y en verano solo presencia. Luego en invierno *D. spicata* osciló entre 52% en TB-1, mientras que en verano solo fue detectada en TB-1 con 5% de cobertura y 52% en TB-2. Por último, *Baccharis* sp. presentó un 8% y 20% de cobertura en las estaciones TB-1 y TB-3 y en verano 10% y 30% en TB-1 y TB-3 respectivamente.

12.5.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)

12.5.2.1 Calidad de agua

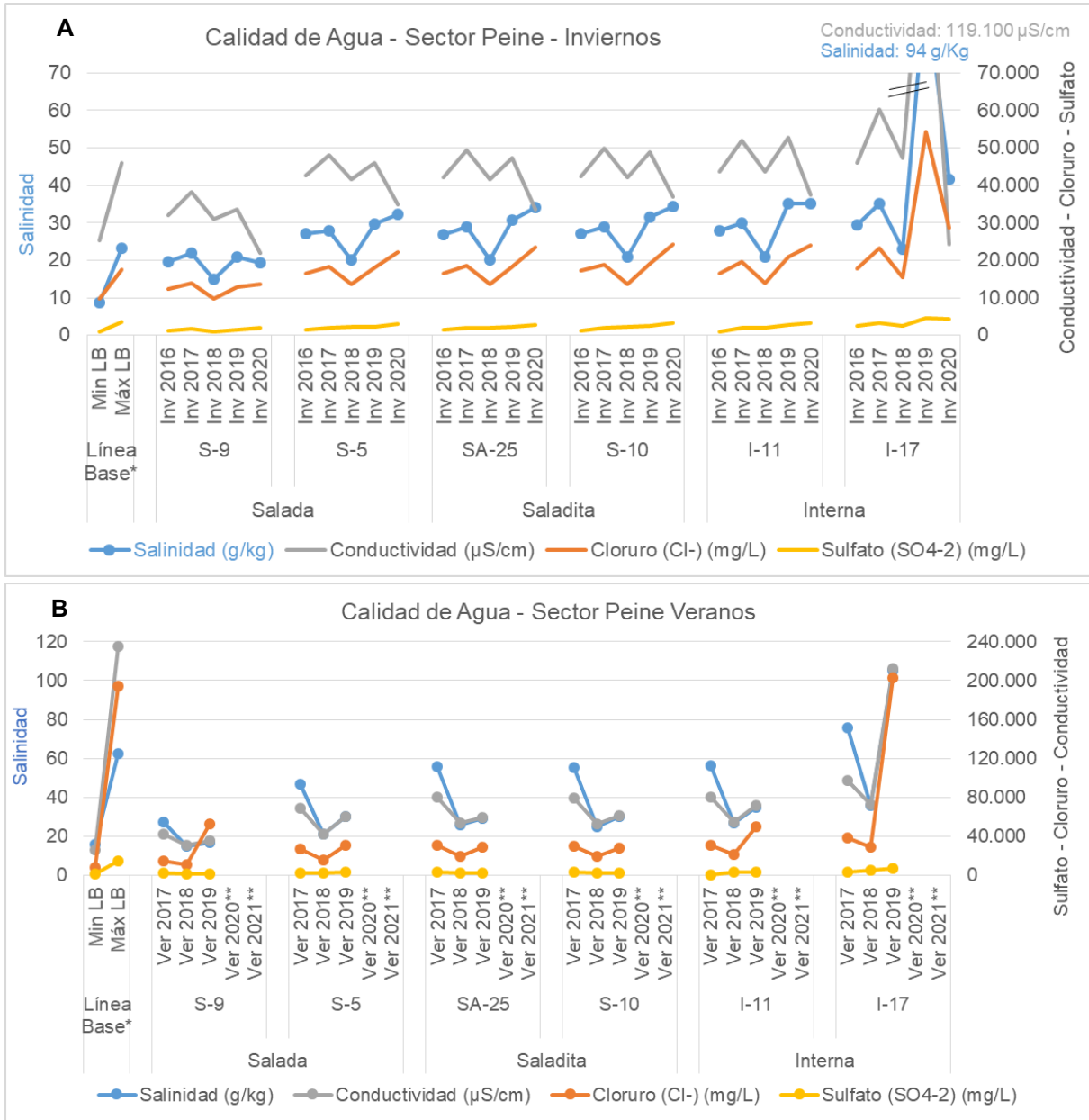
El sistema de lagunas del **Sector de Peine** se caracteriza por presentar en sus aguas una alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, observándose una tendencia a aumentar su concentración de sales desde laguna Salada hacia laguna Interna (**Figura N° 12-72** y **Figura N° 12-73**). Los registros de calidad de agua para los inviernos de 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, mostraron que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro, tuvieron mayoritariamente valores por sobre el máximo registrado durante la LB en este sector, principalmente durante los inviernos 2017 y 2019 en las estaciones S-5, SA-25, S-10 e I-11, mientras que en la estación I-17 ocurrió en los inviernos 2016, 2017 y 2019. En esta última estación y campaña se registró la menor Conductividad para los monitoreos de invierno en este sector, sin embargo, los valores de Salinidad y concentración de Cloruro fueron menores en invierno 2018. Respecto al sulfato, este se ha mantenido bajo el límite máximo de la LB, exceptuando en los inviernos 2019 y 2020 en la estación I-17, el cual lo sobrepasó. Ahora bien, Los registros de parámetros de calidad de agua para los veranos de 2017, 2018 y 2019, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (LB). 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 de verano). Los registros de sulfato se mantienen estables para todos los monitoreos y dentro de los rangos de línea base. 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 (BOLETIN CIIFEN 2019). 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° 12-72**).

Este sistema de lagunas se caracteriza por presentar históricamente en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros (máximo de 202.753 mg/L en I-17 en verano 2019). Estos parámetros mostraron un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en todos los periodos, siendo la mayor conductividad en verano 2019, alcanzando los 212.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17, que corresponde a una salinidad de 105 g/kg. Cabe mencionar que la conductividad detectada en I-17 en esta campaña, ha sido la más alta registrada durante los monitoreos del PMB, no superando a la LB de verano. (**Figura N° 12-72**). 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, incrementándose desde laguna Salada hacia laguna Interna. Otro parámetro a considerar fue

el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, siendo mayores en verano 2019 en todas las estaciones con su valor máximo en laguna Interna (7367,5 mg/L en I-17). Para este parámetro se observa también una tendencia a incrementarse desde laguna Salada hacia laguna Interna (**Figura N° 12-72**).

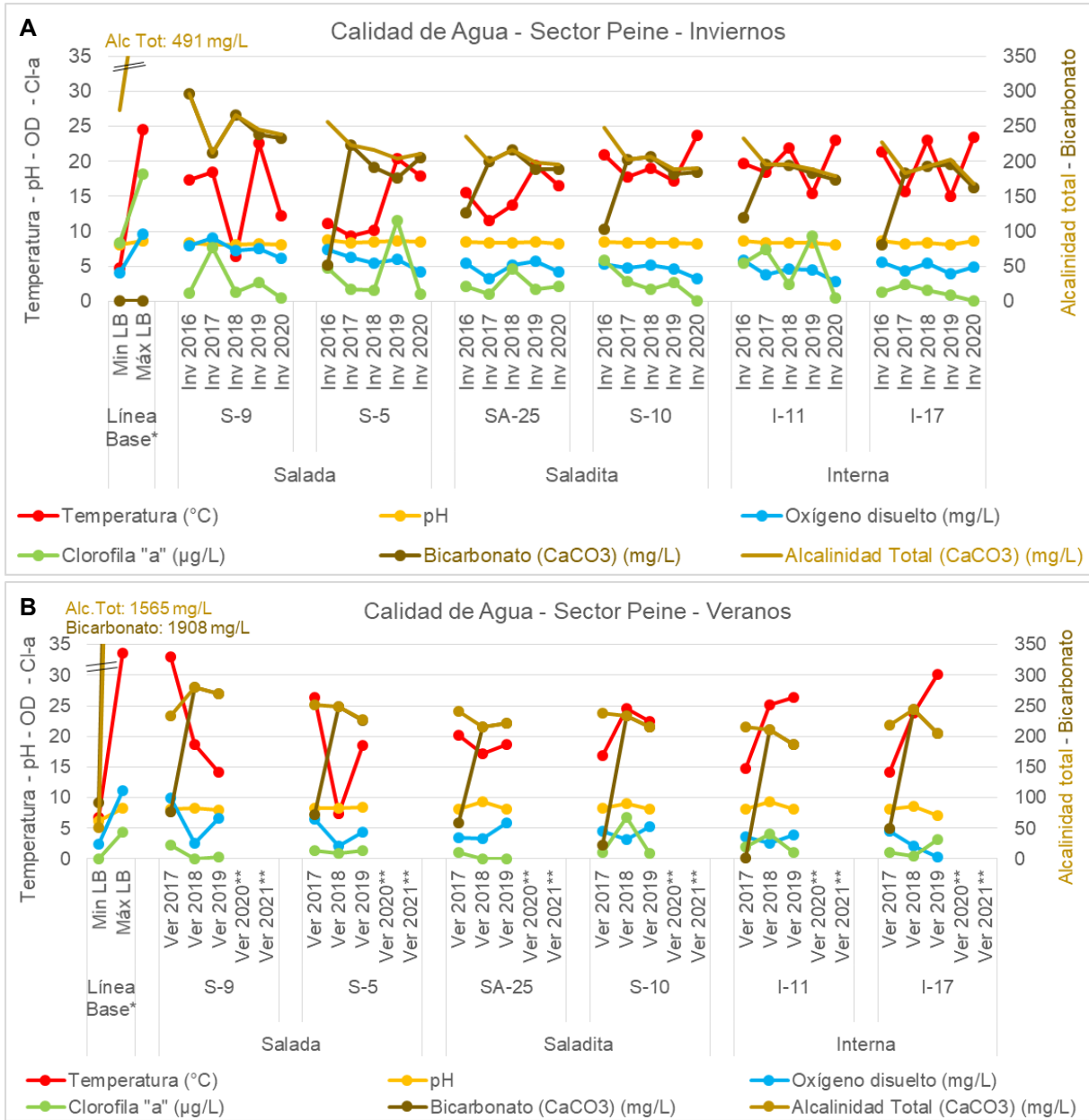
Las altas temperaturas fueron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, si bien tienen una importante variabilidad en el tiempo en laguna Salada, en general se observa un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna por cada campaña (mínimo de 6,4°C en invierno 2018 y máximo de 33° verano 2017, ambas en S-9) (**Figura N° 12-73**). Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentaron un carácter principalmente básico, 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 9,4 unidades de pH en laguna Saladita (SA-25) en verano 2018 y un mínimo neutro de 7,1 en verano 2019 en I-17 (**Figura N° 12-73**). Respecto al oxígeno disuelto en Peine, las concentraciones fueron variables, con un registro mínimo de 0,3 mg/L en I-17 (laguna Interna) en verano de 2019 y un máximo de 10 mg/L en S-9 (laguna Salada) en verano de 2017, lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en los distintos períodos, 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 (**Figura N° 12-73**), las cuales se relacionan con la actividad fotosintética, ya que es un indicador indirecto de productividad primaria.

Figura N° 12-72. 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; Para la campaña estival de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

Figura N° 12-73. 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. Para la campaña estival de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

Los registros obtenidos durante los monitoreos en **La Punta y La Brava**, 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. Cabe mencionar que también se registró un descenso de estos parámetros en la estación LB-3, punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando valores entre 29.830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (verano 2018) y 69.960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (invierno 2020) (**Figura N° 12-74**).

Según el sistema de Venecia de 1959, los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto para los inviernos como veranos, 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.

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° 12-74**).

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.

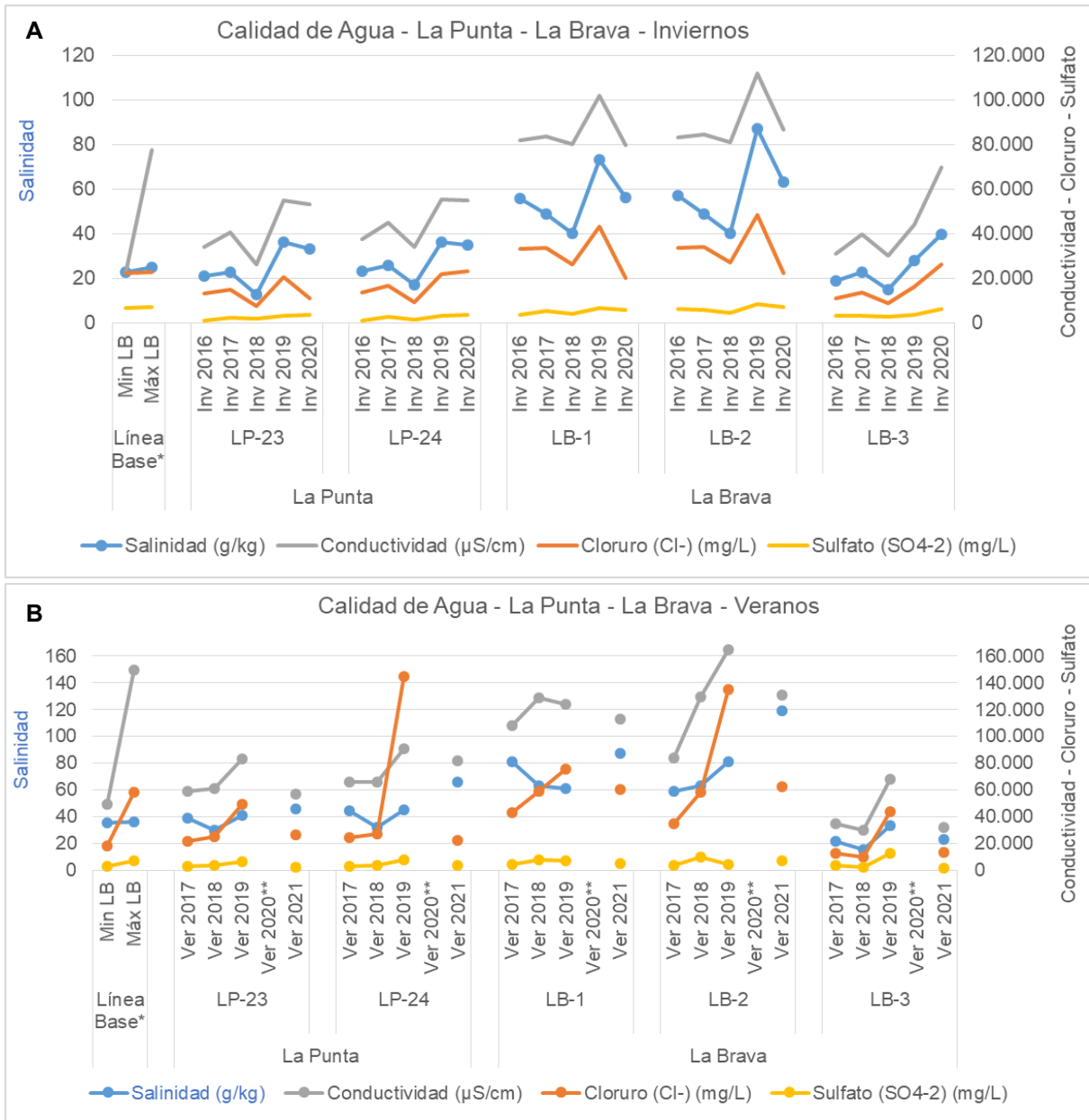
Se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a laguna La Punta, en la gran mayoría de los periodos monitoreados, las cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 31,3°C en LB-2 en verano 2017 y mínimo de 8,4°C en LP-24 en invierno 2017). Por otra parte las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH cercanos a un valor de 8 en la mayoría de las estaciones en todos los períodos, exceptuando por un pH de 6 en LB-3 en invierno 2018. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados (**Figura N° 12-75**).

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° 12-75**).

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.

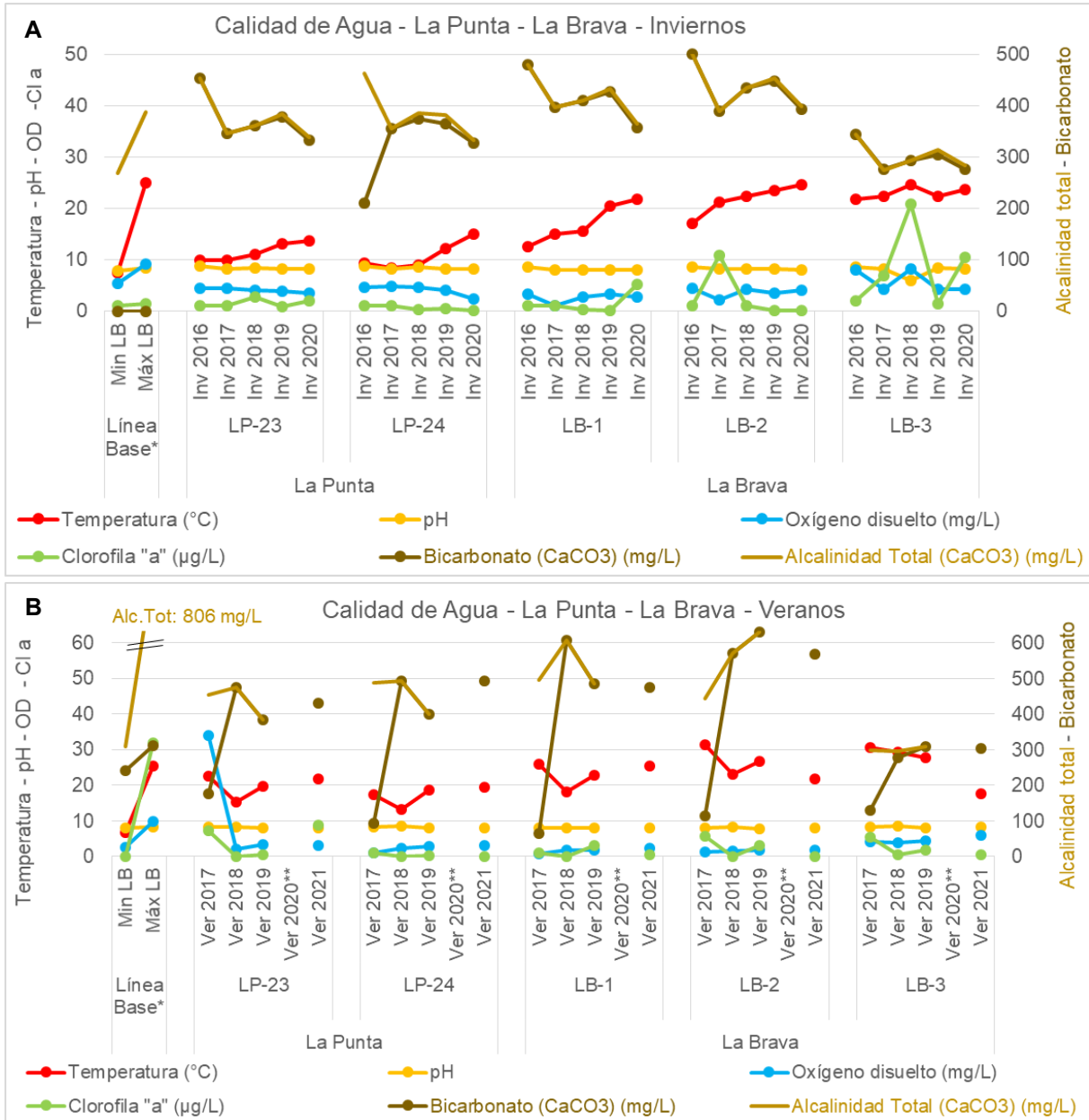
En el sector también se presentaron valores alcalinos de pH para la mayoría de las estaciones de monitoreo e inviernos, con registros principalmente entre 8 y 8,8 unidades (mayores valores en invierno 2016), parámetro que se relaciona con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados.

Figura N° 12-74. 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° 12-75. 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.

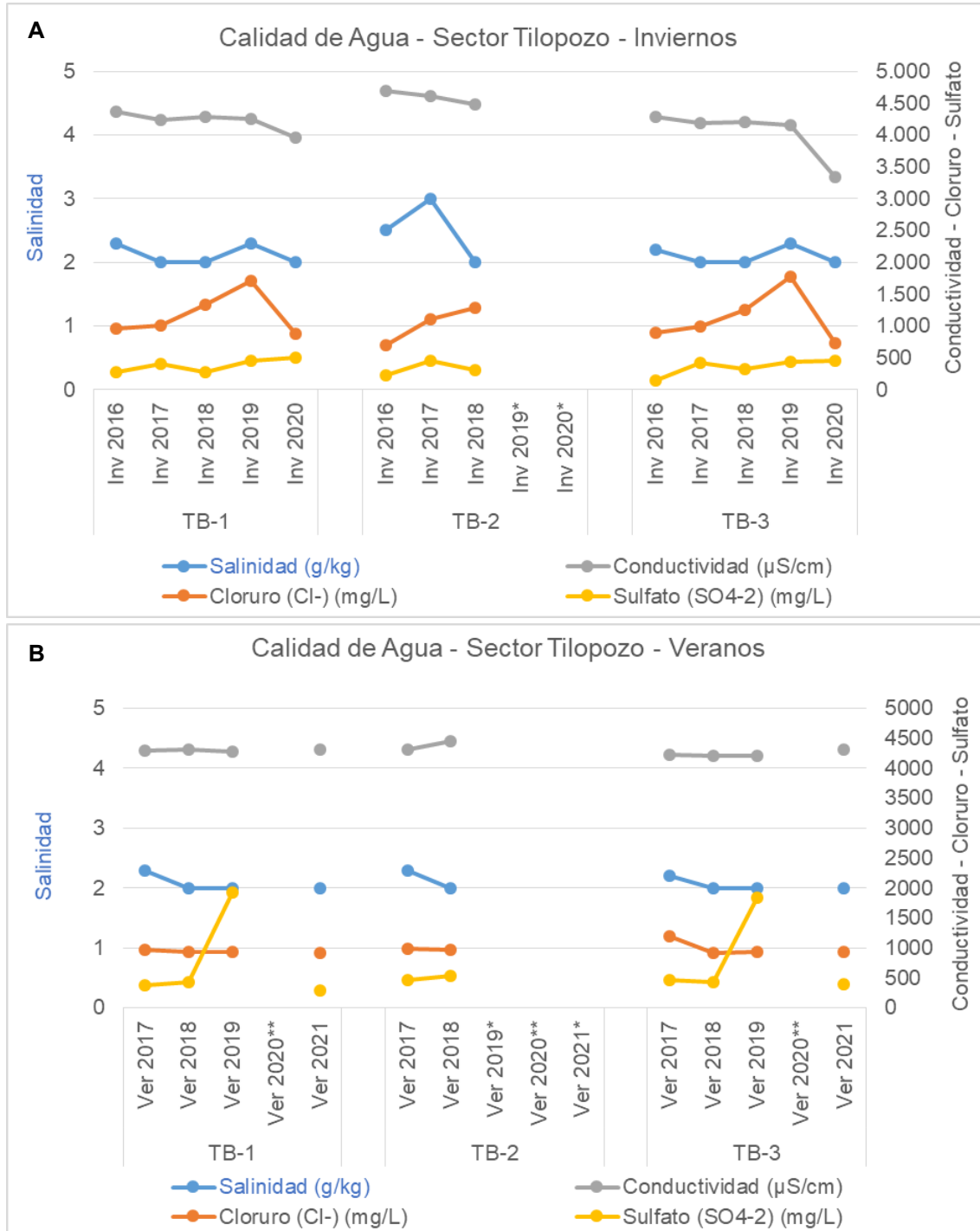


Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2 a 3 gr/Kg) y cloruro (entre 702 y 1772 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. 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 y verano 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° 12-76**).

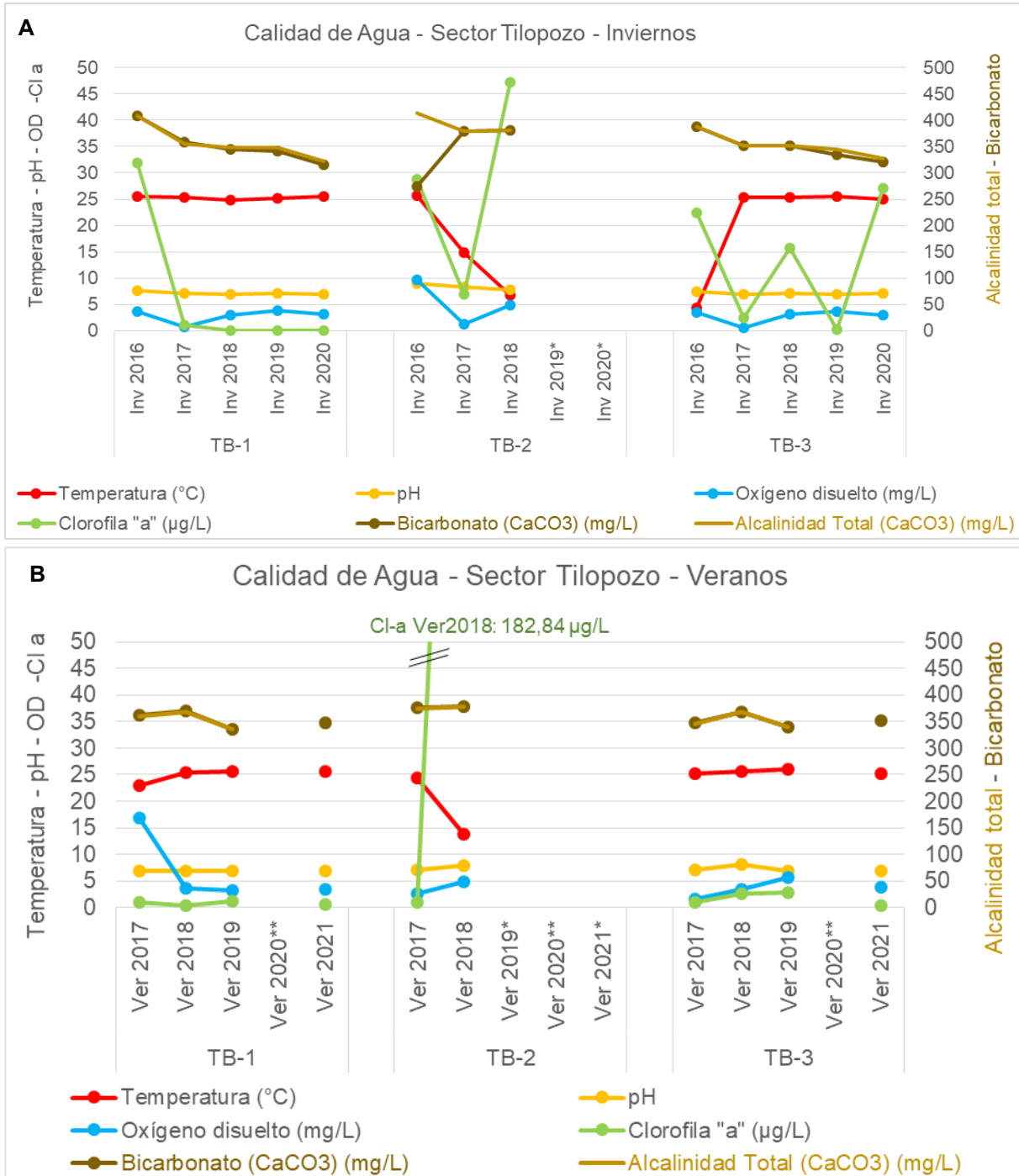
Las temperaturas en general fueron altas y cercanas a 25°C para TB-1 y TB-3, tanto en verano como en invierno, pero en el caso de TB-2 tuvo un registro más variable, entre de 6,7°C en invierno 2018 y 25,7 en invierno 2016. Si bien las estaciones del sector Tilopozo se encuentran cercanas entre sí, éstas 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 a 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 a 3 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que esta última se encontró sin agua superficial en verano 2019, invierno 2019, invierno 2020 y verano 2021. Ahora bien, en verano 2018 la clorofila “a” en fitoplancton alcanzó un valor de 182,84 $\mu\text{g}/\text{L}$. Este último valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector, que si bien podría indicar que corresponde a un sistema Eutrófico (sobre 75 $\mu\text{g Cl-a}/\text{L}$ según la normativa de referencia de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, 1982), también se relaciona con que esa estación correspondió a una zona inundada (vega) de baja profundidad con alta concentración vegetal (**Figura N° 12-77**).

Figura N° 12-76. 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 que 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° 12-77. 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 que 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

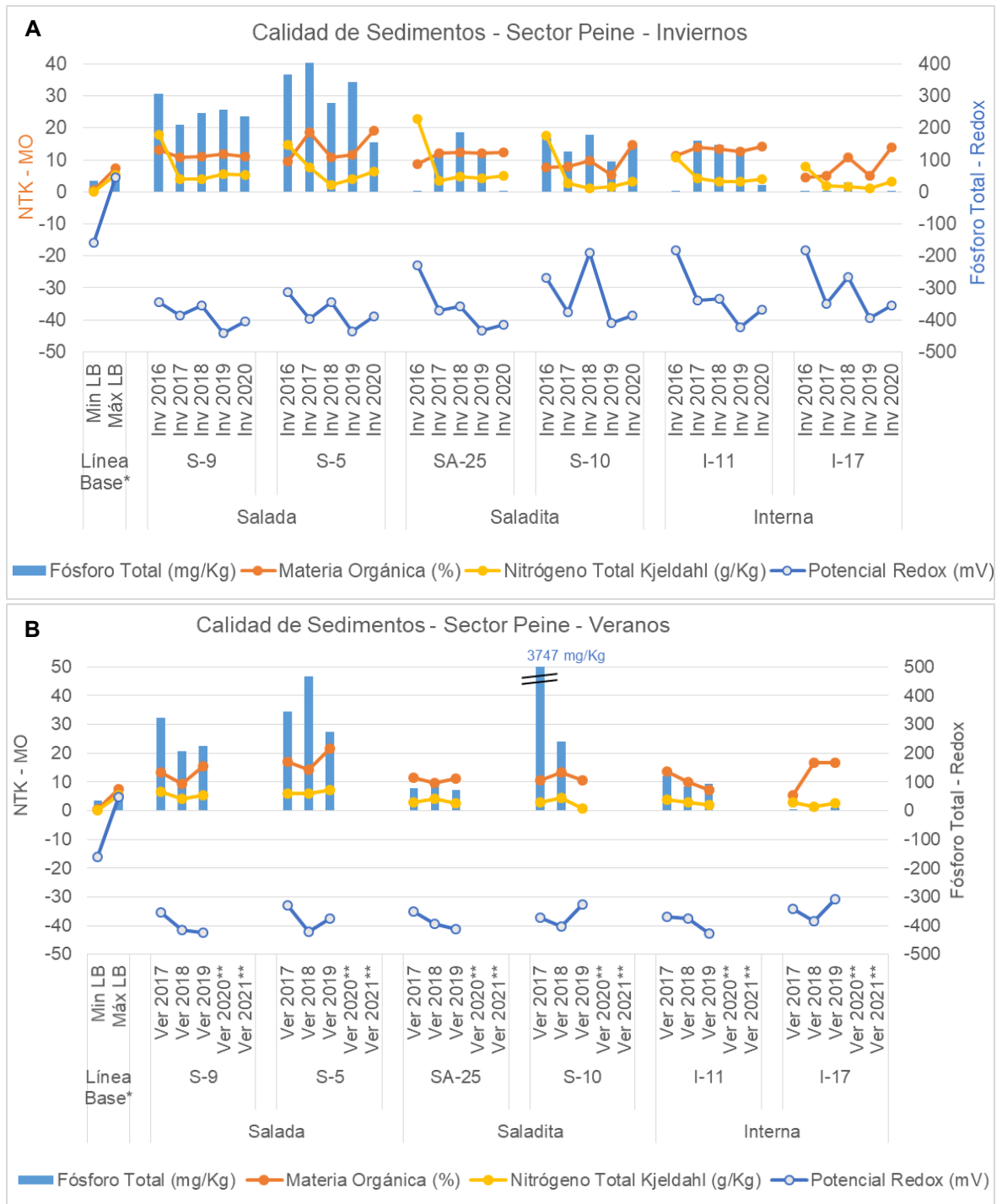
12.5.2.2 Calidad de sedimentos

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 26,5 a 125,4 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° 12-78**). 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). En el caso del nitrógeno total Kjeldahl, se observa que en todas las estaciones disminuye su concentración desde invierno 2016, manteniéndose en valores bajo los 7 g/Kg. 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) (Alonso y Risacher 1996).

Respecto al análisis granulométrico del sector de Peine, los sedimentos mostraron que el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *arena fina* y *arena media*, observándose porciones más finas en verano 2018, respecto de invierno 2017 e invierno 2018. Los grados de selección obtenidos fueron de *Pobrementemente seleccionado* a *Muy pobrementemente seleccionado*, lo que implica que la composición granulométrica de los sedimentos presentó varios tipos de tamaño de arena y limo, pero principalmente *arena fina* en Laguna Salada (invierno 2017 y verano 2018), *arena fina* y *arena media* en Saladita (invierno 2017 e invierno 2018) y mayoritariamente *arena media* en Laguna Interna (invierno 2017 e invierno 2018). Los análisis granulométricos de la línea base en verano 2015 (PMB), indican que los tipos de grano medio para este sector estuvieron entre limo (0,018 mm) y arena fina (0,230 mm), con grados de selección entre *Pobrementemente seleccionado* a *Muy pobrementemente seleccionado*, lo cual, si bien es similar para las lagunas Salada y Saladita, no se ajusta totalmente a lo encontrado en la laguna Interna. Tal desviación de los resultados respecto a dicha campaña de LB, podrían deberse a un mayor flujo de agua en laguna Interna en las últimas campañas, permitiendo la ocurrencia de fracciones sedimentarias de mayor tamaño (arena media).

Figura N° 12-78. 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. Para la campaña estival de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

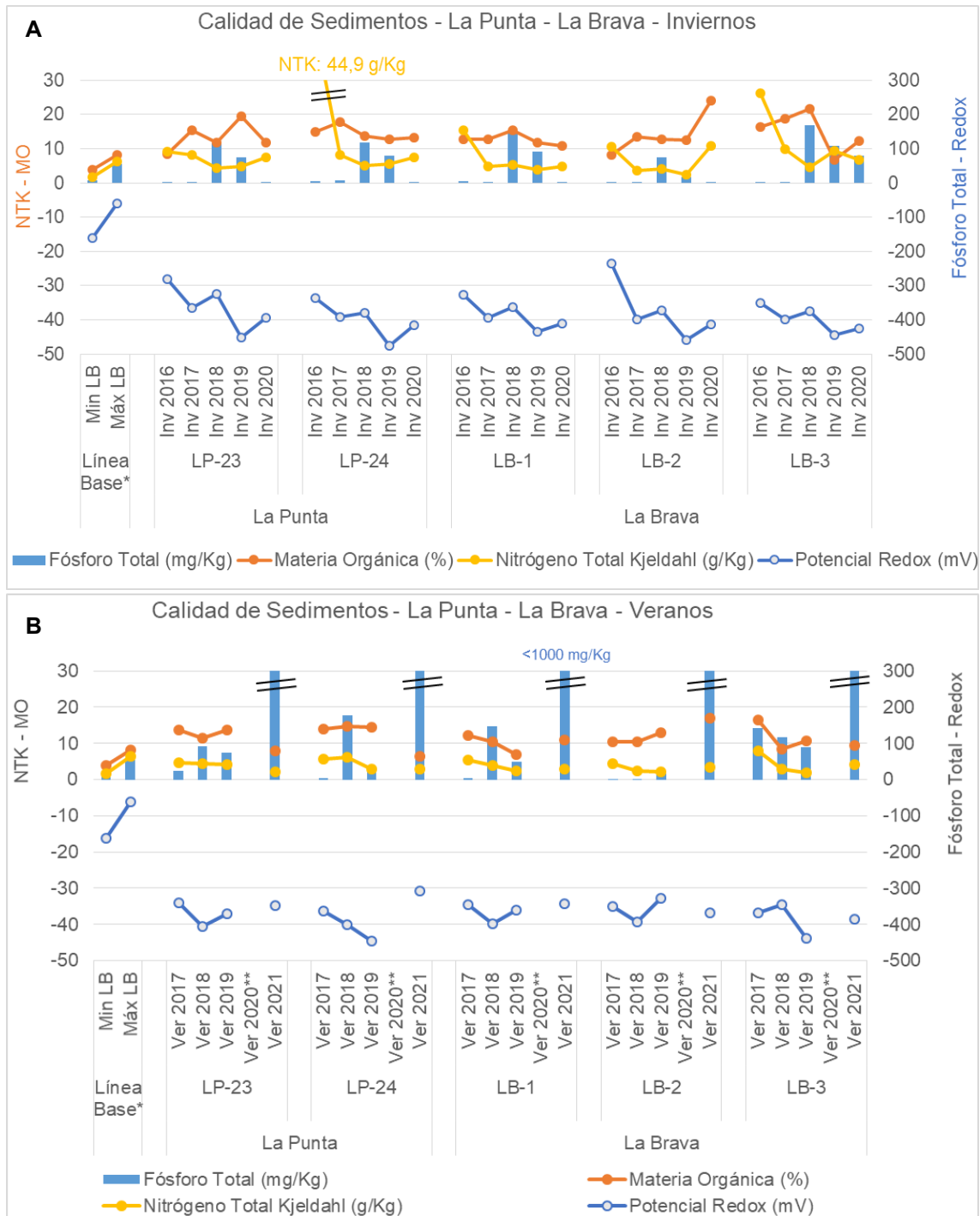
Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, muestran valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB). Al igual que para el sector de Peine, los valores en la mayoría de los parámetros analizados se encuentran fuera de los rangos establecidos en la línea base (carbono orgánico total, materia orgánica, fósforo total y potencial óxido reducción). Sin embargo, estos parámetros han mostrado generalmente valores fuera del rango de la línea base en los monitoreos realizados desde invierno 2016 dentro del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden con ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota, con altas concentraciones de sales y con materia orgánica en su sedimento recalcitrante a su degradación (**Figura N° 12-79**).

Respecto a la granulometría obtenida en los distintos periodos, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos tanto en LP-23 como en LP-24, correspondieron de *arena muy fina a arena media* con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado a Pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido de *arena fina a arena muy gruesa*, con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado a Pobremente seleccionado*.

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 15,6 g/Kg en invierno 2016 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° 12-80**). 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 y verano 2021. Por su parte las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de 2 y 3 m de profundidad, respectivamente, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos.

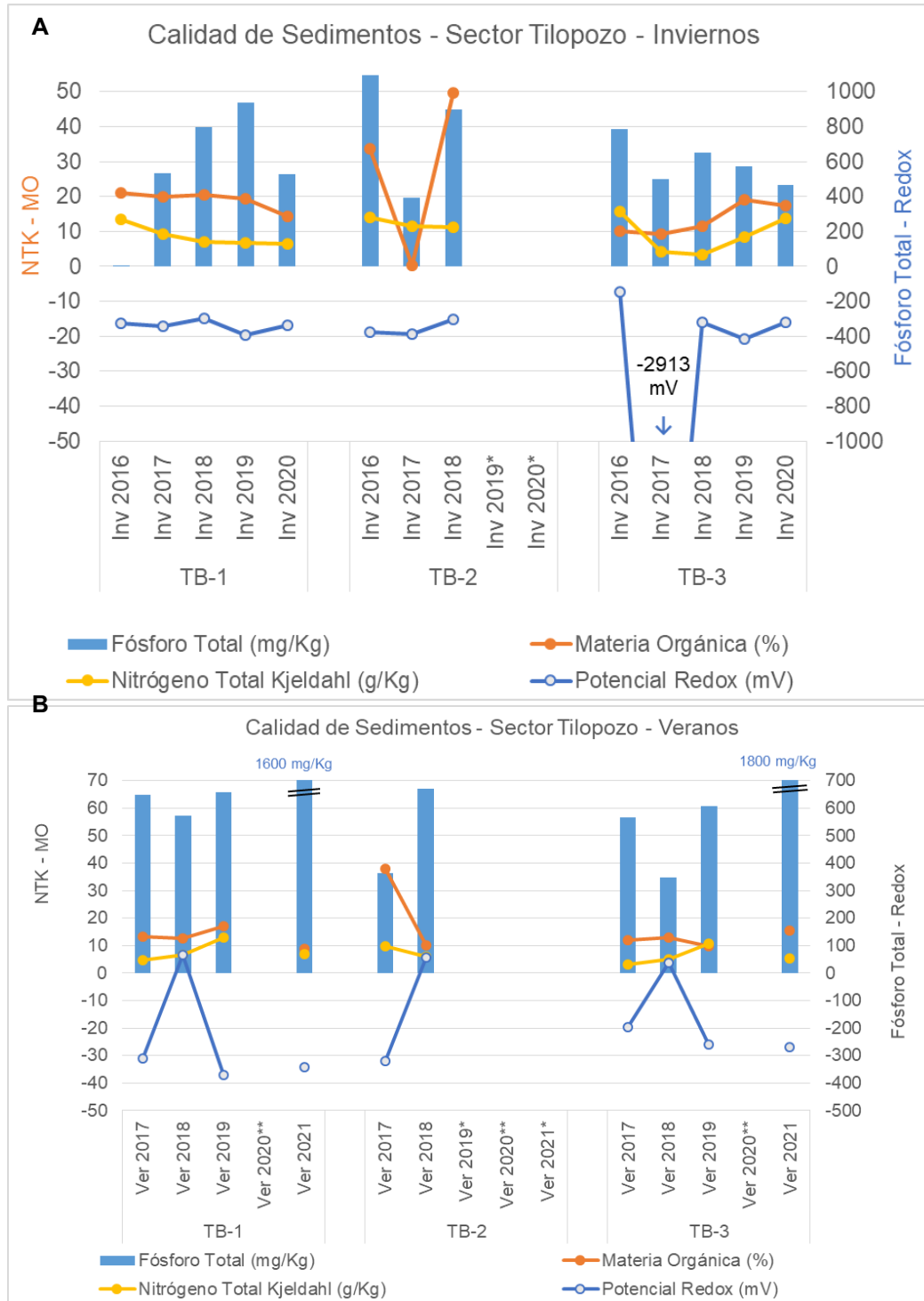
Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones, correspondieron de *arena muy fina a arena media* en las tres estaciones monitoreadas, con grados de selección de *Pobremente seleccionado a Muy pobremente seleccionado*.

Figura N° 12-79. 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° 12-80. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas que 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

12.5.2.3 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) y 2020 (M9). 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) y 2021 (M10).

Cabe señalar que, la campaña de verano 2020 (M8) no se pudo realizar producto de la pandemia COVID-19 y la campaña 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**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2021 y línea de base (periodos de verano), no será posible de realizar, debido a que la campaña verano 2021 el monitoreo no fue posible realizar debido a restricciones impuestas por la comunidad de Peine, y en la campaña verano 2020 no fue posible realizar por la pandemia COVID-19. Por lo tanto, solo se realizará un análisis histórico considerando el periodo estacional por separado.

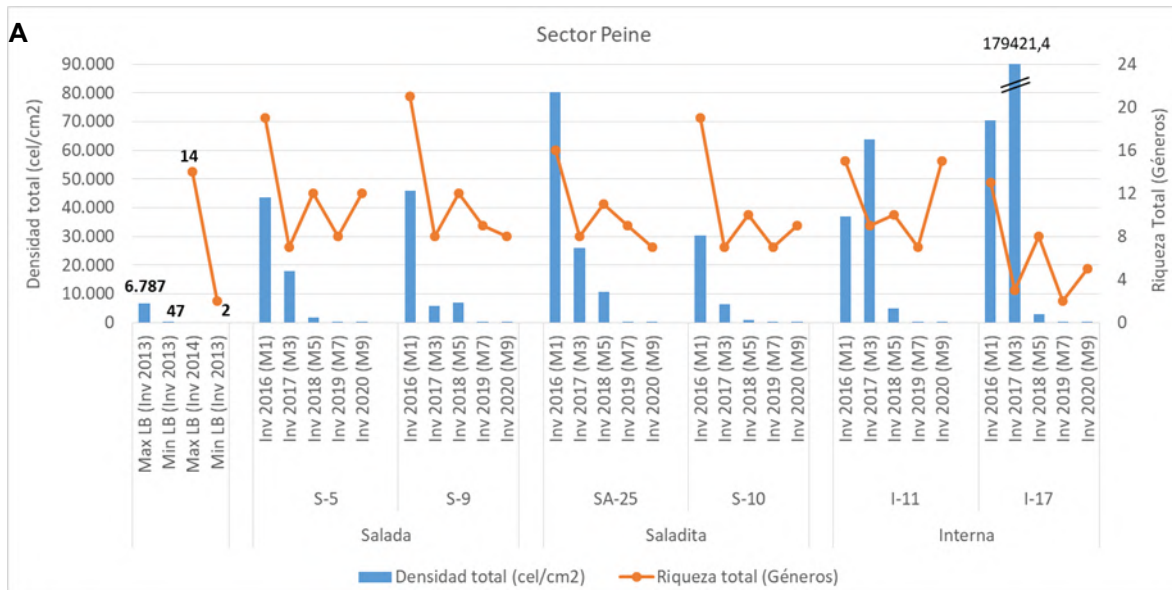
En relación con el fitobentos, en el **sector Peine** el rango de variación detectado en invierno 2020 presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 5; Max 15) en invierno 2020 versus (Min 2; Max 14) en periodos de invierno LB. En tanto el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2020, presentó valores bajos respecto de lo observado en el tiempo considerando LB y monitoreo. Rango (Min 14,29; Max 173,70) en invierno 2020 versus (Min 46,8; Max 6787,2) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-81 A**).

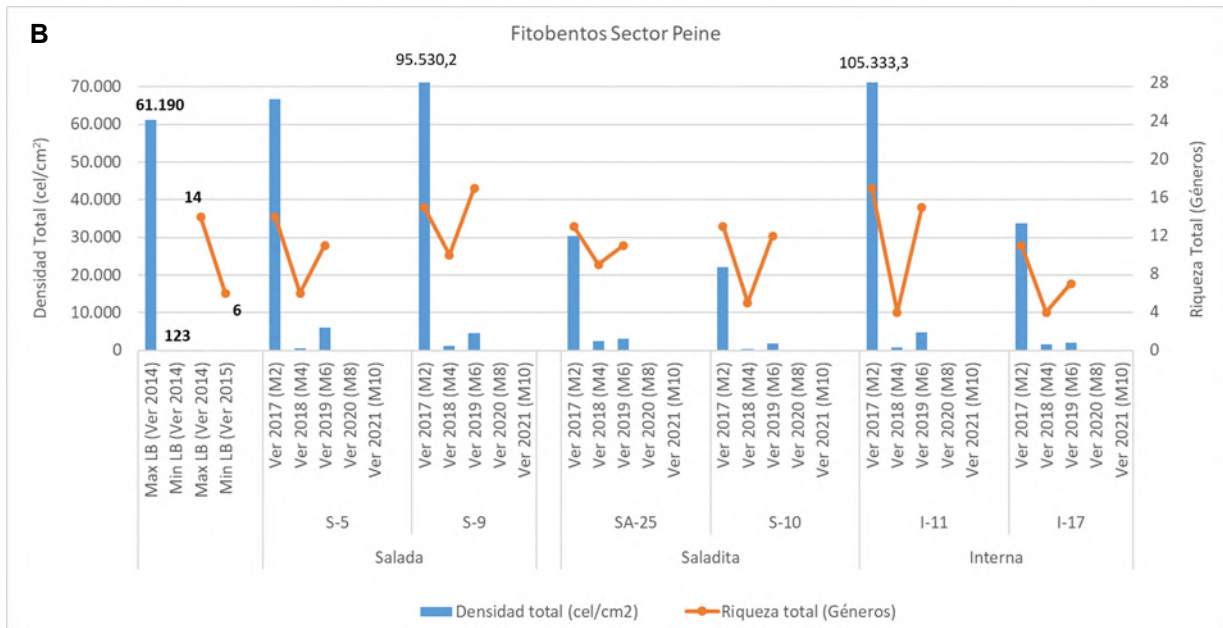
Respecto de las campañas de verano, en el **sector Peine** como se indicó, las campañas de verano 2020 y 2021 no fueron posibles de realizar, debido a estas situaciones, solo se analizó el rango de variación detectado entre periodos de veranos en las campañas de monitoreo (2017-2019), el que presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de

lo observado en la LB. Rango (Min 4; Max 17) en periodos de verano (2017-2019) versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-81 B**).

En tanto el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en periodos de verano, presentó valores por sobre el rango de variación de LB. Cabe destacar que, la campaña de verano 2017 mostró las abundancias más altas de todo el monitoreo, alcanzando hasta dos órdenes de magnitud más que las restantes campañas. Rango (Min 346; Max 105.333) en periodos de verano (2017-2019) versus (Min 123; Max 61.190) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-81 B**).

Figura N° 12-81. 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 de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

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 2020, correspondieron a *Amphora* y *Fallacia* (todas diatomeas), diferente a lo mostrado en la LB para periodos de invierno. En la LB periodo invierno se observó la alta dominancia de las diatomeas *Navicula*, *Denticula*, y *Amphora* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En tanto, en la campaña verano 2021, no se realizó el monitoreo debido a que no se pudo acceder a este sector, sin embargo, entre LB y las campañas de verano en el tiempo se observaron diferencias en las mayores representatividades. De este modo, en la LB se observó la alta dominancia de las diatomeas *Achnanthes*, *Diatoma* y *Amphora* y en las campañas de monitoreo se observó en verano 2017 una alta dominancia de las diatomeas *Amphora* y *Denticula*, y la cianófita *Oscillatoria*, en tanto, en verano 2018 dominaron las diatomeas *Nitzschia*, *Amphora* y *Rhopalodia*. En tanto, en verano 2019 las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Halamphora*, *Navicula* y *Oscillatoria* (las primeras diatomeas y la última cianófita) (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

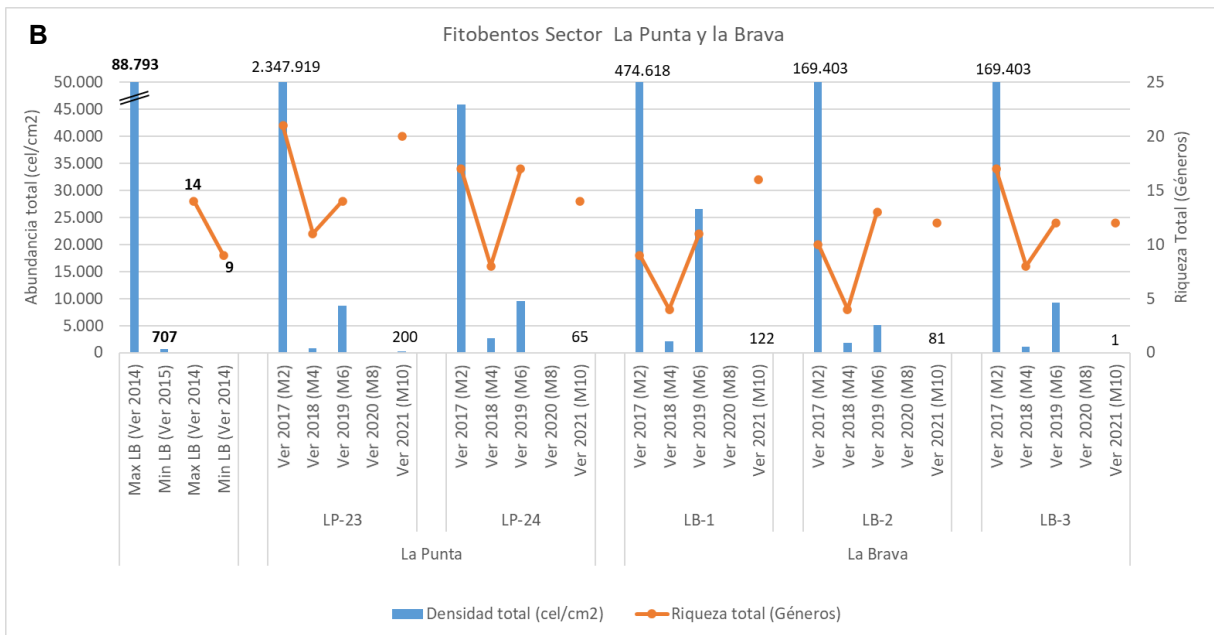
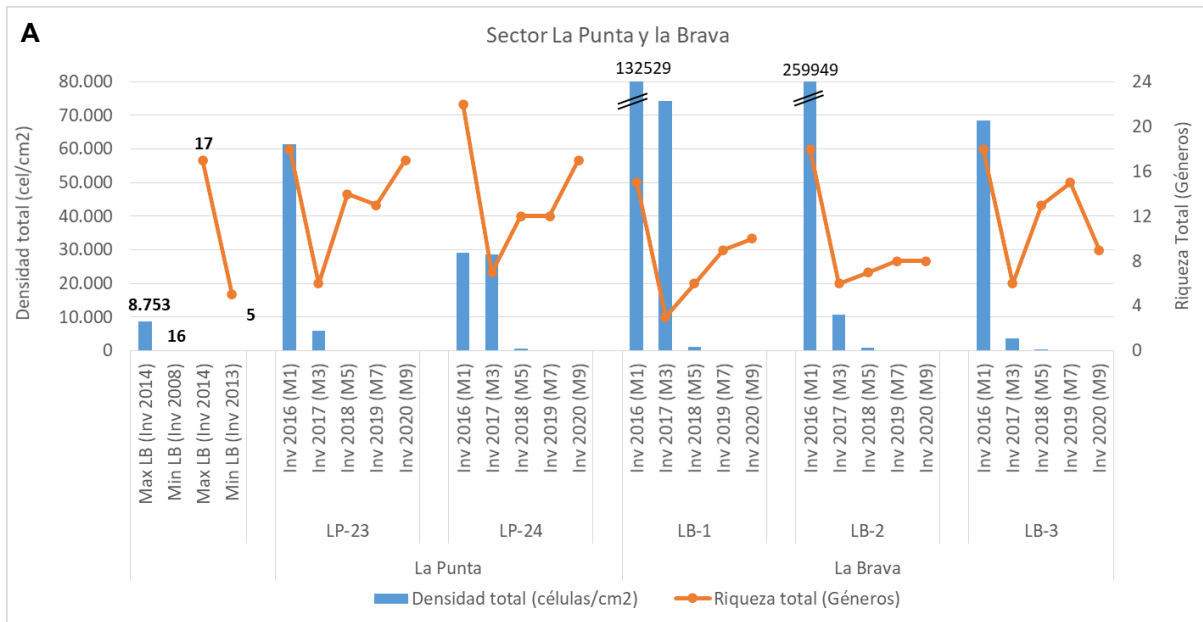
En el sector **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2021 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares para un 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 2020, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 8; Max 17) en invierno 2020 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2020, aunque fueron bajas se mantuvieron dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 78,30; Max 206,78) en invierno 2020 versus (Min 15,8; Max 8752,8) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-82 A**).

En verano 2021, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 12; Max 20) en verano 2021 versus (Min 9; Max 14) en periodos de verano LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2021, los valores registrados estuvieron por debajo de lo observado en la LB. Rango (Min 1,00; Max 200,50) en verano 2021 versus (Min 707; Max 88.793) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-82 B**).

Cabe destacar que, en la abundancia, se observó un aumento en el periodo de verano 2017, 2019 y 2021, en las estaciones LP-23 y LB-1 presentando valores superiores a lo observado en la LB.

Figura N° 12-82. Rango de variación temporal para el fitobentos 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 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.

Las mayores dominancias a nivel de géneros, en la campaña de invierno 2020 se presentaron para las diatomeas *Denticula* y *Fragilaria*, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. Mientras que, *Denticula* y *Amphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2021, 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 relación con la riqueza de géneros los registros de invierno como de verano fueron similares. En tanto, se ha observado que la abundancia en ambos periodos estacionales invierno y verano, han presentado una disminución en el tiempo con menores registros en verano.

En periodos de invierno, los registros de riqueza de géneros entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y 2020 y los menores en invierno 2017 y 2019. Específicamente en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 se observó un alto valor de riqueza en invierno 2016. 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 y (Min 6; Max 10) en invierno 2020 (**Figura N° 12-83 A**).

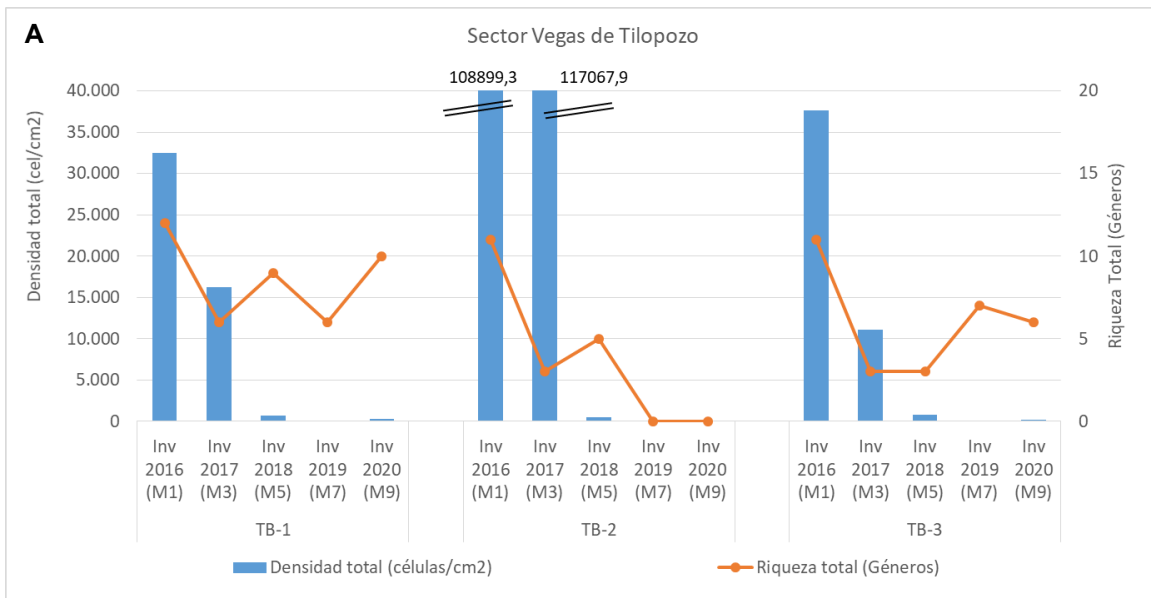
Por otro lado, en periodos de verano, los registros de la riqueza de géneros observada entre verano 2017, 2018, 2019 y 2021, en general fueron variables, observándose valores mayores en verano 2017. Cabe resaltar que la estación TB-1 presentó altos registros de riqueza de géneros, con valores que oscilaron 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. 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 y (Min 8; Max 8) en verano 2021 (**Figura N° 12-83 B**).

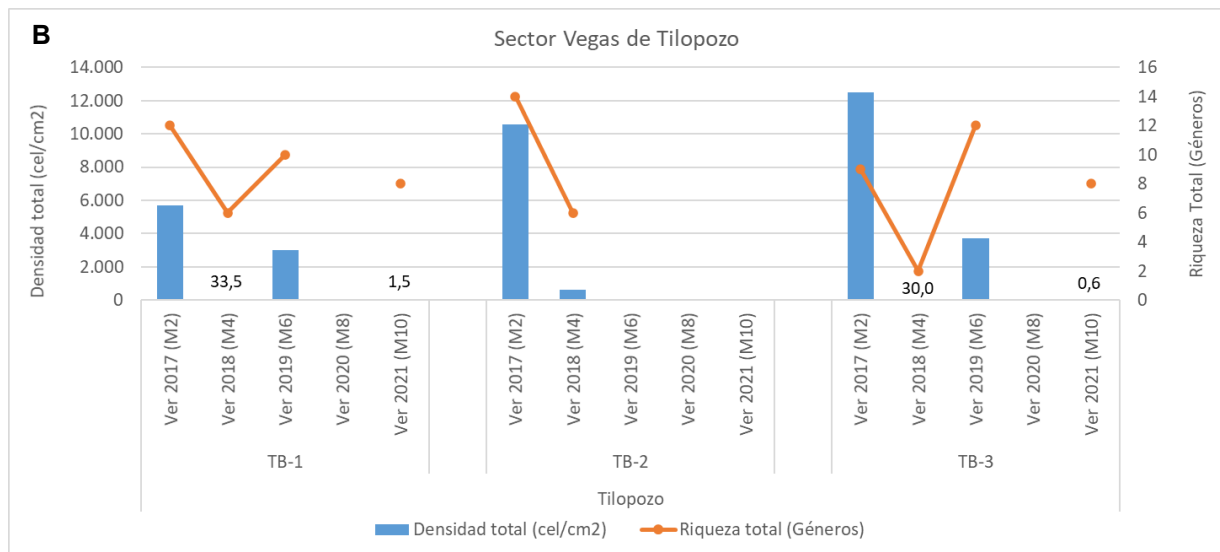
Así mismo, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, presentó diferencias, con valores mucho menores en

invierno 2019. En general, la abundancia ha presentado una disminución en el tiempo. Rango (Min 32.466; Max 108.899) en invierno 2016; (Min 11.064; Max 117.068) en invierno 2017; (Min 543; Max 753) en invierno 2018; (Min 0; Max 0,61) en invierno 2019 y (Min 0; Max 273,07) en invierno 2020 (**Figura N° 12-83 A**).

Por otro lado, en periodos de verano, la abundancia presentó diferencias entre campañas de monitoreo, siendo menores en verano 2021. Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectada entre verano 2017, 2018, 2019 y 2021, fueron distintas. Rango (Min 5709; Max 12480) en verano 2017, (Min 30; Max 626) en verano 2018, (Min 3008; Max 3724) en verano 2019 y (Min 0,58; Max 1,54) en verano 2021. (**Figura N° 12-83 B**).

Figura N° 12-83. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.





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*. Por último, en invierno 2020 dominaron las diatomeas *Fragilaria* y *Nitzschia*.

Por otra parte, en el periodo de verano, entre estaciones de muestreo fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes. 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*, *Achnanthisdium* y *Cocconeis* y en verano 2021 las mayores representatividades fueron para las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis* (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

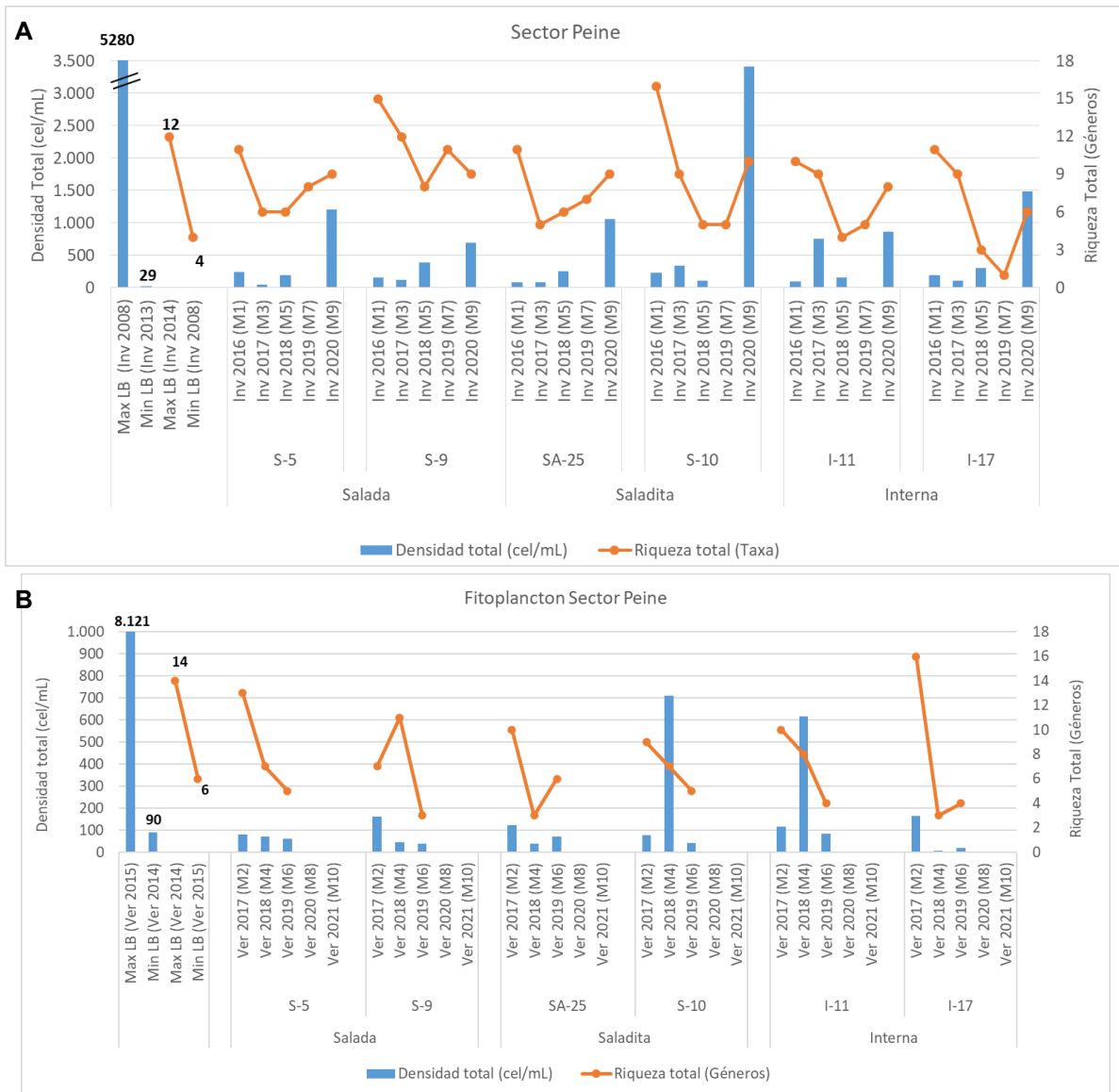
Respecto del fitoplancton y su evolución histórica en el **sector Peine**, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno), se observaron registros similares de riqueza y abundancia total. En tanto, entre campaña de monitoreo verano 2019 y línea de base (periodos de verano), se observaron registros riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB, excepto por el periodo verano 2018 y 2019 en que algunas estaciones de monitoreo presentaron solo 3 géneros como mínimo.

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 comparando invierno y verano, fueron menores en verano.

Entre la campaña de monitoreo invierno 2020 y LB (periodos de invierno), el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2020 estuvo contenido dentro del observado en la LB. Rango (Min 6; Max 10) en invierno 2020 versus (Min 4; Max 12) en periodos de invierno LB. **(Figura N° 12-84 A)**.

En relación con el fitoplancton, en el sector **Peine** en la actual campaña verano 2021 no fue posible realizar el monitoreo debido a restricciones impuestas por la comunidad de Peine, y en la campaña verano 2020 no fue posible realizar por la pandemia COVID-19. Debido a estas situaciones, solo se analizó el rango de variación detectado entre periodos de verano en las campañas de monitoreo (2017-2019), presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB, excepto por el periodo verano 2018 y 2019 en que algunas estaciones de monitoreo presentaron solo 3 géneros como mínimo. Rango (Min 3; Max 16) en periodos de verano (2017-2019) versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB. **(Figura N° 12-84 B)**.

Figura N° 12-84. 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 de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

Fuente: Elaboración propia.

En el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2020, estuvo contenida dentro del rango observado en la línea de base. Rango (Min 694,44; Max 3.407,41) en invierno 2020 versus (Min 29; Max 5.280) en periodos de invierno LB (Figura N° 12-84 A).

En tanto el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en periodos de verano, presentó valores dentro del rango de variación de LB. Cabe destacar que, la campaña de verano 2018 mostró las abundancias más altas de todo el monitoreo. Rango (Min 5; Max 711) en periodos de verano (2017-2019) versus (Min 90; Max 8.121) en periodos de verano LB. En cuanto a las campañas de verano, se puede observar en general que todos los valores son menores a la línea de base del año 2014 (**Figura N° 12-84 B**).

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.

Los géneros que presentaron las mayores representatividades en periodos de invierno correspondieron a *Amphora* y *Navicula* (ambas diatomeas), las presentaron las mayores dominancias en la LB, en tanto, en la campaña de invierno 2020 las mayores representatividades estuvieron dadas por las diatomeas *Amphora* y *Achnanthydium*. En periodos de verano, se observó que *Amphora* y *Navicula* junto a *Cocconeis* (todas diatomeas), fueron dominantes en la línea de base del periodo de verano y *Amphora*, *Navicula* y *Denticula* 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).

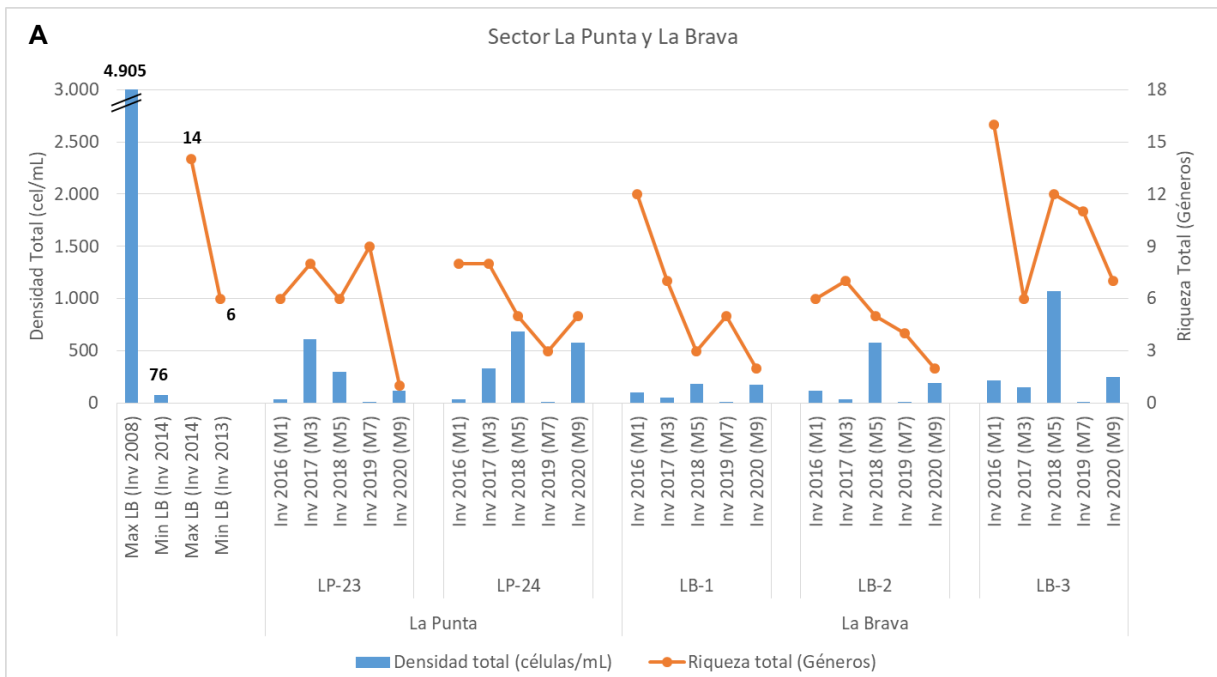
En el **sector La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2020 y línea de base (periodos de invierno), se observó registros más bajos de riqueza en invierno 2020 respecto de la línea de base, excepto LB-3 que es similar. En el periodo de verano, en el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre campaña de monitoreo verano 2021 y línea de base (periodos de verano), se observó registros similares de riqueza en verano 2021 respecto de la línea de base. En cambio, la abundancia total presentó valores similares en invierno y línea de base (periodos de invierno) y menores en verano 2021 y línea de base (periodos de verano), no obstante, dentro del rango de variación de la línea de base.

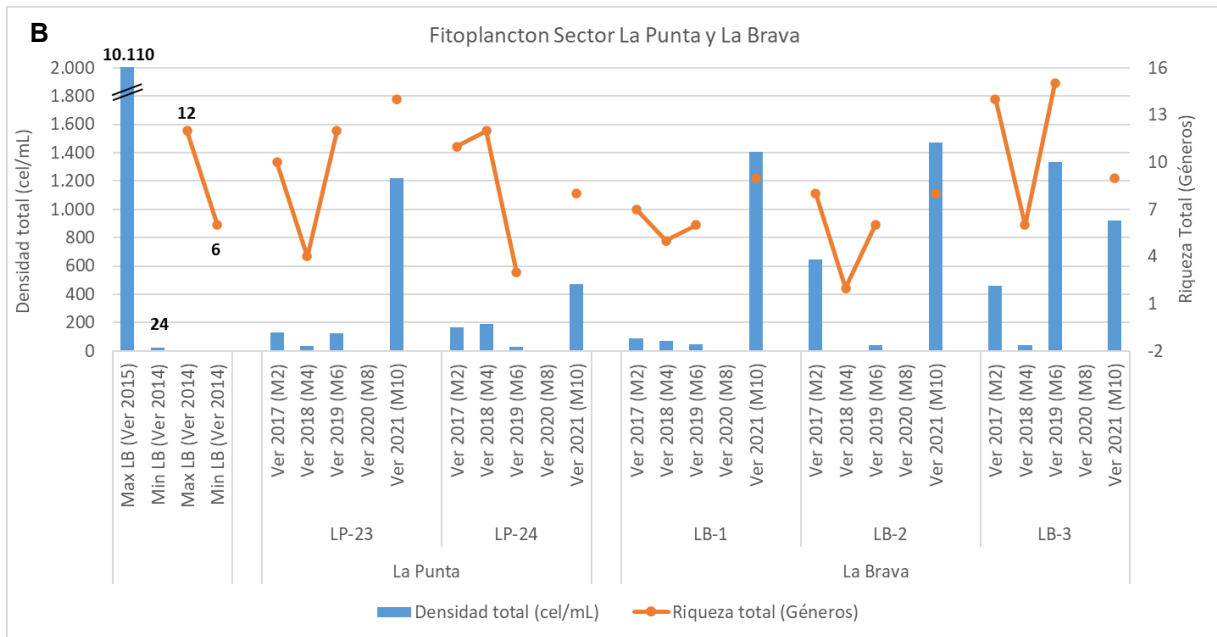
Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron menores en invierno.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2020 presentó un rango ligeramente menor al observado en la LB, con un valor mínimo en invierno 2020 menor al mínimo de LB. Rango (Min 2; Max 7) en invierno 2020 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB. El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en verano 2021 fue ligeramente mayor a lo observado en la línea de base. Rango (Min 8; Max 14) en verano 2021 versus (Min 6; Max 12) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-85 A**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2020 estuvo dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 120,37; Max 574,07) en invierno 2020 versus (Min 76; Max 4.905) en periodos de invierno LB. Mientras que, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia, detectada en verano 2021 estuvo contenida dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 474; Max 1472) en verano 2021 versus (Min 24; Max 10110) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-85 B**).

Figura N° 12-85. 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 las diatomeas *Denticula* y *Amphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2020, mientras que, *Denticula* y *Fragilaria* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En periodo de verano, se observó que las diatomeas *Cocconeis*, *Nitzschia* y la cianófito *Microcystis* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2021, mientras que las clorofíceas *Chlamydomonas* y *Botryococcus* y las diatomeas *Proschkinia* y *Denticula*, presentaron las mayores dominancias en la línea de base 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.

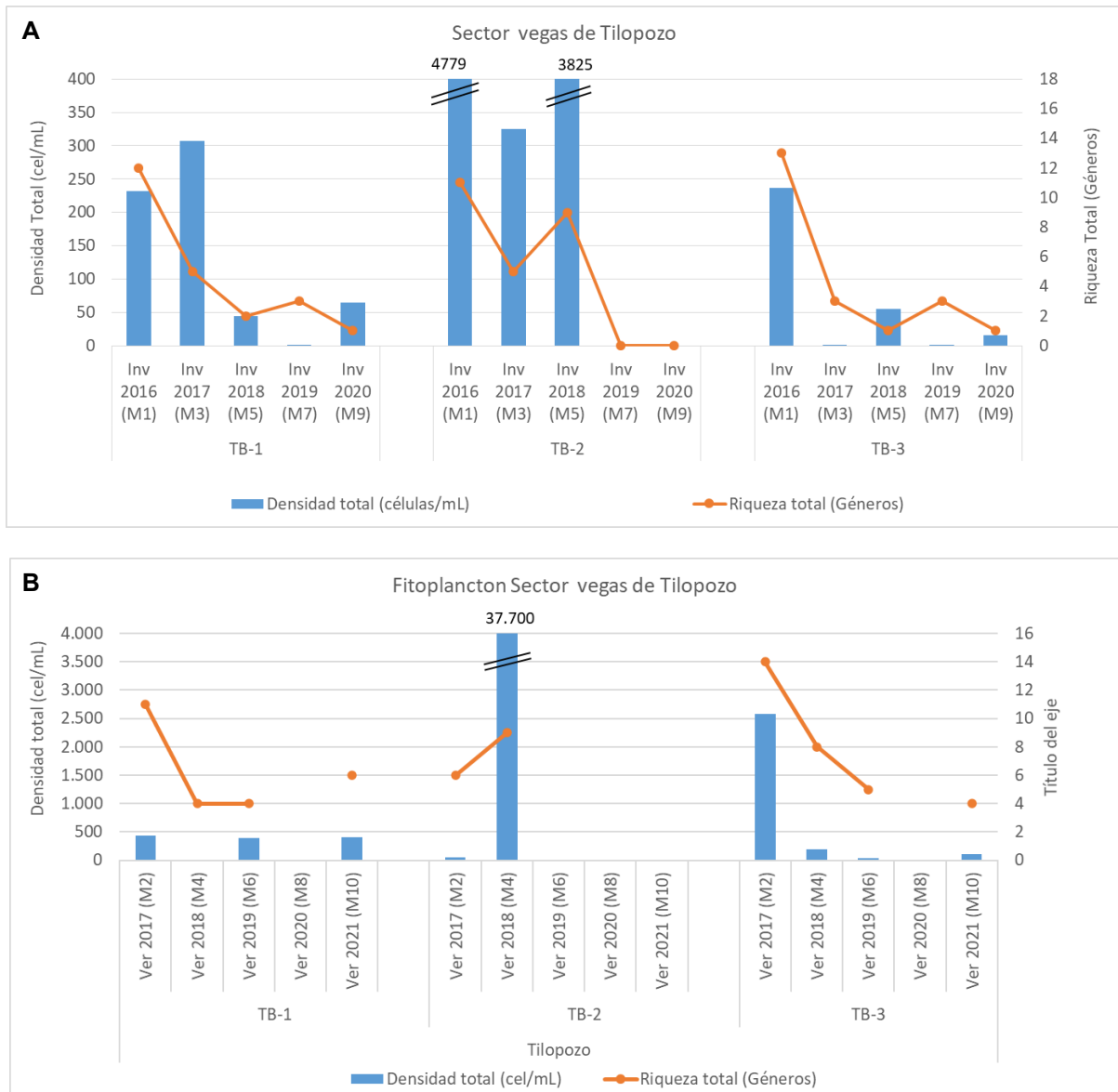
Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que ambos parámetros fueron similares para la riqueza y variables para la abundancia.

Los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 y entre verano 2017, 2018, 2019 y 2021 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 (TB-3), en tanto, para verano se observó 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.

Al respecto, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, 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 y (Min 0; Max 1) en invierno 2020 (**Figura N° 12-86 A**). En periodo de verano, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre verano 2017, 2018, 2019 y 2021, se encontraron mayores registros 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 y (Min 4; Max 6) en verano 2021 (**Figura N° 12-86 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, fueron mayores en invierno 2016 y menores en invierno 2019 y 2020. Rango (Min 232; Max 4.778) en invierno 2016; (Min 1; Max 325) en invierno 2017; (Min 44; Max 3.825) en invierno 2018; (Min 0; Max 0,66) en invierno 2019 y (Min 0; Max 64,81) en invierno 2020 (**Figura N° 12-86 A**). Mientras que, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectada entre verano 2017, 2018, 2019 y 2021, se encontraron mayores registros en verano 2018 (con el mayor aporte de la estación TB-2). Rango (Min 49; Max 2575) en verano 2017, (Min 5; Max 37700) en verano 2018, (Min 31; Max 386) en verano 2019 y (Min 111; Max 403) en verano 2021 (**Figura N° 12-86 B**).

Figura N° 12-86. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia.

Para el fitoplancton las dominancias (géneros con mayor abundancia y representatividad) cambiaron entre los periodos de invierno y de verano, observándose un recambio de géneros en el sector vegas de Tilopozo. Por otra parte, entre estaciones de muestreo también fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

De acuerdo con lo anterior, en invierno 2016, dominaron los géneros *Anabaena* (cianofícea) y *Amphora* (diatomea). Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en la

campaña de invierno 2017 donde se observó una alta predominancia de la zygematoficea *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 Conjugatophyceae. Por último, en la campaña de invierno 2020 la mayor representatividad se observó para la diatomea *Diatoma*.

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 *Halamphora* (diatomea) y en verano 2021 la diatomea *Nitzschia* y la cianófita *Microcystis* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

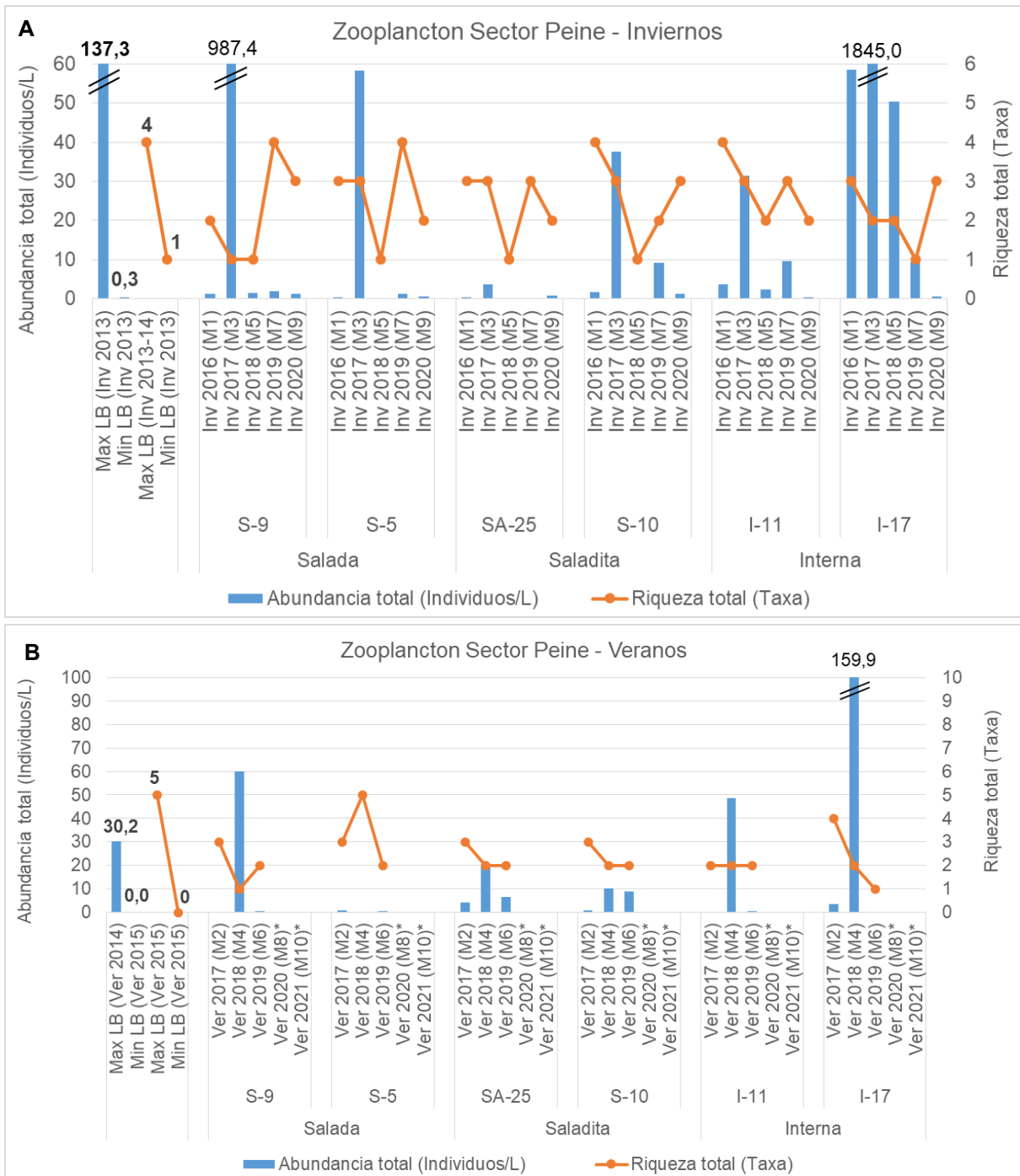
Cabe destacar que, que para todos los monitoreos de invierno como de verano en vegas de Tilopozo, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *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° 12-87**).

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° 12-87. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



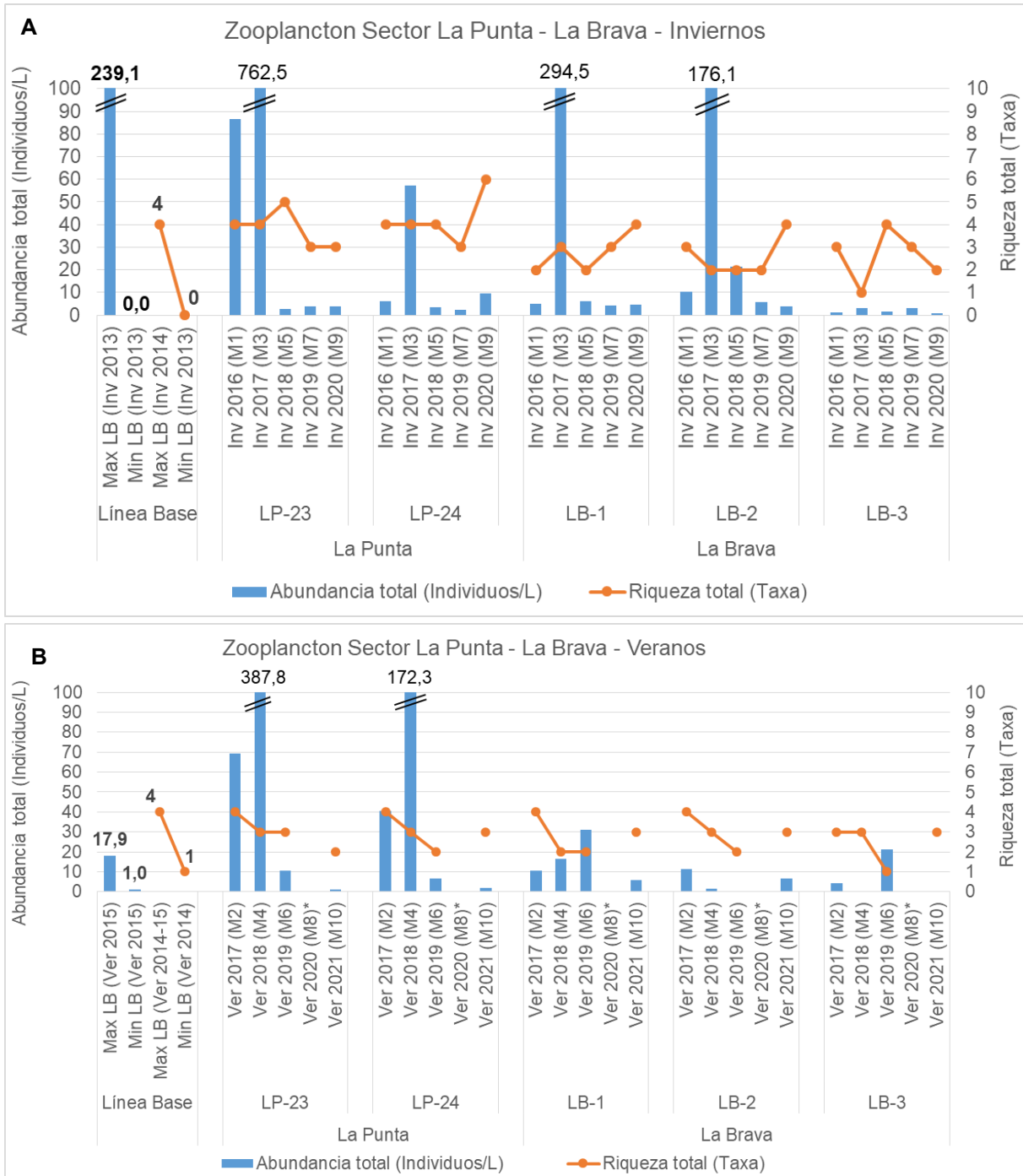
Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Para la campaña estival de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

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 2018 y verano 2019 en las estaciones LP-23 y LP-24 y en verano 2019 en las estaciones LB-1 y LB-3, donde se sobrepasó en abundancia total. Las riquezas fueron bajas, entre 1 y 4 *taxa* en los periodos de verano e invierno monitoreados (**Figura N° 12-88**). En este sistema se observó que en invierno 2017 dominaron los copépodos Harpacticoidea (principalmente en La Brava), mientras que en verano 2018 e invierno 2018 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 última 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).

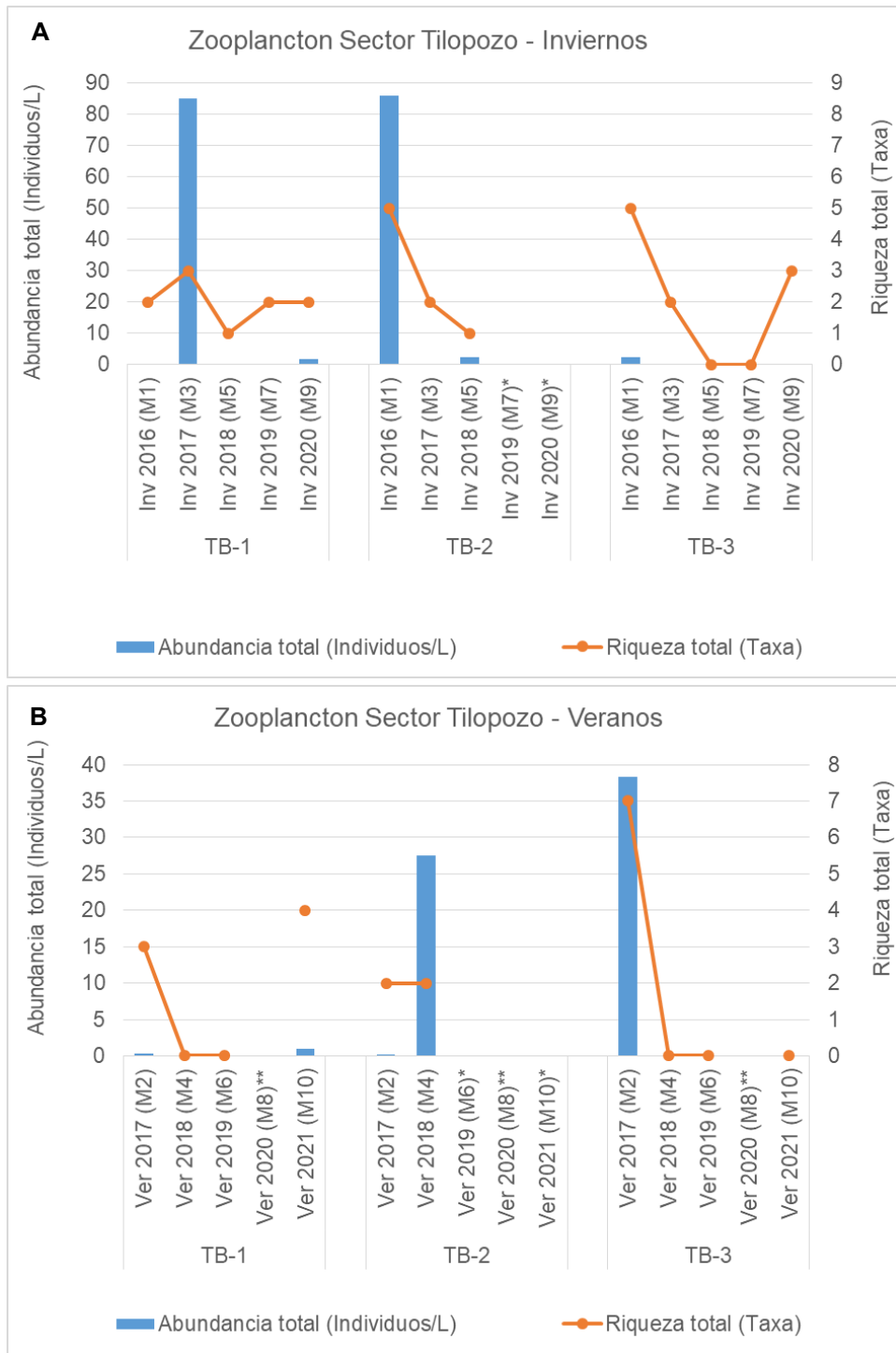
Para el sector **Tilopozo**, las riquezas totales estuvieron en el rango de 0 a 5 *taxa* en las campañas de invierno y entre 0 y 7 en las campañas de verano, mostrando en general bajas abundancias totales (menores a 90 ind/L). En las campañas de invierno se registraron las mayores abundancias totales (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° 12-89**). 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° 12-88. 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 por COVID-19.

Figura N° 12-89. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas que 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

- Zoobentos

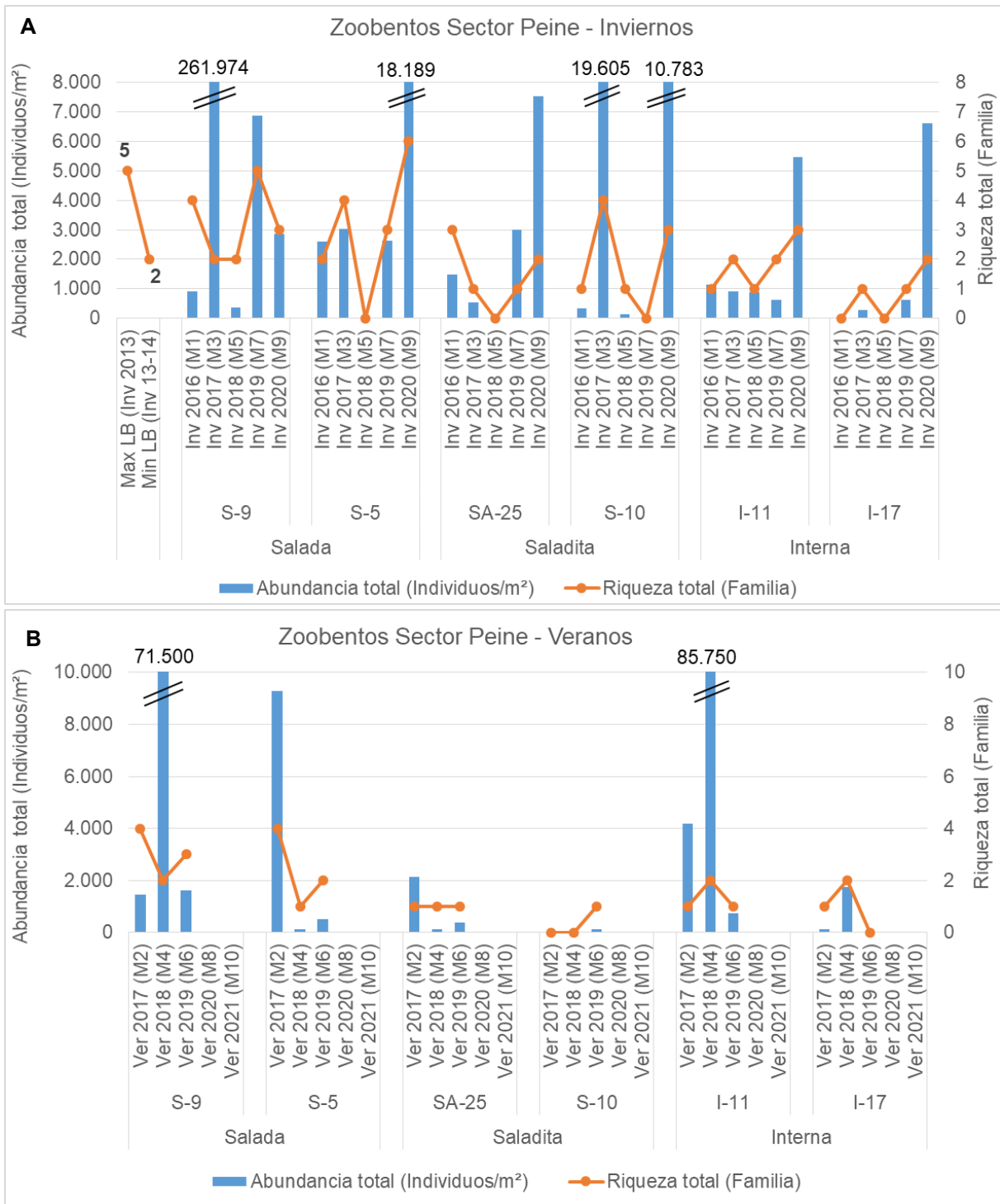
El zoobentos del **Sector Peine** tanto en invierno como en verano, mostró en general bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 6 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada. Las abundancias totales en Peine durante los inviernos y veranos monitoreados mostraron 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 (**Figura N° 12-90**).

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 fueron mayores 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° 12-91**).

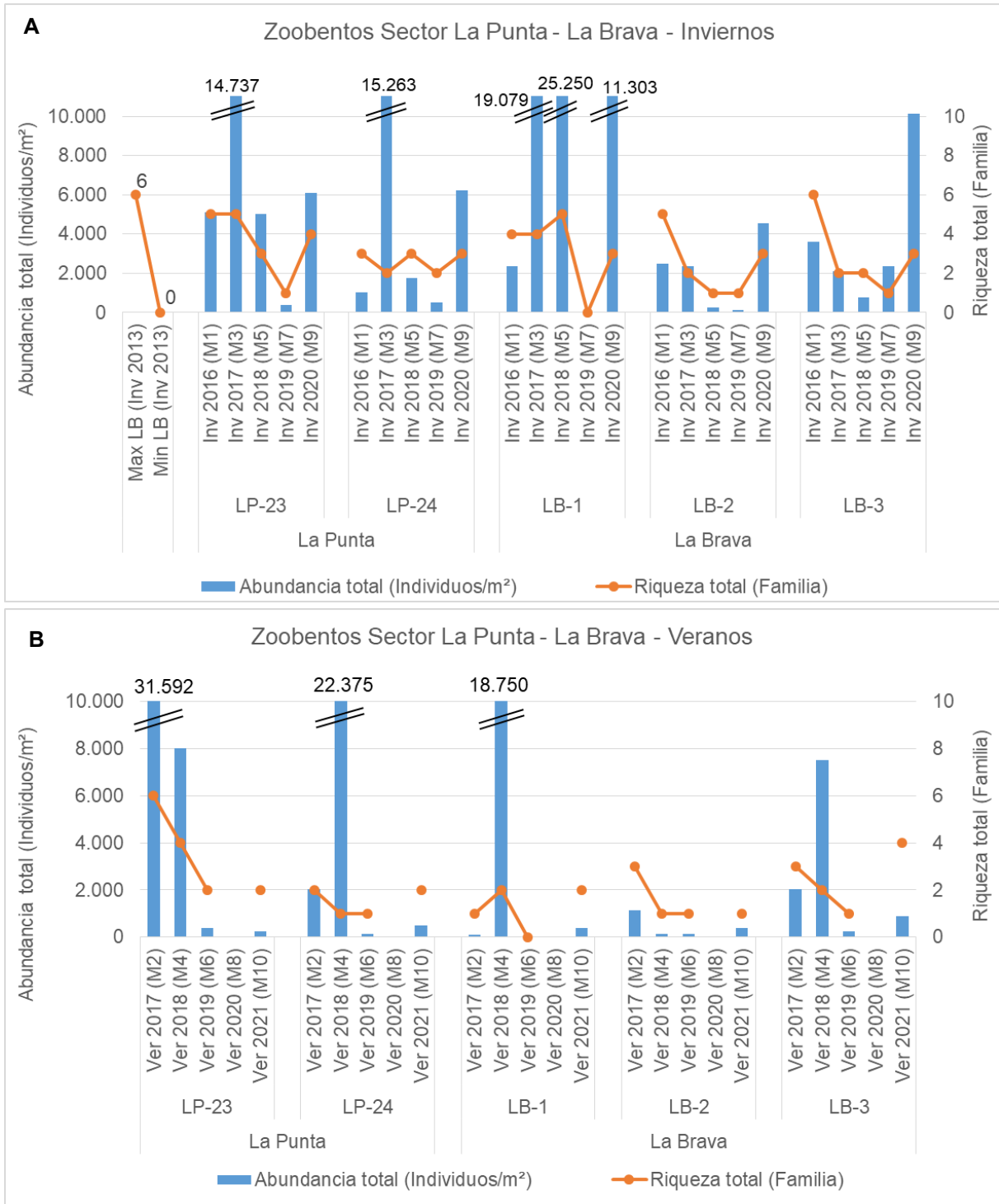
En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. 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.

Figura N° 12-90. 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 por COVID-19. Para la campaña estival de 2021 no se realizó monitoreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

Figura N° 12-91. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



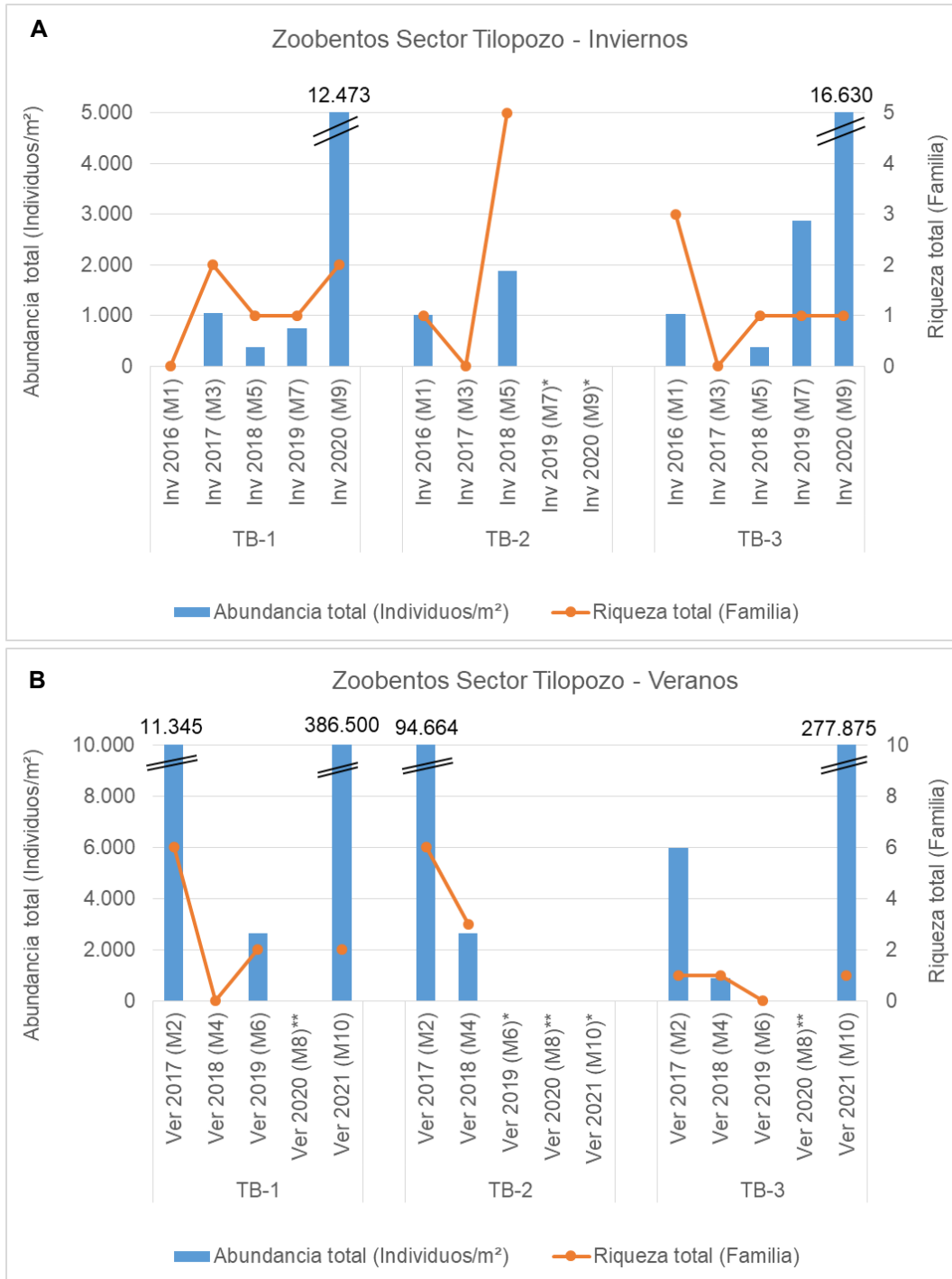
Fuente: Elaboración propia. La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en las campañas de invierno mostró muy bajas riquezas de *taxa* (0 a 5) a diferencia de las campañas de verano (entre 0 y 6 *taxa* por estación), 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), seguida por la abundancia total registrada en TB-3 durante esa misma campaña (277.875 ind/m²) (**Figura N° 12-92**).

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 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 verano 2019, invierno 2019, invierno 2020 y verano 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° 12-92. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas que 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.

- 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 y 2020), 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 y 2019), 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 helófitas *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° 12-50**).

Tabla N° 12-50. 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	Helófitas	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	Helófitas	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófitas	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófitas	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófitas	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramasalada	Helófitas	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófitas	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófitas	Nativa

*Especies detectadas solo en Línea de Base en periodo de invierno.

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la riqueza histórica detectada en el **sector Peine** se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas en ambos periodos de invierno y verano, con 2 especies *Ruppia filifolia* y *Potamogeton pectinatus* ambas detectadas de modo intermitente en periodo de invierno.

En las campañas de invierno de LB en relación a la composición y riqueza, 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. En tanto, en las campañas de monitoreo de invierno, solo se ha detectado la especie *R. filifolia* en algunas estaciones de monitoreo las que correspondieron a S-5 (Laguna Salada), SA-25 y S-10 (Laguna Saladita).

En relación a la riqueza histórica detectada en periodos de verano, en la actual campaña verano 2021 no fue posible realizar el monitoreo debido a restricciones impuestas por la comunidad de Peine, y en la campaña verano 2020 no fue posible realizar por la pandemia COVID-19. Debido a estas situaciones, se analizó la información para la riqueza de las campañas de verano (2014-2019), en la cual se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas con 3 especies *Ruppia filifolia*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*.

En las campañas de línea de base verano 2014 y 2015 en la mayoría de las estaciones de las lagunas Salada, Saladita e Interna, fue reportada la presencia de *R. filifolia*, *D. spicata* y *S. fruticosa* (verano 2014) y de *R. filifolia* (verano 2014 y 2015). En las campañas de monitoreo de verano (2017-2019), 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).

Respecto de las coberturas totales en periodo de invierno fueron registradas desde invierno 2016 en adelante. En las campañas de invierno 2008 y 2014 no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies. En tanto, las coberturas totales fueron registradas desde verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Las coberturas totales mostraron para invierno 2016 a *R. filifolia* en la estación S-5 (laguna Salada) y en las estaciones SA-25 y S-10 (ambas ubicadas en laguna Saladita) con una cobertura registrada de <10% en todas las estaciones mencionadas. Del mismo modo, en invierno 2017 se registró la presencia de *R. filifolia* en la estación S-5 y en las estaciones de la laguna Saladita SA-25 y S-10, no obstante, se observaron coberturas de 30 y 25% respectivamente. En invierno 2018 y 2019, se detectó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25

y S-10, cuyas coberturas correspondieron a 73 y 25% en invierno 2018 y de 47 y 57% en invierno 2019 en las estaciones S-5 y SA-25 respectivamente. Mientras que, en S-10 fue reportada solo la presencia en invierno 2018, 2019 y 2020 (**Figura N° 12-93 A**).

En tanto, en verano 2017 y 2018 se registró la presencia de *R. filifolia* en la estación S-5 y en las estaciones de la laguna Saladita SA-25 y S-10, en estas últimas se observaron coberturas de 10% (2017) en S-5, SA-25 y S-10 y 77 y 37% (2018) en S-5 y SA-25, en tanto, en verano 2018, en S-10 solo fue registrada la presencia. Por último, en verano 2019, se detectó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25 y S-9, cuyas coberturas correspondieron a 20%, 70% y 80% respectivamente, mientras que en S-10 no se observó la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 12-93 B**).

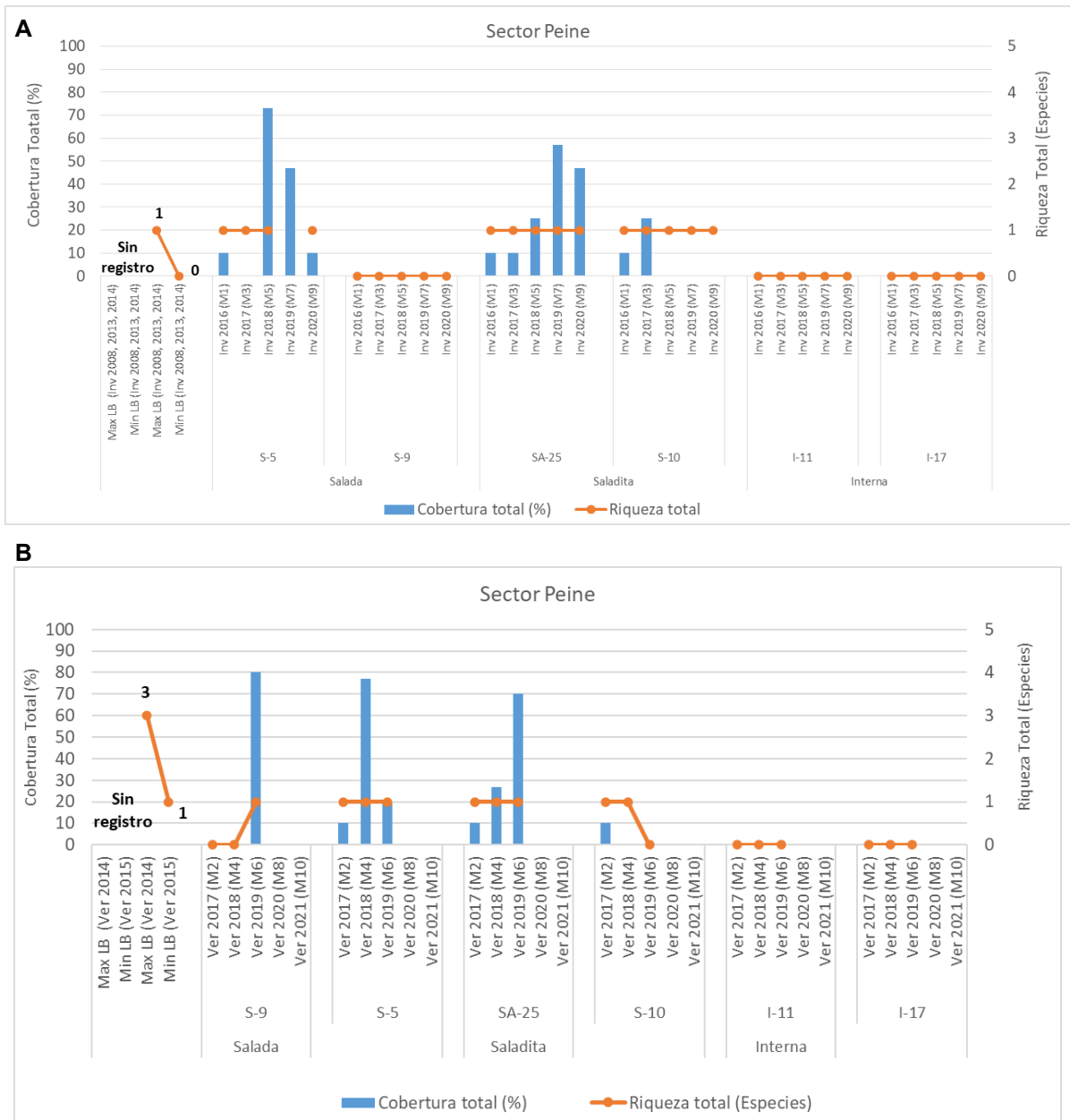
Respecto de la riqueza de especies por estación de muestreo esta ha oscilado en términos temporales (línea de base y monitoreos) en periodo de invierno entre 0 y 1 especies y en periodo de verano entre 0 y 3 especies, presentando un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies entre periodos estacionales. Este comportamiento, estaría asociado a las condiciones del hábitat, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos de invierno (dado que no existen registros de LB), la estación SA-25 (laguna Saladita) ha presentado un aumento de esta desde invierno 2016 a invierno 2020, en tanto, para la estación S-10 se observaron valores similares entre las campañas de invierno 2016 y 2017 con registros entre 10 y 20%. Mientras que, en la estación S-10 en los inviernos 2018, 2019 y 2020 solo se registró presencia de plantas acuáticas sin coberturas y en la estación S-9 no se ha detectado presencia de plantas vasculares acuáticas. Finalmente, 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 2021), no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas.

En tanto, en las coberturas en monitoreos de verano (tampoco existen registros de línea de base), la estación SA-25 (laguna Saladita) ha presentado un aumento desde verano 2017 a verano 2019, en tanto, en S-9 se reportó *R. filifolia* en un 80% de cobertura en verano 2019 y en S-10 un 10% en verano 2017. La estación S-5 ha presentado valores variables entre 10% y 77%.

Cabe destacar que, en la laguna Interna en los monitoreos de invierno no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas. En cambio, durante la línea de base en cuanto a la riqueza, se observó la presencia de 3 especies, mientras que, en los monitoreos de verano no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas.

Figura N° 12-93. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival de 2021 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, ya que no se tuvo acceso por restricciones de ingreso por parte de la comunidad de Peine.

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 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, verano 2018 y 2019, invierno 2020 y verano 2021, 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° 12-94 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° 12-94 B**).

En relación con las campañas de monitoreo 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.

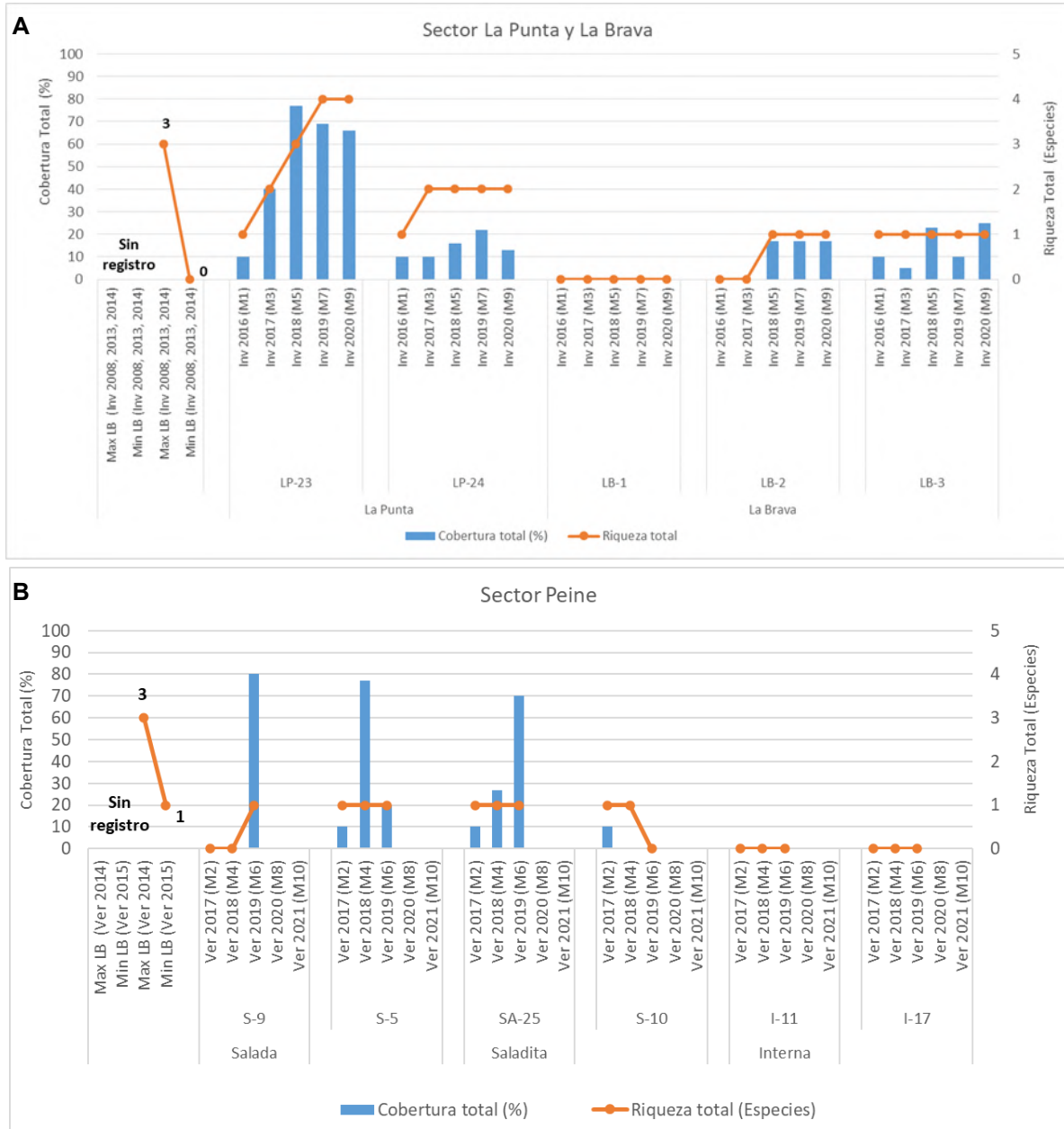
En relación con las campañas de monitoreo de verano, se observó en verano 2017 a *R. filifolia* en las estaciones LB-3 (Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (Laguna La Punta), todas con coberturas menores al 10%. En verano 2018 se registró *R. filifolia* en las estaciones LP-24 y LP-23 (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 último, en verano 2021, se observó *R. filifolia* con coberturas entre 2% y 8% en LP-23 y LP-24, además de *S. fruticosa* con un 57% en LP-23 y presencia de esta en LP-24, y *T. concinna* con un 6% en la estación LP-23. En tanto, en LB-2 (Laguna La Brava) se detectó *T. concinna* con un 32%, y en LB-1 no se detectaron plantas vasculares acuáticas (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (LB 3 especies y monitoreos 4 especies) en periodo invierno y verano, presentando máximos de 4 especies en invierno 2019 y 2020 y verano 2018 y 2021 en la estación LP-23 (**Figura N° 12-94 A**). Se aprecia un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies en periodo de invierno y verano, lo que podría estar asociado a las condiciones del hábitat en el periodo, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

Respecto de las coberturas totales, se observa que en los monitoreos (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 10 y 79% (**Figura N° 12-94 B**).

Figura N° 12-94. Rango de variación temporal por estación de monitoreo y LB, de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia.

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**).

En relación con las campañas de monitoreo periodo invierno, 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% respectivamente, *Schoenoplectus californicus* en TB-1, TB-2 y TB-3 con coberturas de 47 y 100% respectivamente, *Distichlis spicata* con 42% de cobertura en TB-1, *Juncus balticus* con 17% de cobertura en TB-1 y *Baccharis* sp. con 8% y 20% en TB-1 y TB-3 respectivamente (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua, Numeral 1.8**).

En relación a 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.

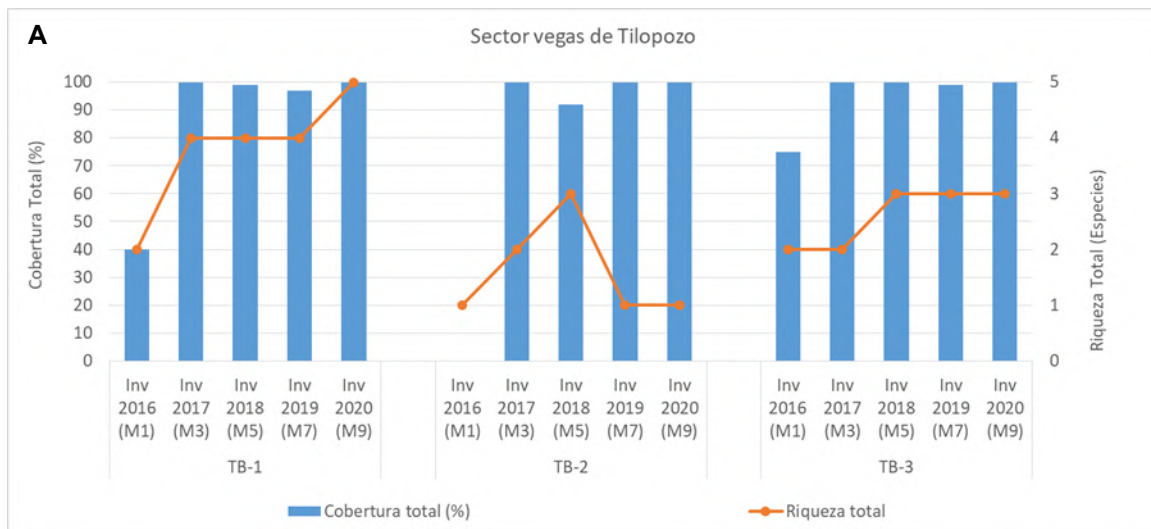
Además, se reportó la presencia de helófitas emergentes, las que también presentaron coberturas bastante estables en el tiempo. En verano 2018, con *Schoenoplectus californicus* con 33% y 100% en las estaciones TB-1 y TB-3 y *Juncus balticus* con 27% y 100% en las estaciones TB-1 y TB-2 respectivamente, 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. Por último, 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 (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua, Numeral 1.8**).

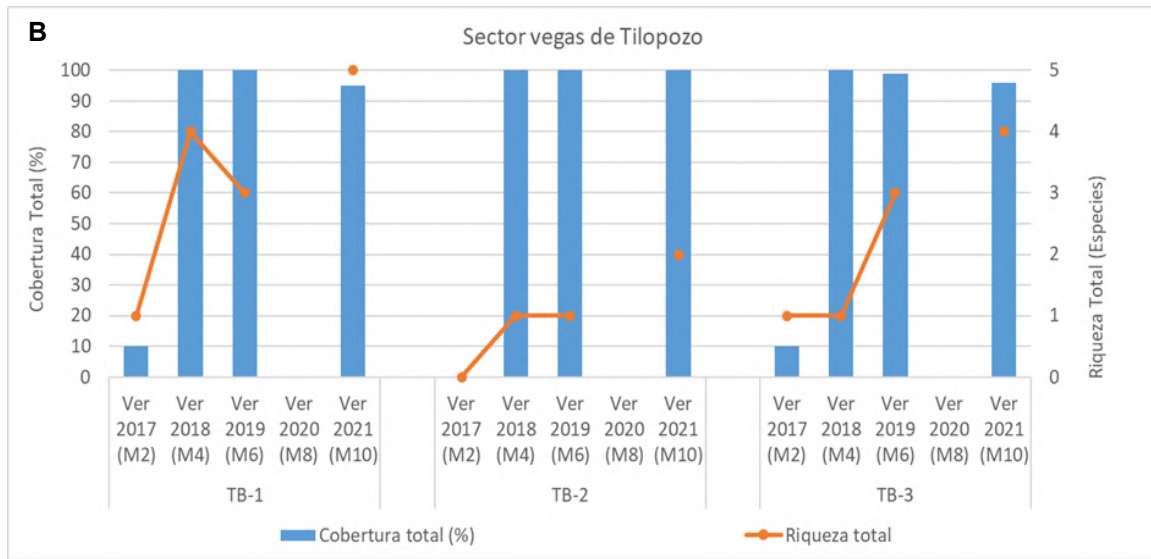
La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 5 especies en invierno y verano, encontrándose diferencias entre estaciones de muestreo. Cabe consignar que, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos tipo pozas y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico. (Figura N° 12-95 A).

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 oscilaron entre 70 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 90 y 100%, excepto para la campaña de verano 2017 donde se observó una cobertura total del 10% (Figura N° 12-95 B).

Respecto de las coberturas también se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de línea de base) las estaciones de muestreo presentaron altas coberturas de la hidrófita *Zannichellia palustris*, observándose que durante los periodos de invierno y 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

Figura N° 12-95. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.





Fuente: Elaboración propia.

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).

12.6 En relación con Área de Lagunas

12.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el quinto año de monitoreo 2020 con respecto a los registros históricos se presenta en la Tabla N°12-51.

Tabla N°12-51. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2020 (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 2020					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2020		Verano 2020		Promedio anual (2020)	
					ha	m2	ha	m2	ha	m2
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	33,8	35,0	31,6	51,4	514417,6	28,4	284172,6	39,9	399295,1
	PE	64,8	73,6	48,9	54,2	542094,0	73,5	734637,7	63,8	638365,9

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2020					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2020		Verano 2020		Promedio anual (2020)	
					ha	m2	ha	m2	ha	m2
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	-	-	-	60,0	600191,3	36,1	360957,7	48,1	480574,5
	PE	-	-	-	105,4	1054402,8	83,0	830121,6	94,2	942262,2

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

Se observa que los valores de las superficies estimadas para invierno 2020 y verano 2020 desde alta resolución y para el sector Peine se encuentran dentro de los límites y sobre el mínimo histórico; mientras que el sector La Punta y La Brava se observa sobre el mínimo histórico invierno 2020 y bajo del mínimo histórico en los resultados de verano 2020. Las mayores variaciones con respecto a los registros históricos se presentan en el sector Peine en verano 2020 con +24,6 ha (+50,2%); mientras, las menores variaciones se presentaron en el sector La Punta y La Brava en verano 2020 con -3,2 ha (-10,1%).

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) robustecimiento de 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 quinto 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, también busca explicar la evolución de las superficies obtenidas en estos últimos 5 años de seguimiento de frecuencia semestral y saber si son parte de una variabilidad interanual y/o intranual histórica, considerando además todos los factores que influyen en el funcionamiento lagunar de cada uno de los sistemas. Las imágenes Landsat se suman a las imágenes de alta resolución disponibles, cuyo análisis se incluye también dentro de la presente discusión.

De esta forma, y desde el punto de vista de las imágenes Landsat, se cuenta con los siguientes tres (3) conjuntos de información, cuyo alcance metodológico particular para el análisis de la superficie lagunar se describe brevemente a continuación:

1. Superficie mediante imágenes Landsat, 1972-2014, Adenda 5.

La comparativa de los datos históricos desde 1972 a 2014, realizados durante la evaluación del proyecto (por el proveedor Argongra), estudió la evolución de las superficies lagunares en fechas representativas de la máxima y mínima extensión de las lagunas (invierno, verano; julio y diciembre, respectivamente). La metodología empleada establece un proceso de clasificación en función de un índice de agua (NDWI) y un proceso de depuración de las zonas obtenidas, mediante fotointerpretación. El resultado, son las superficies de los cuerpos de agua en metros cuadrados (m²) de los sistemas lagunares La Punta - La Brava y Peine, permitiendo con ello la visualización de la evolución temporal interanual de los sistemas estudiados (Apéndice L. Monitoreo de dinámica espacio-temporal 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, 2016-2020 (serie complementaria semestral)

Como complemento al análisis anteriormente citado, se agrega en el presente informe la serie temporal interanual de los años 2016 a 2020. 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 (m²). El valor de umbral fue determinado a partir de la observación de histogramas³⁹, el muestreo al azar de píxeles y la verificación de los umbrales usados en los monitoreos de 2016 a 2020. 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, 2016-2020, PMB N°1 a N°5 (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

³⁹ Representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

informes PMB N°1 a N°4 y del presente informe N°5 (y PSAH), y cuya metodología se explica en detalle en la **sección 10.1.5** 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.

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 – 2020), 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 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) (**Anexo Área de Lagunas**), tomando en consideración aquellas que no presenten errores de origen o alta cobertura de nubes. La serie intranual permite visualizar los cambios entre periodos secos – lluviosos y su posible relación con variables ambientales (precipitación).

Finalmente, se presenta para cada sector un análisis de los resultados 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 a considerar: diferentes tipos de

imágenes de alta resolución, diferente metodología de clasificación supervisada, inclusión de validación de terreno 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.

12.6.1.1 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.

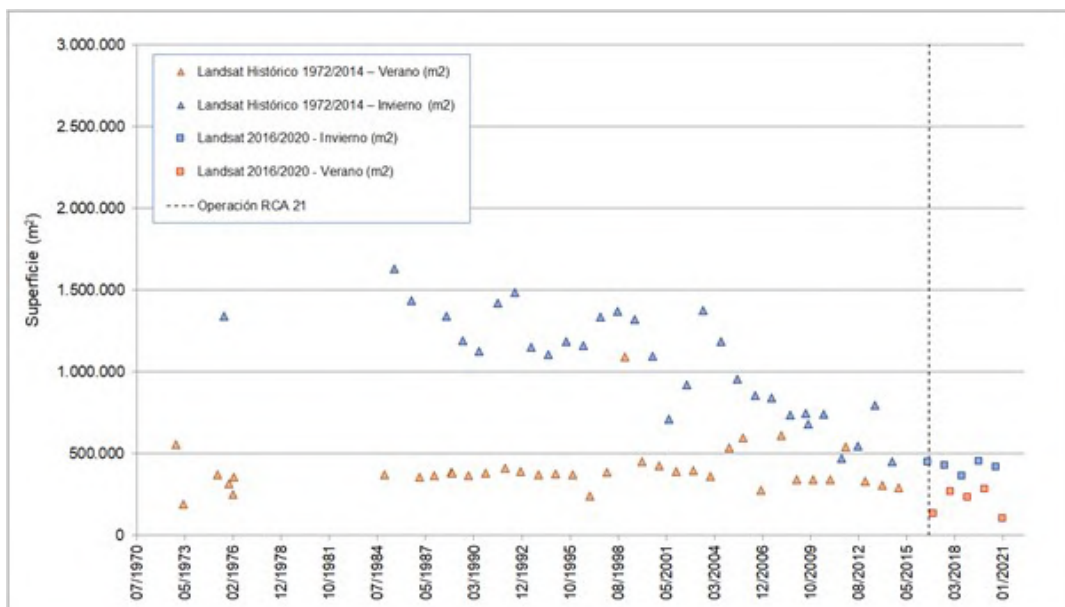
Finalmente, se indica que la superficie de las lagunas está condicionada principalmente por la variación estacional de la evaporación, y en menor medida por la ocurrencia de episodios de lluvia, que lo que provocan es un aumento general de los máximos y mínimos anuales en función de si se está en un período húmedo o uno seco.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria semestral)

En la Figura N° 12-96 se presenta la serie histórica entre los años 1972 y 2020 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, diciembre 2018 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 y mostrándose más estables a partir de los años 2013- 2014 aproximadamente.

Figura N° 12-96. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.



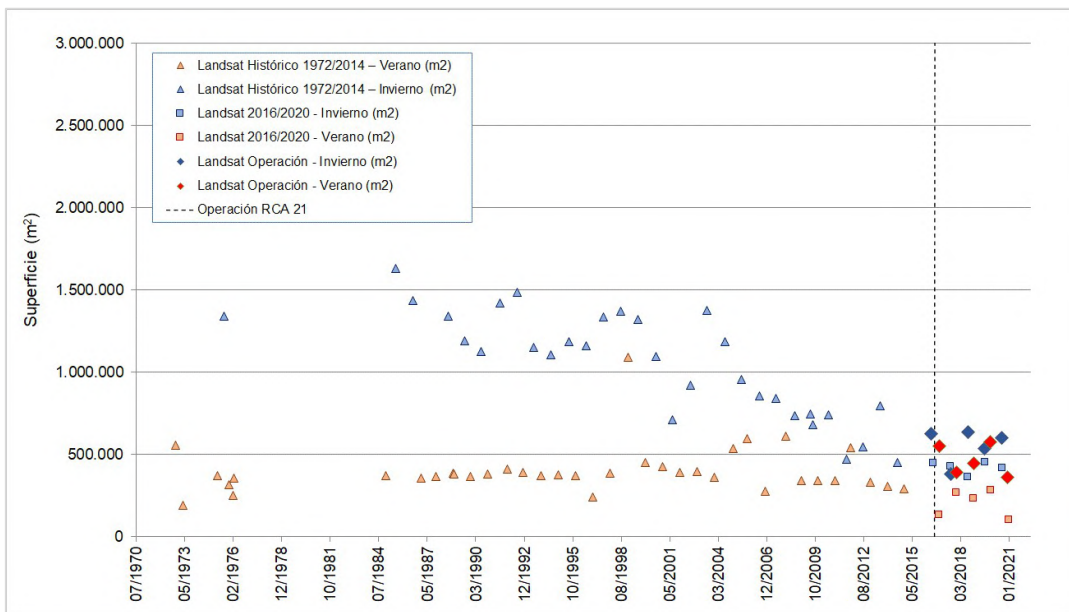
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- 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 las superficies semestrales calculadas con Landsat, durante el monitoreo 2016 a 2020, 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° 12-97.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales (PSAH-PMB), se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presentan combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno 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° 12-97. 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° 12-98** 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 jul 2019 – dic 2020 y su relación con las precipitaciones en estación meteorológica de la Planta Albemarle.

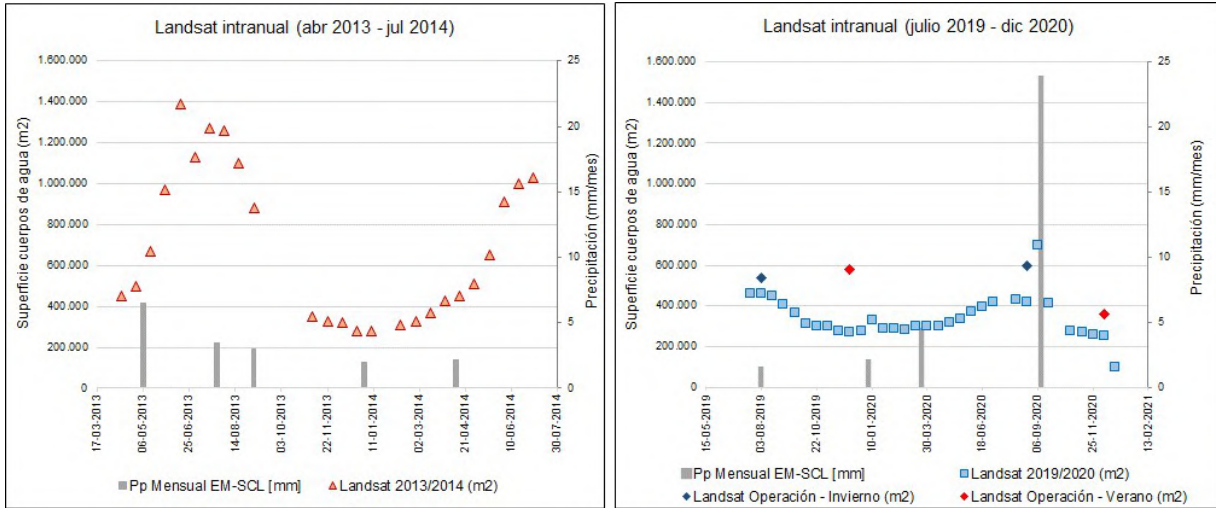
De este análisis intranual se puede apreciar que para los años 2013-2014 existió aumento de las superficies desde fines de mayo hasta agosto 2013 (otoño – invierno) y una disminución de los valores desde noviembre 2013 hasta marzo 2014 (primavera – verano), posterior a esa fecha, las superficies retomaron 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 2019-2020, si bien también se observa aumentos de superficie lagunar en invierno y descensos en período de verano, la amplitud de la variación es mucho más pequeña y no se observa una correspondencia directa con la precipitación de la estación meteorológica, que fue mucho más abundante en el invierno, sino más bien una respuesta puntual y de corto plazo, dado por el abrupto aumento de la superficie producto de la precipitación caída en invierno en agosto 2020 (23,8 mm). Posterior a ello, la superficie lagunar retoma la tendencia previa al evento de lluvia.

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 2019 – 2020, **Figura N° 12-98**, 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° 12-98. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.



Fuente: Elaboración Propia

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

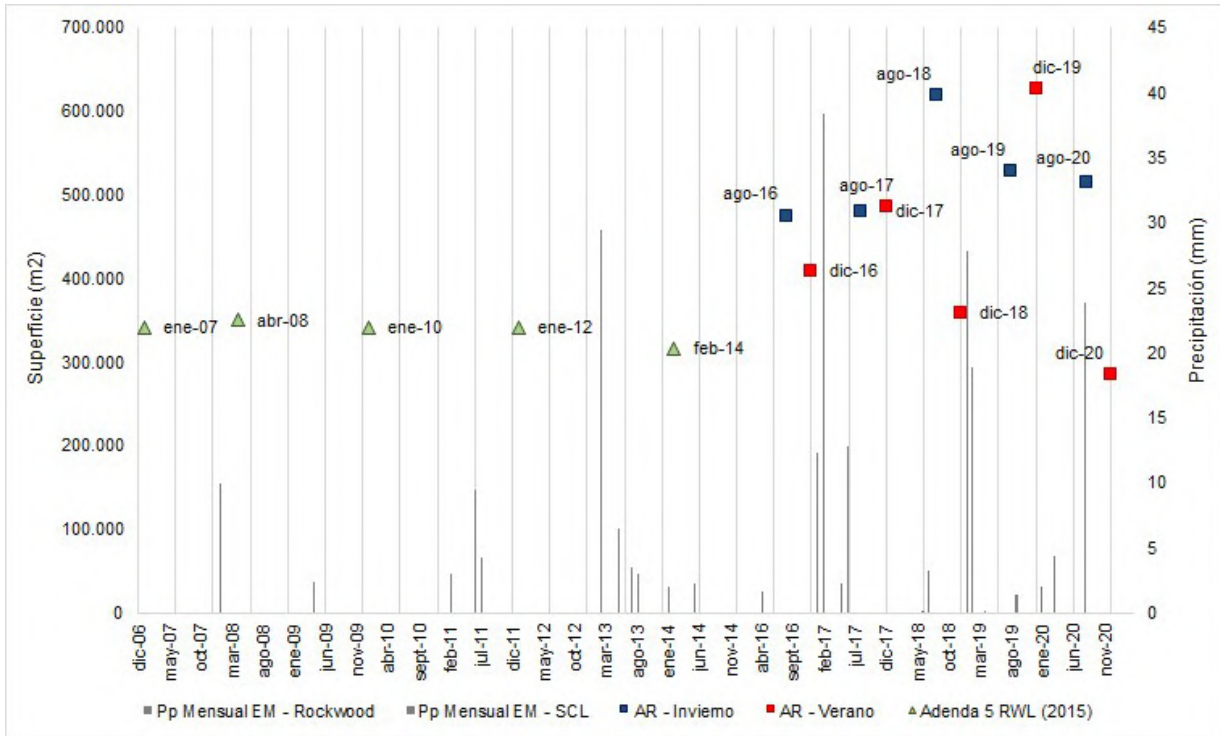
Con respecto a la variación semestral de las superficies lagunares, en la **Figura N° 12-99**, se presentan las imágenes de alta resolución para el sector de La Punta y la Brava, junto a las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015). Las superficies semestrales desde imágenes de alta resolución, se presentan sobre los históricos, a excepción del mes de diciembre de 2020. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Los aportes de precipitaciones en el periodo 2016 – 2020, 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° 12-99**) 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° 12-96**). Existen periodos más largos en los que no hay registro de

precipitaciones que no alteran mayormente el ciclo de variación invierno – verano (**Figura N° 12-99**).

Figura N° 12-99. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

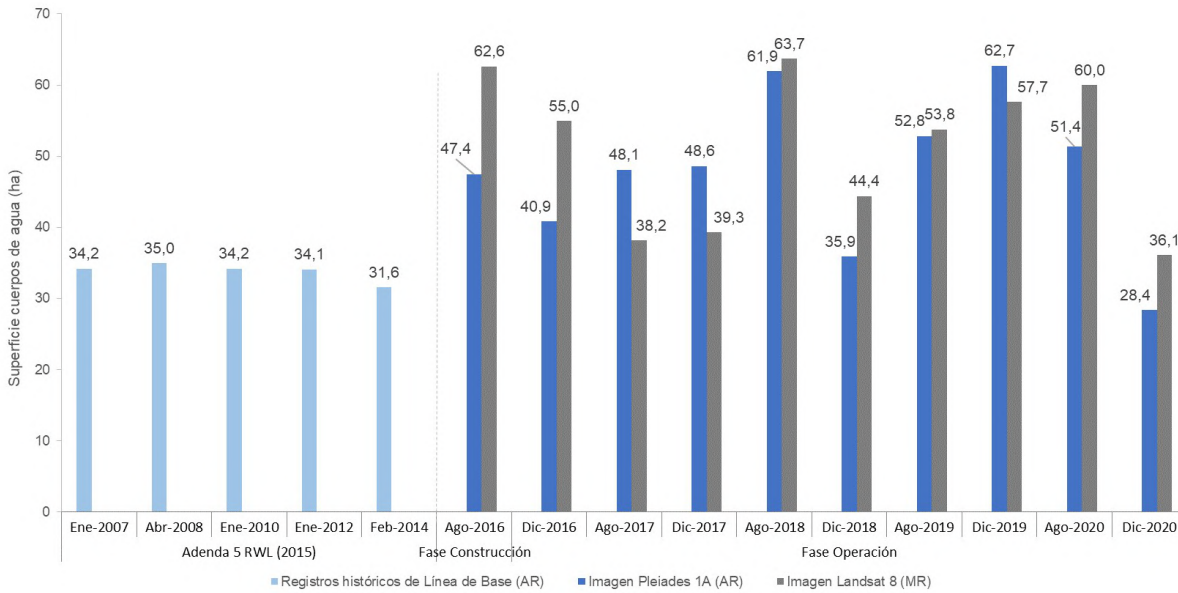
- Comparación Landsat y AR PMB con registros históricos de línea de base (AR)

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 2020 es de 51,4 ha y en diciembre 2020 abarca una superficie de 28,4 ha (Tabla N°12-51). 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 2020 es mayor en +19,8 ha (62,7%) y la de diciembre 2020 es menor en -3,1 ha (-9,8%). La **Figura N° 12-100** 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 (**Figura N° 12-101 a Figura N° 12-104**).

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, siendo más amplia o más acotada, sin un patrón fijo. 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, en el período 2016-2020, varía en general entre 30 ha a 60 ha, lo cual está dentro del rango observado tanto para AR como para Landsat del último período histórico 2008-2014.

Figura N° 12-100. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.

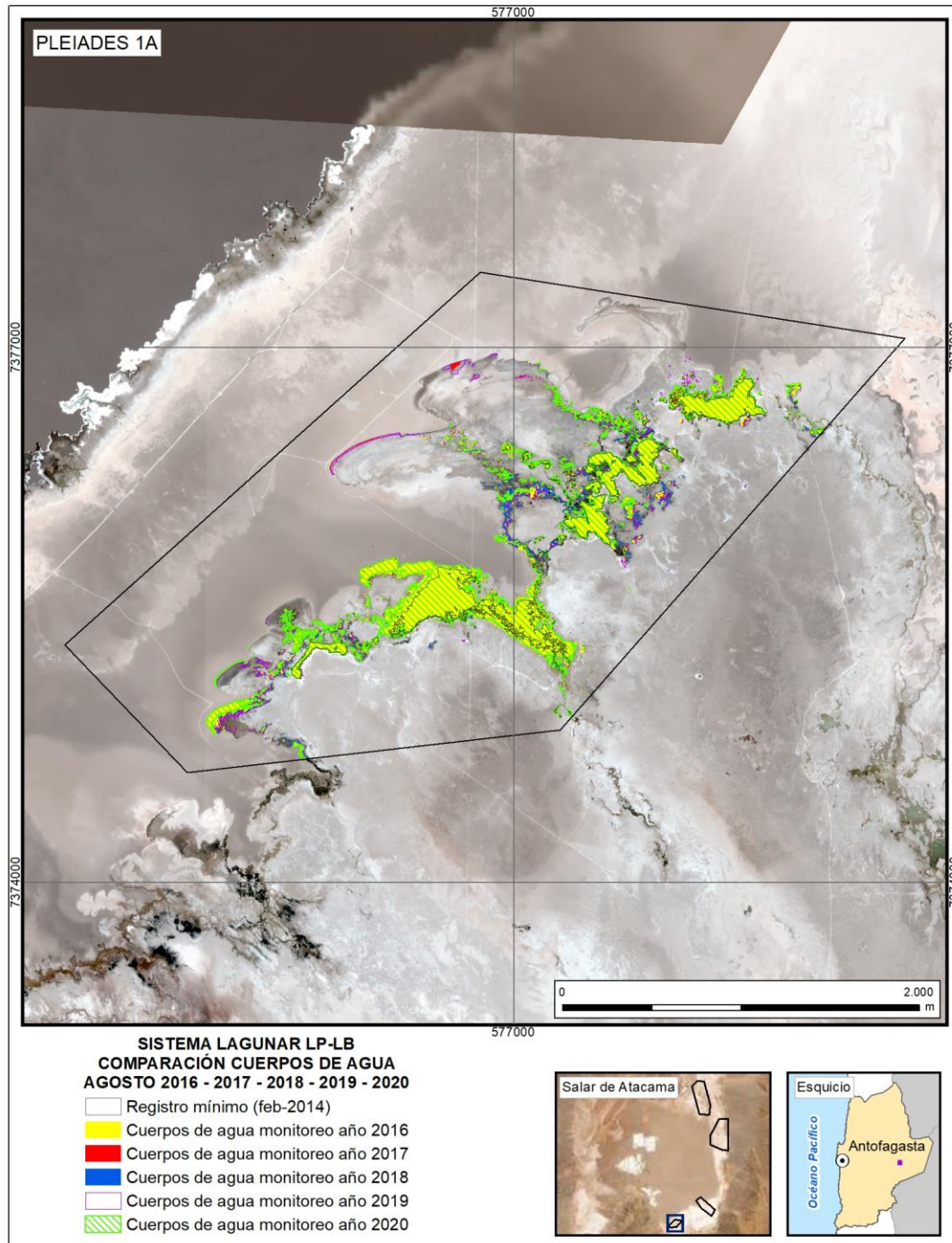


Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).
 Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

- Comparación Imágenes/Cartográfica entre monitoreos 2016 al 2020.

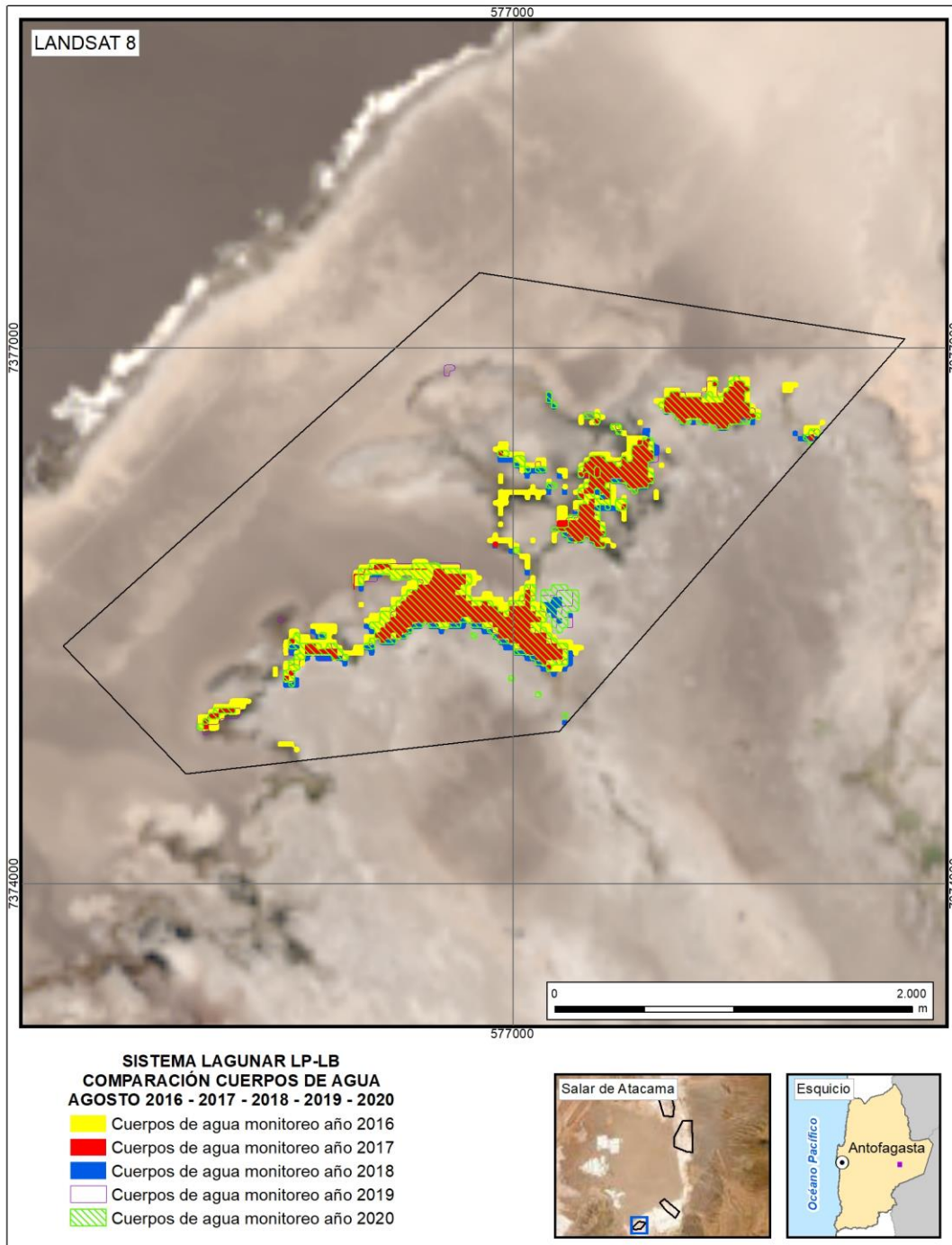
La **Figura N° 12-101** a la **Figura N° 12-104**, muestran la evolución en imágenes y por ende las principales diferencias de superficie durante el monitoreo de invierno y de verano para el sector de la Punta y la Brava, entre 2016 a 2020. Es posible observar en ellas, que las principales diferencias de superficie ocurren en los bordes del lado suroeste del sistema lagunar La Punta y al oeste y contorno de La Brava, además de la variación de los cuerpos de agua del sector este entre registros semestrales; también se observa disminución de la ocupación de área de inundación en los bordes en que hay presencia de otro recubrimiento (ej. vegetación – laguna).

Figura N° 12-101. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.



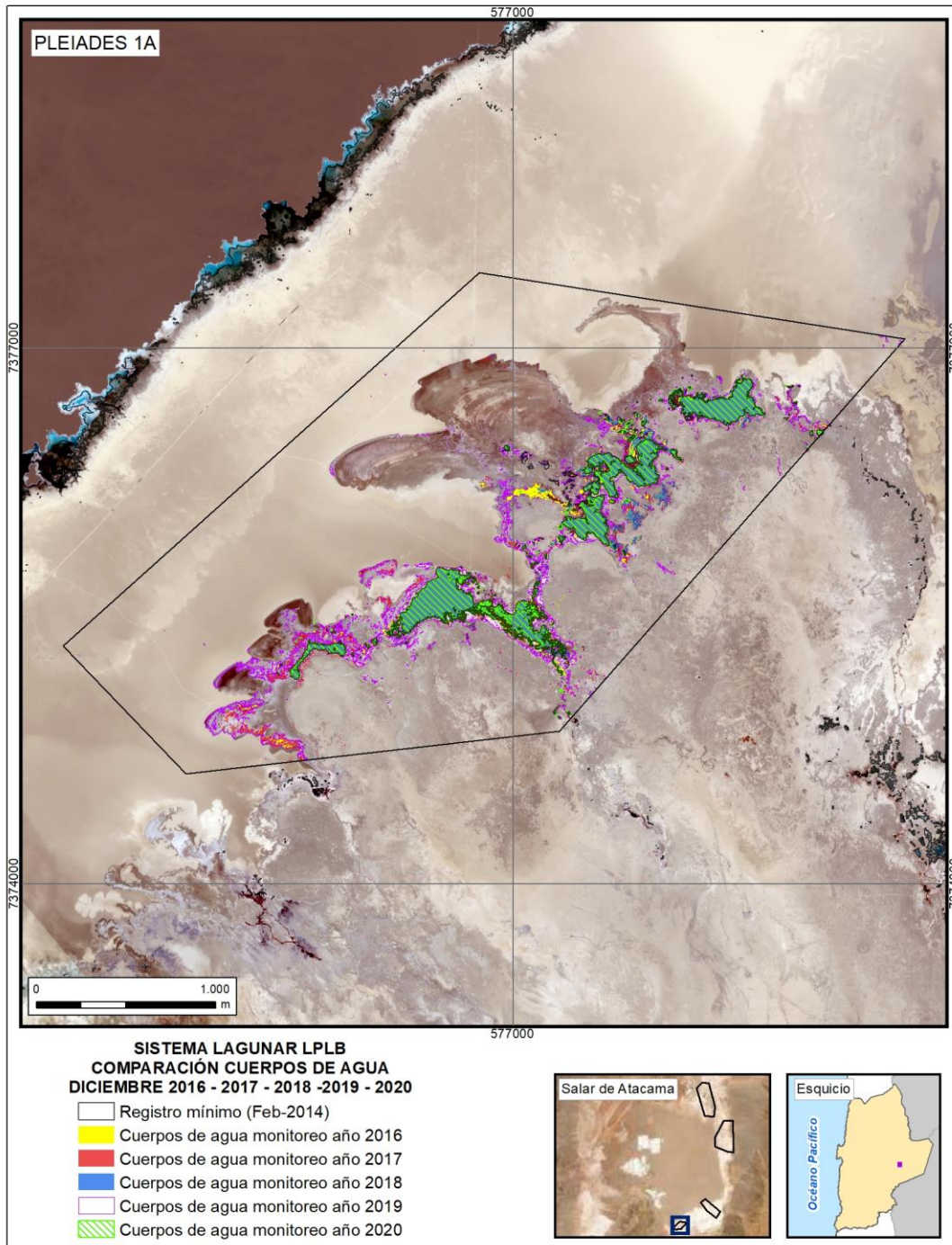
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2020

Figura N° 12-102. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



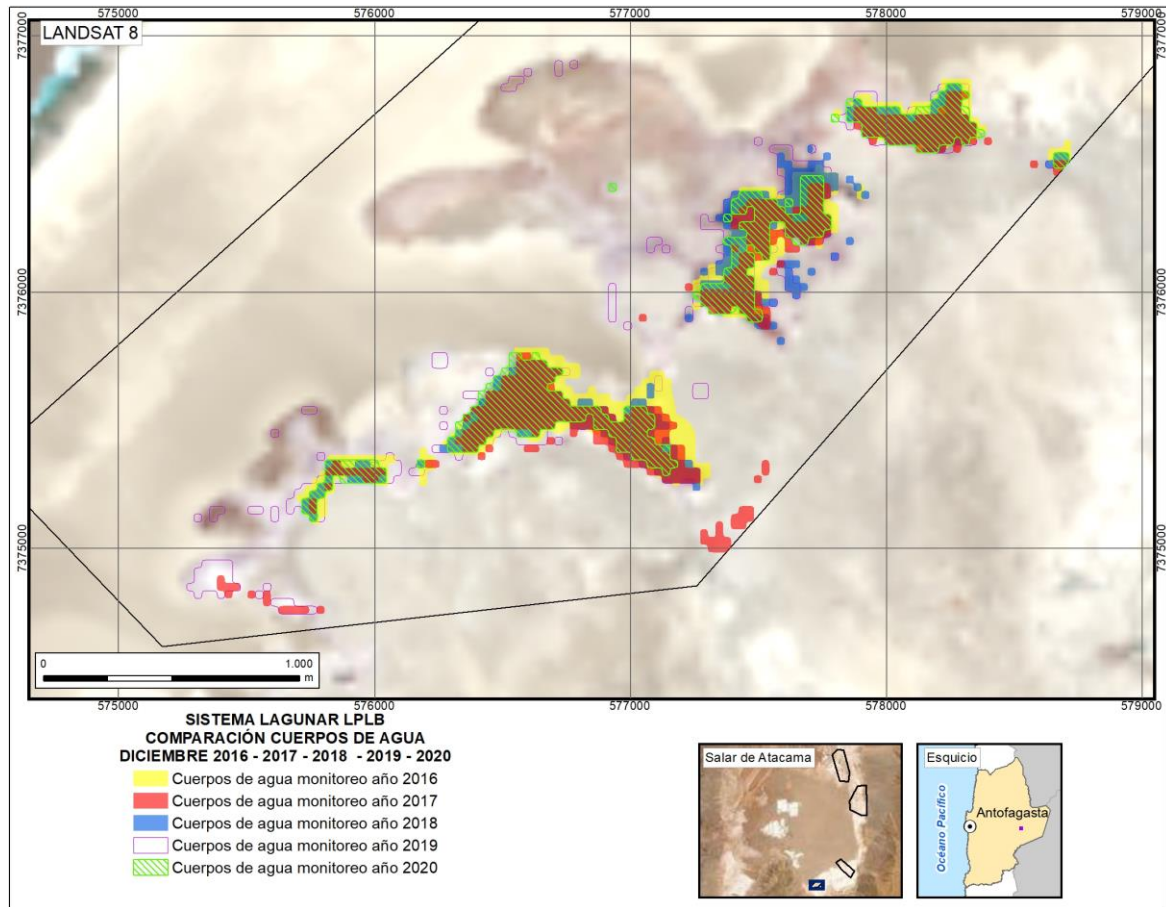
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2020

Figura N° 12-103. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, 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 2020

Figura N° 12-104. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, 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 2020

12.6.1.2 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° 12-107**) lo cual se corrobora con el análisis intranual año 2016-2020 de la misma Figura.

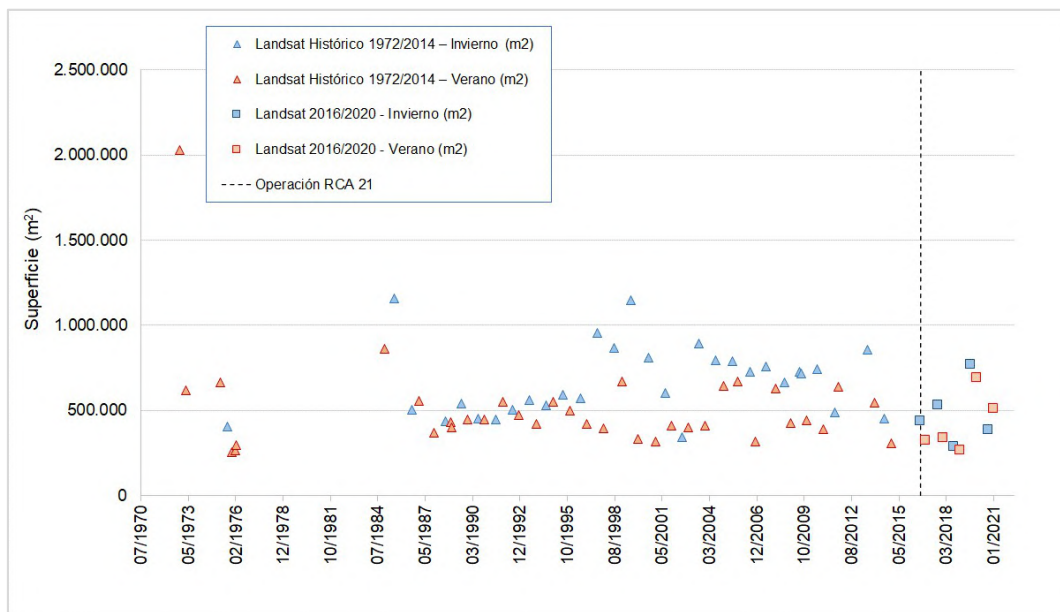
De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5, se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, *“las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose 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° 12-105**, 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 y julio de 1999. En el último tiempo (2016-2020) se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, manteniéndose estable y por sobre los valores históricos.

La tendencia de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), en triángulos celestes, muestran un ascenso desde 1972 a 1998, luego un descenso hasta el 2014 y finalmente una variación no concluyente entre 2016 a 2020. 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 semestral muestra un aumento en los 2 últimos veranos.

Figura N° 12-105. 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

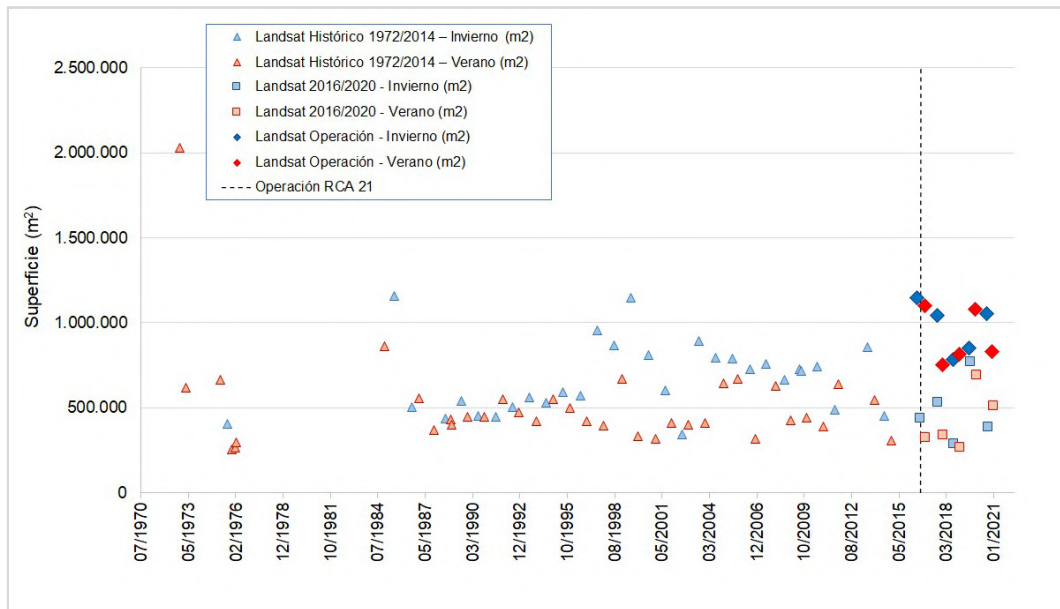
- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (series semestrales PSAH y PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria semestral)

En la Figura N° 12-106 se presentan las superficies lagunares semestrales, determinadas entre los años 2016-2020, en relación a las superficies históricas determinadas mediante NDWI – Landsat (1972-2020). En la figura se observa que las superficies semestrales se encuentran dentro del rango histórico, y que a su vez son superiores a las determinadas mediante la metodología NDWI – Landsat en el periodo 2016-2020.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales, 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. 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 implementación de validación en terreno 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, pudiendo implicar en este caso una subestimación del área total del sector Peine (series históricas NDWI Landsat).

Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas semestralmente durante el monitoreo de 2016 a 2020, 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 - 2020. 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.

Figura N° 12-106. 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

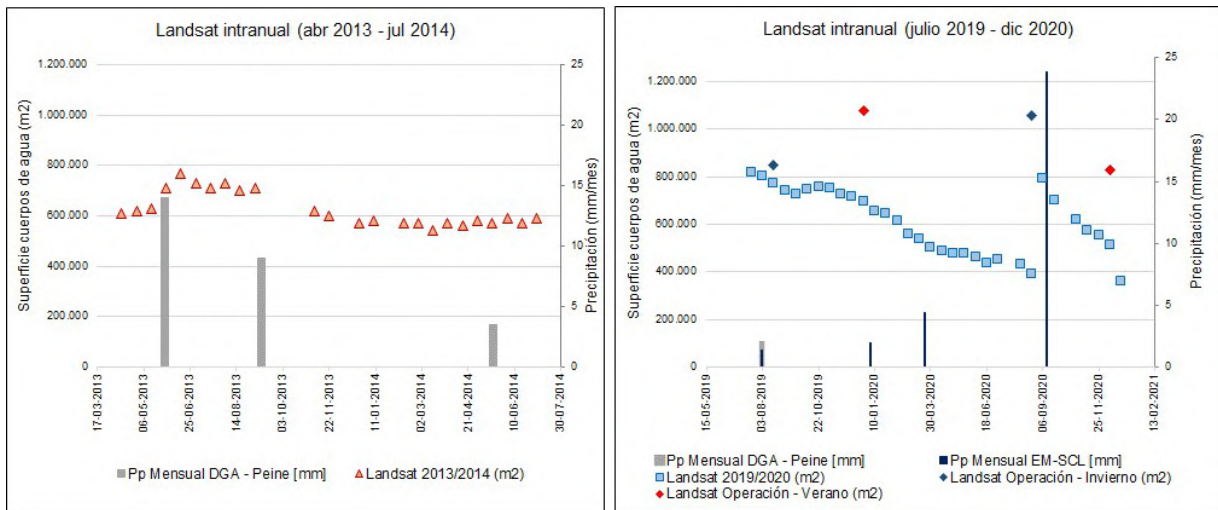
- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat (serie complementaria mensual)

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Peine, en la **Figura N° 12-107** 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 pero para años 2019 – 2020 y junto con ello las precipitaciones de la estación meteorológica Peine (DGA). 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 2019-2020 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 2019-2020, 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. Este ascenso de la superficie es producto de las

precipitaciones acontecidas en agosto 2020, que lamentablemente la estación Peine de la DGA no tiene registro, pero que si se puede observar en la **Figura N° 12-107** y **Figura N° 12-108**, en la estación EM-SCL, es una respuesta del sistema lagunar que denota la directa relación entre las precipitaciones y la variación de la superficie lagunar.

Figura N° 12-107. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

Con respecto a la variación de las superficies semestrales desde imágenes de alta resolución, para el sector Peine (**Figura N° 12-108**), se puede observar sólo en el año 2016 una cierta variabilidad estacional reflejada por una diferencia entre el área de invierno con la de verano. Sin embargo, para el resto de los años 2017 a la fecha, 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.

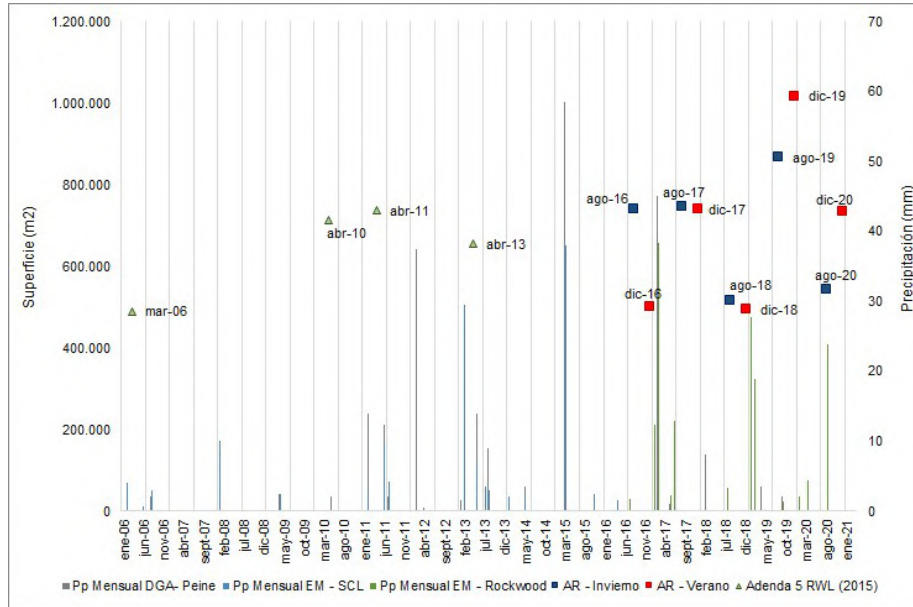
En relación con las magnitudes de las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales se presentan sobre el mínimo históricos AR (489.000 m²), con una cobertura en agosto de 2020 que es mayor en +53.000 m² (10,8%) y en diciembre 2020 es mayor en +246.000 m² (50,2%). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Con respecto a las precipitaciones para el sector⁴⁰, y considerando las precipitaciones registradas por estación Peine y en los últimos años la estación de Albemarle, observando la **Figura N° 12-108**, 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. Finalmente, las precipitaciones de agosto 2020 con 23,8 mm., pudieron significar un aumento de las superficies reportadas en diciembre 2020. 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 sin duda que existen otros factores que también inciden, como la evapotranspiración y los niveles subsuperficiales.

⁴⁰ 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; por lo tanto, se agregan datos de las estaciones meteorológicas Planta Albemarle para contextualización.

Figura N° 12-108. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.

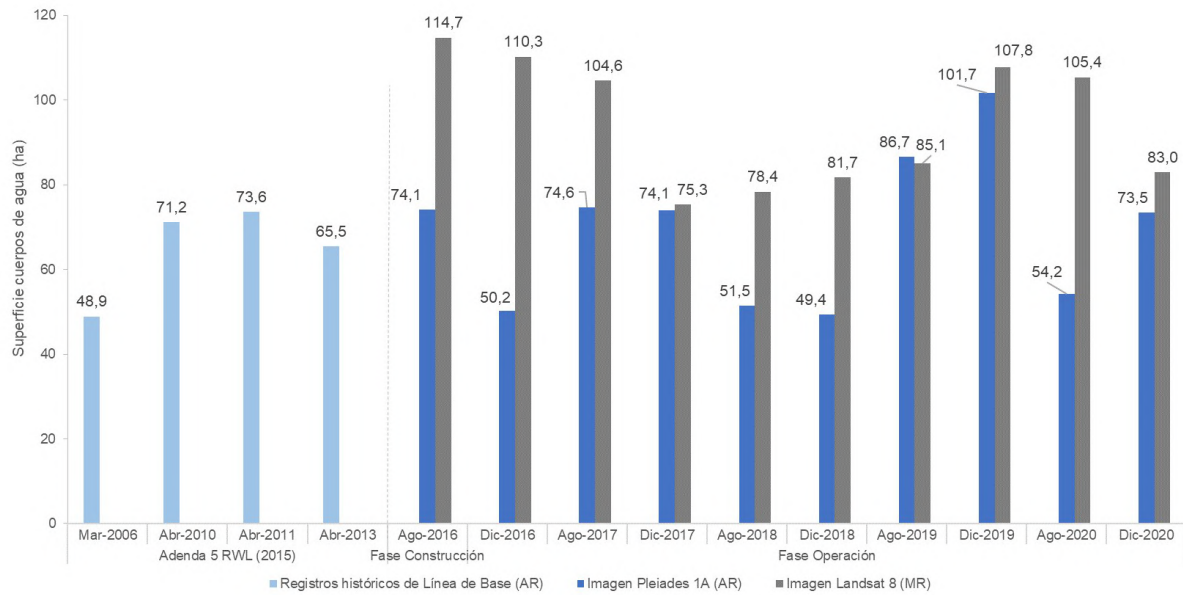


Fuente: Elaboración Propia

- 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 2020 es de 54,2 ha y en diciembre 2020 abarca una superficie de 73,57 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 agosto de 2020 es mayor en +5,3 ha (10,8%) y la de diciembre 2020 es mayor en +24,6 ha (50,2%). La Figura N° 12-109 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 presentan en los bordes de Laguna Salada y su canal hacia el sur, borde este en Laguna Saladita y canal de conexión hacia el norte y en la Laguna Interna junto con la sección del canal de conexión hacia el sur.

Figura N° 12-109. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



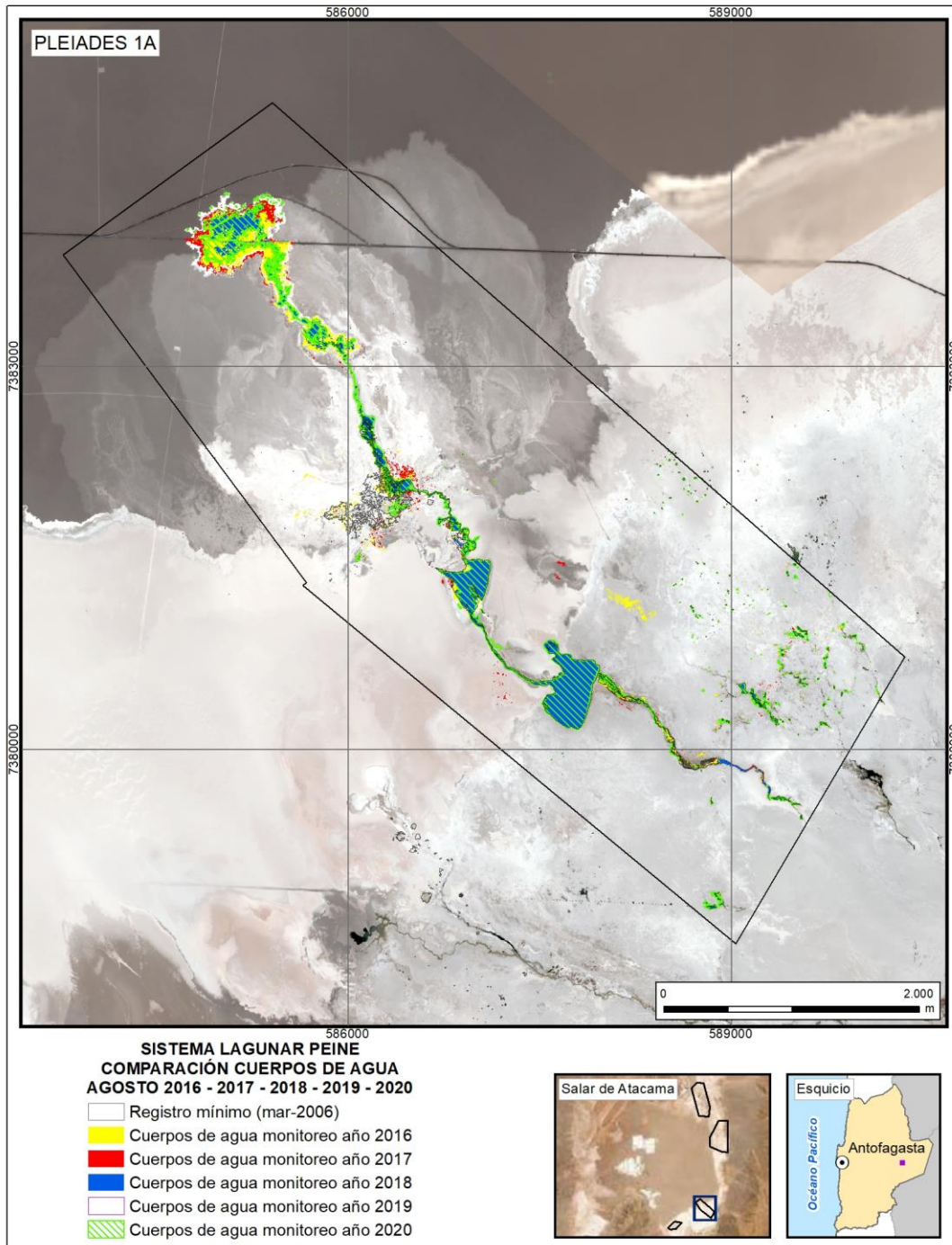
Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

- Comparación Imágenes/Cartográfica entre monitoreos 2016 al 2020

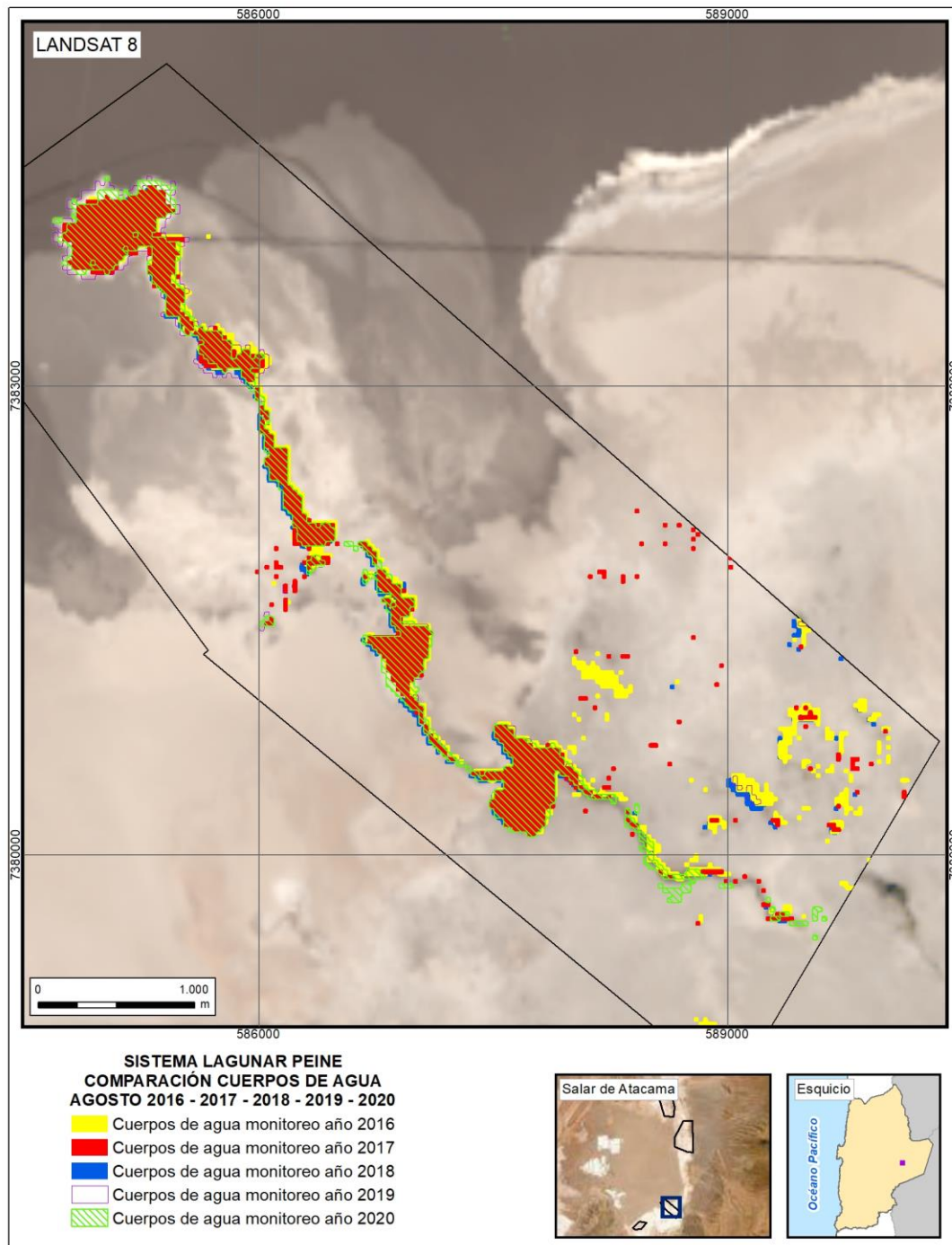
En las **Figura N° 12-110** a la **Figura N° 12-113**, se presentan en imágenes la evolución que han tenido los sistemas entre de invierno y verano 2016 al 2020. En las imágenes se puede observar que las principales diferencias de superficie durante el monitoreo de invierno, se presentan en bordes lagunares de los tres subsectores (Laguna Interna, Salada y Saladita) y desde el norte de Laguna Saladita hacia Laguna Interna; en tanto en los veranos también se observan variaciones en los bordes lagunares de los tres subsectores, aunque la mayor diferencia se da en la superficie total de la Laguna Interna.

Figura N° 12-110. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



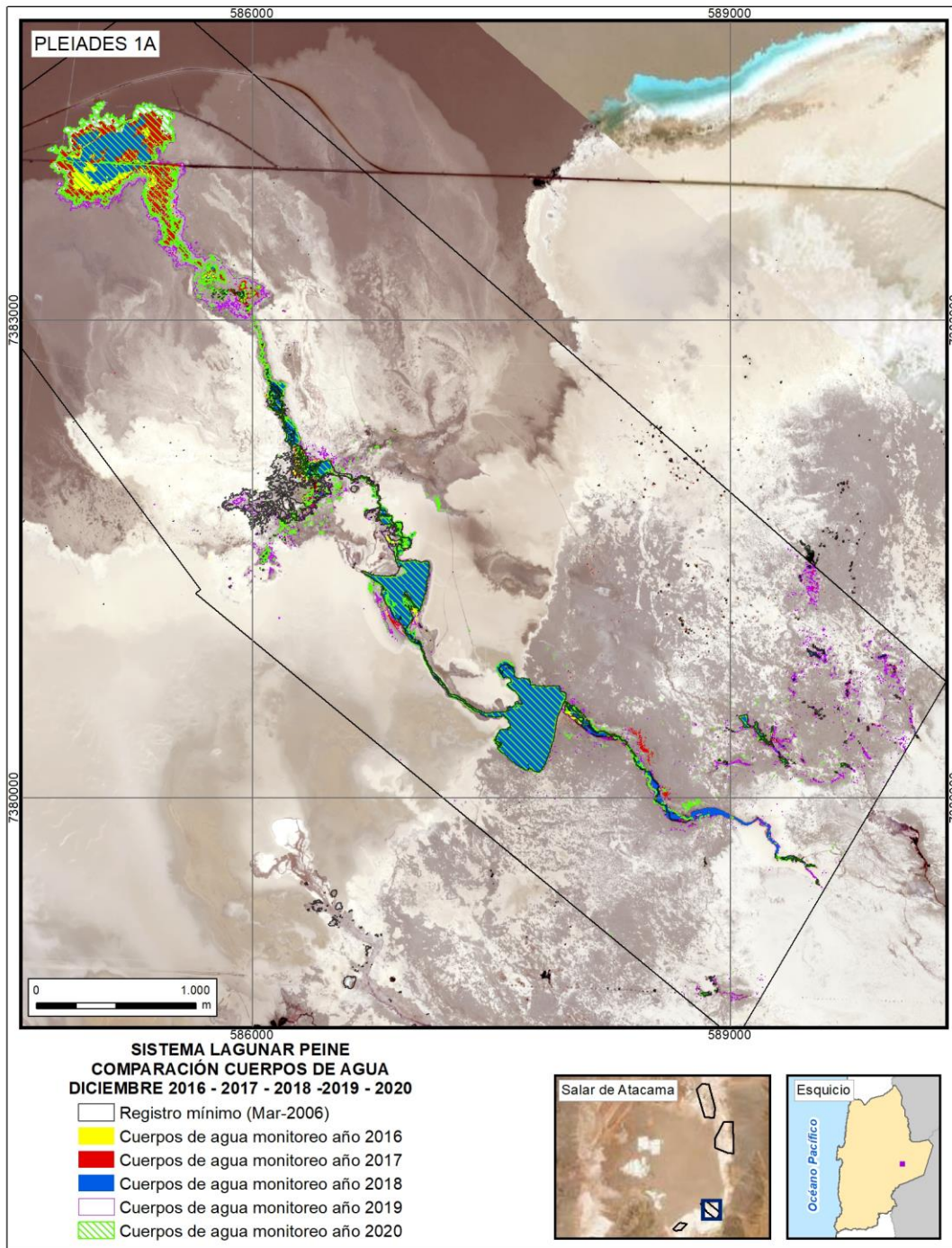
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2020.

Figura N° 12-111. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017– 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



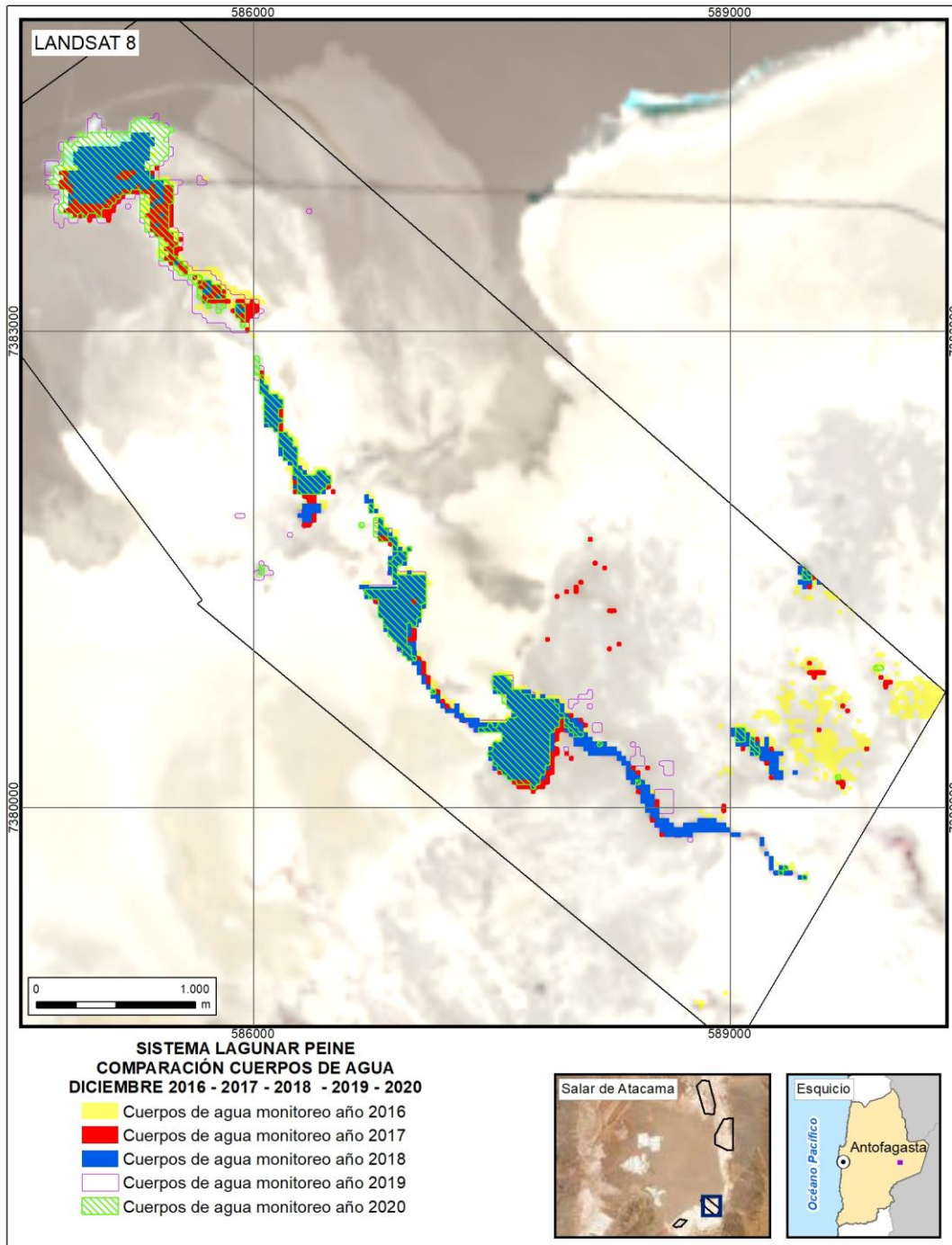
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2020.

Figura N° 12-112. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2020.

Figura N° 12-113. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019 y 2020, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2020.

12.6.2 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 *considerable a casi perfecto*⁴¹ para todos los sistemas lagunares (con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2020 que van entre 0,86 (Peine) y 0,68 (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 – 2020 van entre 0,76 (Peine) y 0,56 (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 0,84 para La Punta y la Brava en diciembre de 2018.

De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinados en terreno o por fotointerpretación visual. Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, esto ocurre especialmente en invierno o en aumentos de las superficies inundadas, periodos en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies combinados con otros recubrimientos (vegetación); sin embargo, otro factor sería el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes como macroorganismos, o que en las que se acentúa la discontinuidad de las inundaciones generando parches que no son captados como unidades independientes, aumentando el error en sitios de transición seca - húmeda. Esto último es lo que determinó una baja del índice *kappa* en el sector La Punta y La Brava en verano 2020.

⁴¹ 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° 12-52. 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	
		Promedio Kappa	0,68	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	
		Promedio Kappa	0,56	0,76

Fuente: Elaboración Propia.

12.7 En relación con Nivel Freático de 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 2021). 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 5 años de monitoreo o seguimiento (abril 2016 – marzo 2021).

12.7.1 Análisis comparativo invierno 2020 y verano 2021

Considerando las fluctuaciones que presentan los niveles freáticos en los pozos de ambos Sistemas, en la **Figura N° 11-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta - La Brava** y **Figura N° 11-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine** se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2020 a marzo 2021) 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). Este año se registraron lluvias inusuales en agosto 2020, por lo que los peak de niveles más elevados tuvo un pequeño desfase, en septiembre. 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 el verano 2021 no hubo ningún evento de precipitación.

Con respecto a las amplitudes de las variaciones de niveles freáticos para este quinto año en análisis, en La Punta - La Brava se presentan rangos o amplitudes de variabilidad desde 10,7 cm para BA-05 hasta 19,6 cm para BA-07, lo que implica un aumento de los rangos de variación con respecto al año anterior. Para los pozos de Lagunas Sector Peine, las amplitudes son de 6 cm para BA-22 y de 6,9 cm para BA-21, observándose en este 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.

12.7.2 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.

12.7.2.1 Nivel freático en Sector La Punta - La Brava.

Para el **Sistema La Punta - La Brava**, los niveles registrados en el tiempo reflejan una variación estacional, con una amplitud observada para el sector de entre 10,7 y 19,6 cm, donde

el pozo BA-07 es el que presenta las mayores amplitudes de variación. La **Tabla N° 12-53** presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos y el promedio en el período del último año de monitoreo.

Tabla N° 12-53: Valores⁴² 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 2020 - Mar 2021 (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	2.300,007
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,845

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).

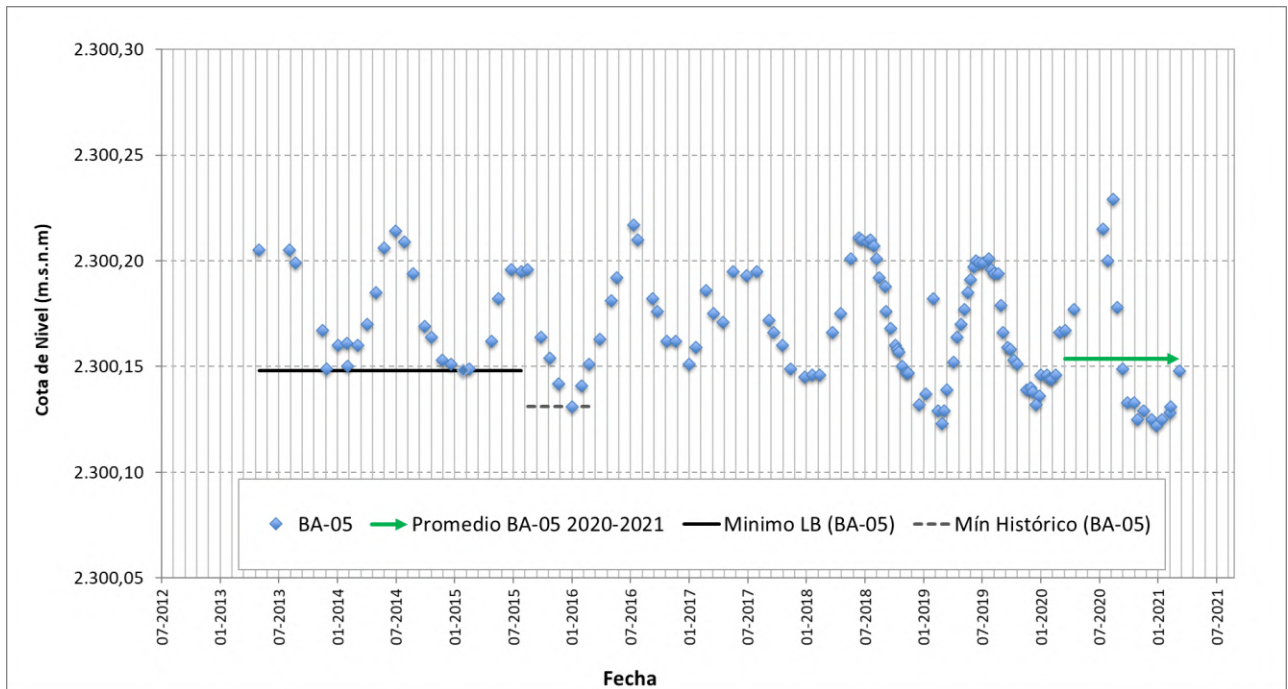
Es importante señalar que el período “histórico” es el período de línea de base junto con la continuación de la medición hasta que el proyecto comienza el período de monitoreo oficial de seguimiento. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación fue para entregar continuidad a los registros 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 **Tabla N° 12-53**, 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° 12-114)**, si bien se observa una variabilidad estable, 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 se registraron niveles más bajos que el referido mínimo histórico, con valores de hasta 2.300,123 m s.n.m, valor que es superado en 1 mm en este último periodo, específicamente en enero 2021, cuando se registra un nivel de 2.300,122 m s.n.m. En el último año (abril 2020 – marzo 2021), se tiene un promedio anual por encima tanto del mínimo de la Línea Base como del periodo histórico.

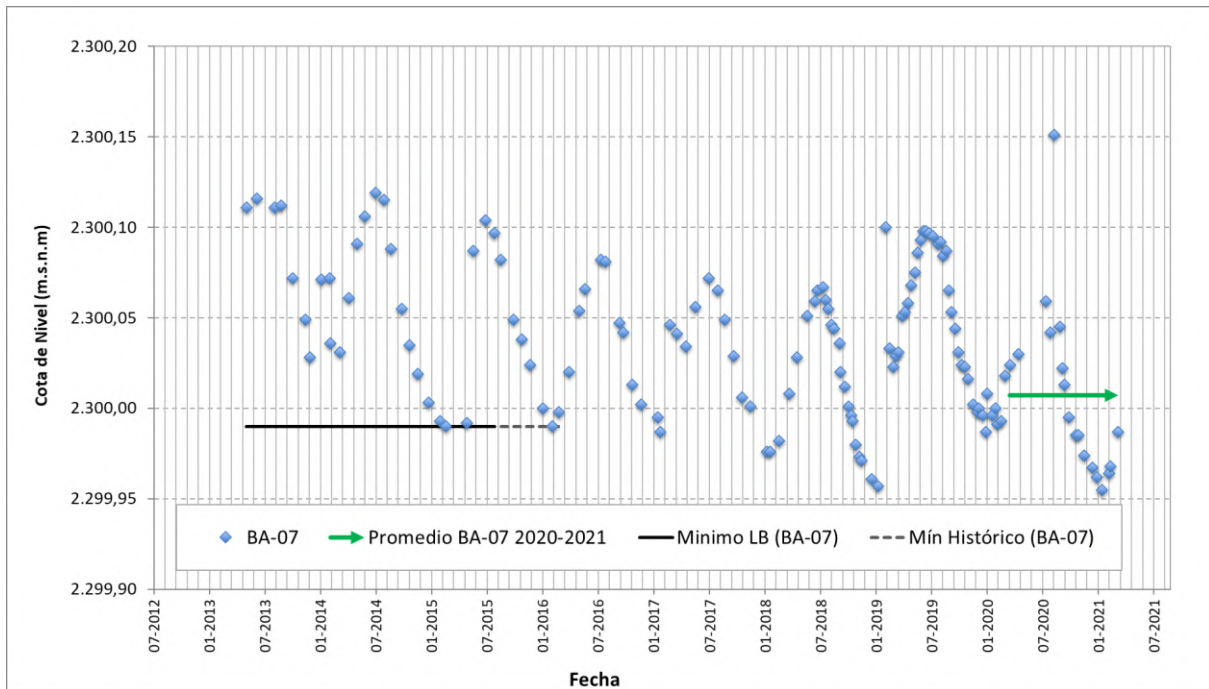
⁴² Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°5 PMB.

Figura N° 12-114: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB



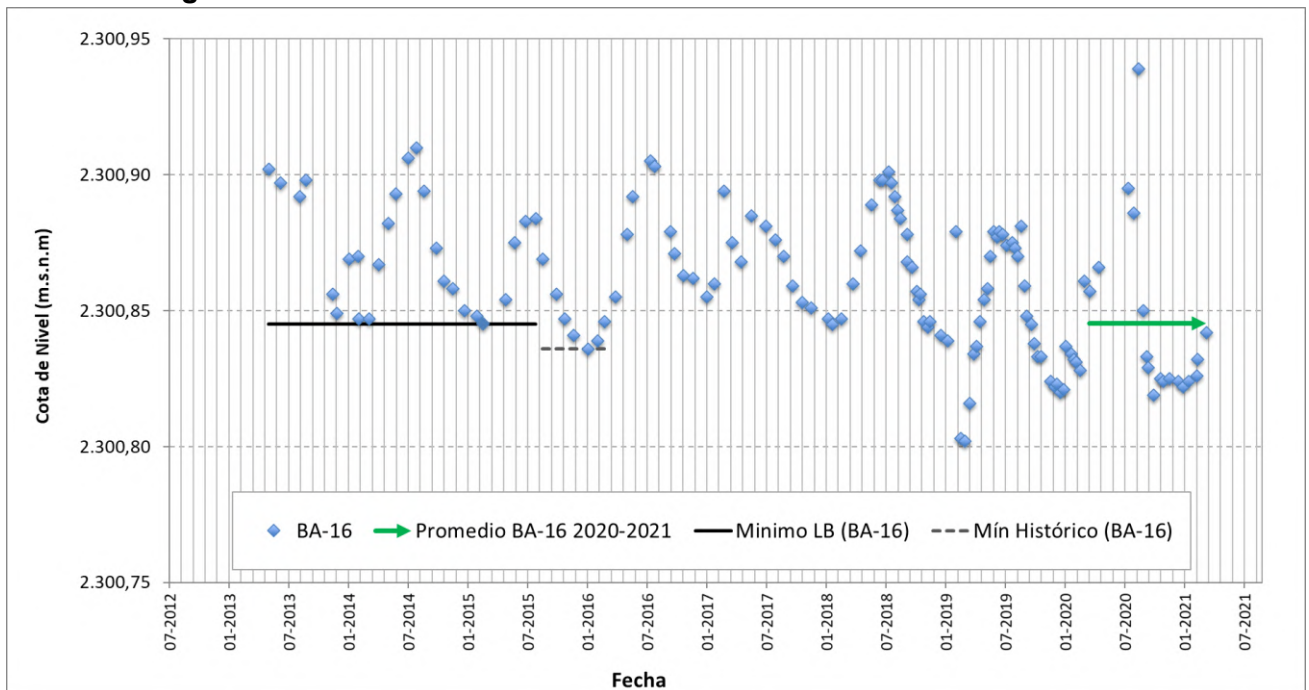
Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07 (Figura N° 12-115)**, los registros de la serie mostraban desde mayo 2013 hasta enero 2019 una tendencia al descenso de sus valores (tanto de las cotas máximas registrados en invierno como de las cotas mínimas registrados en verano), lo que también se vio representado en algunos valores menores al mínimo histórico, sobre todo agrupados entre noviembre 2018 y enero 2019. Luego del peak registrado en febrero de 2019 (post lluvia) se rompe la tendencia a la baja vista para los años anteriores y en general se observaron niveles más elevados en el pozo, pero en este último periodo analizado (abril 2020 – marzo 2021) se vuelve a constatar, a través de las cotas mínimas, una continuidad con la tendencia al descenso de los niveles observada previamente. Es importante señalar que en el verano 2021 se registraron nuevamente niveles bajo el mínimo histórico/Línea Base (2.299,99 m s.n.m., medido en marzo 2015 y febrero 2016), registrándose un nuevo mínimo histórico (2.299,955 m s.n.m) en febrero 2021. Sin embargo, el promedio anual está por encima tanto del mínimo histórico como el de la Línea Base.

Figura N° 12-115: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB

Fuente: Elaboración propia

El pozo BA-16 (Figura N° 12-116), presenta una variabilidad 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 2020 a marzo 2021, el pozo BA-16 comienza su ciclo en una condición favorable, y los niveles comienzan a elevarse, llegando a su máximo nivel en septiembre 2020, con un valor de 2.300,939 m s.n.m, el que se registra luego de las inusuales lluvias de agosto de ese año. Luego 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 “natural” de los niveles del punto. Entre septiembre 2020 y marzo 2021 se registran 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 (2.300,845 m s.n.m.) está en torno al mínimo de la Línea Base y es superior al mínimo del periodo histórico.

Figura N° 12-116: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB

Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, abril 2020 a marzo 2021, los niveles para los puntos BA-05 y BA-16 se presentan dentro de la variación histórica, aunque con una leve tendencia al descenso, en tanto que para el punto BA-07 para el periodo analizado, luego de un cambio de tendencia constatado el año anterior, se retoma una continuidad con la tendencia al descenso de los niveles en el pozo. Asimismo, se registran nuevos mínimos históricos en BA-05 y BA-07.

12.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine.

Para el **Sistema Lagunar Peine**, la situación observada para los pozos BA-21 y BA-22, presentan similitudes de amplitud entre mínimos y máximos para el periodo 2020-2021. Así, mientras en BA-21 el rango es de 6,9 cm, en el caso de BA-22 este corresponde a 6 cm. En relación a lo anterior, cabe señalar que 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 (el ciclo en este periodo analizado es ligeramente más corto que otros anteriores, debido a las lluvias de agosto y a que no hubo eventos de precipitación en el verano último), 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.

En la **Tabla N° 12-54** 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° 12-54: Valores⁴³ Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Abril 2020 - Mar 2021 (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,111
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,291

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° 12-54**, 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° 12-117)**, 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 anterior, a lo menos parcialmente, cuando se observó tanto un descenso del máximo como aumento del mínimo, angostando el rango de variación de los niveles. Este angostamiento se profundiza en este último año (abril 2020 – marzo 2021), con un nuevo descenso del máximo y ascenso del mínimo, y un valor promedio ligeramente por debajo del año anterior. Todo esto siempre en el contexto de la imposibilidad de tener mediciones desde diciembre 2020 en adelante, ya referida anteriormente. Además, el ciclo de 2 años se constata más corto en esta ocasión, debido a la lluvia ocurrida en agosto de 2020 que elevó los niveles en septiembre de 2020.

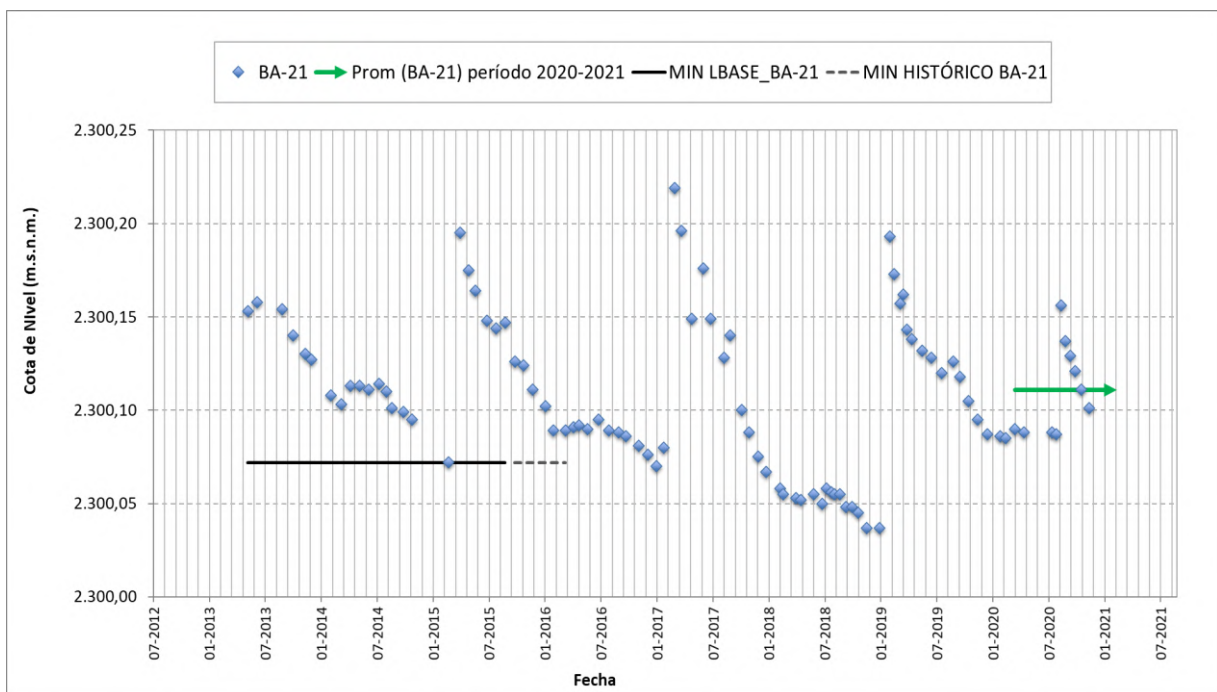
⁴³ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°5 PMB

El pozo BA-21, a diferencia de los demás, presenta un comportamiento directo de respuesta después de las precipitaciones, lo que se ve reflejado cada año en que se han presentado lluvias de invierno boliviano, 2015, 2017 y 2019, con mayores niveles en los meses de febrero y marzo, y menores en invierno. También se observó en septiembre 2020, como respuesta a la mencionada lluvia ocurrida en agosto de ese año.

El promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo de la Línea Base y el mínimo del periodo histórico.

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 cuáles responden más rápidamente a las precipitaciones y elevan sus niveles para luego tener bajas progresivas en el tiempo.

Figura N° 12-117. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



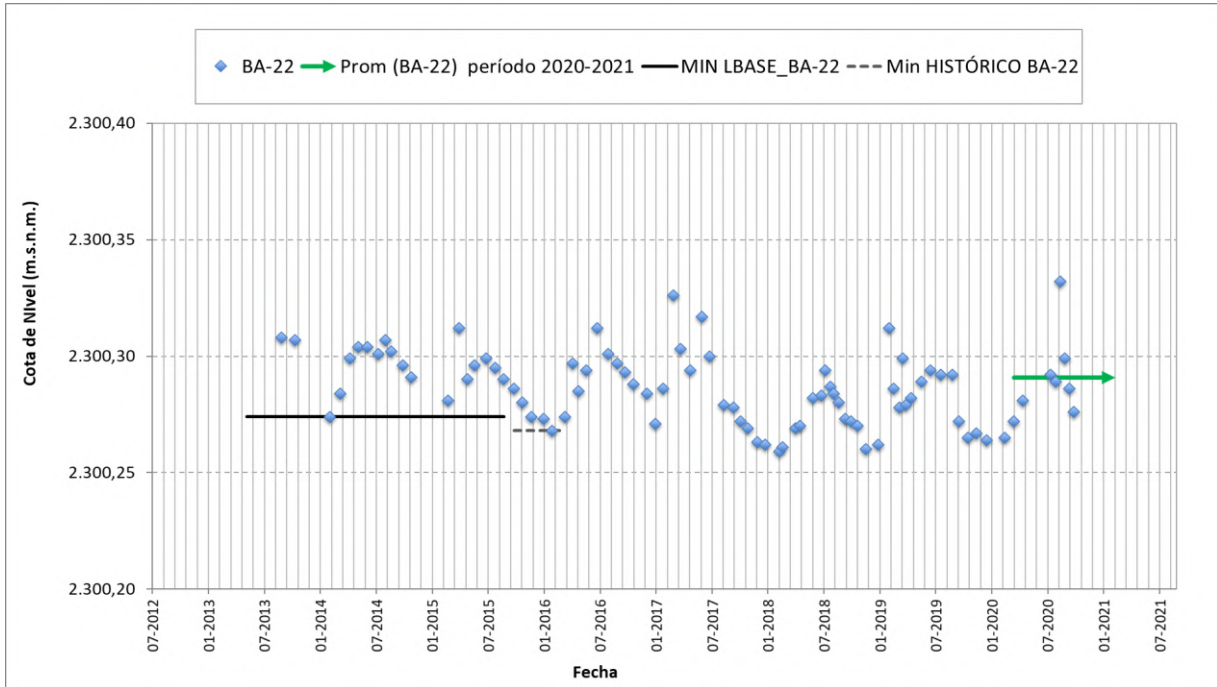
Fuente: Elaboración propia

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 línea con lo anterior, el nivel promedio anual se encuentra por encima del mínimo Línea Base y también del mínimo histórico, a lo que se debe agregar que el nivel promedio de 2020-2021 es superior al de los últimos 3 periodos. Todo esto, considerando la ausencia de datos, dado que desde octubre 2020 la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones al pozo.

Figura N° 12-118. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

12.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

En el presente capítulo, y de acuerdo al 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 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 presentan la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio, y corresponden a:

- Vegetación azonal
- Superficies de las lagunas, y
- Niveles freáticos

En el capítulo indicado, se señala también 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”*, y al respecto, en este capítulo se realizará la evaluación de este punto incorporando además un análisis de tendencia este quinto año de monitoreo.

Por otra parte, en el mismo Anexo 2 se indica que la evaluación de la condición de cambio se realizará por Sector de manera independiente: Peine, La Punta-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).

En relación a lo requerido, para el análisis de la **vegetación azonal**, se utilizan **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:

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 **estructura comunitaria, variación de la cobertura vegetal y composición de especies**, además de corroborar si hay un aumento de **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, pre-operacional) y verano (pos-lluvia, marzo-abril, M10) 2021, 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 M10).

(2) Coberturas de Vegetación Activa: análisis multitemporal de las superficies de vegetación activa, en las formaciones azonales sujetas a seguimiento:

Para el seguimiento de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, se utilizan las *coberturas de vegetación activa* establecidas mediante **el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial**. Además, para el análisis del estado ecológico, se definió como el segundo indicador, dado que se entenderá un **cambio de tendencia** si después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera de rango de los valores registrados históricamente por sector.

La cobertura de vegetación activa, como variable de seguimiento, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés)⁴⁴, 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). Esto según lo establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del Proyecto.

En relación con el indicador de cobertura promedio de vegetación por sector, cobertura vegetal por transecta, estructura comunitaria, y salinidad, como fuera señalado no fue posible llevar a cabo el monitoreo de las variables señaladas en **campana post - lluvias estivales 2020 (Monitoreo 8, M8)**, dadas las condiciones excepcionales determinadas ese año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Las medidas de restricción de movilidad (consecuentes a las medidas adoptadas en el control sanitario), no permitieron el traslado y acceso a los subsectores de estudio, reduciendo las posibilidades de seguimiento a acciones remotas. Por tanto, bajo estas condiciones, sólo se realiza el análisis de cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI) para periodo post – lluvias estivales 2020. Los análisis restantes de cobertura de vegetación, estructura comunitaria y variación de salinidad se presentan hasta invierno 2019 (M7), correspondiente al primer monitoreo semestral del Año 4 del PMB (ver en

⁴⁴ **EI 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 pixel 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.

Anexo Informe Semestral Invierno 2019); los análisis consecutivos se realizan de manera completa el primer y segundo monitoreo semestral del Año 5 del PMB.

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 5 años de monitoreo. Se entenderá un cambio de tendencia *“sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*.

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 5 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: *“que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”*

12.8.1 Sistema La Punta – La Brava

12.8.1.1 Vegetación azonal

12.8.1.1.1 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° 12-119** se puede observar la cobertura promedio⁴⁵ 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 2021-M10, 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 M10, se puede señalar para el sector de Tilopozo que presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos (**Figura N° 12-119**), 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. A su vez, se observa que aumenta la cobertura de rastrojos para el sector Tilopozo, de un 6,1%

⁴⁵ 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.

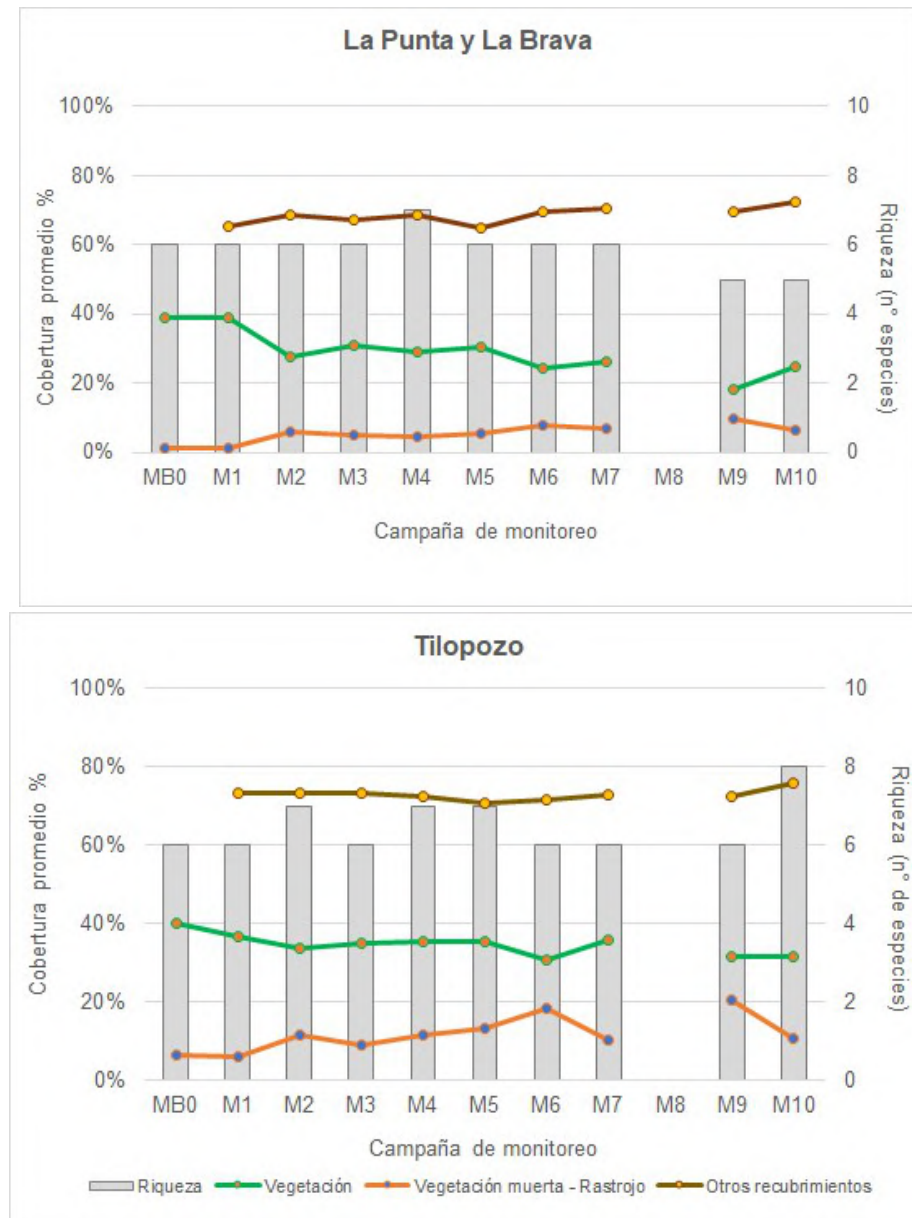
en M1 a un 18,3% en M6, pero luego fluctúa en bajadas y alzas de rastrojos, entre rangos de 10,7% (M7 y M10) y 20,3% (M9).

En La Punta y La Brava, se observan variaciones en la cobertura vegetal en un rango desde 39,1% (en MB0) a 18,2% (en M9), y en la última campaña (M10) sube un porcentaje mayor a lo reportado para M9 con 24,6%. En relación a la cobertura de rastrojos, en el sector La Punta y La Brava, se observa en todos los monitoreos coberturas estables y 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%.

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 M10; los promedios fluctúan entre 72,5% a 76,0% en el sector Tilopozo y 64,7% a 72,5% en el sector La Punta y La Brava. En Tilopozo se observa mayor variedad de tipos de 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 M10, con variación máxima de dos especies en ambos sectores. En el caso de Tilopozo, los mayores registros se observan en los monitoreos M2, M4 y M5, 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, pasando por seis especies entre M1 y M7, y cinco especies en M9 y M10.

Figura N° 12-119. 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 y M10 monitoreo verano 2021. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N° 12-120**, **Figura N° 12-121**, **Figura N° 12-122** 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 M10 (2016- ver2021), se puede señalar lo siguiente:

En los herbazales de *J. balticus*, (**Figura N° 12-120**) se observa una disminución general de las coberturas al quinto año de monitoreo, destacando T30 con un descenso paulatino año a año. Para el sector La Punta y La Brava, se observa una leve variación al descenso en el año 5 (M9 – M10) de su herbazal de *J. balticus*, en relación al año 4 (M7); asimismo para la cobertura del herbazal de *T. concinna* (**Figura N° 12-121**) (T10 y T11 – La Punta) con una tendencia a la disminución en los 5 años de monitoreo, a pesar de la recuperación parcial en la T10 de cobertura registrada en M9 (invierno 2020).

De la **Figura N° 12-121**, se observa una disminución promedio (del año 5 (M9 – M10) en relación con el año 4 (M7), de los herbazales de *S. californicus* (T19 – T29), y los matorrales de *D. spicata* (T20, T21, T26, T27 y T28), a excepción de la T22 donde se verifica un leve ascenso, sin embargo, en algunos casos (T20, T27, T19 y T29) las coberturas son mayores que en el año 3 (M5-M6) e inclusive mayor que en el año 1 (M1-M2) para las transectas T20, T21, T27, T19 y T29. 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), es la que presenta la mayor cobertura vegetal del sector. Si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos siempre registran una cobertura absoluta por sobre el 100%, con promedios entre 159,2% y 123,4% entre ambas transectas. 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 M5 a M7 una recuperación que supera la cobertura absoluta de MB0, siendo en M4 (159,2%) la mayor cobertura registrada, llegando a M10 con valores semejantes a la condición base.

En el herbazal de *Juncus balticus*, se observa una mayor variación entre monitoreos, con alzas y descensos de las coberturas durante seguimientos M1 a M10. El sector La Punta y la Brava (T13) muestra un ascenso en M7 con respecto a los demás seguimientos con un 40,0% de la cobertura absoluta, y luego un descenso en M9 y M10 con valores semejantes a los registrados entre M2 y M6. Para Tilopozo, el seguimiento M7 muestra una recuperación de las coberturas, en todas las transectas (T18, T30 y T31), con respecto a M6 que presentó uno de los mayores descensos; sin embargo, en T30 y T31 se observa un nuevo descenso en M9 y M10 (año 5), manteniendo los valores por debajo de la condición base MB0 y de lo recuperado en M7.

El herbazal de *D. spicata* en Tilopozo, considerando todas las campañas muestra una mayor variación de las coberturas entre monitoreos, con T20, T21, T22 y T27 variables y T26 y T28 con tendencia a la baja entre M0 a M10.

De manera particular, entre campañas, se observa descenso en M2 para las transectas T20, T22, T26 y T27, aunque con una recuperación de la cobertura en monitoreos posteriores, igualando la cobertura de MB0 para T20 en M4 y superándola en M7 (38,0%); las coberturas de T22 también superan la condición base MB0 en M6. La transecta T27, se mantiene estable entre M3 y M6, con un aumento por sobre MB0 en M7; en T26 se aprecia un descenso marcado en M2, M5 y M6, con una recuperación de valores en M7. Por otro lado, las transectas T28 y T21 se observan más estables y con coberturas entre M1 y M7 mayores o muy cercanas a lo

registrado en MB0. En M9 hay una disminución de todos los valores en relación a M7, a excepción de la transecta T22 que muestra un aumento; para M10 hay un aumento en relación a M9 en las transectas T20, T22, T27 y T28, pero aún por debajo de los valores del año 4 (M7).

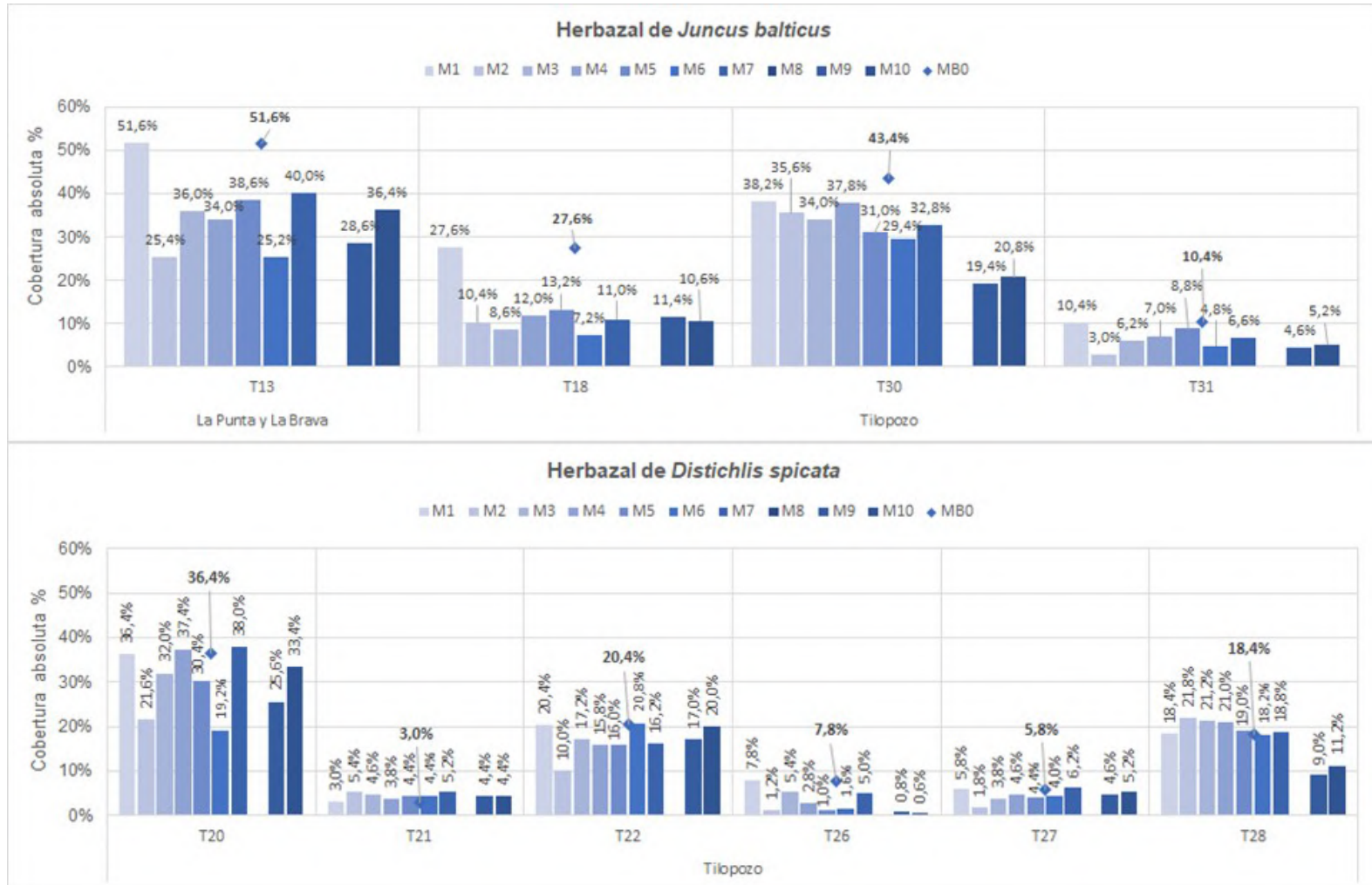
En el herbazal de *T. concinna* en La Punta y La Brava, la transecta T11 se observa con una disminución de su cobertura desde MB0 hasta en M9 y M10, inferior a lo registrado en M1 a M7 y desde M5 con coberturas menores a la condición MB0. La transecta T10 que presenta un descenso de su cobertura con respecto a MB0, que a pesar de que se mantiene más estable entre M3 y M5 en el monitoreo de verano (M6) marca un descenso mayor (cobertura absoluta de 0,6%), con una leve recuperación en M7 (1,2%), para bajar nuevamente en M10 con una cobertura de 0,8%, 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, y entre M1 y M7 menores que MB0, presentándose en M10 un aumento de las coberturas registradas desde M6 (24,2%).

Por último, los matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo se observan con una mayor variación, con alzas o disminuciones intermitentes de la cobertura, generalmente con una tendencia de mayor cobertura en monitoreos de invierno que veranos (ver análisis sobre la estacionalidad en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.1**). Para M7 se observan alzas en las coberturas en todas las transectas con esta formación, siendo en T24 la que presenta mayor magnitud con respecto al monitoreo anterior, que va desde 29,4% (M6) a 44,4% (M7). En general, para M9 – M10 se ve una disminución de las coberturas, a excepción de T23 en M9.

En general, con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los seguimientos M1 a M10 (2016- 2021), en general se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, y en otras como es el caso de T28, T30 para Tilopozo o T11 y T10 para La Punta-La Brava, se observa una tendencia al descenso desde MB0 (condición base) al año 5 (M9 – M10). Se puede observar un descenso en la cobertura del herbazal de *T. concinna* (T10 – La Punta) respecto a la condición base, y si bien hay un aumento en M9, se mantiene una baja cobertura en M10 en relación a la cobertura base y cercano al registro más bajo de M6. El herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo, presenta la mayor cobertura vegetal del sector, y si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos siempre registran una cobertura absoluta por sobre el 100%, y se ha observado una mantención de sus coberturas en el año 5 (M9 - M10).

Figura N° 12-120. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo, de las formaciones Herbazal de *Juncus balticus* y Herbazal de *Distichlis spicata*.



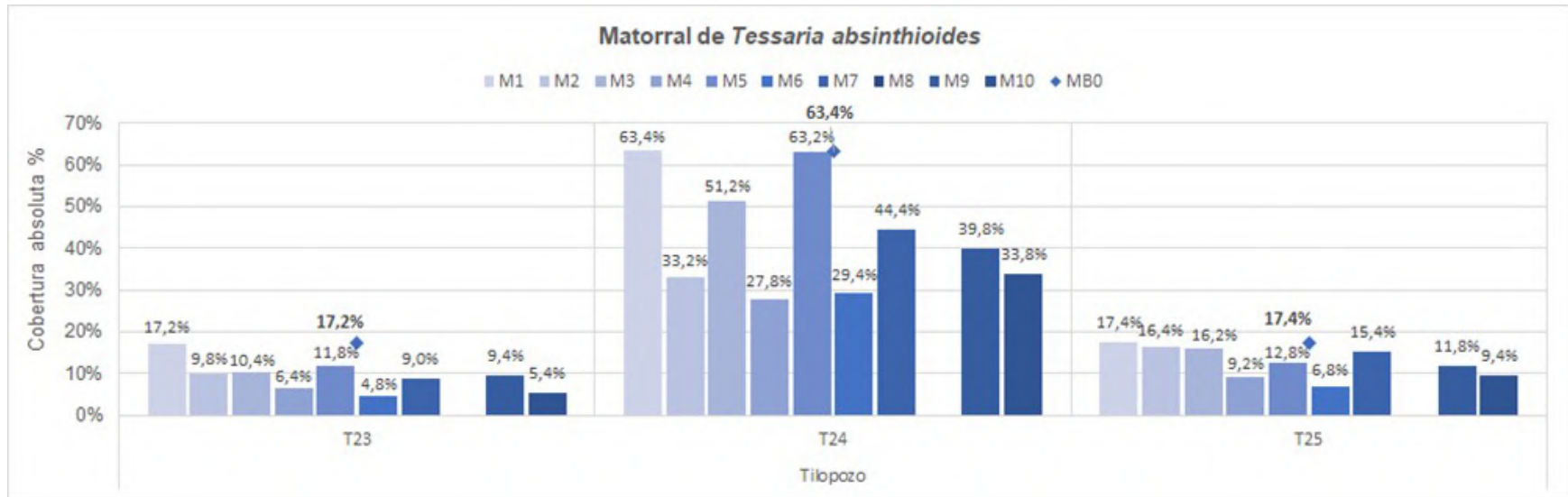
Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 y M10 monitoreo verano 2021. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1 6, Anexo I de Vegetación y Flora.

Figura N° 12-121. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 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 y M10 monitoreo verano 2021. 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° 16, Anexo I de Vegetación y Flora.

Figura N° 12-122. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 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 y M10 monitoreo verano 2021. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1 6, Anexo I de Vegetación y Flora.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, 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.

En relación a la **variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte, se analiza la cobertura promedio anual⁴⁶ de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N°12-123**, y posteriormente, se analizan los cambios de estas coberturas en los monitoreos hasta el Año 5⁴⁷, 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 8 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°12-123** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas especies, en las cuatro formaciones de Tilopozo (arriba), observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los cinco años y se mantiene estable en relación a la cobertura inicial (MB0; invierno 2016) y para las tres formaciones de La Punta y La Brava (abajo).

Para Tilopozo, en general se observa una variación entre los años de monitoreo (**Figura N°12-123** arriba), destacando *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% respecto a MB0. El arbusto *T. absinthioides* muestra una tendencia similar (variación de -10,1% el año 2, mostrando una tendencia de recuperación el año 4), y con una disminución de -12,6% para el año 5 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,

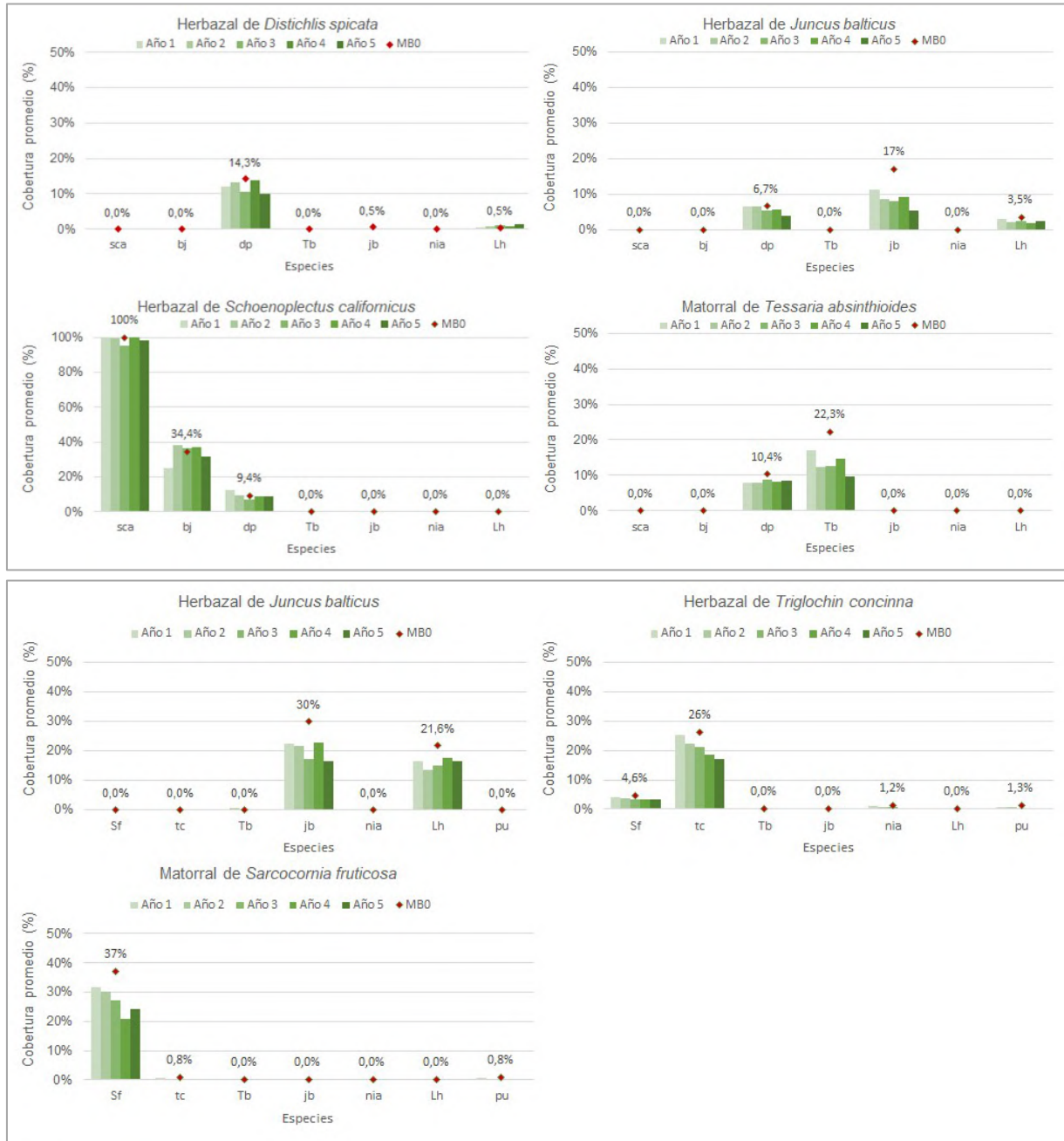
⁴⁶ Cobertura promedio anual por especie: promedio de las coberturas promedio anual de las especies por formación vegetal (que contienen todas las transectas de dicha formación); la cobertura promedio anual es aquella entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7; Año 5: M9 y M10.

⁴⁷ 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 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. Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I, sección 2.2**.

sobre todo por el aumento desde el año 1 al 2 en un +4,0%; para el año 5 desciende con relación a la condición base en -2,7%.

En el sector La Punta y La Brava (**Figura N°12-123** 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, y, en varios casos, también en el tercer (M5-M6) y cuarto (M7) año; 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), destacando dentro de estas variaciones 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). Las mayores variaciones estuvieron en el matorral de *S. fruticosa*, una mayor variación en el año, con un -16,0% para la especie *S. fruticosa* con respecto a al primer año (T12); y en el año 3 con una disminución de -12,9% para *Juncus balticus* y en el año 5 de -13,8% para *Juncus balticus*, respecto a la condición base en la formación de herbazal de *J. balticus* (T13). Por otra parte, estas dos últimas especies muestran en esta formación una tendencia de recuperación al año 4, respecto a la condición inicial: *J. balticus* aumenta en un 5,5% entre el año 3 y el año 4, y *Lycium humile* aumenta un 1,3% en el año 3 y en un 3,9% en el monitoreo 7 del año 4, respecto al menor valor registrado en el año 2; para el año 5, *J. balticus* muestra una baja en relación al año 4 de -6,4% y *L. humile* aumenta 2,8% con respecto al año 2, mientras que desciende en -1,1% respecto a lo registrado en el año 4.

Figura N°12-123. 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*. 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 y MBO: condición basal, invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la **variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los cinco 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 transectas⁴⁸), denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos (ver a continuación las **Figura N°12-124, Figura N°12-125, Figura N° 12-126, Figura N° 12-127 y Figura N° 12-128**).

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 (**Figura N°12-124**). No obstante, 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 y M10; 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 M10, 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°12-125**). En el principal tramo (tramo 2) en la formación de Tilopozo, se observa hasta M6 la caída de registros, con una recuperación parcial en M7, hasta los registros menores registrados en M10, a diferencia de la formación en La Punta y La Brava que continua más estable entre monitoreos, 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 – M10 (**Figura N° 12-126**), observándose variabilidad entre monitoreos con alzas y bajas entre ellos. 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 una recuperación paulatina desde M1 a M10, y especies como *J. balticus* y *N. atacamensis* no han sido reportadas nuevamente en la transecta. En M10 hay un primer registro de *Sarcocornia fruticosa* en el tramo 1 del herbazal.

⁴⁸ 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 intercepción. 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). Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I sección 2.2**.

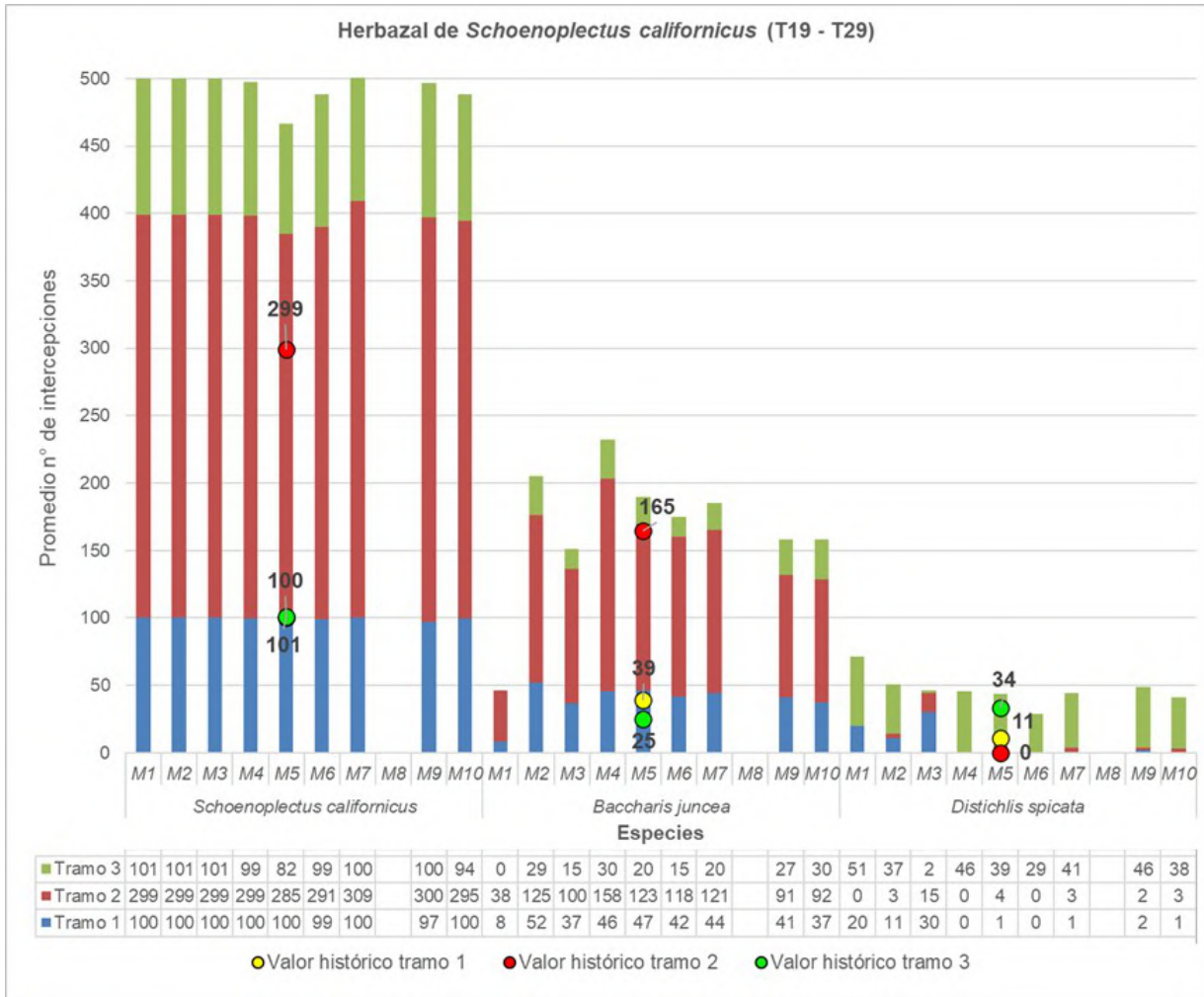
En el herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava (**Figura N° 12-127**), se observa un descenso del registro de la especie dominante (*T. concinna*) en todos los tramos en M10. La especie *Nitrophila atacamensis* presenta un descenso en M6 y recuperación parcial desde M7 a M10, en el tramo 1, donde se encuentra bajo el valor histórico. Para las otras especies acompañantes se observan leves variaciones y más bien una presencia estable entre tramos y monitoreos para el arbusto *Sarcocornia fruticosa*.

En relación a los matorrales, 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 hasta M10, para la especie dominante en el matorral de *T. absinthioides*, del sector Tilopozo (**Figura N° 12-128**). En el matorral de *S. fruticosa* del sector La Punta y La Brava, su especie dominante se observa con variaciones principalmente en el tramo 2, donde se registra un descenso desde M2, bajo el histórico y sin variaciones; el resto de los tramos tiene variaciones dentro del rango normal.

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 12.8.1.1.2**) y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis de correlaciones en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5**).

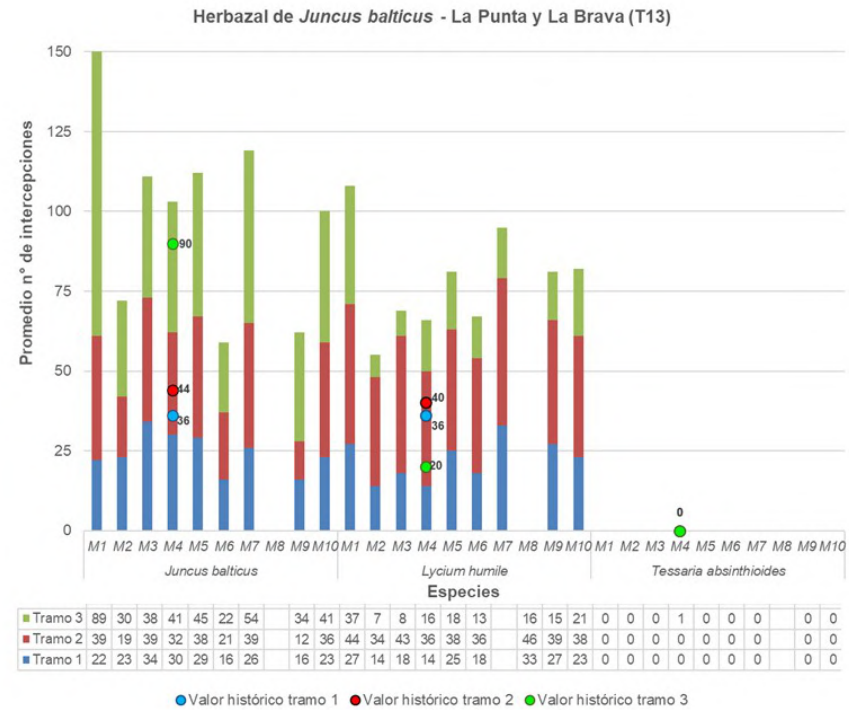
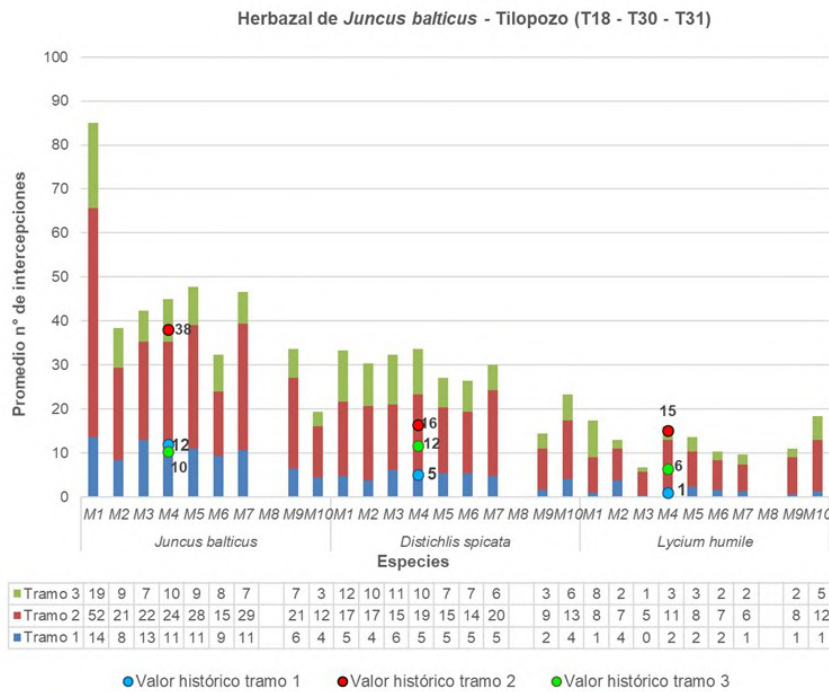
Asimismo, al analizar estadísticamente las variaciones por transecta desde MB0-M1 como condición inicial hasta el quinto año de monitoreo M9-M10, las diferencias significativas en las variaciones del NDVI se presentan principalmente por descensos de la cobertura vegetal, coincidiendo generalmente con 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, sobre todo el alza en el último monitoreo de verano (M10) con respecto al año 2019. 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°12-124. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Tilopozo.



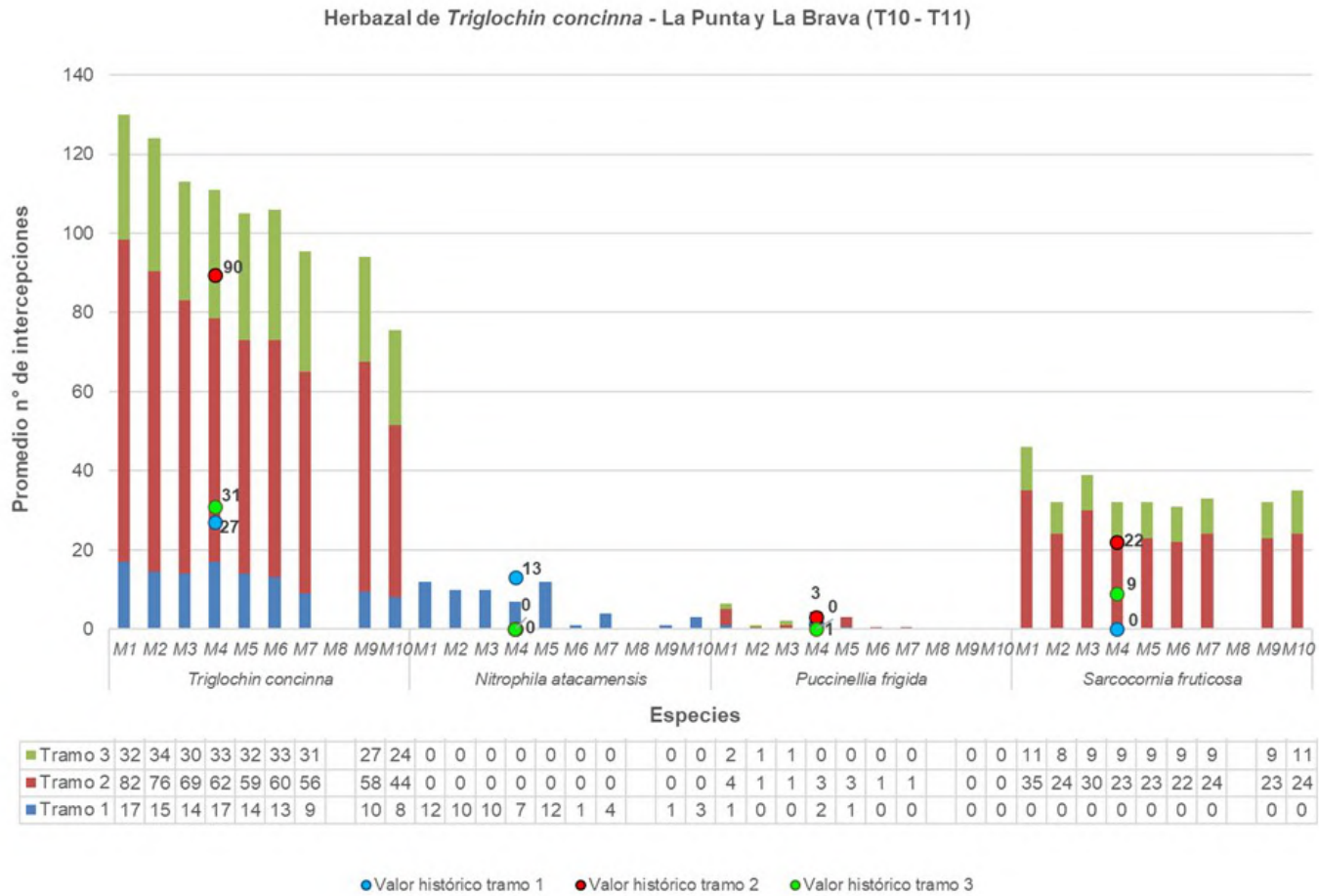
Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019, M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19), M9 monitoreo invierno 2020 y M10 monitoreo verano 2021; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N°12-125. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Juncus balticus*, en sectores de Tilopozo y 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 y M10 monitoreo verano 2021; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12-127. 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 y M10 monitoreo verano 2021; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

c. Variación del sustrato salino en transectas

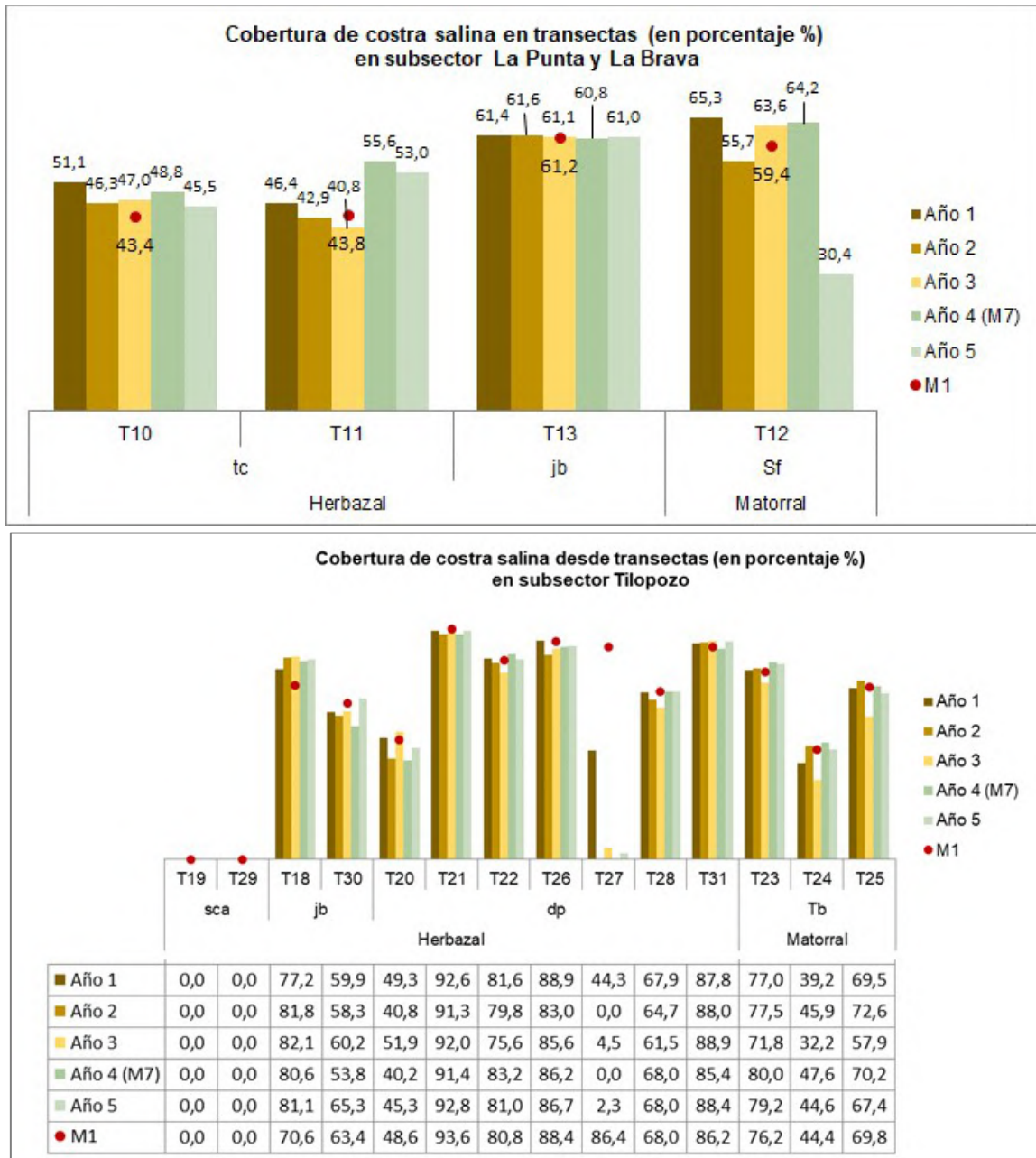
La **Figura N°12-129** presenta la variación del promedio anual del porcentaje de las coberturas salinas registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a verano 2021 (M1 a M10), en las 18 transectas distribuidas en seis formaciones azonales de seguimiento del sector. En el caso del año 4, solo se tiene el registro de invierno (M7) por lo tanto no hay un promedio anual con ambos monitoreos. Adicionalmente, se incluye el valor de referencia del primer monitoreo (M1) para comparar con los valores promedio anuales en los 5 años de monitoreo.

En el subsector La Punta y La Brava la comparación entre los promedios anuales de la cobertura salina durante los 5 años de monitoreo en la mayor parte de las transectas, muestra variaciones leves de $\pm 2\%$, respecto al primer monitoreo M1. Particularmente, tres casos superan este rango de variaciones: *i*) la T10 correspondiente a herbazal de *T. concinna* presentó un ascenso de 7% en la cobertura salina, respecto al monitoreo inicial M1, sin embargo, en los monitoreos siguientes se registra estable; *ii*) la T11 de herbazal de *T. concinna*, registra un ascenso de un 12% en los últimos dos años de monitoreo (año 4 y año 5) y *iii*) la T12 de matorral *S. fruticosa*, presentó una baja de un 30% de la cobertura salina, respecto al monitoreo inicial M1 en 2016 (**Figura N°12-129**).

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%) respecto al monitoreo inicial M1 (**Figura N°12-129**). Destacan las transectas T19 y T29 de herbazal de *S. californicus*, que registran 0% de cobertura salina. Por otro lado, la T27 de herbazal *D. spicata* registra un marcado descenso del porcentaje de la cobertura salina respecto al monitoreo inicial M1, el cual es superior a un 40%; no obstante, se registra estabilidad de su cobertura vegetal, dado que la cobertura salina varía principalmente con la cobertura del recubrimiento terroso (no salino).

También la T18 (herbazal de *J. balticus* en subsector Tilopozo), registra un aumento de la cobertura de afloramiento salino con promedio de 12,9% respecto al monitoreo inicial; sin embargo, se relaciona directamente con el menor valor registrado en M1 (70,6%), ya que desde M2 a M10 la cobertura de afloramientos salinos es estable entre 80,6 y 82,1%, por lo que no estaría asociado a un cambio a nivel de sustrato o de la cobertura vegetal. A diferencia de lo ocurrido en T30, que en el año 5 la cobertura de afloramiento salino aumenta (65,3%) con respecto a los años anteriores (53,8% a 60,2%), pero alcanzando un valor similar a lo registrado en M1 (63,4%).

Figura N°12-129. 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.

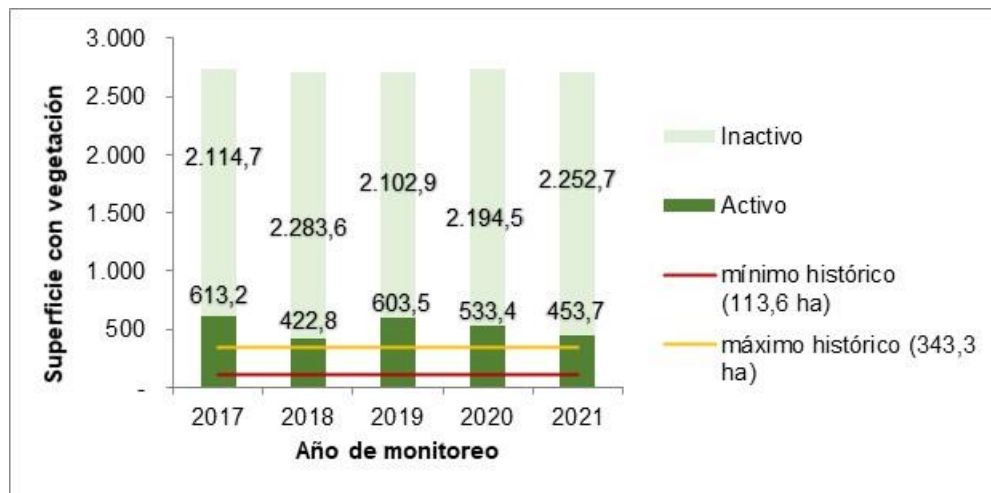
Fuente: Elaboración propia.

12.8.1.1.2 Cobertura de vegetación activa (NDVI)

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución**, considerando la condición pos-lluvias de los 5 años que se tienen de monitoreo (2017-2021), 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°12-130** y **Figura N°12-131**, respectivamente).

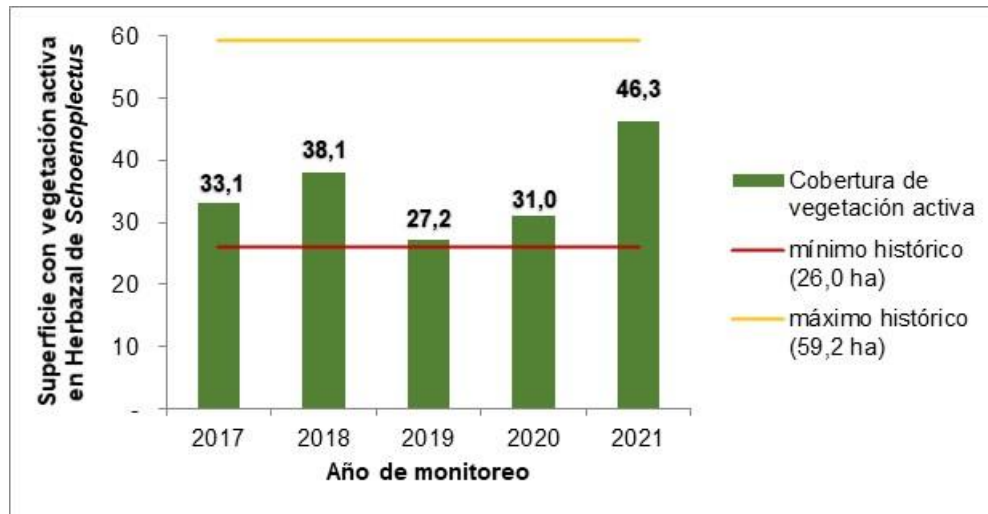
Durante los monitoreos anuales 2017-2021, es posible observar que en el sector prevalece la cobertura vegetal inactiva o bien, son bajas las coberturas vegetales, siendo imperceptibles para el sensor desde donde se obtienen los valores del NDVI. La superficie vegetal inactiva en el sector (2017 – 2021) registra valores entre 2.102,9 y 2.283,6 hectáreas, esto equivale entre un 77,7% a 84,4% de la superficie COT con vegetación del sector Tilopozo – La Punta y La Brava (**Figura N°12-130**).

Figura N°12-130. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, 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° 5. Monitoreo invierno 2020 – Verano 2021 Plan de Manejo Biótico.

Figura N°12-131. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, 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 - 2021) 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).

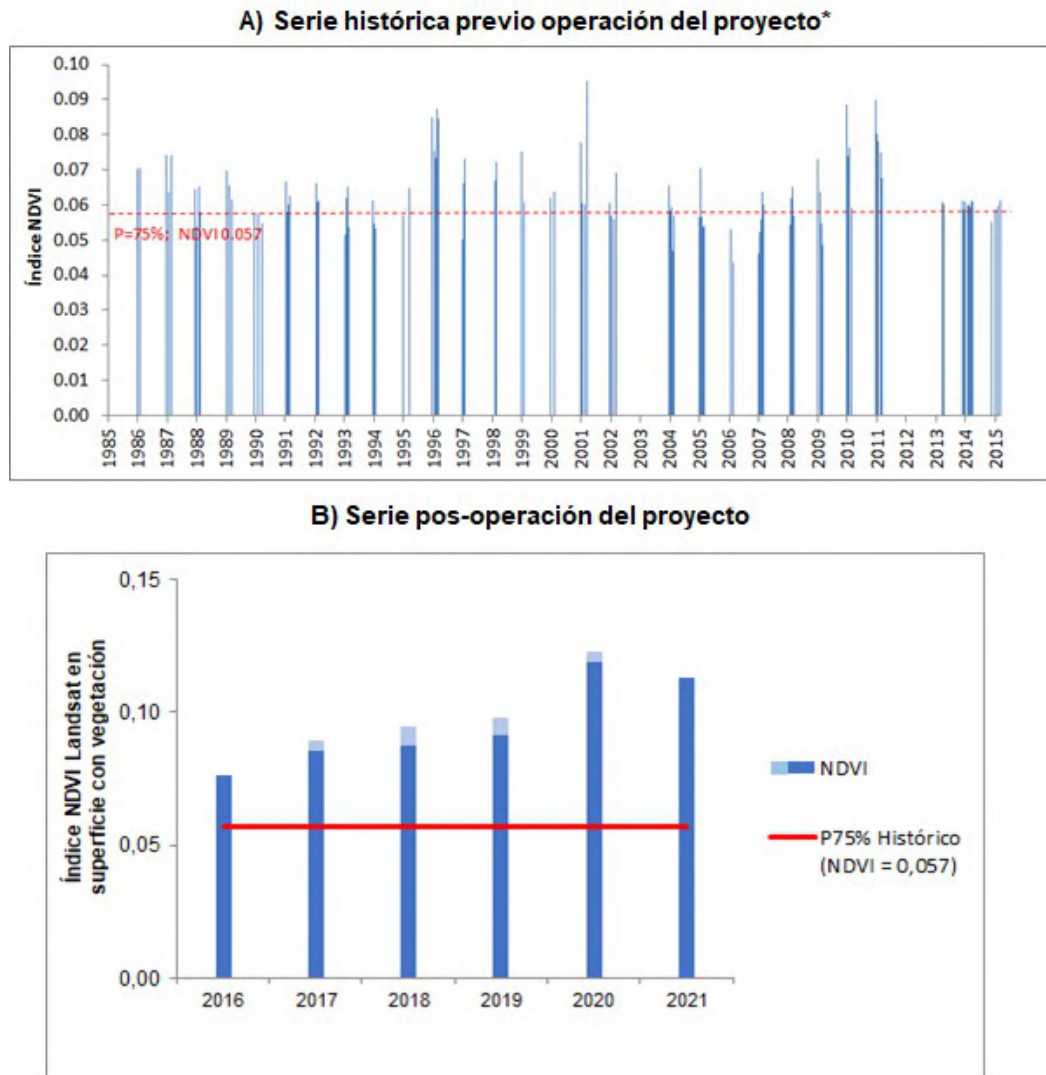
De manera adicional, pero que permite el análisis comparativo con registros históricos, se compararon los **valores del NDVI de imágenes Landsat** según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5. Este corresponde al valor indicado como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico. (ver detalle metodológico de obtención de registros NDVI Landsat en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.4.1**).

El proceso de extracción de datos NDVI en las imágenes Landsat, se realiza para las formaciones en seguimiento en el sector La Punta y La Brava, en los meses de diciembre 2016, marzo 2017, diciembre 2017, marzo 2018, diciembre 2018, marzo 2019, diciembre 2019, marzo 2020, diciembre 2020 y marzo 2021, 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 pos – 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 10 valores representativos (uno para 2016 y 2021, y dos para 2017, 2018, 2019 y 2020). Finalmente, estos valores son comparados con percentil 75 del valor histórico de NDVI de las superficies con vegetación registradas en el sector (**Figura N°12-132**), y en particular con la formación de herbazal de *S. californicus*. (**Figura N°12-133**)

La comparación del NDVI Landsat, para el periodo operación y durante las temporadas 2016-2021, reflejan la mantención del estado ecológico, según el valor histórico de NDVI con

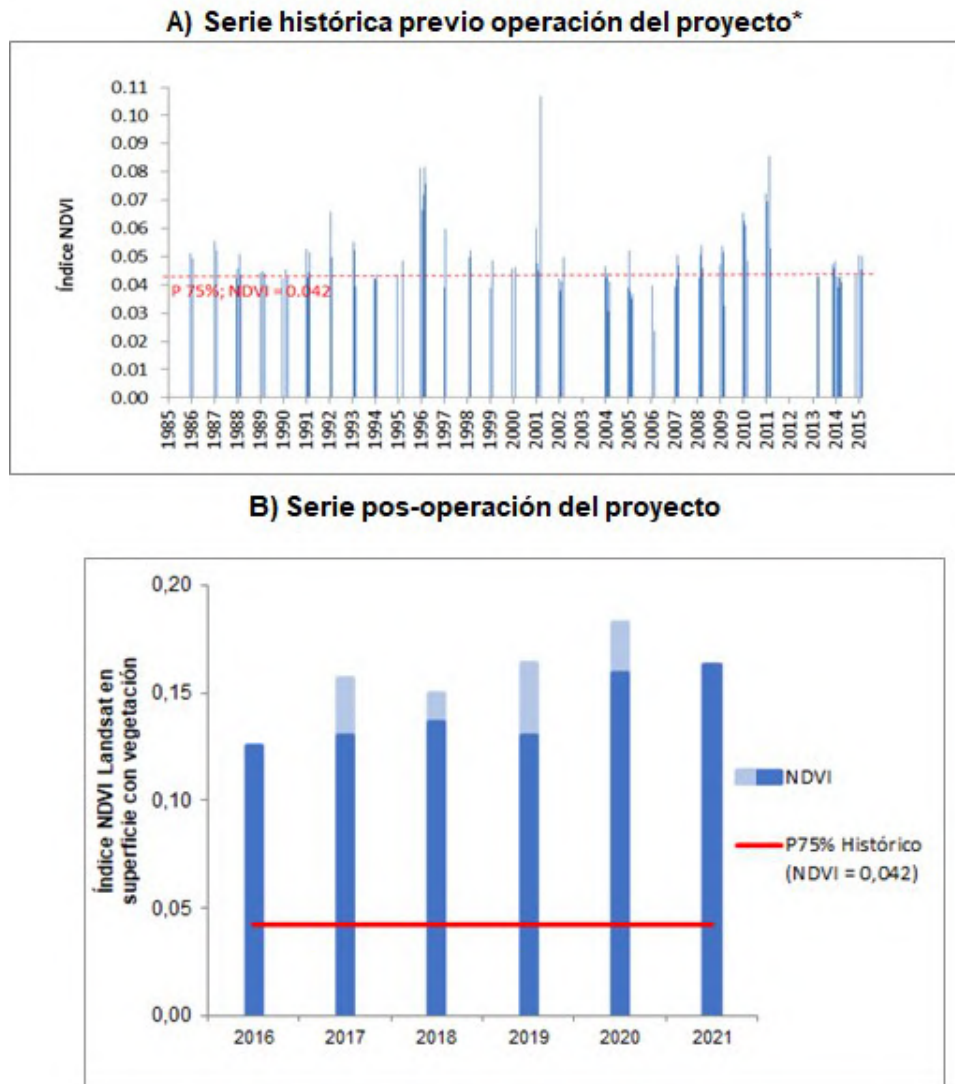
P75% tanto en la superficie con vegetación como en la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N°12-132** y **Figura N°12-133**). Esta tendencia indica una mayor actividad vegetal en el sector para el periodo operacional.

Figura N°12-132. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.



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)**.

Figura N°12-133. 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 pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en el sector Tilopozo- La Punta y La Brava.



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)**.

Asimismo, también de manera complementaria a lo exigido al PMB, se realiza un **análisis de recurrencia de las coberturas de vegetación activa obtenidas a partir del NDVI de imágenes de alta resolución (2017-2021)**⁴⁹, con el objetivo de analizar el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los cinco años de monitoreo en el periodo marzo – abril⁵⁰. Este análisis, tiene como fin determinar las áreas de superposición resultantes que representan el nivel variabilidad o estabilidad espacial de la actividad vegetal en las formaciones de seguimiento.

El proceso de determinación de los niveles de recurrencia se describe en el **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**. 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 asignación de los porcentajes utilizados por estrato, se deben 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 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.

En la **Figura N°12-134** se presenta el mapa de áreas de recurrencia (2017-2021) en los casos representativos de formaciones con alta variabilidad o inestabilidad en su cobertura activa, a la fecha.

Según análisis de recurrencia de la cobertura activa en las formaciones de seguimiento del sector, la superficie que ha reflejado actividad según el NDVI en alguno de los monitoreos (actividad acumulada) es de 823,5 hectáreas, equivalente a un 39,1% del total de las formaciones de seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.

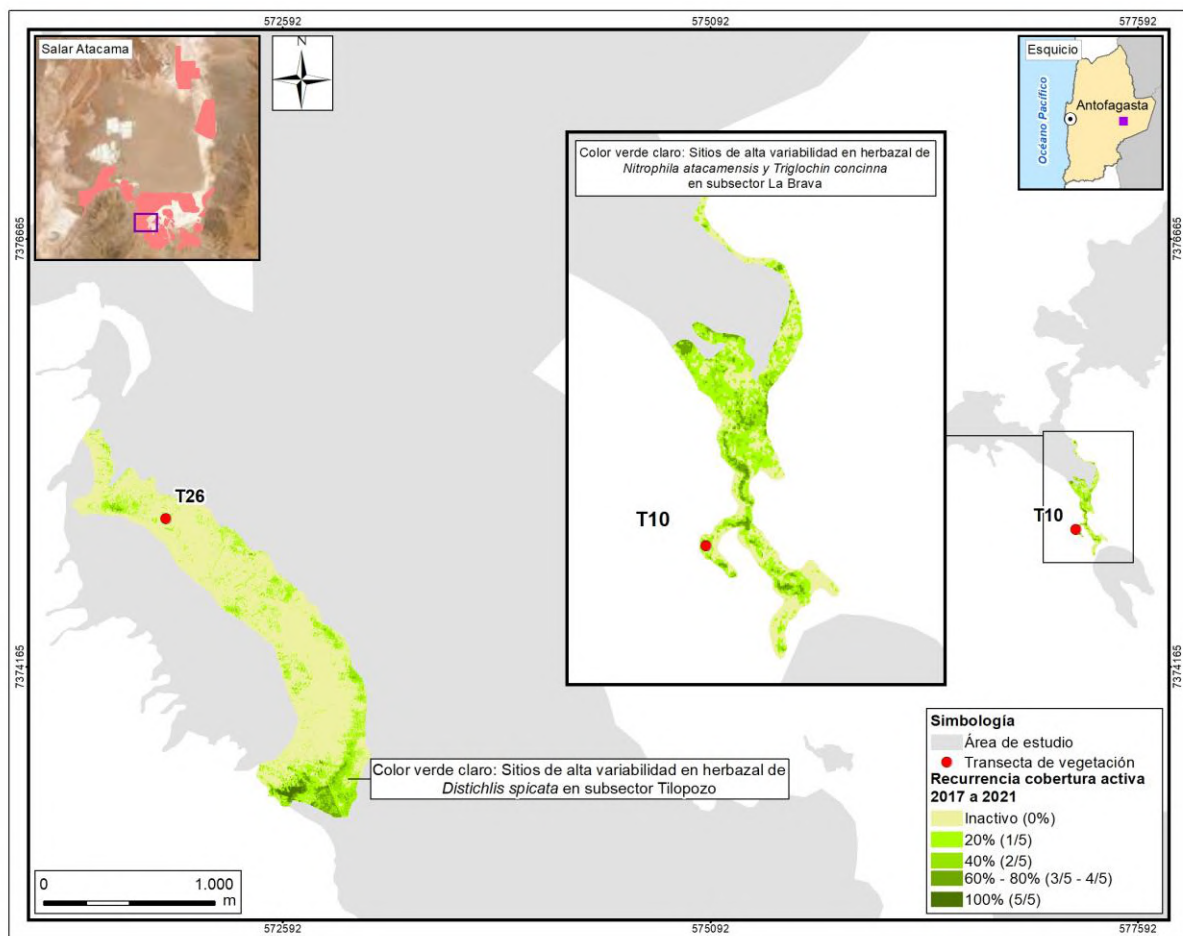
Entre las formaciones azonales en seguimiento del sector, aquella con mayor estabilidad en su cobertura activa es el matorral de *Tessaria absinthioides* del subsector Tilopozo, dado que registra la proporción más alta de 64,6 hectáreas (8,1% del total de vegetación activa con diferentes recurrencias del sector) con superficie en nivel de recurrencia de 100%, indicando actividad en 5 de los 5 monitoreos evaluados. Por el contrario, aquellas con menor nivel de recurrencia de la cobertura activa (recurrencia entre 0% a 20%), lo cual refleja una alta

⁴⁹ **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 en los monitoreos anuales de verano (pos - lluvia) de 2017 a 2021.

⁵⁰ Se refiere como **comportamiento multitemporal** a las variaciones espaciales y temporales entre los tres 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 12 años, 2009-2021.

variabilidad o inestabilidad en su actividad o vigor, son: matorral de *T. absinthioides* (que señala una formación de un área muy estable y otra de actividad nula) y herbazal de *D. spicata* en subsector Tilopozo y, matorral de *Sarcocornia fruticosa* en sector La Punta y La Brava (detalle de análisis de recurrencia del sector en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2; Figura N°12-134** presenta casos representativos de formaciones con alta variabilidad o inestabilidad en su cobertura).

Figura N°12-134. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales (pos - lluvia) 2017 a 2021: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.



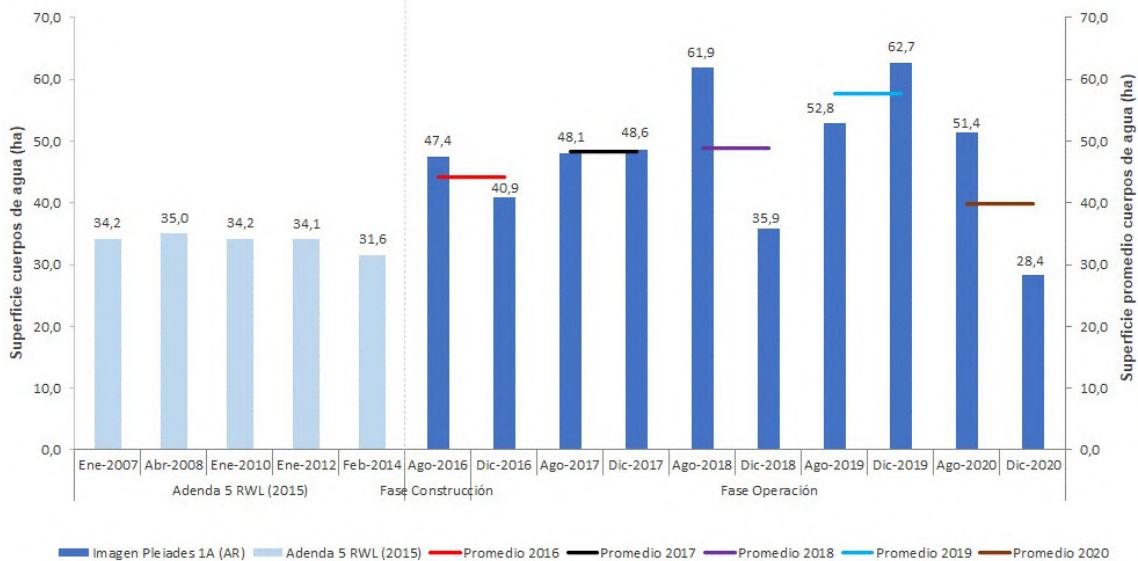
Fuente: Elaborado en base a coberturas de vegetación activa según monitoreos anuales de verano pos - lluvia 2017 a 2021. Reportadas en Informes Anuales del Plan de Manejo Biótico: Albemarle (2017), Albemarle (2018), Albemarle (2019), Albemarle (2020) y Albemarle (2021).

12.8.1.2 Superficie de Lagunas

12.8.1.2.1 Análisis de la evolución y tendencia de las superficies lagunares

Con el objetivo de analizar la evolución de las superficies lagunares, la **Figura N° 12-135** 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 2020; aquí se observa que los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2020 de 399.000 m² y en 2019 un promedio máximo de 577.841 m², donde los promedios anuales de 2018, 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado para el sector de 316.000 m².

Figura N° 12-135. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



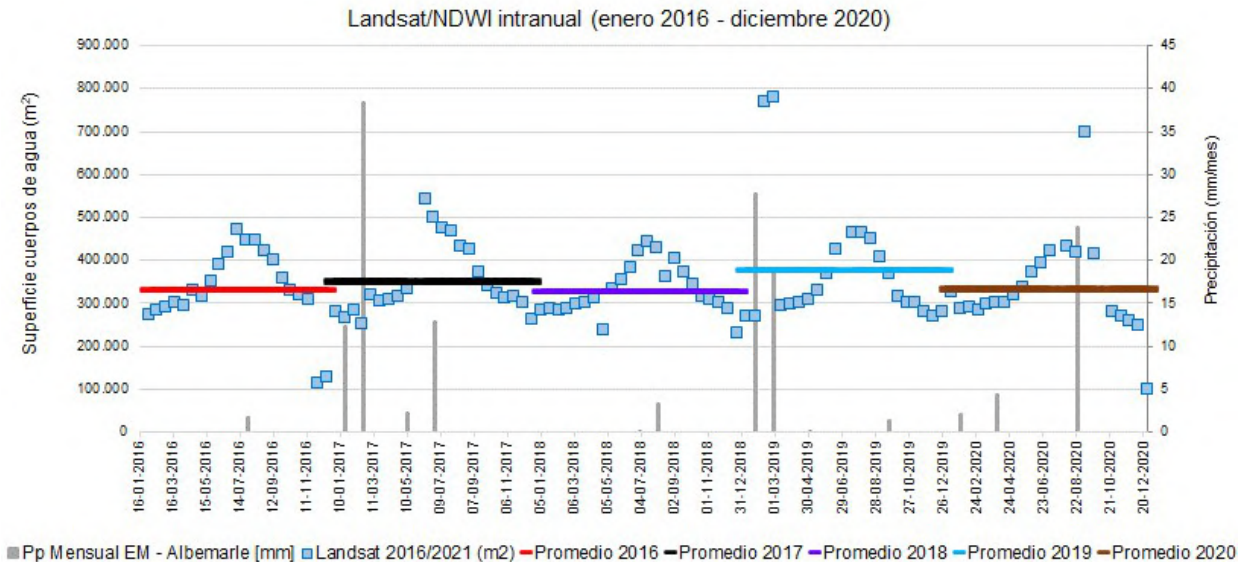
Dónde: **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

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”, es que la **Figura N° 12-136** muestra la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2020, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

Los registros indican que la amplitud de la variación entre temporadas es más pequeña; donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 330.026 m² y en 2019 un promedio máximo de 378.082 m², con un promedio 2020 (336.171 m²) que esta sobre el 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 baja variabilidad, sin tendencia clara, donde las variaciones entre promedios no sobrepasan el 13% y donde los valores anuales en promedio, se mantienen en el rango de los valores registrados históricamente.

Figura N° 12-136. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector La Punta y la Brava



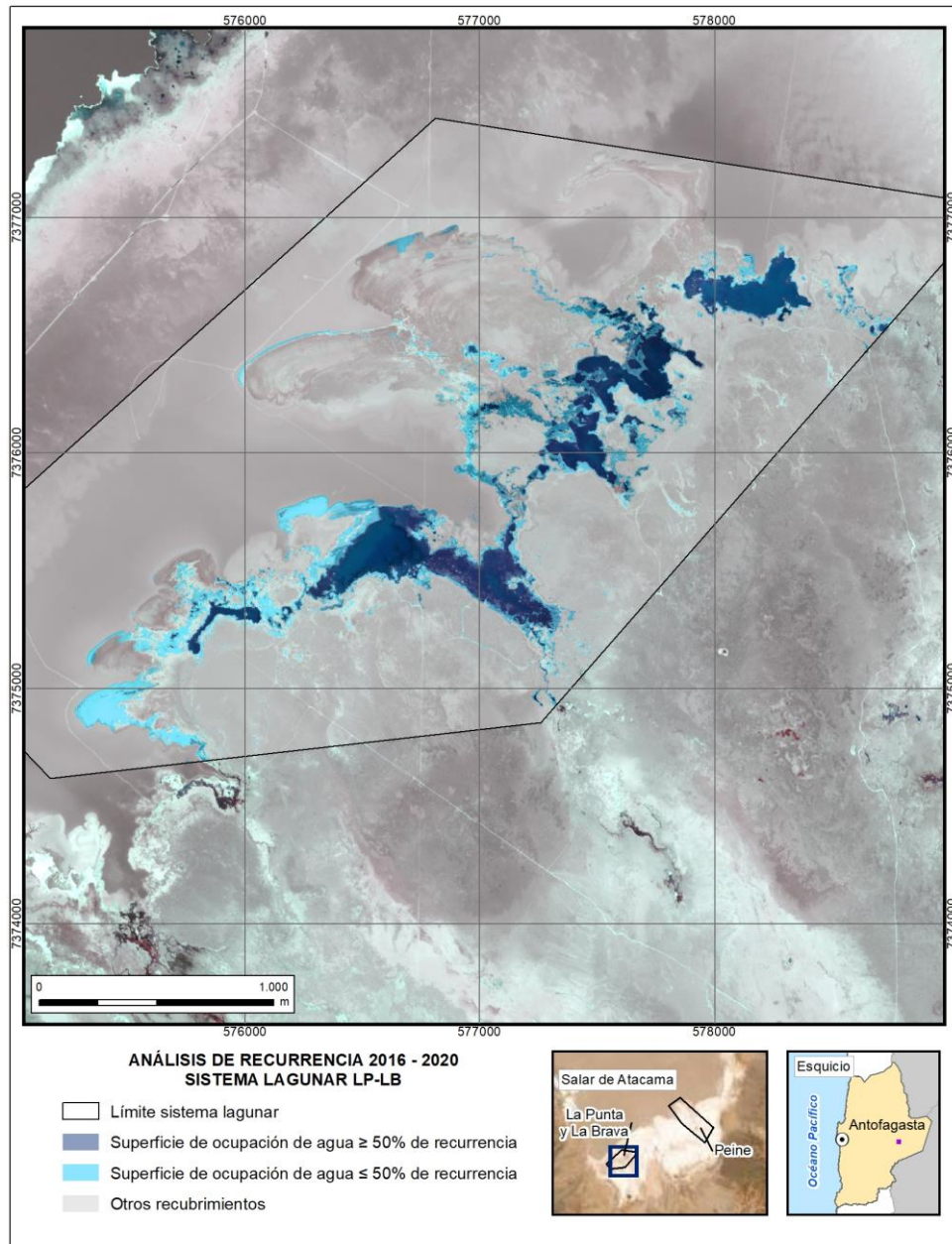
Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat serie 2016-2020

De manera complementaria, se realizó un análisis de recurrencia con el fin de dimensionar el comportamiento temporal de las superficies cubiertas por lagunas y así definir aún mejor la evolución de las superficies lagunares, que en base a esta disgregación las superficies pueden ser clasificadas según su porcentaje de ocurrencia en el tiempo. Estas superficies lagunares según su recurrencia 2016 - 2020 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 diez 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 (**Figura N° 12-137**):

- (i) Superficie con ocupación de agua mayor a 50%: presencia de lámina de agua entre seis (6) y diez (10) de los seguimientos efectuados.
- (ii) Superficie con ocupación de agua menor o igual 50%: presencia de lámina agua entre uno (1) y cinco (5) de los seguimientos efectuados.
- (iii) Otros recubrimientos: presencia nula de agua durante los 10 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.

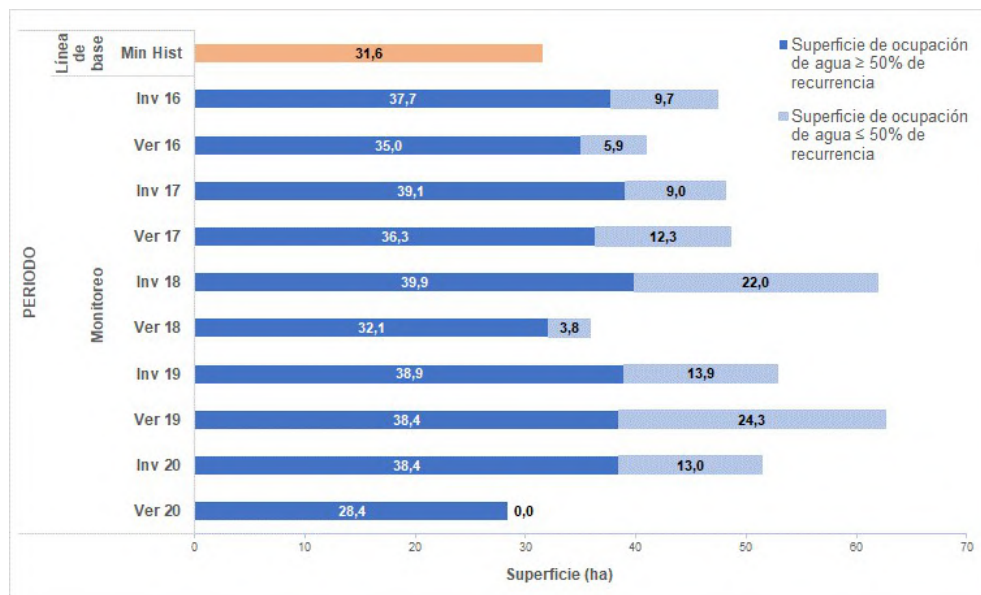
Figura N° 12-137. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

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 (10 imágenes Pleiades). Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a agosto 2020, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de febrero de 2014 (31,6 ha); sin embargo, se reporta un descenso de las superficies en relación al mínimo histórico en diciembre de 2020 (-8,0 ha). El estrato con superficies recurrentes menor al 50% del tiempo, no muestra presencia en verano 2020, siendo este el estrato con mayor variación (**Figura N°12-138**).

Figura N°12-138. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

12.8.1.3 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 5 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

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° 12-55**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 12-139**, **Figura N° 12-140** y **Figura N° 12-141**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

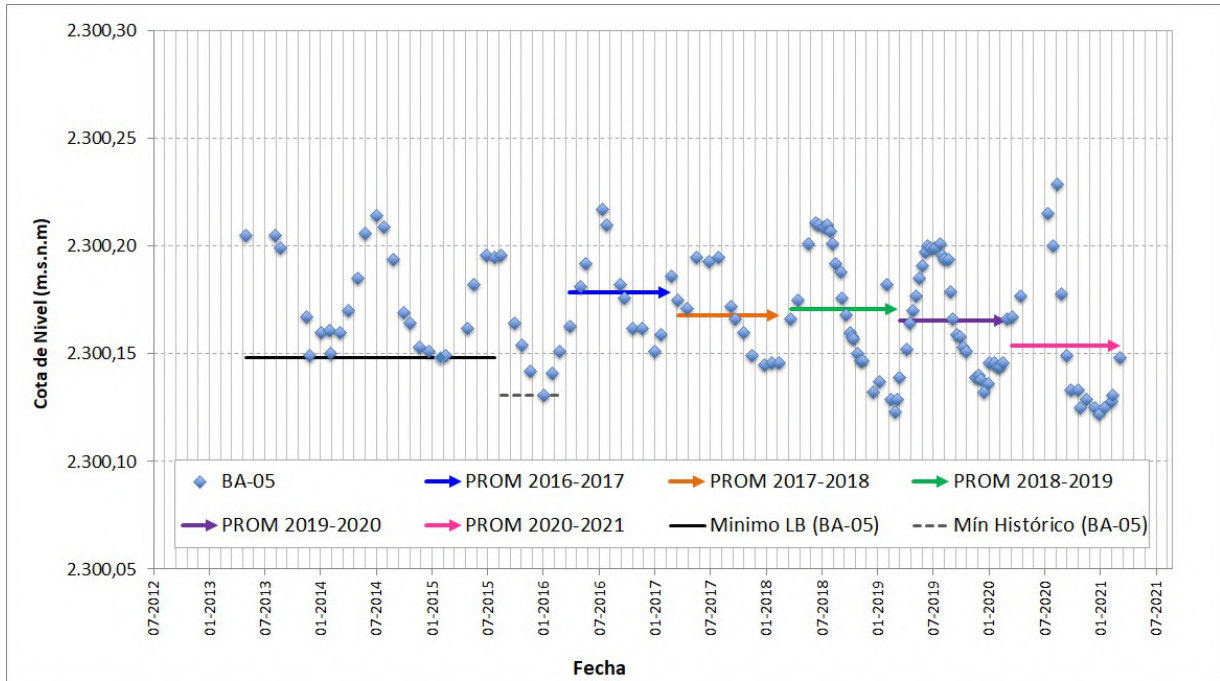
Tabla N° 12-55. Valores⁵¹ Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB

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- Mar2019 (m s.n.m)	Abril 2019- Mar 2020 (m s.n.m)	Abril 2020- Mar 2021 (m s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-05	2.300,148	2.300,131	2300,178	2300,168	2.300,172	2300,166	2.300,154
BA-07	2.299,990	2.299,990	2300,036	2300,024	2.300,022	2300,044	2.300,007
BA-16	2.300,845	2.300,836	2300,876	2300,863	2.300,865	2300,848	2.300,845

Fuente: Elaboración propia

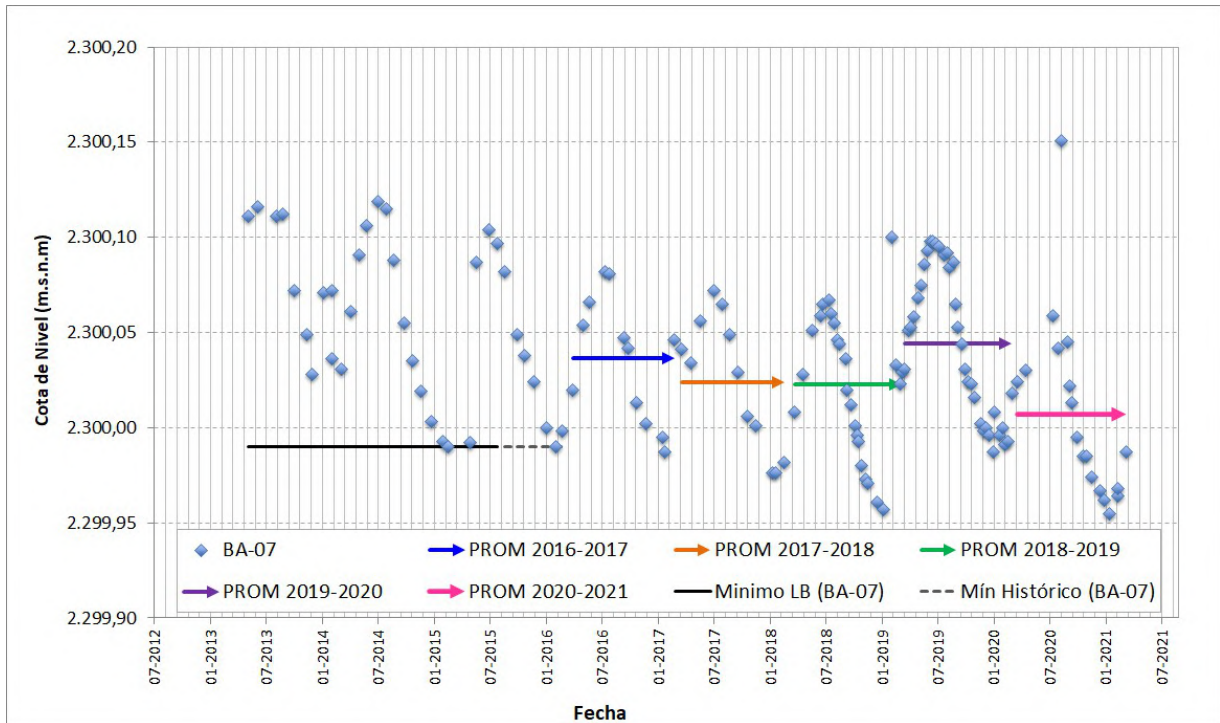
⁵¹ Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°5 PMB.

Figura N° 12-139. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.

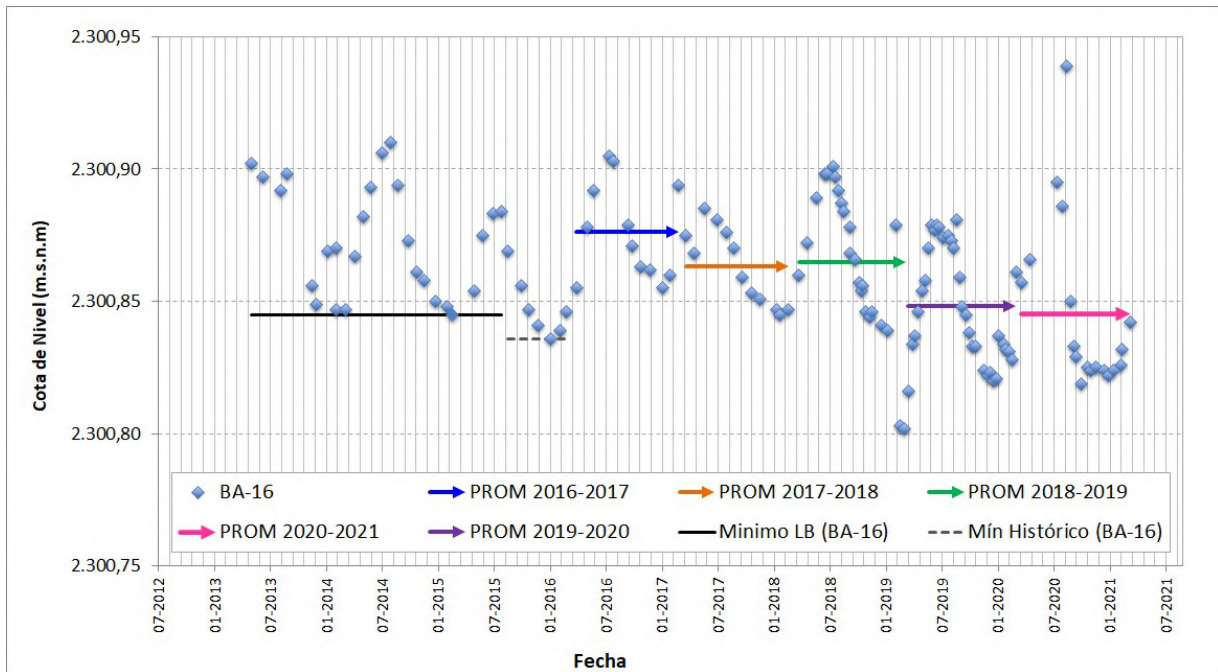


Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-140. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-141. 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 que:

Para el pozo BA-05, se observa una leve tendencia al descenso en los últimos 3 años (tendencia que se inicia luego de un pequeño aumento que se observa en 2018-2019 con respecto a 2017-2018), aunque por encima del mínimo de Línea Base y por sobre el mínimo histórico, manteniéndose dentro del rango de los valores registrados históricamente en el punto. Para este último año 2020-2021 se tiene un promedio de 2.300,154 m s.n.m.

Para el pozo BA-07, los niveles promedio anuales se muestran variables, y a diferencia del BA-05, sin tendencia al descenso consecutiva en los últimos 3 años, no obstante lo cual este último año, el promedio anual es más bajo que los 2 años previos. Se observa en este último año (2020-2021) un promedio anual de 2.300,007 m s.n.m. Todos los promedios anuales se encuentran por sobre el mínimo histórico y por sobre los valores de línea de base.

Por último, para el pozo BA-16 se observa al igual que para el BA-05 una tendencia al descenso de los promedios anuales para los últimos 3 años, pero con todos ellos por sobre del mínimo histórico. Para este último año se tiene un promedio anual de 2.300,845 m s.n.m, el que es igual al nivel mínimo observado de Línea Base.

Considerando todas las mediciones a la fecha y en especial para el análisis de tendencia de estado ecológico de este sector, los niveles promedio de los últimos 3 últimos años de monitoreo se observan en general con tendencia al descenso, pero donde los 3 pozos de este Sector LP-LB presentan promedios anuales por encima del mínimo de Línea Base y del

mínimo histórico, **manteniéndose en el rango de los valores registrados históricamente por sector.**

12.8.2 Sistema Peine

12.8.2.1 Vegetación azonal

12.8.2.1.1 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°12-142**, se puede observar la cobertura promedio⁵² 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 M10, 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°12-142**); 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 con variaciones con una diferencia máxima de 15%. 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 hasta M10 con 68,4%. 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.

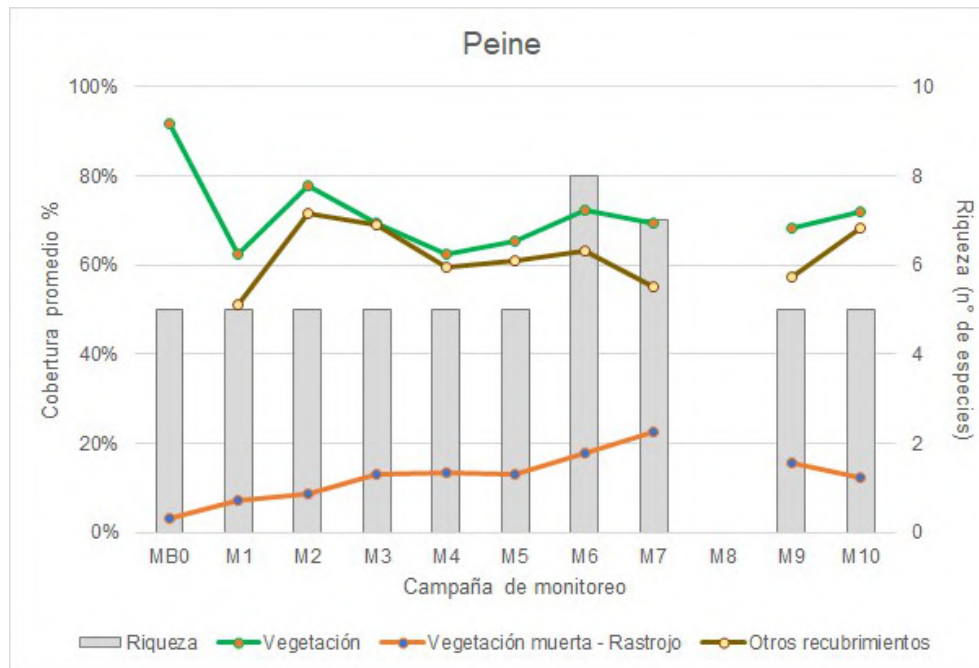
Con respecto a la riqueza, se observa un número estable de especies identificadas para el sector, desde la condición base en MB0 hasta M5, asimismo en M9 y M10 se reportan cinco

⁵² Cobertura promedio calculada a partir de las coberturas absolutas por transecta de cada monitoreo, donde se promedia por las 9 transectas en el sector.

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.

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 2021 (M10).

Figura N°12-142. 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. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N°12-143** 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 seguimientos M1 a M10, se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M10.

El herbazal de *S. californicus*, presenta la mayor cobertura vegetal del sector (**Figura N°12-143**). 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

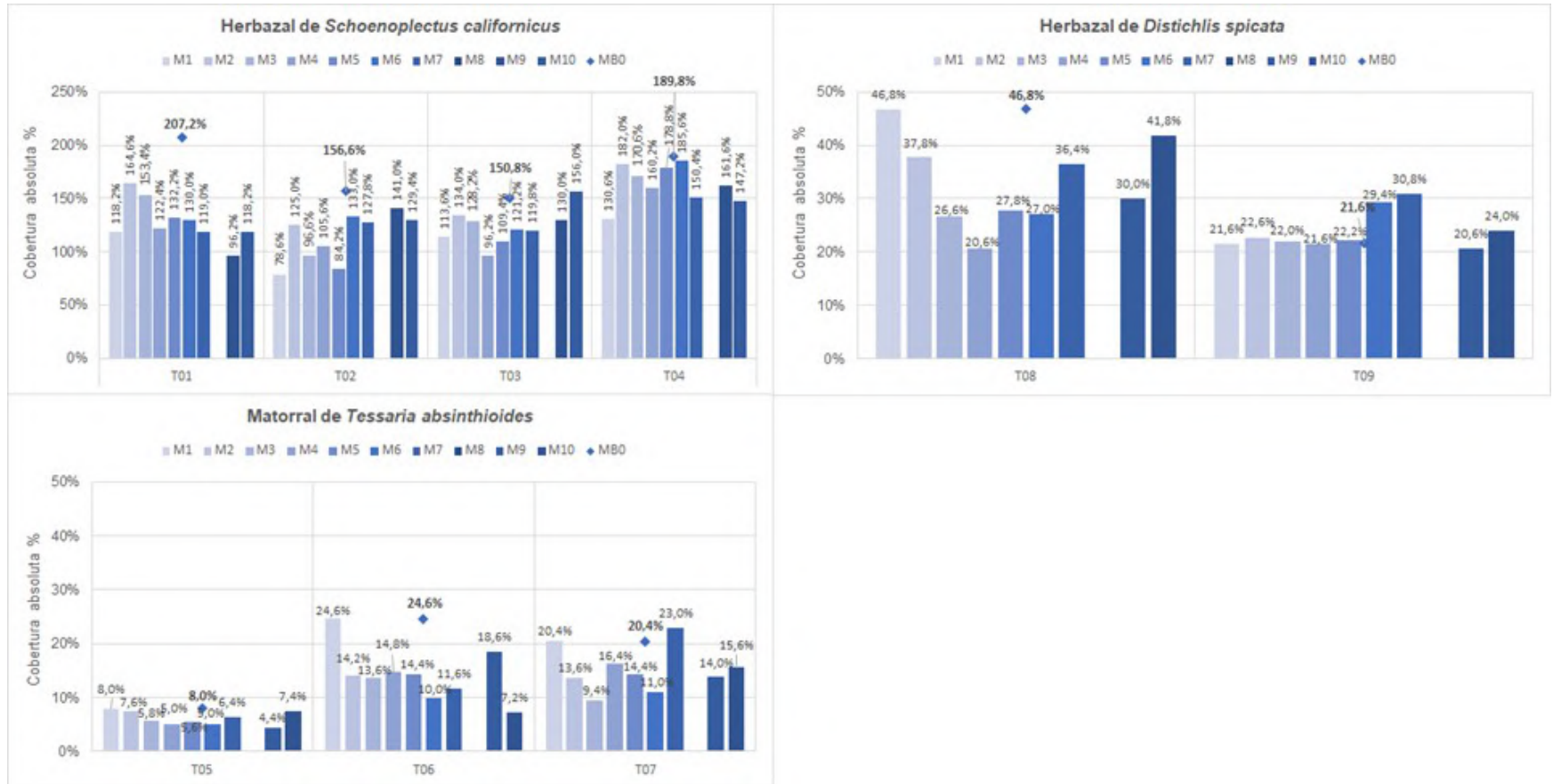
los monitoreos M1 y M5 menores al 85%. Y en la transecta T01, se observa una leve tendencia al descenso desde MB0, llegando al valor más bajo de 96,2% en M9, aunque en M10 presenta un aumento (118,2%); asimismo, se observa que para M1, la cobertura es muy inferior a la registrada en MB0 (207,2%), a pesar 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 pos - lluvia 2017) se observa el ascenso pronunciado de la cobertura. Desde M1 a M10 en ningún monitoreo se observa una cobertura similar o superior a la de MB0, siendo M10 la segunda mayor cobertura registrada en T02 (129,4%). Para T04 se observa una cobertura más estable entre M2 y M10, con un leve descenso en M10 que no alcanza los niveles reportados en M1.

El herbazal de *D. spicata*, presenta dos situaciones (**Figura N°12-143**). La transecta T08 muestra una menor cobertura desde M2 a M6 con respecto a MB0, mostrando un aumento desde los seguimientos M7 y M10, estando este último en el rango de los registros 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, pero exceptuando M9, siendo M10 el seguimiento de cobertura más baja con respecto a sus antecesores (7,2%). Para la transecta T05 se observa variaciones mínimas entre seguimientos, con una baja leve en M9 (4,4%). Finalmente en la transecta T07 se observa un alza significativa de la cobertura absoluta registrada en M7 con respecto a sus antecesores y sucesores, estando por sobre el MB0 base (**Figura N°12-143**).

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 M10 (2016-ver 2021), 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 excepción de la transecta T01 en comparación a su condición base, pero que 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.

Figura N°12-143. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1 a M10 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 y M10 monitoreo verano 2021. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1-6, **Anexo I Vegetación y Flora**.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, 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.

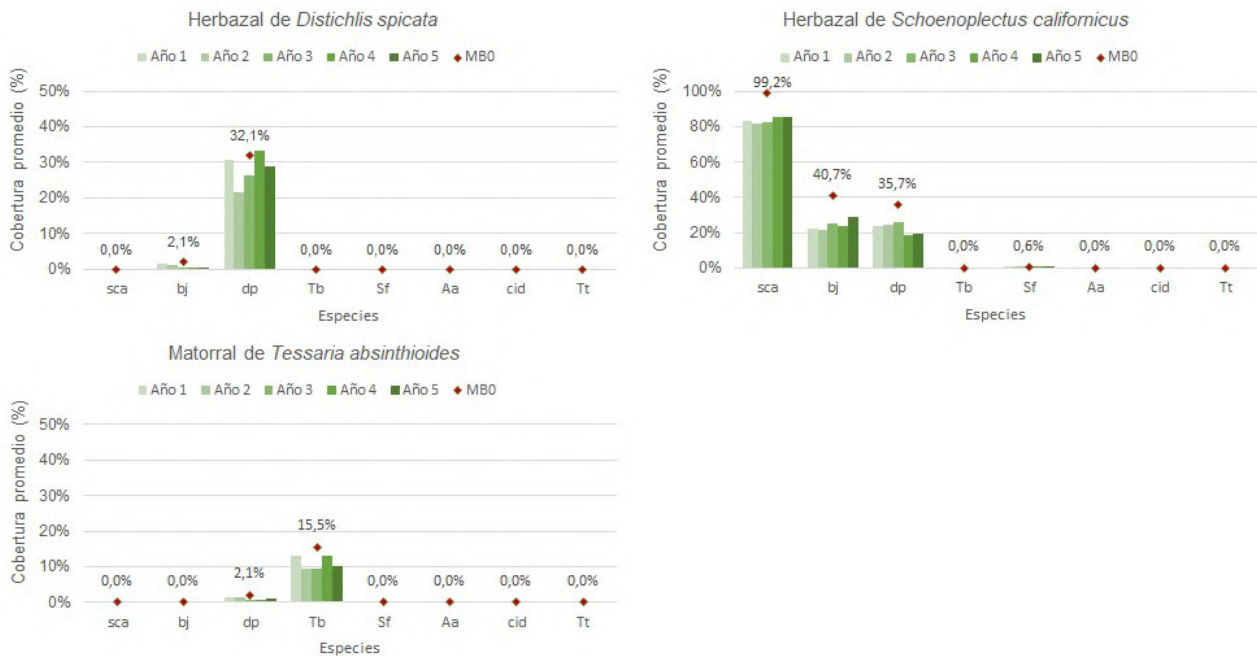
En relación a **la variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte se analiza la cobertura promedio anual de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N° 12-144**, y seguidamente, se analiza la variación de estas coberturas entre periodos, MB0-Año 1, Año 1-Año 2, Año 2-Año 3, Año 3-Año 4 y entre Año 4-Año 5⁵³, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

En el sector Peine, se registran ocho 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° 12-144** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas ocho especies en las tres formaciones, observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los cinco años, con una disminución de la cobertura promedio anual desde el primer año respecto a MB0, aunque se mantiene en una alta cobertura sobre un 80% en los cinco años de seguimiento, mostrando una ligera tendencia de recuperación en el tercer y, sobre todo, al cuarto y quinto año (de -17,5% entre MB0-año 2, -13,4% entre MB0-año 4 y -13,6 entre MB0-año 5).

Para las otras especies, en general se observa una variación entre los años de monitoreo (**Figura N° 12-144**), 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 recuperar y superar levemente en este último el promedio inicial de MB0 (+1,1%). El comportamiento es variable en el resto de las especies, con descensos y recuperaciones parciales, representando variaciones negativas menores al 20% entre periodos de seguimiento (ej. *Baccharis juncea* en el herbazal de *D. spicata* con -1,7% y *D. spicata* en el matorral con -1,0% en M10). *B. juncea* en el herbazal de *S. californicus* muestra el descenso más pronunciado (-19,0% entre MB0-año 2), mientras que en la formación de herbazal de *D. spicata*, la especie dominante presenta un ligero aumento al cuarto año, respecto a la condición inicial (1,1%).

⁵³ 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 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. Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I, sección 2.2**.

Figura N° 12-144. 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 y MB0: condición basal, invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la **variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los cinco 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 transectas⁵⁴), 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, 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 M10 (**Figura N° 12-145**). 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

⁵⁴ 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 intercepción. 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). Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema**.

bajo el histórico con descenso de *D. spicata* en M10 y con *B. juncea* más estable entre monitoreos.

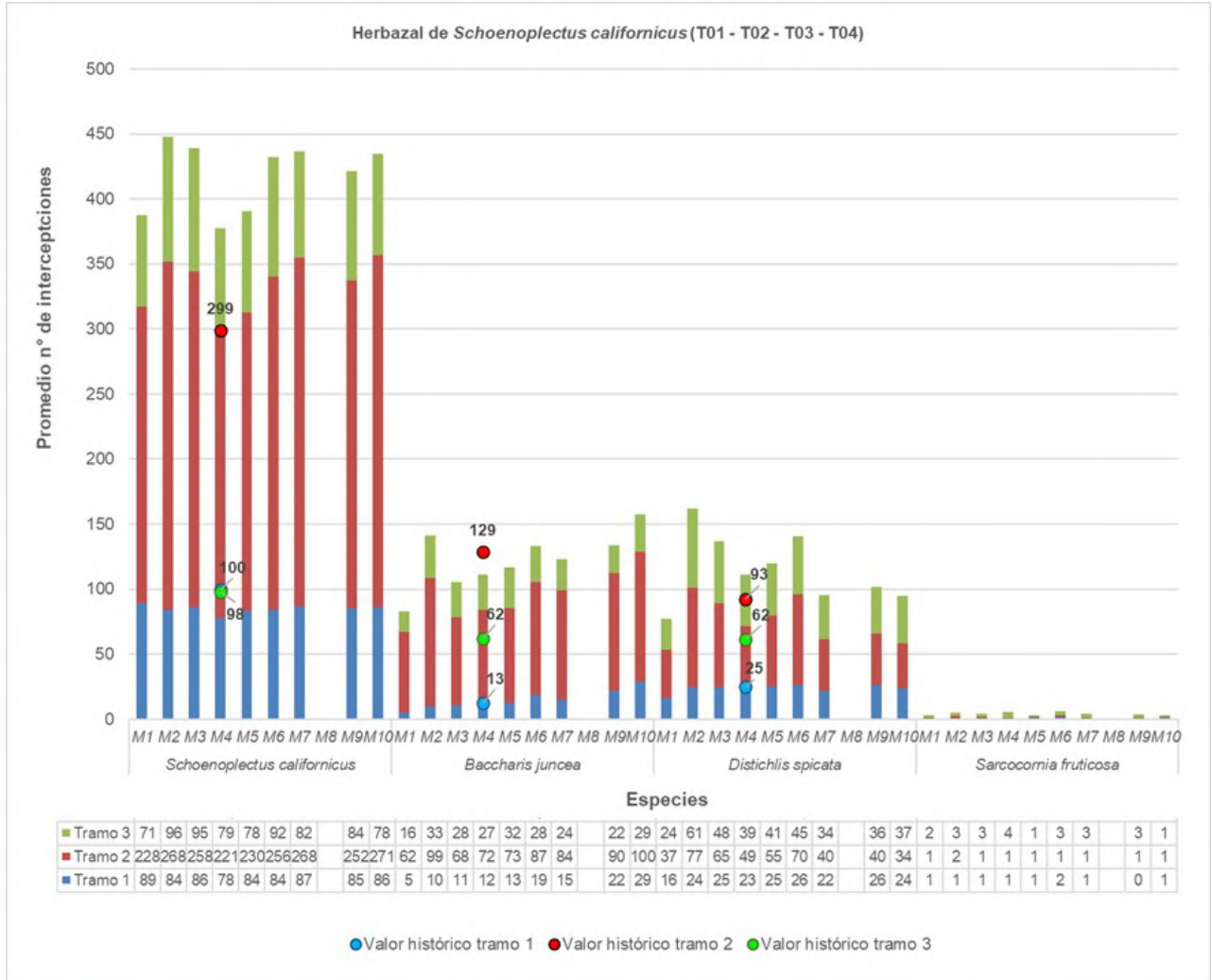
En el herbazal de *Distichlis spicata*, la especie dominante (*D. spicata*) presentaba disminución de sus registros entre M3 y M4, observados en los tramos 2 y 3 principalmente, en relación a MB0 y M1, registrando posteriormente una mayor presencia de la especie en M9 y M10, superando al valor histórico de MB0 en M7 en todos los tramos (**Figura N° 12-146**). 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, aunque históricamente presentó bajos registros.

En el matorral de *Tessaria absinthioides*, se observa una baja de los registros para la especie dominante entre M3, M5 y M6, y con alzas en M7, superando el valor histórico en el tramo 2 (**Figura N° 12-147**). La especie acompañante *D. spicata* presenta valores dentro de rango entre monitoreos, a excepción del tramo 1 en M9. Las especies *Atriplex atacamensis*, *Cistanthe densiflora* y *Tiquilia atacamensis* corresponden a registros erráticos durante el seguimiento, registradas en una intercepción (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.

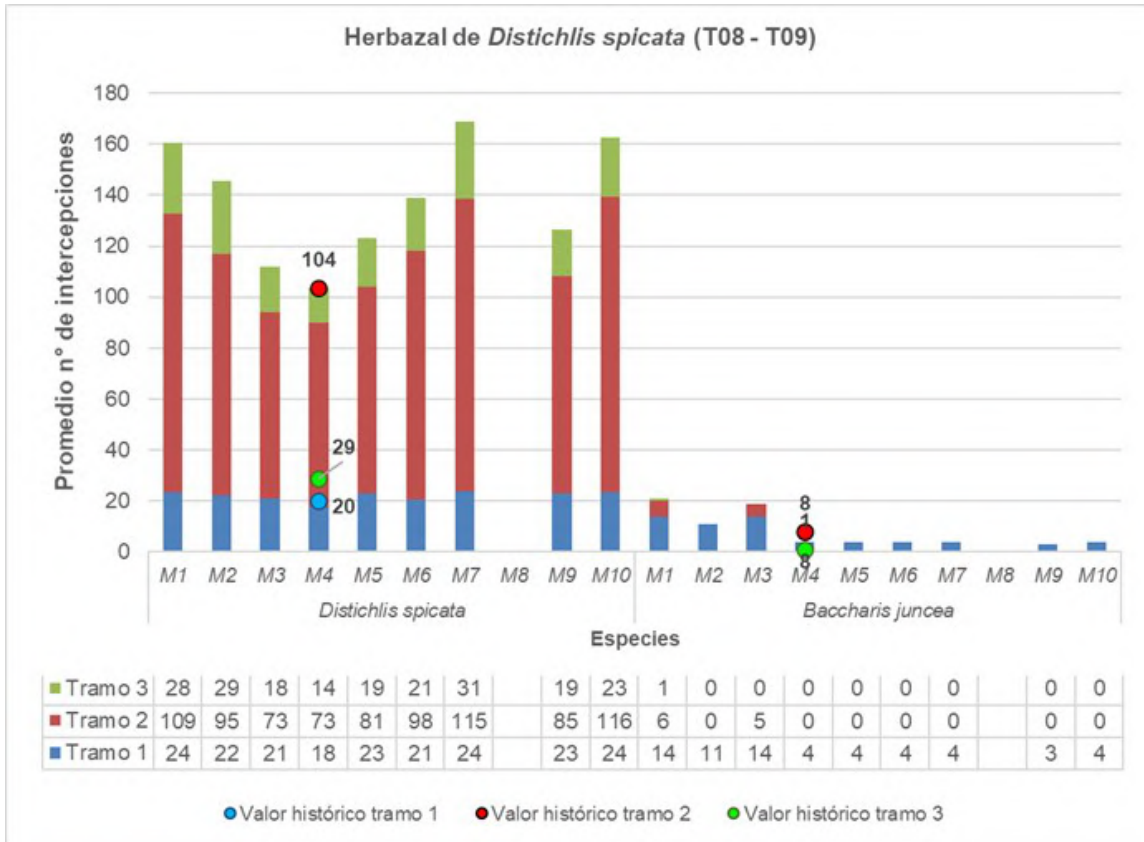
En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos, y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar. Esto se deduce del análisis complementario que se realizó con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2020, 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 2.1.2.1.2** y las correlaciones en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5**). Los análisis para la determinación estadística de las variaciones de la cobertura por transectas y su significancia se desarrollan en el **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.1**).

Figura N° 12-145. 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 y M10 monitoreo verano 2021; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12-146. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Distichlis spicata* en sector Peine.

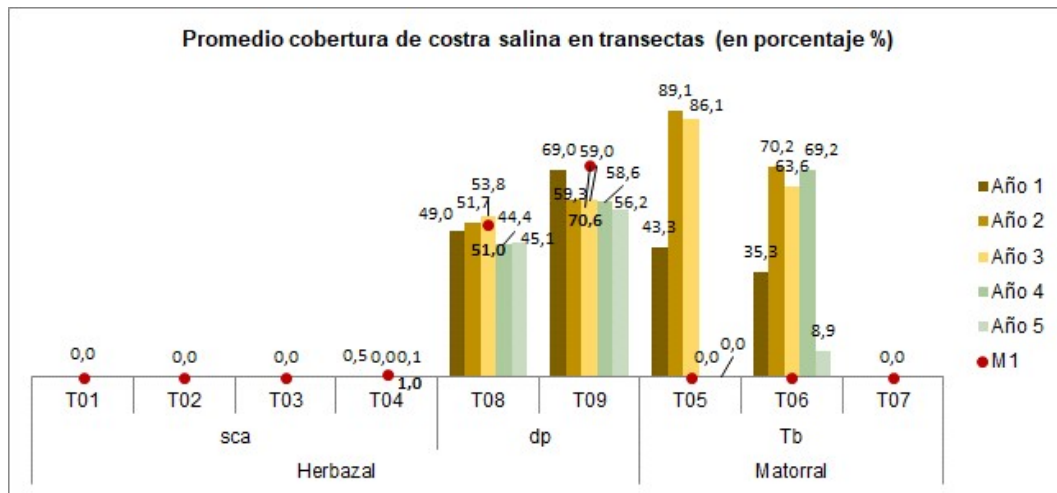


Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; M8 monitoreo verano 2020 (no realizado por condiciones excepcionales, en el marco de la Pandemia Covid-19); M9 monitoreo invierno 2020 y M10 monitoreo verano 2021; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

T09) registran rangos entre 44% a 69% y de 8,9% a 89%, respectivamente (el último exceptuando la T07 que registra ausencia de recubrimiento salino; **Figura N° 12-148**).

Seis 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 en todos los monitoreos; mientras la transecta T05 muestra un ascenso en comparación con M1 de +43%, +89%, +86%, en el Año 1, 2, y 3 respectivamente; sin embargo, no presenta cobertura salina al Año 4 (M7) y Año 5 (M9 – M10) coincidente con la condición base en M1. La transecta T06 de la misma formación zonal de *T. absinthioides* presenta una baja cobertura en el año 1, que se incrementa hasta el año 4, bajando en las mediciones del año 5 (8,9%).

Figura N° 12-148. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector 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 – M10.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores que pueden explicar el ascenso de la cobertura salina en el matorral de *T. absinthioides* del sector (en T05 y T06), pueden relacionarse con los siguientes, 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°5**):

- La amplia variación de la concentración de sales en el suelo, según valores registrados en esta formación durante monitoreos de suelo (S12), con un rango registrado en la conductividad eléctrica de ligeramente salino a extremadamente salino, entre 3.970 y 23.700 $\mu\text{S/cm}$.

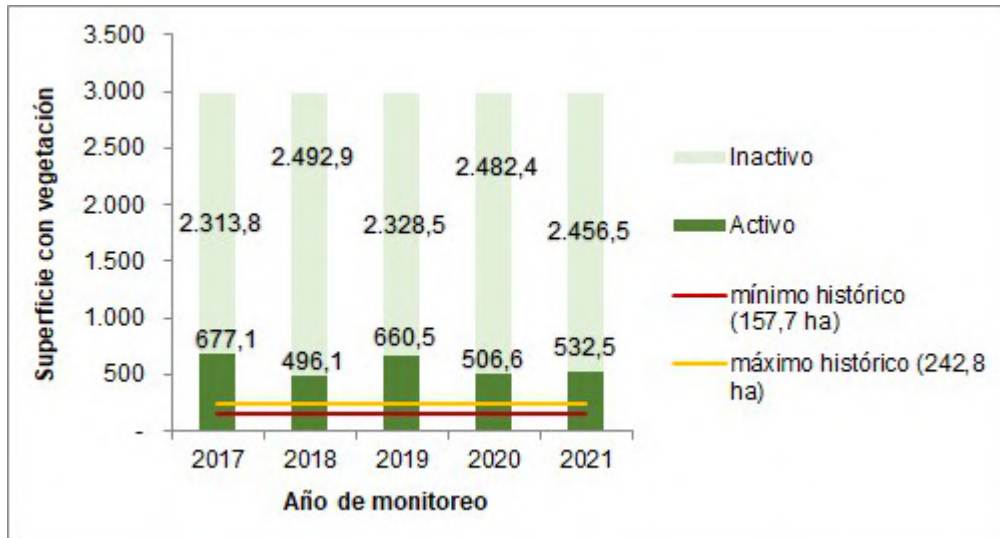
- La variación de la cobertura vegetal por un periodo de baja entre diciembre 2015 a diciembre 2016, sugiriendo la ocurrencia de un evento anómalo en este periodo, el cual conllevó al posible descenso en esta formación dentro del sector.
- El efecto por variaciones hidroclimáticas existentes en el sistema, 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 **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5**).

12.8.2.1.2 Cobertura de vegetación activa (NDVI)

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución** de pos-lluvias estivales 2017-2021, entre los valores de línea de base y de monitoreos, se presenta gráficamente en la **Figura N°12-149**, 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°12-150**, este año 2021 se observa un aumento respecto del año anterior 2019 - 2020, lo que produce un quiebre en la tendencia al descenso que se venía observando entre 2017 - 2019, aunque persisten valores por debajo del rango histórico obtenidos desde imágenes de resolución media (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

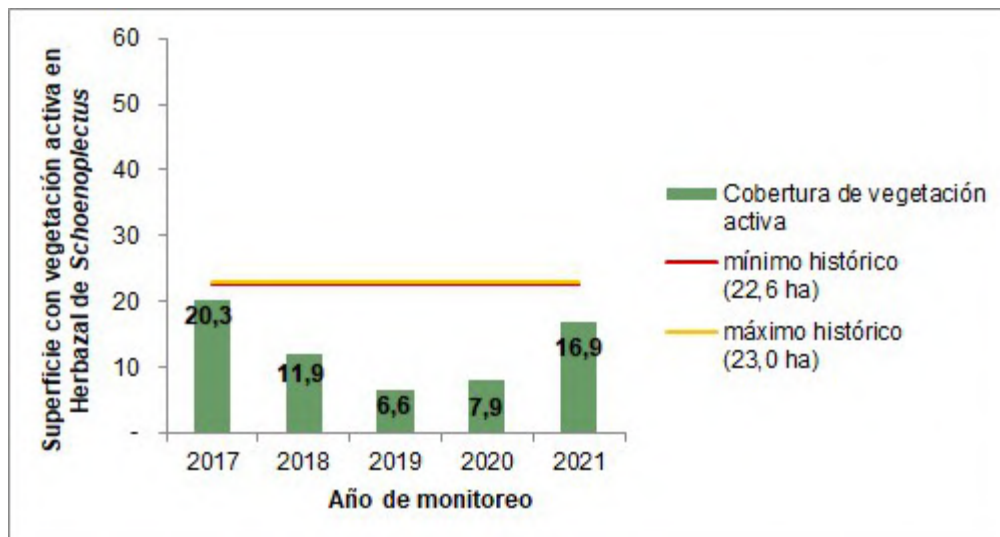
La superficie vegetal inactiva en el sector registra valores entre rango mínimo y máximo de 2.313,8 (2017) y 2.492,9 (2018) hectáreas, esto equivale entre un 77,4% a 83,4% de la superficie COT con vegetación (**Figura N°12-149**; detalle de evaluación interanual entre monitoreos mediante el análisis de recurrencia en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.2.b**). 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.

Figura N°12-149. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, 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 5. Monitoreo invierno 2020 – Verano 2021 Plan de Manejo Biótico.

Figura N°12-150. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2021, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine



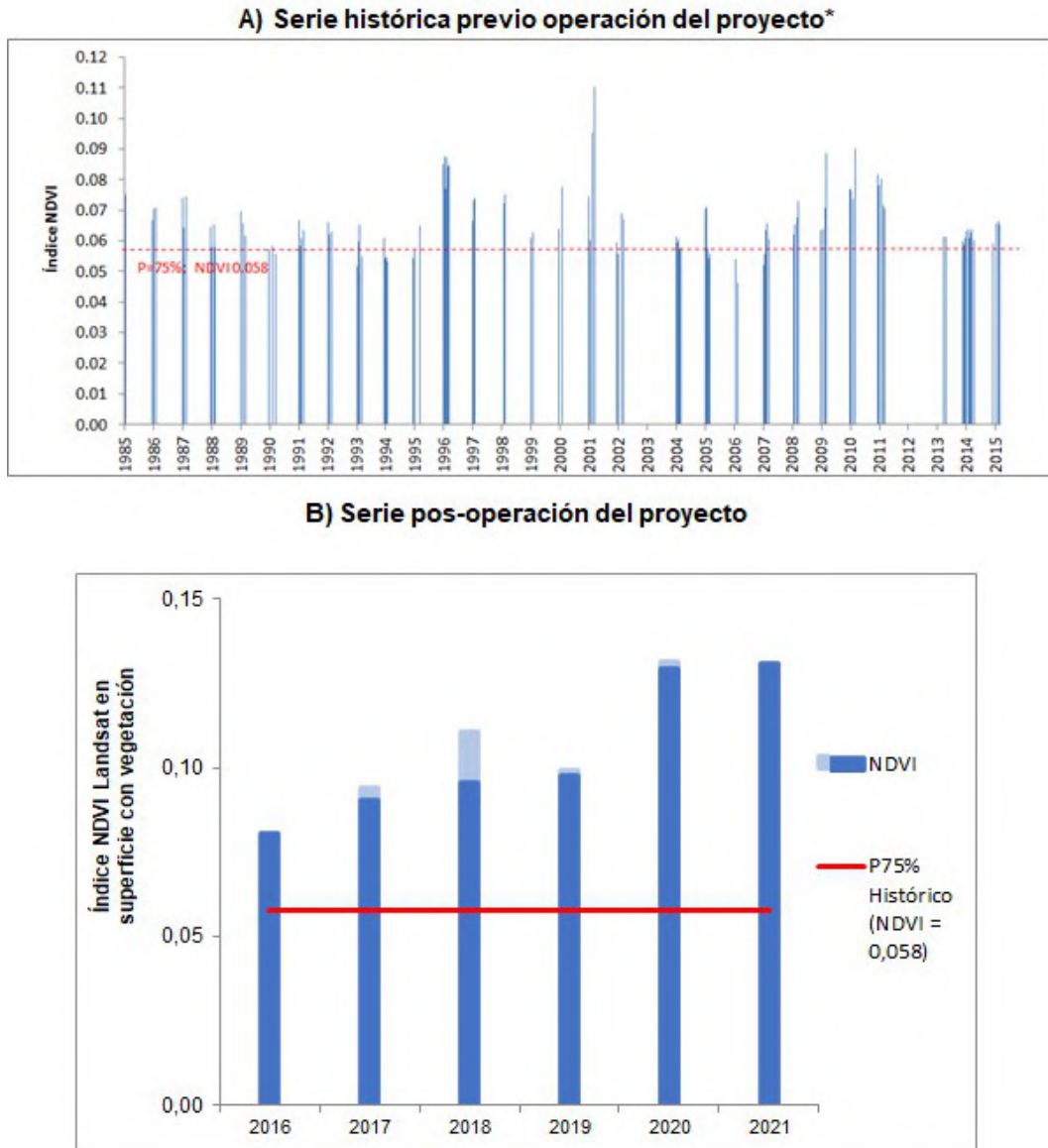
Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2016 - 2021) y valores históricos de línea de base según Tabla 5.3 "Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana", del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).

De manera adicional, pero que permite el análisis comparativo con registros históricos, se compararon los **valores del NDVI de imágenes Landsat (Figura N°12-151)** 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 (ver detalle metodológico de obtención de registros NDVI Landsat en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.4.1**).

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 y marzo 2021, 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 pos – 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 10 valores representativos (uno para 2016 y 2021, y dos para 2017, 2018, 2019 y 2020). 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*.

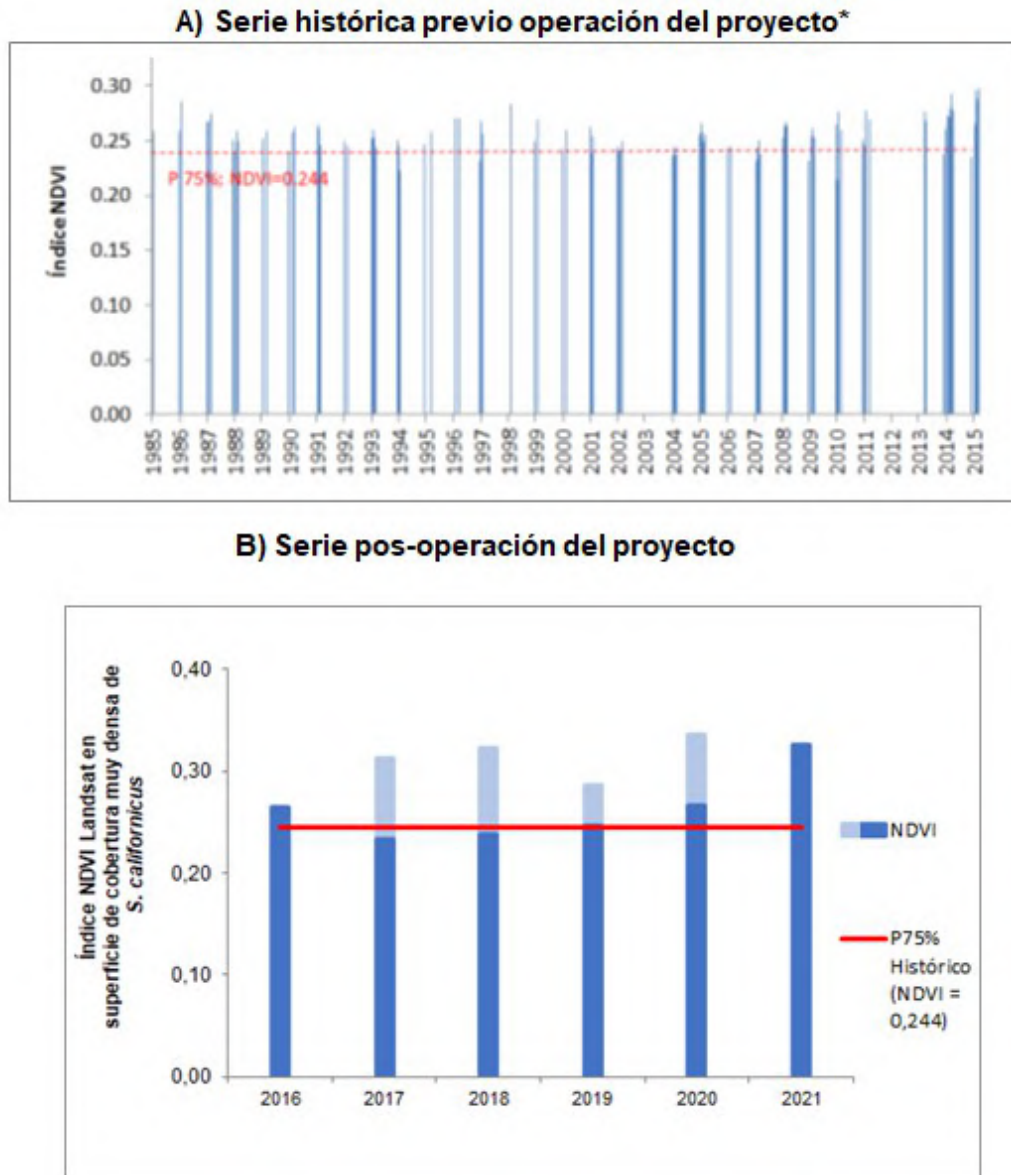
La comparación con valores históricos de línea de base del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación y durante las temporadas estivales (diciembre-marzo) 2016-2021, reflejan el mismo resultado obtenido con el NDVI de imágenes de alta resolución: la mantención del estado ecológico para las superficies con vegetación del sector (**Figura N°12-151**), 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, y con una recuperación al ascenso en 2019 en comparación a la serie histórica previa operación del proyecto, según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5 (**Figura N°12-152**).

Figura N°12-151. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en la superficie con vegetación del sector Peine.



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).**

Figura N°12-152. 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 pos lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2021) en el sector Peine.

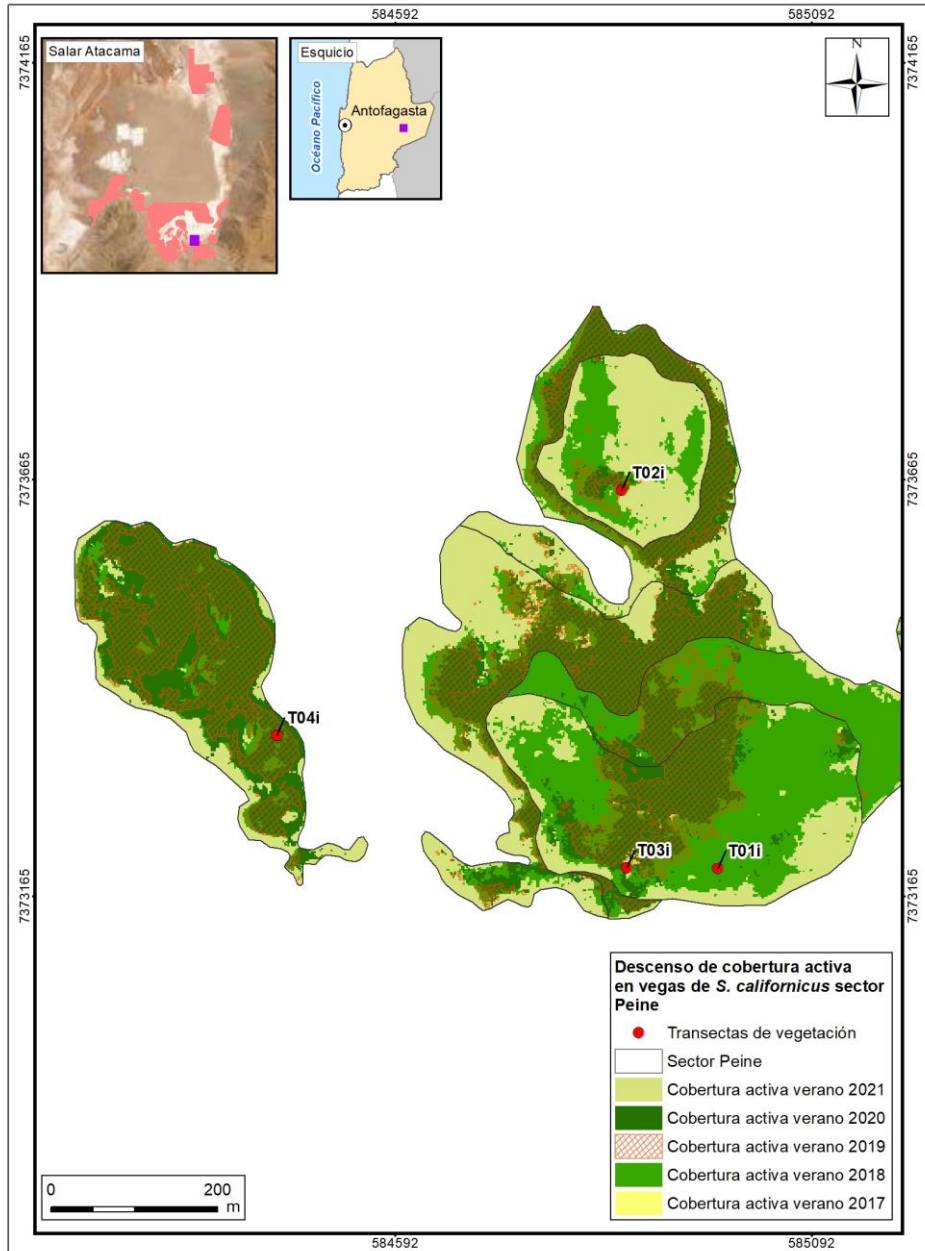


Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.7.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono Peine Herbazal Muy Densa de *Schoenoplectus*...” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

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 varios factores:

- Cabe recordar que los descensos en la superficie de vegetación activa de esta formación están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período Invierno 2018 – Verano 2019 de monitoreos, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector (**Figura N°12-153**).
- La condición de mayor variabilidad de la actividad vegetal en comparación con otras formaciones del sector (ver comparación interanual de la tendencia interanual con el NDVI Landsat), lo que sugiere una relación más estrecha con variables hidroclimáticas del Salar, las cuales a su vez determinan la disponibilidad de hídrica para la actividad vegetal (análisis de relaciones con variables hidroclimáticas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5.1** - respuesta herbazales).

Figura N°12-153. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* (AR) durante monitoreos de verano 2018 y 2021 en unidades de herbazal de *S. californicus* en el sector Peine.



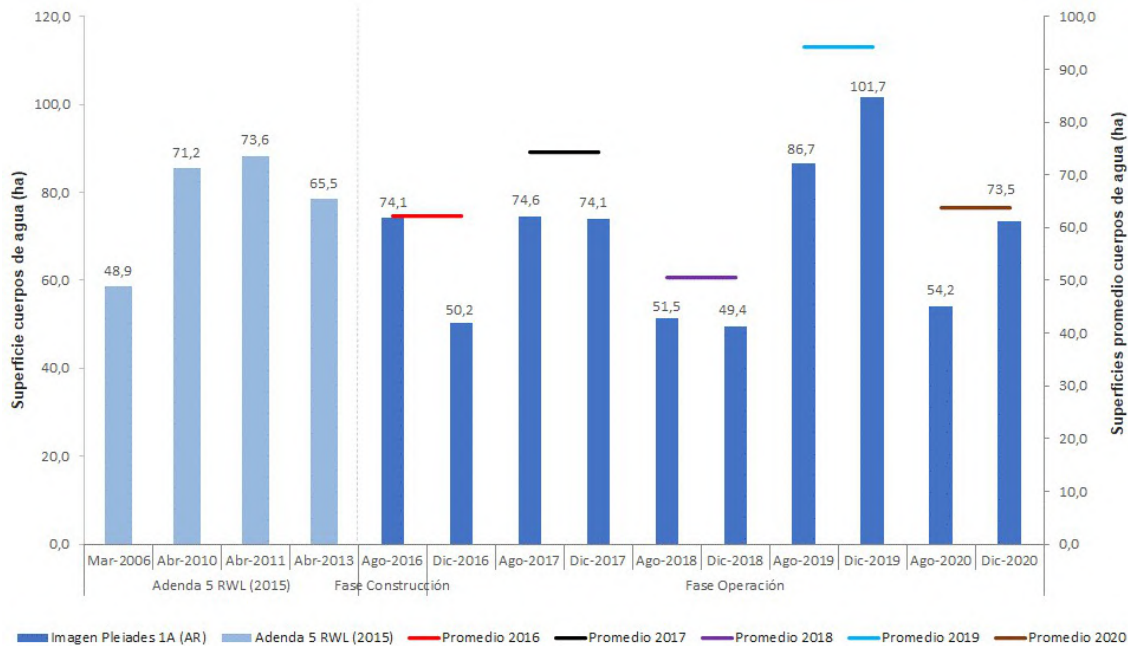
* Cobertura vegetal activa obtenida desde NDVI de imágenes de alta resolución. Fuente: Elaboración propia.

12.8.2.2 Superficie de Lagunas

12.8.2.2.1 Análisis de la evolución y tendencia de las superficies lagunares

Con el objetivo de analizar la evolución de las superficies lagunares de acuerdo a los criterios indicados en Adenda 5 para el periodo de operación de proyecto, la **Figura N° 12-154** 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 2020, donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 504.387 m² y en 2019 un promedio máximo de 941.720 m², y en donde los promedios anuales de 2018, 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado para el sector de 489.000 m².

Figura N° 12-154. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.

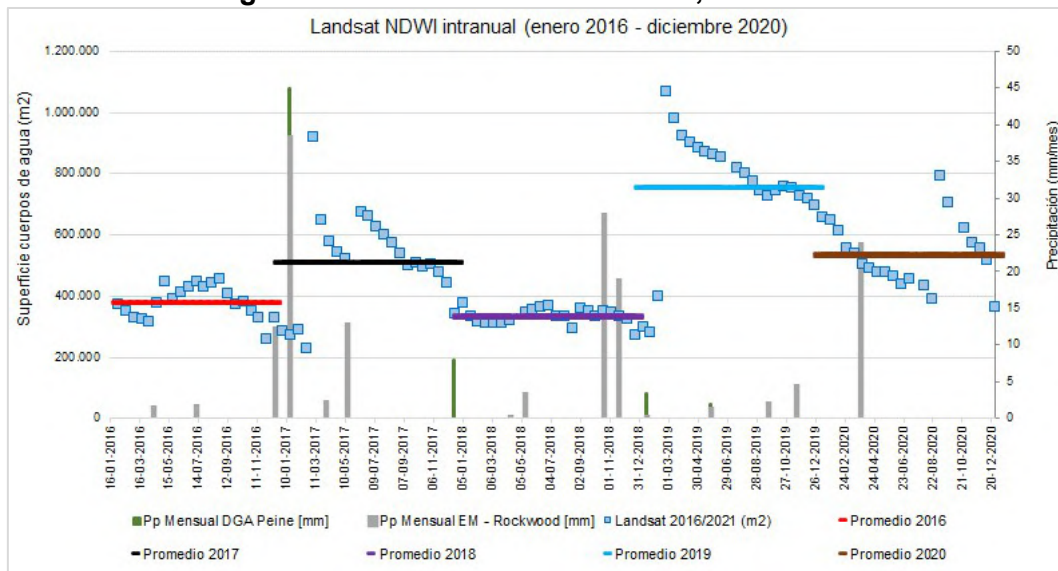


Dónde: **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

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”, es que la **Figura N° 12-155** muestra la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2020 del sector Peine, 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 333.532 m² y en 2019 un promedio máximo de 753.873 m², con un promedio 2020 (536.743 m²) sobre el 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 variabilidad, con tendencia incluso al aumento.

Figura N° 12-155. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector Peine



Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat serie 2016-2020

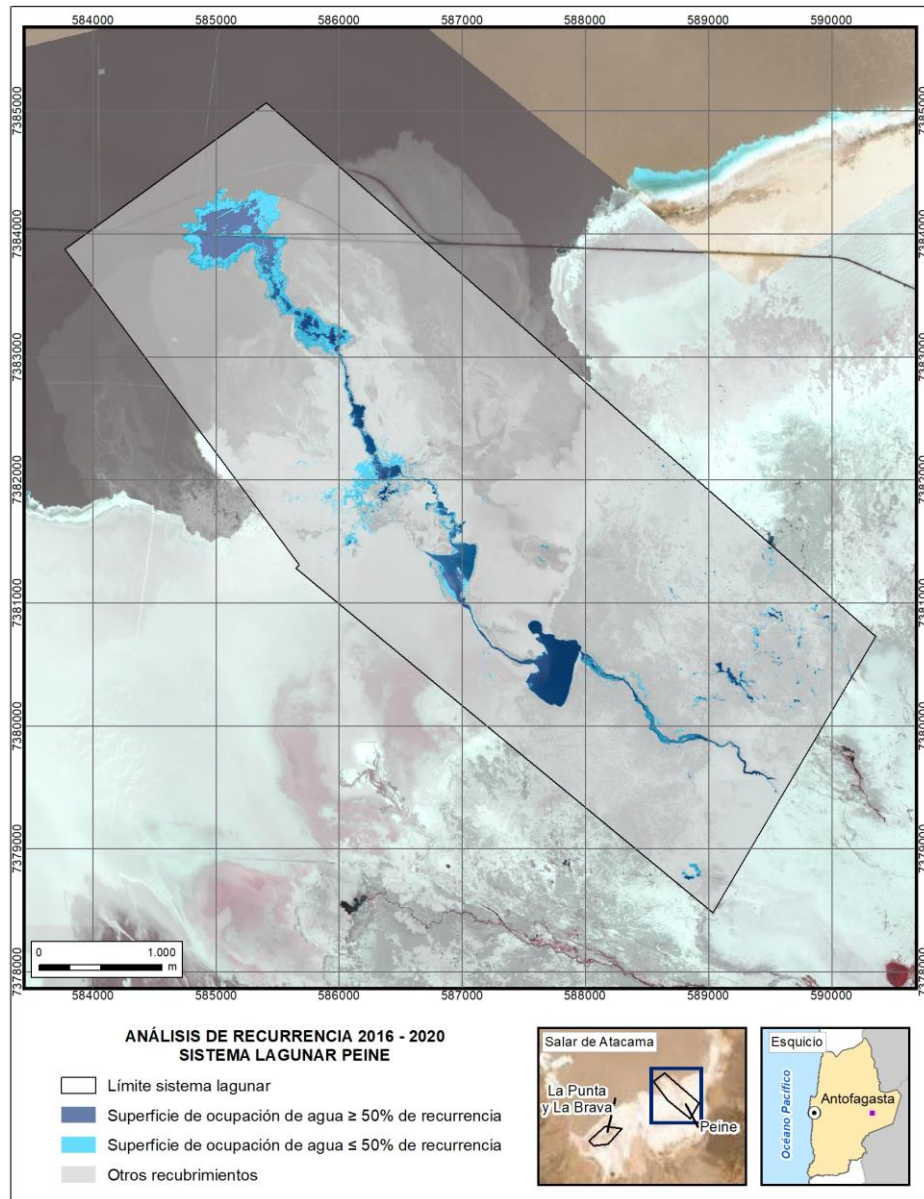
De manera complementaria, se realizó un análisis de recurrencia con el fin de dimensionar el comportamiento temporal de las superficies cubiertas por lagunas y así definir aún mejor la evolución de las superficies lagunares, que en base a esta disgregación las superficies pueden ser clasificadas según su porcentaje de ocurrencia en el tiempo. Estas superficies lagunares según su recurrencia 2016 - 2020 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 diez 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 para el sector Peine (**Figura N° 12-156**):

- (i) Superficie con ocupación de agua mayor a 50%: presencia de lámina de agua entre seis (6) y diez (10) de los seguimientos efectuados.
- (ii) Superficie con ocupación de agua menor o igual 50%: presencia de lámina de agua entre uno (1) y cinco (5) de los seguimientos efectuados.

(iii) Otros recubrimientos: presencia nula de agua durante los 10 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.

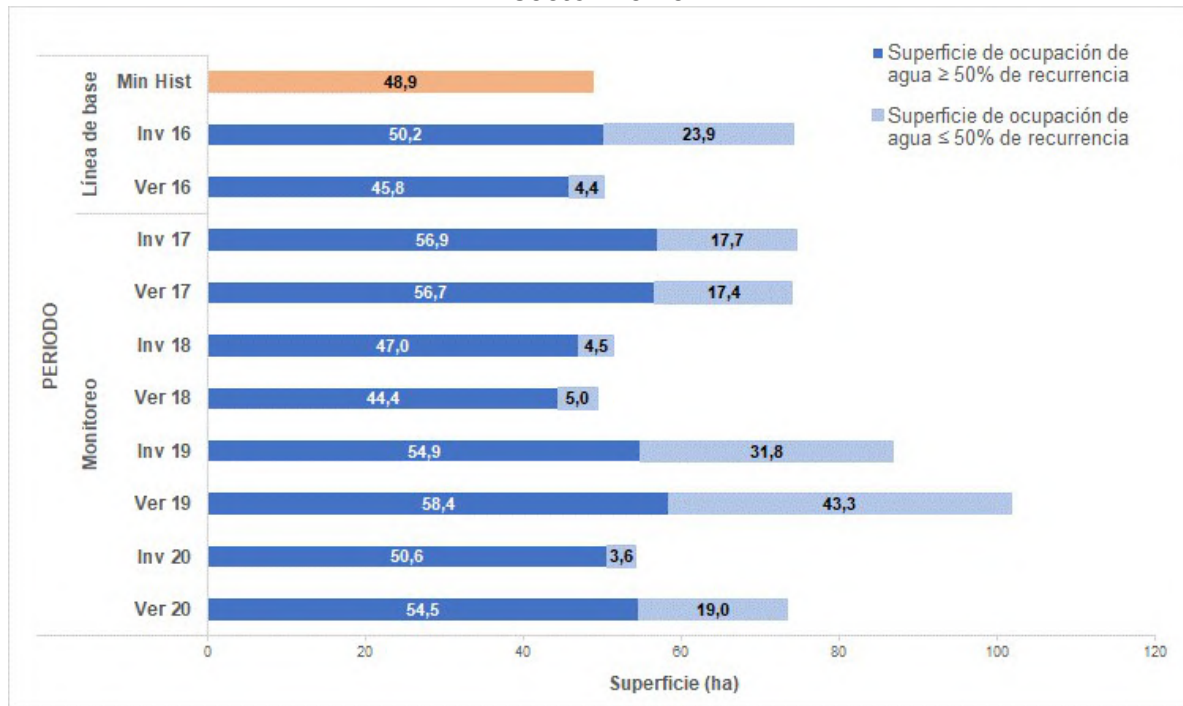
Figura N° 12-156. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

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 (10 imágenes Pleiades). Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a agosto 2020, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de marzo de 2006 (48,9 ha); sin embargo, se reporta un descenso leve de las superficies en relación al mínimo histórico en verano 2016, invierno 2018 y verano 2018. 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 (Figura N°12-157).

Figura N°12-157. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector Peine



Fuente: Elaboración Propia

12.8.2.3 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 5 años que van de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

Los valores de línea base para este 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.

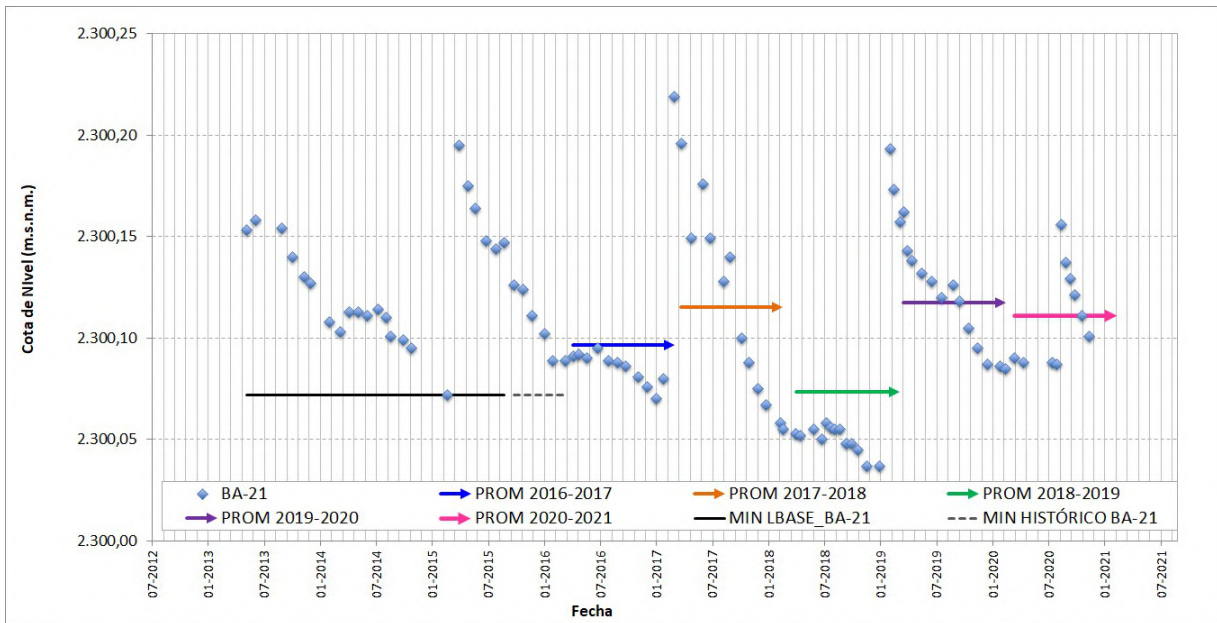
En la **Tabla N° 12-56**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 12-158** y **Figura N° 12-159**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

Tabla N° 12-56. Valores⁵⁵ 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)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-21	2.300,072	2.300,072	2300,096	2.300,115	2300,073	2300,117	2.300,111
BA-22	2.300,274	2.300,268	2300,295	2.300,280	2300,279	2.300,280	2.300,291

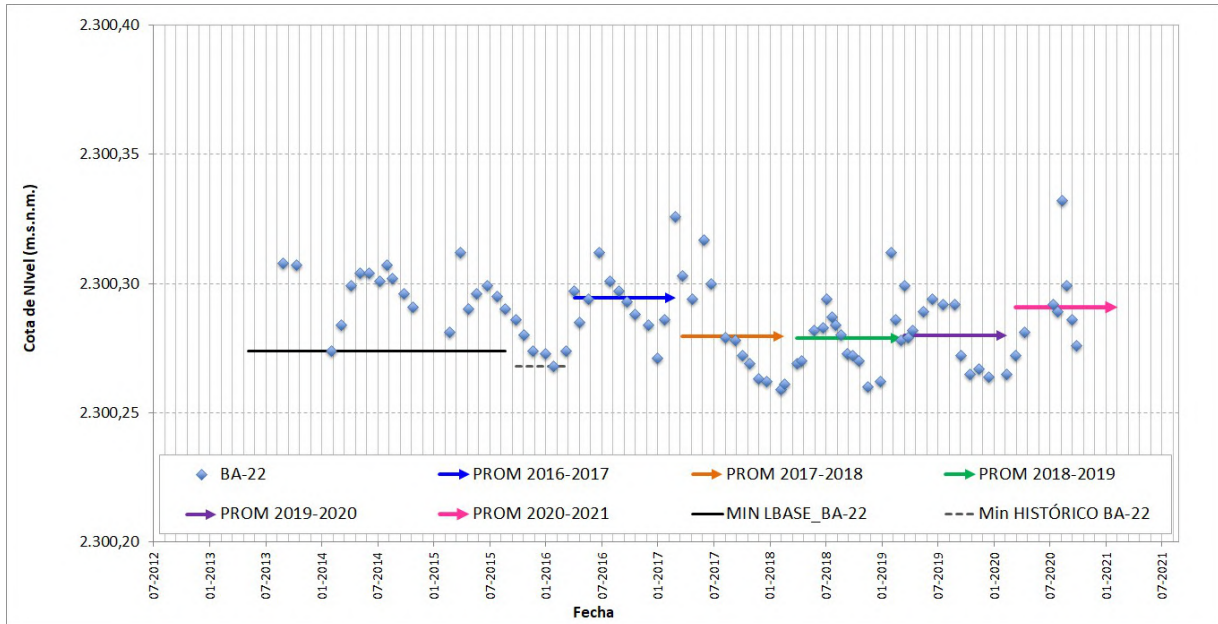
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-158. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

⁵⁵ Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°5 PMB.

Figura N° 12-159. 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:

Para el pozo BA-21 se presenta una tendencia de los últimos 3 años con promedios anuales variables y con promedios que subieron en los períodos 2017-2018 y 2019-2020; y con descensos en los períodos 2016-2017 y 2018-2019. Considerando los promedios de los últimos 3 años se observa una tendencia al aumento de los niveles, en donde este último año (período abril 2020 – marzo 2021) se presenta con un promedio 2.300,111 m s.n.m., muy similar al del período anterior (2019-2020). Todos los valores anuales en promedio se mantienen en el rango de los valores registrados.

El pozo BA-22 se presenta con una variación de niveles muy estable a lo largo de los últimos 3 años, donde se observa una leve tendencia al alza de sus niveles. Los promedios anuales son muy similares en donde para este último período abril 2020 – marzo 2021, es de 2.300,291 m s.n.m., por encima de lo observado los últimos años. Todos los valores anuales en promedio se mantienen en el rango de los valores registrados.

Considerando todas las mediciones a la fecha y en especial para el análisis de tendencia de estado ecológico de este sector, los niveles promedio de los últimos 3 últimos años de monitoreo se observan en general con tendencia al ascenso, y con promedios anuales por

encima del mínimo de Línea Base y del mínimo histórico, **manteniéndose en el rango de los valores registrados históricamente por sector.**

13 CONCLUSIONES.

A continuación, se presentan las principales conclusiones del quinto año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle, correspondiente a los monitoreos de invierno 2020 (M9) y verano 2021 (M10), 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 cinco años de seguimiento (M1 a M10; 2016 a 2021). Las conclusiones se presentan de manera ordenada por subcomponente, siguiendo la línea de presentación de este informe.

13.1 En relación con Flora y Vegetación

En cuanto a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), al quinto 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 quinto año de monitoreo se describen 33 formaciones vegetales, que se observan en ambas temporadas (invierno 2020 y verano 2021) y en general, se tiene que la cantidad de 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 zonales 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.

En relación a las formaciones vegetales caracterizadas a través de transectas, tanto en M9 (invierno 2020) y M10 (verano-post lluvia 2021) 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 una similitud entre los resultados obtenidos del quinto año (M9 y M10) con MB0 y monitoreos estacionales del primer al cuarto año de estudio (M1 a M7). Las comunidades con mayor contenido de humedad del suelo son las que desarrollan 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 cinco años de monitoreo a nivel de sectores y formaciones vegetales, con algunas diferencias puntuales entre transectas, aunque sin demostrar una variación estacional. En este último año de monitoreo (M9 y M10), se registró una especie adicional en Tilopozo (T29) en verano 2021, sumando de esta forma una mayor riqueza a la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus* con cinco especies.

A partir del análisis de las coberturas de las transectas en el periodo de seguimiento (2016-2021), se tiene que las variaciones determinadas en las coberturas indican variabilidad, y en algunos casos tendencia al descenso o aumento, registrando diversidad de fluctuaciones en relación a los tipos de formaciones, estacionalidad en algunas transectas y en general una variación interanual en este periodo de cinco años de seguimiento, por lo que deben seguir en análisis en un periodo más amplio para establecer alguna tendencia.

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) y la transecta T08 de Peine aumenta en M10 (verano 2021).

Al relacionar la variación de cobertura vegetal entre monitoreos, reflejan, en general, una variabilidad desde MB0 a M10, con excepción en algunos casos. Mayor cobertura en M10 en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0) en dos transectas en el herbazal de *D. spicata* (T09 en Peine y T21 en Tilopozo) y una transecta en el herbazal de *S. californicus* (T03 en Peine). Mientras que en 15 transectas las variaciones registradas hasta M10 presentan menos del 10% de variación en la cobertura según lo registrado en MB0 (nueve en Tilopozo, tres en Peine y tres en Aguas de Quelana) y siete transectas con variaciones entre un 10 y 20% de la cobertura vegetal (T18, T23 en Tilopozo, T06 en Peine, T11, T12 y T13 en La Punta y T10 en La Brava). 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) ya que 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 otra parte, en los herbazales de *S. californicus* se demuestra 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 ha presentado la mayor cobertura absoluta del área en todos los monitoreos, con coberturas superiores o cercanas al 100%, tanto en Tilopozo y Peine.

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 17,2% (1.241,6 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 cinco años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido, superando incluso los valores máximos.

Particularmente, la comparación específica de la cobertura de vegetación activa en la formación de **herbaza de *Schoenoplectus californicus***, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los cinco 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 cinco periodos, aunque con un leve aumento en 2020 (7,9 ha) con respecto a 2019, y un mayor aumento en 2021 (16,9 ha).

Cabe recordar que los descensos en la superficie de vegetación activa de esta formación están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período Invierno 2018 – Verano 2019 de monitoreos, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector.

13.2 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), herbaza, humedal salar, humedal pajonal, matorral y quebrada.

Cabe mencionar, que de las 10 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia y en verano 2021 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo (no se muestrearon 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 total, considerando el total acumulado para las 10 campañas (de invierno 2016 a verano 2021), la riqueza es de 57 especies de vertebrados, con una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 44 especies de aves y 10 especies de mamíferos.

Los tres sectores presentan una riqueza acumulada que varía entre 40 especies en el sector de Tilopozo, a 22 especies en el sector de La Punta y La Brava, y 30 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 el humedal pajonal con los restantes ambientes terrestres.

En cuanto a la caracterización de la fauna detectada en todo el monitoreo (posterior al histórico):

De acuerdo a su origen geográfico, tres de las especies registradas son endémicas de Chile, en tanto que otras 53 especies son nativas, y finalmente, una especie es catalogada como introducida.

De las 57 especies de fauna detectadas, 21 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 18 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 21 especies en categoría de conservación, siete se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro, Vulnerable y Casi amenazada. Por su parte, 14 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 (cuatro especies):** en categoría Vulnerable: *Phoenicoparrus andinus* (parina grande) y *Phoenicoarrus jamesi* (parina chica) y en categoría Casi Amenazada: *Fulica cornuta* (tagua cornuda) y *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno).
- **Mamíferos (dos especies):** en categoría Vulnerable: *Lama guanicoe* (guanaco) 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 49 a especies con alta movilidad. En relación a 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 tres se encuentran clasificadas con un riesgo alto, nueve se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 43 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 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 (41 ejemplares) y menor en invierno 2016 (16 individuos). En todas las campañas, la especie más abundante y frecuente fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza.

En relación a las aves, la abundancia fue mayor en verano 2018 (520 individuos) y menor en verano 2021 (200 ejemplares, sin censo en las lagunas de Peine), destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas (salvo en verano 2021, en que no se pudo ejecutar Peine).

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 campañas⁵⁶, 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.

⁵⁶ Excluyendo el verano 2021, sin muestreo de las lagunas de Peine por problema de acceso.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trapeados, 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, 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%.

Comparando con los valores y criterios especificados en el plan de seguimiento ambiental, 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, 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)⁵⁷, 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).

En general, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene en los monitoreos efectuados. Sin embargo, para el sistema Peine no podría compararse el verano 2021, 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 hidrológico Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). Analizando el sistema hidrológico 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 y 2019, donde en el monitoreo se presentó una mayor cantidad de flamencos que en la línea base.

⁵⁷ Idem nota 6

13.3 En relación con Tapetes microbianos

A continuación, se presentan las principales conclusiones del quinto 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 nueve 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. Finalmente, 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.

- *Respecto a los periodos de monitoreos invierno 2020 y verano 2021*

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta de macrozonas, se observó presencia de tapetes con tres macrozonas de pigmentación (Tipología 1). En el Sector La Punta-La Brava estos tapetes presentaron en la macrozona subsuperficial capas comunes de tonalidad verde y naranja, respecto a las capas de la macrozona Intermedia, generalmente presentaron tonalidades rosada y/o púrpura. Finalmente, en la macrozona profunda, se hallaron principalmente capas de tonalidad marrón. Cabe destacar que no se realizó monitoreo del Sector Peine debido a restricciones de acceso en campaña verano 2021.

Sobre el número de capas promedio, para las campañas invierno 2020 y verano 2021, se destaca la escasa variación de este parámetro en Sector Peine La Punta-La Brava, respecto de invierno 2020. No obstante, esta escasa variación en el número de capas no implica que no existan cambios en las estructuras de los tapetes, donde predominó la Tipología 2 en ambas campañas de monitoreo, para dicho sector.

El máximo valor de espesor (18 mm), correspondiente a invierno 2020 fue registrado en Laguna Interna (I-17), mientras que los menores espesores (5 mm) fueron detectados en Laguna Salada (S-6A), Laguna Saladita (SA-25) y Laguna La Brava (LB-3). El mayor espesor promedio (10 mm), correspondiente a verano 2021, fue detectado en Laguna La Punta (LP-23), mientras que el menor espesor (6 mm) fue observado en Laguna La Brava (LB-3).

Respecto a la morfología de los tapetes, en Laguna Salada (invierno 2020) 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 2020 y verano 2021, no registró presencia de tapetes microbianos.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2020 la presencia de microbialitos (LP-23, LB-1) y de evaporitas (LP-24), así también para la campaña verano 2021 tanto de microbialitos (LP-23, LB-1) como de evaporitas (LP-24).

- *En relación con los cambios observados, considerando todas las campañas de monitoreo*

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos se observó la presencia de tapetes Tipología 1 en las 9 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).

En general, los tapetes de Tipología 1 durante las nueve 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, 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), predominaron 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 estabilización en el número de capas observadas, tanto en Sector Peine (invierno 2020) como en La Punta-La Brava (invierno 2020, verano 2021).

Respecto al Sector La Punta-La Brava, a diferencia de la disminución de capas observada entre verano 2019 respecto a invierno 2018, entre invierno 2020 y verano 2019, no hubo una mayor variación en este parámetro. Respecto al espesor de tapetes en el 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).

A partir de la totalidad de campañas de monitoreo (9), 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 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 y el potencial redox.

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 y verano 2021, no se han detectado tapetes en este sector.

13.4 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, 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 VII⁵⁸ y VIII.⁵⁹

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**, **extremadamente salinos** y **muy salinos** sean escasos, siendo frecuentes los **salinos** y **ligeramente salinos**.

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 28,22%, 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 y M10, lo cual se podría atribuir al cambio de laboratorio y no a condiciones

⁵⁸ 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)

⁵⁹ Corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal, y su uso está limitados solamente para la visa silvestre, recreación o protección de hoya hidrográficas (CIREN, 1996).

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 los diferentes monitoreos y no se observa una diferencia estacional en los 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 M10, 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 3 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 presentó 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 9,19 (**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 y M6 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 en M1 a M4, como M6 a M10 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 deberían 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 los puntos ésta excede los 10.000 mg/kg, excepto en M1 donde la mayoría de los puntos se encuentra bajo este valor y en algunos puntos se observan valores muy superiores, los cuales corresponden siempre a los mismos.

En el sector de **Tilopozo** se observa un amplio rango en la concentración de sales solubles en cada monitoreo como entre 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. En este sector los monitoreos M1, M2, M4 y M7 presentan los valores más bajos en relación al resto, aún cuando en M7 se observan valores muy altos en los puntos S 1-1, S 1-2, S 2-1 y S 2-2 y S 7-1.

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 el área.

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 y M10, que presentan valores muy superiores a los 6 anteriores y dado que, se efectuó cambio de laboratorio, estos resultados podrían ser atribuible a este cambio, pero confirman lo indicado anteriormente en relación a la estacionalidad, ya que M7 y M9 son invernales y M10 estival, en este último la concentración de nitrógeno es mayor a los 2 anteriores, por lo que se requiere más información para determinar si existe estacionalidad considerando el cambio de laboratorio.

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 M10, 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 heterogeneidad 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 y M10 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 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 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% (S 10-2, S 11 y S 7-1) 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 a media (**franca** y **franco limosa**), moderadamente gruesa (**franco arenosa**), muy gruesa (**arenosa**) y gruesa (**areno francosa**). Mientras que, **Peine**, se definen 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**), y en **Tilopozo**, se definieron 5 texturas con 8 clase texturales, siendo estas moderadamente fina (**franco arcilloso**, **franco arcillo arenoso** y **franco arcillo limoso**), media (**franca** y **franco limoso**), moderadamente gruesa (**franco arenoso**), gruesa (**areno francosa**) y muy gruesa (**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.

En relación 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, y a 6 en M4 y M10. En general, el nivel freático es fluctuante en la totalidad de los monitoreos y no existiendo relación entre la estacionalidad y los resultados.

La presencia de nivel freático a profundidad de trabajo está en función de condiciones ambiental (precipitaciones y temperatura), como también las características de los suelos incluyendo la topografía.

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.

En general 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).

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.

13.5 En relación con Limnología

La calidad de agua en invierno 2020 y verano 2021 de los sistemas de lagunas del sector Peine, La Punta y La Brava, se caracterizan por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica (máximos en La Brava en verano 2021 con valores de 119 g/Kg y 131.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente), asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, además de un pH generalmente alcalino (cercano a 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 25,4°C en LB-1 en verano 2021 y mínimo de 13,7°C en LP-23 en invierno 2020). Tales características se observan 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 3336 y 4320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y salinidad 2 g/Kg) y pH neutro.

El sector de Tilopozo, se ubica más alejado del núcleo, el cual está compuesto por pozas de 2 a 3 m de profundidad y por un pajonal hídrico de baja profundidad (TB-2). Cabe mencionar que este pajonal se encontró sin agua en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020 y verano 2021, aspecto que indica que el nivel freático se presenta a una mayor profundidad respecto del fondo de esta poza. Los registros de parámetros de calidad de agua para los veranos de 2017, 2018 y 2019, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (LB). En la estación I-17 (Laguna Interna de Peine), se registraron durante el verano 2017 y 2019 valores altos de salinidad, superiores a línea base de verano. Estos parámetros mostraron un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en todos los periodos, siendo la mayor conductividad en verano 2019, alcanzando los 212.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17, que corresponde a una salinidad de 105 g/kg.

Con los resultados obtenidos al quinto año de monitoreo, se puede señalar que no existen cambios en los parámetros evaluados que puedan ser asociados al proyecto. Si bien, hay algunas diferencias en calidad de agua, respecto a los registros de Línea Base, éstas pueden deberse a cambios naturales o a registros propios de la variación natural del sistema, sobre todo considerando que algunos rangos fueron establecidos con una sola campaña (enero 2015).

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 y verano 2021, indican que se obtuvieron tamaños de grano medio 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 y abundancias dentro de los rangos establecidos previamente en la línea de base, a excepción de algunos casos puntuales. En algunos componentes como el fitobentos, fitoplancton y zooplancton, se observaron en general valores menores de abundancia en periodos de verano.

Respecto de los casos puntuales se destaca que para la abundancia histórica del fitobentos, se observó un aumento en el periodo de verano 2017, 2019 y 2021, en las estaciones LP-23 y LB-1 presentando valores superiores a lo observado en la LB. En tanto, para el fitoplancton en invierno 2020 si bien se observaron bajos registros de riqueza para la mayoría de las estaciones de monitoreo, la estación LB-3 presentó valores similares de riqueza respecto a la LB.

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 que tengan relación con las variaciones estacionales dadas entre los periodos invierno y verano (monitoreo post lluvias). Cabe destacar que históricamente, en las campañas invierno y verano (post lluvias) se observó disminuciones en la abundancia en el fitobentos y en el fitoplancton, probablemente debido al efecto del invierno altiplánico (aumento de las precipitaciones en el salar en los años 2018, 2019 y 2020), y por ende de las fluctuaciones de la conductividad y la

salinidad en estos sistemas, lo que podría estar afectando la diversidad microalgal, repercutiendo en las abundancias de estos componentes.

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 Harpacticoida 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 (2016-2021), 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 2020 y verano 2021) 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 ciclopoideos durante invierno y dípteros quironómidos en verano 2021.

El *zoobentos* tanto en invierno 2020 como en verano 2021, 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 *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 y registrada históricamente.

Respecto de las *plantas vasculares acuáticas* y en términos comparativos entre invierno 2020 y verano 2021 e históricamente (campañas 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021), 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 no muestran cambios significativos con respecto a los estudios previos, ni vinculados a la operación del proyecto. Sin embargo, la continuidad de

estas evaluaciones irá evidenciando patrones naturales o detectando eventuales cambios en los sistemas en estudio.

13.6 En relación con Área Lagunas

De la validación del ajuste de las coberturas determinadas para el año 2020, 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*⁶⁰. Se obtuvieron valores de 0,64 y 0,96 para imágenes de alta resolución y de 0,56 y 0,77 para imágenes de resolución media en agosto de 2020, en los sectores de La Punta-La Brava y Peine, respectivamente. Respecto de diciembre de 2020, este índice tuvo una variación entre 0,62 y 0,73 para imágenes de alta resolución y desde 0,44 a 0,73 para imágenes de media resolución, en los sectores de La Punta-La Brava y Peine, respectivamente.

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 La Punta-La Brava y Peine, existe una relación moderada entre los resultados provenientes de AR y Landsat, diferencias que son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno de los recubrimientos (por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución), lo que produce diferencias en la magnitud de los valores.

- Sector La Punta y 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.

Considerando las imágenes Landsat, desde las presentadas en la evaluación del proyecto (históricas desde 1972) se observa una tendencia histórica de descenso de las superficies de invierno (julio – agosto), desde el año 1984. Las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan una cierta estabilidad en sus valores a excepción de un evento de alza en enero del año 1999. En general, se observa que la diferencia entre las superficies

⁶⁰ 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).

de inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 2008, mostrando en dicho año un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno.

Las superficies semestrales calculadas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2020, 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 - 2020.

De las variaciones intranuales y su relación con las precipitaciones, para ambas series intranuales 2013/2014 y 2019/2020, 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, mientras que la precipitación sería un factor secundario, considerando que esta última produce variaciones significativas de la superficie, para ciertos eventos puntuales de mayor precipitación (magnitud y duración).

La variación de las superficies semestrales de alta resolución 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 considerados en LB, a excepción del mes de diciembre de 2020. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada. 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, siendo más amplia o más acotada, sin un patrón fijo.

- 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, y los registros más bajos en general se observan en verano, siendo en el último tiempo (2016-2020) 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 2020 como parte del reporte semestral (PSAH y PMB), 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 complementaria semestral 2016 - 2020.

Para la variabilidad intranual, en este sector se observa una variabilidad de las superficies en el periodo 2013 – 2014, con un periodo 2019 – 2020 que muestra una fuerte alza en septiembre de 2020, ligado a un mayor aporte de precipitaciones en agosto 2020, de la cual la estación DGA - Peine no cuenta con registro, pero que puede verse en los registros de la estación planta EM-SCL. Este acontecimiento evidencia 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 la estación meteorológica Planta Albemarle y las variaciones de las superficies registradas en el sector asociadas temporalmente.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector Peine, se encuentran sobre los mínimos históricos de AR, con una variación no estacional por lo tanto no tan directamente influenciada por la evaporación (como en el caso de La Punta-La Brava), donde además no se evidencia una correspondencia 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 (AR). En este sentido, se pueden asociar tanto inviernos como veranos a alzas de superficies, como se observa en verano de 2017 y verano 2020.

Dentro la comparativa con los registros históricos, 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.

13.7 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 2020 a marzo 2021 y para cada uno de los puntos de monitoreo, que los valores promedio anuales de los niveles del período analizado se encuentran dentro del rango histórico, en torno o por encima del mínimo de la Línea Base, y por encima del mínimo 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 en los pozos BA-21 y BA-22.

Al igual que en años anteriores, para la estación de verano 2021 (diciembre 2020 a febrero 2021) se presentan los niveles más bajos de la temporada y a diferencia de otros años, no hubo ningún evento de precipitación en verano, sólo las inusuales lluvias de agosto 2020. En marzo 2021, para los pozos del sector LP-LB, se tienen aumentos del nivel entre 2,3 y 3,2 cm, 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, incluyendo marzo. Esto vuelve a constatar una alta sensibilidad de los niveles freáticos en las lagunas de LP-LB en relación a los efectos que provoca la precipitación del sector.

- **Para los pozos del Sector la Punta - La Brava, se tiene que:**

Se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2020 a marzo 2021) 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 el Sector se encuentran en torno o por encima del mínimo de la Línea Base y por encima del mínimo del periodo histórico. 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 (octubre 2020 – febrero 2021), registrándose un nuevo mínimo histórico en el periodo analizado (abril 2020 – marzo 2021), específicamente en enero 2021, cuando se registra un nivel de 2.300,122 m s.n.m, valor que supera en 1 mm el mínimo anterior registrado (2.300,123 m s.n.m, correspondiente a marzo 2019). Por otro lado, se tiene un peak de nivel en septiembre de 2020 (algo desfasado con respecto a lo observado en años anteriores) debido a las inusuales lluvias ocurridas en agosto de 2020. Con todo, el promedio anual se encuentra por encima tanto del mínimo de Línea Base como del periodo histórico.
- El pozo BA-07, luego de haber mostrado el año anterior un quiebre con la tendencia a la baja de los niveles constatada hasta el verano de 2019, en el periodo actual (abril 2020 – marzo 2021) vuelve a mostrar continuidad con la anterior tendencia al descenso. En general los niveles son más profundos que los observados en el periodo 2019-2020. En septiembre se observa el nivel más elevado de la serie histórica, como consecuencia de las referidas lluvias de agosto 2020. De forma similar a lo visto en BA-05, en el periodo octubre 2020 – marzo 2021 se agrupan varios niveles por debajo de los mínimos LB/histórico, dentro de los cuales se registra un nuevo mínimo histórico igual a 2.299,955 m s.n.m, valor que se encuentra 2 mm debajo del mínimo anterior, igual a 2.299,957 m s.n.m (registrado en enero 2019). Considerando todo lo anterior, el nivel promedio anual se encuentra por encima de del mínimo de Línea Base/histórico.
- El pozo BA-16 para el período en análisis (abril 2020 a marzo 2021), comienza su ciclo en una condición más favorable que la observada en el periodo anterior, llegando a su máximo nivel en septiembre 2020, con un valor de 2.300,939 m s.n.m, el que se registra luego de las inusuales lluvias de agosto de ese año. Luego de la mencionada lluvia se observa una caída abrupta de los niveles en el pozo (similar a lo acontecido posterior a las lluvias estivales de 2019), no obstante lo cual después se retoma la tendencia

“natural” de los niveles del punto. El promedio anual para BA-16 (2.300,845 m s.n.m.) está en torno al mínimo de la Línea Base y es superior al mínimo del periodo histórico.

En general, los 3 pozos del sector LP-LB muestran en promedio una tendencia leve al descenso y un nivel más profundo en este último periodo con respecto al anterior, sin embargo, los tres puntos **presentan un promedio anual en torno al mínimo de línea base y por encima del mínimo histórico.**

- **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 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, 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, y se acentúa en 2020-2021. La cota máxima volvió a ser menos elevado que el año anterior, mientras que el mínimo de este período hasta diciembre 2020 está por sobre el mínimo de años anteriores, reduciendo el rango en el que se mueven los niveles en el pozo.

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). Para este año se registra el máximo histórico de los niveles en septiembre 2020 (2.300,332 m s.n.m.), como consecuencia de la lluvia ocurrida en agosto.

13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

Respecto al análisis de cambios en la cobertura vegetal mediante transectas, se puede señalar que en el sistema “La Punta-La Brava-Tilopozo” (el que cuenta con 4 transectas en La Punta-La Brava y 14 en Tilopozo), se observa una disminución de la cobertura, en 3 de 4 transectas del sector La Punta-La Brava y en 4 de 14 de Tilopozo. Particularmente, dicha disminución se observa en las transectas asociadas al herbazal de *Juncus 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 presenta mayores variaciones de coberturas entre monitoreos, no presenta una tendencia clara durante los 5 años de seguimiento.

En general las mayores variaciones de coberturas y de estructura comunitaria, se observan para las especies o formaciones que presentan menor cobertura vegetal, como es el caso de T21 en Tilopozo, que aumentó su cobertura desde MB0, y T26 en Tilopozo y T10 en La Brava que las disminuyeron, donde las tres transectas presentan coberturas menores al 10% en todo el periodo de seguimiento.

Respecto a la variación de la cobertura en las transectas, en los cinco años de monitoreo (2016-2021), se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, y en algunas transectas se observa una tendencia al descenso desde MB0 al quinto año de monitoreo, como es el caso de las transectas asociadas al herbazal de *J. balticus* (T18, T30, T31), al herbazal de *D. spicata* (T26, T28) y al matorral de *T. absinthioides* (T23, T24, T25) todas asociadas al sector de Tilopozo o T11 y T10 asociadas al herbazal de *T. concinna* para La Punta-La Brava.

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.

Respecto de la estructura comunitaria, o composición de las especies, durante el periodo de seguimiento (M10; verano 2021) a nivel de los sectores de evaluación, se presenta en general estable con cambios específicos en la estructura de ciertas transectas. En términos generales, se observan algunas variaciones, aunque estos cambios no presentan una tendencia clara y se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar.

En relación a la riqueza florística de las formaciones vegetales, esta se mantiene similar en los cinco años de monitoreo a nivel de sectores y formaciones vegetales, con algunas diferencias puntuales entre transectas, aunque sin demostrar una variación estacional.

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 o cercanas a un 10% en esta cobertura en los dos sistemas y solo con algunas diferencias mayores en algunas transectas, como es el caso de T11 (ascenso de la cobertura salina en año 4 y 5) y T12 (descenso de un 30% de la cobertura salina respecto a M1) en La Punta y La Brava, T27 en Tilopozo (descenso de la cobertura salina) y T05 y T06 en Peine (aumento de la cobertura salina), aunque en los últimos tres casos corresponde más bien a una variación del sustrato, entre costra salina terrosa y sustrato terroso.

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 una mantención general de la variabilidad dentro del rango histórico en la actividad vegetal según la cobertura y los valores del NDVI obtenidos tanto de imágenes de alta resolución, como imágenes Landsat en los sectores de estudio Tilopozo- La Punta y La Brava y Peine.

En el caso específico de las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, el sector de Tilopozo – La Punta y La Brava se encuentra dentro del rango de los registros históricos en el periodo de operación del proyecto. El sector de Peine registra en la cobertura activa de imágenes de alta resolución y el NDVI Landsat, una tendencia al ascenso por debajo del rango histórico desde el inicio de los monitoreos.

En conclusión, respecto a 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 si 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 concluye que a la fecha, se registra una mantención del estado ecológico de la cobertura activa a nivel de los sectores de evaluación, con una tendencia leve específica al alza en la formación herbazal de *S. californicus* del sector Peine.

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 verifica que los promedios anuales de 2018, 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado, tanto para el sector La Punta y La Brava (superficie mínima histórica: 316.000 m²) como para el sector Peine (superficie mínima histórica: 489.000 m²), cuyos promedios de los últimos 3 años se presentan variables, sin tendencia al descenso en La Punta-La Brava y en Peine, y con alza de las superficies en 2019 y disminución en 2020.

En cuanto al análisis de tendencia con Landsat históricas, este análisis señala que en el sector de La Punta y La Brava los registros indican que los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 330.026 m² y en 2019 un promedio máximo de 378.082 m², con un promedio 2020 (336.171 m²) que está sobre el 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 variabilidad, sin tendencia clara, donde las variaciones entre promedios no sobrepasan el 13%. Para el sector Peine, los registros de los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 333.532 m² y en 2019 un promedio máximo de 753.873 m², con un promedio 2020 (536.743 m²) sobre el promedio 2018. De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares para Peine, muestran una mayor variabilidad, donde las variaciones entre promedios incluso muestran una tendencia al ascenso.

En relación con Niveles Freáticos, se puede señalar que, del análisis de tendencia para los 3 últimos años de monitoreo, los niveles freáticos presentan comportamientos diferentes en ambos Sectores. En particular, para el Sector La Punta - La Brava los valores medidos anualmente en promedio de los últimos 3 años para los pozos BA-05 y BA-16 presentan una leve tendencia al descenso, aunque dentro del rango histórico, por sobre los mínimos de Línea Base, y por sobre el mínimo histórico. Por otro lado, para el pozo BA-07 muestra niveles variables, sin tendencia al descenso de los niveles promedio anuales en los últimos 3 años, y para todos los años por sobre el mínimo histórico, y por encima también del mínimo de Línea Base, manteniéndose así dentro de los rangos registrados históricamente.

Para el Sector Peine, se observa, en el pozo BA-21 se observan niveles variables, con aumentos y descensos en los niveles anuales, en los últimos 3 años con una tendencia al ascenso, y todos los niveles anuales promedio se encuentran dentro de los rangos históricos del pozo. El pozo BA-22 por su parte muestra niveles anuales promedio muy estables en el tiempo, con una leve tendencia al alza en los últimos 3 años. En general todos los niveles son similares y dentro del rango histórico de los niveles registrados en el pozo.

A partir de lo anterior, para los niveles freáticos se puede concluir que se mantiene el estado ecológico del sistema, dado que los promedios anuales de los 3 años de monitoreo se encuentran por sobre el mínimo histórico, manteniéndose en el rango de los valores registrados históricamente por sector.

14 REFERENCIAS

14.1 Flora y Vegetación

- 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.
- 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.
- 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. 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.
- 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, 2017b.
- 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, 2018b.
- 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, 2019b.
- 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, 2020b.
- 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. 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, 2017a.

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, 2018a.

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, 2019a.

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, 2020a.

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. Gutierrez. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena Chile. 2008. 3: 25-42.
- 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. Editorial Universitaria, Santiago. 2006. 316 pp.

- 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*
- MUELLER-DUMBOIS, D y H. Elleberg. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Willey, Nueva York, 1974. 547 p.
- MUÑOZ Marín, C. M. *Análisis de la variabilidad en series hidrometeorológicas en una cuenca de cabecera del Río Segura*. 2008.
- RAHMAN, M y A. Islam. *NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment*. University of Rajshahi Bangladesh, Dept. of Geography and Environmental Studies, 1995.
- RAMSAR. Documento informativo Ramsar No. 1. Ramsar, Iran, 1971. Consultado en septiembre de 2016 del sitio web: <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/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.

14.2 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., Sclaro, 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., Jarman, P. & Smith, A.P. (1996). Chapter 6. Observational techniques for nonvolant mammals. En D.E. Wilson, F.R. Cole, J.D. Nichols, R. Rudran & M.S. Foster (Eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals* (pp.81-104). Washington, DC, EEUU: Smithsonian.

Spotorno, A.E. & Patton, J.L. (2015). Superfamily Chinchilloidea Bennett. En J.L. Patton., U.F.J, Pardiñas. & G, D'Elía (Eds.), *Mammals of South America. Volume 2: Rodents* (pp.762-783). Chicago, IL, EEUU: [s.n].

Utrera, A. (2004). Metodología para evaluar sensibilidad de hábitat basada en el recurso fauna silvestre. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 22, 56-72.

Vidal, M. & Labra, A. (2008). *Herpetología de Chile*. Santiago, Chile: ScienceVerlag.

Servicios Públicos, Convenciones, Leyes y Decretos

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2009). *Minuta Prelación para efectos del SEIA de las clasificaciones y/o categorizaciones de las especies de flora y fauna*. Santiago, Chile: Autor.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (1988). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (30 de junio de 2006). Declara Monumento Natural a las especies de fauna silvestre huemul, chinchilla costina, chinchilla cordillerana, cóndor, picaflor de Arica y picaflor de Juan Fernández. Decreto Supremo N° 2 de 2006 (D.S. N°02/2006 MINAGRI). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (27 de febrero de 2012). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, quinto proceso. Decreto Supremo N° 33 de 2011 (D.S. N°33/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de abril de 2012). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, sexto proceso. Decreto Supremo N° 41 de 2011 (D.S. N°41/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de abril de 2012.). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, séptimo proceso. Decreto Supremo N° 42 de 2011 (D.S. N°42/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de febrero de 2013). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, octavo proceso. Decreto

Supremo No. 19 de 2012 (D.S. N°19/2012 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (25 de julio de 2013). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, noveno proceso. Decreto Supremo No. 19 de 2012 (D.S. N°13/2013 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (29 de agosto de 2014). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo proceso. Decreto Supremo N° 52 de 2014 (D.S. N°52/2014 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (04 de diciembre de 2015). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, undécimo proceso. Decreto Supremo N° 38 de 2015 (D.S. N°38/2015 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (30 de septiembre de 2016). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, duodécimo proceso. Decreto Supremo N° 16 de 2016 (D.S. N°16/2016 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (16 de marzo de 2017). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo tercer proceso. Decreto Supremo N° 6 de 2017 (D.S. N°6/2017 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio 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.

14.3 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.

14.4 Suelo o Sustrato

Agrolab, 2017. Comunicación Personal con Sra. Rosita 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., Césped, 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

14.5 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.

- 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.
- Domínguez, E., Molineri, C, Pescador, M., Hubbard, M. & Nieto, C. (2006). Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSOF, Sofia, Moscow. 646 pp.
- Farías, M. E., Contreras, M., Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Poiré, D. G., Novoa, F. & Visscher, P. T. (2014). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. *Extremophiles*, 18(2), 311–329.
- Fernandez, A., Rasuk, M., Visscher, P., Contreras, M., Novoa, F., Poire, D., Patterson, M., Ventosa, A. & Farias, M. (2016). Microbial diversity in sediment ecosystems (evaporites domes, microbial mats, and crusts) of Hypersaline Laguna Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–18.
- Fernández, H. R. & Dominguez, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán - Facultad de Ciencias Naturales y Instituto Miguel. Lillo. 282p.

- González, E. & Watling, L. (2003). Two new species of 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.
- 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.

14.6 Área de las Lagunas

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. Region de Antofagasta.

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.
- JAX, K., 2010. Ecosystem Functioning. Cambridge University Press, 272 pp
- 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.
- LI, L., VRIELING, A., SKIDMORE, A., WANG, T., ROMAN-MUÑOZ, A. & TURAK, E., 2015. Evaluation of MODIS Spectral Indices for Monitoring Hydrological Dynamics of a

Small, Seasonally-Flooded Wetland in Southern Spain. Original Research. Wetlands 35: 851-864.

LI, Y., ZHU, X., PAN, Y., GU, J., ZHAO, A. & LIU, X. (2014). A Comparison of Model-Assisted Estimators to Infer Land Cover/Use Class Area Using Satellite Imagery. Remote Sensing. 6. 8904-8922.

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.
- 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.
- 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 IV, agosto de 2019.
- 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 IV, diciembre de 2019.
- 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.

14.7 Nivel Freático en Lagunas

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. Region de Antofagasta.

JAX, K., 2010. Ecosystem Functioning. Cambridge University Press, 272 pp

LI, L., VRIELING, A., SKIDMORE, A., WANG, T., ROMAN-MUÑOZ, A. & TURAK, E., 2015. Evaluation of MODIS Spectral Indices for Monitoring Hydrological Dynamics of a Small, Seasonally-Flooded Wetland in Southern Spain. Original Research. Wetlands 35: 851-864.

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.

PSAH, 2020. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual N°5 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico, comprobante SMA Cód. 108456 de fecha 31 marzo 2021.

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.

15 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Anual N°5 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.